

## Monitoreo del crecimiento en un ensayo de restauración de matorral andino

*Efectos de la adición de nutrientes sobre la diversidad taxonómica y funcional de briófitos en bosques montanos tropicales*



# 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, Germany*

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. Alberto Julca Otiniano

*Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú*

PhD. Patricio Castro Quezada

*Universidad de Cuenca*

PhD. Mario Añazco Romero

*Universidad Técnica del Norte*

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*

Ing. Vladimir Placencia

*Ministerio del Ambiente Ecuador*

## **Nutrición de las plantas fundamental en la biodiversidad**

La nutrición vegetal es vital para el crecimiento y desarrollo de las plantas, asegura que las plantas tengan los nutrientes necesarios para su desarrollo, lo que a su vez conduce a un mayor rendimiento en ecosistemas naturales o agroecosistemas como el caso de los cultivos. Los aportes nutritivos que reciben las plantas tienen una relación directa con el balance biológico y la presencia en niveles adecuados de macro y microelementos que define la fertilidad del suelo, aspecto crucial para la sostenibilidad.

La nutrición es importante en el mantenimiento del equilibrio y la salud de los ecosistemas. Todos los organismos vivos, incluidas las plantas y los animales, requieren una fuente de nutrición para sobrevivir y prosperar. En un ecosistema, esta nutrición fluye a través de una variedad de medios que conforman las cadenas tróficas, inicia en las plantas pasa a los animales y llega hasta el hombre.

La nutrición es fundamental para la supervivencia y reproducción de los organismos, y tiene un papel fundamental en la dinámica de las poblaciones, la falta de un nutriente específico puede provocar una disminución de la población, mientras que la abundancia de una determinada fuente de alimentos puede provocar un auge demográfico. Estas fluctuaciones en la población pueden tener un efecto dominó en todo el ecosistema, afectando a otras especies y al equilibrio general del ecosistema. Además, la disponibilidad de nutrientes también afecta la diversidad del ecosistema, en un ecosistema con una amplia variedad de fuentes de alimentos, habrá mayor diversidad de especies presentes, esta diversidad es esencial para la resiliencia y la estabilidad de los ecosistemas. Cuando un ecosistema tiene una gran variedad de especies, es más probable que pueda soportar perturbaciones como desastres naturales, brotes de enfermedades y actividades humanas.

En conclusión, la nutrición es un aspecto esencial de los ecosistemas. Desempeña un papel fundamental en la supervivencia y reproducción de los organismos, la dinámica de las poblaciones y la diversidad de los ecosistemas. Una nutrición adecuada permitirá mantener el equilibrio y la salud de los ecosistemas, y es importante proteger y preservar los hábitats naturales y las fuentes de alimentos para garantizar la salud a largo plazo de estos ecosistemas.

*Vinicio Alvarado Jaramillo.*

# ÍNDICE

Comportamiento de <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb. en sistemas agroforestales, de la zona de Intag, noroccidente del Ecuador Hugo Vallejos - Álvarez, Ima Sánchez de Céspedes, Jorge Ramírez - López	1
Estudio fenológico de <i>Cinchona pubescens</i> Vahl. en dos ecosistemas forestales, Intag, Imbabura Jorge Cué-García, Jorge Ramírez-López, Cristian Changoluisa-Tumbaco, Miguel Quilismