

Caracterización florística y estructura del arbolado urbano de la ciudad de Loja

Sustentabilidad de los sistemas agroforestales de café especial de altura en el sector sur oriental del cantón Loja



AUTORIDADES

Nikolay Aguirre Ph.D

Rector

Universidad Nacional de Loja

Mónica Pozo Ph.D

Vicerrectora

Universidad Nacional de Loja

COMITÉ EDITORIAL

Zhofre Aguirre Ph.D.

Director General

*Facultad Agropecuaria y de
Recursos Naturales Renovables*

Vinicio Alvarado Jaramillo Mg.Sc.

Editor Responsable

*Facultad Agropecuaria y de
Recursos Naturales Renovables*

Johanna Muñoz Mg.Sc.

Editor de Sección

*Facultad Agropecuaria y de
Recursos Naturales Renovables*

**Editorial: Universidad
Nacional de Loja**

PAGINA ELECTRONICA

<http://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/index>

CONSEJO EDITORIAL

PhD Jan Barkmann Georg-August
Universitat Gottingen, Alemania

PhD Haline Heidinger Abadía
Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

PhD. Alberto Julca Otiniano
Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú

PhD Byron Maza Rojas
Universidad Regional Amazónica- IKIAM, Ecuador

PhD Ali Saleh
Instituto de Texas-TIAER, Tarleton State University

PhD. Tania Delgado Cueva
Universidad Nacional de Loja

PhD. Patricio Castro Quezada
Universidad de Cuenca

PhD. Mario Añazco Romero
Universidad Técnica del Norte

PhDc. Alan García Bermúdez
Universidad Técnica de Manabí

PhDc. Geraldo Cuadrado Barreto
Universidad Técnica de Cotopaxi

MSc. José Alberto Oaillacar Silva
Universidad de Los Lagos, Chile

MSc. Rodrigo Contento
CRIFOR

MSc. Oswaldo Jadán Maza
Universidad de Cuenca

Dr. José Sánchez Fonseca
Universidad Guantánamo, Cuba

MSc. Jaime Santín Calva
Universidad Nacional de Loja

MSc. Byron Palacios Herrera
Universidad Nacional de Loja

MSc. Juan Maita Chamba
Universidad Nacional de Loja

MSc. Víctor Eras Guamán
Universidad Nacional de Loja

EDITORIAL

El Día del Medio Ambiente: Celebrando la Importancia del Arbolado Urbano, los Sistemas Forestales y los Microorganismos para la Remediación Ambiental

El Día Mundial del Medio Ambiente es una ocasión para reflexionar sobre la importancia de preservar y proteger nuestro entorno natural. En medio de los desafíos ambientales que enfrentamos en la actualidad, es crucial destacar la importancia del arbolado urbano, los sistemas forestales y los microorganismos con potenciales de remediación ambiental, así como la generación de nitrógeno mediante la producción simbiótica azolla–anabaena.

El arbolado urbano desempeña un papel fundamental en la mejora de la calidad de vida en las ciudades. Los árboles proporcionan sombra, reducen la temperatura ambiente, absorben dióxido de carbono y emiten oxígeno, mejorando así la calidad del aire que respiramos. Además, actúan como barreras contra el ruido y ayudan a controlar la erosión del suelo. Los espacios verdes urbanos con una abundante vegetación no solo embellecen nuestras ciudades, sino que también contribuyen a nuestro bienestar físico y mental.

Por otro lado, los sistemas forestales son vitales para mantener el equilibrio ecológico de nuestro planeta. Los bosques actúan como sumideros de carbono, capturando grandes cantidades de CO₂ de la atmósfera y ayudando a mitigar el cambio climático. También son hogar de una increíble diversidad de especies vegetales y animales, muchas de las cuales son endémicas y están en peligro de extinción. La deforestación y la degradación de los bosques amenazan estos ecosistemas valiosos y ponen en riesgo nuestra supervivencia a largo plazo.

Además de los árboles y los bosques, es fundamental reconocer el papel de los microorganismos en la remediación ambiental. Algunas bacterias y hongos tienen la capacidad de degradar contaminantes químicos, ayudando a limpiar suelos y cuerpos de agua contaminados. Estos microorganismos tienen un enorme potencial para ser utilizados en la recuperación de áreas degradadas y en la descontaminación de sitios industriales. Explorar y aprovechar esta capacidad biológica puede ser una herramienta poderosa para abordar los problemas ambientales causados por la actividad humana.

Finalmente, la generación de nitrógeno mediante la producción simbiótica azolla-anabaena es un ejemplo fascinante de la interacción entre diferentes organismos para beneficio mutuo y para el medio ambiente. La azolla, una pequeña planta acuática, tiene la capacidad de albergar a la bacteria anabaena en su tejido. Esta bacteria puede fijar nitrógeno atmosférico, convirtiéndolo en una forma utilizable por las plantas. La simbiosis entre azolla y anabaena es una solución natural y sostenible para mejorar la fertilidad del suelo y reducir la dependencia de los fertilizantes químicos, que tienen un impacto negativo en el medio ambiente.

Vinicio Alvarado Jaramillo
Editor de la RBLC

ÍNDICE




Caracterización florística y estructura del arbolado urbano de la ciudad de Loja . Darwin Pucha, Deicy Lozano, Nohemí Jumbo, Paulina Fernández, Andrés Armijos, María Fernanda Macas, Ronald Gualán, Bryan Merino.	1
Estudio fenológico de <i>Juglans neotropica</i> Diels. en Imbabura – Ecuador Hugo Vallejos - Álvarez, Gilda Vilema, Cinthya Díaz, Jorge Cué-García	23
Propagación sexual de <i>Tectona grandis</i> L., probando diferentes métodos de escarificación y sustratos Fabiola Romero, Víctor Eras-Guamán, Magaly Yaguana , Darlín Gonzalez	34
Tratamientos pre-germinativos de semillas de <i>Caesalpinia spinosa</i> (Mol) O. Kuntze con distintos sustratos en el vivero de la Universidad Nacional de Loja Sandro Reyes-Ramírez, Wilson Chalco-Sandoval, Katusca Valarezo-Aguilar, Oscar Ordóñez Gutiérrez	43
Inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino bajo condiciones de laboratorio Luis Muñoz-Chamba, Yelena Vele-Yauri, Johana Muñoz, Zhofre Aguirre	56
Estructura diamétrica de <i>Bursera graveolens</i> Triana & Planch en bosques secos: especie con potencial uso no maderable Ángel Benítez, Jhoony Chalan, Fani Tinitana, Vladimir Morocho, Luis Armijos, Omar Malagon	70
Sustentabilidad de los sistemas agroforestales de café especial de altura en el sector sur oriental del cantón Loja Marco Sánchez-Castillo, Nohemí Jumbo-Benítez, Paulina Fernández-Guarnizo	80
Generación de nitrógeno mediante la producción simbiótica <i>Azolla Anabaena</i> en el cantón Loja Edison Vásquez, Gabriela Abad-Calva, Claudia Angamarca-Angamarca, Yajahira Calle-Herrera	91
Efecto del nitrógeno bien expresado en la fase inicial del cultivo de café <i>Coffea arabica</i> L. en La Argelia, cantón Loja Edison Vásquez, Nohely Espinosa-Palacios	104
Microorganismos con potencial de bioprospección desde nichos ecológicos en la Estación Agropecuaria UTPL-Loja Darío Cruz, Débora Masache, Valeria Hidalgo, Hellen Vivanco, Lilibeth Carrión, Eddie Jaramillo, Jhoselyn Apolo, Leonardo Román	118
SECCIÓN TRABAJOS DE CAMPO	
Especies vegetales del Área de Conservación Municipal y Uso Sostenible Numbala, Palanda, Zamora Chinchipe, Ecuador Nelson Jaramillo, Gabriela Pinta, Daniel Luzón, Franco Mendoza, Jhuly Días, Robinsson Lima, Jennifer Martínez González-Quevedo, Zhofre Aguirre Mendoza	128

INDEX

Floristic characterization and structure of urban trees in the city of Loja Darwin Pucha, Deicy Lozano, Nohemí Jumbo, Paulina Fernández, Andrés Armijos, María Fernanda Macas, Ronald Gualán, Bryan Merino.	1
Phenological study of <i>Juglans neotropica</i> Diels in Imbabura - Ecuador Hugo Vallejos - Álvarez, Gilda Vilema, Cinthya Díaz, Jorge Cué-García	23
Sexual propagation of <i>Tectona grandis</i> L., testing different methods of scarification and substrates Fabiola Romero, Víctor Eras-Guamán, Magaly Yaguana, Darlín Gonzalez	34
Pre-germinative treatments of <i>Caesalpinia spinosa</i> (Mol) O. Kuntze seeds with different substrates in the Universidad Nacional de Loja's nursery Sandro Reyes-Ramírez, Wilson Chalco-Sandoval, Katusca Valarezo-Aguilar, Oscar Ordóñez Gutiérrez	43
Flammability of forest species representative of the Andean Forest under laboratory conditions Luis Muñoz-Chamba, Yelena Vele-Yauri, Johana Muñoz, Zhofre Aguirre	56
Diametric structure of <i>Bursera graveolens</i> Triana & Planch. on dry forests: Specie with potential non-timber use Ángel Benítez, Jhoony Chalan, Fani Tinitana, Vladimir Morocho, Luis Armijos, Omar Malagon	70
Sustainability of agroforestry systems of special high altitude coffee in the south-eastern sector of the Loja canton Marco Sánchez-Castillo, Nohemí Jumbo-Benítez, Paulina Fernández-Guarnizo	80
Nitrogen generation through the symbiotic production of <i>Azolla-Anabaena</i> in Loja canton Edison Vásquez, Gabriela Abad-Calva, Claudia Angamarca-Angamarca, Yajahira Calle-Herrera	91
Effect of well-expressed nitrogen in the initial phase of coffee cultivation <i>Coffea arabica</i> L. in La Argelia of the Loja canton Edison Vásquez, Nohely Espinosa-Palacios	104
Microorganisms with bioprospecting potential from ecological niches at the Estación Agropecuaria UTPL-Loja	118
FIELD WORK SECTION	
Plant species of the Numbala Municipal Conservation and Sustainable Use Area, Palanda, Zamora Chinchipe, Ecuador Nelson Jaramillo, Gabriela Pinta, Daniel Luzón, Franco Mendoza, Jhuly Días, Robinsson Lima, Jennifer Martínez González-Quevedo, Zhofre Aguirre Mendoza	128

Caracterización florística y estructura del arbolado urbano de la ciudad de Loja

Floristic characterization and structure of urban trees in the city of Loja

Darwin Pucha^{1*} 
Deicy Lozano¹ 
Nohemí Jumbo¹ 
Paulina Fernández²
Andrés Armijos¹
María Fernanda Macas¹
Ronald Gualán¹
Bryan Merino¹

¹Carrera de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.

²Carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.

*Autor para correspondencia: darwin.pucha@unl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1886>

Recibido: 06/05/2023

Aceptado: 25/06/2023

RESUMEN

El arbolado urbano proporciona servicios ecosistémicos esenciales para el desarrollo sostenible de las ciudades. No obstante, el conocimiento actual sobre los árboles urbanos en nuestra región es limitado. Por ello, este estudio se centró en caracterizar la composición florística y estructura del arbolado urbano en la ciudad de Loja, Ecuador. Para ello, se realizó un inventario exhaustivo de los árboles ≥ 5 cm DAP en las principales avenidas y parques del casco urbano de la ciudad de Loja. Se describió la composición florística a nivel taxonómico, considerando su origen y hábito de crecimiento. En la estructura se analizó los parámetros de abundancia, dominancia, índice de valor de importancia simplificado de las especies, y clases diamétricas. Además, se realizó una comparación de la estructura arbórea entre los parques y avenidas con las pruebas estadísticas no paramétricas de Kruskal-Wallis y de Wilcoxon. Como resultado de este inventario forestal se registraron 5259 individuos que corresponden a 91 especies, 67 géneros, y 35 familias con hábitos de crecimiento arbóreo, arbustivo, y palmas. La familia Fabaceae tuvo la mayor riqueza con 17 especies identificadas, seguida de las familias Myrtaceae (11 sp.) y las familias Bignoniaceae, Moraceae y Rosaceae con 5 especies cada una. De las 91 especies identificadas, se encontró que 34 (37,36%) especies fueron nativas y 57 (62,64%) fueron exóticas. *Salix humboldtiana* se destacó como la especie más abundante, seguida de *Jacaranda mimosifolia*, *Alnus acuminata*, *Vachellia macracantha*, y *Fraxinus chinensis*. Nuestros análisis también mostraron una diferencia significativa entre la abundancia ($p = <0.0001$, $F=19,06$) y dominancia ($p = <0.0001$, $F=14,19$) de parques y avenidas. Por lo tanto, es importante resaltar que un inventario forestal es una herramienta valiosa y un soporte esencial para la toma de decisiones en la planificación y gestión del arbolado urbano.

Palabras claves: caracterización florística, estructura, inventario forestal, árboles urbanos, Loja, abundancia, conservación.

ABSTRACT

Urban trees provide essential ecosystem services for the sustainable development of cities. However, current knowledge about urban trees in our region is limited. Therefore, this study focused on characterizing the floristic composition and structure of urban trees in the city of Loja, Ecuador. For this, a comprehensive inventory of trees ≥ 5 cm DBH (Diameter at Breast Height) on the main avenues and parks of the urban area of Loja was carried out. The floristic composition was described at the taxonomic level, considering its origin and growth habit. In the structure, parameters of abundance, dominance, simplified index of species importance, and diameter classes were analyzed. In addition, a comparison of the tree structure between parks and avenues was made using the non-parametric Kruskal-Wallis and Wilcoxon statistical tests. As a result of this forest inventory, 5259 individuals were recorded, corresponding to 91 species, 67 genera, and 35 families with tree, shrub, and palm growth habits. The Fabaceae family had the highest richness with 17 species identified, followed by the Myrtaceae (11 sp.) and Bignoniaceae, Moraceae and Rosaceae with 5 species each family. Of the 91 identified species, 34 (37.36%) were found to be native and 57 (62.64%) were exotic. *Salix humboldtiana* stood out as the most abundant species, followed by *Jacaranda mimosifolia*, *Alnus acuminata*, *Vachellia macracantha* and *Fraxinus chinensis*. Our analyses also showed a significant difference between the abundance ($p = <0.0001$, $F=19.06$) and dominance ($p = <0.0001$, $F=14.19$) of parks and avenues. Therefore, it is important to highlight that a forest inventory is a valuable tool and an essential support for decision-making in the planning and management of urban trees.

Keywords: floristic characterization, structure, forest inventory, urban trees, Loja, abundance, conservation.

INTRODUCCIÓN

Los árboles son un componente clave de los ecosistemas urbanos, estudios han demostrado que la diversidad de especies de árboles urbanos es importante para la provisión de servicios ecosistémicos (Gómez-Baggethun et al., 2013; Hirokawa, 2011) y la conservación de la biodiversidad (McPhearson et al., 2018; Hirokawa, 2011). Además, estudios recientes a nivel global han demostrado la importancia de los árboles urbanos en la mitigación del cambio climático, secuestro de carbono, la mejora de la calidad del aire, la reducción de la contaminación (Nowak et al., 2013; McPherson et al., 2015; Wang et al., 2019), participan en la reducción de escorrentía superficial (Martínez-Trinidad et al., 2021) y aportan en el mantenimiento de la biodiversidad urbana (Reyes y Gutiérrez, 2010). Además de brindar áreas para el esparcimiento de la población (Velasco-Bautista et al., 2013), demostrando que los árboles urbanos mejoran la salud humana y el bienestar psicológico (Grahn & Stigsdotter, 2003; Kuo, 2003).

En ese sentido, las características florísticas y estructurales son importantes en el conocimiento del estado ecológico y las necesidades de manejo, así como la planificación del manejo y conservación de los recursos forestales (Méndez y Saenz, 1986). Por lo que, la caracterización florística de los árboles urbanos es esencial como información de referencia para la planificación y gestión del arbolado urbano. Facilitando el reconocimiento de sus características, composición, tamaño, importancia, estado físico y sanitario, así como el nivel de riesgo y su ubicación (Morgenroth y Östberg, 2017), con la finalidad de determinar la situación actual y las condiciones en las que se encuentran (Rivas-Torres, 2001). Existiendo una literatura bastante amplia que describe la diversidad y composición del arbolado urbano en diferentes ciudades y países (Checa-Artasu, 2016; Maldonado-Bernabé et al., 2019; Moussa et al., 2020; Ortíz y Luna, 2019).

A nivel Nacional, existen estudios limitados sobre la caracterización florística e importancia de los árboles urbanos como proveedores de servicios ecosistémicos. Sin embargo, algunos estudios han realizado el levantamiento de la línea base del inventario y la caracterización florística de árboles urbanos en algunas ciudades como Quito (Aragundi, 2020), Tena (Romero, 2021), Quevedo (Fuentes, 2016), Ibarra (Farinango,

2020) y Guayaquil (Vásquez, 2018). Además, estudios recientes sobre el desarrollo de inventario forestal urbano en la ciudad de Quito (Aragundi, 2020) y Portoviejo (Cardenas, 2020), determinaron que los árboles urbanos son importantes para la mitigación del cambio climático y la mejora de la calidad del aire.

Sin embargo, muchas de las especies de los diferentes inventarios son introducidas (exóticas) (Enriquez, 2019; Garrido et al., 2023; Tito, 2019), por lo que, es importante considerar la adaptación de las especies nativas a ecosistemas urbanos y evaluar su estado fitosanitario, partiendo de que los árboles nativos suelen ser más adaptados a las condiciones climáticas y edafológicas de un área específica, mientras que las especies exóticas pueden tener un impacto negativo en los ecosistemas urbanos (Alvey, 2006; Oehri et al., 2017). Chaffin et al. (2016) consideran que las especies exóticas pueden tener un impacto negativo sobre las especies y ecosistemas nativos, representando una grave amenaza a la biodiversidad. De igual forma, Carvallo (2009) argumenta que la presencia de especies exóticas hace que los ecosistemas cada vez sean más similares entre sí, generando homogeneización biótica con pérdida de identidad de los ecosistemas nativos.

En resumen, los árboles urbanos son un componente esencial de los ecosistemas urbanos, en los que su composición y la diversidad están adquiriendo cada vez más relevancia con fines investigativos, académicos, de planificación urbana y de sostenibilidad (Dangulla et al., 2020). Por lo cual bajo ese concepto conocer la línea base sobre el arbolado urbano, su caracterización, adaptación de especies y su estado fitosanitario son importantes para comprender la relevancia de los árboles urbanos como proveedores de servicios ecosistémicos en la ciudad de Loja. Lo cual permitirá la toma de decisiones adecuadas en la gestión y conservación del patrimonio forestal urbanos y su contribución a la sostenibilidad de la ciudad.

Con estos antecedentes, el presente estudio tuvo como objetivos: i) realizar la caracterización de la composición florística, y ii) determinar la estructura del arbolado urbano de parques y avenidas de la ciudad de Loja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en los principales parques y avenidas de la ciudad de Loja (Figura 1). La ciudad de Loja está ubicada en la región interandina o sierra al sur de Ecuador entre las latitudes Sur: -3.99313 y -79.20422, con una superficie de 6038,88 ha distribuida en un rango altitudinal de 2100 a 2700 m s.n.m. (Cornejo y Zorrilla, 2013; PDOT GADM Loja, 2021). El clima de la ciudad de Loja es temperado-ecuatorial subhúmedo, caracterizado por una temperatura media del aire de 16 °C y sus valores de precipitación fluctúan alrededor de los 900 mm/año, con una humedad relativa media del aire del 75 %, con una velocidad del viento promedio anual 3,0 m/s con predominancia en dirección norte; desde el punto de vista de la clasificación de Zonas de Vida o Formaciones Vegetales de Holdridge, pertenece a la formación bosque seco Montano Bajo (bs-MB) (PNUMA et al., 2007; PDOT GADM Loja, 2021), y de acuerdo al MAE (2012) está entre una transición de Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02), y el Bosque siempreverde montano de Catamayo-Alamor (BsMn04). La ciudad de Loja cuenta con una población de aproximadamente 170,280 habitantes (INEC, 2018), y es un referente como ciudad ecológica por su conservación y cuidado ambiental a nivel nacional (Aguirre et al., 2022).

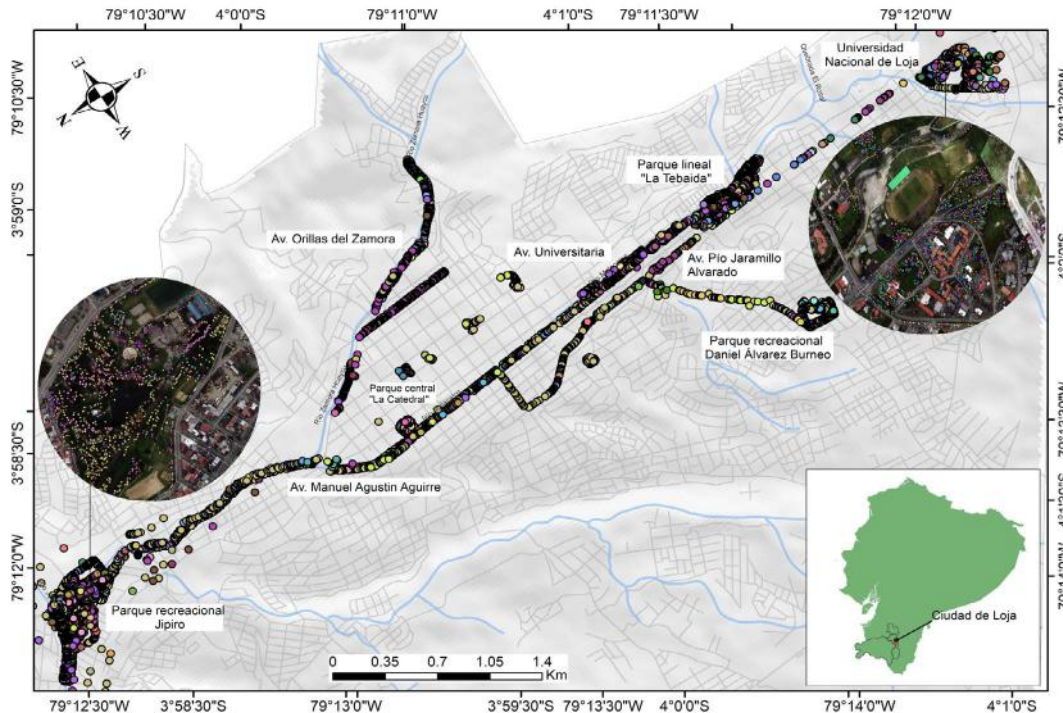


Figura 1. Arbolado urbano de la ciudad de Loja, Ecuador. Los puntos de colores indican las diferentes especies de parques y avenidas. Ver mapa digital en <https://arbolqr.unl.edu.ec/>

Muestreo

Para el levantamiento de la línea base del inventario de árboles urbanos de la ciudad de Loja se consideraron los siguientes parques y avenidas como puntos de muestreo:

- Parques: Campus de la Universidad Nacional de Loja (UNL), Parque Lineal La Tebaida, Parque de Los Molinos, Parque Central, Parque de La Música, Plaza Santo Domingo, Plaza Independencia San Sebastián, Parque Infantil Bernabé Luís, Parque Simón Bolívar, Parque Recreacional Jipiro, Parque Daniel Álvarez.
- Avenidas: Av. Pío Jaramillo Alvarado, Av. Alonso de Mercadillo, Av. Emiliano Ortega, Av. Orillas del Zamora, Av. Manuel Agustín Aguirre, Av. Orillas del Zamora, Av. Salvador Bustamante Celi, Av. Universitaria.

Análisis de datos

El arbolado urbano de la ciudad de Loja presente en parques y avenidas fue descrito a nivel de composición florística y estructura.

Caracterización de la composición florística: Para conocer las especies del arbolado urbano en las avenidas y parques de la ciudad de Loja se realizó un análisis descriptivo de la clasificación taxonómica y de la procedencia (nativa y exótica).

Caracterización estructural: Para comparar las variables de estructura entre las avenidas y parques se calcularon los parámetros: densidad absoluta (ind.), Densidad Relativa (DR%), Dominancia Relativa (DmR%) e Índice de Valor de Importancia simplificado (IVIs). Los parámetros ecológicos se calcularon aplicando las fórmulas planteadas por Ellenberg & Mueller-Dombois (1974), Pielou (1975), que se presentan en la Tabla 1.

El índice de valor de importancia define cuáles de las especies presentes contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema (Cottam & Curtis, 1956). Este valor se obtiene mediante la sumatoria de la frecuencia relativa, la densidad y la dominancia relativa. Sin embargo, en el presente estudio, se midió la densidad y dominancia de las especies para determinar el IVIs.

Tabla 1. Fórmulas para determinar los parámetros estructurales

Densidad relativa (%)	$DR = \left(\frac{\text{Número de individuos por especie}}{\text{Número total de individuos}} \right) * 100$
Dominancia relativa (%)	$DmR = \left(\frac{\text{Área basal por especie}}{\text{Área basal total de individuos}} \right) * 100$
Índice de valor de importancia simplificado	$IVIs = (DR + DmR) / 2$

También se realizaron histogramas de distribución de la abundancia y área basal por la clase diamétrica del arbolado urbano. Posteriormente, se comparó las variables estructurales de abundancia y área basal de las especies del arbolado urbano de avenida y parques, mediante el análisis no paramétrico de Kruskal Wallis (al no cumplir con el supuesto de normalidad) y la prueba de comparación de medias de Wilcoxon con ajuste de Bonferroni, y los resultados se presentan en los diagramas de caja (*boxplot*) para cada una de las variables. El número de muestras (especies) fueron en total de 182 (n=91 especies x 2 sitios: avenidas y parques). El análisis de datos se realizó a través de hojas de cálculo en Microsoft Excel y el entorno de programación estadística R (R Core Team, 2021).

■ RESULTADOS

Composición florística del arbolado urbano

En el inventario forestal de la ciudad de Loja, se registró un total de 5259 individuos con un DAP \geq 5 cm. Estos individuos pertenecen a 91 especies, abarcando 67 géneros y 35 familias con hábitos de crecimiento de árboles, arbustos y palmas (Tabla 2). Se encontraron 84 especies de árboles que representan el 91 %, 5 (6 %) de arbustos, y 3 (3 %) de palmas. La familia Fabaceae fue la más rica con 17 especies identificadas, seguida por Myrtaceae con 11 especies, las familias Bignoniaceae, Moraceae y Rosaceae con 5 especies cada una. Las 46 especies restantes se distribuyeron en otras familias. Dentro de las 91 especies identificadas, se encontró que 34 (37,36 %) fueron nativas y 57 (62,64 %) fueron exóticas (Tabla 3). En las especies nativas 32 (94,12 %) fueron latifoliadas, y 2 (5,88 %) coníferas, mientras que en las especies exóticas 52 (91,23 %) fueron latifoliadas, y 5 (8,77 %) coníferas. En general, el arbolado tuvo 84 (92,30 %) especies latifoliadas, y 7 (7,70 %) coníferas.

Tabla 2. Composición florística del arbolado urbano de la ciudad de Loja, según el sitio y hábito de crecimiento.

Sitio	Hábito de crecimiento	Individuos	Familias	Género	Especies
Parques	Árbol	3283	31	56	77
	Arbusto	14	3	3	3
	Palma	133	1	3	3
	Total	3430	35	62	83
Avenidas	Árbol	1801	25	39	47
	Arbusto	13	2	2	2
	Palma	15	1	2	2
	Total	1829	27	43	51
TOTAL		5259	35	67	91

Tabla 3. Lista de especies del arbolado urbano de la ciudad de Loja, según procedencia (exótico y nativo) y área verde (avenida y parque).

Familia - nombre científico	Avenida (nro. individuos)		Parque (nro. individuos)		Total (nro. ind.)
	Exótico	Nativo	Exótico	Nativo	
Adoxaceae	7		24		31
<i>Sambucus nigra</i> L.	7		24		31
Anacardiaceae		78		283	361
<i>Anacardium occidentale</i> L.				1	1
<i>Schinus molle</i> L.		78		282	360
Annonaceae	2		5		7
<i>Annona cherimola</i> Mill.	2		5		7
Araliaceae				2	2
<i>Oreopanax ecuadorensis</i> Seem.				1	1
<i>Oreopanax rosei</i> Harms.				1	1
Araucariaceae			1		1
<i>Araucaria columnaris</i> (G.Forst.) Hook.			1		1
Arecaceae	15		133		148
<i>Parajubaea cocoides</i> Burret.			1		1
<i>Phoenix canariensis</i> Chabaud.	4		42		46
<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.	11		90		101
Asparagaceae			7		7
<i>Yucca guatemalensis</i> Baker.			7		7
Betulaceae		113		297	410
<i>Alnus acuminata</i> Kunth.		113		297	410
Bignoniaceae	251	10	229	20	510
<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don				5	5
<i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O. Grose.				7	7
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don.	251		225		476
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.			4		4
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth		10		8	18
Casuarinaceae	35		18		53
<i>Casuarina equisetifolia</i> J.R. Forst. & G. Forst.	35		18		53
Cupressaceae	44		270		314
<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	44		266		310
<i>Cupressus sempervirens</i> L.			1		1
<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.			1		1

Familia - nombre científico	Avenida (nro. individuos)		Parque (nro. individuos)		Total (nro. ind.)
Euphorbiaceae	3		5		8
<i>Euphorbia cotinifolia</i> L.	3		5		8
Fabaceae	215	18	492	36	761
<i>Acacia aulacophylla</i> R.S.Cowan & Maslin.			2		2
<i>Acacia baileyana</i> F. Muell.			5		5
<i>Acacia dealbata</i> A. Cunn.	10		18		28
<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.	11				11
<i>Acacia melanoxylon</i> R. Br.	80		96		176
<i>Acacia retinoides</i> Schltr.			5		5
<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze.			7		7
<i>Erythrina edulis</i> Pos.-Arang.		14	16		30
<i>Erythrina smithiana</i> Krukoff		4	1		5
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.			2		2
<i>Indigofera</i> sp.			1		1
<i>Inga edulis</i> Mart.			11		11
<i>Inga insignis</i> Kunth.			1		1
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit.	6		59		65
<i>Prosopis</i> sp.			1		1
<i>Senna canescens</i> (L.) Roxb.	1		3		4
<i>Vachellia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	107		300		407
Flacourtiaceae			3		3
<i>Dovyalis hebecarpa</i> (Gardner) Warb.			3		3
Juglandaceae			10		10
<i>Juglans neotropica</i> Diels.			10		10
Lauraceae	3		1	3	7
<i>Ocotea</i> sp.			1		1
<i>Persea americana</i> Mill.	3		3		6
Lythraceae	35		59		94
<i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	35		59		94
Magnoliaceae	1		27		28
<i>Magnolia grandiflora</i> L.	1		27		28
Malvaceae	8	5	21		34
<i>Ceiba trischistandra</i> (A.Gray) Bakh.	5		21		26
<i>Heliocarpus americanus</i> L.	6				6
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	2				2
Meliaceae	14		125		139
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	3		97		100
<i>Cedrela odorata</i> L.	11		28		39
Moraceae	21	1	7	40	69
<i>Castilla elastica</i> Cerv.	12				12
<i>Ficus benjamina</i> Willd.	9		5		14
<i>Ficus microcarpa</i> L. f.			1		1
<i>Ficus</i> sp.			1		1
<i>Morus alba</i> L.		1	40		41
Muntingiaceae	1		5		6
<i>Muntingia calabura</i> L.	1		5		6
Myrtaceae	25	1	308	23	357
<i>Callistemon lanceolatus</i> (Sm.) Sweet.	13		197		210
<i>Callistemon salignus</i> Sm.			8		8
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	1		45		46
<i>Eucalyptus saligna</i> Sm.			39		39
<i>Eucalyptus</i> sp.	11				11
<i>Myrcia</i> sp.			1		1
<i>Myrcianthes hallii</i> (O.Berg) McVaugh.		1	8		9
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh.			3		3

Familia - nombre científico	Avenida (nro. individuos)		Parque (nro. individuos)		Total (nro. ind.)
<i>Psidium guajava</i> L.				10	10
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston.			18		18
<i>Syzygium paniculatum</i> Gaertn.				2	2
Oleaceae	263	27	155	28	473
<i>Chionanthus pubescens</i> Kunth.		27		28	55
<i>Fraxinus americana</i> L.	7		23		30
<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.	256		132		388
Pinaceae	2		21		23
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	2		11		13
<i>Pinus radiata</i> D. Don.			10		10
Platanaceae	1		8		9
<i>Platanus occidentalis</i> Hook. & Arn.	1		8		9
Podocarpaceae				5	5
<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.				4	4
<i>Podocarpus sprucei</i> Parl.				1	1
Proteaceae	14		17		31
<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex R. Br.	14		17		31
Rosaceae	4	10	31	15	60
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	4		31		35
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (DC.) Lindl.		2			2
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch.				3	3
<i>Prunus salicifolia</i> Kunth.		5			5
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.		3		12	15
Rutaceae			5		5
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck.			5		5
Salicaceae	585		656		1241
<i>Populus nigra</i> L.	31		5		36
<i>Salix alba</i> L.			1		1
<i>Salix babylonica</i> L.	1		25		26
<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	553		625		1178
Sapindaceae		2		10	12
<i>Sapindus saponaria</i> L.		2		10	12
Sapotaceae			17		17
<i>Pouteria locuma</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze.			17		17
Solanaceae		11	4		15
<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schltdl.		11			11
<i>Solanum mauritianum</i> Scop.			4		4
Styracaceae	4		4		8
<i>Styrax subargenteus</i> Sleumer.	4		4		8
TOTAL	1498	331	2448	982	5259

Estructura del arbolado urbano

En relación con la estructura del arbolado urbano, las especies con mayor abundancia fueron *Salix humboldtiana*, *Jacaranda mimosifolia*, *Alnus acuminata*, *Vachellia macracantha* y *Fraxinus chinensis*, las cuales en conjunto representan el 54 % de todos los individuos registrados (Figura 2a). En cuanto a la dominancia de las especies, determinada por el área basal de los árboles, se observó que las especies con mayor área basal fueron *Salix humboldtiana*, *Schinus molle*, *Cupressus macrocarpa*, *Jacaranda mimosifolia* y *Fraxinus chinensis*. Estas especies en conjunto suman un área basal de 555,80 m² en los árboles urbanos de la ciudad de Loja (Figura 2b). También, se determinó que las familias con mayor abundancia fueron Salicaceae, Fabaceae y Bignoniaceae que en conjunto agrupan 48 % de todos los individuos. Mientras que, las familias que suman la mayor área basal fueron Salicaceae, Anacardiaceae y Cupressaceae en total de 472,35 m².

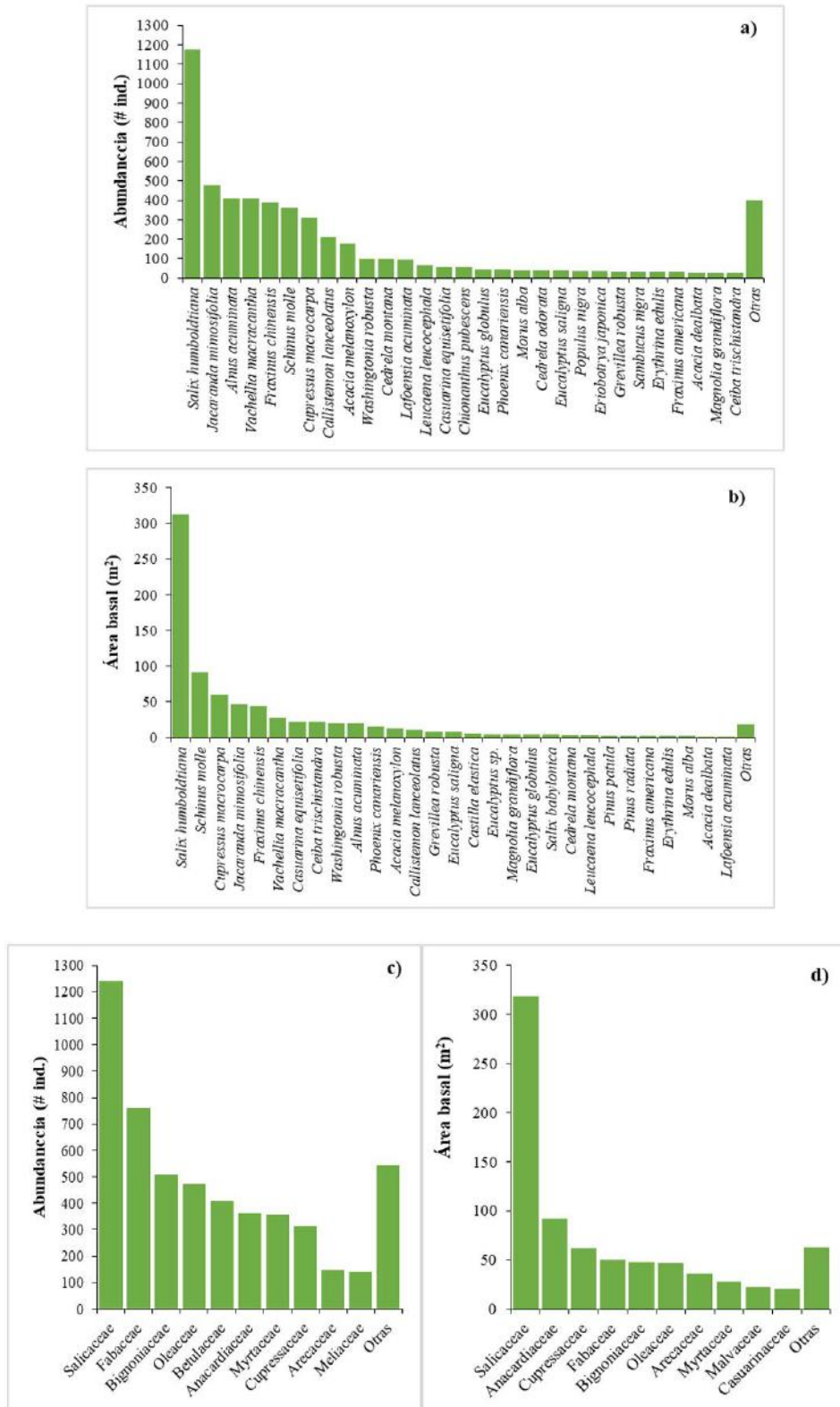


Figura 2. Abundancia por especie (a), área basal por especie (b), distribución de la abundancia por familia (c) y área basal por familia (d), del arbolado urbano de la ciudad de Loja, Ecuador.

Los resultados de las variables abundancia y área basal en función de su ubicación en parques y avenidas mostraron

diferencias significativas. Así, en relación a la abundancia se encontró una alta diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.0001$, $F=19,06$) entre avenidas (20 ± 7 individuos) y parques (38 ± 9 individuos) (Figura 3a), y así mismo en el área basal ($p < 0.0001$, $F=14,19$), en promedio se determinó $3,65 \pm 1,81 \text{ m}^2$ y $4,99 \pm 1,94 \text{ m}^2$ de área basal en las especies de las avenidas y parques, respectivamente (Figura 3b).

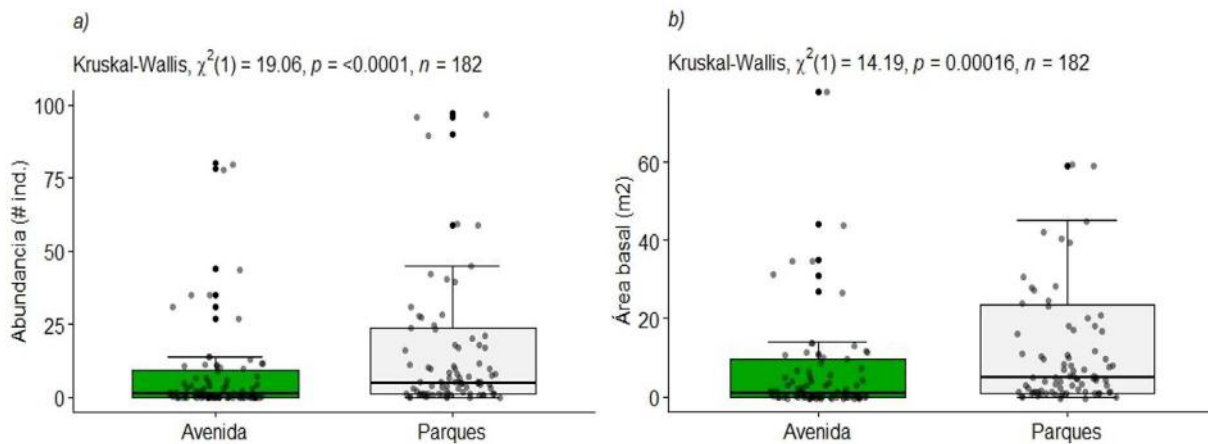


Figura 3. Diagramas de caja comparativos de la estructura arbórea de abundancia (a), y área basal (b) de las especies entre los parques y avenidas de la ciudad de Loja, Ecuador.

Estructura diamétrica del arbolado urbano de la ciudad de Loja

La estructura diamétrica del arbolado urbano mostró una mayor concentración de individuos en las primeras clases diamétricas I, II, III, y IV, que representan el 72,50 % del total de las ocho clases diamétricas. Estas clases diamétricas abarcan árboles entre 5 a 45 cm de DAP (Figura 4). Por otro lado, las clases diamétricas superiores a 45 cm de DAP mostraron un reducido número de individuos (Figura 4a).

En cuanto al área basal, los árboles se concentraron principalmente en las últimas clases diamétricas V, VI, VII, y VIII que representan el 74,08 % del total. Estas clases diamétricas mostraron árboles con diámetros entre 45 cm y más de 75 cm (Figura 4b). Cabe mencionar que en la última clase de diámetro se agrupa el 39% (307,33 m²) de área basal total de los árboles urbanos.

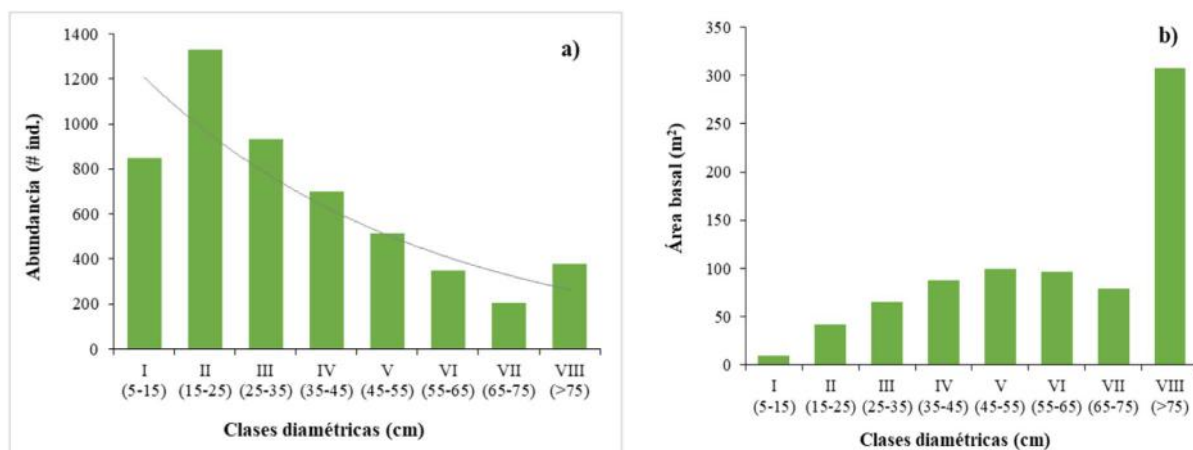


Figura 4. Distribución por clases diamétricas de la estructura arbórea: Abundancia (a), y área basal (b) del arbolado urbano de la ciudad de Loja, Ecuador.

Parámetros estructurales

Los parámetros estructurales de las diez principales especies del arbolado urbano evidencian que la mayor parte de las áreas verdes en la ciudad están dominadas por especies exóticas. Las especies con los IVIs más altos de todo el arbolado urbano de la ciudad de Loja fueron *Salix humboldtiana*, *Schinus molle*, y *Jacaranda mimosifolia* (Tabla 4).

En las avenidas de la ciudad, las especies con mayor IVIs fueron *Salix humboldtiana*, *Fraxinus chinensis*, y *Jacaranda mimosifolia*, mientras que, en los parques, las especies con mayores IVIs fueron *Salix humboldtiana*, *Schinus molle*, y *Cupressus macrocarpa* (Tabla 5).

Tabla 4. Parámetros estructurales de las diez especies sobresalientes del arbolado urbano de la ciudad de Loja, Ecuador.

N.	Familia	Especies	Procedencia	Abundancia (# ind.)	AB* (m ²)	DR* (%)	DmR* (%)	IVIs* (%)
1	Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Exótico	1178	313,04	22,40	39,80	31,10
2	Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.	Nativa	360	91,85	6,85	11,68	9,26
3	Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don.	Exótico	476	46,74	9,05	5,94	7,50
4	Cupressaceae	<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	Exótico	310	60,45	5,89	7,69	6,79
5	Oleaceae	<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.	Exótico	388	43,73	7,38	5,56	6,47
6	Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Exótico	407	27,72	7,74	3,52	5,63
7	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunth.	Nativo	410	19,96	7,80	2,54	5,17
8	Myrtaceae	<i>Callistemon lanceolatus</i> (Sm.) Sweet.	Exótico	210	9,94	3,99	1,26	2,63
9	Fabaceae	<i>Acacia melanoxyton</i> R. Br	Exótico	176	12,84	3,35	1,63	2,49
10	Arecaceae	<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.	Exótico	101	20,05	1,92	2,55	2,24
Total				4016	646,30	76,36	82,18	79,27
Otras especies				1243	140,14	23,64	17,82	20,73

*AB: área basal; DR: densidad relativa; DmR: dominancia relativa; IVIs: índice de valor de importancia.

Tabla 5. Parámetros estructurales de las diez especies sobresalientes en avenidas y parques del arbolado urbano de la ciudad de Loja, Ecuador.

Avenidas								
N.	Familia	Especies	Procedencia	Abundancia (# ind.)	AB (m ²)	DR (%)	DmR (%)	IVI (%)
1	Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Exótico	553	156,33	30,24	47,07	38,65
2	Oleaceae	<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.	Exótico	256	32,54	14,00	9,80	11,90
3	Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don.	Exótico	251	26,17	13,72	7,88	10,80
4	Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.	Nativo	78	33,02	4,26	9,94	7,10

Avenidas

N.	Familia	Especies	Procedencia	Abundancia (# ind.)	AB (m ²)	DR (%)	DmR (%)	IVI (%)
5	Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Exótico	107	10,08	5,85	3,03	4,44
6	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunth.	Nativo	113	8,11	6,18	2,44	4,31
7	Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i> J.R. Forst. & G. Forst.	Exótico	35	15,50	1,91	4,67	3,29
8	Fabaceae	<i>Acacia melanoxylon</i> R. Br.	Exótico	80	4,10	4,37	1,24	2,80
9	Cupressaceae	<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	Exótico	44	6,63	2,41	2,00	2,20
10	Moraceae	<i>Castilla elastica</i> Cerv.	Exótico	12	6,09	0,66	1,83	1,24
Total				1529	298,57	83,60	89,90	86,75
Otras especies				300	33,55	16,40	10,10	13,25

Parques

N.	Familia	Especies	Procedencia	Abundancia (# ind.)	AB (m ²)	DR (%)	DmR (%)	IVIs (%)
1	Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Exótico	625	156,70	18,22	34,49	26,36
2	Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.	Nativo	282	58,83	8,22	12,95	10,59
3	Cupressaceae	<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	Exótico	266	53,81	7,76	11,84	9,80
4	Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Exótico	300	17,64	8,75	3,88	6,31
5	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunth.	Nativo	297	11,84	8,66	2,61	5,63
6	Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don.	Exótico	225	20,57	6,56	4,53	5,54
7	Myrtaceae	<i>Callistemon lanceolatus</i> (Sm.) Sweet.	Exótico	197	9,59	5,74	2,11	3,93
8	Oleaceae	<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.	Exótico	132	11,19	3,85	2,46	3,16
9	Arecaceae	<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.	Exótico	90	15,61	2,62	3,44	3,03
10	Fabaceae	<i>Acacia melanoxylon</i> R. Br.	Exótico	96	8,73	2,80	1,92	2,36
Total				2510	364,53	73,18	80,24	76,71
Otras especies				920	89,79	26,82	19,76	23,29

*AB: área basal; DR: densidad relativa; DmR: dominancia relativa; IVI: índice de valor de importancia.

■ DISCUSIÓN

Los estudios orientados a la composición y la estructura florística normalmente han tendido a enfocarse más en los bosques nativos que en áreas urbanas; no obstante, investigaciones realizadas en las últimas décadas sobre árboles urbanos a nivel global y regional, incluyendo Ecuador, han generado hallazgos significativos (Aragundi, 2020; Dangulla et al., 2020; Minga y Verdugo, 2016; Farinango, 2020; Glaeser, 2006; Alanís, 2005; Forrest & Konijnendijk, 2005).

Composición florística

En la composición florística de la ciudad de Loja, la familia Fabaceae resultó ser la más abundante, seguida de las familias Myrtaceae, Bignoniaceae, Moraceae y Rosaceae. Esto coincide con los hallazgos reportados por Aguirre y Yaguana (2013) en su estudio de parques y avenidas de Loja. Por otro lado, existieron 17 familias menos abundantes, cada una con una única especie. Cabe destacar la notable predominancia de la familia Fabaceae en la ciudad de Loja, la cuál está relacionada con los estudios sobre la diversidad de la flora ecuatoriana realizados por Neill (2017) sosteniendo que la familia Fabaceae es la cuarta familia más diversa en la flora ecuatoriana con 541 especies nativas.

Farinango (2020) de igual forma encontró que la familia con mayor número de especies fue Fabaceae, seguida de Bignoniaceae y Myrtaceae en su estudio para determinar la relación de emisión y captura de carbono en el arbolado de cuatro avenidas de la ciudad de Ibarra. Esto se debe a la gran capacidad de adaptabilidad de estas familias a diferentes condiciones ecológicas, fácil propagación, y poca exigencia en manejo silvicultural; por tanto, son las más frecuentes en la arborización urbana (Farinango, 2020). Jorgensen & León Yáñez (1999) argumentan que la plasticidad de algunas familias en la expresión de hábito que ellas despliegan se puede ver como una ventaja en el contexto evolutivo ofreciendo diversidad no solamente en número de especies, sino también en el número de hábitos. Estudios de árboles urbanos en Guayaquil, Ecuador (Vásquez, 2018) mostraron también un patrón similar con la mayor abundancia de la familia Fabaceae. Este patrón de mayor abundancia de la familia Fabaceae se reportó también en ciudades de otros países como Monterrey, México con una representatividad de 10 especies, de las cuales 9 de ellas fueron nativas (Alanís, 2005). Así mismo, en São Paulo- Brasil (Borgianni et al., 2016) se reportó que las especies más abundantes fueron de la familia Fabaceae. No obstante, en el arbolado de las ciudades de Quito (Aragundi, 2020) y Quevedo (Fuentes, 2016) la familia Fabaceae fue una de las menos representativas.

Procedencia del arbolado urbano según su origen

El arbolado de la ciudad de Loja está dominado por especies exóticas que representan el 63 % (57 sp.), siendo casi el doble de las nativas que representan un 37 % (34 sp.), dato que concuerda con lo que reportó Aguirre y Yaguana para la ciudad de Loja en 2013, y Farinango (2020), en su estudio en avenidas de la ciudad de Ibarra.

La introducción de especies exóticas puede llegar a generar impactos a la biota nativa, lo que inicialmente pueden ser muy leve, pero a largo plazo podría causar la extinción de especies nativas por competencia de recursos, depredación, transferencia de patógenos, hibridación y alteración de hábitat (Gutiérrez, 2006). Molina (2017) afirma que en la urbe predominan especies introducidas, las cuales además de no contribuir al fortalecimiento de la estructura ecológica principal, generan daños severos a las redes de servicios públicos, que a largo plazo se traducen en altos costos que la administración pública y los particulares deben asumir.

Por su parte, Frassón et al. (2021) argumentan que el conocimiento de las especies nativas es vital para su manejo y promoción de su uso. En un estudio reciente, Rubio (2022) examinó la contribución de las especies nativas y exóticas del arbolado urbano en la ciudad de Rancagua, Chile, destacando la importancia de las especies nativas en procesos de polinización y dispersión de frutos y semillas. Las especies nativas

a diferencia de las introducidas producen alimento para la avifauna, mamíferos y amplia variedad de insectos, por tanto las especies nativas fortalecen la estructura ecológica principal de una ciudad (Vargas y Molina 2007). Este punto de vista es reforzado así mismo por Rubio (2022) quien manifiesta que las especies nativas han coevolucionado con numerosas especies de fauna local, manteniendo la biodiversidad en un sentido amplio. Además, destaca que son especies que se adaptan al clima regional y exigen bajos requerimientos para un establecimiento.

Estructura del arbolado urbano

Salix humboldtiana, comúnmente conocida como Sauce, es la especie arbórea dominante en la ciudad de Loja, constituyendo el 22% (1178 individuos) de todos los árboles urbanos (5259 individuos) de la ciudad registrados en este estudio. Esta especie es particularmente más visible en las proximidades de los ríos Zamora y Malacatos, así como en otras zonas riparias de la ciudad. Dada esta abundancia de Sauces se podría llamar a Loja como la “ciudad de los Sauces”. Sin embargo, cabe resaltar que, a pesar de su presencia dominante, el Sauce no es una especie nativa de Ecuador. De acuerdo con Orellana et al. (2022), su origen radica en Chile y Argentina. Por su parte, Tello (2016) en su estudio de inventario y evaluación de la vegetación en las riberas del río Zamora de la ciudad de Loja también encontró que *Salix humboldtiana* es la especie más dominante, seguida de *Alnus acuminata*, y *Jacaranda mimosifolia*. Además, en la ciudad de Cuenca, Jimenez y Peralta (2019) destacan que *Salix humboldtiana* es la especie con mejor estado ecológico y con mayor conservación del parque “El Paraíso”, mientras que Minga y Verdugo (2016) mencionan que las especie que más ocupan áreas de río Yanuncay son especies exóticas como *Salix humboldtiana*. La supervivencia de esta especie se atribuye a su notable adaptabilidad a áreas inundables, su capacidad para diseminar semillas eficazmente, su flexibilidad frente a diversas condiciones ecológicas y su rápida tasa de crecimiento. Estas características le han permitido prosperar en entornos dinámicos (Liotta, 2001). *Salix humboldtiana* se introdujo desde las regiones subtropicales y templadas, particularmente en las áreas de bosque ripario, con el objetivo de recrear entornos riparios. Sin embargo, se debe considerar otras especies que también podrían contribuir de manera efectiva a la restauración de estas zonas (Hauenstein, 2005). *Alnus acuminata* por ejemplo es otra especie que se desarrolla muy bien en la ciudad de Loja en zonas riparias del río Zamora, Parque Lineal la Tebaida, Parque Daniel Álvarez, Jipiro, etc.

Por otro lado, respecto al área basal, *Salix humboldtiana* también fue la especie que mayor representatividad tuvo, seguida por *Schinus molle*, *Jacaranda mimosifolia*, *Fraxinus chinensis*, y *Cupressus macrocarpa*, sumando un total de 463,93 m² entre estas seis especies más abundantes. Rivera (2021) explica que la dominancia basal se relaciona estrechamente con la abundancia de especies; en otras palabras, con el número de individuos por especie y con su diámetro. Este hallazgo, implica que la presencia de algunos individuos con dimensiones superiores a 70 cm de diámetro puede provocar una relación inversa entre abundancia y dominancia. Es decir, a pesar de que ciertas especies pueden tener un número mayor de individuos, no necesariamente serán más dominantes que otras especies con menor cantidad de individuos dentro del patrimonio arbóreo total. Useni et al. (2019) manifiesta que el área basal es mayor en árboles que se encontraron dentro de zonas urbanas que en las zonas periurbanas de la ciudad de Lubumbashi, Congo; afirmando que en las áreas urbanas existen árboles más viejos, mientras que los espacios periurbanos muestran una disposición a la regeneración. Saavedra-Romero et al. (2019) enfatiza que los altos valores de dominancia de área basal, frecuencia y dimensiones (mayor altura, área superficial y volumen compuesto de copa), son de gran importancia estructural dentro del arbolado urbano, estos parámetros permiten tener valores más precisos para un mejor manejo y planificación de las áreas verdes en las ciudades.

López-López et al. (2018) afirman que los bosques urbanos de las ciudades suelen estar compuestos principalmente por arbolado de alineación (avenidas) y de áreas verdes (parques). En nuestro estudio, comprobamos que hay una diferencia significativa en la estructura (abundancia y dominancia) del arbolado urbano entre los parques y las avenidas. Estas diferencias pueden atribuirse a varios factores, incluyendo la selección de especies (Rodríguez et al., 2018), factores genéticos (Andrianjara et al., 2021), y la función

ecológica que desempeñan (Decurcio, 2013; Machado-Carcasés, et al., 2016). Es importante señalar que las especies cultivadas en parques y avenidas parecen estar determinadas en gran medida por sus valores ornamentales. Sin embargo, para los árboles, su selección a menudo prioriza su capacidad para proporcionar sombra en parques, parterres y jardines tanto públicos como privados (Rodríguez et al., 2018). Su importancia se extiende más allá de su contribución al ambiente natural, ya que también facilitan una interacción social más saludable (Pérez y López, 2015).

A pesar de estas observaciones, Rodríguez et al. (2016) advierten que aún existen áreas donde la planificación es deficiente y faltan planes de manejo integral de la vegetación. Esto puede llevar a la plantación de árboles en lugares inapropiados, la selección inadecuada de especies vegetales y deficiencias en el mantenimiento de los árboles.

Estructura diamétrica del arbolado urbano de la ciudad de Loja

En términos de abundancia, la mayoría de los individuos se concentran en las primeras clases diamétricas I, II, III y IV, las cuales representan el 72,41 % del total. Esto engloba a los árboles con un DAP entre 5 y 45 cm. Es notable la representatividad de la clase diamétrica II, que comprende árboles de 15 a 25 cm, con una abundancia de 1331 individuos, equivalente al 25,3 % del total. Las clases diamétricas superiores a DAPs de 45 cm contienen menos individuos. Estos hallazgos concuerdan con los resultados reportados por Restrepo et al. (2015) en su estudio sobre la incidencia del deterioro progresivo del arbolado urbano en el valle de Aburrá, Colombia, donde el 32 % de los árboles pertenecía a la clase diamétrica II (12,5 – 25 cm). Ajbilou et al. (2003) por su parte argumenta que el análisis de la distribución de las clases diamétricas para las diferentes especies arbóreas en un bosque permite evaluar su estado ecológico y de conservación. En particular, ayuda a detectar una falta de regeneración o un envejecimiento de las masas arbóreas. Caritat et al. (1991), Bernadzki et al. (1988), y Solomon & Gove (1999), sugieren que la distribución de las clases diamétricas se utiliza para estudiar la dinámica de las poblaciones forestales, su relación con los factores ambientales y su respuesta a diferentes tipos de gestión.

Por otra parte, en cuanto al área basal, se observa que la mayoría de los árboles se agrupan en las últimas clases diamétricas (V - VIII) con diámetros de 45 a 75 cm, las cuales en conjunto representan el 74,08 % del total. Se destaca particularmente la clase diamétrica VIII, con árboles con DAP superior a 75 cm, lo que suma un área basal de 307,33 m². Esto significa que pocos individuos con grandes diámetros son lo que hacen que la clase diamétrica VIII sobresalga sobre las demás. Según Spurr y Barnes (1980), el área basal sirve como indicador del grado en que los árboles ocupan un lugar en un momento dado. Este parámetro permite representar de manera sencilla y parcial la estructura de los rodales, y se puede utilizar para elaborar índices que determinen el grado de ocupación de los árboles en un área específica. El diámetro del árbol a la altura del pecho (DAP) es un atributo muy importante que se usa habitualmente para inventarios urbanos, y es fácil de medir (Morgenroth et al., 2020). Aunque es una medida útil en sí misma, el diámetro del árbol también puede utilizarse para predecir otros indicadores como el crecimiento del árbol, la extensión de la copa, el ensanchamiento del tronco y la altura del árbol (McPherson et al., 2016b; Hilbert et al., 2020).

Los árboles de la clase diamétrica VIII con un DAP superior a 75 cm no necesariamente deben ser considerados como longevos. En cambio, su amplio diámetro podría estar más relacionado con una vitalidad robusta y un rápido crecimiento. Groover (2017) manifiesta, que factores como la genética de la especie y las condiciones ambientales pueden influir considerablemente en el crecimiento. Sin embargo, de manera singular McPherson et al. (2016) consideran el diámetro como un indicador de la edad para análisis de árboles urbanos en 17 ciudades de EE.UU. con la ayuda de modelos alométricos.

Índice de valor de importancia de las especies (IVIs)

Las especies más importantes de la ciudad de Loja son *Salix humboldtiana*, *Schinus molle* y *Jacaranda mimosifolia* de acuerdo con los resultados del índice de valor de importancia (IVI). Los parámetros

estructurales de las diez principales especies del arbolado urbano evidencian que la mayor parte que cubre las áreas verdes en la ciudad son de especies exóticas. Sobre todo, *Salix humboldtiana* de la familia Salicaceae se destaca con un IVIs de 31,10; igual a un estudio realizado por Lema et al. (2021) quienes obtuvieron un resultado de 30,4 en la familia Salicaceae pero para la especie *Casearia sylvestris*; sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación son diferentes a los de Leal (2019) en un estudio realizado en áreas urbanas de la ciudad de Linares, México donde *Salix humboldtiana* tuvo un IVIs más bajo de 2.14. Por ello, Cottam & Curtis, (1956) argumentan que el índice de valor de importancia de las especies contribuye en el carácter y estructura de un ecosistema. Soler et al. (2012), por su parte considera que el IVI es un indicador del dominio florístico de las especies en un área geográfica. Saavedra et al. (2019) reportan un IVIs para *Schinus molle* de 11,14, cifra que se acerca a los resultados obtenidos en esta investigación con un valor de 9,26; además, este autor hace referencia que existe versatilidad al calcular índices de valor de importancia para cada área, objetivos de estudio y la función que desempeña el área verde dentro de las ciudades.

CONCLUSIONES

El presente estudio de arbolado urbano en la ciudad de Loja se constituye en el más completo y detallado del Ecuador hasta la fecha. Se destaca por una alta riqueza con 91 especies, 67 géneros, y 35 familias en una muestra de 5259 individuos ≥ 5 cm de DAP en parques y avenidas. Cabe señalar, que más del 63 % de las especies del arbolado urbano de la ciudad de Loja son exóticas. En términos de presencia, la familia Fabaceae es la más abundante en parques y avenidas de la ciudad de Loja con 17 especies identificadas. En particular, *Salix humboldtiana* se distingue como la especie con mayor abundancia, dominancia e índice de valor de importancia en las avenidas y parques de la ciudad de Loja. La composición y estructura florística del arbolado urbano entre parques y avenidas es significativamente diferente. La mayoría de los árboles están entre los 15 a 25 cm de diámetro, y pocos individuos mayores de 75 cm tienen una alta contribución al área basal total del arbolado.

Finalmente, es importante destacar que la existencia de un inventario forestal urbano es un reflejo tangible del compromiso y progreso de una ciudad hacia un enfoque ecológicamente sostenible (Ma et al., 2021). Un inventario urbano proporciona un soporte esencial para la toma de decisiones fundamentadas y planificadas (Miller et al., 2015). El disponer de información relevante sobre aspectos dasométricos, estado fitosanitario, problemas físicos, ubicación y posibles riesgos, representa una valiosa herramienta para una planificación eficaz y para la gestión del arbolado urbano (Morgenroth y Östberg, 2017). Por ello, nuestro estudio ofrece acceso abierto a nuestra base de datos como una herramienta valiosa que ayude a estudiantes, investigadores, al público en general, y particularmente a la municipalidad o gobierno autónomo descentralizado para que esta información respalde la toma de decisiones efectivas en la gestión y planificación sostenible de nuestra ciudad.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Loja (UNL) por el financiamiento del proyecto 17-DI-FARNR-2021: “Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja” que permitió llevar a cabo este estudio. A los estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal de la UNL por su contribución en la toma de datos en campo a través de sus prácticas pre-profesionales y tesis dentro del proyecto 17-DI-FARNR-2021. A Celso Yaguana por el soporte en la identificación botánica de árboles, arbustos, y palmas. A la carrera de Computación de la UNL, especialmente a Johnny González, Oscar Cumbicus, y Wilman Chamba por la creación de la aplicación Web para la visualización de los árboles urbanos. A Edgar Chimbo por el diseño del mapa de este artículo. Finalmente, al Ilustre Municipio de Loja especialmente a la Dirección de Ambiente a través del Blg. Benjamín Ludeña, y la Coordinación de Patrimonio Natural a través de la Ing. Inés Montoya por la apertura y permisos correspondientes para realizar este estudio en la ciudad de Loja, Ecuador.

■ INFORMACIÓN DE APOYO

Este documento incluye información de apoyo en línea para visualizar y descargar la base de datos del arbolado urbano de la ciudad de Loja.

1. Aplicación Web del arbolado urbano de la ciudad de Loja para visualizar, consultar, y gestionar información: <https://arbolqr.unl.edu.ec/>
2. Base de datos del inventario forestal de la ciudad de Loja actualizada dinámicamente: <https://arbolqr.unl.edu.ec/informacion>

Por favor, tener en cuenta que: La revista Bosques Latitud Cero no se responsabiliza del contenido o funcionalidad de cualquier material de apoyo proporcionado por los autores. Cualquier consulta debe dirigirse al autor correspondiente del artículo.

■ BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, Z., Contento, C., y Aguirre, L. (2022). Loja, referente en la conservación ecológica y cuidado ambiental nacional en Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 12(1), 72-83. <https://doi.org/10.54753/blc.v12i1.1308>
- Aguirre, Z., y Yaguana, C. (2013). Árboles y arbustos de parques y avenidas de Loja. UNL.
- Ajbilou, R., Marañón, T., y Arroyo, J. (2003). Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de Marruecos. *Revista Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* (2003) 12(2), 111-123.
- Alanís F., G. J. (2005). El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. *Ciencias UANL* 8(1):20-32.
- Alanís, E., J. Jiménez, A., Mora-Olivo, P., Canizalez y L. Rocha. (2014). Estructura y composición del arbolado urbano de un campus universitario del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(7): 93-101. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- Alvey, A., (2006). Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban For. Urban Green.* 5, 195–201.
- Andrianjara, I., Bordenave-Jacquemin, M., Roy, V., Cabassa, C., Federici, P., Carmignac, D., & Planchais, S. (2021). Urban tree management: Diversity of *Tilia* genus in streets and parks of Paris based on morphological and genetic characteristics. *Urban Forestry & Urban Greening*, 66, 127382. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127382>
- Aragundi, S., Cubillo, P., Aguilera, K., (2020). Un diagnóstico de la Diversidad y Funcionalidad del Arbolado Urbano de Quito. En: Moreira, P., Corral, F. (Eds.), *Plan Árbol. Fases 2 & 3*. Centro de Información Urbana de Quito, CIUQ. Quito, 75 pp. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26060.74885>
- Bernadzki, E., Voleibol, L., Brzeziecki, B., Zajaczkowski, J., y Zybura, H. (1998). Compositional dynamics of natural forests in the Bialowieza National Park, northeastern Poland. *J Veg Sci* 9, 229-238. <https://doi.org/10.2307/3237122>
- Borgiani, R., Arruda, Y., Sanchez, J., Bohrer, M., y Dorival, J. (2016). Análisis cualitativo y cuantitativo de árboles urbanos de un barrio de Bauru, São Paulo, Brasil . *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2(7): 73-85. <https://doi.org/10.22490/21456453.1558>
- Cardenas, V. (2020). Arbolado urbano como estrategia para mejorar el confort térmico y la movilidad urbana, frente al Cambio Climático para la ciudad de Portoviejo, Provincia de Manabí-Ecuador. [Tesis de Pregrado]. Flacso, Ecuador.

- Caritat, A., Molinas, M., y Oliva, M. (1991). Estructura y crecimiento del alcornocal gerundense. *Studia Oecologica* 8, 159-170.
- Carvalho, G. O. (2009). Especies exóticas e invasiones biológicas. *Ciencia Ahora*, 23(12), 15-21.
- Chaffin, B. C., Hasenauer, H., & Rieder, H. (2016). Urban forestry in Europe: Status and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 180, 244-254.
- Checa-Artasu, M. (2016). Las áreas verdes en la Ciudad de México. Las diversas escalas de una geografía urbana. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 21(1.159):1-22.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Cornejo Diego y Zorrilla María. (2013). Análisis de vulnerabilidad del cantón Loja. 1(2), 1–130
- Cottam, G., & Curtis, J. T. (1956). The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*, 37(3), 451-460. <https://doi.org/10.2307/1930167>
- Dangulla, M., Abd Manaf, L., Ramli, M. F., & Yacob, M. R. (2020). Urban tree composition, diversity and structural characteristics in North-western Nigeria. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48, 126512. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126512>
- Decurcio, P. (2013). Arborização urbana: problemas e benefícios. *Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia*, 1(6), 1-15.
- Dunn, R. (2004). Recovery of faunal communities during tropical forest regeneration. *Conser. Biol.* 18:302-309
- Enríquez, C. (2020). Estado actual del arbolado urbano y periurbano en el cantón Espejo, Provincia del Carchi. [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Ellenberg, D., & Mueller-Dombois, D. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology* (p. 547). Wiley, New York.
- Farinango, J. (2020). *Determinación de la relación de emisión y captura de carbono en el arbolado urbano de las avenidas de cuatro parroquias urbanas del cantón Ibarra*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Forrest, M., Konijnendijk, C. (2005). A History of Urban Forests and Trees in Europe. In: Konijnendijk, C., Nilsson, K., Randrup, T., Schipperijn, J. (eds) *Urban Forests and Trees*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X_3
- Frassón, P., Fernandez, A., Craviotto, M., Battistelli, E., y Villa, I. (2021). Plantas nativas en el arbolado urbano: El aromito o espinillo. *Revista Agromensajes*, 36-37.
- Fuentes Enríquez, W. E. (2016). *Estructura y composición florística del arbolado urbano e índice verde urbano en el Cantón Quevedo*. [Tesis de Maestría]. UTEQ, Quevedo.
- Garrido Aguilar, L. F., Carvajal Benavides, J. G., Valencia Valenzuela, X. G., Varela Molina, I. E. M., y Cuarán Guerrero, M. J. (2023). Diagnóstico del arbolado Urbano en la Ciudad de Ibarra, como base para una gestión de arbolado más humano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 5613-5632. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5743
- Glaeser, C. W. (2006). The floristic composition and community structure of the forest park woodland, Queens County, New York. *Urban Habitats*, 4(1), 102-126.

- Gómez-Baggethun, E., Gren, Å., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'farrell, P., ... & Kremer, P. (2013). Urban ecosystem services. *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities: A global assessment*, 175-251. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_11
- Grahn, P., & Stigsdotter, U. K. (2003). The role of urban parks for city dwellers' stress recovery. *Landscape and Urban Planning*, 64(3), 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003>
- Groover, A. (2017). *Age-related Changes in Tree Growth and Physiology*. In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0023924>
- Gutiérrez, F. (2006). *Estado de conocimiento de especies invasoras: Propuesta de lineamientos para el control de impactos*. Bogotá: ARFO Editores e Impresores Ltda.
- Hauenstein, E., Peña-Cortés, F., González, M., y Schlatter, R. (2005). Nuevos límites para la distribución de *Salix humboldtiana* Willd., Salicaceae, en Chile. *Gayana. Botánica*, 62(1), 44-46. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432005000100007>
- Hirokawa, K. H. (2011). Sustainability and the urban forest: An ecosystem services perspective. *Natural resources journal*, 233-259. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1722650>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC). (2018). Proyecciones referenciales cantonales 2010 - 2030 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Jiménez, A. y Peralta, M. (2019). *Carbono secuestrado en los árboles de dos parques de la ciudad de Cuenca*. [Tesis de Pregrado]. Universidad del Azuay, Ecuador.
- Jorgensen, P.M., & León-Yáñez, S. (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 75: i-viii, 1-1182.
- Kuo, F. E. (2003). The role of arbors in reducing human stress. *Journal of Arboriculture*, 29(4), 212-222.
- Leal, C. (2019). *Inventario y diagnóstico de las áreas verdes urbanas en la ciudad de Linares Nuevo, México*. [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Forestales. México.
- Lema, J., Guerrero, M., Pottas, A., y Chaluisa, M. (2021). Estructura y composición florística en el bosque siempre verde montano de la Cordillera Occidental de los Andes en el sector La Esperanza, parroquia El Tingo, cantón Pujilí provincia de Cotopaxi a los 2000 msnm. *Domino De Las Ciencias*, 7(3), 398-418. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2000>
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitmam, N., Endara, L., Ulloa, H., y Navarrete, H. (Eds). 2019. *Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador*. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo>
- Liotta, J. (2001). Rasgos biológicos de *Salix Humboldtiana* Willd. y régimen de pulsos de inundación. *Revista INCI* 26(9), 397-403.
- López-López, S. F., Martínez-Trinidad, T., Benavides-Meza, H. M., García-Nieto, M., y Ángeles-Pérez, G. (2018). Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. *Madera y bosques*, 24(3), e2431620. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431620>
- Ma, B., Hauer, R. J., Östberg, J., Koeser, A. K., Wei, H., & Xu, C. (2021). A global basis of urban tree inventories: What comes first the inventory or the program. *Urban Forestry & Urban Greening*, 60, 127087. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127087>
- MAE -Ministerio del Ambiente del Ecuador (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.

- Machado-Carcasés, G., Carracedo-Gonzalez, C. J., y Acosta-Cantillo, F. (2016). Composición del arbolado en áreas de interés histórico y monumental de la ciudad de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, (3), 94-103.
- Maldonado-Bernabé, G., Chacalo H., Nava B., Meza P., y Zaragoza H. (2019). Cambios en la superficie de áreas verdes urbanas en dos alcaldías de la Ciudad de México entre 1990-2015. *Polibotánica*, 48: 205-230. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.15>
- Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., Mohedano Caballero, L., (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante i-Tree Eco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(67), 202-223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., & Peper, P. J. (2015). Urban and community forestry. In *Urban Forest Landscapes: Integrating Multidisciplinary Perspectives* (pp. 1-14). Springer, Dordrecht.
- McPherson, E., Gregory, van Doorn., Natalie, S., & Peper, Paula J. (2016). Urban tree database. Fort Collins, CO: *Forest Service Research Data Archive*. Updated 21 January 2020. <https://doi.org/10.2737/RDS-2016-0005>
- McPhearson, T., Karki, M., Herzog, C., Santiago Fink, H., Abbadie, L., Kremer, P., Clark, C. M., Palmer, M. I., and Perini, K. (2018). Urban ecosystems and biodiversity. In Rosenzweig, C., W. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal, and S. Ali Ibrahim (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York. 257–318
- Méndez, J. A., y Sáenz, L. (1986). *Estructura y composición de dos comunidades arbóreas de la parte noreste de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica*. [Tesis de licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica.
- Minga, D., y Verdugo, A. (2016). *Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca*. Serie Textos Apoyo a la Docencia Universidad del Azuay. Imprenta Don Bosco. Cuenca.
- Miller, R. W., Hauer, R. J., & Werner, L. P. (2015). *Urban forestry: planning and managing urban greenspaces*. Waveland press.
- Molina, A. (2017). *Fragmentación del hábitat y su efecto en la estructura genética de 2 linajes del género Pinus distribuidos en la Meseta Purépecha*. [Tesis de Maestría]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Morgenroth, J., Östberg, J., Konijnendijk C., Nielsen, A., Hauer, R., Sjöman, H., Chen, W., & Jansson, M. (2017). Urban tree diversity—Taking stock and looking ahead. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.003>
- Morgenroth, J., & Östberg, J. (2017). Measuring and monitoring urban trees and urban forests. In *Routledge handbook of urban forestry* (pp. 33-48). Routledge. ISBN: 9781315627106.
- Moussa, S., Kuyah, B., Kyereh, A., & Tougianiand, S. (2020). Diversity and structure of urban forests of Sahel cities in Niger. *Urban Ecosystems*, 23: 851–864. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-00984-6>.
- Neill, D. (2017). Fabaceae. En: León-Yáñez, S. Valencia, R., Pitmam, N., Endara, L., Ulloa Ulloa, C., y Navarrete, H. (Eds). *Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador*. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/ListaEspeciesPorFamilia/500180>
- Nowak, D. y Crane, D. (2002). Almacenamiento y secuestro de carbono por árboles urbanos en los EE.UU. *Medio ambiente y Contaminación* 116:381-386

- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2013). Air pollution removal by urban forests and trees. *Environmental Pollution*, 182, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- Oehri, J., Schmid, B., Schaepman-Strub, G., & Niklaus, P.A., (2017). Biodiversity promotes primary productivity and growing season lengthening at the landscape scale. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 10160–10165.
- Orellana, I. A., Vincon, S. G., Williams, A., & Acuña, L. (2022). Status of *Salix humboldtiana* populations in the Chubut River, Argentina. *Revista Bosque*, 43(3), 253-266. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002022000300253>
- Ortiz, N., y Luna, C. (2019). Diversidad e indicadores de vegetación del arbolado urbano en la ciudad de Resistencia, Chaco-Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA*, 39(2):54-68.
- Pérez-Medina, S., y López-Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, Sociedad y Territorio*, 15(47), 01-33. . <https://doi.org/10.22136/est002015552>
- Pielou, EC. (1975). *Ecological diversity*. Wiley, New York.
- PNUMA, (2007). Perspectivas del medio ambiente urbano: GEO LOJA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Loja, Ecuador: Loja, Ecuador. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9269/-Perspectivas_del_Medio_Ambiente_Urbano_-_GEO_Loja-2008GEO_Loja_2008_1.pdf.pdf?sequence=3
- PDOT GADM Loja, (2021). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Loja. Municipio de Loja, administración 2019-2023. https://www.loja.gob.ec/files/image/LOTAIP/1._pdot_cantonal.pdf
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Restrepo, H., Moreno, F., y Hoyos, C. (2015). Incidencia del deterioro progresivo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá, Colombia. *Revista Colombia Forestal*. 18(2), 225-240. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a04>
- Reyes, I., y Gutiérrez, J., (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: Retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. Quivera. *Revista de Estudios Territoriales*, 12(1), 96-102.
- Rivas-Torres, D. (2001). *Importancia y ambiente de los bosques y árboles urbanos*. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. Mex. México. 77 p.
- Rivera, J. (2021). *Plan de Gestión integral del arbolado urbano del parque las leyendas*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.
- Rodríguez Matos, Y., Ajete Hernández, A., Orta Pozo, S., Rondón González, D. N., y Rivera Díaz, J. R. (2018). Comportamiento del carbono retenido en el arbolado urbano en el sur de la ciudad de Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(3), 284-299.
- Rodríguez Matos, Y., Falcón Oconor, E., Segurado Gil, Y., Castillo Gámezy, M.J., y Despaigne Fis, L. (2016). *Estrategia de recuperación del arbolado urbano de la ciudad de Guantánamo*. *Revista Forestal Baracoa [en línea]*, 35, 1-9. ISSN 2078-7235.
- Romero, E. (2021). Estructura y composición del arbolado urbano e índice verde de la ciudad del Tena, ubicado en el cantón Tena, provincia de Napo. [Tesis pregrado] Facultad de Recursos Naturales -Carrera de Ingeniería Forestal.

- Rubio, R. (2022). Contribución de las especies nativas y exóticas del arbolado urbano a la diversidad de especies y provisión de servicios ecosistémicos en la ciudad de Rancagua. [Tesis de Maestría]. Universidad de Chile, Chile.
- Saavedra-Romero, L., Hernández-de la Rosa, P., Alvarado-Rosales, D., Martínez-Trinidad, T., & Villa-Castillo, J. (2019). Diversidad y estructura arbórea, indicadores de salud aplicados a un Bosque Urbano de la Ciudad de México. *POLIBOTÁNICA*, (47), 25-37. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3>
- Soler, P., Berroteran, J., Gil, J., y Acosta, R. (2012). Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Revista Agronomía Trop.* 62(1-4): 25-37.
- Solomon, D., & Gove, J. (1999). Effects of uneven-age management intensity on structural diversity in two major forest types in New England. *Forest Ecol Manag* 114, 265-274. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00358-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00358-2)
- Spurr, S., y Barnes, H., (1980). *Ecología Forestal*. 3a ed. AGT editor. S.A. México. 690 p.
- Tello, J. (2016). *Inventario y evaluación de la vegetación en las riberas del río Zamora de la ciudad de Loja*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
- Tito, J. (2019). Plan de Silvicultura urbana y periurbana en el Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura. [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Useni, Y., Malaisse, F., Cabala, S., Kalumba, A., Mwana, A., Nkuku, C., & Munyemba, F. (2019). Tree diversity and structure on green space of urban and peri-urban zones: The case of Lubumbashi City in the Democratic Republic of Congo. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(7):3830. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.008>
- Vargas, B., y Molina, F. (2007). Árboles para Bucaramanga. Especies que fortalecen la Estructura Ecológica Principal. *Revista nodo*, 1(2), 25-40.
- Vásquez Herrera, V. S. (2018). *Composición florística de árboles y arbustos en diez parques urbanos de la ciudad de Guayaquil*. [Tesis de Pregrado]. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Velasco Bautista, E., Cortés Barrera, E., González Hernández, A., Moreno Sánchez, F., y Benavides Meza, H. (2013). Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan de Aragón. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 102-111.
- Wang, B., Liu, Z., Mei, Y., Li, W. (2019). Assessment of ecosystem service quality and its correlation with landscape patterns in Haidian District, Beijing. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 1248.

Estudio fenológico de *Juglans neotropica* Diels. en Imbabura – Ecuador

Phenological study of *Juglans neotropica* Diels in Imbabura - Ecuador

Hugo Vallejos - Álvarez ^{1*}

Gilda Vilema Vilema ¹

Cintha Díaz Gómez ¹

Jorge Cué-García ¹

¹ Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

* Autor para correspondencia: hvvallejos@utn.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1881>

Recibido: 28/04/2023

Aceptado: 12/06/2023

RESUMEN

Es conocida la importancia de la fenología, sin embargo, en Ecuador, los estudios fenológicos de especies forestales son limitados, una de estas es *Juglans neotropica* Diels, especie de importancia cultural, económica y social. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento fenológico en árboles plantados de *Juglans neotropica* Diels, en la provincia de Imbabura: silvicultura urbana, plantación, árboles dispersos y linderos. Para la evaluación de las fenofases vegetativa y reproductiva se tomaron 10 individuos como muestra en cada una de las prácticas de árboles plantados, los cuales fueron evaluados por medio del método semicuantitativo que establece una escala de valores de 0 a 4, posteriormente se determinó el índice promedio individual (IPi) y total (IP), determinando masividad baja, media y alta. La defoliación de la especie tuvo en el mes de diciembre, aumentando su masividad hasta intensa en el mes de enero. El sitio de estudio correspondiente a árboles en linderos fue el más destacable en floración, mostrando el punto más alto de floración en febrero, mientras que la práctica destacada en fructificación fue silvicultura urbana mostrando su mayor punto de presencia de flor joven en el mes de febrero. El comportamiento fenológico de *Juglans neotropica* Diels, en las dos practicas mencionadas fortalece los conocimientos técnicos para la elaboración de calendarios de recolección de frutos en la provincia de Imbabura.

Palabras claves: Fenología, fase vegetativa, fase reproductiva, fenofase, árboles plantados

■ ABSTRACT

The importance of phenology is known, however, in Ecuador, phenological studies of forest species are limited, one of these is *Juglans neotropica* Diels, a species of cultural, economic and social importance. The objective of this study was to evaluate the phenological behavior in planted trees of *Juglans neotropica* Diels, in the province of Imbabura: urban forestry, plantation, scattered trees and boundaries. For the evaluation of the vegetative and reproductive phenophases, 10 individuals were taken as a sample in each of the practices of planted trees, which were evaluated by means of the semiquantitative method that establishes a scale of values from 0 to 4, later the index was determined individual (IPi) and total (IP), determining low, medium and high massiveness. The defoliation of the species had in the month of December, increasing its massiveness until intense in the month of January. The study site corresponding to trees on borders was the most notable in flowering, showing the highest point of flowering in February, while the outstanding practice in fruiting was urban forestry, showing its highest point of presence of young flowers in the month of February. The phenological behavior of *Juglans neotropica* Diels, in the two aforementioned practices, strengthens the technical knowledge for the elaboration of fruit collection calendars in the province of Imbabura.

Key words: Phenology, vegetative phase, reproductive phase, phenophase, planted trees

■ INTRODUCCIÓN

Ecuador, país de gran biodiversidad, con especies forestales de importancia cultural, social y económica. *Juglans neotropica* Diels. Es una especie nativa del neotrópico, en los países de Colombia, Venezuela, Perú y Ecuador, se desarrolla en bosques secos -montanos, y está catalogada en peligro de extinción en el libro rojo de las especies, Colombia (Cárdenas & Salinas, 2006).

Juglans neotropica Diels ha formado parte del desarrollo cultural de varias provincias del Ecuador, entre estas Imbabura que se emplea en la elaboración de las nogadas y en esculturas talladas, esto demuestra el aporte que ésta especie brinda al desarrollo de la provincia, el alto precio de su madera, es debido a su característico veteado, textura muy fina, elástica y dura a la vez. (Cue et al. 2023).

El cultivo del nogal, conocido también como cedro negro o tocte, está considerado como una especie representativa en Imbabura y tiene una distribución dispersa en los Andes y en los valles interandinos (Cabascango, 2011). Sin embargo, a pesar de la importancia cultural, económica y social de la especie, ésta ha empezado a desaparecer; la sobreexplotación y el crecimiento de la frontera agrícola ha tenido como resultado, la disminución de individuos de esta especie forestal (Lambin et al., 2003).

El estudio de la fenología permite la planificación técnica para la colección y reproducción de semillas, resguardando el material genético y asegurando la permanencia de la especie. El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento fenológico en árboles plantados de *Juglans neotropica* Diels, en la provincia de Imbabura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en tres parroquias: San Francisco de Ibarra, San Francisco de Natabuela, San Antonio, de los cantones Ibarra y Antonio Ante, provincia de Imbabura, Ecuador; las cuales se ubican en las siguientes coordenadas: 00°19'13" N 78°07'07" W, a 2176 m s.n.m.; 00°20,641' NO 78°12.246' WO, a 2391 m s.n.m.; 00°20'53"N 78°09'13"W, a 2176 m s.n.m., respectivamente; en las que se encuentran los árboles plantados en: silvicultura urbana, plantación, dispersos y linderos.

Selección de los individuos

Los individuos fueron seleccionados en base al método no probabilístico, selección por expertos, en el cual se valoró características fenotípicas en escalas ponderadas según lo propuesto por Ordóñez et al (2001).

De acuerdo con lo propuesto por Fournier y Champartier (1978), una muestra al azar de mínimo cinco árboles por especie es recomendable para el estudio, para la obtención de un mayor número de datos y debido a las prácticas de árboles plantados estudiados, se seleccionaron 10 individuos de cada práctica de árboles plantados: silvicultura urbana, plantación, árboles dispersos, lindero; que cuentan con poblaciones de 27, 20, 21 y 30 individuos respectivamente.

Las observaciones se efectuaron aplicando el método propuesto por Fournier (1974), con una escala desde 0 hasta 4 y se emplearon binoculares Bushnell 25x. 0 indica la ausencia del evento, y 4 que el evento se encuentra con una masividad alta. Las observaciones fueron realizadas mensualmente por un año, mayo 2022 - abril 2023, dividiendo de forma equitativa la copa del árbol en cuatro cuadrantes. Las variables de estudio de la fase vegetativa, son: hoja joven, adulta y defoliación, y de la fase reproductiva, son: flor joven y adulta, fruto joven y maduro.

Con los valores identificados con la escala de Fournier (1974), se determinó el Índice Promedio mensual, individual (IP_i) y total (IP) por cada fenofase mediante las ecuaciones N° 1 y 2 propuestas por Echavarría (1998), en donde expresa su masividad. Los niveles de índice de masividad fueron: baja (IP=< 0,5); débil (IP=0,5 y <1); media (IP=1 y <2) e intensa (IP=> 2).

$$IP_i = \frac{\sum \text{valor de escala en cuadrante}}{n} \quad (1)$$

Donde:

IP_i= Índice promedio mensual individual

∑= Sumatoria valores de cada individuo

n= Número de cuadrantes

$$IP = \frac{(IPi1 + IPi2 + \dots + n)}{n} \quad (2)$$

Donde:

IP= Índice promedio mensual total

IPi= Índice promedio mensual individual

n= Número total de individuos evaluados

En lo que refiere a la cuantificación del potencial productivo de frutos se tomaron cinco individuos de la muestra. De cada individuo se seleccionaron seis ramas de la copa del árbol, dos en la base, dos en el centro y dos en la parte alta; mediante las ecuaciones N° 3, 4 y 5 propuestas por Echavarría (1998):

$$Nfp = \frac{(p1+p2+p3+p4+p5+p6)}{6} * Pfp \quad (3)$$

Donde:

Nfp = Numero de frutos promedio por rama

p = Sumatoria de frutos de cada rama

6= Ramas muestreadas

Pfp = Promedio de frutos por rama.

Posteriormente se contabilizó el número de frutos contenidos en cada rama, el total de frutos se promedió para las seis ramas evaluadas, obteniendo el número de frutos promedio por rama por árbol (Aponte & San Martín, 2011).

$$Pfp = \frac{(p1+p2+\dots+pnn)}{n} \quad (4)$$

Donde:

Pfp= Promedio de frutos por rama

pn= Numero de frutos por rama

n= Numero de ramas

$$Nfa = Nfp * Nrf \quad (5)$$

Donde:

Nfa= Número de frutos totales de cada árbol

Nfp= Número de frutos promedio por rama

Nrf= Número de ramas con fruto

Para el análisis de estas variables, se aplicó la prueba de Kruskal Wallis, al no cumplir con los supuestos paramétricos de normalidad (Shapiro Wilks, α : 0,05) y homocedasticidad (Levene: 0,05).

RESULTADOS

Fenología en fase vegetativa

En la fenofase hoja joven destaca árboles dispersos con masividad intensa durante el mes de mayo, alcanzando el 55 %, mostrando una curva con tendencia descendente hasta el mes de febrero, posicionándose en una masividad media, alcanzando el 24 % y 37 % respectivamente. Silvicultura urbana manifestó una curva con tendencia ascendente durante el mes de junio y descendente en el mes de agosto, volviendo a presentar este comportamiento en el mes de noviembre y diciembre respectivamente, con un 30 %, 5 %, 25 % y 0 % como se muestra en la figura 1.

La fenofase de hoja madura se mantuvo en masividad intensa durante gran parte de tiempo de investigación desde los meses de mayo hasta el mes de enero, en donde la curva decrece hasta alcanzar una masividad débil en silvicultura urbana y plantación, mientras que, para árboles dispersos y linderos, alcanzan una masividad débil y media, respectivamente, en el mes de febrero, tal como se puede apreciar en la figura 2

Al ser una especie semi-caducifolia, el comportamiento de defoliación de la especie en los meses de investigación tuvo una tendencia ascendente y descendente permanente, alcanzando una masividad nula en los meses de mayo, junio, julio y agosto, siendo la práctica agroforestal silvicultura urbana la que mostro un comportamiento más irregular, iniciando con una masividad media del 35 % durante el mes de mayo. Se evidenció que en las cuatro prácticas estudiadas empezó la defoliación desde el mes de septiembre, con una masividad intensa en los meses de enero y febrero, como se muestra en la figura 3.

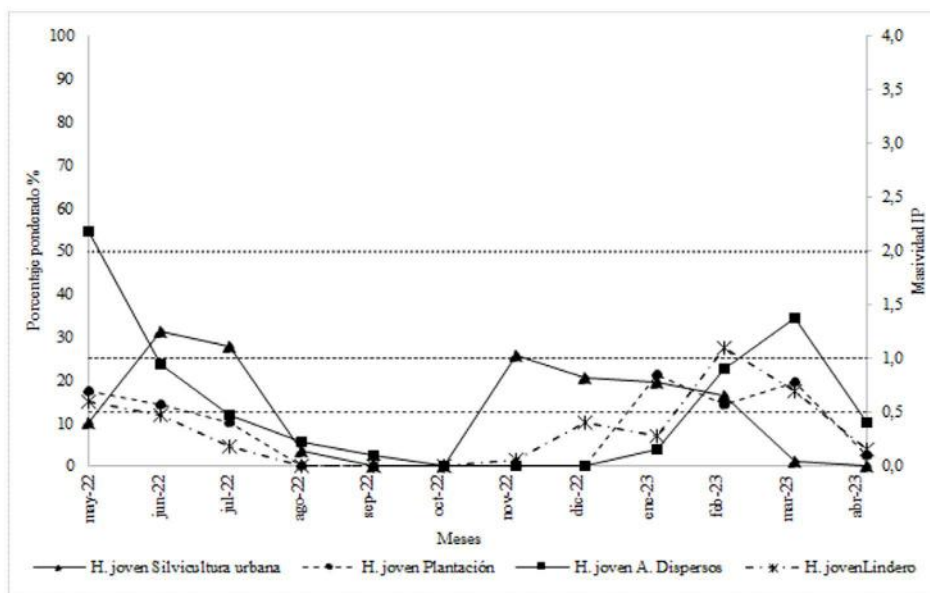


Figura 1. Representación gráfica del evento hoja joven de *J. neotropica* en los lugares de estudio.

Nota: Masividad: baja (IP = < 0.5); débil (IP = 0.5 y < 1); media (IP = 1 y < 2); intensa (IP = > 2)

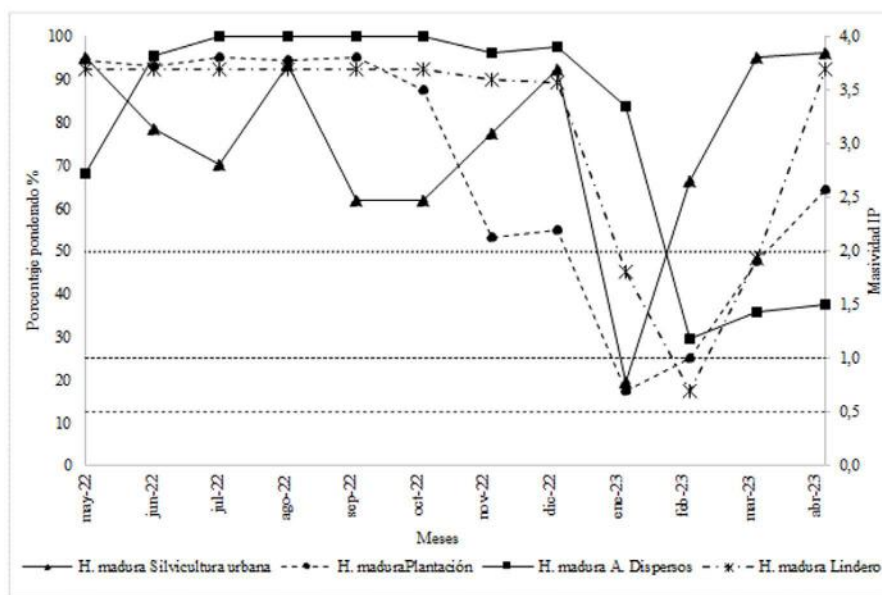


Figura 2. Representación gráfica del evento hoja madura de *J. neotropica* en los lugares de estudio.

Nota: Masividad: baja (IP = < 0.5); débil (IP = 0.5 y < 1); media (IP = 1 y < 2); intensa (IP = > 2)

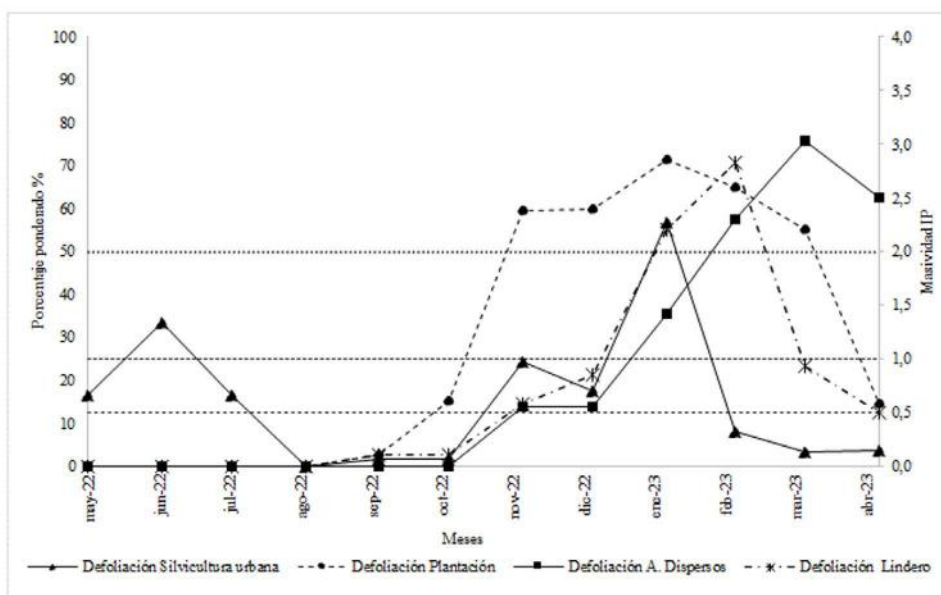


Figura 3. Representación gráfica del evento defoliación de *J. neotropica* en los lugares de estudio.

Nota: Masividad: baja (IP = < 0.5); débil (IP = 0.5 y < 1); media (IP = 1 y < 2); intensa (IP = > 2)

Fenología en fase reproductiva

El comportamiento presentado por la fenofase flor joven se muestra en los meses de mayo hasta octubre con una masividad de débil a nula que cambia teniendo una presencia más notable, iniciando con el mes de febrero, con el lugar de estudio de silvicultura urbana y linderos con un 38 % y 40 % de presencia, mes desde que alcanzan un florecimiento notable, alcanzando una masividad media en las

prácticas de silvicultura urbana, plantación y árboles dispersos. Este comportamiento se ve relacionado al incremento del porcentaje de defoliación, evidenciándose que la floración se hace presente cuando la especie inicia su caída de hojas maduras e inicio de foliación jóvenes como se aprecia en las figuras 3 y 4.

Los resultados del estudio, expuestos en la figura 5, evidencian que la fenofase de flor madura empieza su ciclo el mes de febrero con una terminación de floración en el mes de junio, este comportamiento es compartido en todas las prácticas en estudio, con árboles dispersos destacando con un porcentaje de 25 % alcanzando una intensidad media en el mes de abril, tal como se aprecia en la figura 5.

El proceso de fructificación es notable durante todo el periodo de investigación durante los meses de mayo a diciembre teniendo un porcentaje menor a 30 % en las prácticas de árboles plantados estudiadas. Silvicultura urbana se destaca en el mes de febrero, donde alcanza una masividad media con un 48 %, como se observa en la figura 5. Durante los meses de octubre a diciembre, la fenofase de fruto maduro tiene un crecimiento destacable en la presente investigación; en la figura 7 se evidencia el incremento en la curva, siendo la plantación y árboles dispersos los que alcanzaron una masividad media superando el 25 % en el mes de noviembre.

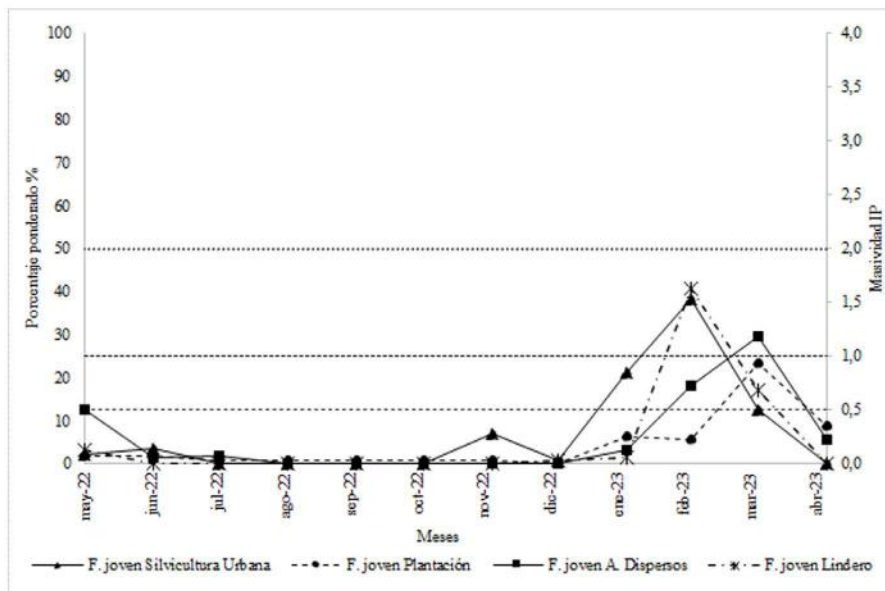


Figura 4. Representación gráfica del evento flor joven de *J. neotropica* en los lugares de estudio

Nota: Masividad: baja (IP = < 0.5); débil (IP = 0.5 y < 1); media (IP = 1 y < 2); intensa (IP = > 2)

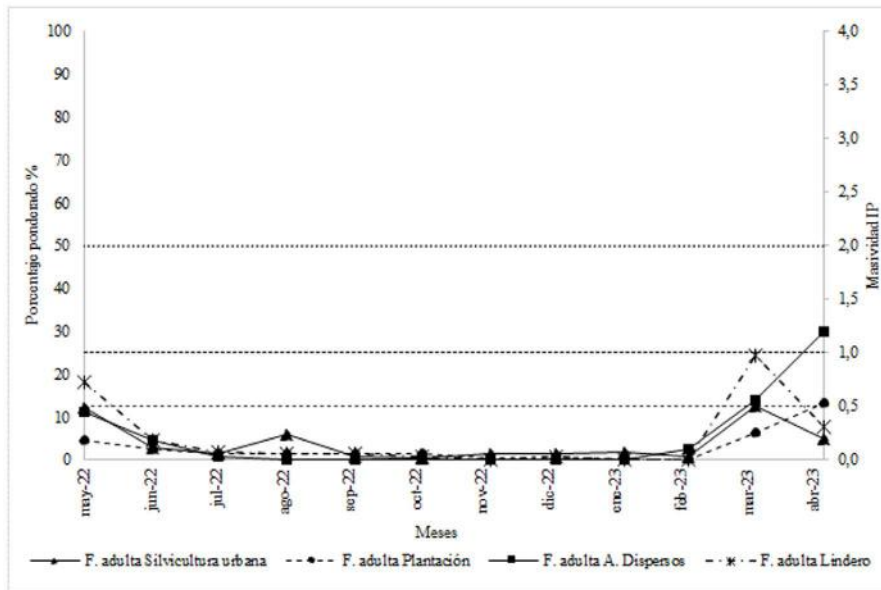


Figura 5. Representación gráfica del evento flor madura de *J. neotropica* en los lugares de estudio
Nota: Masividad: baja (IP = < 0.5); débil (IP = 0.5 y < 1); media (IP = 1 y < 2); intensa (IP = > 2)

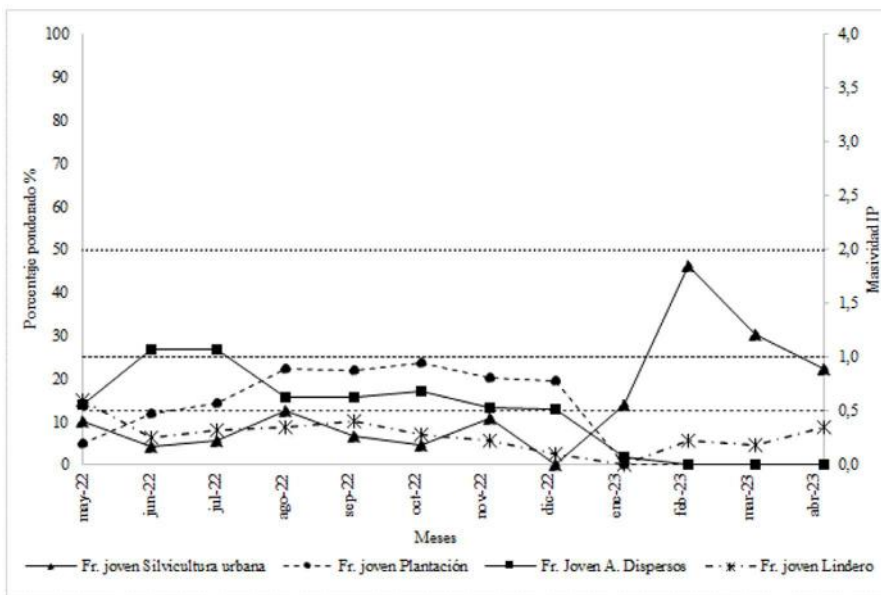


Figura 6. Representación gráfica del evento fruto joven de *J. neotropica* en los lugares de estudio.
Nota: Masividad: baja (IP = < 0.5); débil (IP = 0.5 y < 1); media (IP = 1 y < 2); intensa (IP = > 2)

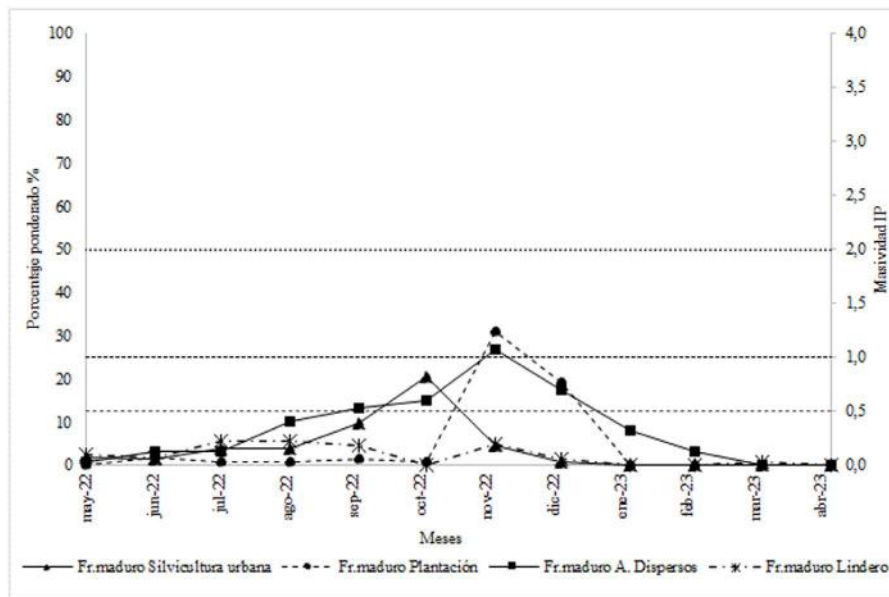


Figura 7. Representación gráfica del evento fruto maduro de *J. neotropica* en los lugares de estudio.

Nota: Masividad: baja (IP = < 0.5); débil (IP = 0.5 y < 1); media (IP = 1 y < 2); intensa (IP = > 2)

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas al realizar la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis en los árboles plantados en lo que refiere la fenofase de fruto maduro (Tabla 1), de igual modo en la variable de potencial productivo (Tabla 2).

Tabla 1. Resultados de prueba no paramétrica Kruskal Wallis de la fenofase fruto maduro.

Árboles plantados	Variable IP	N	Comportamiento
Dispersos	0,68	1	ns
Lindero	0,15	1	ns
Plantación	0,20	1	ns
Silvicultura urbana	0,38	1	ns

Nota: ns; no significativo; *, significativo

Tabla 2. Resultados de prueba no paramétrica Kruskal Wallis del potencial productivo en las cuatro prácticas agroforestales.

Árboles plantados	Variable Promedio de frutos	N	Comportamiento
Dispersos	480	1	ns
Lindero	94	1	ns
Plantación	352	1	ns
Silvicultura urbana	279	1	ns

Nota: ns; no significativo; *, significativo.

■ DISCUSIÓN

Fenología en fase vegetativa

Los resultados obtenidos evidencian la presencia continua de foliación en sus diferentes etapas durante 12 meses de investigación lo cual difiere con el resultado expuesto por Ospina et al. (2003) quienes afirman que la fase vegetativa del *Juglans neotropica* Diels es cada año con un tiempo de ocho meses. Díaz (2019) identifica el inicio de la foliación en los meses de septiembre y la defoliación se presenta en los meses de enero a marzo, estos resultados discrepan con los obtenidos en la investigación, en donde se muestra el inicio de la foliación en el mes de octubre y defoliación durante el mes de noviembre. Lojan (1992) menciona que, a mediados de mayo, cuando la precipitación disminuye se presenta defoliación, resultados que discrepan con los obtenidos en la presente investigación, en donde se muestra que la fenofase de defoliación inicia en el mes de noviembre para las prácticas de árboles plantados.

Fenología en fase reproductiva

Se confirma un comportamiento diferente de la fenología reproductiva en los lugares de estudio, de acuerdo a lo planteado por Gray & Ewers (2021), pues la relación de los procesos fenológicos se relaciona con el ecosistema y la biodiversidad en donde estos se desarrollan, siendo esta, una de las razones del comportamiento mostrado por los individuos en cada una de las prácticas de árboles plantados en estudio.

Toro & Roldán (2018) exponen que la floración de *Juglans neotropica* Diels ocurre entre los meses de octubre a enero, esto se ratifica con los resultados de la presente investigación donde la especie florece en octubre, sin embargo, se extiende hasta el mes de abril. En el éste estudio se presentó un alto índice de caída de flores jóvenes masculinas entre finales de junio y principios de julio, siendo más notable en silvicultura urbana, meses en los cuales existían lluvias. Este fenómeno coincide con lo descrito por Lawson y Rands (2019), ya que los cambios en los patrones de lluvia podrían alterar los tiempos de las fases fenológicas.

Flinta (1960) expone que la fructificación de la especie inicia en el mes de diciembre, resultados que coinciden con los presentados en la investigación, donde se evidencia una presencia mayor de frutos en el mes de mayo, teniendo una excepción con los individuos de silvicultura urbana que alcanzó una mayor producción de frutos jóvenes durante el mes de febrero, estos resultados difieren con los expuestos por Méndez (2000) quien afirma que para *Juglans neotropica* Diels la fructificación inicia en junio y finaliza en septiembre. En relación con el aborto de los frutos, se obtiene similares comportamientos a los alcanzados por Yamamoto y Barra (2003).

Chusquillo (2014), menciona que los meses de recolección de frutos son agosto, septiembre y octubre, mostrando así similitudes con la mayor masividad de fruto maduro de la presente investigación en similar periodo del año (Figura 7).

■ CONCLUSIONES



La información generada sobre el comportamiento fenológico de *Juglans neotropica* Diels en particular árboles en linderos y silvicultura urbana por presentar masividad media en floración y fructificación, fortalece los conocimientos técnicos y científicos para la elaboración de calendarios de recolección de frutos y obtención de semillas en la provincia de Imbabura, permitiendo conservar el material genético y la especie.

BIBLIOGRAFÍA

- Aponte Correa, R. V., & Sanmartín Bermejo, J. C. (2011). Fenología y ensayos de germinación de diez especies forestales nativas, con potencial productivo maderable y no maderable del bosque protector de la parroquia San Pedro de Vilcabamba. [Tesis Ingeniería Universidad Nacional de Loja]. Loja, Ecuador.
- Cárdenas, D., & Salinas, S. (2006). Libro rojo de plantas de Colombia. Especies maderables amenazadas. Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Chusquillo, L. A. (2014). Diseño de un proceso para la obtención de compuestos fenólicos del pericarpio de la semilla del nogal (*Juglans neotropica* Diels) y extracción del aceite de la nuez. [Tesis de licenciatura. Escuela Politécnica Nacional]. Quito, Ecuador.
- Cué-García, J. et al. (2023). *Estudio fenológico de Cinchona pubescens Vahl. en dos ecosistemas forestales, Intag, Imbabura. Bosques Latitud Cero*, 13(1), 11–24.
- Díaz, A. E. (2019). Identificación, aspectos morfológicos y fenológicos de las especies forestales nativas en el valle de Cajamarca. [Tesis ingeniería. Universidad Nacional de Cajamarca]. Cajamarca, Perú.
- Flinta, C. M. (1960). Prácticas de Plantación Forestal en América Latina. Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO.
- Fournier, L. A., & Charpantier, C. (1978). El tamaño de la muestra y la frecuencia de las observaciones en el estudio de características fenológicas de los árboles tropicales. Turrialba. Cespedia. Suplemento. 7, 25-26
- Gray, E. J., & Ewers, R. M. (2021). *Monitoring Forest Phenology in a Changing World*. *Forest*. 12, 297.
- Hechavarría Kindelán, O. (2009). Contribución de la fenología a la conservación de tres especies forestales en Tope de Collantes. [Tesis ingeniería. Universidad de Pinar del Río]. Pinar del Río, Cuba.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). *Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions*. *Annual Reviews*.
- Lawson, D. A., & Rands, S. A. (2019). *The effects of rainfall on plant–pollinator interactions*. Springer.
- Lojan I., L. (1992). El verdor de Los Andes. Árboles y arbustos nativos para el desarrollo forestal altoandino. Quito: Proyecto Desarrollo Forestal Participativo en los Andes (DFPA).
- Mendez, J.M., (2000). Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Turrialba, Costa Rica. Danida Forest Seed Centre (DFSC) y Proyecto Semillas Forestales (PROSEFOR). Serie técnica. Manual técnico / CATIE No. 41, 209 pp.
- Ordóñez G., Luis; Nikolái Aguirre M.; Roberto Hofstede. (2001). “Sitios de recolección de semillas forestales andinas del Ecuador”. Quito. ECOPAR. Ediciones Abya–Yala
- Ospina, C. M., Hernández, R. J., Aristizabal, F. A., Patiño, J. N., & Salazar, J. W. (2003). El cedro negro una especie promisoriosa de la zona cafetera. Chinchiná, Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- Toro Vanegas, E., & Roldán Rojas, I. C. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de *Juglans neotropica* Diels., en zonas andinas. *Madera y bosques*, 24(1).
- Yamamoto, J. P., & Barra, M. (2003). Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad. Oxapampa, Perú. Pronaturaleza.

Propagación sexual de *Tectona grandis* L., probando diferentes métodos de escarificación y sustratos

Sexual propagation of *Tectona grandis* L., testing different methods of scarification and substrates

Fabiola Romero ^{1*},
Víctor Eras-Guamán ² 
Magaly Yaguana ²
Darlín Gonzalez ² 

¹Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

²Laboratorio de Micropropagación Vegetal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: fabiola.romero@unl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1878>

Recibido: 25/04/2023

Aceptado: 10/06/2023

RESUMEN

Tectona grandis L. es una de las especies de madera comercialmente importantes del mundo y se propaga a gran escala por semillas; por tanto, comprender la biología de las semillas es importante para la producción de plántulas de calidad. La viabilidad, latencia y otros factores contribuyen a la baja germinación de las semillas en la teca; por lo tanto, para contribuir con estrategias de propagación sexual de *Tectona grandis* L., se realizó la evaluación de la germinación de semillas bajo dos métodos de escarificación y tres tipos de sustrato, en la parroquia Buenavista, cantón Chaguarpamba, provincia de Loja. Los métodos de escarificación, fueron: semilla sin escarificación, semillas sumergidas en agua corriente por 24 horas, semillas sumergidas en agua caliente por 5 minutos y, tres tipos de sustratos: tierra bajo el dosel donde crecen los árboles, tierra + arena + cáscara de arroz, en proporción 3:1:2, y 1:1:1. A los 60 días de evaluación se registró que el T0 presentó el 70 % de germinación, seguido del T1 con 67 %, iniciándose a los 10 días y estabilizándose a los 35 días; el T0 y el T1 fueron los tratamientos en los que se obtuvieron los mejores resultados del promedio de altura de las plántulas, con 3,2 cm y 3,1 cm, respectivamente y el número de hojas por plántula con cinco hojas. Los métodos de escarificación y tipos de sustratos, no influyeron en la germinación de semillas; sin embargo, muestran la factibilidad de la técnica para la propagación masiva de la especie.

Palabras clave: Germinación, teca, escarificación, semilla, sustratos.

ABSTRACT

Tectona grandis is one of the world's commercially important timber-producing species and is propagated on a large scale primarily by seed, therefore understanding seed biology is important for the production of quality seedlings. Viability, dormancy and other factors contribute to low seed germination in teak, therefore, to contribute to sexual propagation strategies of *Tectona grandis* L., seed germination was evaluated under two scarification methods and three types of substrate, in the Buenavista, Chaguarpamba canton, Loja province. The scarification methods were: seed without scarification, seeds submerged in running water for 24 hours, seeds submerged in hot water for 5 minutes; and three types of substrates: soil under the canopy where the trees grow, soil + sand + rice husk, in a 3:1:2, and 1:1:1 ratio. After 60 days of evaluation, it was recorded that T0 presented 70 % germination, followed by T1 with 67 %, starting at 10 days and stabilizing at 35 days; T0 and T1 were the treatments in which the best results were obtained for the average height of the seedlings, with 3.2 cm and 3.1 cm, respectively, and the number of leaves per seedling with five leaves. The scarification methods and types of substrates did not influence seed germination, however, they show the feasibility of the technique for the massive propagation of the species.

Keywords: Germination, teak, scarification, seeds, substrates.

INTRODUCCIÓN

La madera de *Tectona grandis* L. (teca) posee gran demanda en el mercado, tasa de crecimiento alta, ventajas sobre otras especies forestales finas tropicales y templadas; además, ofrece la probabilidad de abastecer el mercado internacional (Camino, 2013). La teca tiene un gran futuro a mediano y largo plazo, ya que se considera, como la número uno de las maderas duras tropicales de calidad, constituyendo un recurso emergente que tiene grandes oportunidades en el mercado de América Latina (Keogh, 2013). Así, estudios e investigaciones sobre formas de propagación y producción de plántulas es la tarea desafiante para poder establecer plantaciones de teca a gran escala (Diaz *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2016).

La propagación es la capacidad de las plantas para reproducirse (Vargas, 2011) y constituye una actividad fundamental en el campo de la silvicultura (Chamba, 2002). Existen básicamente dos alternativas de propagación de plantas: sexualmente por medio de semillas y asexualmente, mediante tejidos vegetales (Osuna *et al.*, 2017). La teca se propaga a gran escala principalmente a través de semillas, pero la tasa de germinación es baja, lo que es un problema significativo para la industria de plantaciones de teca (Kaosaard *et al.*, 1998); por tanto, comprender la biología de las semillas es crucial para la producción de plántulas de calidad.

La naturaleza del fruto, la viabilidad y latencia de la semilla; así como, otros factores contribuyen a la baja germinación de la teca (Ravichand y Gunaga, 2021). Las barreras que impiden la germinación pueden ser fisiológica (presencia de inhibidores de la germinación en el mesocarpio y semilla verdadera), física (endocarpo grueso y duro) y morfofisiológica (desequilibrio hormonal y embrión inmaduro en semillas verdaderas) (Chaves y Fonseca, 1991; Masilamani *et al.*, 2022).

Esta germinación tardía e irregular de las semillas en el vivero es una limitación de la teca para el manejo eficiente del vivero y el establecimiento de plantaciones. Por lo tanto, es fundamental determinar tratamientos previos a la siembra para asegurar una germinación temprana y exitosa en teca. En este contexto, es importante contribuir con la generación de información científica relacionada con los métodos de propagación sexual de *Tectona grandis* L., evaluando la germinación de semillas a partir de dos métodos de escarificación y tres tipos de sustratos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El estudio se desarrolló en la parroquia Buenavista, cantón Chaguarpamba, provincia de Loja (Figura 1), entre las coordenadas UTM 3°52'13,42" S; 79°41'39,87" W, a una altitud que oscila entre 440 - 2 160 m s.n.m., temperatura promedio de 24 °C, precipitación de 1 395,60 mm al año y humedad relativa anual de 81,3 % (PDOT Buenavista, 2015).

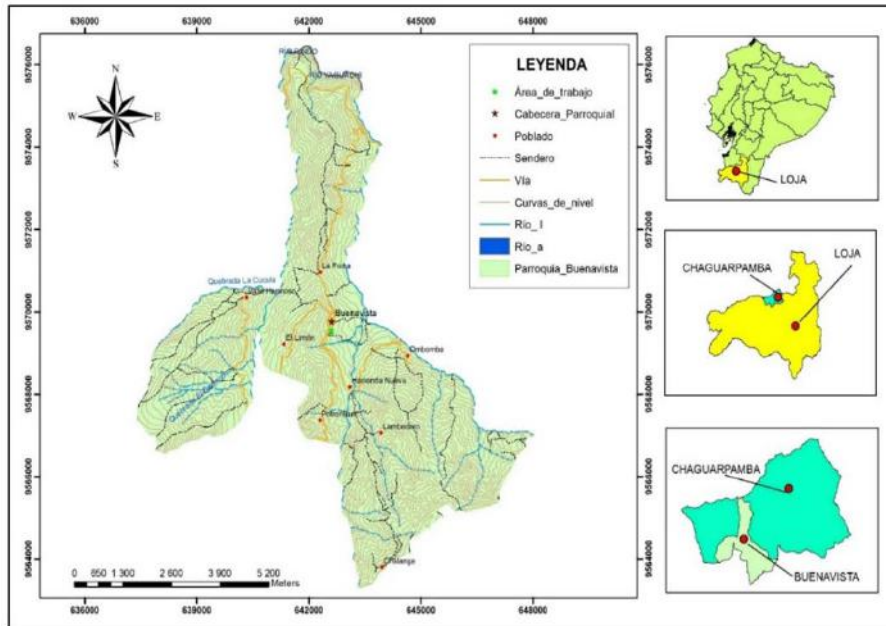


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

Material vegetal

Para la propagación sexual de *Tectona grandis* L. se utilizaron semillas certificadas de PROFAFOR, así a cada fruto se consideró como semilla (Herrera, 2018), a los cuales se aplicaron dos métodos de escarificación (sumergidas en agua corriente por 24 horas y en agua caliente por 5 minutos) y sembradas en tres tipos de sustratos (Tabla 1), los mismos que fueron preparados y desinfectados previamente utilizando Terraclor 75 % en una concentración de 1,0 g L⁻¹ de agua.

Tabla 1. Descripción de los factores y niveles para la germinación de semillas de *Tectona grandis* L., probando dos métodos de escarificación y tipos de sustratos a nivel de vivero.

FACTOR	NIVELES	
A. Tipos de Sustratos	1. Tierra bajo el dosel donde crecen los árboles de <i>Tectona grandis</i> L.	(S0)
	2. Tierra + arena + cáscara de arroz, en una proporción 3:1:2	(S1)
	3. Tierra + arena + cáscara de arroz, en una proporción 1:1:1	(S2)
B. Métodos de escarificación	1. Semillas sin ningún tratamiento de escarificación	(E0)
	2. Semillas sumergidas en agua corriente por 24 horas	(E1)
	3. Semillas sumergidas en agua caliente por 5 minutos	(E2)

Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar (DCA), con 9 tratamientos y 3 repeticiones, la unidad experimental fue una semilla/funda, el total de unidades experimentales fue 270 semillas, 30 por tratamiento y 10 por repetición (Tabla 2). Las variables evaluadas fueron: número de días a la germinación, porcentaje de germinación, altura de las plántulas y número de hojas por plántula. Las evaluaciones fueron realizadas, a partir del quinto día, con una periodicidad de cinco días, hasta los 60 días.

Tabla 2. Tratamientos utilizados para evaluar la germinación de semillas de *Tectona grandis* L., probando dos métodos de escarificación y tres tipos de sustratos, a nivel de vivero.

Sustrato	Métodos de escarificación		
	Semillas sin ningún tratamiento de escarificación (E0)	Semillas sumergidas en agua corriente por 24 horas (E1)	Semillas sumergidas en agua caliente por 5 minutos (E2)
1. Tierra bajo el dosel donde crecen los árboles de <i>Tectona grandis</i> L. (S0)	S0E0 (T0)	S0E1 (T1)	S0E2 (T2)
2. Tierra + arena + cáscara de arroz, en una proporción 3:1:2 (S1)	S1E0 (T3)	S1E1 (T4)	S1E2 (T5)
3. Tierra + arena + cáscara de arroz, en una proporción 1:1:1 (S2)	S2E0 (T6)	S2E1 (T7)	S2E2 (T8)

T: tratamiento, E: escarificación, S0: Tierra bajo el dosel donde crecen los árboles de teca (*Tectona grandis* L.), S1: Tierra + arena + cáscara de arroz, en una proporción 3:1:2, S2: Tierra + arena + cáscara de arroz, en una proporción 1:1:1, E0: Semillas sin ningún tratamiento de escarificación.

Análisis de datos

Para evaluar la interacción de los métodos de escarificación y los tipos de sustratos ensayados, con los datos registrados fueron previamente analizados para determinar la distribución normal y homogeneidad de varianza, por medio de la prueba de Shapiro-Wilk, en algunos casos se requirió realizar transformaciones, tales como: logaritmo natural (ln) o raíz cuadrada. En los datos paramétricos se realizó un ANOVA a nivel de significancia al 5%; y posteriormente, la prueba de comparación múltiple de Tukey, se utilizó el software R versión 4.2.0 (R Core Team, 2022).

RESULTADOS

Germinación de semillas de *Tectona grandis* L.

La germinación de las semillas de *T. grandis* se registró a partir del día 10 y se estabilizó hasta el día 35 después de la siembra (Figura 2). Cabe destacar que a los 15 días el testigo alcanzó el pico más alto de germinación, con el 43%. Los tratamientos T2 (S0 E2), T5 (S1 E2) y T8 (S2 E2), no presentaron germinación, durante los 60 días de evaluación y no existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos ($p > 0,05$; F: 0,4676).

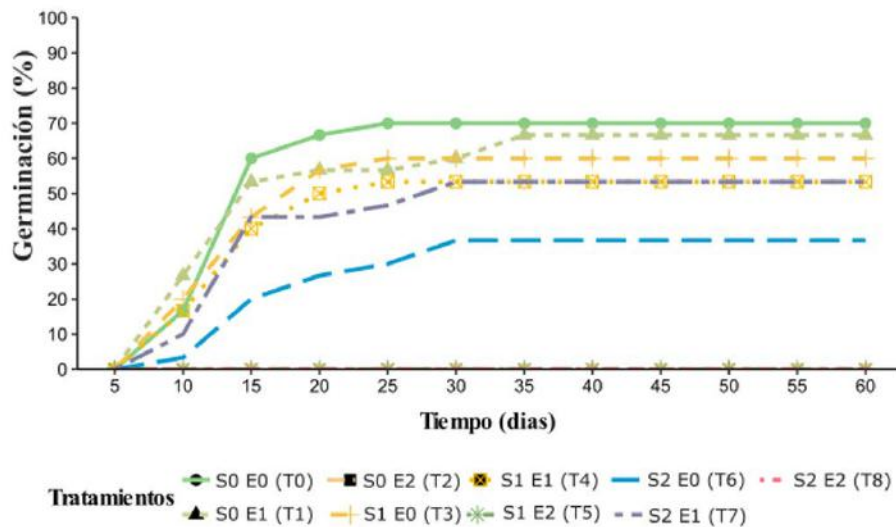


Figura 2. Curva de germinación acumulativa de *Tectona grandis* L., a los 60 días de evaluación

Porcentaje de germinación

El mayor porcentaje de germinación (70 %) se registró en el testigo (T0) que estuvo compuesto por semillas sin ningún tratamiento de escarificación y tierra bajo el dosel donde crecen los árboles de *T. grandis* (Figura 3); mientras tanto, los tratamientos T2 (S0 E2), T5 (S1 E2) y T8 (S2 E2), no presentaron germinación. El análisis estadístico realizado, determino que no existió diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0,05$; F: 0,4122).

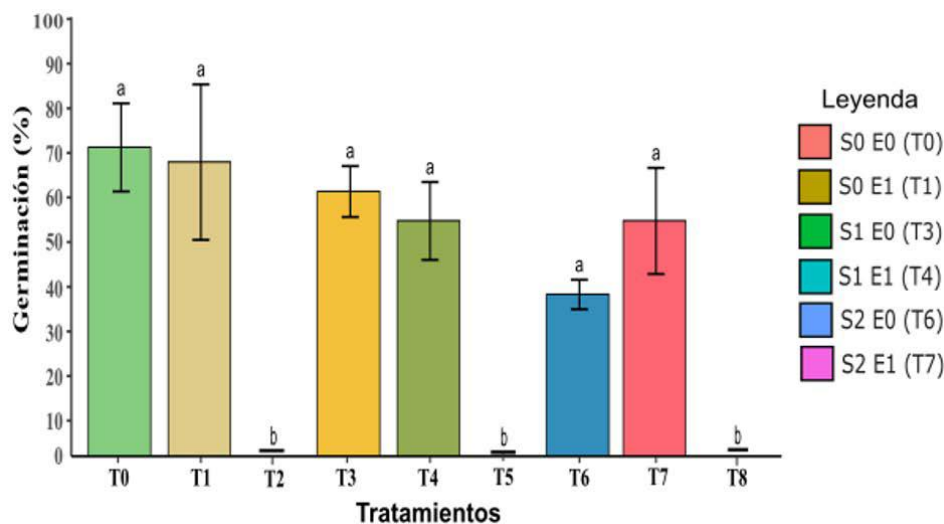


Figura 3. Porcentaje de germinación de las semillas de *Tectona grandis* L., a los 60 días de evaluación, a nivel de vivero.

Altura de las plántulas

Las semillas sumergidas en agua corriente por 24 horas (T1) y con sustrato compuesto por tierra de donde crecen los árboles de *T. grandis* L., registró el mayor promedio de altura en las plántulas, con 3,2 cm; mientras tanto, el testigo (T0) con tierra + arena + cáscara de arroz, en una proporción 1:1:1,

obtuvo menor promedio de altura de las plántulas con 1,2 cm (Figura 4). El análisis estadístico mostró diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$; F: 0,01263).

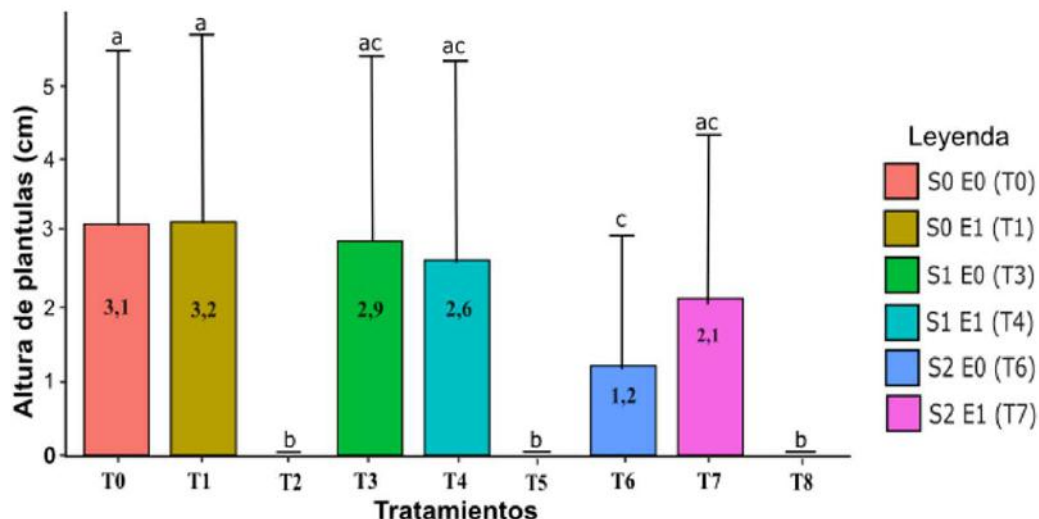


Figura 4. Altura de plántulas de *Tectona grandis* L., a los 60 días de evaluación, a nivel de vivero.

Número de hojas por plántula

El mayor promedio de hojas por plántula (5 hojas) se registró en el T0 y el T1; mientras tanto, el tratamiento T6 obtuvo el menor número promedio de hojas por plántula (2 hojas) (Figura 5). El análisis estadístico mostró diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$; F: 0,041).

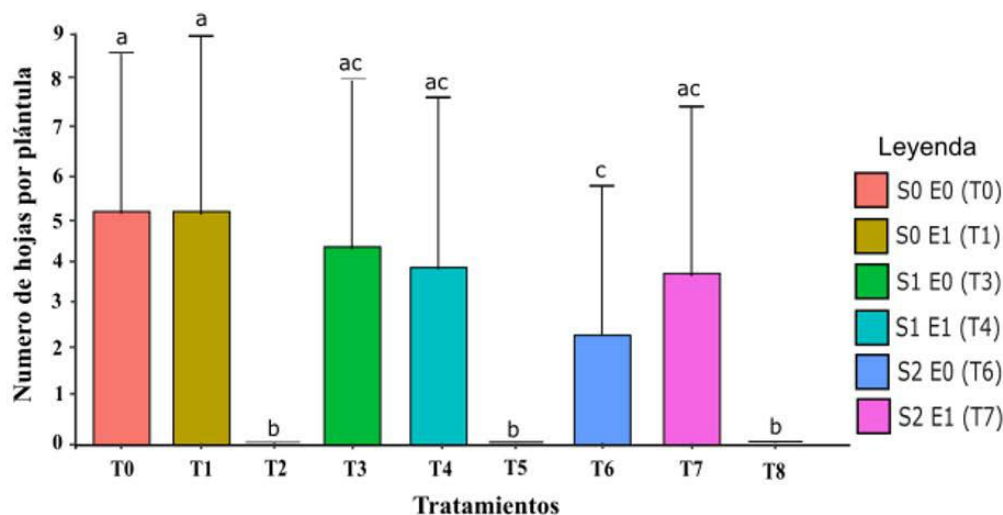


Figura 5. Hojas por plántula de *Tectona grandis* L., a los 60 días de evaluación, a nivel de vivero.

■ DISCUSIÓN

Número de días a la germinación

Las semillas de *Tectona grandis* L., germinaron a partir del día 10 y se estabilizaron en el día 35, en los tratamientos T0, T1, T3, T4, T6 y T7, resultados semejantes a los obtenidos por Chaves y Fonseca (1991), los cuales señalan que la germinación es epigea y frecuentemente empieza de 10 a 12 días después de la siembra; así también, Herrera (2018) indica que la germinación de semillas de teca inicia a los 10 días. Según Marrero (1949) en Puerto Rico, las semillas comenzaron a germinar tres semanas después de plantadas; además, Gupta y Pattanath (1975) reportan que la germinación de las semillas frescas empezó de los 26 a los 31 días, mientras que las semillas de un año de edad, germinaron entre 10 a 14 días, ante esto es importante hacer énfasis, en que las semillas utilizadas en la presente investigación, no fueron semillas frescas recolectadas en el área de estudio; sino, semillas certificadas, procedentes de Costa Rica.

Porcentaje de germinación

La germinación de semillas de *Tectona grandis* L., en el testigo (T0) presentó el 70 % de germinación, seguido del T1 en el cual las semillas se sumergieron en agua corriente por 24 horas y donde se utilizó el sustrato, tierra bajo el dosel donde crecen los árboles, con el 67 %, a los 60 días de evaluación. Chaves y Fonseca (1991), mencionan que los porcentajes de germinación varían considerablemente, con valores reportados de entre el 10 y 80 %; así también, Herrera (2018), indica que la semilla de teca previamente tratada puede presentar una tasa de germinación de hasta 80 % y usualmente es mejor en semillas de un año, que en semilla fresca. Según un estudio realizado por Hine *et al.* (2013), mencionan que obtuvieron el 84 % de germinación de semillas de *Tectona grandis* L., al utilizar semillas aisladas del endocarpo y el 70 % al utilizar semillas rodeadas por el endocarpo, todos estos resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación donde se alcanzó el 70 % de germinación, esto se corrobora con la ficha técnica entregada al momento de receptor las semillas certificadas, denominado: Información de la fuente semillera y calidad física de la *Tectona grandis* L., en el que mencionan que el porcentaje de germinación de dichas semillas es del 72 %.

En los tratamientos T2, T5 y T8, en los cuales se aplicó en común el método de escarificación semillas sumergidas en agua caliente durante cinco minutos, las semillas no germinaron, se evidenció pudrición y presencia de hongos, resultados que se corroboran con lo que menciona Muttiah (1975), el cual indica que las temperaturas altas, ya sea en procesos para chamuscar o en baños en agua a 85 °C, reducen la germinación de las semillas de teca.

Altura de las plántulas

En cuanto a la altura de las plántulas de *Tectona grandis* L., el tratamiento T1 obtuvo la mayor altura promedio de las plántulas, con 3,2 cm, seguido del tratamiento T0 compuesto por semillas sin ningún tratamiento de escarificación y tierra bajo el dosel donde crecen los árboles, con un promedio de 3,1 cm de altura de las plántulas, a los 60 días de evaluación. El análisis estadístico realizado demostró que si existió diferencia significativa entre los tratamientos. Estos resultados son similares a los obtenidos por Quenayata (2008), quien concluyó que el vigor de los plantines fue influenciado por los tratamientos pregerminativos casi de forma similar, hallándose los mejores resultados para el tratamiento T3: Exposición de frutos-semillas al sol y remojados con agua, con un valor de 5,5 cm de altura de las plántulas a los 73 días de evaluación.

Número de hojas por plántula

En lo referente a número de hojas por plántula de *Tectona grandis* L., el T0 compuesto por semillas sin ningún tratamiento de escarificación y tierra bajo el dosel donde crecen los árboles de *Tectona grandis* L., y el T1 compuesto por semillas en agua corriente por 24 horas y tierra bajo el dosel donde crecen los árboles, fueron los mejores tratamientos en los que se observó el mayor número promedio de hojas por plántula, con cinco hojas, a los 60 días de evaluación. Estos resultados son similares a los obtenidos por Quenayata (2008), el cual obtuvo el mayor promedio de hojas en las plántulas *Tectona grandis* L., con un valor de siete hojas, en el T3: Exposición de frutos-semillas al sol y remojados con agua, a los 83 días.

CONCLUSIONES

Los métodos de escarificación y tipos de sustratos, no influyeron de manera significativa en la germinación de semillas de *Tectona grandis* L. (teca), a nivel de vivero; sin embargo, el tratamiento testigo presentó el mayor resultado de germinación con el 70 %.

Durante la evaluación de la germinación de las semillas de *Tectona grandis* L. (teca), se evidenció que los tratamientos en los cuales se utilizó el método de escarificación, semillas sumergidas en agua caliente durante cinco minutos, no presentaron una germinación significativa.




BIBLIOGRAFÍA

- Camino, C. (2013). *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades*, Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 4-6. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2854>
- Chamba, J. (2002). *Propagación en vivero de seis especies forestales promisorias de la zona seca de la provincia de Loja*. [Tesis Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional-UNL
- Chaves, E. y Fonseca, W. (1991). *Teca, Tectona grandis* L. f. *Especies de árbol de uso múltiple en América central*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4173/Teca_Tectona_grandis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Díaz, T., González, B., Torres, E., Cruz, N. y Álava, S. (2010). Análisis de la producción de viveros y de la comercialización de plántulas en el Área de influencia del cantón Quevedo, provincia de Los Ríos para el establecimiento de plantaciones de Teca. *Ciencia y Tecnología*, 3(2), 13–20. <https://doi.org/10.18779/cyt.v3i2.93>
- Gupta, B. y Pattanath, P. (1975). Factors affecting germination behavior of teak seeds of eighteen Indian origins. *Indian Forester*. 101(10), 584-586.
- Herrera, C. (2018). La teca. *Forestal maderero*. <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/teca.html>
- Hine, A., Vargas, P. y Abdelnour, A. (2013). Crioconservación de semillas de teca (*Tectona grandis* L.F). *Agronomía Costarricense*, 37 (1), 51-60. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43628796004.pdf>

- Kaosaard, A., Suangtho, V. y Kjaer, E. D. (1998). Genetic improvement of teak (*Tectona grandis*) in Thailand. *Forest Genetic Resources*, 26, 21-29.
- Keogh, R. (2013). La teca y su importancia económica a nivel mundial. En Camino, R., Pierre, J. *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades*, Turrialba, Costa Rica Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 8-28. <http://www.ibiologia.unam.mx/gela/tecalibro.pdf>
- Marrero, J. (1949). Tree seed data for Puerto Rico. *Caribbean Forester*. 10, 11-30.
- Masilamani, P., Rajanbabu, V., Venkatesan, S., Alagesan, A., Albert, V. y Navamaniraj, K. (2022) Effect of ageing on *in vitro* true seed and *in vivo* drupe germination and its dormancy mechanism in teak (*Tectona grandis* Linn.f). *Journal of Applied and Natural Science*, 14, (3), 720-728. <http://dx.doi.org/10.31018/jans.v14i3.3501>.
- Muttiah, S. (1975). Some data on teak and further pregermination treatment trials. *Sri Lanka Forester*. 12(1): 25-36.
- Osuna, H., Osuna, A. y Fierro, A. (2017). *Manual de propagación de plantas superiores*. (1era Ed.). Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/manual_plantas.df
- PDOT (2015). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Buenavista 2015-2020*. <http://www.buenavistaloja.gob.ec/images/PDOT-GAD-BUENAVISTA-2015-2020.pdf>
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*.
- Ravichand, A. y Gunaga, R. (2021). Seed Biology and Seed Orchard Dynamics in Teak. In: Ramasamy, Y., Galeano, E. y Win, T. (eds) *The Teak Genome*. *Compendium of Plant Genomes*. Springer, Cham. 139 – 153. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79311-1_9
- Quenayata, J. (2008). Aplicación de técnicas pregerminativas en semillas de teca (*Tectona grandis* L.). [Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz – Bolivia]. Repositorio UMSA. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/4580/T-1263.pdf?sequence=1&isAllowed=>
- Silva, R., Vendruscolo, D., Rocha, J., Chaves, A., Souza, H. y Motta, A. (2016) Desempenho Silvicultural de *Tectona grandis* L. f. em diferentes espaçamentos em Cáceres, MT. *Floresta e Ambiente*, 23 (3), p. 397-405, <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.143015>.
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16 (2), 221-246. <https://www.redalyc.org/pdf/3190/319028008017.pdf>

Tratamientos pre-germinativos de semillas de *Caesalpinia spinosa* (Mol) O. Kuntze con distintos sustratos en el vivero de la Universidad Nacional de Loja

Pre-germinative treatments of *Caesalpinia spinosa* (Mol) O. Kuntze seeds with different substrates in the Universidad Nacional de Loja's nursery

Sandro Reyes-Ramírez ^{1*} 
Wilson Chalco-Sandoval ² 
Katusca Valarezo-Aguilar ² 
Oscar Ordóñez Gutiérrez ²

¹Ingeniero Forestal, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

²Docentes Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

*Autor para correspondencia: oscar.ordonez@unl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1868>

Recibido: 17/04/2023

Aceptado: 20/05/2023

RESUMEN

La investigación consistió en la evaluación del porcentaje de germinación de semillas y del prendimiento de plántulas de *Caesalpinia spinosa* bajo diferentes tratamientos pre-germinativos en distintos tipos de sustratos provenientes de árboles con características fenotípicas sobresalientes de cuatro cantones de la provincia de Loja (Catacocha, Catamayo, Gonzanamá y Loja). Para evaluar el porcentaje de germinación de las semillas de *Caesalpinia spinosa*, se aplicó un diseño simple al azar con seis tratamientos pregerminativos, seis tipos de sustratos, cuatro procedencias, tres repeticiones de 20 semillas cada una, sembrando un total de 8 640 semillas, siendo 2 160 por procedencia. Además, se realizó la evaluación de las características morfológicas de altura, diámetro del tallo, número de hojas y longitud de la raíz bajo condiciones de sombra, con sarán al 50, 65, 80 % y a cielo abierto. El tratamiento pre-germinativo con escarificación mecánica (lijado de la testa de la semilla) registró la mayor germinación de 85,83 % en un sustrato compuesto por tierra, arena y nitrosano en proporción 2:1:1. La condición de sombra al 50 % presentó mejores resultados de crecimiento en altura de las plántulas y longitud de la raíz con un promedio de 9,75 cm y 14,99 cm respectivamente; en cuanto al diámetro del tallo y número de hojas, la condición al aire libre presentó un mayor promedio de 3,43 mm de 7,75 respectivamente.

Palabras clave: Escarificación, germinación, crecimiento, sustrato, plántulas, condiciones de sombra.

ABSTRACT

The research pursued the purpose of evaluating the percentage of seed germination and seedling development of *Caesalpinia spinosa* under different pre-germinative treatments in different types of substrates from trees with outstanding phenotypic characteristics from four cantons of the province of Loja (Catacocha, Catamayo, Gonzanamá and Loja). To evaluate the germination percentage of *Caesalpinia spinosa* seeds, we applied a simple randomized design with six pre-germinative treatments, six types of substrates, four provenances, three replicates of 20 seeds each, sowing a total of 8 640 seeds, being 2 160 per provenance. In addition, we evaluated the morphological characteristics of height, stem diameter, number of leaves and root length under shade conditions, with saran at 50, 65, 80 % as well as outdoor. The pre-germination treatment of mechanical scarification (sanding of the seed head) recorded the highest germination of 85,83 % in a substrate composed of soil, sand and nitrosane in a 2:1:1 ratio. The 50 % shade condition showed better growth results in seedling height and root length with an average of 9,75 cm and 14,99 cm respectively; as for stem diameter and number of leaves, the outdoor condition presented a higher average of 3,43 mm of 7,75

Keywords: Scarification, germination, substrates, growth, seedlings, shade conditions.

INTRODUCCION

En la provincia de Loja *Caesalpinia spinosa* (Mol) O. Kuntze, se distribuye en un rango altitudinal de 1 500 – 3 000 m s.n.m. (Jorgensen y Leon-Yáñez, 1999), la especie posee gran diversidad de beneficios, característicamente las vainas sirven para extraer taninos (Melo *et al.*, 2013) y de las semillas se puede obtener gomas (Villena Velásquez *et al.*, 2019), sin embargo, el desconocimiento por parte de las familias de las comunidades de la importancia y usos, ha promovido un aprovechamiento sólo con fines maderables, para cercar los terrenos, como fuente de combustibilidad para la producción de carbón, construcción de viviendas y para establecer sistemas agroforestales (Narváez *et al.*, 2009), lo que ha provocado la destrucción, disminución y pérdida de individuos de la especie, quedando distribuida de una forma dispersa en cercas vivas, cultivos y en áreas lejanas de difícil acceso y de topografía irregular (Villena y Seminario, 2021).

La germinación de las semillas de *Caesalpinia spinosa* se debe realizar mediante diferentes tratamientos pre - germinativos, debido a la dureza de la semilla (Lindo-Angulo *et al.*, 2017) que ayudan a romper el estado de latencia de las semillas, permitiendo que tengan la capacidad de germinar de acuerdo a las condiciones necesarias que requieren. En esta investigación tiene como objetivo realizar ensayos pre - germinativos para la propagación de *Caesalpinia spinosa* en diferentes tipos de sustratos, con la finalidad de contribuir a la conservación de la especie a partir de semillas de individuos de mayor valor genético de la provincia de Loja y establecer a futuro huertos semilleros, para abastecer de semillas de calidad a los diferentes proyectos, instituciones y propietarios de los predios en la provincia y el país.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el vivero de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la parroquia San Sebastián, a una altitud de 2 166 m s.n.m., en las coordenadas UTM 699 798 longitud Este y 9 553 281 latitud Norte, a 3 km al sur de la ciudad de Loja, vía a Malacatos (Figura 1).

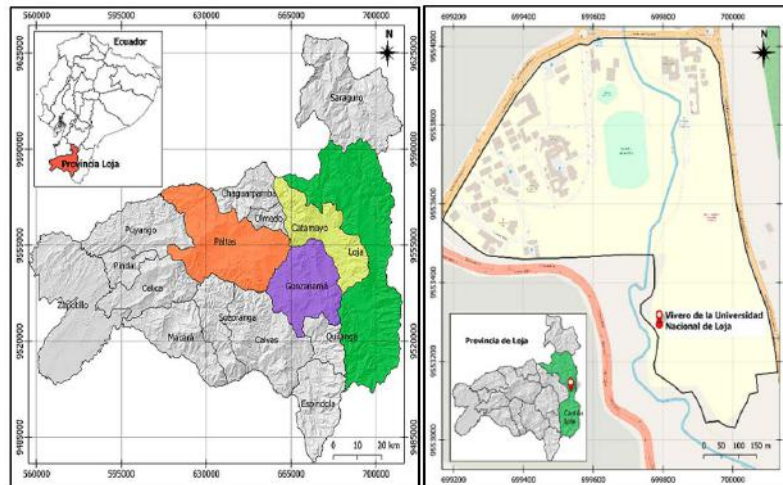


Figura 1. Ubicación del vivero de la Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

Materiales

Los materiales utilizados en la propagación de plántulas en vivero fueron: podadora de mano (Pretul), pala (Bellota), lampa (Bellota), pala y rastrillo de jardín (Truper), regadera plástica (Pycca), sarán al 70, 80 y 90 % de sombra (Ferrekret), flexómetro (Stanley), calibrador Lcd 6 pulgadas (Calibrator 101), envases de vidrio de 250 y 500 ml (Ferzosa), regla graduada 0 - 30 cm (Maped), fundas de polietileno 4 x 6 pulgadas, urea 46 % nitrógeno (Agripac), tierra negra, humus (Municipio de Loja), arena, tamo de arroz, marcadores (Edding), cinta masking (Wenger), fundas Ziploc, formol (Lira).

Evaluación del porcentaje de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* provenientes de árboles plus de cuatro cantones de la provincia de Loja a nivel de vivero, mediante diferentes tratamientos pre-germinativos

Colecta y selección de semillas

Las semillas de *Caesalpinia spinosa* fueron obtenidas de árboles fenotípicamente superiores en el año 2019, que fueron identificados, evaluados y seleccionados previamente en el proyecto “Caracterización e industrialización de *Caesalpinia spinosa* en cuatro cantones de la provincia de Loja” (Paltas, Gonzanamá, Catamayo y Loja), en base a las mejores características fenotípicas (altura, diámetro de copa, diámetro a la altura del pecho y vitalidad) dando un total de 53 árboles matrices. Una vez definidos los árboles se procedió a la recolección de los frutos, procesamiento, almacenamiento y etiquetado de las semillas para la propagación en vivero, con el propósito de evaluar la germinación, crecimiento y desarrollo de las plántulas.

Tratamientos pre-germinativos

Dada la estructura rígida de la semilla de *C. spinosa* se probaron seis tratamientos pre-germinativos (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos pre-germinativos de las semillas de *Caesalpinia spinosa* L. para la siembra a nivel de vivero.

No.	Tratamiento	Escarificación	Descripción
1	TP0	testigo	Sin escarificación
2	TP1	mecánica	Limado de un lado de la semilla con una lija hasta que se rompa la testa
3	TP2	química	Inmersión de las semillas en una solución de 10 g de urea en 1 L de agua por un tiempo de 2 horas
4	TP3	física	Hervir agua durante 10 minutos y dejar enfriar el agua por cinco minutos, posteriormente se colocó las semillas, dejando reposar durante 24 horas en un recipiente hermético
5	TP4	física	semillas en remojo en agua fría durante 72 horas, con cambios de agua a cada 24 horas
6	TP5	estratificación	Exposición de las semillas a una temperatura de -19 °C durante un período de 120 horas.

Sustrato para la germinación

Para evaluar la germinación de las semillas se utilizaron sustratos disponibles y utilizados en la región (Tabla 2).

Tabla 2. Sustratos ensayados para la germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* L.

No.	Tratamiento	Sustrato	Proporción
1	T0	Tierra	1
2	T1	tierra, arena y nitrosano	2.1.1
3	T2	tierra, arena y cascarilla de arroz	2.1.1
4	T3	tierra, humus y arena	2.1.1
5	T4	tierra, arena y estiércol de chivo	2.1.1
6	T5	tierra y humus	2.2

La desinfección del sustrato para el llenado de fundas se realizó 12 horas antes de la utilización, donde se aplicó 100 g (una cucharada) de terraclor y se disolvió en 10 litros de agua, con la finalidad de prevenir hongos en las semillas.

Instalación del ensayo de *Caesalpinia spinosa* en el vivero

Para evaluar la germinación de semillas *C. spinosa* se utilizó el diseño simple al azar, donde se ensayaron seis tratamientos pre – germinativos, seis tipos de sustratos, cuatro procedencias, tres repeticiones y 20 semillas para cada repetición, dando un total de 8 640 semillas para el ensayo (Figura 2). La siembra de las semillas se llevó de forma directa en fundas de polietileno de 10 x 20 cm, donde se colocó una semilla a 1 cm de profundidad en cada funda que contenía el sustrato desinfectado y etiquetado correspondiente a cada tratamiento.

Las variables evaluadas fueron el porcentaje de germinación y de mortalidad de las plántulas en invernadero por cada tratamiento pre-germinativo y por tipo de sustrato, durante 45 días a partir de la siembra de las semillas.

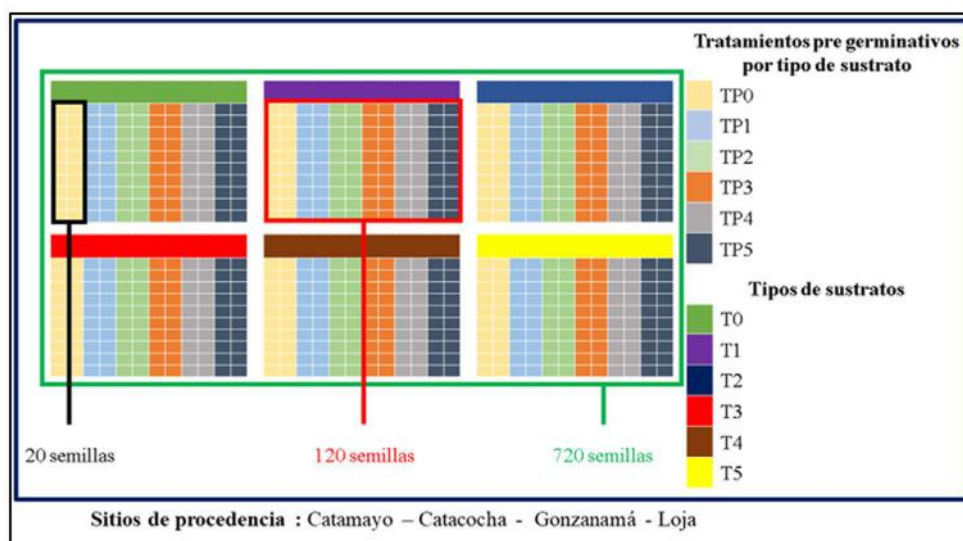


Figura 2. Esquema de la siembra de semillas de *Caesalpinia spinosa* por tratamiento pre – germinativo y tipo de sustrato en el invernadero por procedencia.

Evaluación del prendimiento y crecimiento de las plántulas de *Caesalpinia spinosa*, bajo diferentes tipos de sustratos

Preparación de las plántulas bajo diferentes condiciones físicas

Una vez que las plántulas lograron el prendimiento fueron transportadas y colocadas en las platabandas que contaron con cuatro condiciones de sombra, siendo a cielo abierto y cubierta con sarán al 50, 65 y 80 %. En todas las condiciones se realizó el riego periódico de las plántulas.

Para evaluar el comportamiento y el tiempo de crecimiento de las plántulas para las cuatro condiciones de sombra, se seleccionó 1 plántula al azar de cada tratamiento pre-germinativo, es decir 6 plántulas por cada tipo de sustrato, que corresponden a 36 por cada sitio de procedencia y 144 plántulas para todas las procedencias. De las 36 plántulas seleccionadas por sitio de procedencia, se evaluó cada ocho días las características morfológicas de altura, número de hojas y grosor de tallo durante dos meses (ver Figura 3).

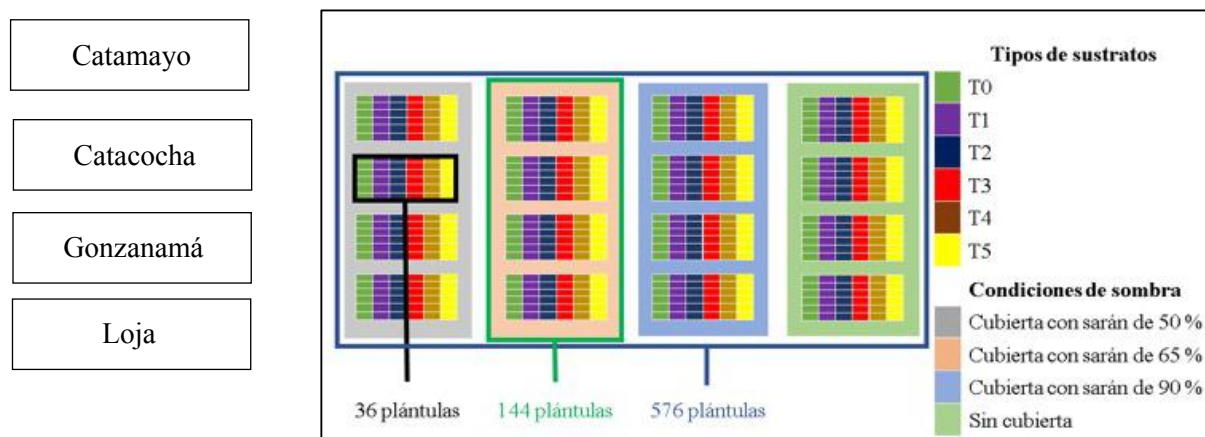


Figura 3. Esquema de la distribución de las plántulas de *Caesalpinia spinosa* por tipos de sustrato por cantón, bajo diferentes condiciones de sombra en el vivero.

Evaluación de características morfológicas de las plántulas

La evaluación de las variables morfológicas de las plántulas se realizó a los 45 días después de la siembra de las semillas (Payares, Mario, Medrano, y Millán, 2014), donde se tomó el registro de datos de altura de la plántula desde la base del sustrato hasta el meristemo apical (AP), número de hojas, se determinó mediante el conteo únicamente de las hojas que se encontraron abiertas en su totalidad (NH), grosor de tallo, realizando mediciones en la base de la plántula con un calibre (GT) y longitud de la raíz, que se determinó mediante la medición con una regla graduada de la raíz de las plántulas, el cual consistió en eliminar el sustrato adherido a la raíz con agua para su posterior medición de la longitud de la misma desde la base de la plántula hasta la ramificación más larga (LR). Tomando el registro de plántulas cada 8 días durante un periodo de tiempo de 2 meses, para cada tratamiento de sustrato.

Análisis de datos

Con la finalidad de determinar si existe diferencia significativa entre los tratamientos, se realizó la comparación entre la “varianza del tratamiento” con la “varianza del error” y se determinó si la primera es suficientemente alta según la distribución F (Chou y Armer, 1977 en Zari, 2018). Para el procesamiento de los datos se utilizó el software Statgraphics Plus para Windows 5.1. (2008).

RESULTADOS

Semillas germinadas de *Caesalpinia spinosa*.

Según el análisis de varianza (ANOVA) se obtuvo el coeficiente de variación de 15,18; 16,19; 13,42 y 16,03 % para todas las procedencias (Catacocha, Catamayo, Gonzanamá y Loja, respectivamente), en todos los tratamientos pre – germinativos aplicados; y diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,001$). Para el caso de las semillas de procedencia de Catacocha el tratamiento (TP1) fue el que presentó una mayor diferencia significativa en relación a los otros tratamientos, con 16,94 semillas germinadas que representa el 84,7 %; mientras que, en los TP0, TP2 y TP5 no existen diferencias significativas, obteniendo como resultado de 6,72; 7,28 y 7,0 semillas germinadas, respectivamente (Figura 4). Lo mismo sucede con las semillas de procedencia de Catamayo donde el TP1 presenta una diferencia significativa en relación a los demás tratamientos, con 16,67 semillas germinadas que representa el 83,35 % de germinación, mientras que el TP0, TP2, TP3, TP4 y TP5 no presentan diferencias significativas

obteniendo como resultado de 8,28; 7,76; 7,72; 7,44 y 6,94 semillas germinadas respectivamente (Figura 5). En cuanto a las semillas de procedencia de Gonzanamá el TP1 es el que alcanzó una mayor diferencia significativa en relación a los demás tratamientos, con 16,67 semillas germinadas que representa el 83,35 %; mientras que el TP4 presentó 9,06 semillas germinadas, que corresponde a 45,30 %, teniendo menor diferencia significativa en relación al TP3, TP0, TP2, y TP5, respectivamente (Figura 6). Para el caso de las semillas de procedencia de Loja, el TP1 es el que presentó mayor significancia en relación a los demás tratamientos, con 17,17 semillas germinadas que representa el 85,85 % de germinación; mientras que el TP3 tuvo 8,89 semillas germinadas, que corresponde a 44,45 %, teniendo mayor significancia con respecto al TP1. Además, en el TP0, TP2, TP4 y TP5 no existen diferencias significativas entre ellos, durante el período de evaluación del ensayo (Figura 7).

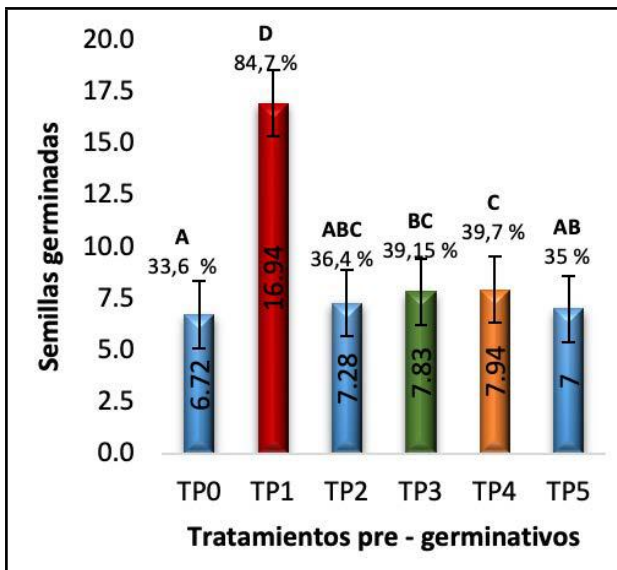


Figura 4. Porcentaje de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* provenientes del cantón Catacocho, por tratamientos pre – germinativos.

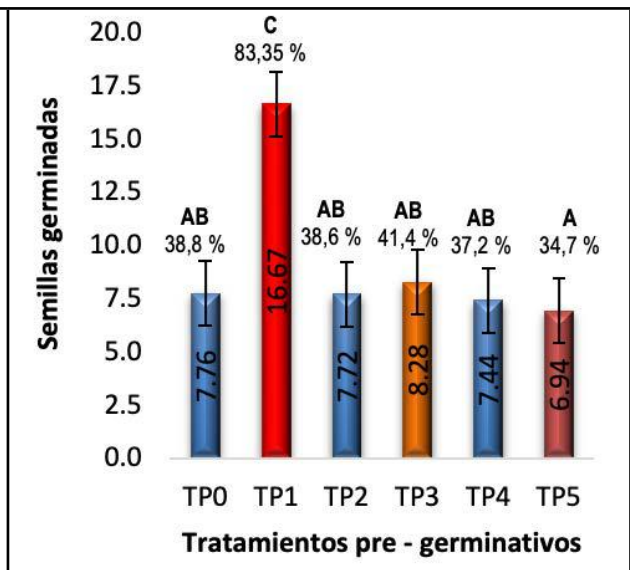


Figura 5. Porcentaje de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* provenientes del cantón Catamayo, por tratamientos pre – germinativos.

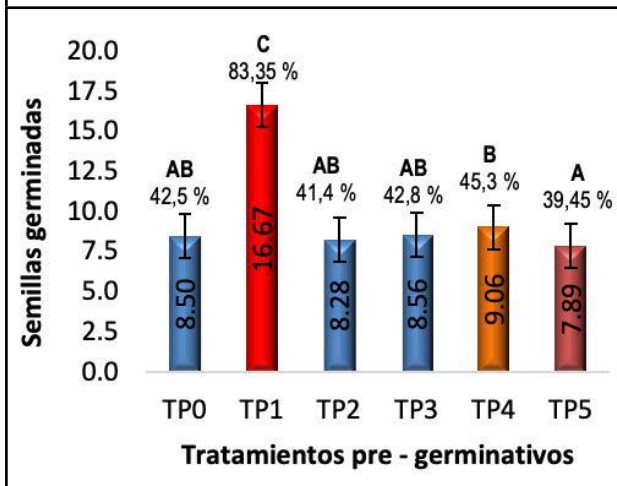


Figura 6. Porcentaje de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* provenientes del cantón Gonzanamá, por tratamientos pre – germinativos.

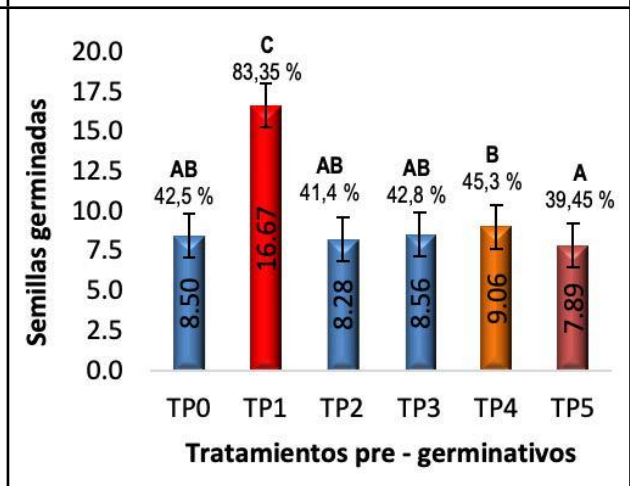


Figura 7. Porcentaje de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* provenientes del cantón Loja, por tratamientos pre – germinativos.

Con respecto al análisis de varianza (ANOVA) realizado para cada tipo de sustrato utilizado para la siembra de semillas de las cuatro procedencias (Catacocha, Catamayo, Gonzanamá y Loja), se obtuvo el coeficiente de variación (CV) de 6,54; 8,01; 5,58; 5,68 respectivamente, mostrando diferencias significativas ($p=0,0232$; $p=0,3513$; $p=0,1053$) entre tratamientos para las tres procedencias, respectivamente, y para procedencia de Loja no son significativamente diferentes ($p=0,1053$). Para el caso de las semillas de procedencia del cantón Catacocha, el T3 fue el que presentó diferencias significativas en relación a los demás tratamientos, con 61 semillas germinadas que corresponde al 50,83 % (Figura 8), mientras que para las semillas de procedencia del cantón Catamayo el T5 fue el que presentó diferencias significativas en relación a los demás tratamientos, con una germinación de 58 semillas, que corresponde al 48,33 % (Figura 9); en cuanto a las semillas de procedencia del cantón Gonzanamá, el T1 y T3 fueron los que presentaron mayor diferencia significativa en relación con los demás tratamientos, donde obtuvieron mayor germinación con 62,27 y 62 semillas, lo cual corresponde a 52,23 % y 51,67 %, respectivamente (Figura 10); y en cuanto a las semillas de procedencia del cantón Loja se dio una mayor germinación en el T1 con 57,67 semillas germinadas que corresponde a 48,06 % del total de semillas sembradas (Figura 11).

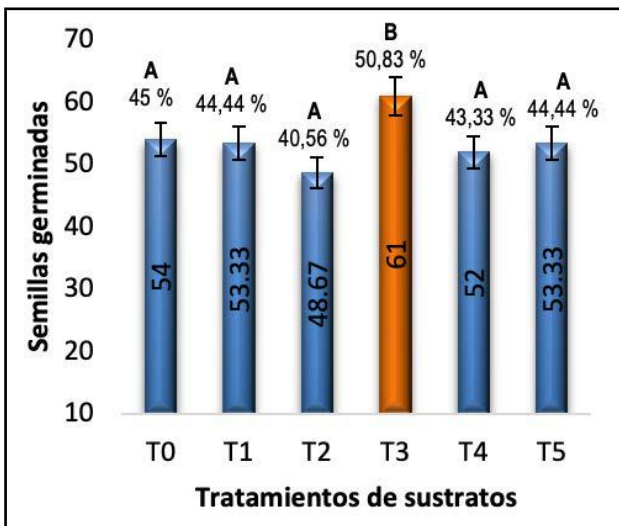


Figura 8. Porcentaje de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* provenientes del cantón Catacocha, por tratamientos de sustrato.

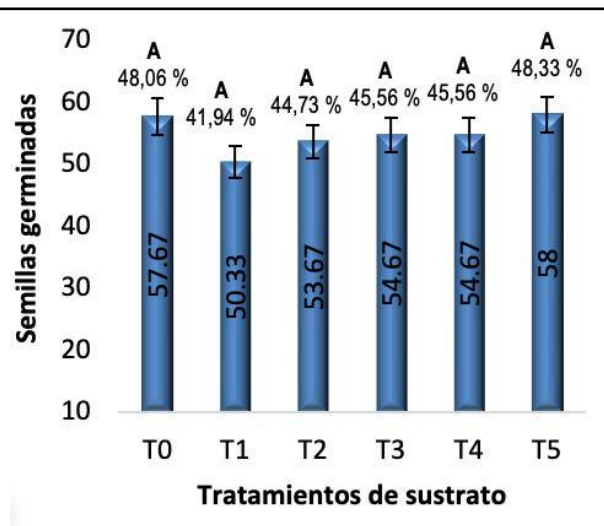


Figura 9. Porcentaje de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* provenientes del cantón Catamayo, en distintos tratamientos de sustrato.

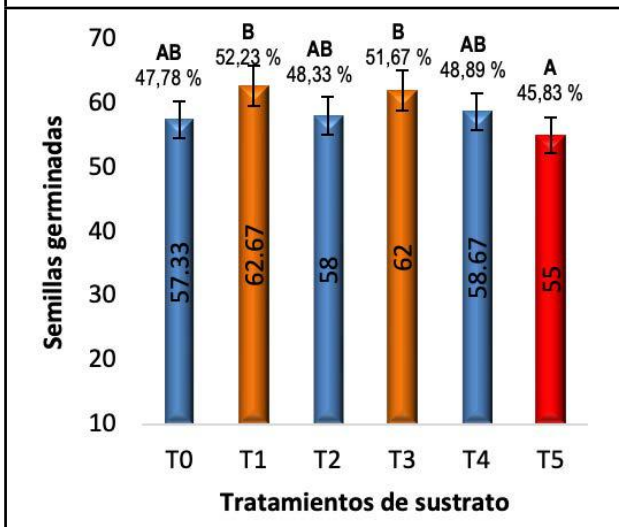


Figura 10. Porcentaje de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* provenientes del cantón Gonzanamá, en distintos tratamientos de sustrato.

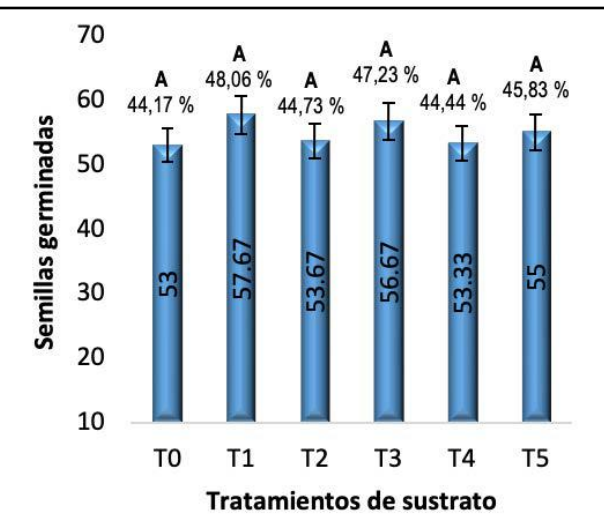


Figura 11. Porcentaje de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* provenientes del cantón Loja, en distintos tratamientos de sustrato.

Evaluación de mortalidad de plántulas de *Caesalpinia spinosa*, en el invernadero

La tasa de mortalidad de las plántulas de las cuatro procedencias, presentaron una tasa de mortalidad baja. Las procedencias de Catacocha y Catamayo tuvieron una mayor mortalidad de plántulas en el (T2) con el 0,56 y 1,67 %, respectivamente; mientras que las plántulas de los cantones Gonzanamá y Loja en los T5 y T0 presentaron un mayor porcentaje de mortalidad con 1,11 % en ambos casos Figuras 12 - 15.

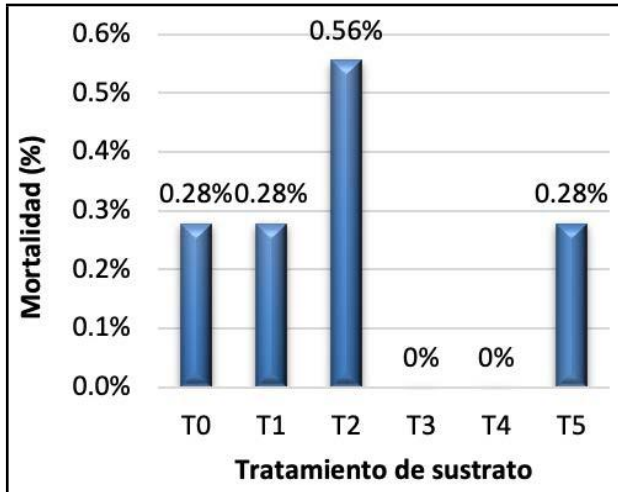


Figura 12. Porcentaje de mortalidad de plántulas de *Caesalpinia spinosa* del cantón Catacocha.

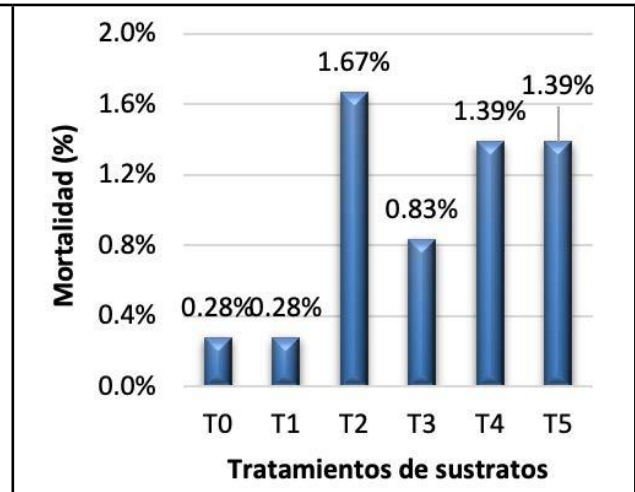


Figura 13. Porcentaje de mortalidad de plántulas de *Caesalpinia spinosa* del cantón Catamayo.

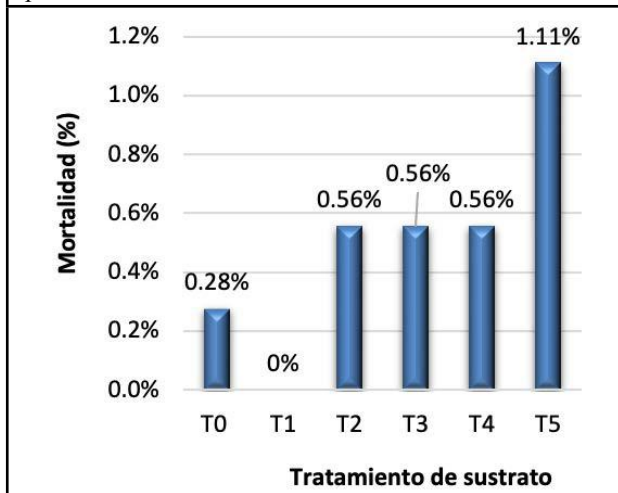


Figura 14. Porcentaje de mortalidad de plántulas de *Caesalpinia spinosa* del cantón Gonzanamá.

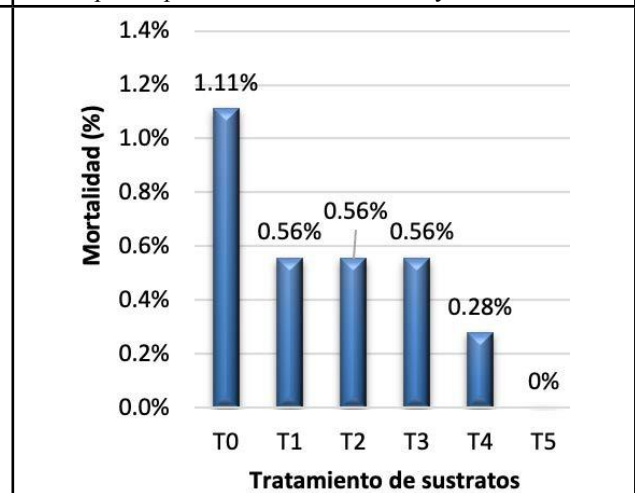


Figura 15. Porcentaje de mortalidad de plántulas de *Caesalpinia spinosa* del cantón Loja.

Evaluación a la respuesta de prendimiento y crecimiento de las plántulas de *Caesalpinia spinosa*, bajo diferentes tipos de sustratos, condiciones de sombra y sitios de procedencia

Desarrollo de las plántulas por tratamiento de sustrato.

En todos los tratamientos de sustratos (T0, T1, T2, T3, T4 y T5) las plántulas presentaron mejores resultados de crecimiento en promedio de altura en una condición de sombra de 50 %, con 9,69, 9,73, 9,72, 9,72, 9,73 y 9,75 cm y de longitud de la raíz de las plántulas de 14,99, 14,32, 14,18, 14,56, 14,44 y 14,98 cm, respectivamente; mientras que la condición al aire libre presento en promedio un mayor desarrollo del diámetro del tallo con 3,37, 3,37, 3,41, 3,40, 3,42 y 3,43 mm y mayor número de hojas con promedios de 5,65, 5,67, 5,72, 5,68, 5,71 y 5,75, respectivamente.

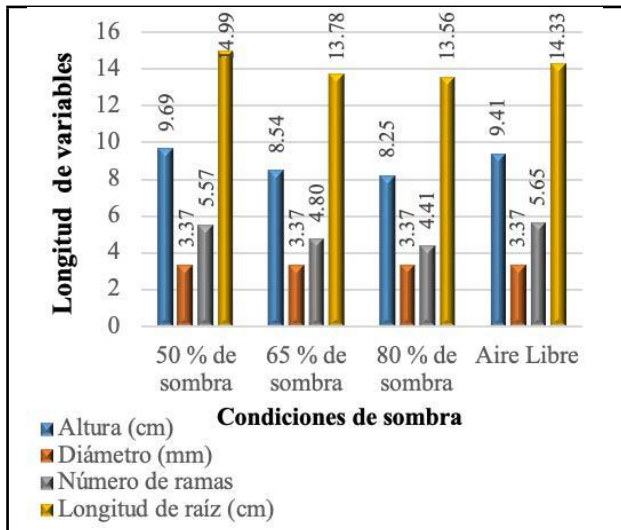


Figura 16. Crecimiento de plántulas en el (T0).

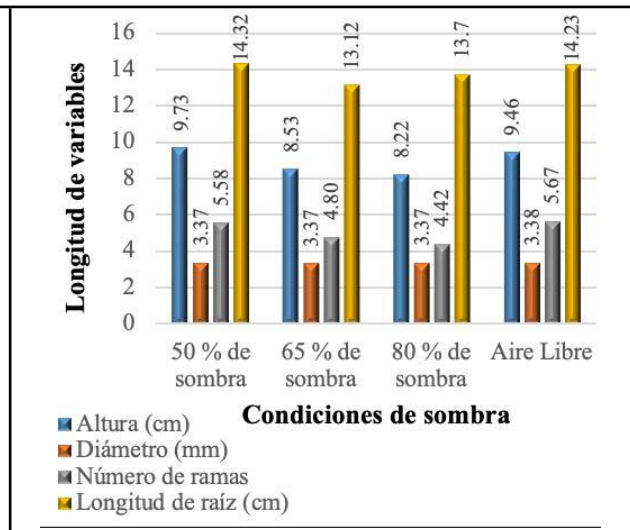


Figura 17. Crecimiento de plántulas en el T1.

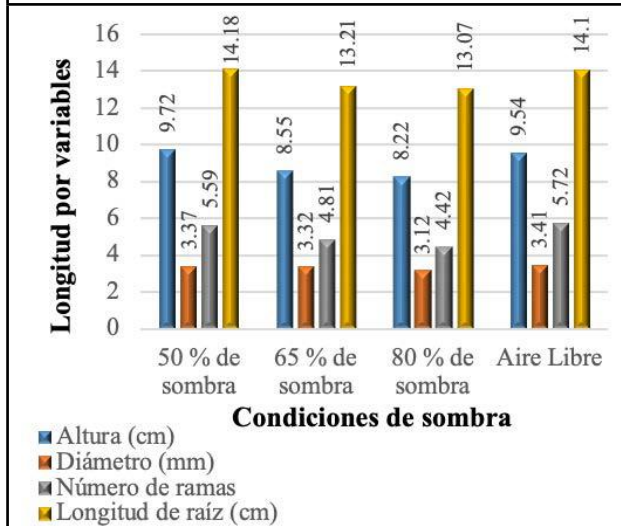


Figura 18. Crecimiento de plántulas en el T2.

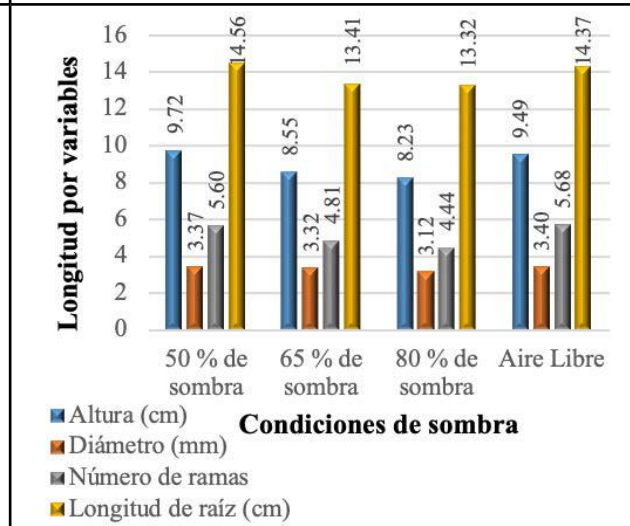


Figura 19. Crecimiento de plántulas en el T3.

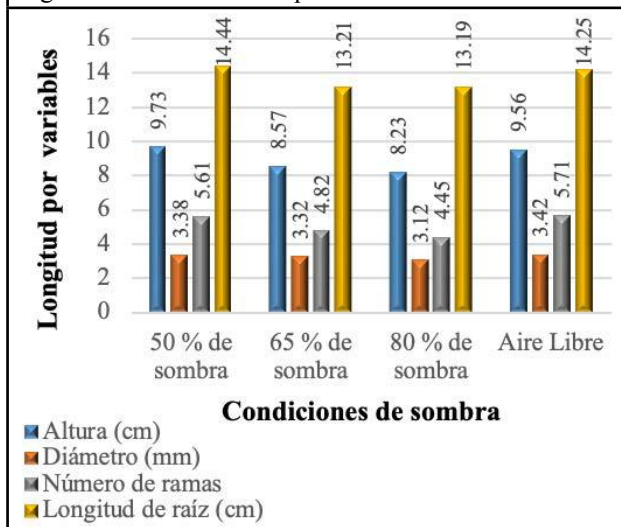


Figura 20. Crecimiento de plántulas en el T4.

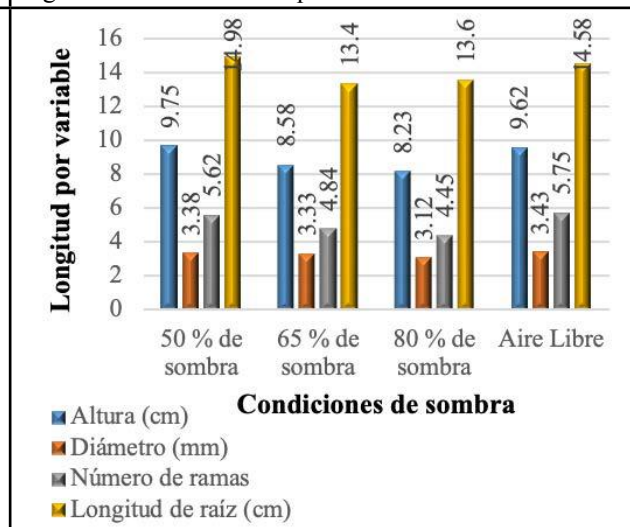


Figura 21. Crecimiento de plántulas en el T5.

■ DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos, el tratamiento pre – germinativo TP1 (escarificación mecánica, lijado de la testa de la semilla) registró el mayor porcentaje promedio de germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* con 84,31 %, estos resultados son corroborados por Neri, et al. (2018), quienes aplicaron el corte de la testa y remojo de las semillas de *C. spinosa* por un tiempo de 12 y 24 horas, obtuvieron el valor promedio de porcentaje de germinación de 91,67 y 93,75 % respectivamente. Así mismo, Torres (2019) obtuvo un porcentaje de germinación del 76 % mediante el lijado de la testa de las semillas. Esto demuestra que el lijado de la semilla induce a obtener mejores resultados en el porcentaje de germinación, debido a que la semilla de la especie posee una testa dura, por lo que requiere de este tipo de tratamiento para acelerar e incrementar el porcentaje de germinación.

En cuanto a la germinación de las semillas de *Caesalpinia spinosa* considerando el tipo de sustrato para los diferentes tratamientos pre – germinativos, el T3 compuesto por tierra, arena y humus en proporción 2:2:1, presentó un mayor porcentaje de germinación de 48,82 %, y el T1 compuesto por tierra, nitrosano y arena en proporción 2:2:1, tuvo una germinación de 46,67 %, iniciando la germinación a partir del día 8 hasta el día 20, período que las semillas de la especie *Caesalpinia spinosa* presenta su proceso de germinación. Estos resultados son similares a los reportados en el estudio de Lara (2019), quien, utilizando un sustrato compuesto por tierra negra, cascarilla de arroz y arena, obtuvo un porcentaje de germinación de 38,48 % durante una evaluación de 20 días, además, Mendoza (2015) utilizó un sustrato compuesto por tierra, humus de lombriz y arena en proporción 2:2:1 obtuvo una germinación de 52,62 %. Mientras que Benito (2012) mediante siembra directa en fundas de polietileno obtuvo un mayor poder germinativo de 73,33 %, utilizando como sustrato tierra de plantaciones de tara.

El seguimiento y evaluación de germinación, prendimiento y desarrollo de las plántulas se lo realizó por un tiempo de 105 días, de los cuales: 25 días fueron destinados para evaluar el porcentaje de germinación en invernadero; 20 días para evaluar el prendimiento bajo invernadero y 60 días para evaluar el desarrollo de las plántulas en vivero bajo diferentes ambientes de sombra.

Los resultados obtenidos en cuanto al desarrollo de las plántulas son similares con los reportados en el estudio realizado por Espinosa (2018), quien utilizó un sustrato compuesto por tierra agrícola, compost con microorganismos eficientes y compost tradicional en proporción 3:2:1, obteniendo un crecimiento de las plántulas de 10,97 cm de altura, en un tiempo de evaluación de 80 días después de la germinación. Así mismo, Mamani (2020) menciona que, utilizando un sustrato constituido por tierra agrícola, tierra de bosque y arena en proporción 3:2:1, obtuvo el crecimiento de las plántulas con un promedio de 11,30 cm de altura, a los 120 días después de la germinación. Por otro lado, Merchán (2014) reporta un mayor crecimiento de las plántulas de *Caesalpinia spinosa* en comparación con este estudio y el de Mamani (2020) alcanzando un promedio de altura de 20,73 cm después de 120 días de la germinación, en un sustrato constituido por 100 % tierra negra.

Con respecto al diámetro del tallo de las plántulas, se obtuvo mejores resultados bajo condiciones de aire libre, con un promedio en el diámetro del tallo de 3,43 mm en el T5, sustrato compuesto por tierra y humus en proporción 2:2. Cuyos resultados son similares al estudio de Mondragón (2016), quien aplicó un sustrato compuesto por tierra agrícola y tierra de bosque, obteniendo un resultado promedio de 3,67 mm de diámetro del tallo. Por otro lado, Cruz (2019), obtuvo un promedio mayor en el diámetro del tallo con 3,82 mm durante 120 días de evaluación, teniendo en este estudio mejores resultados en un sustrato compuesto por tierra agrícola, tierra de bosque y arena de mina en proporciones 3:2:1;

cabe mencionar que esta diferencia en cuanto al diámetro del tallo está relacionada con el tiempo considerado para la evaluación.

En cuanto al número de hojas las plántulas de *Caesalpinia spinosa* presentaron un número promedio de 6 hojas en condiciones al aire libre en el T5, sustrato compuesto por tierra y humus en proporción 2:2. Siendo estos resultados similares a los obtenidos por Cruz (2019), durante 120 días después de la germinación, teniendo como resultado un promedio de 6 hojas en un sustrato compuesto por suelo agrícola y suelo de bosque. Además, Mondragón (2016) en su estudio reporta que las plántulas presentaron un promedio total de 7 hojas, durante una evaluación de 90 días, donde se ha empleado un sustrato constituido por tierra negra, humus y arenilla, en proporción 2:2:2.

Finalmente, las plántulas de *Caesalpinia spinosa* presentaron mejores resultados en cuanto a la longitud de la raíz con un promedio de 14,99 cm en el T0, sustrato compuesto por 100 % tierra y bajo la condición de 50 % de sombra durante los 105 días de evaluación. Cuyos resultados son bajos en relación al estudio realizado por Cruz (2019) que obtuvo un mayor resultado en un sustrato compuesto por tierra agrícola, tierra de monte y arena, en proporción 2:2:1, alcanzando un promedio de 18.01 cm de longitud de raíz durante una evaluación de 120 días después de la germinación de plántulas de tara; la diferencia puede ser debido al mayor tiempo considerado para la evaluación.

■ CONCLUSIONES

Mediante el método de siembra directa en fundas de polietileno en el invernadero, la escarificación mecánica alcanzó un mayor porcentaje de germinación de 83,33 %, ya que permite eliminar la latencia física de la semilla, facilitando la rápida absorción de agua del exterior para activar de manera inmediata el embrión y dar paso al proceso germinativo.

Las semillas provenientes del cantón Loja alcanzaron el mayor porcentaje de germinación con el 85,83 % bajo el tratamiento pregerminativo de escarificación mecánica que consistió en el lijado de la testa de las semillas con una lija de grano grueso número 100 y con un sustrato compuesto por tierra negra, arena y nitrosano en proporción 2:1:1.

Los tratamientos de escarificación física y química no incidieron mayoritariamente en la germinación de las semillas, debido que al introducir las semillas en agua caliente a una temperatura de ebullición pierden su viabilidad, por el daño que pueden ocasionar al embrión de la semilla.

Las plántulas de *Caesalpinia spinosa* en vivero presentaron un mayor desarrollo y crecimiento en condiciones de aire libre, con un sustrato constituido por tierra y humus en proporción 2:2.

■ BIBLIOGRAFÍA

- Benito, J. (2012). *Comportamiento de Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze a tratamientos pre germinativos en campo definitivo y diferentes niveles altitudinales, Quishuar, Tayacaja, Huancavelica*. [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>.
- Cruz, R. (2019). *Efecto de cinco sustratos, en los parámetros de crecimiento de plantones de Caesalpinia spinosa K.*: [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/untrm/1482/chapa_grandez_sally_patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Reyes- Ramírez, S. et al. (2023). Tratamientos pre-germinativos de semillas de *Caesalpinia spinosa* (Mol) O. Kuntze con distintos sustratos en el vivero de la Universidad Nacional de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 13(2): 43 - 55. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1868>

Espinosa, R. (2018). *Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de Caesalpinia spinosa (Tara) y Enterolobium cyclocarpum (oreja de negro) en diferentes sustratos en siembra directa en bolsas bajo tinglado*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Jorgensen, P., y Leon-Yáñez, S. (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*.

St. Lois. USA: Missouri Botanical Garden Press.

Lara, R. (2019). *Evaluación de métodos de producción de plántulas de guarango (Caesalpinia spinosa), en el vivero experimental ceasa de la Universidad Técnica de Cotopaxi, 2019*. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Lindo-Angulo, T., La Torre-Acuy, M., y Luján-Roca, D. (2017). *Efecto de la temperatura y el ácido giberélico en la germinación de semillas de Caesalpinia spinosa (tara)*. *The Biologist* (Lima), 15 (1)(1), 61–72.

Mamani, J. (2020). *Evaluación de la aplicación de dos tratamientos pre - germinativos y tres componentes de sustratos en la germinación de semillas de tara (Caesalpinia spinosa) en el Jardín Botánico de Cota Cota* (Vol. 3, Issue 2017) [Universidad Mayor de San Andrés]. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>.

Mendoza, R. (2015). *Evaluación germinativa de la semilla de TARA (Caesalpinia spinosa) bajo el efecto de dos tratamientos pre germinativos y tres diferentes niveles de sustratos en la comunidad de Inquisivi* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/5734>.

Merchán, J. (2014). *Comportamiento de las especies forestales Cascol (Caesalpinia spinosa) y Algarrobo Amarillo (Prosopis pallida), a través de tres niveles de sustratos, en vivero*. [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/115>.

Mondragón, G. (2016). *Evaluación del crecimiento de plántulas de Caesalpinia spinosa, Sapindus saponaria y Tecoma stans en diferentes sustratos durante su propagación en vivero - Lima*. In *Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Forestal*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Narváez, A., Calvo, A., y Troya, A. (2009). *Las poblaciones naturales de la tara (Caesalpinia spinosa) en el Ecuador: una aproximación al conocimiento de la diversidad genética y el contenido de taninos por medio de estudios moleculares y bioquímicos*. *Programa Regional ecobona-intercooperation*, 7(October 2016), 24.

Statgraphics Plus para Windows 5.1. (2008).

Torres, M. (2019). *Tratamiento Mecánico, Físico y Químico de la Semilla en la Germinación y Emergencia de Plántulas de Tara (Caesalpinia spinosa) (Molina) Kuntze*. Universidad Católica de Santa María.

Villena Velásquez, J., Seminario Cunha, J., y Valderrama Cabrera, M. (2019). *Variabilidad morfológica de la "tara" Caesalpinia spinosa (Molina.) Kuntze (Fabaceae), en poblaciones naturales de Cajamarca: descriptores de fruto y semilla*. *Arnaldoa*, 26(2), 555–574. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26203>.

Inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino bajo condiciones de laboratorio

Flammability of forest species representative of the Andean Forest under laboratory conditions

Luis Muñoz-Chamba ^{1*}Yelena Vele-Yauri ²Johana Muñoz ¹Zhofre Aguirre ³¹Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.²Ingeniera Forestal, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.³Herbario Reinaldo Espinosa, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

* Autor para correspondencia: luis.muñoz@unl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1882>

Recibido: 29/04/2023

Aceptado: 17/06/2023

RESUMEN

En Ecuador el conocimiento de la inflamabilidad de los combustibles forestales vivos y muertos es limitado, centrándose dicho conocimiento en pocas especies, especialmente exóticas. El objetivo de la investigación fue determinar la inflamabilidad de combustibles forestales vivos bajo condiciones de laboratorio y así enriquecer conocimientos sobre la dinámica del fuego y su comportamiento. Se seleccionaron cinco especies forestales representativas del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, que fueron: *Alnus acuminata*, *Clethra fimbriata*, *Myrsine sodiroana*, *Palicourea amethystina* y *Prunus opaca*. Por medio del método de llama directa se calcularon las características de inflamabilidad tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama. Se utilizó cinco gramos de muestra por ensayo, con un total de 50 repeticiones por especie. Entre las cinco especies los valores para las características de inflamabilidad fueron variables, se registraron tiempos de ignición promedio entre 15 y 29 segundos, sostenibilidad entre 12 y 29 segundos, combustibilidad entre 0,049 g.s⁻¹ y 0,093 g.s⁻¹, y alturas de la llama máxima promedio entre 14 y 18 centímetros. Las categorías de inflamabilidad de las especies forestales fueron desde poco inflamable hasta moderadamente inflamable. Estos resultados mostraron la diversidad en inflamabilidad de combustibles forestales vivos presentes en el bosque nativo, con características de inflamabilidad con diferencias significativamente entre las especies, aspectos importantes para la prevención de incendios forestales.

Palabras claves: *Bosque, combustible, fuego, inflamable, laboratorio.*

ABSTRACT

In Ecuador, the knowledge of the flammability of live and dead forest fuels is limited, focusing said knowledge on a few species, especially exotic ones. The objective of the research was to determine the flammability of living forest fuels under laboratory conditions and thus enrich knowledge about the dynamics of fire and its behavior. Five representative forest species of the Andean Forest of the “Francisco Vivar Castro” University Park were selected, which were: *Alnus acuminata*, *Clethra fimbriata*, *Myrsine sodiroana*, *Palicourea amethystina*, and *Prunus opaca*. Using the direct flame method, the characteristics of flammability, ignition time, sustainability, combustibility, and flame height were calculated. Five grams of sample were used per test, with a total of fifty replicates per species. Among the five forest species, the values for the flammability characteristics were variable, average ignition times were recorded between 15 and 29 seconds, sustainability between 12 and 29 seconds, combustibility between 0.049 g.s-1 and 0.093 g.s-1, and heights of the Average maximum flame between 14 and 18 cm. The flammability categories of the forest species were from less flammable to moderately flammable. These results demonstrated the diversity in flammability of living forest fuels present in the native forest, with flammability characteristics with significant differences between species, important aspects for the prevention of forest fires.

Key words: Forest, fuel, fire, flammable, laboratory.

INTRODUCCIÓN

La inflamabilidad es una característica o propiedad de los combustibles, entendida como la capacidad que tienen estos para entrar en ignición (Guarín et al., 2022; Pérez et al., 2009) y caracterizada mediante la medición de diversas variables como el tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y la proporción del combustible consumido (Hachmi et al., 2011). Esta propiedad es importante durante un incendio forestal, los cuales son conocidos mundialmente como una propagación no controlada del fuego, causados en más del 90 % por actividades humanas (Paton et al., 2015), sobre coberturas vegetales naturales y artificiales, con consecuencias negativas en la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas (Plana et al., 2016). El conocer la inflamabilidad de los combustibles, vivos o muertos, ayudaría a entender el comportamiento probable e intensidad de los incendios forestales (Pazmiño, 2019).

En Ecuador, el conocimiento de la inflamabilidad de los combustibles forestales, vivos y muertos es muy limitado, centrándose dicho conocimiento en pocas especies, especialmente exóticas o introducidas. Este problema se agrava más por la diversidad biológica existente pues al ser un país megadiverso del mundo (Sarukhán y Dirzo, 2013) por su variedad de especies y ecosistemas (Bravo, 2014), los mismos se traducen a diversidad de combustibles forestales bajo diferentes condiciones biofísicas.

Los estudios de inflamabilidad de especies forestales en Ecuador son escasos, la mayor parte de investigaciones se centran en el estudio del comportamiento del fuego bajo condiciones experimentales en plantaciones de *Eucalyptus* sp. (Giler, 2020) y *Tectona grandis* (Ramos-Rodríguez et al., 2019), comportamiento histórico de los incendios en Manabí (Ramos-Rodríguez et al., 2020) y uso del fuego para actividades agrícolas (Manrique-Toala, 2022; Ramos-Rodríguez et al., 2022).

Los incendios forestales en Ecuador han provocado la pérdida de especies y ecosistemas, con un comportamiento impredecible del fuego. Estos incendios se han suscitado en el transcurso de los años, y específicamente en el año 2021 donde en el periodo del 01 de julio al 30 de septiembre fueron

afectadas alrededor de 2 959,93 ha, siendo las provincias de Guayas, Imbabura, Azuay, Carchi, El Oro, Cañar, Pichincha y Loja, las de mayor número de eventos ocurridos, en especial Loja con 707,5 hectáreas (SNGRE, 2021).

Un caso particular en Loja lo constituye el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), que en los últimos 10 años han ocurrido incendios forestales que han afectado zonas importantes del parque, teniendo como consecuencia la pérdida de cobertura vegetal y por ende de su biodiversidad, la degradación de suelos y el crecimiento de especies invasoras (Aguirre et al., 2016).

Bajo este contexto, la investigación tiene como objetivo contribuir al conocimiento del comportamiento del fuego mediante el estudio de la inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” mediante la evaluación de las características de inflamabilidad bajo condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las pruebas de inflamabilidad se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja. El material vegetal fue colectado del bosque andino, ubicado en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), cantón y ciudad de Loja, a cinco kilómetros de la ciudad (Figura 1), con una superficie de 99 ha aproximadamente, localizado en un rango altitudinal entre 2 130 a 2 520 m s.n.m (Aguirre y Yaguana, 2014).

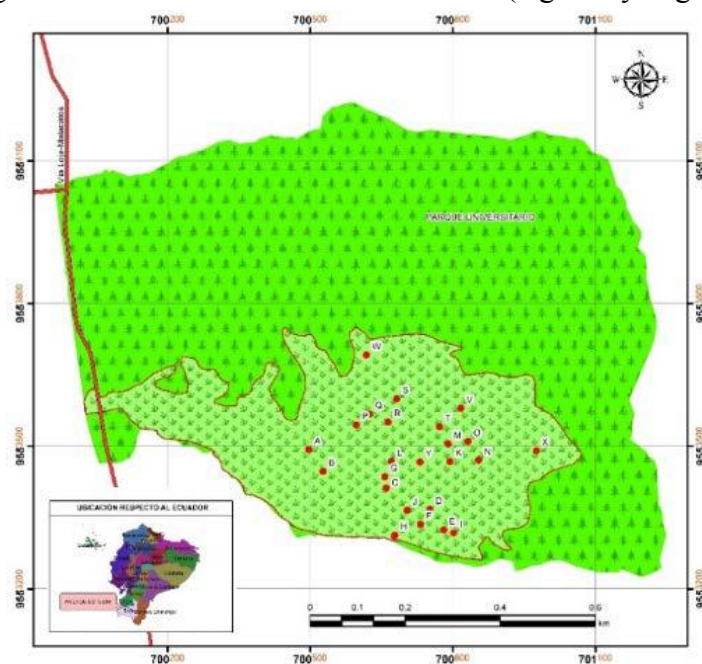


Figura 1. Mapa de ubicación del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”.

El PUFVC presenta un clima templado, caracterizado por una temperatura media anual de 16,6 °C, precipitación total anual de 955 mm, humedad relativa de 71,6 % y el suelo de origen parental de rocas metamórficas, baja fertilidad, medianamente profundos, textura franco arenoso y franco arcilloso, pH ácido, valores bajos de materia orgánica. La topografía del terreno es accidentada, con pendientes que fluctúan, entre 40 – 90 % (Aguirre et al., 2014).

Selección de las especies forestales

Las especies forestales seleccionadas para determinar su inflamabilidad fueron aquellas consideradas como representativas del bosque andino, es decir las más abundantes y de mayor importancia ecológica (Muñoz-Chamba et al., 2021a; Muñoz-Chamba et al., 2021b; Aguirre et al., 2017), que fueron: *Alnus acuminata* Kunth, *Palicourea amethystina* (Ruiz y Pav.), *Clethra fimbriata* Kunth, *Myrsine sodiroana* (Mez) Pipoly y *Prunus opaca* Benth Walp. En la Tabla 1 se presenta información de las especies seleccionadas.

Tabla 1. Principales características de las cinco especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC.

Nombre científico	Familia	Densidad Ind/ha	IVI (%)	Altura promedio M	DAP promedio Cm	Gremio ecológico
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Betulaceae	63	12,71	10,12	25,19	Heliófito
<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz y Pav.)	Rubiaceae	165	7,39	4,90	7,37	Esciófito
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae	32	2,16	6,34	12,75	Semiluz
<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	Primulaceae	39	3,54	6,65	8,87	Semiluz
<i>Prunus opaca</i> Benth Walp	Rosaceae	55	4,74	7,16	11,52	Semiluz

Fuente: Muñoz-Chamba et al. (2021a), Muñoz-Chamba et al. (2021b), Aguirre et al. (2017).

Metodología para calcular la inflamabilidad de las especies forestales bajo condiciones de laboratorio

Diseño de muestreo y tamaño de la muestra

Mediante un muestreo aleatorio se escogieron cinco individuos de cada una de las especies seleccionadas, de preferencia en igual estado fenológico. De estos individuos, se colectó 1 000 g de material vegetal compuesto de hojas verdes (vivas) que incluyeron las ramillas terminales y laterales con un diámetro menor a 6 mm.

Características de inflamabilidad

Previo a calcular las características de inflamabilidad se determinó el contenido de humedad en base húmeda del material vegetal cuyo procedimiento fue registrar el peso fresco de las muestras colectadas en campo, posterior se clasificó estas en 10 fundas de papel con 100 g cada una por especie, las que fueron etiquetadas y colocadas en una estufa a una temperatura de 55 °C. Durante un monitoreo diario, se registró el peso de las muestras hasta que se estabilizó. La fórmula utilizada para su cálculo fue:

$$Ch = \left(\frac{P_h - P_s}{P_h} \right) * 100$$

Donde:

CH % = Contenido de humedad

P_h = Peso húmedo

P_s = Peso seco (anhídrido) estabilizado, después de ser secada en una estufa a 55°C

Las características de inflamabilidad se calcularon por medio del método de llama directa (Pérez et al., 2009). Para ello se necesitó un mechero de Bunsen, colocado por debajo de una malla metálica de 15x15 cm separados por una distancia de 4 cm. Aquí se requirió de dos soportes metálicos para sujetar la malla metálica con pinzas tipo nuez y en la parte posterior se colocó una regla graduada (Figura 2).



Figura 2. Equipos utilizados para realizar las pruebas de inflamabilidad bajo condiciones de laboratorio.

Las pruebas de inflamabilidad en laboratorio se realizaron con 50 muestras por especie, con un peso de 5 gramos por muestra (Hachmi et al., 2011). Las características de la inflamabilidad evaluadas fueron: tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad, y altura de la llama (Hachmi et al., 2011), descritas en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de las características de inflamabilidad determinadas bajo condiciones de laboratorio.

Característica	Definición	Cálculo	Unidad
Tiempo de ignición (t_i)	Tiempo de aparición de la llama	Cronómetro.	Segundos
Sostenibilidad (S)	Tiempo de duración de la llama.	$S = t_f - t_i$ Donde: t_f = tiempo de extinción de las llamas. t_i = tiempo de aparición de las llamas.	Segundos
Combustibilidad (C)	Velocidad de combustión después de la ignición.	$C = \frac{w_f - w_s}{t_f - t_i}$ Donde: w_f = peso inicial de la muestra al iniciar la ignición. w_s = peso final de la muestra al culminar la ignición. t_f = tiempo final de la ignición. t_i = tiempo inicial de la ignición.	Gramos / segundo
Altura de la llama	Altura máxima de la llama alcanzada en cada prueba realizada.	Regla graduada.	Centímetros

Fuente: Hachmi et al. (2011), Guill y Moore (1996).

Categoría de inflamabilidad

La inflamabilidad de las especies forestales se determinaron por medio del método de Hachmi et al. (2011), quien propone el cálculo de un índice y su posterior categoría de inflamabilidad, utilizando las características tiempo de ignición, sostenibilidad y altura máxima de la llama. La fórmula utilizada para su cálculo fue:

$$FI = \left[\frac{S + 30 - \frac{t_i}{2}}{t_i + 10} \right] EXP \left[\frac{FH}{FH + 40} \right]^2$$

Donde:

FI= índice de inflamabilidad

S= sostenibilidad (s)

Ti= tiempo de ignición (s)

FH= altura de la llama (cm)

Con el valor del índice de inflamabilidad se determina la categoría de inflamabilidad (Tabla 3) de acuerdo a lo propuesto por Hachmi et al. (2011).

Tabla 3. Índice de inflamabilidad de acuerdo con Hachmi et al. (2011).

Categorías de inflamabilidad	Índice de inflamabilidad
Muy poco inflamable	$FI < 0.5$
Poco inflamable	$0.5 \leq FI < 1.5$
Moderadamente inflamable	$1.5 \leq FI < 2.5$
Inflamable	$2.5 \leq FI < 3.5$
Extremadamente inflamable	$3.5 \leq FI < 4.5$
Muy extremadamente inflamable	$4.5 \leq FI$

Fuente: Hachmi et al. (2011)

Análisis de información

Para conocer diferencias entre los promedios de las características de inflamabilidad de las especies forestales se hizo una comparación de medias por medio de la prueba no paramétrica Kruskal Wallis con un nivel de significancia del 0,05, esto como producto de no existir normalidad y homocedasticidad de varianzas en los datos. Todos los análisis se realizaron en el software estadístico Rstudio (Rstudio Team, 2020).

RESULTADOS

Características de inflamabilidad de las especies forestales

Las características de inflamabilidad para las cinco especies forestales del bosque nativo se presentan en la Tabla 4. El contenido de humedad de las especies forestales estuvo comprendido entre 27,21 % y 53,64 %, siendo diferente significativamente entre todas las especies, con excepción de *Alnus acuminata* y *Prunus opaca*.

Tabla 4. Características de inflamabilidad de las especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC.

Especie	Contenido de humedad (%)	Tiempo de ignición (s)	Sostenibilidad (s)	Combustibilidad (g/s)	Altura máxima de la llama (cm)
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	42,69 c	16,86 b	23,76 ab	0,049 b	15,02 a
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	48,60 b	29,42 a	29,88 a	0,055 b	18,42 a
<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	53,64 a	19,50 b	15,64 bc	0,052 b	11,76 a
<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz y Pav.)	27,21 d	15,42 b	12,60 c	0,093 a	16,74 a
<i>Prunus opaca</i> Benth Walp	43,18 c	17,42 b	15,64 bc	0,060 b	14,64 a

Nota. Promedios con letras iguales no son diferentes significativamente.

El tiempo de ignición para las cinco especies forestales fue menor a los 30 s y se produjo a una temperatura promedio de 445,4 °C, con un mínimo de 15,42 s y máximo de 29,42 s, siendo *Clethra fimbriata* la que se diferenció del resto de especies con el valor más alto (Figura 3A).

La sostenibilidad o duración de la llama fue menor a los 30 s, comprendida entre los 12 s y 29,88 s. La especie *Clethra fimbriata* fue la que se diferenció significativamente del resto de especies con el mayor tiempo de sostenibilidad (Figura 3B).

La combustibilidad o velocidad a la que se consume el material vegetal estuvo entre 0,049 g/s a 0,093 g/s, donde *Palicourea amethystina* registró el valor más bajo, diferenciándose significativamente del resto de especies (Figura 3C).

La altura máxima de la llama alcanzó un máximo de 18,42 cm en *Clethra fimbriata* y un mínimo de 14,64 cm para *Prunus opaca*. No hubo diferencias significativas en la altura de la llama entre las cinco especies estudiadas (Figura 3D).

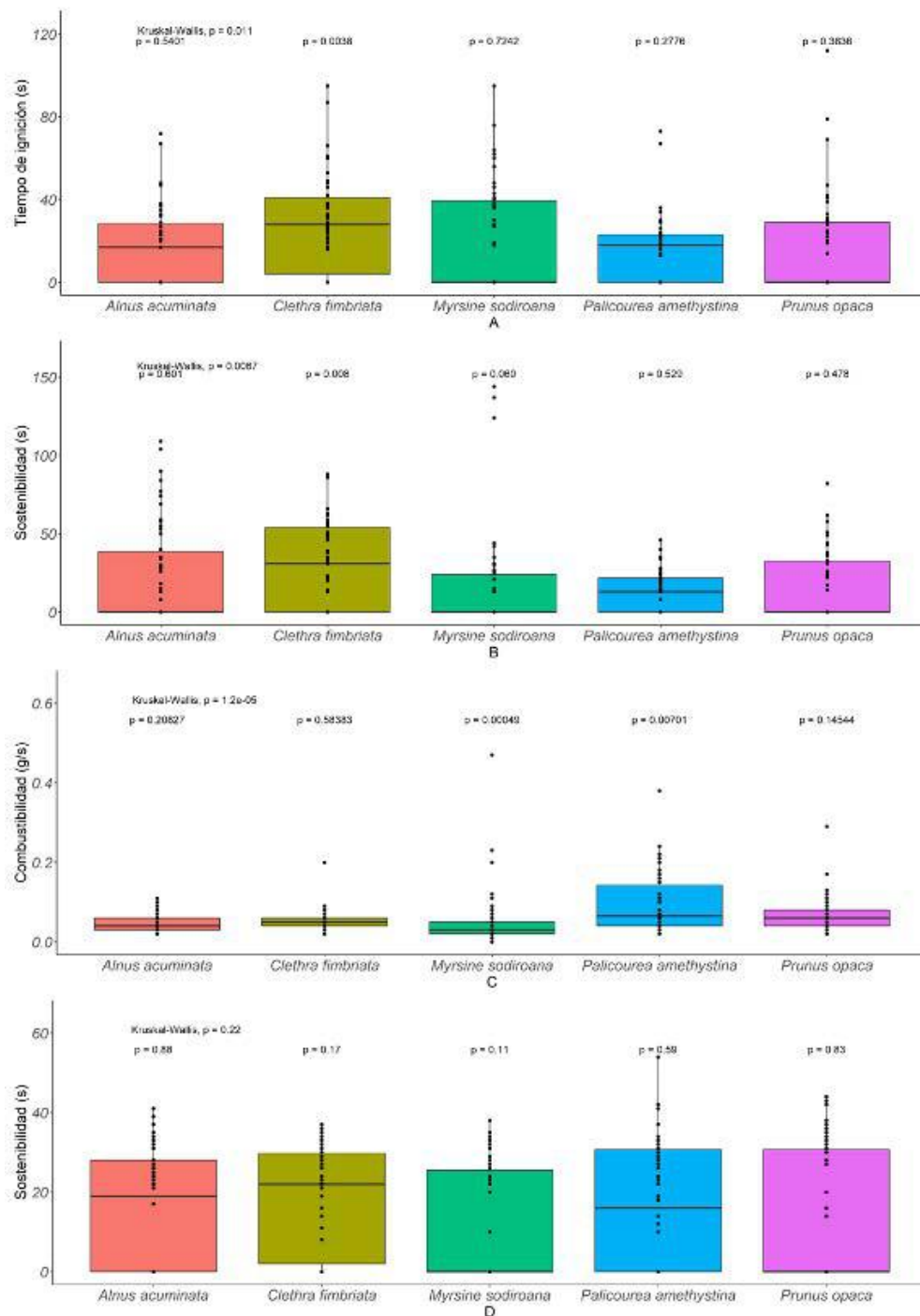


Figura 3. Distribución de los valores de las características de inflamabilidad de las especies forestales.

Índice y categoría de inflamabilidad de las especies forestales

En la Tabla 5 se presenta los índices y categorías de inflamabilidad para las cinco especies representativas del bosque andino. Las categorías fueron moderadamente inflamables para *Alnus acuminata*, *Clethra fimbriata* y *Palicourea amethystina*; y, poco inflamable para *Myrsine sodiroana* y *Prunus opaca*.

Tabla 5: Categoría e índice de inflamabilidad de las cinco especies forestales del bosque andino

Especie	Índice de inflamabilidad	Categoría de inflamabilidad
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	1,86	Moderadamente inflamable
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	1,92	Moderadamente inflamable
<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	0,97	Poco inflamable
<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz y Pav.)	1,65	Moderadamente inflamable
<i>Prunus opaca</i> Benth Walp	1,33	Poco inflamable

■ DISCUSIÓN

Características de inflamabilidad de las especies forestales

Las características de la inflamabilidad evaluadas para las cinco especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC se realizaron bajo condiciones de laboratorio con contenidos de humedad que mostraron diferencias significativas entre éstas, por lo que las pruebas tuvieron condiciones de humedad particular para cada especie, lo que pudiera estar relacionado con la fisiología o características propias de las especies (Guarín et al., 2022; Zylstra et al., 2016; Etlinger y Beall, 2005) con implicaciones a la hora de un incendio forestal pues este influye en la ignición, la propagación del fuego y el consumo de combustible (Freire, 2019; Kane y Prat-Guitart, 2018; Wong y Villers, 2007). En el caso de *Palicourea amethystina* que es una especie de sotobosque, esciófita (Palacios y Jaramillo, 2004), tolerante a la sombra y con hojas grandes, anchas, llenas de agua y al momento de ser secadas, su volumen se reduce considerablemente (Ramos-Rodríguez, 2010). Por otra parte, las especies heliófitas como *Alnus acuminata* (Aguirre et al., 2021) y semiluz como *Myrsine sodiroana*, *Clethra fimbriata* y *Prunus opaca* (Muñoz-Chamba et al., 2021) se caracterizan por presentar hojas pequeñas con bajos contenidos de humedad (Islebe et al., 2007).

El tiempo de ignición o tiempo de aparición de la llama de las cinco especies forestales evaluadas fueron inferiores a los 30 segundos, con un mínimo de 15,42 segundos y máximo de 29,42 segundos, los cuales podrían ser considerados como altos en comparación a los reportes de Carrasco et al. (2016), De Magalhães y Schwilk (2012) y Hachmi et al. (2011) quienes registran tiempos de aparición de la llama desde 1,9 segundos hasta 19 segundos para especies forestales y arbustivas. Por otra parte, Alzate-Guarín et al. (2022) reporta tiempos de ignición desde 12 segundos y mayores a los 32 segundos para 11 especies, lo que refleja una diversidad de valores para esta característica de la inflamabilidad, producto de la influencia de otros factores como lo mencionado por Gould (2009) quien sostiene que el tiempo de ignición aumenta considerablemente en los combustibles con elevado contenido de humedad. Otras propiedades presentes en el material vegetal como compuestos químicos y fenólicos podrían favorecer en parte la inflamabilidad de los combustibles, pues de acuerdo con Guerrero et al. (2021) las especies con presencia de fenoles responden con tiempos de ignición rápidos, condición presente en *Myrsine sodiroana*; y, la familia Rosaceae a la que pertenece *Prunus opaca*, caracterizada por la presencia compuestos combustibles con poca inflamabilidad (Rivadeneria, 2011). Es importante mencionar que en las pruebas realizadas, en algunas muestras vegetales de las cinco especies se presentó la combustión latente (Liodakis et al., 2002) en donde el material se consumió hasta ser carbonizado, pero sin evidenciar llama, situación presente en

más del 50 % de muestras de *Myrsine sodiroana* y *Prunus opaca*.

La sostenibilidad o duración de la llama de las especies forestales evaluadas presentaron valores entre 12 segundos hasta 29 segundos, los cuales podrían considerarse bajos y ser un indicador de resistencia al fuego pues según Guarín et al. (2022) especies con tiempos de duración de la llama bajos podrían ayudar en la extinción rápida de un incendio forestal. Por otra parte, las especies *Clethra fimbriata* y *Alnus acuminata* presentan los valores más altos lo que implica que podrían sostener la llama por más tiempo, favoreciendo así en la continuidad de incendios forestales y convertirse en fuente de ignición para otros combustibles. En comparación a otros estudios, estos resultados están dentro del rango de valores mencionados por Alzate-Guarín et al. (2022) y Hachmi et al. (2011) quienes registran duraciones de llama entre ocho a 26 segundos.

Sobre la combustibilidad, se reportaron valores entre 0,049 g/s hasta 0,09 g/s siendo *Palicourea amethystina* la que se diferenció significativamente del resto de especies con el valor más alto. Un aspecto importante de destacar fue que el consumo del material vegetal tuvo respuestas diferentes en las especies, con mayor y menor consumo en función de esta, que pudiera estar influenciada por el contenido de humedad del material vegetal (Kane y Prat-Guitart, 2018; Marino et al., 2010) así como de la fisiología de la especie (Guarín et al., 2022; Zylstra et al., 2016; Etlinger y Beall, 2005).

Sobre la altura de la llama se registraron valores entre 14,64 cm hasta 18,42 cm, aunque tales diferencias entre las especies no fueron significativas. Investigadores mencionan que alturas de llama alta es influencia por compuestos como taninos y antioxidantes (Rivadeneira, 2011), característicos en especies de la familia Rosaceae como es el caso de *Prunus opaca*, así como, de otros atributos como el tamaño de las hojas, pues según Popović et al. (2021) especies con hojas pequeñas y engrosadas producen alturas de llama intermedias, mientras que las hojas grandes y delgadas producen llamas altas. En comparación a otros estudios, las respuestas son diferentes, por ejemplo Hachmi et al. (2011) registra valores entre 23 cm y 7 cm; y, De Magalhães y Schwilk (2012) mencionan valores de hasta los 106 cm.

Categoría de inflamabilidad de las especies forestales representativas del bosque andino

Las categorías de inflamabilidad determinadas para las especies representativas del bosque andino del PUFVC fueron desde muy poco inflamable hasta moderadamente inflamable, resultados que son similares al estudio de Hachmi et al. (2011) quienes determinan categorías desde muy poco a inflamables, con una mayor frecuencia de especies moderadamente inflamables; Alzate-Guarín et al. (2022) que reportan categorías para especies forestales y arbustivas desde poco inflamables hasta altamente inflamables, con predominio de especies moderadamente y poco inflamables; Carrasco et al. (2016) investigan la inflamabilidad de especies forestales a lo largo de un año y registran categorías desde poco hasta extremadamente inflamables, principalmente; Guerrero et al. (2021) calculan para Quillaja saponaria, *Criptocarya. alba*, *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata* y *Acacia dealbata* categorías de inflamabilidad desde inflamables y extremadamente inflamables. Esta diversidad de resultados en especies forestales y arbustivas, en diferentes latitudes y bajo condiciones diferentes podría ser producto según Popović et al. (2021) de las características de inflamabilidad estudiadas, de la especie y su composición química.

Las especies forestales con la categoría moderadamente inflamable, como *Alnus acuminata*, *Clethra fimbriata* y *Palicourea amethystina*, se caracterizan por presentar tiempos de ignición rápidos, largos tiempos de duración de la llama, alturas de la llama altas y con más del 50 % de ensayos positivos; por lo tanto, son especies importantes en un incendio forestal, y en combinación con otras características de su entorno (White y Zipperer, 2010), como la distribución, estructura y disponibilidad de combustibles vivos y muertos podrían ser especies iniciadoras y propagadoras del fuego.

En el caso de *Myrsine sodiroana* y *Prunus opaca*, con la categoría poco inflamable, se caracterizan principalmente por presentar tiempos de duración de la llama cortos, bajas alturas de la llama y más del 50 % de las muestras no generaron llama cuando fueron expuestas al fuego, por lo que serían especies claves para el control de un incendio forestal, pues altas abundancias de estas especies en el bosque podrían constituir en una barrera para la propagación del fuego, por su resistencia a generar llama, tal como lo sostienen Petriccione (2006) y Guarín et al. (2022) al indicar que especies con altos tiempos de ignición y categoría de inflamabilidad poco inflamable serían resistentes a incendios forestales, por lo que podrían emplearse en cortinas rompevientos como medidas de control natural de incendios forestales.

■ CONCLUSIONES

Las características de inflamabilidad evaluadas bajo condiciones de laboratorio, para las cinco especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC, mostraron diferencias significativas entre especies, que podrían estar influenciadas por una serie de factores principalmente relacionados con el combustible, como su humedad, tamaño, forma, origen y compuestos químicos presentes en éstos. El conocer estas características por especie, permitió entender el papel crucial que pudieran jugar las especies forestales en el bosque andino del PUFVC, ante la eventualidad de un incendio forestal, constituyendo estas características determinantes en el comportamiento y posterior propagación del fuego, en este tipo de ecosistemas.

Las categorías de inflamabilidad calculadas para las especies forestales muestran la diversidad de combustibles vivos presentes en el bosque andino y la posible dinámica del fuego en un incendio forestal, por lo que su conocimiento es importante para la prevención de incendios forestales.

La combinación de varias características de la inflamabilidad como el tiempo de ignición, sostenibilidad y altura de la llama demostró una mayor influencia en el cálculo de la categoría de inflamabilidad de las especies forestales del bosque andino en comparación a métodos que utilizan una sola característica para su estimación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Loja, Dirección General de Investigaciones, por el financiamiento del Proyecto de Investigación: Procesos ecológicos de la vegetación en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, UNL, Fase III, y a todo el equipo del proyecto: director, docentes investigadores, técnicos y tesisistas. Además, se agradece al personal técnico de los laboratorios de Fisiología Vegetal y de Suelos.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Luis Muñoz-Chamba, dirección de la investigación, redacción, análisis e interpretación de la información, revisión y corrección del manuscrito. Yelena Vele, trabajos de levantamiento de información en campo, análisis e interpretación de la información, redacción del manuscrito. Johana Muñoz, revisión y corrección del manuscrito. Zhofre Aguirre, dirección del proyecto de investigación, revisión y corrección de la versión final.

BIBLIOGRAFÍA

- Alzate-Guarín, F., Muñoz, L., y Amell, A. (2022). Evaluación preliminar de la inflamabilidad de algunas especies de plantas cultivadas en Colombia. *Hoehnea*, 49. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-49/2021>
- Aguirre, Z., González, L., Jaramillo, N., y Peña, J. (2021). Monitoreo de la sucesión de especies vegetales leñosas bajo una plantación de *Pinus radiata* D. Don, en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”, provincia de Loja, Ecuador. *South Florida Journal of Development*, 2(1), 1018–1039.
- Aguirre, Z., Reyes, B., Quizhpe, W., & Cabrera, A. (2017). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. In *Arnaldoa* (Vol. 24, pp. 543–556). scielo.
- Aguirre, Z., y Yaguana, C. (2014). Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreación Ing. Francisco Vivar Castro. *Universidad Nacional de Loja*, 30.
- Bravo, E. (2014). *La Biodiversidad en el Ecuador* (Universida).
- Carrasco, Y., Ramos, M., Mesa, J., Caso, Y., y Martínez, L. (2016). Inflamabilidad de especies vegetales del ecosistema de pinares. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 4(1).
- De Magalhães, R. M. Q., y Schwilk, D. W. (2012). Leaf traits and litter flammability: Evidence for non-additive mixture effects in a temperate forest. *Journal of Ecology*, 100(5), 1153–1163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.01987.x>
- Etlinger, M., & Beall, F. (2005). Development of a laboratory protocol for fire performance of landscape plants. *International Journal of Wildland Fire*, 13, 479–488. <https://doi.org/10.1071/WF04039>
- Freire, K. G. (2019). Estimación de la humedad del combustible vivo usando imágenes sentinel-2 en parcelas forestales de la comunidad Valenciana. *GEOESPACIAL*, 17(1), 1--13.
- Giler, L. (2020). Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de *Eucalyptus* sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5586/1/iniapeptesisLGILER2020.pdf>
- Gould, W. (2009). Fire ecology and management. *Ambio*, 37, 521.
- Guarín, F., Muñoz, L., & Amell, A. (2022). Evaluación preliminar de la inflamabilidad de algunas especies de plantas cultivadas en Colombia. *Hoehnea* 49. <https://www.scielo.br/j/hoehnea/a/FZ5YWpcZW8xTBppSzyFzTfN/?format=pdf&lang=es>
- Guerrero, F., Hernández, C., Toledo, M., Espinoza, L., Yulian, C., Arriaga, A., Muñoz, A., Taborga, L., Bergmann, J., y Carmona, C. (2021). Leaf Thermal and Chemical Properties as Natural Drivers of Plant Flammability of Native and Exotic Tree Species of the Valparaíso Region, Chile. *Journal of Environmental Reserach and Public Health.*, 18(13), 7191. <https://doi.org/10.3390/ijerph18137191>
- Guill, M., y Moore, P. (1996). IGNITIBILITY OF LEAVES OF AUSTRALIAN PLANTS. *CSIRO Plant Industry*.
- Hachmi, M., Sesbou, A., Benjelloun, H., Handouz, N., & Bouanane, F. (2011). A Simple Technique to Estimate the Flammability Index of Moroccan Forest Fuels. *Journal of Combustion*, 2011.
- Islebe, G. A., Valdez Hernández, M., y Sánchez Sánchez, O. (2007). Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana*, 9(2), 17–26. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49790203>

- Kane, J., y Prat-Guitart, N. (2018). *Fuel Moisture*. pp. 1–13. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_115-1
- Lioudakis, S., Bakirtzis, D., & Dimitrakopoulos, A. (2002). Ignition characteristics of forest species in relation to thermal analysis data. *Thermochimica Acta*, 390(1), 83–91. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(02\)00077-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-6031(02)00077-1)
- Manrique-Toala, T. O., Ramos-Rodríguez, M. P., Cruz-Rosales, G. E. D. L., Tigua-Pinela, Y. Y., & Pincay-Ortega, S. A. (2022). Uso del fuego en tierras de vocación forestal del cantón Jipijapa, Manabí, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 12(2), 42-51.
- Marino, E., Madrigal, J., Guijarro, M., Hernando, C., Diez, C., & Fernández Filgueira, C. (2010). Flammability descriptors of fine dead fuels resulting from two mechanical treatments in shrubland: A comparative laboratory study. *International Journal of Wildland Fire*, 19. <https://doi.org/10.1071/WF08123>
- Muñoz-Chamba, L., Cabrera, B., Muñoz, J., y Aguirre, Z. (2021a). Parámetros poblacionales de tres especies arbóreas del bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” Loja, Ecuador. *Bosque Latitud Cero*, 11(1), 128–147. https://drive.google.com/file/d/1LtouLUM2CbhAUEi8mYBARInY8xiN7_Pi/view
- Muñoz-Chamba, L., Muñoz, J., y Aguirre, Z. (2021b). *Estructuras poblacionales de especies forestales representativas en el Parque Universitario Francisco Vivar Castro*. Libro Memorias del II Simposio de Investigación Científica, Loja, Ecuador.
- Palacios, W., y Jaramillo, N. (2004). Gremios ecológicos forestales del noroccidente del Ecuador: Implicaciones en el manejo del bosque nativo. *Lyonia*, 6(2), 55–75.
- Paton, D., Buergelt, P. T., Tedim, F., y McCaffrey, S. (2015). *Chapter 1 - Wildfires: International Perspectives on Their Social—Ecological Implications* (J. F. Shroder & D. B. T.-W. H. Paton Risks and Disasters (eds.); pp. 1–14). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410434-1.00001-4>
- Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1800>
- Pérez, A., Rodríguez, D., y Contreras, R. (2009). Inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche. In *Universidad y ciencia*, Vol. 25, pp. 121–132.
- Petriccione, M. (2006). Infiammabilità della lettiera di diverse specie vegetali di ambiente mediterraneo. In *Università Degli Studi Di Napoli Federico II*.
- Plana, E., Font, M., y Serra, M. (2016). Los incendios forestales, guía para comunicadores y periodistas. *Proyecto EFIRECOM. Ediciones CTFC.*, 32.
- Popović, Z., Bojović, S., Marković, M., y Cerdà, A. (2021). Tree species flammability based on plant traits: A synthesis. *Science of The Total Environment*, 800, 149625. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149625>
- Rivadeneria, T. I. (2011). *Análisis de metabolitos secundarios de Lachemilla orbiculata (Ruiz & Pavón) Rydb. (Rosaceae) en dos localidades de los Andes del Ecuador*. [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR]. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4937/tesis_tania_gonzalez.pdf?sequence=3&isAllowed=y

- Ramos-Rodríguez, M., Coronel, O. G. P., González, A. J., Cevallos, C. G. C., Zúñiga, M. V. T., & Jalca, O. F. M. (2019). Comportamiento del fuego a escala experimental en una plantación de *Tectona grandis* L.f. En Jipijapa, Manabí, Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(1), 1-9. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i1a5607>
- Ramos-Rodríguez, M., Medranda-Mendieta, J., Manrique-Toala, T., Grás-Rodríguez, R., y Estévez-Valdés, I. (2020). Comportamiento histórico de los incendios forestales en el Cantón Rocafuerte, provincia Manabí, Ecuador, en el periodo 2016–2019. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(41), 37–46. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v17i41.5282>
- Ramos-Rodríguez, M. P., Alcívar-Cobeña, A., Cedeño-Luna, N. A., Manrique-Toala, T. O., (2022). Usos tradicionales del fuego en las actividades agrícolas de la parroquia Convento, cantón Chone, Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(3), 319–335.
- Ramos-Rodríguez, M. (2010). *Manejo del Fuego*. Editorial Félix Varela.
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA <http://www.rstudio.com/>
- Sarukhán, J., y Dirzo, R. (2013). *Biodiversity-Rich Countries* (S. A. B. T.-E. of B. (Second E. Levin (ed.); pp. 497–508). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00351-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00351-8)
- Sistema Nacional de Gestión de Riesgos del Ecuador [SNGRE]. (2021). *Informe de situación Nro. 23 de Incendios Forestales a nivel Nacional*.
- White, R., y Zipperer, W. (2010). Testing and classification of individual plants for fire behaviour: plant selection for the wildland-urban interface. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 213–227.
- Wong, J. C., y Villers, M. de L. (2007). Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche. In *Investigaciones geográficas* (pp. 87–103). scielomx.
- Zylstra, P., Bradstock, R. A., Bedward, M., Penman, T. D., Doherty, M. D., Weber, R. O., Gill, A. M., & Cary, G. J. (2016). Biophysical Mechanistic Modelling Quantifies the Effects of Plant Traits on Fire Severity: Species, Not Surface Fuel Loads, Determine Flame Dimensions in Eucalypt Forests. *PloS One*, 11(8), e0160715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160715>

Estructura diamétrica de *Bursera graveolens* Triana & Planch. en bosques secos: especie con potencial uso no maderable

Diametric structure of *Bursera graveolens* Triana & Planch. on dry forests: Specie with potential non-timber use

¹Proyecto PROAMAZONÍA -UTPL, Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Loja, Ecuador

²Biodiversidad de Ecosistemas Tropicales-BIETROP, Herbario HUTPL, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Calle M. Champagnat s/n, 1101608 Loja, Ecuador.

³Departamento de Química, Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Calle M. Champagnat s/n, 1101608 Loja, Ecuador.

*Autor de correspondencia: arbenitez@utpl.edu.ec

Ángel Benítez^{2*}

Jhoony Chalan¹

Fani Tinitana²

Vladimir Morocho³

Luis Armijos¹

Omar Malagon³



DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1658>

Recibido: 03/01/2023

Aceptado: 11/05/2023

RESUMEN

Los bosques secos tropicales son considerados prioritarios para la conservación, debido a que albergan un alto número de especies endémicas y amenazadas de flora y fauna, sin embargo, están fuertemente afectados por actividades humanas. En estos bosques las comunidades hacen uso de productos forestales no maderables que brindan las especies forestales como *Bursera graveolens*. Se estudió la estructura diamétrica *B. graveolens* en los bosques secos del Sur de Ecuador. Se instaló 10 parcelas (siete de 10000 m² y tres de 2500 m²) en un rango altitudinal entre los 247 y 313 m s.n.m. En cada parcela se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los individuos *B. graveolens*, así como también un listado de las especies asociadas. Se registró un total de 236 individuos *B. graveolens*, con un promedio de 24 individuos por hectárea y un promedio de 31,9 cm de DAP. Las especies *Chloroleucon mangense*, *Ipomoea carnea*, *Piscidia carthagenensis*, *Eriotheca ruizii* y *Handroanthus chrysanthus* fueron las más comunes. La estructura diamétrica no presentó una curva de “J” invertida, lo cual demuestra preliminarmente que la población de la especie se encuentra en declive con una mayor abundancia de individuos en clases de mayor tamaño diámetro, debido al pastoreo caprino. Los resultados permitirán planificar un correcto uso de los productos forestales no maderables para el beneficio y desarrollo de las comunidades rurales, en base a un adecuado manejo y conservación de *Bursera graveolens* en los bosques secos de Ecuador.

Palabras Clave: densidad, diámetro, bosques secos, especies asociadas.

ABSTRACT

Tropical dry forests are considered priority for conservation, due to high number of endemic and endangered species of flora and fauna, being simultaneously one of the most threatened habitats in the world related anthropic activities. In these forests, communities make use of non-timber forest products provided by forest species such as *Bursera graveolens*. We studied diameter structure of *B. graveolens* in the dry forests in Southern Ecuador. Ten monitoring plots (seven of 10000 m² and three of 2500 m²) were installed in an altitudinal range between 247 and 313 m, where we recorded the diameter at breast height (DBH) of all individuals *B. graveolens* and associated tree species. A total of 236 individuals were recorded with an average of 24 individuals per hectare and 31.9 cm of DBH, and were mainly associated with *Chloroleucon mangense*, *Ipomoea carnea*, *Piscidia carthagenensis*, *Eriotheca ruizii* and *Handroanthus chrysanthus* were the most common species. The diameter structure did not present an inverted “J” curve, which preliminarily demonstrates that the population of the species is in decline with a greater abundance of individuals in larger diameter size classes, related with goat grazing. The results will allow planning a correct use of non-timber forest products for the benefit and development of rural communities, based on an adequate management and conservation of *Bursera graveolens* in the dry forests of Ecuador.

Keywords: density, diameter, dry forests, associated species.

INTRODUCCIÓN

Los bosques secos del Ecuador, son considerados prioritarios para la conservación (Murphy y Lugo, 1986; Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005). A pesar de ser poco conocidos, albergan una gran cantidad de especies de plantas y animales endémicas y amenazadas (Jiggins *et al.*, 1999; Linares-Palomino *et al.*, 2010), que están siendo afectadas por actividades como la agricultura y ganadería (Jazen, 1998; Aguirre *et al.*, 2006). Además, una gran cantidad de especies vegetales son importantes para la población circundante, ya que son utilizados para la subsistencia y generación de ingresos económicos, derivados de productos maderables (madera, leña y carbón) y no maderables como fibras, abonos, forrajes, alimento, aceites, medicinas, materiales de construcción, pesticidas, frutos, ritos espirituales y religiosos (Aguirre *et al.*, 2006; Añazco *et al.*, 2010). Entre estas se destaca el género *Bursera* Jacq. Ex L., el cual contiene más de 100 especies (Rzedowski y Kruse, 1979; Rzedowski y Guevara, 1992; Becerra y Venable, 1999; Becerra, 2003), con una distribución en la zona tropical y sur de América, desde el sur de Estados Unidos hasta el Perú y el Caribe (Rzedowski y Guevara, 1992; Becerra y Venable, 1999; Becerra, 2003; Becerra *et al.*, 2012; Castro-Laporte, 2013), y donde la especie *Bursera graveolens* Triana & Planch., conocido comúnmente como “Palo Santo” es típica del bosque seco de la Región Tumbesina y en Ecuador su distribución esta para las provincias de Manabí, Guayas, Santa Elena y El Oro (Aguirre y Cabrera, 2021).

Esta especie arbórea tiene importancia cultural y económica (Cuatrecasas, 1957, Aguirre y Cabrera, 2021), debido a la producción de resinas y exudados que son utilizados en la medicina tradicional como hernias, reumatismo y dolor del estómago (Nakanishi *et al.*, 2005), así como también en ceremonias religiosas (Sosa *et al.*, 2002), elaboración de artesanías, barnices, adhesivos y extracción de aceite esencial (Jumbo *et al.*, 2022). Además, ecológicamente los frutos son fuente de alimento para muchos frugívoros y otro grupo de fauna que contribuyen a su dispersión y distribución (Rodríguez-Godínez y Almazán-Núñez, 2015). Por otra parte, estudios demuestran que los tallos y hojas de *B. graveolens* tiene una gran cantidad de metabolitos secundarios (Manzano, 2007; López-Córdoba *et al.*, 2020;

Sánchez-Recillas et al., 2020; Monzote et al., 2012), como, por ejemplo, limoneno, óxido de cariofileno, trans-cariofileno, mirceno, mentofurano (Leyva, Martínez y Stashenko 2007) y triterpenos (Robles et al., 2005).

Partiendo de esta perspectiva sobre el potencial y uso de *B. graveolens* como Productos Forestales No Maderables (PFNM's), es necesario analizar su aprovechamiento, manejo y conservación, por ello, la estructura poblacional (densidad poblacional y estructura de tamaños) es un elemento clave para conocer el estado de conservación de la población (Cuevas-Guzmán et al., 2008; Godínez-Álvarez et al., 2008; Palacios-Wassenaar; Ocampos-Castillo y Vázquez-Torre, 2016). Estudios en especies forestales señalan que la forma de "J" invertida es un indicador adecuado de la estructura poblacional, que implica una mayor cantidad de plántulas y juveniles (Sosa, Espinosa y Milanés, 2015), sin embargo, hay que considerar otros factores que pueden producir cambios en la estructura de una especie, relacionados con la alteración del bosque por actividades humanas (Mendoza, 1999; Aguirre et al., 2001; Aguirre y Cabrera-Guerrero, 2021).

Los bosques secos donde se distribuye *B. graveolens* se encuentran amenazados por la expansión de la frontera agrícola, la explotación selectiva de especies maderables, incendios forestales y el pastoreo del sotobosque por parte de ganado caprino y vacuno (Dodson y Gentry, 1993; Jazen, 1998; Vázquez et al., 2001; Aguirre y Delgado, 2005; Aguirre et al., 2006). Estos factores provocan cambios en la estructura de los bosques y no permiten la regeneración o recambio de plantas, siendo uno de los problemas principales del bosque seco (Aguirre, 2017).

A pesar de ello, en Ecuador los estudios son escasos y se han enfocado principalmente en la fitoquímica y ecología de *B. graveolens*. Así, Infante *et al.* (2016) analiza la fenología y propagación de *B. graveolens* en la comunidad Malvas, cantón Zapotillo provincia de Loja. Por otro lado, Carrión-Paladines et al., (2016) y (2019) realizan una caracterización agroquímica de los vermicomposts producidos a partir de residuos de la extracción de aceite esencial y también la biodegradación de residuos de la extracción de aceite esencial de palo santo y su potencial para la producción enzimática utilizando hongos nativos de *Xylaria* del Sur de Ecuador. Jalca et al., (2017) analiza el efecto de reguladores de crecimiento tipo auxínico para la regeneración de tejido vegetal en *B. graveolens*. Por otro lado, desde la perspectiva fitoquímica estudiaron la composición química y la actividad antioxidante del aceite esencial a partir de los tallos de *B. graveolens* (Manzano-Santana *et al.*, 2009; Fon-Fay et al., 2019). En las Islas Galápagos, estudiaron el efecto de la dispersión de semillas por parte de los animales en la regeneración de *B. graveolens* (Clark y Clark 1981), y la filogeografía de *Bursera graveolens* y *Bursera malacophylla* (Weeks y Type, 2009). Finalmente, Aguirre y Cabrera-Guerrero (2021) estudia los parámetros poblacionales y regeneración natural de *Bursera graveolens* en la comunidad de Malvas localidad del Sur de Ecuador.

A pesar de ello, en Ecuador no existen estudios enfocados en analizar la distribución de las clases diamétricas de *B. graveolens* en las localidades de Totumo y Chaquiro del cantón Zapotillo, que pertenecen a la Asociación Bolívar Tello Cano, y que no fueron consideradas en el trabajo de Aguirre y Cabrera-Guerrero (2021), por ello se evaluó la densidad poblacional y las clases diamétricas en bosques secos de la Región Sur de Ecuador, con la finalidad de contribuir al manejo y conservación de la especie potencialmente utilizada como PFNM's.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se localizó en la provincia de Loja, cantón Zapotillo, parroquias Garzareal y Limones específicamente en las comunidades Totumos, Malvas y Chaquiro, que pertenecen a la Asociación Bolívar Tello Cano (Figura 1). Las precipitaciones anuales van de 350 a 800 mm, con temperaturas que varían de 24,5 °C y 26 °C y una elevación de 200 a 350 msnm. La formación vegetal caducifolia corresponde a Bosque seco tropical (Linares-Palomino *et al.*, 2010).

La población circúndate al bosque, está dedicada a actividades como; la ganadería, agricultura, crianza de animales menores, el aprovechamiento de especies maderables, y no maderables para la subsistencia (Aguirre-Padilla, Alfaro-Espejo y Granda-Pardo, 2018). La creación de la asociación Bolívar Tello Cano, ha tenido como objetivo principal aportar a la reducción de la deforestación que ha sido ocasionada por distintas actividades, a través, de la práctica y aprovechamiento sostenible. Por ejemplo, la extracción de aceite de *B. graveolens* a partir de la semillas o fruto, sin que esta implique la tala del árbol.

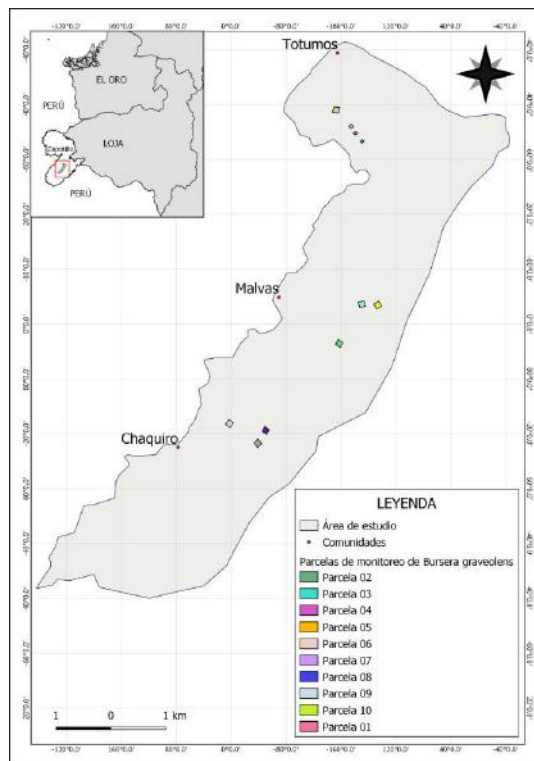


Figura 1. Área de estudio de *Bursera graveolens* en las comunidades Totumos, Malvas y Chaquiro, cantón Zapotillo

Diseño y recolección de datos

En los sectores Totumos, Malvas y Chaquiro se seleccionaron diez sitios de muestreo, donde se instaló siete parcelas de monitoreo de 10000 m² y tres parcelas de 2500 m² en un rango altitudinal entre los 247 y 313 m s.n.m. (Cerón, 2005). En cada parcela se etiquetó y se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los individuos *B. graveolens*. Finalmente se realizó una colección y descripción al azar de las especies asociadas a *B. graveolens*

Análisis de datos

Se aplicó estadística descriptiva mediante diagramas de barras para visualizar la estructura poblacional y diamétrica de *B. graveolens*. La estructura diamétrica se basó en todos los individuos encontrados en el inventario. Para obtener el número de clases diamétricas se utilizó la regla de Sturges (1926), donde $K = 1 + 3,322 \log^{10}(N)$, donde K = Número de clases diamétricas, Log10 = Logaritmo común de base 10, N= Número de individuos y, para el tamaño o ancho de clase: $C = V_{Max} - V_{Min}/K$, donde C= ancho de una clase, VMax = Valor máximo del número de individuos, VMin = Valor mínimo del número de individuos, K = Número de clases diamétricas, con lo que se dividió a la población en nueve categorías (cada categoría en intervalos de nueve).

RESULTADOS

Se encontraron 11 especies asociadas al hábitat de *B. graveolens* entre las especies más comunes se encontraron; *Chloroleucon mangense*, *Ipomoea carnea*, *Piscidia carthagenensis*, *Eriotheca ruizii*, y *Handroanthus chrysanthus* (Tabla 1).

Tabla 1. Especies asociadas para el hábitat de *B. graveolens*

Familia	Especie	Nombre común	Presencia
Mimosaceae	<i>Chloroleucon mangense</i> (Jacq.) Britton & Rose	Charán blanco	++++
Convolvulaceae	<i>Ipomoea carnea</i> Jacq.	Borrachera	++++
Fabaceae	<i>Piscidia carthagenensis</i> Jacq.	Barbasco	++++
Fabaceae	<i>Pithecellobium excelsum</i> (Kunth) Mart.	Chaquiro	+
Malvaceae	<i>Eriotheca ruizii</i> (K. Schum.) A. Robyns.	Pasallo	++++
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O. Grose	Guayacán	++++
Solanaceae	<i>Cestrum auriculatum</i> L.		+
Rubiaceae	<i>Simira ecuadorensis</i> (Standl.) Steyerm.	Guápala	+
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	+
Polygonaceae	<i>Coccoloba ruiziana</i> Lindau.	Añalque	+
Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea peruviana</i> Bonpl.	Mercadero, Papelillo	+

Se registraron 236 individuos *B. graveolens*, con un promedio de 41 individuos por hectárea, un promedio de 31,9 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Las clases diamétricas no muestran una curva en forma de una “J” invertida (Figura 4), es decir no se evidenció la existencia de regeneración en la población, existe una pequeña cantidad de individuos delgados con diámetros que van de 10,1 – 19,3 cm en la categoría uno (7,6 %), la mayor cantidad de individuos se encuentra en las categorías dos (36,3 %) y tres (33,8%), estos son individuos adultos, que a medida que aumentan el tamaño van disminuyendo su población (Figura 4).

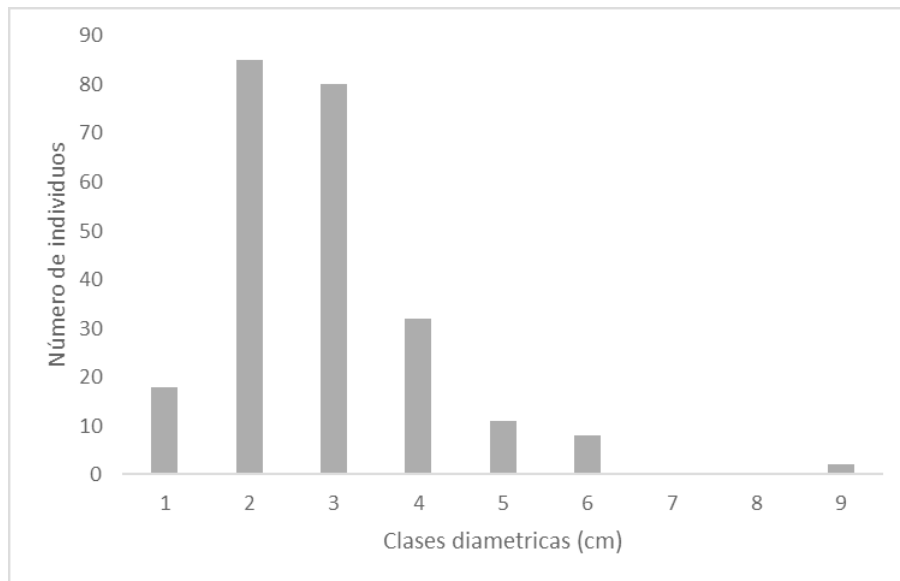


Figura 4. Distribución diamétrica de la población de *B. graveolens*. 1= 10,1 – 19,3cm; 2 = 19,5 – 28,5 cm; 3 = 28,8 – 37,6cm; 4 = 37,8 – 46,5cm; 5= 48,7 – 55,4 cm; 6= 56,2 – 62,4cm; 7= 0 cm; 8= 0 cm; 9= 85,7 – 92,7 cm.

DISCUSIÓN

Nuestros resultados indicaron que la población de *B. graveolens* en los bosques secos de Totumos, Malvas y Chaquiro de la región sur de Ecuador presentaron un mayor número de individuos adultos que jóvenes, por lo que su población se encuentra en declive como ya ha sido reportado por estudios previos (Aguirre y Cabrera-Guerrero, 2021). Por otra parte, las especies asociadas con *B. graveolens* en nuestro estudio, concuerdan con Linares-Palomino *et al.* (2010), que señalan que *B. graveolens* en los bosques secos se encuentra asociada con *Chloroleucon mangense*, *Ipomoea carnea*, *Piscidia carthagenensis*, *Eriotheca ruizii*, *Handroanthus chrysanthus*. Además, Aguirre *et al.* (2001), Vásquez y Josse (2001), mencionan *Handroanthus chrysanthus*, *Simira ecuadorensis*, *Prockia crucis*, *Machaerium millei*, *Cordia macrantha* y *Terminalia valverdeae*, son características de los bosques secos y de su abundancia depende el estado de conservación de los mismos (Linares-Palomino y Ponce, 2005; Aguirre, Kvist y Sanchez, 2006).

Así mismo, las familias Fabaceae, Convolvulaceae, Malvaceae, Bignoniaceae, son nativas de los bosques secos del sur del Ecuador (Linares-Palomino *et al.*, 2010). En los bosques secos del Sur de Ecuador Aguirre *et al.* (2001) y Cabrera *et al.*, (2002) señalan que Fabaceae, Fabaceae, Bignoniaceae, Malvaceae, Rubiaceae, Moraceae, Boraginaceae y Nyctaginaceae, son las familias más abundantes y diversas de los bosques estacionalmente secos, en concordancia con nuestros resultados.

Se registró valores promedios por hectárea diferentes en cada localidad, siendo Totumos el sitio con mayor número de individuos (44), Malvas con 39 y Chaquiro con 34 individuos por hectárea de *B. graveolens*, lo que difiere con el reciente estudio realizado por Aguirre y Cabrera-Guerrero (2021), quien documenta un total de 119 individuos/ha; esto demuestra que en un año las poblaciones de *B. graveolens* han disminuido aceleradamente en más de un 35%, y si no se toman medidas urgentes, para mantener los individuos de regeneración natural, e individuos juveniles,

que por procesos de la ganadería expansiva que se vienen dando en los sitios, esta especie tiene una tendencia a ir desapareciendo paulatinamente. Además, en bosques secos de Perú Rasal et al., (2011) y Guerra (2013), señalan una densidad poblacional alta con 100 y 358 árboles por hectárea, respectivamente. Así mismo, el valor promedio (31,9 cm) de *B. graveolens* en nuestro estudio se asemeja a los valores encontrados por Rasal et al., (2011) y Aguirre y Cabrera-Guerrero (2021) que van de 22 a 29 cm. Los resultados indicaron una mayor tendencia a las clases intermedias, que suponen un proceso de disminución de la población de la especie, debido a la falta de regeneración o recambio de individuos, es decir una forma de pirámide con una base estrecha con un mayor número de individuos adultos que jóvenes (Aguirre y Cabrera-Guerrero, 2021). El cual indica que el bosque de palo santo presenta un problema de persistencia futura en la zona, que podría estar asociado al impacto generado por actividades antropogénicas como el sobrepastoreo de chivos y ganado bovino (Vázquez et al., 2001; Aguirre y Delgado, 2005). Además, los bosques secos presentan bajas tasas de reclutamiento debido a que las tasas de crecimiento también son bajas, por lo que las perturbaciones humanas afectan el dinamismo de las especies forestales (Mendoza 1999; Uslar, Mostacedo y Salinas 2004).

CONCLUSIONES

La estructura poblacional y diamétrica no presentó una curva de “J” invertida, lo cual demuestra que la población de *B. graveolens* se encuentra en proceso de declive (mayor número de individuos adultos) debido a la falta de regeneración o recambio de individuos, relacionado principalmente al impacto antropogénico y el pastoreo. En base a nuestros resultados, es necesario implementar un plan de control y monitoreo del pastoreo ya que es la principal causa de la modificación de la estructura poblacional de la especie, así como también plantear alternativas para la regeneración y conservación, lo que nos permitirá a largo plazo planificar un correcto uso de los productos forestales no maderables para el beneficio y desarrollo de las comunidades rurales.

Agradecimientos

Agradecemos a la comunidad de Malvas, y al apoyo económico brindado por el proyecto PROAmazonía, Ministerios del Ambiente y Agua y de Agricultura y Ganadería del Ecuador, PNUD, y a todos quienes colaboraron en la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Mendoza, Z., & Cabrera Guerrero, O. (2021). Parámetros poblacionales y regeneración natural de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch (Burseraceae), en Zapotillo, Ecuador. *Arnaldoa*, 28(2), 305-318.
- Aguirre, Z., & Delgado, T. (2005). Vegetación de los bosques secos de Cerro Negro-Cazaderos, Occidente de la Provincia de Loja. *Biodiversidad en los bosques secos de la zona de Cerro Negro-Cazaderos, occidente de la provincia de Loja: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas*, 9-24.
- Aguirre, Z., Cueva, E., Merino, B., Quizhpe, W., & Valverde, A. (2001). Evaluación ecológica rápida de la vegetación en los bosques secos de La Ceiba y Cordillera Arañitas, provincia de Loja, Ecuador. *Biodiversidad en los bosques secos del sur-occidente de la provincia de Loja. EcoCiencia, Ministerio del Ambiente, Herbario LOJA y Proyecto Bosque seco, Quito. Ecuador*, 15-35. }

- Aguirre, Z., Kvist, L. P., & Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Botánica económica de los Andes Centrales, 2006*, 162-187.
- Aguirre-Padilla, N. I., Alvarado-Espejo, J., & Granda-Pardo, J. (2018). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 8(2).
- Añazco, M., Morales, M., Palacios, W., Vega, E., & Cuesta, A. L. (2010). *Sector Forestal Ecuatoriano: propuestas para una gestión forestal sostenible* (No. 634.9209866 S446).
- Becerra, J. X. (2003). Evolution of Mexican *Bursera* (Burseraceae) inferred from ITS, ETS, and 5S nuclear ribosomal DNA sequences. *Molecular phylogenetics and evolution*, 26(2), 300-309.
- Becerra, J. X., & Venable, D. L. (1999). Nuclear ribosomal DNA phylogeny and its implications for evolutionary trends in Mexican *Bursera* (Burseraceae). *American Journal of Botany*, 86(7), 1047-1057.
- Becerra, J. X., Noge, K., Olivier, S., & Venable, D. L. (2012). The monophyly of *Bursera* and its impact for divergence times of Burseraceae. *Taxon*, 61(2), 333-343.
- Cabrera, O., Aguirre, Z., Quizhpe, W., & Alvarado, R. (2002). Estado actual y perspectivas de conservación de los bosques secos del sur-occidente ecuatoriano. *Botánica Austroecuatoriana*, 65
- Carrión-Paladines, V., Fries, A., Caballero, R. E., Pérez Daniëls, P., & García-Ruiz, R. (2019). Biodegradation of Residues from the Palo Santo (*Bursera graveolens*) Essential Oil Extraction and Their Potential for Enzyme Production Using Native *Xylaria* Fungi from Southern Ecuador. *Fermentation*, 5(3), 76.
- Carrión-Paladines, V., Fries, A., Gómez-Muñoz, B., & García-Ruiz, R. (2016). Agrochemical characterization of vermicomposts produced from residues of Palo Santo (*Bursera graveolens*) essential oil extraction. *Waste management*, 58, 135-143.
- Castro-Laportte, M. (2013). Propuesta de un nuevo subgénero para el género *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae), con comentarios sobre *Bursera inversa* Daly. *Ernstia*, 23(1), 67-82.
- Cerón, C. (2003). Manual de botánica, sistemática, etnobotánica y métodos de estudio en el Ecuador. *Herbario "Alfredo Paredes" QAP, Escuela de Biología de la Universidad Central del Ecuador*.
- Clark, D. A., & Clark, D. B. (1981). Effects of seed dispersal by animals on the regeneration of *Bursera graveolens* (Burseraceae) on Santa Fe Island, Galapagos. *Oecologia*, 49(1), 73-75.
- Cuatrecasas, J. (1957). Prima Flora Colombiana: 1. Burseraceae. *Webbia*, 12(2), 375-441.
- Cuevas Guzmán, R., García Moya, E., Antonio Vázquez García, J., & Núñez López, N. M. (2008). Estructura poblacional y relaciones ambientales del árbol tropical *Nectandra rudis* (Lauraceae), una especie rara en el occidente de México. *Revista de Biología Tropical*, 56(1), 247-256.
- Dodson, C., & Gentry, A. (1993). Extinción biológica en el Ecuador occidental. *La Investigación para la Conservación de la Diversidad Biológica en el Ecuador. EcoCiencia, Quito*, 27-45.
- Fon-Fay, F. M., Pino, J. A., Hernández, I., Rodeiro, I., & Fernández, M. D. (2019). Chemical composition and antioxidant activity of *Bursera graveolens* (Kunth) Triana et Planch essential oil from Manabí, Ecuador. *Journal of Essential Oil Research*, 31(3), 211-216.
- Godínez-Alvarez, H., Jiménez, M., Mendoza, M., Pérez, F., Roldán, P., Ríos-Casanova, L., & Lira, R. (2008). Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 79(2), 393-403.

- Infante, L. F. M., Guamán, V. H. E., Serrano, J. M., Patiño, J. M., Chamba, L. M., Arévalo, M. Y., ... & Freire, M. S. (2016). Estudio fenológico y propagación de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch, en la comunidad de Malvas, cantón Zapotillo, provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 6(2).
- Jalca, O. F. M., Cuasquer, E., Lucas, L. M. G., Rodríguez, M. P. R., & González, A. J. (2017). Efecto de reguladores de crecimiento tipo auxínico para la regeneración de tejido vegetal en *Bursera graveolens*. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 5(3), 259-269.
- Janzen, D. H. (1988). Tropical dry forests. *Biodiversity*, 15, 130-137.
- Jiggins, C., Andrade, P., Cueva, E., Dixon, S., Isherwood, I., & Willis, J. (1999). The conservation of three forests in south-west Ecuador. *Biosphere Publ Res Rep*, 2.
- Jumbo, L. O. V., Corrêa, M. J. M., Gomes, J. M., Armijos, M. J. G., Valarezo, E., Mantilla-Afanador, J. G., ... & Oliveira, E. E. (2022). Potential of *Bursera graveolens* essential oil for controlling bean weevil infestations: Toxicity, repellence, and action targets. *Industrial Crops and Products*, 178, 114611.
- Leyva, M. A., Martínez, J. R., & Stashenko, E. E. (2007). Composición química del aceite esencial de hojas y tallos de *Bursera graveolens* (Burseraceae) de Colombia. *Scientia et Technica*, 13(33), 201-202.
- Linares-Palomino, R., & Alvarez, S. I. P. (2005). Tree community patterns in seasonally dry tropical forests in the Cerros de Amotape Cordillera, Tumbes, Peru. *Forest Ecology and Management*, 209(3), 261-272.
- Linares-Palomino, R., Kvist, L. P., Aguirre-Mendoza, Z., & Gonzales-Inca, C. (2010). Diversity and endemism of woody plant species in the Equatorial Pacific seasonally dry forests. *Biodiversity and Conservation*, 19(1), 169-185.
- López-Córdoba, C. M., Capa-Camacho, V. L., García-Berfon, L. V., & García-López, A. L. (2020). Transformación catalítica del aceite esencial de Palo Santo sobre zeolita Faujasita HY. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 21(2).
- Manzano Santana, P., Miranda, M., Gutiérrez, Y., García, G., Orellana, T., & Orellana, A. (2009). Efecto antiinflamatorio y composición química del aceite de ramas de *Bursera graveolens* Triana & Planch. (palo santo) de Ecuador. *Revista cubana de plantas medicinales*, 14(3), 45-53.
- Manzano, P. (2009). Potencial Fitofármaco de *Bursera Graveolens* ("Palo Santo"), del Bosque Seco Tropical, Península de Santa Elena, Provincia del Guayas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.
- Mendoza-C, H. (1999). Estructura y riqueza florística del bosque seco tropical en la región Caribe y el valle del río Magdalena, Colombia. *Caldasia*, 70-94.
- Monzote, L., Hill, G. M., Cuellar, A., Scull, R., & Setzer, W. N. (2012). Chemical composition and anti-proliferative properties of *Bursera graveolens* essential oil. *Natural Product Communications*, 7(11), 1934578X1200701130.
- Murphy, P. G., & Lugo, A. E. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual review of ecology and systematics*, 67-88.
- Nakanishi, T., Inatomi, Y., Murata, H., Shigeta, K., Iida, N., Inada, A., ... & Oku, N. (2005). A new and known cytotoxic aryltetralin-type lignans from stems of *Bursera graveolens*. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 53(2), 229-231.

- Palacios-Wassenaar, O., Castillo-Campos, G., & Vázquez-Torres, S. M. (2016). Análisis de la estructura poblacional como indicador rápido del estado de conservación de especies arbóreas amenazadas. El caso de *Resinanthus aromaticus* en el centro de Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 94(2), 241-252.
- Rasal Sánchez, M., Troncos Castro, J., Lizano Durán, C., Parihuamán Granda, O., Quevedo Calle, D., Rojas Idrogo, C., & Delgado Paredes, G. E. (2011). Características edáficas y composición florística del bosque estacionalmente seco La Menta y Timbes, región Piura, Perú. *Ecología Aplicada*, 10(2), 61-74.
- Robles, J., Torrenegra, R., Gray, A. I., Piñeros, C., Ortiz, L., & Sierra, M. (2005). Triterpenos aislados de corteza de *Bursera graveolens* (Burseraceae) y su actividad biológica. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 15, 283-286.
- Rodríguez-Godínez, R., & Almazán-Nuñez, R. C. (2015). Composición florística y estructura de la familia Burseraceae en un bosque tropical caducifolio en Atenango del Río, Guerrero. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(5), 685-689.
- Rzedowski, J., & Kruse, H. (1979). Algunas tendencias evolutivas en *Bursera* (Burseraceae). *Taxon*, 28(1-3), 103-116.
- Sánchez, A., Quesada, M., Rodríguez, J., Nassar, J., Stoner, K., Castillo, A., ... & Cuevas, P. (2005). Prioridades de investigación para los Bosques Secos neotropicales. *Biotropica*, 37(1), 477-485.
- Sánchez-Recillas, A., Aragón-Castillo, S. L., Arroyo-Herrera, A. L., Araujo-León, J. A., & Ortiz-Andrade, R. R. (2020). Efecto espasmolítico y antibacteriano de la especie *Bursera graveolens* (Kunth). *Polibotánica*, (49), 135-147.
- Sosa, J. L. R., Espinosa, C. A., & Milanés, J. Y. R. (2015). Estructura diamétrica y por estado, mortalidad y reclutamiento de *Juglans jamaicensis* C. DC., en el Parque Nacional Turquino. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 3(1), 3.
- Sosa, S., Balick, M. J., Arvigo, R., Esposito, R. G., Pizza, C., Altinier, G., & Tubaro, A. (2002). Screening of the topical anti-inflammatory activity of some Central American plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 81(2), 211-215.
- Sturges, H. A. (1926). The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21(153), 65-66.
- Uslar, Y. V., Mostacedo, B., & Saldías, M. (2004). Composición, estructura y dinámica de un bosque seco semidecídico en Santa Cruz, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 39(1), 25-43.
- Vásquez, M., & Josse, C. (2001). Breve introducción a los bosques secos del suroccidente de la provincia de Loja. *Biodiversidad en los bosques secos del suroccidente de la provincia de Loja: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas. EcoCiencia, Herbario LOJA y Proyecto Bosque Seco. Quito, Ecuador*, 9-13.
- Vázquez, M. A., Berenschot, L., Crespo, A., Cueva, E., López, F., Postma, T., ... & Solórzano, V. (2001). Los bosques secos de La Ceiba y Cordillera Arañitas, provincia de Loja: situación y perspectivas de conservación. *Biodiversidad en los bosques secos del suroccidente de la provincia de Loja: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas. EcoCiencia, Ministerio del Ambiente, Herbario LOJA y Proyecto Bosque Seco. Quito*, 123-131.
- Weeks, A., & Tye, A. (2009). Phylogeography of palo santo trees (*Bursera graveolens* and *Bursera malacophylla*; Burseraceae) in the Galápagos archipelago. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(4), 396-410.

Sustentabilidad de los sistemas agroforestales de café especial de altura en el sector sur oriental del cantón Loja

Sustainability of agroforestry systems of special high altitude coffee in the south-eastern sector of the Loja canton

Marco Sánchez-Castillo^{1*} 

Nohemí Jumbo-Benítez² 

Paulina Fernández-Guarnizo² 

¹Dirección de Cuencas Hídricas y Biodiversidad, Gobierno Provincial de Loja. Loja, Ecuador.

²Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovable, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.

*Autor para correspondencia: ingmarcoant@yahoo.es

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1887>

Recibido: 09/05/2023

Aceptado: 19/06/2023

RESUMEN

La sustentabilidad se entiende como el desenvolvimiento armónico entre el desarrollo económico, social y la conservación ambiental, buscando satisfacer los requerimientos actuales sin comprometer los recursos necesarios para las próximas generaciones. En esta investigación se evaluó la sustentabilidad en el ámbito económico, social y ambiental de los Sistemas Agroforestales (SAF) de pequeños productores de café especial al sector Sur oriental del del cantón Loja; para determinar la sustentabilidad se aplicó la metodología propuesta por Flores y Sarandón, generando indicadores ambientales, económicos y socio-culturales para estimar el Índice General de Sustentabilidad (IsGen); se consideraron en el estudio variables sobre el núcleo familiar; las condiciones ambientales, socioculturales y económicas específicas de los SAF asociados al café de especialidad. La determinación de la Sustentabilidad estimó un IsGen de 2,38; donde la dimensión ecológica aportó un valor de 2,58; mientras que las dimensiones económicas 2,75 y socio cultural de 1,82. Se estableció que los SAF no son sustentables, destacando que las dimensiones ambiental y económica resultaron ser positivas; sin embargo, la dimensión sociocultural no alcanza una valoración > a 2 catalogándola como como negativa o limitante; siendo necesario enfatizar que para que un sistema sea sustentable el criterio económico, social y ambiental deben tener una valoración superior a dos; de igual manera es necesario emplear indicadores en los ámbitos de la sustentabilidad de acuerdo al contexto de estudio.

Palabras clave: sistemas agroforestales, café, indicadores, dimensiones, IsGen.

ABSTRACT

Sustainability is understood as the harmonious development between economic and social development and environmental conservation, seeking to satisfy current requirements without compromising the necessary resources for future generations. In this research, the sustainability in the economic, social and environmental field of the Agroforestry Systems (SAF) of small producers of special coffee in the south eastern sector of the Loja canton was evaluated, in order to determine sustainability, the methodology proposed by Flores and Sarandón was applied, generating environmental, economic and socio-cultural indicators to estimate the General Sustainability Index (IsGen); it was considered in the study of variables on the family nucleus; the specific environmental, sociocultural and economic conditions of the SAF associated with specialty coffee. The determination of Sustainability estimated an IsGen of 2.38; where the ecological dimension contributed a value of 2.58; while the economic dimensions 2.75 and socio-cultural 1.82. It was established that the SAFs are not sustainable, highlighting that the environmental and economic dimensions turned out to be positive; however, the sociocultural dimension does not reach an assessment > 2 , classifying it as negative or limiting; being necessary to emphasize that for a system to be sustainable, the economic, social and environmental criteria must have a value greater than two; in the same way, it is necessary to employ indicators in the areas of sustainability according to the study context.

Keywords: agroforestry systems, coffee, indicators, dimensions, IsGen.

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad plantea el crecimiento económico y la conservación del medio ambiente con el fin de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987; Organización de Naciones Unidas, 2015). La producción actual está basada en la aplicación de agroquímicos, semillas modificadas y paquetes tecnológicos destinadas al incremento de los rendimientos; no obstante, requiere el empleo de insumos costosos, escasos y externos, lo que ha condicionado la dependencia de la agricultura al ingreso constante de agroquímicos con costos elevados (Sarandón y Flores, 2014).

La Agenda 2030, sobre el Desarrollo Sostenible, busca ser una guía para la sociedad mundial con el fin de reorientar su manera de concebir los procesos productivos, sociales y ambientales para garantizar un futuro a las nuevas generaciones (Organización de Naciones Unidas, 2015). Alineándose a esta propuesta en el año 2019, el Ecuador plantea el Programa Nacional de Reforestación (PNR) que establece entre las modalidades y prácticas de restauración activa, los Sistemas Agroforestales (SAF), impulsándolos como sumideros de carbono y actividades comerciales, donde se da importancia al cultivo de café de altura (Ministerio del Ambiente, 2019).

La producción agrícola nacional ha establecido monocultivos de pocas especies de interés comercial; causando pérdida de biodiversidad, degradación de suelos y disminución de las prácticas ancestrales. Ante ello, los SAF constituyen espacios con mayor diversificación de especies vegetales y prácticas ancestrales que manejan los recursos naturales de una manera más eficiente (Añazco, 2017).

Durante el periodo 2012 - 2021, se han producido un total de 64 313 t de café, en 40 700 ha de superficie con un rendimiento de 0,17 t/ha en promedio, con picos de altos y bajos en los ciclos productivos. En el caso de Loja, el rendimiento es menor, llegando a registrar 0,07 t/ha en el año 2015 (Ministerio de Agricultura, 2023). A esta realidad local, se suma la escasa tecnificación y manejo agronómico; a la par, el sistema productivo asociado al café cuenta con productores con características de baja asociatividad y con grandes problemas de comercialización (Montero, 2017; Venegas et al., 2018).

Evaluaciones de sustentabilidad aplicadas a las fincas productoras de café, han determinado el Índice de Sustentabilidad General (ISGen) con el uso de indicadores para las dimensiones Socio Cultural, Ecológica o Ambiental y Económica (Fonseca, 2021; Méndez et al., 2016; Sarandón, 2020); sin embargo, la mayoría de estudios no se han ocupado de incorporar indicadores para analizar a profundidad las interacciones socioculturales y ambientales de los SAF asociados al café; y han dado mayor importancia a las condiciones económicas (Mendoza, 2021).

Con estos antecedentes, esta investigación determina la sustentabilidad de los sistemas agroforestales de café especial de altura; y a la par, generar criterios, indicadores que pueden ser extrapolable a otras fincas cafetaleras de la región sur del Ecuador, con el fin de establecer acciones para el fortalecimiento y mejoras en los sistemas de producción cafetalera con la implementación de alternativas tecnológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en las fincas de los productores de la Asociación Agroartesanal de Pequeños Productores de Café Especial (APECAEL), ubicadas en las parroquias Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba, Malacatos, Yangana y Quinara, correspondientes al sector sur oriental del cantón Loja (Parroquias | Municipio de Loja, 2023) (Figura 1). APECAEL cuenta con 47 socios, que se caracteriza por ser representativa en el cultivo del café especial de altura en la zona sur oriental del cantón Loja (SUIOS - Sistema Unificado de Información de Organizaciones Sociales, 2023).

La zona posee un clima subtropical - seco, con temperaturas que oscilan entre los 16,1 a 20,8 °C y precipitaciones influenciadas por la cordillera de los Andes, que se presentan en el periodo de octubre a mayo en un rango desde los 669,10 mm en las zonas bajas a los 1 160,10 mm en las zonas altas. Se trata de una zona con presencia de una topografía variada que va desde los valles con una altura de 1 400 a zonas donde se superan los 2 000 m s.n.m.; y pendientes suaves y muy fuertes. Se trata de territorios de alta biodiversidad ya que corresponden a las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus (GAD Vilcabamba, 2019; Ramírez et al., 2015).

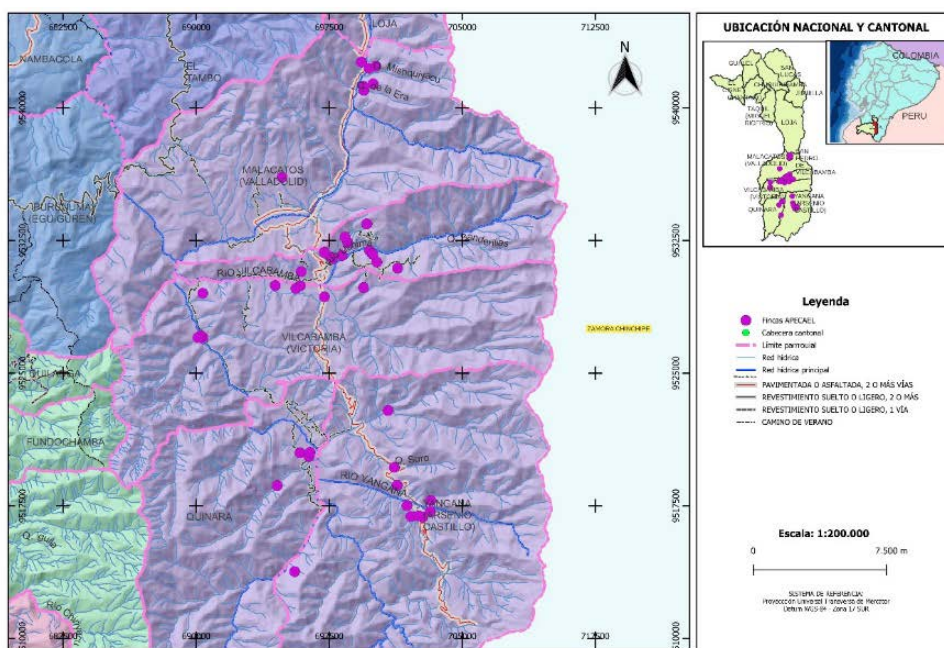


Figura 1. Ubicación del área de estudio, zona sur oriental del cantón Loja, República del Ecuador

Para evaluar la sustentabilidad, se siguió la metodología propuesta por Sarandón y Flores (2014), construyendo indicadores en las dimensiones ecológica o ambiental (IE), económica (IK) y sociocultural (ISC) considerando la zona de estudio (Tabla 1). Se realizó encuestas, al 30 % socios de la APECAEL; además, se validó la información con visitas *in situ* a fincas.

Tabla 1. Indicadores ambiental o ecológico, económico y socio cultural para la evaluación de la Sustentabilidad en la APECAEL.

Dimensión Ambiental o Ecológica (IE)	
A. Conservación de la vida del suelo	A1. Materia orgánica A2. Diversificación de cultivos
B. Manejo de residuos post cosecha	B1. Manejo de cáscaras y pergamino de café B2. Manejo de aguas mieles
C. Riesgo de erosión	C1. Pendiente predominante del terreno C2. Cobertura vegetal C3. Conservación de suelos
D. Manejo de la biodiversidad	D1. Diversidad vegetal D2. Área de conservación
Dimensión Económica (IK)	
A. Rentabilidad de la finca	A1. Productividad. A2. Tipo de post cosecha A3. Presencia de plagas y enfermedades
B. Ingreso neto mensual	B1. Ingreso neto mensual
C. Riesgo económico	C1. Diversificación de productos para la venta C2. Dependencia de insumos externos C3. Destino de la producción C4. Fuente de financiamiento para la producción de café
Dimensión Socio cultural (ISC)	
A. Satisfacción de las necesidades básicas	A1. Acceso a la educación A2. Salud y cobertura sanitaria A3. Servicios básicos A4. Vías de acceso A5. Conectividad A6. Crianza de animales menores e infraestructura A7. Infraestructura y maquinaria para post cosecha de café
B. Integración social	B1. Participación de la mujer en procesos productivos B2. Participación de la mujer en toma de decisiones en la organización B3. Participación de la mujer en la toma de decisiones en el hogar B4. Participación de los integrantes de la familia B5. Modelo de gestión
C. Conocimiento tecnológico y conciencia ecológica	C1. Fortalecimiento de capacidades C2. Asistencia técnica

En la valoración de cada subindicador se usó una escala ascendente donde el valor 0 correspondió al rango más bajo y fue creciente hasta un máximo de 4 según su importancia; en el cálculo de los índices se emplearon ponderaciones en base a promedios para cada indicador; donde:

$$IE = [(A1+A2)/2] + [(B1+B2)/2] + [(C1+C2+C3)/3] + [(D1+D2)/2] / 4$$

$$IK = [(A1+A2+A3)/3] + B1 + [(C1+C2+C3+C4)/4] / 3$$

$$ISC = [(A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7)/7] + [(B1+B2+B3+B4+B5)/5] + [(C1+C2)/4] / 4$$

Con los indicadores se calculó el Índice General de Sustentabilidad (IsGen), que valora las dimensiones por igual, para lo cual se empleó la siguiente fórmula:

$$IsGen = \frac{IE + IK + ISC}{3}$$

Se considera un SAF de café es sustentable cuando el IsGen es superior a 2 o bien que ninguno de los tres indicadores tuviera un valor menor a 2 (Sarandón et al., 2004)

■ RESULTADOS

Una vez sistematizada, y tabulada la información se obtuvo los siguientes resultados:

Para la evaluación ambiental se establecieron indicadores, subindicadores, obteniendo el valor de cada variable.

Tabla 2. Evaluación ambiental

Indicador	Subindicador	Valor	Promedio
Conservación de la vida del suelo	A1: % de Materia orgánica	3,30	3,43
	A2: Diversificación de cultivos.	3,56	
Manejo de residuos post cosecha	B1. Manejo de las cáscara y pergamino de café	3,44	2,78
	B2. Manejo de aguas mieles	2,12	
Riesgo de erosión	C1: Pendiente predominante.	0,78	1,93
	C2: Cobertura vegetal	2,80	
	C3. Conservación de suelos	2,22	
Manejo de la biodiversidad	D1: Biodiversidad vegetal	3,32	2,19
	D2. Área de conservación	1,06	
IE			2,58

Se registró un valor de 2,58 para el IA, donde, el riesgo a erosión resulta con una valoración baja de 1,93 condicionado principalmente por la pendiente predominante de los SAF que llega a alcanzar entre el 30 a 45 % de inclinación. El manejo de aguas mieles y el manejo de residuos postcosecha resultan ser de menor valor. A su vez la superficie destinada a la conservación presenta valores más bajos, lo que condiciona al indicador de manejo de biodiversidad (Tabla 2). Sin embargo, la conservación de la vida del suelo resulta con los mejores valores, lo que determinó que el 100 % de los SAF son sostenibles en la dimensión ambiental (Figura 2).

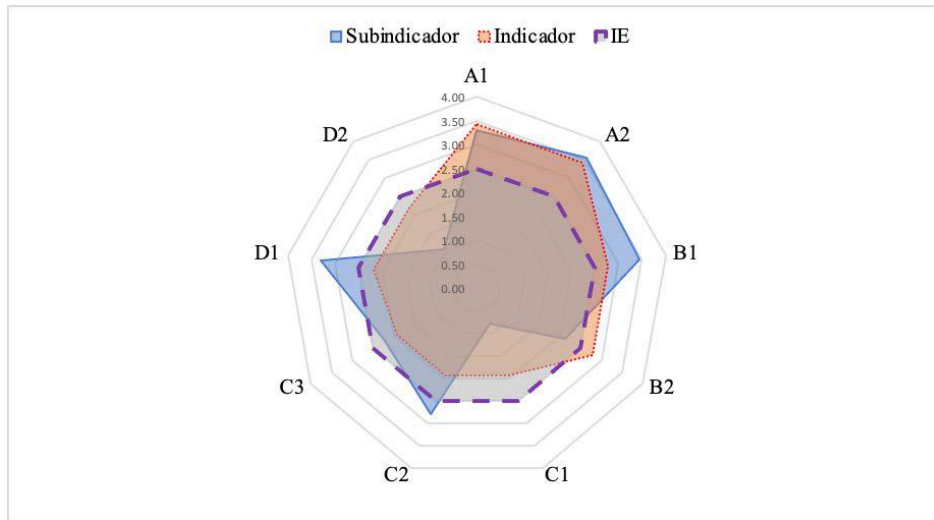


Figura 2. Representación de la dimensión Ecológica o Ambiental (IE).

En la Tabla 3 y Figura 3 se muestran los valores para el IK de las fincas, que en promedio fue de 2,74; sin embargo, este indicador se ve limitado por la rentabilidad de las fincas, por los bajos ingresos mensuales de los productores que son menos de \$135,67 USD; lo que permite aseverar que el 29 % de los SAF no son sostenibles en este indicador.

Tabla 3. Evaluación económica.

Indicador	Subindicador	Valor	Promedio
Rentabilidad de la finca	A1: Productividad.	1,24	1,98
	A2: Tipo de poscosecha	2,58	
	A.3.Presencia de plagas y enfermedades	2,12	
Ingreso neto mensual	B. Ingreso neto mensual	2,68	2,68
Riesgo económico	C.1. Diversificación para la venta.	3,34	3,56
	C2- Dependencia de insumos externos	4,00	
	C3. Destino de la producción	3,44	
	C4. Fuente de financiamiento para la producción de café	3,46	
IK			2,74

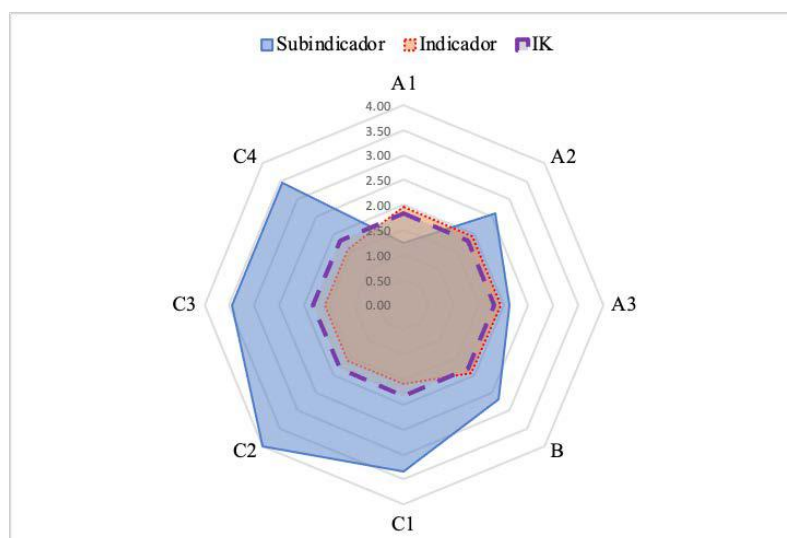


Figura 3. Representación de la dimensión Económico (IK)

En la Tabla 4 constan los valores para el ISC de las fincas evaluadas obteniéndose un índice de 1,82. Existen varios factores que inciden en este indicador pudiendo destacar, la baja satisfacción de las necesidades básicas; mismas que están condicionadas por la falta de vías de acceso y escasa infraestructura destinada a la crianza de animales menores, lo que establece que solo el 49 % de los SAF sean sostenibles para la dimensión sociocultural (Figura 4).

Tabla 4. Evaluación socio cultural.

Indicador	Subindicador	Valor	Promedio
Satisfacción de las necesidades básicas	A1: Acceso a la educación	2,32	1,95
	A2. Salud y cobertura sanitaria	2,50	
	A3. Servicios básicos	2,70	
	A4. Vías de acceso	2,08	
	A5. Conectividad	2,88	
	A6. Infraestructura para especies menores	1,12	
	A7. Infraestructura para café	1,00	
	A8. Maquinaria para café	1,00	
Integración social	B1. Participación de la mujer en procesos productivos	2,00	1,92
	B2. Participación de la mujer en toma de decisiones en la Organización	2,36	
	B3. Participación de la mujer en la toma de decisiones en el hogar	2,14	
	B4. Participación de los integrantes de la familia	1,12	
	B5. Modelo de gestión	2,00	
Conocimiento tecnológico y conciencia ecológica	C1. Fortalecimiento de capacidades	1,40	1,58
	C2. Asistencia técnica	1,76	
ISC			1,82

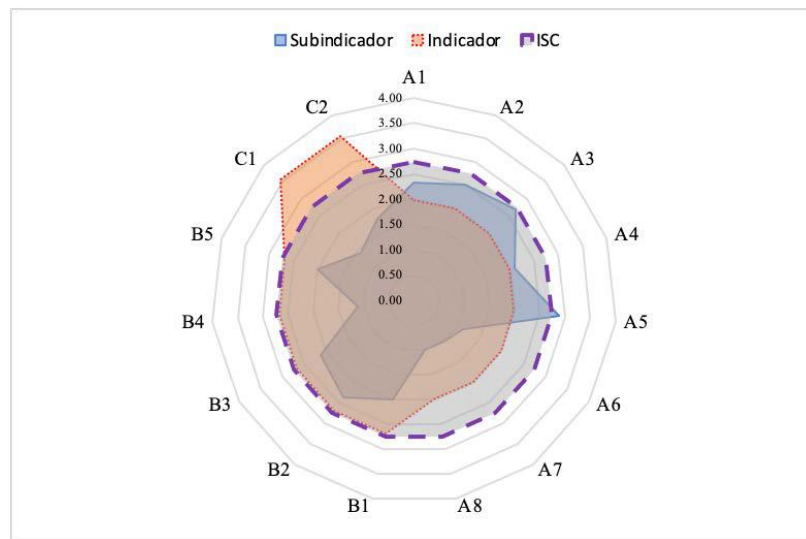


Figura 4. Representación de la dimensión Socio Cultural (ISC).

Una vez realizada la valoración IE, IK y ISC se obtuvo el IsGen que alcanzó un valor de 2,38 (Tabla 5 y Figura 5), en los cuales la satisfacción de las necesidades básicas, la conciencia ecológica, la integración social y conocimiento tecnológico resultaron estar bajo este índice. Mientras que, en el IE el riesgo a la erosión y manejo de la biodiversidad condicionan la sustentabilidad del sistema. En el IK la rentabilidad de la finca resulta ser el limitante principal.

Tabla 5. Índice General de Sustentabilidad

Dimensión	IE	IK	ISC	IsGen
Condición	2,58	2,74	1,82	2,38
> 2	100 %	79 %	43 %	86 %
< 2	0 %	21 %	57 %	14 %

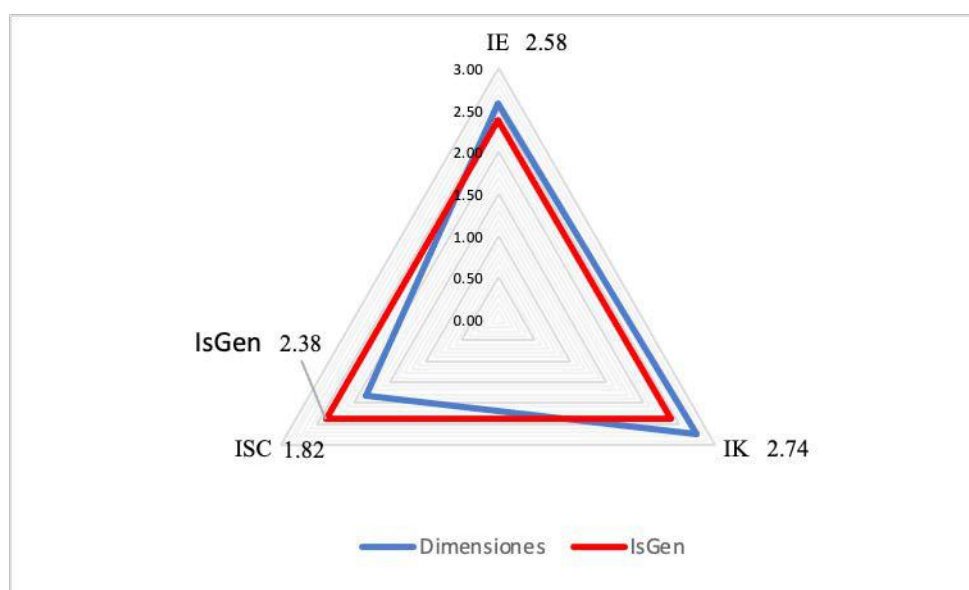


Figura 5. Representación de la Sustentabilidad General

■ DISCUSIÓN

Para el indicador ambiental se obtuvo un valor promedio de 2,58; resultado se asemejan a los obtenidos con otras investigaciones que encontraron IE con valoraciones altas en cafetales como lo reportado por Jumbo, (2020); donde la pendiente es la principal limitante. y se considera importante la presencia y manejo de la cobertura vegetal, biodiversidad, diversidad de cultivos (Márquez et al., 2016) y manejo de las prácticas agroecológicas (Bravo et al., 2017).

Esta realidad sugiere que la dimensión ambiental de los SAF evaluados son sustentables, ya que sus limitaciones no pueden ser susceptibles a ser modificados por la acción del hombre (Sarandón y Flores, 2014), además es importante resaltar la biodiversidad existente y su aporte a las actividades agrícolas que se asocian a los SAF (Sarandón, 2020).

En lo referente al indicador económico, muestran que el rendimiento del cultivo condiciona la dimensión económica, característica que es similar en varios estudios que se han realizado a los cafetales, (Bravo et al., 2017; Jumbo, 2020). Si bien estos son superiores o muy cercanos al promedio de rendimiento nacional (Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria, 2022), los volúmenes de producción están limitados por la superficie de las fincas y baja productividad.

Es necesario destacar que en el café de altura con procesos orgánicos, existen mejores condiciones de comercialización en contraste con aquellos de producción convencional, lo que mejora la valoración de IK (Márquez et al., 2016). No obstante, el sistema de producción resulta ser tradicional o semi tecnificado, tanto para el control natural de plagas y enfermedades como a nivel de fertilización lo que le dan una connotación agroecológica, basándose en un equilibrio ecológico por medio de la biodiversidad de insectos, microorganismos, animales y plantas en el sistema (Dubrovsky, 2020; Paleologos et al., 2017).

El indicador socio cultural obtuvo un valor promedio de 1,82 catalogado como limitante, originado por la baja de participación de los integrantes familiares en las actividades cafetaleras, donde el renuevo generacional resulta determinante en el futuro de esta actividad y condicionan el proceso de integración social (Baker y García, 2020). Los criterios de inclusión en estos productores resultaron ser un hallazgo interesante se visibiliza la relación entre ambos géneros, su entorno, espacios de participación, toma de decisiones y las prácticas de manejo de los SAF donde se ponen en juego los conocimientos y saberes, desde la visión de cada uno de ellos (Blanco, 2020).

No se puede descartar la posible interferencia del limitado conocimiento tecnológico y conciencia ecológica, producto del escaso fortalecimiento de capacidades locales y reducida asistencia técnica. Estos resultados corroboran lo reportado en estudios realizados a SAF asociados a café arábica (Jumbo, 2020), y cultivos de café robusta (Bravo et al., 2017) que indican la influencia que tendría la satisfacción de necesidades, servicios básicos, acceso a la educación; así como las cuestiones ligadas a la organización comunitaria para este indicador.

De conformidad a lo planteado por Sarandón y Flores (2004), se considera que un SAF de café es sustentable cuando el IsGen es superior a 2 o bien ninguno de los tres indicadores alcancen un valor menor a 2; el resultado en esta investigación demuestra que el ISGen está sobre el umbral de 2 alcanzado por el IE e IK; sin embargo, lo valorado en la dimensión socio cultural es limitante con el valor de 1,82 lo que determina que los sistemas agroforestales de café no son sustentables, pues bajo las condiciones actuales, en el sector estudiado no son socialmente aceptables y no estaría garantizada su permanencia en el tiempo.

Esta realidad es consecuente con lo establecido en varias evaluaciones de sostenibilidad aplicadas al sector cafetalero, donde se evidencia que los parámetros socioculturales (Santistevan et al., 2014), presentan deficiencias, sobre la base de la insatisfacción de las necesidades básicas de los productores, la baja integración social (Jumbo, 2020), producto de la escasa incorporación de equidad de género en los procesos productivos, así como en el escaso interés de las nuevas generaciones en estas actividades.

Una condición que aporta a esta realidad es la desatención, frente a los sectores rurales, de las entidades gubernamentales destinadas a propiciar la capacitación y consolidación de fortalezas locales y el enfoque de fortalecimiento logístico necesario para el desarrollo productivo rural (Bravo et al., 2017; Jumbo, 2020; Santistevan et al., 2014; Sarandón, 2020).

CONCLUSIONES

Los Sistemas agroforestales con café del sur oriente del cantón Loja no son sustentables, siendo el indicador socio cultural limitante.

Los indicadores para evaluar el IE, IK, ISC e IsGen fueron pertinentes de acuerdo al contexto de la zona de estudio, permitiendo valorar de manera objetiva las dimensiones en los SAF de café especial de altura.

Los SAF de Café del sector sur oriental del cantón Loja, tienen un enfoque agroecológico orgánico lo que se refleja el fortalecimiento de las dimensiones Ecológica o ambiental y económica; sin embargo, es necesario fortalecer la dimensión socio cultural.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los Productores cafetaleros de la Asociación APECAEL por la colaboración brindada en el levantamiento de la información; así como a la Facultad de Recursos Naturales y Renovables del Universidad Nacional de Loja por la asesoría y supervisión brindadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Añazco, J. M. (2017). Hacia la sustentabilidad de los sistemas agroforestales en el Ecuador continental... un aporte del árbol a la diversificación agrícola y ganadera. 49-71. <http://repositorio.cidecuador.org/bitstream/123456789/15/1/Agricultura%20Sostenible%20del%20Ecuador.pdf>
- Baker, S. S., y García, M. (2020). Jóvenes, agentes para la transición hacia una producción agroecológica en el sector hortícola. *Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.33871/26747170.2020.2.1.3361>
- Blanco, V. (2020). Incorporación del enfoque de género en el conocimiento sobre la biodiversidad. En *Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable* (1 era., pp. 320-340). Editorial de la Universidad de La Plata. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/109141/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bravo, C., Marín, H., Marrero-Labrador, P., Ruiz, M., Torres, B., Navarrete, H., Durazno-Alvarado, G., y Changoluisa-Vargas, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonia ecuatoriana. *Bioagro*, 29, 23-36.
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria. (2022). Informe de Rendimientos de Café grano oro 2021. Ministerio de Agricultura y Ganadería. http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/cafe/resultados_rendimiento_cafe_2021.pdf
- Dubrovsky, N. (2020). Tramas tróficas en los agroecosistemas: Una herramienta para evaluar la complejidad. En *Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable* (1era ed., pp. 165-237). Editorial de la Universidad de La Plata

- Fonseca, N. E. (2021). Propuesta metodológica para medir la sustentabilidad en agroecosistemas a través del marco MESMIS. *Pensamiento udecino*, 5(1), 143-160. <https://doi.org/10.36436/23824905.344>
- GAD Vilcabamba. (2019). PDYOT 2019–2023 – GAD Vilcabamba. <https://vilcabamba.gob.ec/pdyot/>
- Jumbo, N. (2020). Sustentabilidad de las fincas cafetaleras de la asociación de productores agropecuarios del cantón Chaguarpamba. *Bosques Latitud Cero*, 10(2), 113-123.
- Márquez, F., Julca Otiniano, A., Canto, M., Soplin, H., Winstanley, S., y Fernández, P. (2016). Sustentabilidad ambiental en fincas cafetaleras después de un proceso de certificación orgánica en la convención (Cusco, Perú). *Ecología Aplicada*, 15, 125. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.752>
- Méndez, M. S., Otiniano, A. J., y Ventura, R. B. (2016). Sustentabilidad de fincas productoras de café en Jipijapa (Manabí, Ecuador). *Saber y Hacer*, 3(1), Article 1.
- Mendoza, G. L. (2021). Boletín_situacional_cafe_2021.
- Ministerio de Agricultura. (2023). Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador—SIPA. <http://sipa.agricultura.gob.ec/>
- Ministerio del Ambiente. (2019). Plan de Restauración de Paisaje 2019—2030. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu197256.pdf>
- Montero, A. (2017). Rendimientos de café grano seco en el Ecuador. Dirección de análisis y procesamiento de la información-MAGAP.
- Organización de Naciones Unidas. (2015). La Agenda para el Desarrollo Sostenible—Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Paleologos, M., Iermanó, M. J., Blandi, M., y Sarandón, S. (2017). Las relaciones ecológicas: Un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la Agroecología. *REDES*, 22, 92-115. <https://doi.org/10.17058/redes.v22i2.9346>
- Parroquias | Municipio de Loja. (2023). <https://www.loja.gob.ec/contenido/parroquias>
- Ramírez, I. G. S., Castro, I. S., Mendieta, I. D. R., Hidalgo, I. S. G., Carrión, I. L. S., y Añazco, I. I. L. (2015). PDOT GAD Malacatos.
- Santistevan, M., Julca, A., Borjas, R., y Tuesta, O. (2014). Caracterización de fincas cafetaleras en la localidad de Jipijapa (Manabí, Ecuador). *Ecología Aplicada*.
- Sarandón, S. (2020). Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/109141/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sarandón, S., y Flores, C. (2009). Evaluación De La Sustentabilidad en Agroecosistemas: Una Propuesta Metodológica.
- Sarandón, S., y Flores, C. (2014). Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables.
- Sarandón, S. J., Zuluaga, M. S., Cieza, R., Janjetic, L., y Negrete, E. (2004). Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Agroecología*, 1, 19-28.
- SUIOS - Sistema Unificado de Información de Organizaciones Sociales. (2023). https://sociedadcivil.gob.ec/nuevo_directorio
- Venegas, S., Orellana Bueno, D., y Pérez Jara, P. (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *RECIMUNDO*, 72-91. [https://doi.org/10.26820/recimundo/2.\(2\).2018.72-91](https://doi.org/10.26820/recimundo/2.(2).2018.72-91)

Generación de nitrógeno mediante la producción simbiótica *Azolla-Anabaena* en el cantón Loja

Nitrogen generation through the symbiotic production of *Azolla-Anabaena* in Loja canton

Edison Vásquez ^{1*} Gabriela Abad-Calva ²Claudia Angamarca-Angamarca ² Yajahira Calle-Herrera ²¹Docente de la carrera de Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador²Ingeniera Agrícola, Loja-Ecuador

*Autor para correspondencia: edison.vasquez @unl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1858>

Recibido: 17/04/2023

Aceptado: 18/06/2023

RESUMEN

El cantón Loja es una zona dedicada a la agricultura y ganadería; sin embargo, existen algunas limitantes como: altos costos de insumos, suelos ácidos y limitada tecnificación. Con la finalidad de contribuir a la agricultura familiar campesina mediante la generación de nitrógeno bien expresado (N_{be}) a través de la simbiosis *Azolla-anabaena*. Se construyeron azollarios en la parroquia urbana Sucre y las rurales Vilcabamba y Gualel; se registró periódicamente datos de crecimiento del helecho acuático y contenido de nutrientes en el agua del azollario. En las parroquias Sucre y Vilcabamba, en un periodo de 24,19 días, se evidenció un crecimiento diario de tipo exponencial de 17 % y 15 %, respectivamente y en Gualel de tipo polinómico en 47 días. La producción por ciclo para la parroquia Sucre fue de 9,0 t/ha (135 t/ha/año), Vilcabamba 8,3 t/ha (158 t/ha/año) y Gualel 8,2 t/ha (135 t/ha/año); con una fijación anual de nitrógeno de 4,64 t/ha para la parroquia Sucre; 5,18 t/ha para Vilcabamba y 3,14 t/ha para Gualel. El contenido de nutrientes en *Azolla*, varía de acuerdo con la localización geográfica, rango altitudinal y calidad de agua utilizada para el cultivo; *Azolla filiculoides* posee 8 % de materia seca, con contenido de 3,28 a 3,50 % de N; además, están presentes los principales macronutrientes: P, K, Ca y Mg. NitrAgua tributa con nutrientes disponibles para las plantas como N, K, Ca, Mg y HCO_3^- ; con pH neutro, CE y RAS baja, considerada con agua moderadamente dura apta para la irrigación.

Palabras clave: helecho acuático, azollario, fijación biológica, biomasa.

ABSTRACT

The Loja canton is an area dedicated to agriculture and cattle raising; however, there are some limitations such as: high input costs, acid soils and limited technification. In order to contribute to family farming by generating well expressed nitrogen (N_{be}) through the *azolla-anabaena* symbiosis, azollarios were built in the urban parish of Sucre and the rural parishes of Vilcabamba and Gualel, growth data of the aquatic fern and nutrient content in the water of the azollario were periodically recorded. In the parishes of Sucre and Vilcabamba, in a period of 24 and 19 days, there was a daily exponential growth of 17 % and 15 %, respectively, and in Gualel a polynomial growth of 47 days. The production per cycle for Sucre parish was 9.0 t/ha (135 t/ha/year), Vilcabamba 8.3 t/ha (158 t/ha/year) and Gualel 8.2 t/ha (135 t/ha/year); with an annual nitrogen fixation of 4.64 t/ha for Sucre parish; 5.18 t/ha for Vilcabamba and 3.14 t/ha for Gualel. The nutrient content of azolla varies according to geographical location, altitudinal range and water quality used for cultivation; *Azolla filiculoides* has 8 % dry matter, with 3.28 to 3.50 % N content; in addition, the main macronutrients are present: P, K, Ca and Mg. NitrWater tributes with plant available nutrients such as N, K, Ca, Mg and HCO_3^- , with neutral pH, EC and low RAS, after 30 days the water changes from very soft to very hard.

Key words: aquatic fern, azollarium, biological fixation, biomass.

INTRODUCCIÓN

Desde la creación de la República del Ecuador en 1830, Villacres (2017) señalan que la agricultura ha sido uno de los impulsores productivos que permite el aprovechamiento de la riqueza del suelo y, en opinión de Houtart (2018), es una de las principales fuentes generadoras de empleo e ingresos para el sector rural, debido a que el 30 % de la población se dedica a actividades agrícolas; que aporta 8,5 % al producto interno bruto (PIB).

La agricultura abarca procesos de producción, procesamiento, comercialización y distribución de cultivos y ganado (Andrade *et al.*, 2017); con el incremento de la población y consecuentemente la demanda de alimentos, la agricultura ha experimentado un desarrollado significativo, aspectos que generan consecuencias negativas, como procesos de degradación del suelo y contaminación por la excesiva utilización de insumos nocivos como fertilizantes, plaguicidas y energía fósil (Andrade, 2016 y Molloy, 2018).

El nitrógeno es indispensable para la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares (Cárdenas *et al.*, 2004, Ortega *et al.*, 2014); en opinión de Mooshammer *et al.* (2014), el nitrógeno en su forma molecular es el mayor componente, constituye aproximadamente el 80 % de la atmósfera terrestre pero no puede ser utilizado directamente por las plantas.

Bianco (2020) refiere, la fijación biológica de nitrógeno como el proceso a través del cual los microorganismos reducen el nitrógeno hasta una forma utilizable, que aparte de usar el nitrógeno atmosférico (N_2), permite revertir o reducir la degradación del suelo; la conversión del nitrógeno orgánico a formas minerales (NH_4^+ y NO_3^-) aprovechables por las plantas y los microorganismos, se denomina mineralización (Cárdenas *et al.*, 2004). La nitrificación la realiza un conjunto reducido de especies aerobias, bacterias muy sensibles a los agentes externos y comprende dos fases: en la nitrificación el amoníaco (NH_3) se oxida a nitrito (NO_2^-) por nitro bacterias; en la nitratación se oxida el NO_3^- a dióxido de nitrógeno (NO_2) por las nitrobacterias (Delgado *et al.*, 2011).

Surge un nuevo postulado según Mariano Montaña (2020, 2021 y 2022), con base a las aseveraciones de autores como Louis Pasteur (1854), "los microorganismos patógenos son la causa de las enfermedades en el hombre"; Claude Bernard (1876) "la enfermedad es un desequilibrio, una desarmonía de la energía vital"; Christopher Dobson (1851), "las enfermedades se deben al mal plegamiento de las proteínas"; además, señala "todo elemento puede tener dos o más átomos diferentes" refutando la teoría del padre de la química Antoine-Laurent Lavoisier (1808) y Mengel y Kirkby (2000) sugieren sugiere que todos los átomos en un elemento son idénticos; razón por la cual asegura que existen dos tipos de nitrógeno el mal expresado artificial y tóxico (urea-nitratos) y otro nitrógeno bien expresado (N_{be}) natural y saludable, producto de la simbiosis entre *azolla* y *anabaena*.

Azolla filiculoides es un helecho que tiene relación simbiótica hereditaria con *Anabaena*, una cianobacteria fijadora de nitrógeno, también denominada diazotrófica, es la única especie conocida, que mantiene una simbiosis a lo largo de todas las fases del ciclo de vida del helecho (Aldás *et al.*, 2016). Hill (2014) en investigación realizada en California señala, *Azolla filiculoides* contiene alrededor de 4,5 % de N, 0,5 % de P, 1,2 % de K, 0,5 % de C, 0,5 % de Mg y 0,1 % de Fe asimilable, lo que favorece la calidad del agua y suelo. La fijación de nitrógeno producto de la simbiosis, varía según la especie de *Azolla*; también, influyen los factores externos del ambiente sobre la cantidad de biomasa.

Anabaena, es un simbiote extracelular que aporta N al helecho *azolla* y este a su vez recibe otros nutrientes. Su capacidad fijadora de N es de 1,8 kg/ha/día y se utiliza generalmente, en cultivos de arroz (Portado, 2022). Las bacterias libres son una fuente de N para los cultivos, los productores de arroz añaden *azolla* como abono verde, y sirve de hábitat a *anabaena*, famosa por sus propiedades de fijación (Guerrero, 2012).

En contraste a las tradicionales formas de agricultura, surge la "agricultura biogénica" como una de las funciones originales de la naturaleza, al producir nitrógeno a partir de formas de vida; este modelo no solo reduce el CO_2 , si no que aumenta la cantidad de N mediante un proceso natural y biológico a través de la simbiosis *azolla-anabaena* (Montaña, 2020). Por la forma biológica de generación de nitrógeno se denomina "nitrógeno bien expresado" (N_{be}) y por el alto contenido de nitrógeno presente en el agua, se la identifica como "NitrAgua".

Montaña (2010), ha desarrollado investigaciones con *azolla-anabaena* en 340 592 ha de ecosistemas de arrozales en las provincias ecuatorianas de Guayas y Los Ríos, obteniendo altos rendimientos; en el cantón Saraguro de la provincia de Loja, se evaluó el rendimiento en la producción de pastos con excelentes resultados. En Ecuador las importaciones de fertilizantes nitrogenados superan los 60 millones de dólares al año, de los cuales solamente el sector arrocero consume nitrógeno químico (urea) equivalente a seis millones de dólares anuales.

El cantón y provincia Loja, se caracteriza por desarrollar preferentemente actividades agrícolas y en menor proporción la ganadería (PDOT-Loja, 2021). El uso de fertilizantes nitrogenados representa el 20 % en cultivos permanentes y 53 % en cultivos transitorios; el elevado uso de fertilizantes ha generado escurrimiento del agua de riego que regresan a los cauces hídricos saturadas de contaminantes como pesticidas y fertilizantes que se utilizaron en los cultivos (PDOT - Loja, 2019).

En estas consideraciones, se planteó la investigación con la finalidad de contribuir a la agricultura familiar campesina mediante la generación de nitrógeno bien expresado a través de la simbiosis *azolla-anabaena*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El trabajo experimental se realizó en la parroquia urbana Sucre y en las parroquias rurales Vilcabamba y Gualiel, pertenecientes al cantón y provincia de Loja (Figura 1), en la Tabla 1 se presentan las características.

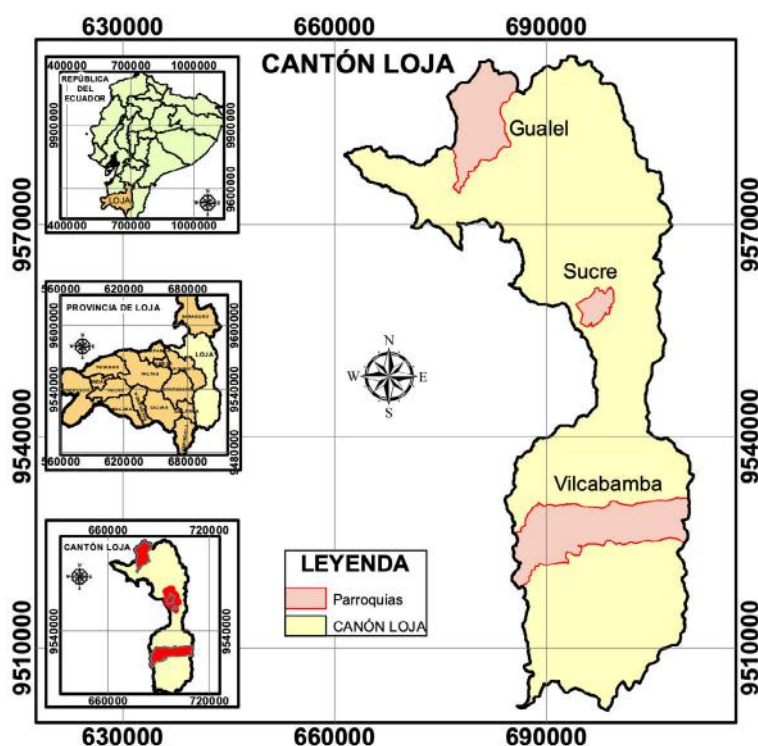


Figura 1. Ubicación de las parroquias Sucre, Vilcabamba y Gualiel.

Tabla 1. Características geográficas y meteorológicas de los lugares del experimento.

Características	Parroquias del cantón Loja			
	Sucre	Vilcabamba	Gualiel	
Distancia desde la ciudad de Loja (km)	0	45	90	
Coordenadas	Latitud Sur	04° 01' 58"	04° 15' 39"	03° 46' 3"
	Longitud Oeste	79° 11' 57"	79° 13' 21"	79° 22' 33"
Altitud (msnm)	2140	1700	2544	
Temperatura media (°C)	16	20,3	10	
Precipitación (mm/año)	1031	870	1250	
Evapotranspiración potencial (mm/año)	1012,86	950	985	
Humedad relativa (%)	78	81	86	
Zona de vida	Mesotérmico semi húmedo	Sub tropical seco	Bosque muy húmedo montano	

Fuente: INAMHI (2019) y PDOT (2021); UMAPAL, (2019), PDOT- Gualiel, (2019)

Construcción de Azollarios

Para obtener nitrógeno bien expresado (N_{be}) en condiciones accesibles para los agricultores del cantón Loja, se construyeron azollarios (Tabla 2), se impermeabilizó con plástico de color negro, en el fondo se colocó una capa de suelo, se llenó completamente con agua utilizada para el riego, luego se sembró *Azolla filiculoides*; para registrar el peso se dejó drenar por 24 horas y se midió la superficie de la semilla al momento de la siembra.

Tabla 2. Dimensiones del azollario, peso y superficie de la semilla.

Parroquia	Dimensiones del azollario				Peso semilla g	Superficie de siembra m ²	Sustrato en el fondo del azollario
	Largo	Ancho	Profundidad	Volumen			
	m			m ³			
Sucre	3,00	1,50	0,15	0,68	107	0,13	5 cm suelo
Vilcabamba	2,00	1,50	0,60	1,80	150	0,18	20 cm suelo
Gualel	3,00	2,00	0,60	3,60	100	0,12	20 cm suelo + estiércol de bovino

Condiciones iniciales del campo experimental

Se recolectó 1,0 kg de muestra de suelo del predio en cada una de las parroquias, en el laboratorio del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) se determinó pH, contenido de macro y micronutrientes, para la textura se utilizó el método del triángulo textural del departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2014). Además, se realizaron análisis de pH, nutrientes disponibles (N, Ca, Mg, Na, K, Cl, B, carbonatos y sulfatos), dureza, conductividad eléctrica y relación de adsorción de sodio, para conocer la calidad del agua para riego.

Siembra y análisis de *Azolla filiculoides*

Se sembró *Azolla filiculoides*; cada siete días y hasta que la superficie se cubrió completamente con el helecho acuático, se tomaron muestras de agua para determinar el contenido de N (método Kjeldahl); cada 15 días se determinó pH, conductividad eléctrica, elementos disponibles (Ca, Mg, Na, K), RAS y dureza del agua del azollario; además, se registraron datos de crecimiento y producción, cada siete días.

RESULTADOS

Características del suelo y agua para riego

Un aspecto a considerar en la producción de N_{be} mediante la simbiosis *azolla-anabaena*, son las características físicas y químicas del suelo (Tabla 3) y propiedades químicas del agua (Tabla 4) en el cultivo del helecho.

Tabla 3. Características físicas y químicas del suelo.

Parroquia	Textura	pH	MO %	CIC meq/100 ml	ppm							
					Ca	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mn	Fe	Cu
Sucre *	Fo	5,95	0,60	16,6	2,67	0,35	60	9,20	39,1	60,0	170	4,4
Vilcabamba	Fo-Ac	6,70	2,21	17,5	11,9	3,57	94	16,0	0,21	11,1	307	8,6
Gualel **	Fo-Ao	7,29	4,01	21,3	9,91	1,48	42	175,0	1,38	16,0	51	10,8

Fuente: * INIAP (2021;2022) ** UMAPAL (2019).

Tabla 4. Propiedades químicas del agua para riego.

Parroquia	pH	N	P	K	Ca	Mg	Na	B	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Dureza	RAS
		ppm											
Sucre	7,3	30	0,27	0,71	3,47	0,59	1,45	0,01	3,5	17,6	1,6	11,1	0,2
Vilcabamba	7,0	20	0,40	0,47	3,50	0,80	1,80	0,05	3,5	11,7	1,78	12,1	0,2
Gualel	7,3	50	0,14	9,09	6,79	5,31	4,04	0,02	3,5	39,8	5,00	21,1	0,4

Fuente: INIAP (2021;2022).

Desarrollo del cultivo de *Azolla filiculoides*

En las parroquias Sucre y Vilcabamba, para cubrir 1,00 ha de *Azolla filiculoides* se requirió de 24 y 19 días, respectivamente (Tabla 5) y un incremento diario de tipo exponencial de 17 % y 15 %; en la parroquia Gualel, el ciclo fue de 47 días con un crecimiento de tipo polinómico (Figura 2.)

Tabla 5. Crecimiento y producción de *Azolla filiculoides*.

Parroquia	Ciclo del cultivo días	Biomasa fresca				Altitud m s.n.m.	Temperatura °C	Precipitación mm	HR %
		Producción t/ha		N					
		ciclo	año	%	t/ha/año				
Sucre	24	9,0	135	3,45	4,64	2 140	16	1 031	78
Vilcabamba	19	8,3	158	3,28	5,18	1 700	20	870	81
Gualel	47	8,2	57	3,50	3,14	2 545	10	1 250	86

La producción por ciclo de cultivo para la parroquia Sucre fue de 9,0 t/ha (135 t/ha/año), Vilcabamba 8,3 t/ha (158 t/ha/año) y Gualel 8,2 t/ha (135 t/ha/año). La producción de nitrógeno en un año fue de 4,64 t/ha para la parroquia Sucre; 5,18 t/ha para Vilcabamba y 3,14 t/ha para Gualel.

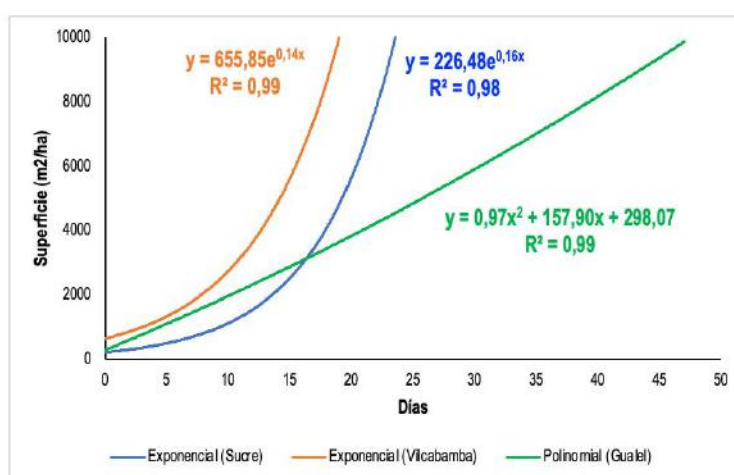


Figura 2. Crecimiento de *Azolla filiculoides* en las parroquias Sucre, Vilcabamba y Gualel.

Análisis químico de biomasa de *Azolla filiculoides*

En la Tabla 6, se evidencia que *Azolla filiculoides* contiene 8 % de materia seca, con contenido de 3,28 a 3,50 % de N; además, en el helecho acuático están presentes los principales macronutrientes: P, K, Ca y Mg, en cantidades de medio a alto.

Tabla 6. Composición química de la biomasa de *Azolla filiculoides*.

Parroquia	N	P	K	Ca	Mg
	%				
Sucre	3,45	0,78	3,50	1,18	0,28
Vilcabamba	3,28	0,76	2,10	1,05	0,22
Gualel	3,50	4,22	4,23	0,70	0,25
	medio	alto	alto	alto	medio

Fuente: Laboratorio del INIAP (2021; 2022).

Análisis químico de NitrAgua

Durante los 30 días de registro de datos, el N incrementó de 30 a 160 ppm en la parroquia Sucre, de 20 a 130 en Vilcabamba y de 20 a 400 ppm en Gualel. En lo referente al K, Ca y Mg, también se observó un incremento con respecto al valor inicial de siembra. El HCO_3^- en la parroquia Sucre fluctuó de 17,6 a 50,0 ppm, en Vilcabamba de 11,7 a 50,0 ppm y en Gualel disminuyó de 40,0 a 25,3 ppm (Tabla 7). El contenido de Na, B, Cl y SO_4^- , se mantuvo estable hasta los 30 días, para las tres parroquias.

Tabla 7. Contenido de macronutrientes en el agua del azollario.

Parroquia	días	N	P	K	Ca	Mg	HCO_3^-
		ppm					
Sucre	0	30	0,2	0,7	0,7	3,4	17,6
	30	160	0,9	10,0	28,5	7,8	50,0
Vilcabamba	0	20	--	0,5	3,5	0,8	11,7
	30	130	--	8,0	35,0	10,0	50,0
Gualel	0	20	--	3,01	6,0	0,3	40,0
	30	400	--	17,71	10,5	4,2	25,3

Fuente: Laboratorio del INIAP (2021; 2022).

En la Tabla 8, se observa para la parroquia Sucre y Gualel que el pH de NitrAgua, se mantuvo de 6,8 a 7,3; en tanto, en Vilcabamba de 7,0 pasó a 7,4. En las tres parroquias, la conductividad eléctrica fue baja, con valores menores o iguales a 0,3 mS/cm; la relación de adsorción sodio de 0,1 a 0,4. La dureza de NitrAgua, incrementó de 11,1 a 75,0 en la parroquia Sucre, de 12,1 a 125,0 en Vilcabamba y de 21,8 a 50,0 en Gualel, consideradas como aguas moderadamente duras.

Tabla 8. Características químicas del agua del azollario.

Parroquia	días	pH	CE mS/cm	RAS mg/L	Dureza mg/L
Sucre	0	6,8	0,0	0,2	11,1
	30	7,2	0,3	0,1	75,0
Vilcabamba	0	7,0	0,1	0,2	12,1
	30	7,4	0,2	0,2	125,0
Gualel	0	6,8	0,1	0,4	21,8
	30	7,3	0,3	0,4	50,0

Fuente: Laboratorio del INIAP (2021; 2022).

■ DISCUSIÓN

Crecimiento y producción de *azolla filiculoides*

Las condiciones climáticas, en cuanto a temperatura y humedad relativa (Tabla 5), son adecuadas para el cultivo del helecho acuático, las tres parroquias reportan valores que están dentro del rango expresado por Cabezas (2011), quien refiere que *azolla* no resiste temperaturas inferiores a 0 °C o superiores a 35 °C y la humedad entre 85 a 90 %. En lo referente a la intensidad de la luz, el helecho mantuvo su color verde natural hasta la cosecha; en el azollario se tuvo una lámina de agua de 0,40 m, al respecto Cabezas (2011) expone, la lámina de agua no debe ser menor a 0,30 m para que el helecho se desarrolle adecuadamente.

El crecimiento de *Azolla filiculoides* duplica la biomasa de 3 a 6 días; resultados similares a los obtenidos por Aguiar (2020), al reportar que la producción de biomasa se duplica de 2 a 3 días; por su parte Pulluquina-Reyes (2013) en Tungurahua registra que *azolla* se duplica de 5 a 7 días.

El rendimiento de la biomasa de *Azolla filiculoides* en las tres parroquias fluctúa de 8,2 a 9,0 t/ha/ciclo (Tabla 5); rendimientos inferiores a 22,815 kg/m² reportados por Nasiba *et al.* (2022) en Vietnam con *Azolla caroliniana*, disparidad que se atribuye a las condiciones climáticas de cada territorio; esto demuestra la influencia de la altitud en los rendimientos del cultivo del helecho. El rendimiento diario fue de 0,22 a 0,69 t/ha, este rango coinciden con los obtenidos en Guayaquil por Coronel (2012) que reporta de 0,24 a 0,64 t/ha/día; no obstante, difieren de 0,14 t/ha/día obtenidos por Cabezas (2011); Montaña (2010), en ecosistemas de arrozales de la provincia del Guayas, en ambiente natural y sin protección solar, refiere rendimientos de 1,2 t/ha/día, aspecto que se atribuye a la temperatura, el crecimiento de *azolla* es óptimo en condiciones cálidas (25 a 35 °C) y con alta luminosidad (entre 3000-5000 lux); también reporta rendimientos diarios de 0,75 t/ha en San Gabriel (Daule), 0,43 t/ha en Boquerón (Daule), 1,83 t/ha Guarumal (Daule), 0,79 t/ha en Vinces (Los Ríos) y 0,25 t/ha en Saraguro (Loja), el rendimiento obtenido en Saraguro es similar al de la parroquia Sucre del cantón Loja, debido las condiciones climáticas similares.

Becerra *et al.* (1990) destacan que el rendimiento de *azolla* es 1,50 t/90 días de iniciado el experimento; rendimiento que contrasta con 8,97 t/ha/24 días obtenido en la parroquia Sucre, 8,32 t/ha/19 días en Vilcabamba y 8,20 t/ha/47 días en Gualal; en México, Elvira-Espinosa *et al.* (2016) obtuvieron una producción de *azolla* (forraje fresco) de 1,0 a 2,0 t/ha/día. Delgado y Zorrilla (2017) consideran que este helecho, tiene un ciclo de cosecha de 21 días y recomienda dejar en el azollario el 25 % como semilla para la próxima cosecha.

Análisis químico del agua del azollario o NitrAgua

El N presente en NitrAgua (Tabla 7), se incrementó durante los 30 días, en las tres parroquias, luego empezó a disminuir, entre otros factores, por volatilización (Castro *et al.*, 2002) y por falta de luz que incide sobre una superficie o luminosidad (óptimo de 3000-5000 lux); el incremento de N, se encuentra en el rango de 50 a 150 mg/L, reportado por Swistock (2021) y menor al rango de 5 a 30 mg/L registrado por Tapia (2015). El P y K también incrementaron, al respecto, Swistock (2021) recomienda aprovechar la NitrAgua a los 21 días, desde la siembra para evitar la contaminación del agua a través de agentes externos. El Ca y Mg se incrementó; no obstante, es menor al rango de 40 a 100 mg/L reportado por Swistock (2021).

El pH en los azollarios fue estable, con valores cercanos a 7,0 considerados prácticamente neutros (Tabla 8), estos datos están dentro del intervalo de 6,0 a 7,0 reportados por Cabezas (2011), Monteros (2011) y Lemonie (2017) establecen rangos óptimos (6,5 a 7,0); Ruiz (2015), manifiesta que *azolla* crece adecuadamente en agua con pH de 5,78; sin embargo, en Gualiel, el pH fue descendiendo, lo que coincide con valores obtenidos por Castro *et al.* (2002), quienes manifiestan, existe una tendencia a disminuir el pH del agua; además, mencionan, junto a la temperatura del agua, el pH es un factor influyente en las pérdidas de nitrógeno por volatilización. Espinoza y Gutiérrez (2006), manifiestan que a pH de 8,01 a 8,73 y conductividad eléctrica de 0,70 a 13,01 mmhos/cm también existe un buen desarrollo del helecho.

La conductividad eléctrica presentó valores menores a 0,3 mS/cm, al respecto Mula (2014) menciona, valores menores a 0,70 mS/cm no perjudica al cultivo debido al bajo contenido de salinidad; además, el agua es absorbida con facilidad por el sistema radical. La cantidad de Na en relación con los cationes Ca^{++} y Mg^{++} (RAS) presentó valores menores a 2,0 mg/l reportados por Swistock (2021); por lo que se considera a NitrAgua, como agua de riego de buena calidad.

La dureza de NitrAgua alcanzó un valor máximo de 125 mg/L en la parroquia Vilcabamba, valor que está dentro del rango establecido de 100 a 150 mg/L por lo tanto se considera agua extremadamente blanda y según la Asociación de Calidad de Agua -WQA- (2004) y Molinero (2009) se clasifica como agua ligeramente dura o agua con bajas cantidades de sales disueltas.

El contenido de Na, B, Cl y SO_4^- , se mantuvo estable hasta los 30 días, para las tres parroquias. Los sulfatos del azollario se mantuvieron menores a 5,0 mg/L, estos valores se consideran aceptables, cumplen con los límites de 0 a 960 mg/L en agua de riego (Sancha *et al.*, 2005). El Na registró valores inferiores a 50 mg/L, el Cl registró menos de 30 mg/L, según Swistock (2021) es lo adecuado para el riego.

Azolla filiculoides, como biofertilizante, incorpora al suelo importantes cantidades de nutrientes, en promedio posee 6 % de materia seca, con 3,30 % N, 0,82 % P y 3,71 % K, esto equivale a la aplicación de 27,98 a 42,40 kg/urea/ha, de 2,9 a 4,39 kg de SFT/ha y de 48,20 a 73,04 kg/ha de KCl (Castro *et al.*, 2002).

En lo referente al análisis de los elementos presentes en la biomasa (Tabla 6), *Azolla filiculoides*, para el canton Loja, en promedio posee 8 % de materia seca y registra porcentajes similares a los reportados por Montañó (2010) y Castro (2011) para la provincia del Guayas de N (4,0 a 5,0 %), P (0,5 %); K (1,0 a 2,0 %), Ca (0,5 %) y Mg (0,5 %).

En varias etapas de desarrollo, las condiciones de estrés de *azolla* pueden causar una variedad de respuestas físicas. Las hojas verdes del helecho se vuelven rojas en presencia de alta luminosidad, bajas temperaturas y condiciones ambientales desfavorables. Los pigmentos fotoquímicos clorofilas y carotenoides son los responsables de la absorción de la luz; en condiciones de estrés, la producción de clorofilas se sustituye por la de antocianinas; las plantas comúnmente sintetizan antocianinas, que son responsables de los colores rojo, naranja, azul y púrpura de muchas flores, frutas y vegetales bajo diversas condiciones de pH (Navas *et al.*, 2013); los síntomas de las antocianinas son causados por la radiación UV-B, deficiencia de nutrientes, temperaturas bajas o altas, escasez de agua y estrés por una mayor concentración de metales pesados en el cuerpo de agua. El cambio de color no afecta la composición de la *azolla*.

Por lo expuesto, se puede mencionar que el contenido de nutrientes en *azolla*, varía de acuerdo con la localización geográfica, rango altitudinal y calidad de agua que se emplee para su reproducción.

CONCLUSIONES

La obtención de Nitrógeno bien expresado a través de la simbiosis *azolla-anabaena* contribuye a incrementar los rendimientos de los cultivos en la agricultura familiar campesina, el proceso de generación se realizó *in situ* a un costo accesible para los agricultores.

El contenido de nutrientes en *Azolla*, varía de acuerdo con la localización geográfica, rango altitudinal y calidad de agua utilizada para el cultivo; *Azolla filiculoides* contiene 8 % de materia seca, con contenido de 3,28 a 3,50 % de N; además, están presentes los principales macronutrientes: P, K, Ca y Mg, en cantidades de medio a alto.

Nitrógeno tributa con nutrientes disponibles para las plantas como N, K, Ca, Mg y HCO_3^- ; con pH neutro, conductividad eléctrica y relación de adsorción sodio baja, considerada como aguas moderadamente duras, aptas para la irrigación.

Contribución de los autores

E.R.V.: Responsable del proceso de investigación, análisis de información y elaboración del manuscrito.

G.N.A.C.: Recopilación de información, análisis de datos de la parroquia Sucre y redacción del manuscrito.

C.G.A.A.: Recopilación de información, análisis de datos de la parroquia Gualiel y redacción del manuscrito..

Y.A.C.H.: Recopilación de información, análisis de datos de la parroquia Vilcabamba y redacción del manuscrito..

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, K. (2020). *La Azolla: Importancia y usos para mejorar la fertilidad y calidad del suelo y del agua en la agricultura* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8327/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000237.pdf?Sequence=1&isallowed=y>
- Aldás-Jarrín, J. C., Zurita-Vásquez, J. H., Cruz-Tobar, S. E., Villacís-Aldaz, L. A., Pomboza-Tamaquiza, P. P., León-Gordón, O. A. (2016). Efecto biofertilizante de azolla-anabaena en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 109-115. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592016000200008
- Andrade, F. H. (2016). *Los desafíos de la agricultura* (1.ª ed.). Argentina: Ediciones INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/779>
- Andrade, F. (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina: Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*. (1.ª ed.). Argentina: Ediciones INTA. <http://fediap.com.ar/wp-content/uploads/2020/07/Los-desafios-de-la-agricultura-argentina.pdf>
- Asociación de Calidad de Agua (WQA). (2004). *Control de dureza total en agua para uso industrial*. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/663/control-dureza-total-en-agua-para-uso-industrial>
- Azolla para todos. (2017, julio 25). *Pigmentación. Cambios en la pigmentación de Azolla*. <https://azollaparatodos.wordpress.com/2017/07/25/pigmentacion/>

- Becerra, M., Murgueitio, E., Reyes, G. y Preston, T. (1990). *Azolla filiculoides* as partial replacement for traditional protein supplements in diets for growing-fattening pigs based on sugar cane juice. *Livestock Research for Rural Development*, 2(2). <http://www.lrrd.org/lrrd2/2/maricel.htm>
- Bianco, L. (2020). Main aspects of the nodulation and biological fixation of nitrogen in Fabáceas. *Idesia (Arica)*, 38(2), 21–29. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292020000200021>
- Cabezas, R. (2011). *Relación simbiótica de azolla (Azolla caroliniana, A. Filiculoides, A mexicana)—Anabaena (Anabaena azollae) para la producción de nitrógeno en ecosistemas acuáticos de la zona de Cayambe, 2010 (tesis de pregrado)*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1830/12/UPS-YT00098.pdf>
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.07.039>
- Castro, R., Novo, R. y Castro, R. I. (2002). Uso del género azolla como biofertilizante en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 23(4), 5-10. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218135001.pdf>
- Coronel, J. I. (2012). *Estudio de las especies químicas amonio, nitrito y nitrato en el proceso de fijación biológica del nitrógeno del sistema azolla-anabaena, mediante técnicas colorimétricas y su aprovechamiento (tesis de pregrado)*. Universidad de Guayaquil, Ecuador. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19482>
- Delgado-Baquerizo M, Covelo F, Gallardo A. (2011). Dissolved Organic Nitrogen in Mediterranean Ecosystems. *Pedosphere*, 21(3), 309-318. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016011601318>
- Delgado, D. y Zorrilla, C. (2017). *Evaluación del simbiote azolla caroliniana-anabaena azollae sobre la agroproductividad del cultivo de arroz y las propiedades químicas del suelo (tesis de pregrado)*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador. <https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/534/1/TA62.pdf>
- Elvira-Espinosa, A., Quintero-Lizaola, R., Trinidad-Santos, A. y Leyva-Ruelas, G. (2016). Tasas de crecimiento y tiempo de duplicación de 17 Ecotipos de Azolla, colectadas en México. *ECORFAN*, 7(1), 37-41. https://www.ecorfan.org/handbooks/Handbook_Quimica_Biologia_y_Agronomia_T1V1/Particiones/4.pdf
- Espinoza, Y. y Gutierrez, R. (2006). Caracterización agronómica de accesiones de Azolla de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(2), 135-150. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000200001
- Guerrero, S., Montaña, M., Fernández, E. y Carrapico, F. (2012). Nano environment of azolla caroliniana. Repositorio Dspace. <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/25582>
- Hill, M. (2014). *Azolla filiculoides* (water fern). *CABI Digital Library*. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.8119>
- Houtart, F. (2018). La agricultura campesina e indígena como una transición hacia el bien común de la humanidad: el caso de Ecuador. *Desacatos, Redalyc.org*, 1(56). <https://www.redalyc.org/journal/139/13964385012/html/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2019). *Datos meteorológicos 2019*. Recuperado de <https://www.inamhi.gob.ec/>

- Lemonie, P. (2017). *Condiciones Óptimas*. Azolla para Todos. Recuperado de <https://azollaparatodos.wordpress.com/2017/07/25/condiciones-optimas/>
- Mengel, K. y Kirkby, E. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal* (4.ª ed.). Suiza: Instituto Internacional de la Potasa. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf
- Molinero, M. (2009). Determinación de la dureza del agua por el método complexométrico en ciclo formativos. Recuperado de https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_17/M_JESUS_MOLINERO_1.pdf
- Molloy, L. (2018). *El suelo: Concepto y formación*. Recuperado de <http://www.edafologia.net/introeda/tema01/introd.htm>
- Montaño, M. (2010a). Azolla Salud Economía Medioambiente. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10257/1/Azolla%20Salud%20Econom%C3%ADa%20Medioambiente.pdf>
- Montaño, M. (2010b). Ecosistema Guayas (Ecuador): Recursos, Medio Ambiente y Sostenibilidad en la perspectiva de Conocimiento Tropical (tesis de doctorado). Universidad Miguel Hernández, Elche, España. https://www.academia.edu/4206441/Montano_2010_Ph_D_Tesis_R
- Montaño, M. (2011). Azolla-Anabaena nuevo paradigma.pdf. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16527/1/Azolla-Anabaena%20nuevo%20paradigma.pdf>
- Montaño, N. M. (2015). Biorremediación de suelos y aguas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(2), 211-212.
- Montaño, M. (2020, julio 2). Dr. Mariano Montaño - promotor de la agricultura biogénica. <https://www.youtube.com/watch?v=hFBBnmGZHvA>
- Montaño, M. (Director). (2021, octubre 24). Azolla, nitrógeno, agricultura biogénica y salud [Mp4.]. <https://www.youtube.com/watch?v=1oVdrwzFEuY>
- Montaño, M. (2022, enero 19). Agricultura Biogénica. No más COVID en el Ecuador. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=VCvkP-dwXfY>
- Monteros, R. J. C. (2011). *Para la producción de nitrógeno en ecosistemas acuáticos de la zona de Cayambe, 2010*. 83.
- Mooshammer, M; Wanek, W; Hammerle, L; Fuchslueger, L; Hofhansl, F; Knoltsch, A; Schneckler, J; Takriti, M; Watzka, M; Wild, B; Keiblinger, KM; Zechmeister-Boltenstern, S; Richter, A. (2014). Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. *Nature Communications*. 5(1), 1-7.
- Mula, J. (2014). *La conductividad eléctrica del agua de riego*. Agromática. Recuperado de <https://www.agromatica.es/conductividad-electrica-del-agua/>
- Nasiba, K., Gulirukhsor, A., y Dilafruz, J. (2022). *Formas de cultivar azolla caroliniana en las condiciones del Valle de Zarafshan*. E-Conference Globe, 14-17.
- Navas, J. (2013). Diferentes dosis de bioregulador orgánico en la germinación y producción de plantas de brócoli (*brassica oleraceae* L.) en el cantón Salcedo (tesis se pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.

- Ortega, L., y González, B. (2014). Efecto de la fertilización nitrogenada y frecuencia de corte sobre los rendimientos de materia seca y valor nutritivo del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). *Revista de la Facultad de Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 7(4), 217-228. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/25905/26531>
- PDOT-Gualel. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquial Gualel*. 393.
- PDOT-Loja. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Municipio de Loja*. <https://www.loja.gob.ec/contenido/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>
- PDOT-Loja (2021). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. <https://www.loja.gob.ec/contenido/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>
- Pulluquina-Reyes, A. (2013). *Evaluación y análisis del simbiote helecho acuático (azolla sp. – Anabaena azollae) y su aplicación como biofiltro en la depuración de aguas residuales en la provincia del Tungurahua-Ecuador (Tesis de pregrado)*. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6636/1/BQ%2045.pdf>
- Ruiz, J. (2015). *Elaboración de un abono orgánico a partir de Azolla filiculoides con hiperacumulación de hierro (tesis de pregrado)*. Universidad Técnica Salesiana. Quito, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9051/1/UPS-QT06731.pdf>
- Sancha, A., Espinoza, C., y Mena, M. (2005). *Criterios de calidad de suelos y aguas o efluentes tratados para uso en riego*. http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf.3.
- Swistock, B. (2021). *Interpretación de los análisis del agua de riego*. Penn State Extension. Recuperado de <https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>
- Tapia, L. (2015). *Registro Oficial Suplemento 387*. Recuperado de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Villacres, P. (2017). *Modelo de gestión económica para los agricultores de maíz de la Cooperativa Cumandá del cantón Las Naves (tesis de pregrado)*. Universidad regional autónoma de los Andes, Babahoyo, Ecuador. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/7652>

Efecto del nitrógeno bien expresado en la fase inicial del cultivo de café *Coffea arabica* L. en La Argelia, cantón Loja

Effect of well-expressed nitrogen in the initial phase of coffee cultivation *Coffea arabica* L. in La Argelia of the Loja canton

Edison Vásquez ^{1*} 
Nohely Espinosa-Palacios ² 

1. Docente de la carrera de la Carrera de Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

2. Ingeniera agrícola. Loja, Ecuador.

Autor para correspondencia: edison.vasquez @unl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1867>

Recibido: 10/04/2023

Aceptado: 11/06/2023

RESUMEN

En la actualidad debido al incremento de contaminación que existe por el uso de fertilizantes químicos y la degradación continua de los sistemas productivos se requiere la utilización de alternativas amigables con el ambiente; *Azolla filiculoides* es un helecho acuático capaz de fijar nitrógeno del aire en simbiosis con la cianobacteria anabaena; además, constituye un valioso biofertilizante para la producción de cultivos. Con el objetivo de medir el efecto del nitrógeno bien expresado en la fase inicial del cultivo de café se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas y cinco tratamientos: Testigo, Fertilizante convencional urea, aplicación foliar con NitrAgua, riego con NitrAgua y biomasa de *Azolla filiculoides*. Los mayores resultados se obtuvieron con la aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides*, con incrementos durante los cinco meses de 19,3 cm para la altura de planta, 3,2 mm para el diámetro de tallo, 66 g para el peso de la cereza de café, 11, 19, 72 para el número de ramas, hojas y frutos respectivamente; *Azolla filiculoides* evidenció ser un biofertilizante eficaz mediante el aporte de nitrógeno bien expresado en el cultivo de *Coffea arabica* L. La aplicación de *Azolla filiculoides* como biofertilizante, es una alternativa para mejorar las propiedades físico-químicas del suelo, lograr una buena producción y calidad del grano, por ser de fácil descomposición y con alto contenido de nitrógeno disponible.

Palabras clave: biofertilizantes, nitrógeno, helecho acuático, cianobacteria, NitrAgua, agricultura biogénica.

ABSTRACT

In the present time, due to the increase in pollution caused by the use of chemical fertilizers and the continuous degradation of productive systems, the use of environmentally friendly alternatives is required. *Azolla* is an aquatic fern capable of fixing nitrogen from the air in symbiosis with the cyanobacterium *Anabaena*. In addition, it constitutes a valuable biofertilizer for crop production. To measure the effect of well-expressed nitrogen in the initial phase of the coffee crop, an experimental design of random blocks with three replicas and five treatments: Control, Conventional fertilizer urea, Foliar application with NitrAguá, Irrigation with NitrAguá, and *Azolla* biomass was used. The best results were obtained with the application of *Azolla* biomass, with increases during a span of five months. Including an increase of 19.3 cm in plant height, 3.2 mm in stem diameter, 66 g in coffee cherry weight, and 11, 19, 72 for the number of branches, leaves, and fruits respectively. *Azolla* proved to be an effective biofertilizer through the contribution of well-expressed nitrogen in the crop *Coffea arabica* L. The application of *Azolla* as a biofertilizer is an alternative that can be used to improve the physical-chemical properties of the soil, as well as achieve good production and grain quality, due to its ease of decomposition and high content of available nitrogen.

Keywords: biofertilizers, nitrogen, aquatic fern, cyanobacteria, NitrAguá, biogenic agriculture.

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de dos siglos, el café se mantiene como uno de los cultivos más populares en el mundo; a decir de Wagner (2011) “el grano de café es considerado como un producto básico que tiene importancia para la economía de numerosos países productores, que en algunos casos, dependen en gran medida de su exportación hacia los países consumidores para obtener divisas” (p. 12).

La producción de café está concentrada principalmente en América Latina, siendo Brasil el principal productor a nivel mundial, seguido de Vietnam y Colombia. En total, de los 20 principales productores, 11 son latinoamericanos, tres asiáticos y seis africanos. Ecuador es el décimo noveno productor mundial de café y el décimo en América Latina (Canet-Brenes y Soto-Viquez, 2016).

En el Ecuador, el cultivo del café se ha convertido en un producto tradicional que destaca dentro de las exportaciones agrícolas, ha sido de gran importancia económica y social desde el siglo XVIII; aporta divisas al país y beneficios económicos para quienes lo cultivan, esto genera un efecto multiplicador dentro de la cadena productiva, especialmente en la comercialización, transformación (industria), y sobre todo, genera oportunidades de empleo a un importante segmento de la población rural (Vanegas-Sánchez *et al.*, 2018).

El nitrógeno es un elemento necesario en la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares (Ortega *et al.*, 2014). La deficiencia de nitrógeno en los suelos, constituye uno de los problemas más críticos para los caficultores. Por tal razón, se debe tomar diferentes alternativas para la producción de café, entre ellas, la agricultura biogénica que significa generador de vida (Montaño-Armijos, 2010), como opción viable para promover el desarrollo agrícola de forma sostenible, disminuyendo el uso y dependencia de fertilizantes químicos, como la urea que provoca problemas ambientales y cambios en la actividad microbiológica del suelo. El proceso por el cual los microorganismos reducen el nitrógeno hasta formas asimilables, se conoce como fijación biológica, permite usar el nitrógeno atmosférico y reducir la degradación del suelo (Bianco, 2020); es decir, las plantas en general, no utilizan directamente el abundante nitrógeno molecular atmosférico (78 %) sino que lo asimilan en formas orgánicas de

nitrate (NO_3^-) and ammonium (NH_4^+), except legumes, which in symbiosis with bacteria of the genus *Rhizobium* are capable of reaching around 90 kg N/ha (Cardenas-Navarro, 2004).

According to Montaño-Armijos (2020), total nitrogen fertilizer imports to the country exceed 60 million dollars per year; it is estimated that only the agricultural sector consumes chemical nitrogen expressed as urea for a higher amount than the six million dollars annually; moreover, Ecuador uses 387 thousand tons of nitrogen per year, while at the world level 120 million tons are used.

The symbiotic association between the fern *Azolla filiculoides* and the filamentous cyanobacterium *Anabaena*, due to its high nitrogen-fixing capacity, has acquired in recent times much importance for agriculture. Therefore, Montaño-Armijos (2015) mentions that ecologically *Azolla filiculoides* is responsible for the substantial increase of this macronutrient in the environment due to that during its life it fixes nitrogen.

In Ecuador, the aim is to increase the use of biofertilizers due to their benefits in the increase of production, reduction of chemical levels and soil protection. This form of production, however, has become essential due to the high demand for healthy food and with a low percentage of harmful elements for health (Solis-Charcopa *et al.*, 2017).

For the purpose mentioned above, the present work was developed, directed to evaluate the effect of nitrogen expressed in the initial phase of coffee cultivation *Coffea arabica* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

The experiment was carried out in the Experimental Quinta La Argelia of the National University of Loja; located in the urban parish of Punzara of the Loja canton, at a latitude of $04^{\circ} 02' 09''$ South and longitude $79^{\circ} 12' 00''$ West (Figure 1), altitude of 2 150 msnm, average annual temperature of 16°C , annual precipitation of 1 453 mm/year and average relative humidity of 78 %.

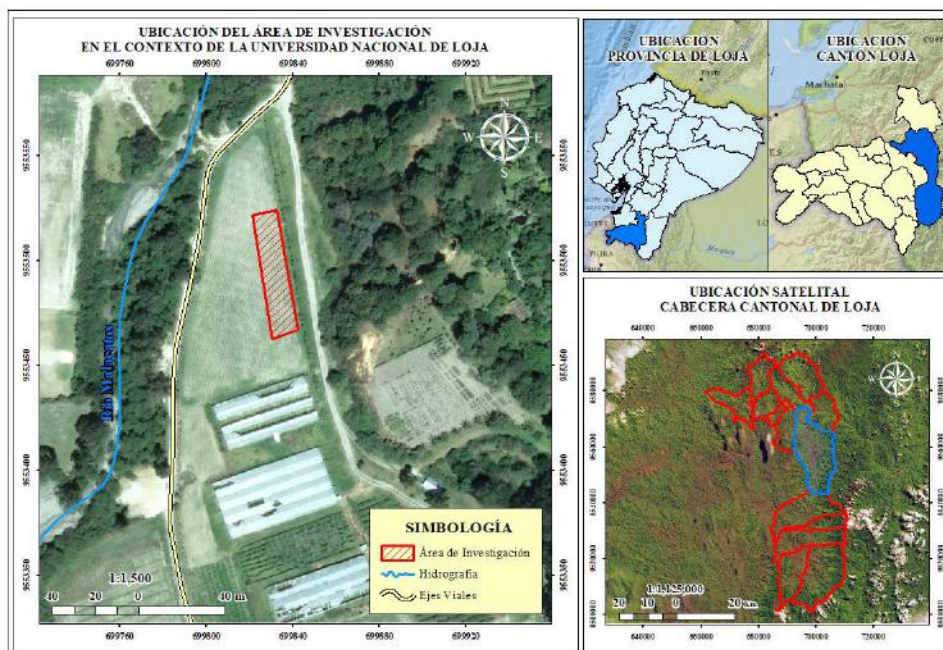


Figura 1. Ubicación del ensayo, Punzara-Loja-Ecuador

Para evaluar el nitrógeno bien expresado (N_{bc}) en la fase inicial del cultivo de *Coffea arabica* L., en un diseño experimental de bloques al azar y tres réplicas se dispuso cinco tratamientos: Testigo, NitrAgua de forma foliar, riego con NitrAgua, biomasa de *Azolla filiculoides* y fertilización convencional con Urea, con 150 unidades básicas (Figura 2). Se calculó la dosis para cada tratamiento con base a los resultados del análisis químico y requerimientos del cultivo (Tabla 1); la aplicación de NitrAgua se realizó de manera foliar y edáfica, cada quince días, durante cinco meses (septiembre 2022 a febrero 2023). Se registraron datos de las variables agronómicas: altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, ramas, frutos por planta y clorofila; se aplicó el análisis de la varianza y para discriminar las medias entre tratamientos, la prueba de rangos múltiples de Duncan a un nivel de significación de 0,05 con el software *InfoStat*, versión estudiantil.

Tabla 1. Factores y dosis de los tratamientos

Código	Descripción	Dosis
T ₀	Testigo	
T ₁	Aplicación foliar de NitrAgua	3,5 L/planta/15 días
T ₂	Riego con NitrAgua	3,5 L/planta/15 días
T ₃	Biomasa de <i>Azolla filiculoides</i>	36,1 g/planta/15 días
T ₄	Urea	2,4 g/planta/mes

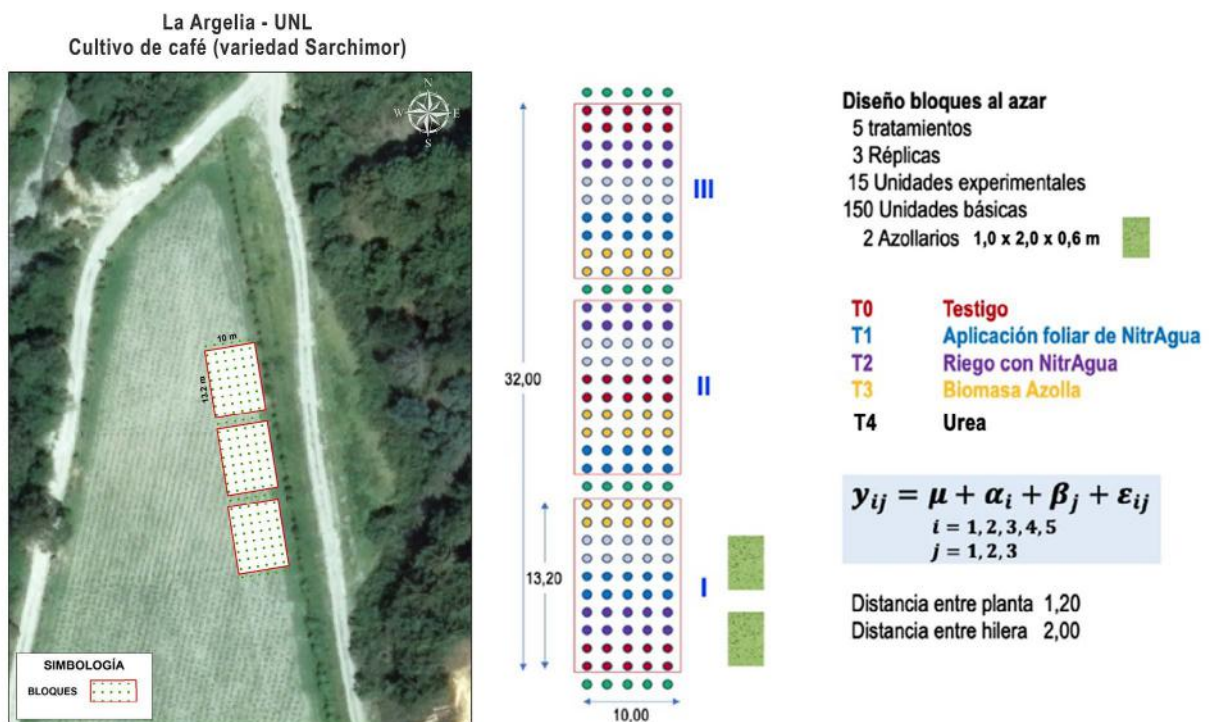


Figura 2. Diseño de bloques al azar en el cultivo de *Coffea arabica* L.

RESULTADOS

Las características del suelo Franco limoso del área experimental se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades químicas del suelo (septiembre, 2022)

pH	MO %	CIC (meq 100 ml ⁻¹)	CE uS/cm	N	P	B	S	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu
				ppm					(meq 100 ml ⁻¹)			ppm	
5,1	1,61	11,2	170,8	55	22	0,31	7,8	0,05	2,41	0,41	16,3	323	5,4
FA	M	B	A	M	A	B	B	B	M	M	A	A	A

FA = fuertemente ácido, A = alto, M = medio y B = bajo

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja, 2022

El agua utilizada en el azollario tuvo pH ligeramente ácido, con valores bajos de conductividad eléctrica, P, Na, B y Cl; dureza muy blanda y baja contenido de sales, por tratarse de agua potable (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades químicas del agua potable (septiembre, 2022)

N	P	K	Ca	Mg	Na	B	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	CE	pH	RAS	Dureza
					ppm					ms/cm			
0,03	0,27	0,67	3,42	0,57	1,45	0,01	3,27	13,41	1,20	0,03	6,15	0,20	10




Fuente: INIAP, 2022

Efecto del nitrógeno bien expresado (Nbe) en la fase inicial del cultivo de café

Contenido de clorofila en *Azolla filiculoides*

El registro del contenido de clorofila se realizó con el SPAD-502 en tres tonalidades de color de la parte aérea del helecho acuático (Tabla 4).

Tabla 4. Contenido de clorofila en *Azolla filiculoides* en unidades SPAD

			
Unidades SPAD	19,4	7,9	0,9

Variables respuesta en el cultivo de café

Incremento de altura de la planta

El modelo de regresión lineal (Figura 3), reportó un incremento de altura diario de 0,09 cm para el Testigo; 0,12 cm con Urea, NitrAgua-Foliar y NitrAgua-Riego y 0,13 cm con aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides*.

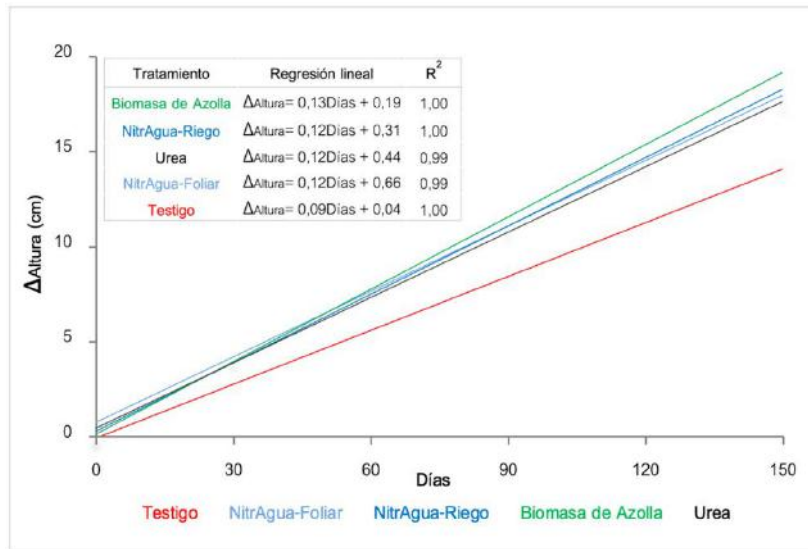


Figura 3. Modelo de regresión lineal para el incremento de altura de planta de café.

Se evidenció diferencia significativa para el incremento de altura entre el testigo y la aplicación de nitrógeno; es preciso anotar, que no existe diferencia considerable, al comparar la aplicación de urea y nitrógeno bien expresado (Figura 4).

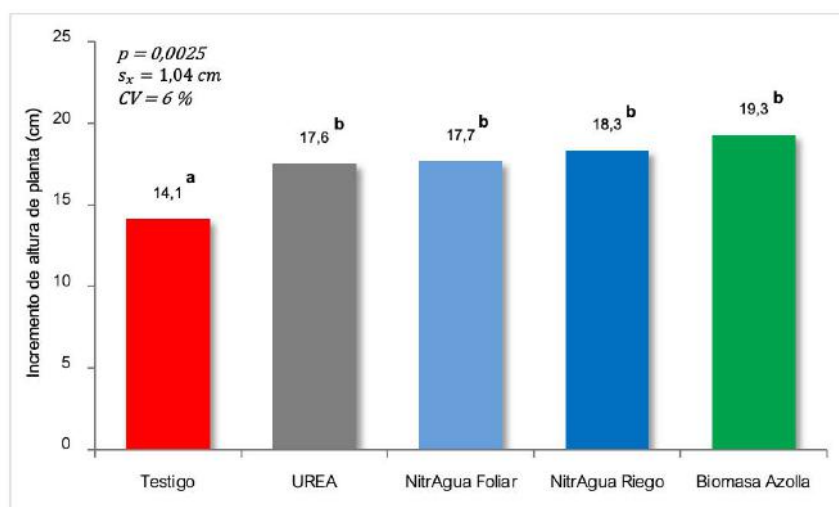


Figura 4. Incremento de altura de planta de café a los 150 días.

Incremento del diámetro del tallo

El modelo de regresión lineal para el diámetro del tallo de la planta de café (Figura 5), muestra un incremento diario de 0,015 mm en el testigo y 0,020 mm con la aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides*.

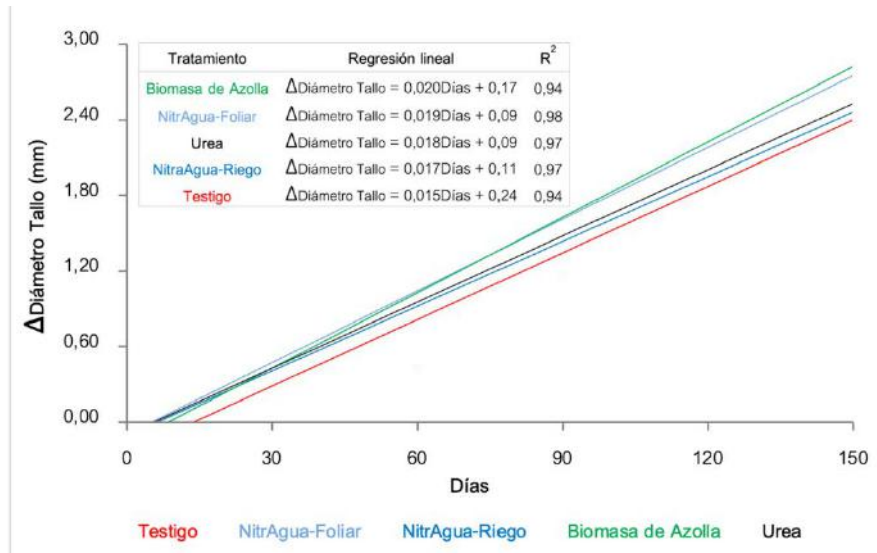


Figura 5. Modelo de regresión lineal para el incremento de diámetro de planta de café.

Con la aplicación foliar de NitrAgua y biomasa de *Azolla filiculoides*, se obtuvo mayor diámetro del tallo (3,2 mm) en contraste con la aplicación de nitrógeno convencional o urea (2,8 mm) y riego con NitrAgua y el testigo con 2,7 mm (Figura 6).

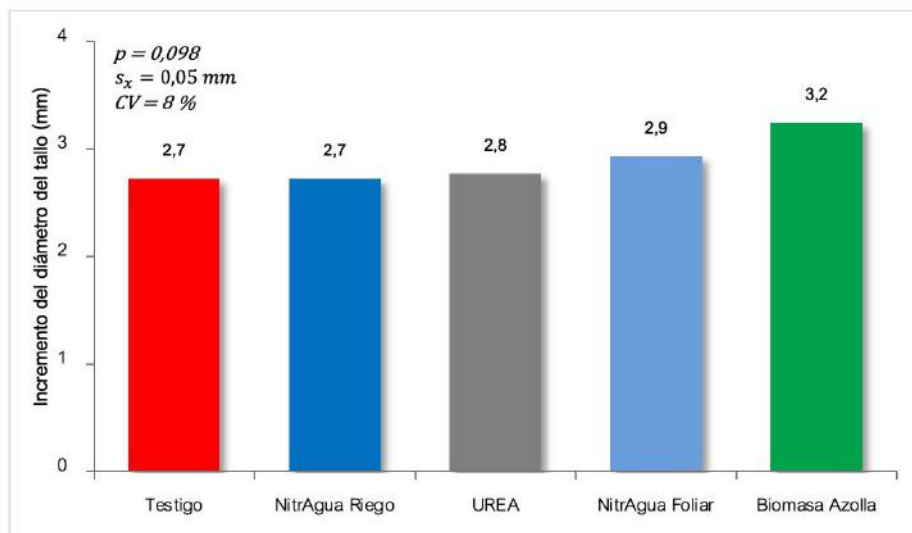


Figura 6. Incremento del diámetro del tallo de planta de café a los 150 días.

Número de ramas

En la regresión lineal se observa valores similares para el incremento del número de ramas, en comparación con el testigo no existe diferencia significativa; sin embargo, biomasa de *Azolla filiculoides* destaca entre los demás (Figura 7).

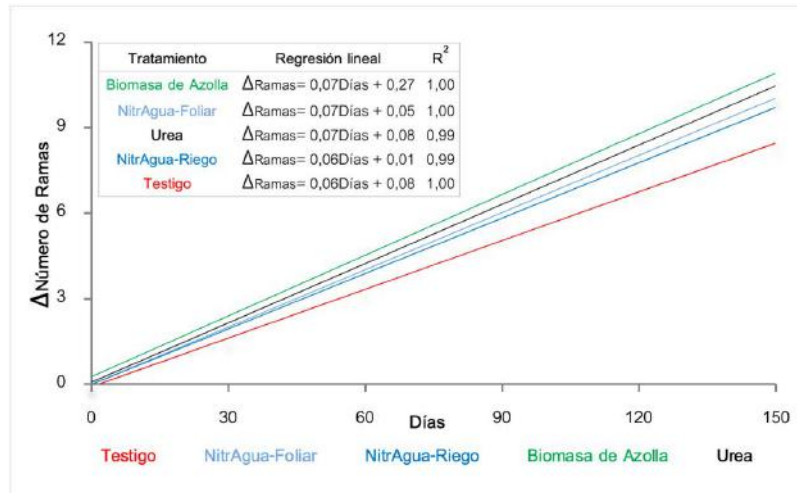


Figura 7. Modelo de regresión lineal del incremento del número de ramas en planta de café.

Con la incorporación de *Azolla filiculoides*, sea en forma foliar, riego o biomasa, se obtuvo mayor incremento para el número de ramas, en contraste con el testigo (Figura 8).

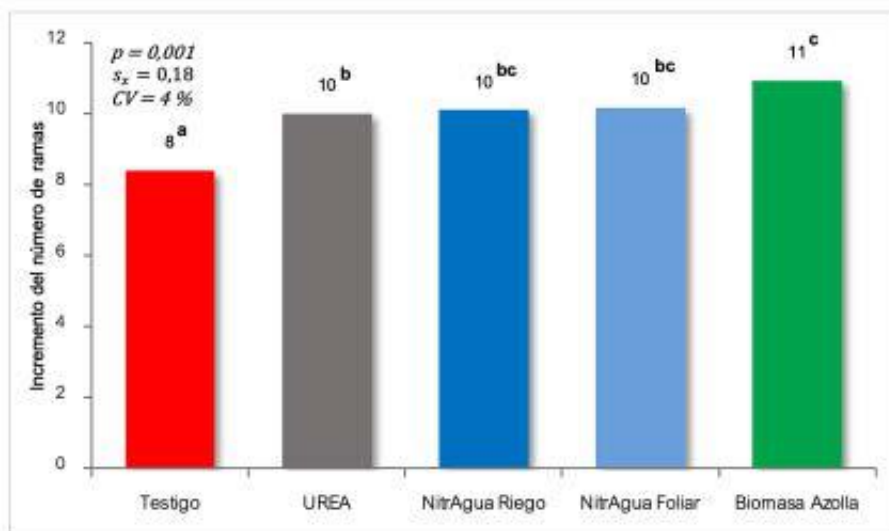


Figura 8. Incremento del número de ramas en planta de café a los 150 días.

Número de hojas

El modelo de regresión lineal para el incremento del número de hojas (Figura 9), refiere incrementos diarios de 0,11 a 0,13; con biomasa de *Azolla filiculoides* se obtuvo mayor crecimiento.

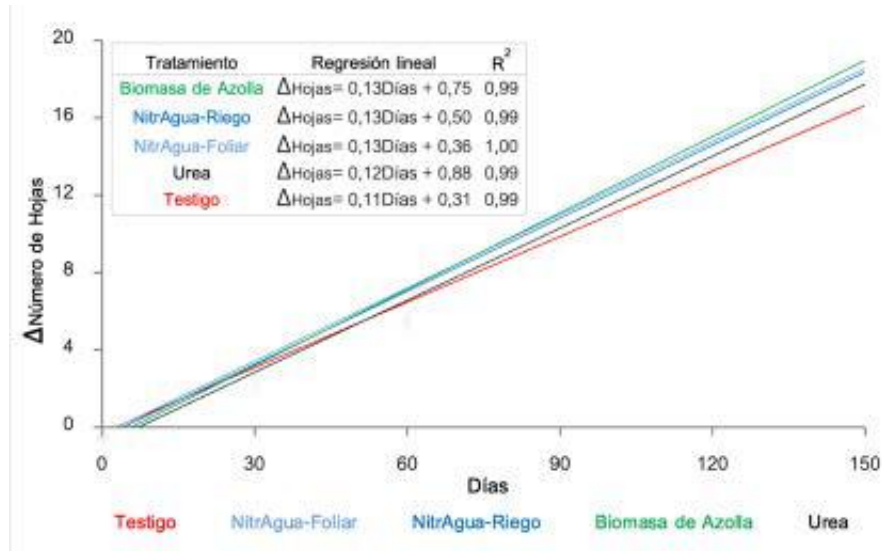


Figura 9. Modelo de regresión lineal del incremento del número de hojas en plantas de café.

Al igual que el indicador número de ramas, con la aplicación de *Azolla filiculoides*, sea en forma foliar, riego o biomasa, se obtuvo mayor incremento para el número de hojas, en contraste con el testigo (Figura 10).

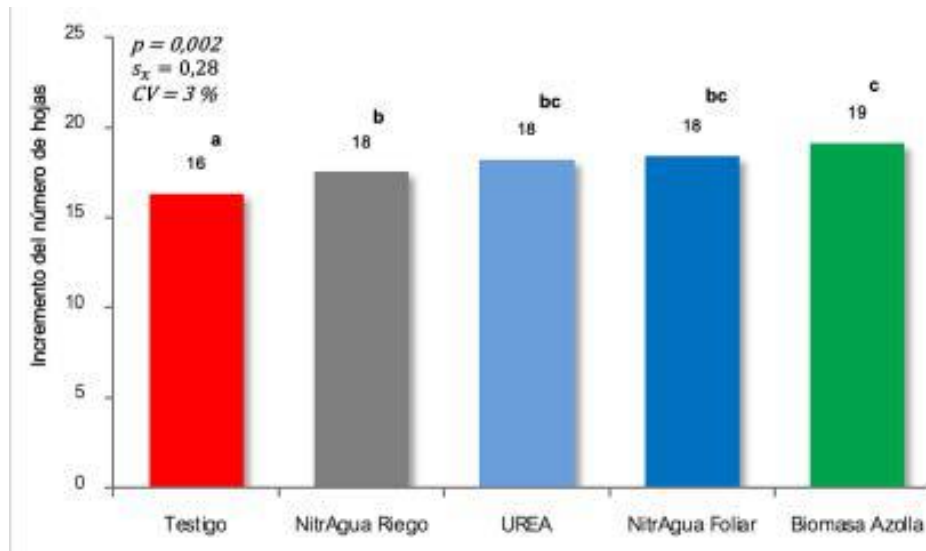


Figura 10. Incremento del número de hojas en planta de café a los 150 días.

Número de frutos

El modelo de regresión lineal presentó un incremento diario del número de frutos por planta de 0,45 correspondiente a biomasa de *Azolla filiculoides*; seguido de NitrAgua-Foliar con 0,27 y el testigo con 0,20 (Figura 11).

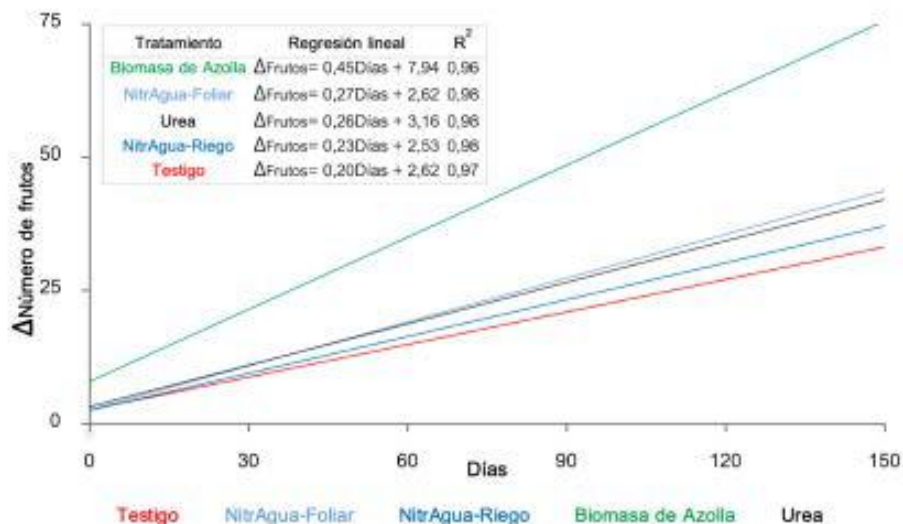


Figura 11. Modelo de regresión lineal para el incremento del número de frutos por planta de café.

En los cinco meses de evaluación (Figura 12), se observa una diferencia significativa con la incorporación de biomasa de *Azolla filiculoides* (72 granos) y el testigo (33 granos).

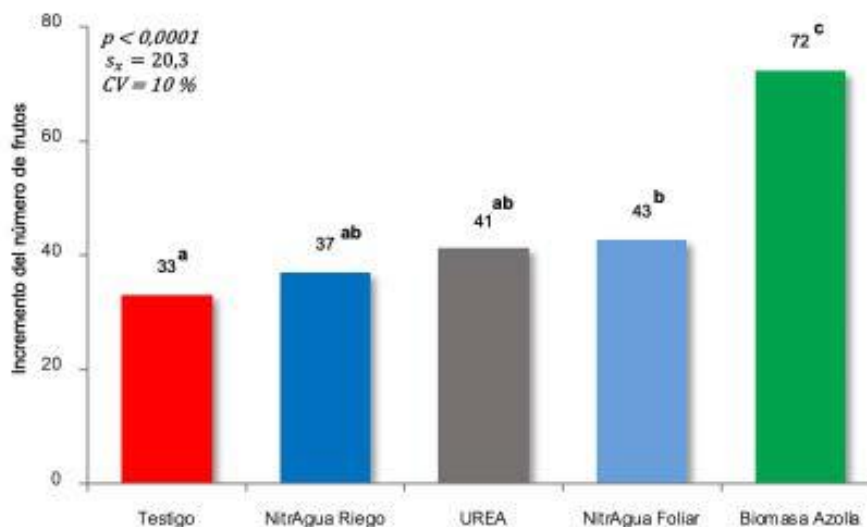


Figura 12. Incremento del número de frutos por planta de café a los 150 días.

Peso de la cereza de café

En la Figura 13 se observa, con la aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides* en base seca se obtuvo 66 g/planta para el peso de la cereza de café, significativamente diferente a la Urea (51), NitrAgua-Foliar (47), NitrAgua-Riego (39) y testigo (37).

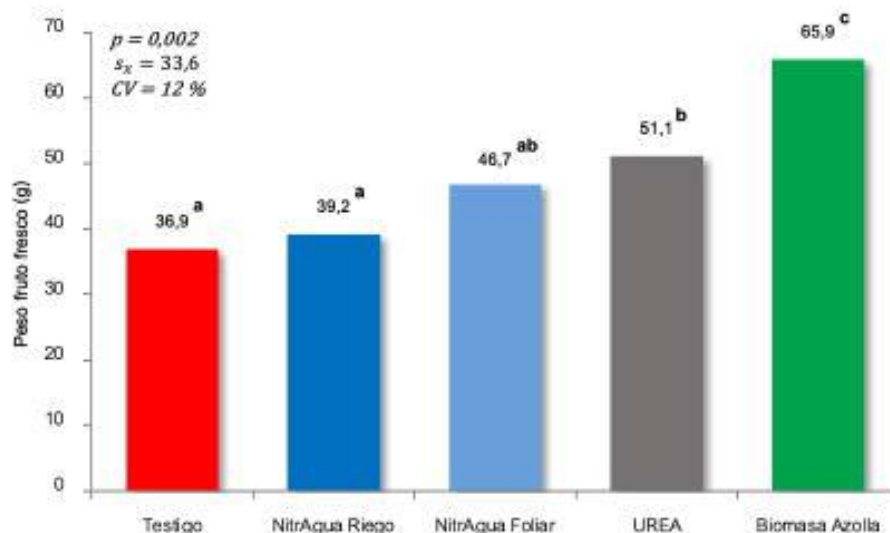


Figura 13. Peso del fruto en fresco por planta de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)

DISCUSIÓN

Efecto del nitrógeno bien expresado (N_{be}) en el cultivo de café

Contenido de clorofila

El contenido de clorofila es un referente o método de diagnóstico de nitrógeno en las plantas, su precisión puede ser influenciada por la hora en que se registra la lectura o por la posición del foliolo; las condiciones de nutrición de una planta están estrechamente relacionadas con la presencia de clorofila y nitrógeno en sus hojas, en algunas especies, valores altos indican que la planta está sana; para las condiciones de La Argelia se registró 19,4 en el follaje de *Azolla filiculoides* y 170,5 en las hojas de café con aplicación foliar de NitrAgua; al respecto Cardoza-Silva (2015), reporta de 15 a 30 unidades en tonalidades verde-claro y de 5 a 15 unidades con tonalidades de verde-rojizo para el helecho acuático; para el café variedad robusta, López-Ramírez (2019), registra de 26,9 a 120,1 unidades en tonalidades verde-claro a verde-osuro; además, expresa que la molécula de clorofila es la determinante del proceso fotosintético; es decir, de la producción de material orgánico a partir del dióxido de carbono; del mismo modo, cuando hay suficiente cantidad de nitrógeno se produce mayor cantidad de clorofila, mayor asimilación y síntesis de productos orgánicos.

Altura de la planta

En Santo Domingo de los Tsáchilas, Villacis-Junco y Aguilar-Bravo (2016) refieren 20,5 cm de altura de planta con la aplicación de biol en la fase inicial del cultivo de café variedad Castilla y 30,9 cm en variedad Sarchimor; sin embargo, Milla-Pino *et al.* (2019) en el sector La Maná (Cotopaxi) con abono foliar (biol) registran un incremento de 5,8 cm, con abono edáfico (vermicompost) 5,7 cm y con el testigo 5,4 cm; también, Vargas-Humatinga (2020) en Manabí reportó una altura de 15,1 cm en variedad

Catimor y 14,8 cm en variedad Geisha con la aplicación de urea; incrementos menores a 17,7 cm de altura obtenidos con la aplicación de NitrAgua-Foliar y 19,3 cm con biomasa de *Azolla filiculoides*; lo que evidencia que la aplicación edáfica presentan valores mayores a la aplicación foliar, en razón que ésta es más efectiva cuando los estomas se encuentran abiertos.

Diámetro del tallo

Con la aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides* se obtuvo un incremento de 0,3 cm, resultado que no difieren apreciablemente a 0,4 cm reportado por Milla-Pino *et al.* (2019) con abono edáfico (vermicompost) y abono foliar (biol) con 0,3 cm; además, Vargas-Humaginga (2020) registró en la variedad Catimor un promedio de 0,2 cm seguido de variedad Geisha con 0,3 cm con la aplicación de urea.

Número de ramas por planta

El incremento del número de ramas con aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides* fue de 11; es decir 18 ramas en la variedad Sarchimor; al respecto Meneses-Flores (2012) para la variedad Robusta reporta valores mayores, 31 ramas con la aplicación de bocashi y con biol 27 ramas; Vargas-Humaginga (2020) refiere un incremento de 24 ramas en la variedad Catimor y 28 ramas en variedad Geisha aplicando urea.

Número de hojas por rama

El mayor incremento de 19 hojas/rama, equivalente a 37 hojas/rama, se observó con la aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides*; Montaleza-Armijos (2020), con la aplicación de micorrizas, reporta un valor menor (10 hojas) en las plantas de café de variedad Arábica evaluadas en Manabí; sin embargo, Vargas-Humaginga (2020) aplicando urea obtuvo en variedad Catimor un promedio de 10 hojas y menor número en variedad Geisha con 9 hojas.

Número de frutos

El mayor número de frutos se registró con el aporte de biomasa de *Azolla filiculoides* con 72 granos/planta de café; resultados mayores a los reportados por Andrade-Herrera y Pruna-Estrella (2022), de 54 granos/planta en variedad Catimor; a diferencia de Cortina-Guerrero *et al.* (2013) que obtuvo un promedio de frutos de 51 granos/planta en variedad Caturra con la aplicación de urea.

Peso de la cereza de café

El peso de la cereza de café con la aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides* fue de 0,066 kg/planta; resultados inferiores a 1,71 kg/planta de la variedad Robusta y 0,83 y 0,89 kg/planta en las variedades Paraíso y Caturra, respectivamente, reportados por Condori (2019).

De investigaciones realizadas en Ecuador con la variedad Sarchimor, únicamente se reporta resultados en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Villacis-Junco y Aguilar-Bravo, 2016); esto es en condiciones favorables para el cultivo, razón por la cual se presentan indicadores mayores a los obtenidos en La Argelia. Además, se contrastó con otras variedades de café (Robusta, Arábica, Catimor, Paraíso y Caturra) cultivadas en otros territorios (provincias Manabí, Cotopaxi y Santo Domingo de los Tsáchilas) con condiciones ambientales; características físicas, químicas y biológicas del suelo diferentes. Aspectos a tomar en cuenta en los resultados obtenidos en la presente investigación, al parecer las condiciones ambientales y de suelo del sector “La Argelia” no son las más apropiadas para el café variedad Sarchimor.

CONCLUSIONES

La aplicación de *Azolla filiculoides* como biofertilizante, es una alternativa para mejorar las propiedades físico-químicas del suelo, lograr una buena producción y calidad del grano, por ser de fácil descomposición y con alto contenido de nitrógeno disponible.

El cultivo de *Azolla filiculoides* y el aprovechamiento del nitrógeno bien expresado como resultado de la simbiosis entre el helecho acuático y la cianobacteria, constituye una solución financieramente sostenible, ambientalmente responsable y, al mismo tiempo, tener en cuenta las necesidades y derechos de la comunidad local y las personas involucradas en las actividades de la agricultura familiar campesina.

En el cultivo de café variedad Sarchimor a los 150 días con la aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides* las plantas alcanzaron un incremento de altura de 19,3 cm, diámetro del tallo de 3,24 mm, 11 ramas, 19 hojas, 72 granos y peso de la cereza de 0,066 kg/planta; lo que demuestra que este helecho puede ser empleado como un biofertilizante y reemplazar a los fertilizantes comerciales que a más de perjudicar la salud de los agricultores representan costos elevados.

Contribución de los autores

E.R.V.: Responsable del proceso de investigación, análisis de información y redacción del manuscrito.

N.C.E.P.: Recopilación de información, análisis de datos y redacción del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade-Herrera, C. y Pruna-Estrella, D. (2022). *El sector cafetalero ecuatoriano y su orientación hacia la exportación* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/20060/TESIS%20-%20PRUNA%20ESTRELLA%20DAVID%20SEBASTI%20c3%81N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bianco, L., (2020). Main aspects of the nodulation and biological fixation of nitrogen in Fabáceas. *Idesia* (Arica), 38(2), 21-29. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000200021>
- Canet-Brenes, G. y Soto-Viquez, C. (2016). *La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe* (1.ª ed.). San José: C. R.: IICA/CIATEJ. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2792>
- Cardenas-Navarro, R., Sánchez-Yanez, J., Farías-Rodríguez, R. y Peña-Cabriales, J. (2004). *Contribution of nitrogen to agriculture. Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(6), 173–178. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.07.039>
- Cardoza-Silva, A. (2015). *Procesos fisiológicos: Aerénquimas vs. Parénquima*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/profile/Adrian-Silva-Cardoza-2/publication/281999912_Plantas_Acuaticas_Aerenquima_vs_Parenquima/links/5600dfd908aeafc8ac8c7b0a/Plantas-Acuaticas-Aerenquima-vs-Parenquima.pdf
- Condori, P. C. (2019). *Cultivo de café y modos de vida local: Caso familias del cantón Puyango* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14650/TESIS%20FINALCAMPANA%20CASTILLO%20JOHANNA%20PATRICIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cortina-Guerrero, H., Acuña-Zornosa, J. R., Moncada-Botero, M. P., Herrera-Pinilla, J. C., Molina-Vinasco, D. (2013). *Varietades de café. Desarrollo de variedades*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 1 (1), 169-202. https://biblioteca.cenicafé.org/bitstream/10778/4333/1/cenbook-0026_09.pdf

Vásquez, E. y Espinosa-Palacios, N.. (2023). Efecto del nitrógeno bien expresado en la fase inicial del cultivo de café *Coffea arabica* L. en La Argelia, cantón Loja. *Bosques Latitud Cero*, 13(2):104-117. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1867>

- López-Ramírez, V., (2019). *Respuesta fisiológica del cafeto a niveles contrastantes de radiación solar* (tesis pregrado). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Villa Corzo, Chiapas. <https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/2319/VICTOR%20S.%20L.%C3%93PEZ%20RAM%20C3%8DREZ%20DETERMINANTES%20ECOFISIOLOGICOS%20DE%20LA%20PRODUCTIVIDAD%20BIOLOGICA%20Y%20AGRICOLA%20DE%20LAS%20...pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Meneses-Flores, N. (2012). *Evaluación de la producción de plántulas de tres variedades de café (Coffea arabica L.) bajo tres tipos de sustratos en los Yungas de La Paz* (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/7934/T-1675.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Milla-Pino, M. E., Oliva-Cruz, S. M., Leiva-Espinoza, S. T., Collazos-Silva, R., Gamarra-Torres, O. A., Barrera-Gurbillón, M. Á. y Maicelo-Quintana, J. L. (2019). *Características morfológicas de variedades de café cultivadas en condiciones de sombra*. *Acta Agronómica*, 68(4), 271–277. <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v68n4/0120-2812-acag-68-04-271.pdf>
- Montaleza-Armijos, J. (2020). *Análisis de la diversidad morfológica de cacao (Theobroma cacao L.) del jardín clonal de la UTMACH (tesis de maestría)*. Universidad Técnica de Machala. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15553/1/TTUACA-2020-IA-DE00009.pdf>
- Montaño-Armijos, M. (2010). *Azolla en el mejoramiento de la salud, la economía y el medio ambiente*. Proyecto azolla anabaena. ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6703?locale=es>
- Montaño-Armijos, M. (2015). *Estudio de la aplicación de Azolla Anabaena como bioabono en el cultivo de arroz en el Litoral ecuatoriano*. *Revista Tecnológica ESPOL*. 18(1), 147-151. <http://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/240/182>
- Montaño-Armijos, M. (2020). *Azolla: Nuevo paradigma del futuro del arroz*. Proyecto azolla anabaena. ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/17160>
- Ortega, E., Fernández, L., Ortega, P. y Rodés, R. W. (2014). *La fijación biológica del nitrógeno en la caña de azúcar* (1.ª ed.). La Habana, Cuba. https://www.researchgate.net/publication/200042092_La_fijacion_biologica_del_nitrogeno_en_la_cana_de_azucar
- Villacis-Junco, P. I. y Aguilar-Bravo, T. E. (2016). *Comportamiento agronómico de cinco variedades de café (Coffea arabica L.), sometido a diferentes aplicaciones foliares de biol* (tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Santo Domingo, Ecuador. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/11296/1/T-ESPE-002795.pdf>
- Solis-Charcopa, K., Quiroz-Ponce, F., Vernaza-Quiñonez, L. y Carrera-Villacrés, F. (2017). *Biofertilizantes una alternativa ecológica para la agricultura frente al cambio climático en el Ecuador*. *Revista Domino de las Ciencias*, 3(4), 75-88. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6155630>
- Vargas-Humaginga, K. (2020). *Respuesta agronómica de tres variedades de café (Coffea arabica) con tres niveles de fertilización foliar* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6921/1/UTC-PIM-000263.pdf>
- Venegas-Sánchez, S., Orellana-Bueno, D. y Pérez-Jara, P. (2018). *La realidad Ecuatoriana en la producción de café*. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(1), 72–91. <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/download/218/html#:~:text=Ecuador%20es%20un%20pa%C3%ADs%20con,ser%20recuperada%20hasta%20la%20fecha.>
- Wagner, R. (2011). *Historia del café de Guatemala*. (1.ª ed.). Guatemala: Villegas Editores.

Microorganismos con potencial de bioprospección desde nichos ecológicos en la Estación Agropecuaria UTPL-Loja

Microorganisms with bioprospecting potential from ecological niches at the Estación Agropecuaria UTPL-Loja

Darío Cruz ^{1*} 
Débora Masache ² 
Valeria Hidalgo ³ 
Hellen Vivanco 
Lilibeth Carrión 
Eddie Jaramillo 
Jhoselyn Apolo 
Leonardo Román 

¹Grupos de Investigación Ecología y Evolución de Sistemas Microbianos (MS2E) y Biodiversidad de Ecosistemas Tropicales (BIETROP); Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), San Cayetano Alto s/n C.P. 11 01 608, Loja, Ecuador.

²Carrera de Biología, Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), San Cayetano Alto s/n C.P. 11 01 608, Loja, Ecuador.

* Autor para correspondencia: dacruz@utpl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1833>

Recibido: 28/04/2023

Aceptado: 20/06/2023

RESUMEN

Los microorganismos son considerados cosmopolitas, presentan variabilidad genética que potencia su expresión en productos metabólicos facilitando adaptaciones ecológicas a diferentes ambientes. Estas características pueden ser aprovechadas con fines de bioprospección. En este sentido se colectaron muestras ambientales desde diferentes nichos ecológicos dentro de la Estación Agropecuaria UTPL-Loja (EA-UTPL), los cuales fueron clasificados como: repositorios bióticos (animales y plantas) y abióticos (agua de riachuelo, agua de bebederos, leche, rizosfera entre otros). Para el análisis microscópico se emplearon diferentes técnicas de tinción (p. ej. tinción Gram; Azul de metileno al 1 % y KOH al 10 %) y agua destilada o suero fisiológico para observación microscópica de luz (100X aumento). En este estudio se encontraron: hongos (Micorrizas arbusculares; *Ascochyta* sp. *Fusarium* sp.), microalgas (*Chlorella* sp.; *Ulothrix* sp.), cianobacterias (*Lyngbya* sp.), bacterias Gram positivas y negativas (Cocos, Diplococos, Streptococcus, Bacillus) y la especie (*Leptothrix ochracea*). Estos resultados indican que varios sectores dentro de la EA-UTPL se pueden considerar “puntos calientes”, ya que, presentaron una alta diversidad de microorganismos que podrían ser aplicados para la bioprospección dada la funcionalidad ecológica en el campo.

Palabras clave: alga, bacteria, cianobacteria, hongos, nicho ecológico, técnicas de tinción.

ABSTRACT

Microorganisms are considered cosmopolitan, with genetic variability that enhances their expression in metabolic products, facilitating ecological adaptations to different environments. These characteristics can be exploited for bioprospecting purposes. In this sense, environmental samples were collected from different ecological niches within the Agricultural Station UTPL-Loja (EA-UTPL), which were classified as: biotic (animals and plants) and abiotic (stream water, drinking water, milk, rhizosphere, among others) repositories. For microscopic analysis, different staining techniques were used (e.g. Gram stain; 1% methylene blue and 10% KOH) and distilled water or saline for light microscopic observation (100X magnification). In this study we found: fungi (Arbuscular mycorrhizae; *Ascochyta* sp. *Fusarium* sp.), microalgae (*Chlorella* sp.; *Ulothrix* sp.), cyanobacteria (*Lyngbya* sp.), Gram positive and negative bacteria (Cocci, Diplococci, Streptococcus, Bacillus) and the species (*Leptothrix ochracea*). These results indicate that several sectors within the EA-UTPL can be considered “hot spots”, as they presented a high diversity of microorganisms that could be applied for bioprospecting given the ecological functionality in the field.

Keywords: algae, bacteria, cyanobacteria, fungi, ecological niche, staining techniques.

INTRODUCCIÓN

Los microorganismos (MO) se consideran cosmopolitas por estar colonizando todos los ecosistemas (i.e suelo, agua, inclusive aire) siendo los organismos más primitivos y numerosos en la Tierra (Cockell, 2021). Se clasifican en diferentes grupos como: hongos, algas y bacterias, los cuales son esenciales para el buen funcionamiento de ecosistemas participando principalmente en el recambio de nutrientes. Los MO cumplen un rol dinámico en la descomposición de materia orgánica y en el reciclaje mineral (Prasad *et al.*, 2021) e inclusive algunos de ellos son controladores fitopatógenos (Nihorimbere *et al.*, 2011).

La relación simbiótica entre MO, puede extenderse a plantas y otros organismos dependiendo del ambiente abiótico y las relaciones bióticas presentes en los ecosistemas (Chesson, 2000; Douglas, 2014). Se ha demostrado que su rol es indispensable en los animales, puesto que cumplen funciones importantes como digestión (Douglas, 2014). El estudio de estos MO también tiene interés en la prospección y biotecnología, ya que, ha permitido estudiar e integrar especies potenciales para la creación de biofábricas que generen importantes moléculas farmacológicas (Jozala *et al.*, 2016).

Los diferentes grupos de microorganismos gracias a su genética adaptable a condiciones inclusive extremas (temperatura, presión, pH, salinidad, radiación) sobreviven en estos ambientes por medio de su expresión metabólica, con la síntesis de proteínas, compuestos volátiles, antibióticos, las cuales facilitan su adaptabilidad y supervivencia, esta acelerada tasa de mutación les permite colonizar y tener éxito en todo tipo de ambientes (Lynch *et al.*, 2016). A nivel biotecnológico los microorganismos extremófilos también son de interés, en ellos se encuentran “extremoenzimas” las cuales solo se activan en condiciones extremas (Gupta *et al.*, 2014). Últimamente se han centrado muchas investigaciones en este tema, ya que funcionarían como bio-trasformadores en la variación y formación de proteínas y otras moléculas, con aplicaciones en la agricultura, ingeniería química, biomedicina y biotecnología de procesos (Dumorné *et al.*, 2017).

Desde la antigüedad el uso de microorganismos (p. ej. Levaduras) para fermentación de vinos estuvo empíricamente aplicado (Tamang, 2010). Por lo que, en la actualidad se aplica y se mejora microorganismos biotecnológicamente en diferentes campos como: alimentación, medicina e industria, que requieren de

estudios esenciales como la prospección de los mismos (Jozala *et al.*, 2016). Esto hace indispensable el conocimiento para saber dónde están los diferentes microorganismos, y mediante el uso de técnicas biotecnológicas, determinar nuevas especies y moléculas, así como el mejoramiento genético de especies ya conocidas para potenciar la tecnología microbiana principalmente la metabólica (Vitorino y Bessa, 2017).

En este sentido, diversos estudios de prospección de organismos se enfocan principalmente en exploraciones de bosques nativos o no disturbados antropogénicamente, ya que existe mayor probabilidad de encontrar nuevas especies con características novedosas y aplicativas (Trabelsi y Mhamdi, 2013). No obstante lugares como: fincas agrícolas, remanentes boscosos o inclusive zonas urbanas no dejan de ser ecosistemas potenciales para encontrar microorganismos promisorios industrialmente (Fierer *et al.*, 2012).

En este contexto investigaciones en este campo se constituyen parte fundamental para el conocimiento, exploración, experimentación y aplicación de organismos, especialmente los microscópicos para futuras aplicaciones biotecnológicas. Por lo que basados en la premisa de que los microorganismos están en todos los ecosistemas, se exploró diferentes nichos ecológicos (bióticos y abióticos) en la Estación Agropecuaria UTPL-Loja (EA-UTPL) en busca de microorganismos con diferentes roles funcionales y así evaluar su potencialidad prospectiva para futuras aplicaciones Biotecnológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

La EA-UTPL está ubicada en el sector Cajanuma del cantón Loja (4°05'18.1''S 79°12'23.9''W), con temperaturas que oscilan entre los 6 a 22 °C y con una extensión de 52 hectáreas (Figura 1).

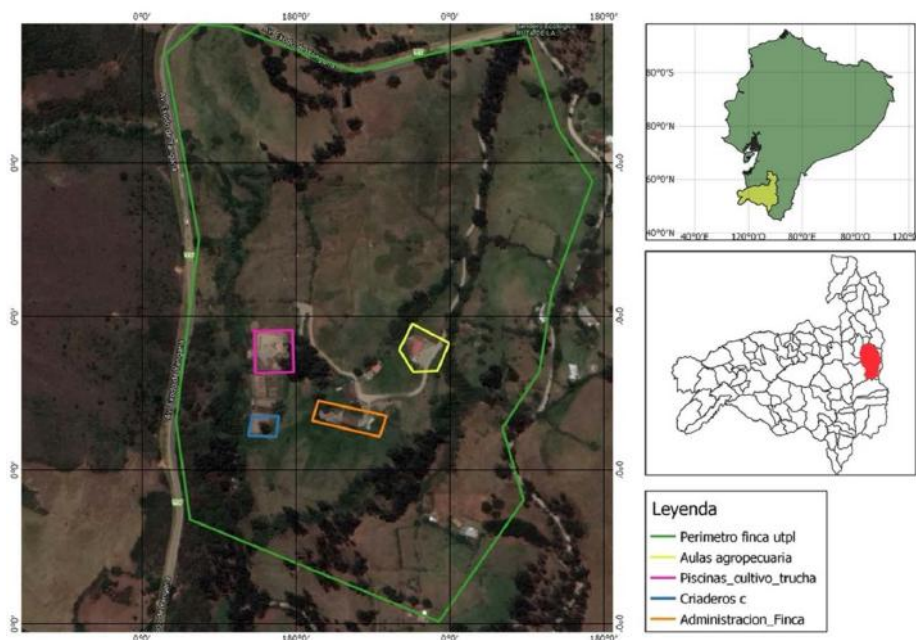


Figura 1. Mapa del sector central de la Estación Agropecuaria UTPL en donde se localizó los nichos ecológicos con repositorios bióticos y abióticos para la búsqueda de microorganismos.

Muestreo de nichos ecológicos

Previo a la colecta de muestras se determinó los diferentes repositorios de microorganismos presentes en repositorios bióticos (Figura 2 y 3) y abióticos (Figura 4) dentro de diferentes nichos ecológicos de la EA-UTPL. Se tomó muestras de estiércol en criaderos de animales; muestras de suelo (rizosfera), leche de vaca recién ordeñada, agua desde vertientes naturales, bebederos y entornos húmedos verdosos o negruzcos (Figura 4); raíces de plantas cultivadas (Figura 3).

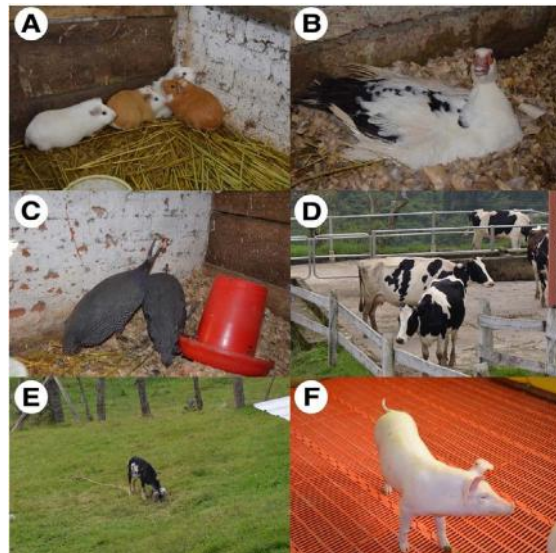


Figura 2. Repositorios bióticos (animales) dentro de la EA-UTPL: A) cobayo (*Cavia porcellus*). B) pato (*Anas platyrhynchos domesticus*). C) gallina guinea (*Numida meleagris*). D) ganado vacuno (*Bos taurus* var. *Holstein*). E) chivo (*Capra aegagrus hircus*). F) cerdo (*Sus scrofa domesticus*).

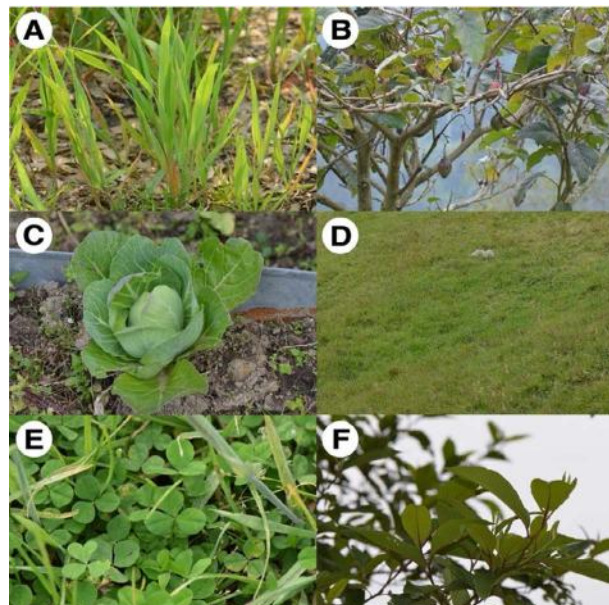


Figura 3. Repositorios bióticos (plantas) dentro de la EA-UTPL: A) avena (*Avena sativa*). B) tomate de árbol (*Solanum betaceum*). C) col (*Brassica oleracea* var. *Capitata*). D) kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). E) trébol (*Trifolium repens*). F) aliso (*Alnus acuminata*).

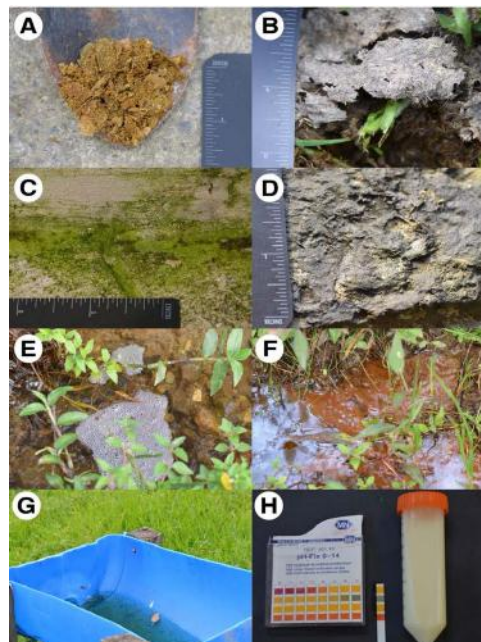


Figura 4. Repositorios abióticos dentro de la EA-UTPL: A) estiércol de cobayo. B) estiércol de ganado vacuno. C) Zona húmeda verdosa en esquina de pared de cemento. D) Zona húmeda negra sobre cemento. E) agua de vertiente con zonas espumosas. F) agua de vertiente con formaciones viscosas color oxido. G) agua en bebedero plástico azul. H) leche recién ordeñada en tubo plástico y marcado de pH 7 en tirilla.

Revisión microscópica de las muestras

Para observación de microorganismos como bacterias se usó la técnica diferencial Gram para observar la presencia de bacterias Gram positivas y Gram negativas.

Por otra parte, para observación de hifas de hongos o esporas, se aplicó tinciones universales como: Azul de metileno al 1 % y KOH al 10 %.

Para organismos como protozoos y algas se usó suero fisiológico o agua destilada sin tinción.

RESULTADOS

Nichos ecológicos

Se logró analizar 19 muestras en total (Tabla 1) dentro de repositorios bióticos y abióticos presentes en la EA-UTPL (Figura 2, 3 y 4): seis correspondientes a estiércoles de animales (cerdo, cuy, gallina-guinea, pato, y vaca), seis de raíces de plantas (Aliso, avena, col, tomate de árbol, trébol y kikuyo), una de fruto de tomate de árbol, tres muestras de agua (agua espumosa en corriente de vertiente, agua estancada viscosa color oxido en vertiente y agua en bebedero) y dos muestras de zona húmeda de paredes (una verdosa y una negruzca) y una de leche recién ordeñada. Estos nichos pueden ser encontrados en más sectores agropecuarios, por lo cual se presentan como una muestra relevante para la enseñanza de donde se puede localizar microorganismos para diferentes fines especialmente para la bioprospección.

Organismos microscópicos determinados

La diversidad de microorganismos es excepcional entre hongos, algas y bacterias que mayoritariamente se distribuyen en todas las muestras (Tabla 1). Esta diversidad difícilmente puede ser determinada a niveles específicos en su totalidad por simples análisis morfológicos. Por esta razón se seleccionó los más relevantes y demostrativos para todos los grupos buscados (Figura 5).

Tabla 1. Presencia de organismos acorde a las muestras analizadas para repositorios bióticos y abióticos.

Organismos/Muestras	Hongos			Algas			Cianobacterias			Bacterias			
	Micorrizas arbusculares	<i>Ascochyta</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Chlorella</i> sp.	<i>Ulothrix</i> sp.	<i>Lyngbya</i> sp.	<i>Leptothrix ochracea</i>	<i>Cocos</i>	<i>Diplococcus</i>	<i>Streptococcus</i>	<i>Bacillus</i>		
raíz de <i>Solanum betaceum</i>	+		+										+
raíz de <i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>	+		+										+
raíz de <i>Avena sativa</i>	+												
raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i>	+												
raíz de <i>Trifolium repens</i>	+												
raíz de <i>Alnus acuminata</i>		+											
fruto de <i>Solanum betaceum</i>			+										
estiércol de <i>Cavia porcellus</i>									+				+
estiércol de <i>Anas platyrhynchos domesticus</i>									+				
estiércol de <i>Numida meleagris</i>									+				
estiércol de <i>Capra aegagrus hircus</i>									+				
estiércol de <i>Sus scrofa domesticus</i> .									+				+
estiércol de <i>Bos taurus</i> var. <i>holstein</i>									+				+
agua espumosa en corriente de vertiente													
agua estancada viscosa color oxidado en vertiente													
agua en bebedero													
leche recién ordeñada													
zona húmeda de paredes (verdosa)													
zona húmeda de paredes negruzca													

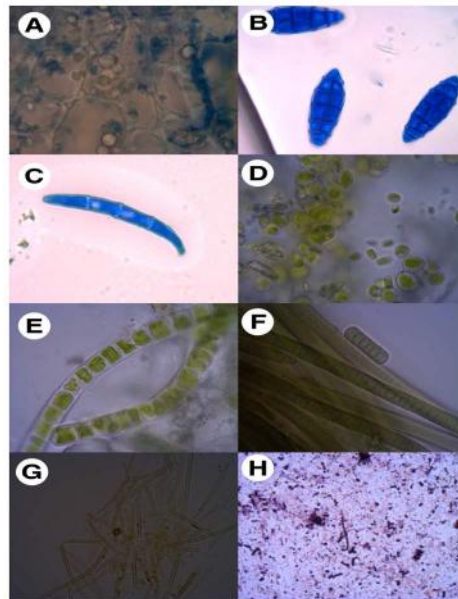


Figura 5. Microorganismos presentes dentro de los nichos ecológicos de la Estación Agropecuaria UTPL: A) Hongos micorrizando (Micorrizas arbusculares en color azul) en raíces desde col (Figura 3C). B) Ascosporas del hongo *Ascochyta* sp. (color azul) encontrada parasitando fruto de tomate de árbol (Figura 3B). C) Fragoconidia de hongo *Fusarium* sp. encontrada parasitando fruto de tomate de árbol (Figura 3B). D) *Chlorella* sp. E) *Ulothrix* sp. F) Cianobacterias alargadas *Lyngbya* sp. encontrada en zona húmeda negruzca (Figura 4D), G) Bacteria cilíndrica (coloración óxido) *Leptothrix ochracea* encontrada en agua viscosa color óxido (Figura 4F). H) Bacterias con coloración Gram positiva y negativa de varios morfotipos como *Cocos*, *Diplococos*, *Streptococcus*, *Bacillus* encontrados en estiércol de cobayo (Figura 4A).

DISCUSIÓN

Basados en las observaciones se ratifica el enunciado de que los microorganismos son cosmopolitas ya que están colonizando prácticamente todos los ecosistemas (Cockell, 2021), difícilmente determinada por microscopía. En este sentido, se ha seleccionado los microorganismos más relevantes ecológicamente, como por ejemplo micorrización arbuscular lo cual es un indicativo de asociación beneficiosa entre hongos y raíces de plantas para intercambio de nutrientes (Prasad, 2021). Todas las raíces de plantas analizadas presentaron colonización de hifas correspondiente a micorrizas arbusculares como ya se ha demostrado en varios estudios para dichas especies (Becerra y Cabello 2007; Díaz *et al.*, 2017; Cuenca *et al.*, 2007; Lopez *et al.*, 2009). Por otra parte, se encontró evidencias de hongos parásitos (ascosporas de *Ascochyta* sp., fragoconidias de *Fusarium* sp.) típicos, generando antracnosis o lesiones en frutos de tomate de árbol y otras plantas como ya se ha reportado en otros estudios (Sen *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2012).

Microalgas como *Chlorella* sp. y *Ulothrix* sp. fueron principalmente detectadas en zonas húmedas con coloración verdosa evidenciando presencia de organismos pigmentados o potenciales fotosintéticos colonizadores de diferentes fuentes de aguas dulces (Morales *et al.*, 2017). Organismos adicionales como cianobacterias (*Lyngbya* sp.) se encontraron frecuentemente en zonas más negruzcas formando biopelículas, probablemente asociadas al deterioro del concreto como se ha analizado por Galindo *et al.* (2018) para estructuras arquitectónicas en proceso de deterioro. Finalmente, la bacteria *Leptothrix ochracea* fue abundante en agua estancada viscosa de color óxido indicativo de concentración de hierro, ya que es el hábitat natural de dicha bacteria conocida por resistir pH bajos y aguas dulces ricas en hierro (Emerson y Weiss 2004). Otras bacterias, tanto Gram positivas y Gram negativas con múltiples

morfotipos como *Cocos*, *Diplococos*, *Streptococcus*, *Bacillus*, encontradas en fluidos o estiércol de los animales de granja, en algunos casos beneficiosos para procesos de compostaje (Faría *et al.*, 2002) o en otros casos síntomas de alguna patología como la mastitis ovina (Díaz *et al.*, 2019).

En un sentido amplio, este estudio demostró que existen diferentes nichos ecológicos dentro de zonas intervenidas de forma antropogénica como la Estación Agropecuaria UTPL-Loja, que posee “puntos calientes” para búsqueda de microorganismos con fines de aislamiento y prospección para aplicaciones biotecnológicas. En este contexto, las microalgas poseen potencial para obtención de pigmentos (Kulkarni y Nikolov, 2018), biocombustibles (Dickinson *et al.*, 2017) inclusive generación de biofábricas (Tang *et al.*, 2020), para extracción de proteínas con fines alimenticios (Torres-Tiji *et al.*, 2020). Otros organismos como Cianobacterias podrían ser usadas para extraer metabolitos con capacidades anticancerígenas (Lee *et al.*, 2021) o por ejemplo la bacteria *Leptothrix ochracea* puede ser aplicada para estudios de oxidación de hierro y otros procesos fisiológicos de conversión de energía química en condiciones adversas (Fleming *et al.*, 2018). Finalmente, de forma general todos los microorganismos (hongos, microalgas y bacterias) podrían ser ampliamente estudiados y aplicados con fines de búsqueda de antibióticos (Lewis, 2020) u otros metabolitos que podría potenciar el crecimiento de plantas y limitando el desarrollo de patógenos al usarse desde compost (Zhou *et al.*, 2020).

■ CONCLUSIONES

Los repositorios bióticos y abióticos presentes en diferentes nichos ecológicos son diversos en microorganismos como hongos, algas, bacterias y cianobacterias que pueden ser valorizados biotecnológicamente.

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos a la Universidad Técnica Particular de Loja por la logística de laboratorios para revisión de los microorganismos. Así mismo, agradecemos a los estudiantes de la carrera de Biología y asignatura Prospección de hongos, algas y cianobacterias. A: Díaz Lizbeth; Enríquez Guillermo; Jaramillo Alex; Acaro Roberth; Ocampo Danna; Ordoñez Felipe; Ruiz Andy, por su apoyo durante la recolección de muestras.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES:

Darío Cruz concibió la investigación. Darío Cruz, Leonardo Roman y Débora Masache participaron principalmente en la redacción del manuscrito. Débora Masache revisó críticamente el contenido intelectual del manuscrito. Jhoselyn Apolo, Eddy Jaramillo, Lilibeth Carrión, Valeria Hidalgo y Hellen Vivanco desarrollaron la metodología morfológica y ajustes de figuras.

■ BIBLIOGRAFÍA

- Becerra, Alejandra, y Cabello, Marta. (2007). Micorrizas arbusculares en plantines de *Alnus acuminata* (Betulaceae) inoculados con *Glomus intraradices* (Glomaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 42(3-4), 155-158. Recuperado en 12 de abril de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722007000200001&lng=es&tln=es.
- Chesson, P. (2000). Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual review of Ecology and Systematics*, 343-366.
- Cockell, C. S. (2021). Are microorganisms everywhere they can be?. *Environmental Microbiology*, 23(11), 6355-6363.

- Cuenca, Gisela, Cáceres, Alicia, Oirdobro, Giovanni, Hasmy, Zamira, y Urdaneta, Carlos. (2007). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia*, 32(1), 23-29. Recuperado en 12 de abril de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000100006&lng=es&tlng=es.
- Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Alejandro-Allende, F., y Ortiz-Chairez, F. E. (2017). Uso de abono orgánico y micorriza arbuscular en la producción de repollo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XVI(1), 15-21.
- Díaz-Herrera, Dervel Felipe, Remón-Díaz, Dianys, Riverón-Alemán, Yamilka, Ribot, Ariel, Ledesma-Rodríguez, Anel, Martínez-Vasallo, Ailin, y Uffo Reinoso, Odalys. (2019). Identificación de Streptococcus agalactiae en leche de bovinos afectados por mastitis en el occidente de Cuba. *Revista de Salud Animal*, 41(3), e09. Epub 01 de diciembre de 2019. Recuperado en 12 de abril de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2019000300003&lng=es&tlng=es.
- Dickinson, S., Mientus, M., Frey, D., Amini-Hajibashi, A., Ozturk, S., Shaikh, F., ... y El-Halwagi, M. M. (2017). A review of biodiesel production from microalgae. *Clean technologies and environmental policy*, 19(3), 637-668.
- Douglas, A. E. (2014). Symbiosis as a general principle in eukaryotic evolution. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 6(2), a016113.
- Dumorné, K., Córdova, D. C., Astorga-Eló, M., y Renganathan, P. (2017). Extremozymes: A Potential Source for Industrial Applications. *Journal of microbiology and biotechnology*, 27(4), 649-659. <https://doi.org/10.4014/jmb.1611.11006>
- Emerson D, Weiss JV (2004). Bacterial iron oxidation in circumneutral freshwater habitats: findings from the field and the laboratory. *Geomicrobiol J*. 21:405-414.
- Faría Reyes, José, García Urdaneta, Aleida, Izquierdo Corser, Pedro, Allara Cagnasso, María, y Valera Leal, Kutchynskaya. (2002). Aislamiento de bacterias gram positivas de leche cruda con residuos de antimicrobianos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52(1), 68-73. Recuperado en 12 de abril de 2023, de http://vescielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222002000100010&lng=es&tlng=es.
- Fierer, N., Leff, J. W., Adams, B. J., Nielsen, U. N., Bates, S. T., Lauber, C. L., ... y Caporaso, J. G. (2012). Cross-biome metagenomic analyses of soil microbial communities and their functional attributes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(52), 21390-21395.
- Fleming, E. J., Woyke, T., Donatello, R. A., Kuypers, M. M., Sczyrba, A., Littmann, S., y Emerson, D. (2018). Insights into the fundamental physiology of the uncultured Fe-oxidizing bacterium *Leptothrix ochracea*. *Applied and environmental microbiology*, 84(9), e02239-17.
- Galindo-Alcázar, O., Medina-Jaritz, N., Garduño-Solórzano, G., y Olvera-Ramírez, R. (2018). Cianobacterias y microalgas de biopelículas superficiales de la zona arqueológica de Malinalco, México. *Polibotánica*, (45), 131-146. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.10>
- Gupta, G. N., Srivastava, S., Khare, S. K., y Prakash, V. (2014). Extremophiles: an overview of microorganism from extreme environment. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 7(2), 371-380.
- Jozala, A. F., Geraldés, D. C., Tundisi, L. L., Feitosa, V. D. A., Breyer, C. A., Cardoso, S. L., ... y Pessoa Jr, A. (2016). Biopharmaceuticals from microorganisms: from production to purification. *Brazilian journal of microbiology*, 47, 51-63.

- Kulkarni, S., y Nikolov, Z. (2018). Process for selective extraction of pigments and functional proteins from *Chlorella vulgaris*. *Algal research*, 35, 185-193.
- Lee, H., Depuydt, S., Choi, S., Kim, G., Kim, Y., Pandey, L. K., ... y Park, J. (2021). Potential use of nuisance cyanobacteria as a source of anticancer agents. *Natural Bioactive Compounds*, 203-231.
- Lewis, K. (2020). The science of antibiotic discovery. *Cell*, 181(1), 29-45.
- López Caro, M. L., Gutiérrez, K. F., Osorio, C. Úsuga, y Sánchez, D. C. (2009). Efecto de la inoculación de hongos micorriza arbuscular y aplicación de fertilizantes sobre la calidad nutricional de pasto kikuyo. *Revista Politécnica*, 5(9), 100–106. Recuperado a partir de <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/148>
- Lynch, M., Ackerman, M. S., Gout, J. F., Long, H., Sung, W., Thomas, W. K., y Foster, P. L. (2016). Genetic drift, selection and the evolution of the mutation rate. *Nature Reviews Genetics*, 17(11), 704-714.
- Morales, E.D., Luna, V., Navarro, L.R., Santana, V., Gordillo, A.M., y Arévalo, A. (2017). Diversidad de microalgas y cianobacterias en muestras provenientes de diferentes provincias del Ecuador, destinadas a una colección de cultivos.
- Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M., y Thonart, P. (2011). Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 15(2), 327-337.
- Prasad, S., Malav, L. C., Choudhary, J., Kanojiya, S., Kundu, M., Kumar, S., y Yadav, A. N. (2021). Soil microbiomes for healthy nutrient recycling. In *Current trends in microbial biotechnology for sustainable agriculture* (pp. 1-21). *Springer*, Singapore.
- Sen, Y., van der Wolf, J., Visser, R. G., y van Heusden, S. (2015). Bacterial canker of tomato: current knowledge of detection, management, resistance, and interactions. *Plant Disease*, 99(1), 4-13.
- Singh, V.K, Singh, Y., y Kumar, P. (2012) Diseases of ornamental plants and their management. In: Singh V.K., Singh Y., Singh A., editors. *Eco-friendly innovative approaches in plant disease management*. New Delhi: *International Book Distributors and Publisher*, pp. 543–572.
- Tamang, J. P. (2010). Diversity of fermented beverages and alcoholic drinks. *Fermented foods and beverages of the world*, 85-125.
- Tang, D. Y. Y., Khoo, K. S., Chew, K. W., Tao, Y., Ho, S. H., y Show, P. L. (2020). Potential utilization of bioproducts from microalgae for the quality enhancement of natural products. *Bioresource technology*, 304, 122997.
- Torres-Tiji, Y., Fields, F. J., y Mayfield, S. P. (2020). Microalgae as a future food source. *Biotechnology advances*, 41, 107536.
- Trabelsi, D., y Mhamdi, R. (2013). Microbial inoculants and their impact on soil microbial communities: a review. *BioMed research international*, 2013.
- Vitorino, L. C., y Bessa, L. A. (2017). Technological microbiology: development and applications. *Frontiers in Microbiology*, 8, 827.
- Zhou, X., Wang, J., Lu, C., Liao, Q., Gudda, F. O., y Ling, W. (2020). Antibiotics in animal manure and manure-based fertilizers: Occurrence and ecological risk assessment. *Chemosphere*, 255, 127006.

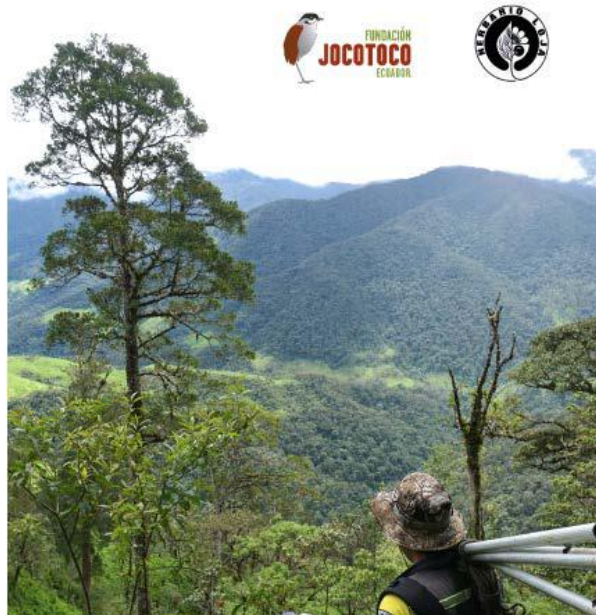
Especies vegetales del Área de Conservación Municipal y Uso Sostenible Numbala, Palanda, Zamora Chinchipe, Ecuador

Nelson Jaramillo Díaz¹, Gabriela Pinta Pineda¹, Daniel Luzón Jirón¹, Franco Mendoza²,

Jhuly Días Flores², Robinnson Lima Jiménez² & Jennifer Martínez González-Quevedo², Zhofre Aguirre Mendoza¹

¹ Herbario "Reinaldo Espinosa", Universidad Nacional de Loja, Proyecto 014-DI-FARNR-2023, ² Fundación de Conservación Jocotoco, Ecuador

doi: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1913>



Vista panorámica del Área de Conservación Municipal y Uso Sostenible (ACMUS), cantón Palanda, Zamora Chinchipe.



Las Áreas de Conservación Municipal y Uso Sostenible (ACMUS) en el Ecuador, son creadas a partir de una ordenanza por gobiernos locales o provinciales, enmarcadas para la protección y restauración de fuentes de agua, ecosistemas frágiles, biodiversidad y servicios ambientales, establecidas en diferentes ecosistemas.

Bajo este contexto el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Palanda, de la provincia de Zamora Chinchipe y la Fundación de Conservación Jocotoco, impulsan la ordenanza para la creación y gestión de áreas de conservación municipal y uso sostenible, en un trabajo mancomunado, a través del convenio de cooperación y gestión interinstitucional para el cuidado de la naturaleza. La Fundación Jocotoco fue creada en 1998, como una organización no gubernamental (ONG), que trabaja para proteger áreas de importancia crítica para la conservación de especies amenazadas en Ecuador, la cual ha establecido una red de 16 reservas, que juntas suman alrededor de 24 500 hectáreas, la Reserva Tapichalaca, ubicada en el cantón Palanda es parte de la red.

Con el propósito de monitorear la flora del ACMUS del cantón Palanda, la Fundación Jocotoco organizó la expedición botánica en el Bloque 3, en los bosques ubicados en la parte alta del Filo del Águila y Cordillera de San Francisco, cuya formación vegetal corresponde a bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes; para lo cual, el equipo técnico del Herbario "Reinaldo Espinosa", de la Universidad Nacional de Loja, participó y generó información de la diversidad florística, especies endémicas y amenazadas, registros nuevos para la ciencia, realizando la identificación de las especies y el registro fotográfico; esto contribuye al conocimiento científico, necesario e importante para formular estrategias de manejo y conservación. En este documento se presenta 23 especies de epífitas, 31 árboles, 20 arbustos, 6 enredaderas-trepadoras y 3 especies de palmas.



Equipo de trabajo de campo, con personal del Herbario Reinaldo Espinosa y la Fundación de Conservación Jocotoco.



Prensado y registro de caracteres morfológicos de las especies colectadas, para su posterior identificación en herbario.



Colecta botánica empleando podadora aérea.



Registro fotográfico de los especímenes botánicos.

EPIFITAS



1 *Anthurium* sp. 1

ARACEAE



2 *Anthurium* sp. 1

ARACEAE



3 *Anthurium* sp. 1

ARACEAE



4 *Anthurium* sp. 2

ARACEAE



5 *Anthurium* sp. 2

ARACEAE



6 *Stenospermatum* sp.

ARACEAE



7 *Stenospermatum* sp.

ARACEAE



8 *Stenospermatum zeacarpium*

Madison
ARACEAE



9 *Stenospermatum zeacarpium*

Madison
ARACEAE



10 *Guzmania morreniana*

(Linden ex E.Morren) Mez
BROMELIACEAE



11 *Guzmania morreniana*
(Linden ex E.Morren) Mez
BROMELIACEAE



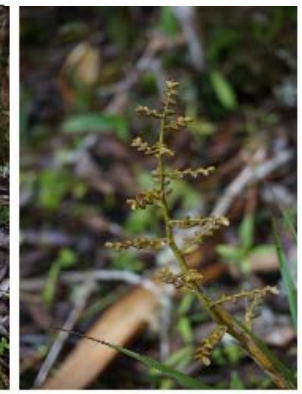
12 *Guzmania besseae* H.Luther
BROMELIACEAE



13 *Guzmania besseae* H.Luther
BROMELIACEAE



14 *Racinaea schumanniana*
(Wittm.) J.R.Grant
BROMELIACEAE



15 *Racinaea schumanniana*
(Wittm.) J.R.Grant
BROMELIACEAE

EPIFITAS



16 *Tillandsia complanata* Benth.

BROMELIACEAE



17 *Tillandsia complanata* Benth.

BROMELIACEAE



18 *Tillandsia schimperiana*
Wittm.

BROMELIACEAE



19 *Tillandsia schimperiana*
Wittm.

BROMELIACEAE



20 *Tillandsia* sp.

BROMELIACEAE



21 *Tillandsia* sp.

BROMELIACEAE



22 *Columnea strigosa* Benth.

GESNERIACEAE



23 *Columnea strigosa* Benth.

GESNERIACEAE



24 *Columnea strigosa* Benth.

GESNERIACEAE



25 *Columnea tessmannii* Mansf.

GESNERIACEAE



26 *Columnea tessmannii* Mansf.

GESNERIACEAE



27 *Ophioglossum palmatum* L.

OPHIOGLOSSACEAE



28 *Ophioglossum palmatum* L.

OPHIOGLOSSACEAE



29 *Comparettia speciosa*
Rchb.f.

ORCHIDACEAE



30 *Comparettia speciosa*
Rchb.f.

ORCHIDACEAE

EPIFITAS



31 *Elleanthus* sp.
ORCHIDACEAE



32 *Elleanthus* sp.
ORCHIDACEAE



33 *Epidendrum* sp.
ORCHIDACEAE



34 *Epidendrum* sp.
ORCHIDACEAE



35 *Maxillaria grandimentum* C. Schweinf.
ORCHIDACEAE



36 *Maxillaria grandimentum* C. Schweinf.
ORCHIDACEAE



37 *Maxillaria* sp.
ORCHIDACEAE



38 *Cochlioda* sp.
ORCHIDACEAE



39 *Cochlioda* sp.
ORCHIDACEAE



40 *Odontoglossum cruentum* Rchb.f.
ORCHIDACEAE



41 *Sudamerlycaste* sp.
ORCHIDACEAE



42 *Sudamerlycaste* sp.
ORCHIDACEAE



43 *Trichopilia fragrans* Rchb.f.
ORCHIDACEAE



44 *Trichopilia fragrans* Rchb.f.
ORCHIDACEAE



45 *Xylobium* sp.
ORCHIDACEAE

ÁRBOLES



46 *Dendropanax* sp.
ARALIACEAE



47 *Dendropanax* sp.
ARALIACEAE



48 *Sciodaphyllum* sp. 1
ARALIACEAE



49 *Sciodaphyllum* sp. 1
ARALIACEAE



50 *Sciodaphyllum* sp. 1
ARALIACEAE



51 *Sciodaphyllum* sp. 2
ARALIACEAE



52 *Sciodaphyllum* sp. 2
ARALIACEAE



53 *Handroanthus serratifolius*
(Vahl) S.O. Grose
BIGNONIACEAE



54 *Handroanthus serratifolius*
(Vahl) S.O. Grose
BIGNONIACEAE



55 *Hedyosmum anisodorum*
Todzia
CHLORANTHACEAE



56 *Hedyosmum anisodorum*
Todzia
CHLORANTHACEAE



57 *Clusia multiflora* Kunth
CLUSIACEAE



58 *Clusia multiflora* Kunth
CLUSIACEAE



59 *Clusia multiflora* Kunth
CLUSIACEAE



60 *Clusia* sp.
CLUSIACEAE

ÁRBOLES



61 *Clusia* sp.

CLUSIACEAE



62 *Clusia* sp.

CLUSIACEAE



63 *Weinmannia glabra* L.f.

CUNONIACEAE



64 *Weinmannia glabra* L.f.

CUNONIACEAE



65 *Alchornea glandulosa* Poit. ex Baill.

EUPHORBIACEAE



66 *Alchornea glandulosa* Poit. ex Baill.

EUPHORBIACEAE



67 *Inga acreana* Harms

FABACEAE



68 *Inga acreana* Harms

FABACEAE



69 *Inga extra-nodis* T.D.Penn.

FABACEAE



70 *Inga extra-nodis* T.D.Penn.

FABACEAE



71 *Inga extra-nodis* T.D.Penn.

FABACEAE



72 *Inga nobilis* Willd.

FABACEAE



73 *Inga nobilis* Willd.

FABACEAE



74 *Endlicheria griseosericea* Chandlerb.

LAURACEAE



75 *Endlicheria griseosericea* Chandlerb.

LAURACEAE

ÁRBOLES



76 *Nectandra membranacea*
Griseb.
LAURACEAE



77 *Nectandra membranacea*
Griseb.
LAURACEAE



78 *Nectandra membranacea*
Griseb.
LAURACEAE



79 *Blakea subvaginata* Wurdack
MELASTOMATACEAE



80 *Blakea subvaginata* Wurdack
MELASTOMATACEAE



81 *Blakea subvaginata* Wurdack
MELASTOMATACEAE



82 *Ficus cuatrecasiana*
Dugand
MORACEAE



83 *Ficus cuatrecasiana*
Dugand
MORACEAE



84 *Ficus tonduzii* Standl.
MORACEAE



85 *Ficus tonduzii* Standl.
MORACEAE



86 *Morus insignis* Bureau
MORACEAE



87 *Morus insignis* Bureau
MORACEAE



88 *Myrcia splendens* DC.
MYRTACEAE



89 *Myrcia splendens* DC.
MYRTACEAE



90 *Podocarpus oleifolius* D. Don
PODOCARPACEAE

ÁRBOLES



91 *Podocarpus oleifolius* D.Don

PODOCARPACEAE



92 *Prumnopitys harmsiana* (Pilg.) de Laub.

PODOCARPACEAE



93 *Prumnopitys harmsiana* (Pilg.) de Laub.

PODOCARPACEAE



94 *Prumnopitys harmsiana* (Pilg.) de Laub.

PODOCARPACEAE



95 *Prumnopitys harmsiana* (Pilg.) de Laub.

PODOCARPACEAE



96 *Roupala monosperma* I.M.Johnst.

PROTEACEAE



97 *Roupala monosperma* I.M.Johnst.

PROTEACEAE



98 *Posoqueria* cf. *coriacea* subsp. *maxima* (Standl.) Steyerm.

RUBIACEAE



99 *Posoqueria* cf. *coriacea* subsp. *maxima* (Standl.) Steyerm.

RUBIACEAE



100 *Posoqueria* cf. *coriacea* subsp. *maxima* (Standl.) Steyerm.

RUBIACEAE



101 *Randia* sp.

RUBIACEAE



102 *Randia* sp.

RUBIACEAE



103 *Randia* sp.

RUBIACEAE



104 *Tocoyena* sp.

RUBIACEAE



105 *Tocoyena* sp.

RUBIACEAE

ÁRBOLES



106 *Tocoyena* sp.
RUBIACEAE



107 *Neosprucea grandiflora*
(Spruce ex Benth.) Sleumer
SALICACEAE



108 *Neosprucea grandiflora*
(Spruce ex Benth.) Sleumer
SALICACEAE



109 *Neosprucea grandiflora*
(Spruce ex Benth.) Sleumer
SALICACEAE



110 *Chrysophyllum* sp.
SAPOTACEAE



111 *Chrysophyllum* sp.
SAPOTACEAE



112 *Turpinia occidentalis* (Sw.)
G. Don
STAPHYLEACEAE



113 *Turpinia occidentalis* (Sw.)
G. Don
STAPHYLEACEAE



114 *Cecropia* sp.
URTICACEAE



115 *Cecropia* sp.
URTICACEAE



116 *Cecropia* sp.
URTICACEAE



117 *Coussapoa* sp.
URTICACEAE



118 *Coussapoa* sp.
URTICACEAE



119 *Pourouma bicolor* Mart.
URTICACEAE



120 *Pourouma bicolor* Mart.
URTICACEAE

ARBUSTOS



121 *Aphelandra* sp.

ACANTHACEAE



122 *Aphelandra* sp.

ACANTHACEAE



123 *Centropogon* sp.

CAMPANULACEAE



124 *Centropogon* sp.

CAMPANULACEAE



125 *Siphocampylus giganteus*
G. Don

CAMPANULACEAE



126 *Siphocampylus giganteus*
G. Don

CAMPANULACEAE



127 *Siphocampylus scandens*
(Kunth) G. Don

CAMPANULACEAE



128 *Siphocampylus scandens*
(Kunth) G. Don

CAMPANULACEAE



129 *Podandrogynae* cf. *napoensis*
Cochrane

CLEOMACEAE



130 *Podandrogynae* cf. *napoensis*
Cochrane

CLEOMACEAE



131 *Kohleria affinis* (Fritsch)
Roalson & Boggan

GESNERIACEAE



132 *Kohleria affinis* (Fritsch)
Roalson & Boggan

GESNERIACEAE



133 *Thibaudia harlingii* Luteyn

ERICACEAE



134 *Thibaudia harlingii* Luteyn

ERICACEAE



135 *Semiramisia speciosa*
Klotzsch

ERICACEAE

ARBUSTOS



136 *Semiramisia speciosa*
Klotzsch
ERICACEAE



137 *Semiramisia speciosa*
Klotzsch
ERICACEAE



138 *Hydrangea* sp.
HYDRANGEACEAE



139 *Hydrangea* sp.
HYDRANGEACEAE



140 *Piper* aff. *obliquum* Ruiz &
Pav.
PIPERACEAE



141 *Piper* cf. *imperiale* C.DC.
PIPERACEAE



142 *Piper* cf. *imperiale* C.DC.
PIPERACEAE



143 *Cybianthus* sp.
PRIMULACEAE



144 *Cybianthus* sp.
PRIMULACEAE



145 *Cybianthus* sp.
PRIMULACEAE



146 *Arachnothryx cupreiflora*
(K.Schum. & K.Krause)
Steyerm.
RUBIACEAE



147 *Arachnothryx cupreiflora*
(K.Schum. & K.Krause)
Steyerm.
RUBIACEAE



148 *Hoffmannia* cf. *latifolia*
(Bartl. ex DC.) Kuntze
RUBIACEAE



149 *Hoffmannia* cf. *latifolia*
(Bartl. ex DC.) Kuntze
RUBIACEAE



150 *Hoffmannia* cf. *latifolia*
(Bartl. ex DC.) Kuntze
RUBIACEAE

ARBUSTOS



151 *Palicourea* cf. *demissa* Standl.
RUBIACEAE



152 *Palicourea* cf. *demissa* Standl.
RUBIACEAE



153 *Palicourea* sp.
RUBIACEAE



154 *Palicourea* sp.
RUBIACEAE



155 *Psychotria brachiata* Spreng. ex DC.
RUBIACEAE



156 *Psychotria brachiata* Spreng. ex DC.
RUBIACEAE



157 *Psychotria brachiata* Spreng. ex DC.
RUBIACEAE



158 *Randia* sp.
RUBIACEAE



159 *Randia* sp.
RUBIACEAE



160 *Siparuna cascada* S.S. Renner & Hausner
SIPARUNACEAE



161 *Siparuna cascada* S.S. Renner & Hausner
SIPARUNACEAE



162 *Solanum* sp. 1
SOLANACEAE



163 *Solanum* sp. 1
SOLANACEAE



164 *Solanum* sp. 2
SOLANACEAE



165 *Solanum* sp. 2
SOLANACEAE

ENREDADERAS - TREPADORAS



166 *Bomarea* sp.

ALSTROEMERIACEAE



167 *Bomarea* sp.

ALSTROEMERIACEAE



168 *Dioscorea* sp.

DIOSCOREACEAE



169 *Gurania eriantha* (Poepp. & Endl.) Cogn.

CUCURBITACEAE



170 *Gurania eriantha* (Poepp. & Endl.) Cogn.

CUCURBITACEAE



171 *Marcgravia* sp.

MARCGRAVIACEAE



172 *Passiflora riparia* Mart. ex Mast.

PASSIFLORACEAE



173 *Passiflora riparia* Mart. ex Mast.

PASSIFLORACEAE



174 *Passiflora* sp.

PASSIFLORACEAE



175 *Passiflora* sp.

PASSIFLORACEAE

PALMAS



176 *Ceroxylon echinulatum*
Galeano
ARECACEAE



177 *Ceroxylon echinulatum*
Galeano
ARECACEAE



178 *Ceroxylon vogelianum*
H.Wendl.
ARECACEAE



179 *Ceroxylon vogelianum*
H.Wendl.
ARECACEAE



180 *Geonoma* cf. *undata*
Klotzsch
ARECACEAE

Agradecimientos

Agradecemos la valiosa colaboración y aporte de la Fundación de Conservación Jocotoco Ecuador para la expedición botánica, al equipo técnico del Herbario “Reinaldo Espinosa” por el apoyo en la planificación de actividades, levantamiento de información de campo e identificación de los taxones recolectados. A los botánicos ecuatorianos Xavier Cornejo S., Álvaro Pérez C. y Danilo Minga O. por su importante contribución en la revisión y corrección del manuscrito.

Bibliografía

- Aguirre Mendoza, Z., Madsen J.E., Cotton, E. & Balslev, H. (2002). Botánica Austroecuatoriana. Estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe. Quito-Ecuador. Bromelias Society International. (s.f.). Journal of the Bromeliad Society. <https://www.bsi.org/new/>
- Gentry, A. (1993). A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Perú). Washington, DC. ISBN 1-881173-01-1
- Gentry, A. (1977). Flora of Ecuador Bignoniaceae. (N° 7. Vol. 78). Department of Systematic Botany, University of Göteborg (pp. 143-156). ISBN 9154602300
- Harling, G. (1999). Flora of Ecuador Cunoniaceae. (N° 61. Vol. 78). Department of Systematic Botany, University of Göteborg. ISBN 87-88702-66-9
- Harling, G. & Neuendorf, M. (2003). Flora of Ecuador Alstroemeriaceae. (N° 71. Vol. 200). Department of Systematic Botany, University of Göteborg (pp. 3-108). ISBN 87-88702-66-9
- Holm-Nielsen, L., Jørgensen, P. & Lawesson, J. (1988). Flora of Ecuador Passifloraceae. (N° 31. Vol. 126). Department of Systematic Botany, University of Göteborg (pp. 114-117). ISBN 87-88702-27-8
- Henderson, A., Galeano, G. & Bernal R. (1995). Field Guide to the Palms of the Americas. Princeton University Press. USA.
- Instituto Nacional de Biodiversidad. (2023). Base Nacional de Datos de Biodiversidad. <https://bndb.sisbioecuador.bio/bndb/index.php>
- Jørgensen, P. & León-Yáñez, S. (1999). Catalogue of Vascular Plants of Ecuador. Missouri Botanical Garden. San Louis. Missouri. USA.
- León-Yáñez S. Valencia R. Pitman N. Endara L. Ulloa Ulloa C. & Navarrete H. (2011). Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Ecuador. 2ª edn. Publicaciones del Herbario QCA. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.
- Minga, D., Guzmán, N. & Jiménez, M. (2019). Árboles de los bosques de las estribaciones orientales de la cuenca del río Paute. Universidad del Azuay. Imprenta Digital Univeersidad del Azuay. Cuenca.
- Pennington, T. (2007). Flora of Ecuador Sapotaceae (N° 80. Vol. 152). Department of Systematic Botany, University of Göteborg (pp. 147-178). ISBN 978-91-85529-02-5
- Renner, S. (1997). Flora of Ecuador Siparunaceae. (N° 59. Vol. 49A). Department of Systematic Botany, University of Göteborg (pp. 3-98). ISBN 87-88702-42-1
- Tropicos.org. (2023). Missouri Botanical Garden. <https://tropicos.org>

Valencia, R., Montúfar, R., Navarrete, H. & Balslev, H. (2013). *Palmas Ecuatorianas: Biología y Uso Sostenible*. 1ª edn. Publicaciones del Herbario QCA. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.

World Flora Online Plant List. (2022). Explore the data. <https://wfoplantlist.org/plant-list/>

Wurdack, J. (1980). *Flora of Ecuador Melastomataceae* (N° 13, Vol. 138). Department of Systematic Botany, University of Göteborg (pp. 352-376). ISBN 91 546 0281 5

Revisores

- Blgo. Francisco Xavier Cornejo Sotomayor. Docente y Curador del Herbario GUAY, Universidad de Guayaquil.
- Blgo. Alvaro X. Pérez Castañeda. Curador del Herbario Quito Católica (QCA). Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Blgo. Danilo A. Minga Ochoa. Docente y Curador del Herbario Azuay (HA). Universidad del Azuay.



1859

unl

Universidad
Nacional
de Loja

Revista científica digital de publicación periódica semestral, editada por docentes de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, cuyo objetivo es contribuir al conocimiento científico y tecnológico, con enfoque multidisciplinario en los campos de la Silvicultura, Recursos Naturales Renovables, Producción Forestal, Biodiversidad, Productos Forestales Maderables y No Maderables, Tecnologías de la Madera, Cuencas Hidrográficas, Recursos Hídricos, Industrias Forestales, Agroforestería y Silvopasturas, Desarrollo Socioeconómico Rural, Genética y mejoramiento Forestal-Agrícola, Plagas y Enfermedades Agrícolas, Ordenamiento Territorial, Restauración Ecológica y Cambio Climático, entre otros, aportando al desarrollo y fortalecimiento de la investigación en el país.

“**Bosques Latitud Cero**” publica trabajos originales, bajo la responsabilidad de sus autores de temas académicos y de investigación científica. Es un espacio para la difusión y transferencia de resultados de conocimiento e innovación, cuya cobertura temática va dirigida a profesionales y estudiantes que gustan de estas ciencias.

Volumen 13, Número 2

ISSNE: 2528-7818

Periodicidad: Semestral

Publicación: Digital

Dirección: Av. Pío Jaramillo Alvarado y Reinaldo Espinosa,
La Argelia

PBX: (593) 07 - 2547252

Página Web: www.revistas.unl.edu.ec

e-mail: bosqueslatitudcero@unl.edu.ec

Indizada/Resumida en Latindex-Catálogo 2.0

Folio: 16056

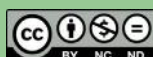
2023

Esta obra está sujeta a la licencia Reconocimiento No Comercial/Sin Obra Derivada 4.0 Internacional de Creative Commons.

Para ver una copia de esta licencia visite:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

LOJA-ECUADOR



REVISTA INDEXADA
BOSQUES LATITUD CERO



Diseño, Diagramación y Portada:

Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo

Diseño de logotipo:

Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo

Fotografía:

Universidad Nacional de Loja

Revisión de Abstract:

Ing. Clemencia Herrera

Institución Editora:

Universidad Nacional de Loja

Código Postal:

110150

Ciudad: Loja

Parroquia: San Sebastián

Teléfono: (+593) 07 - 2547275

**HERBARIO REINALDO ESPINOSA
LA ARGELIA LOJA - ECUADOR**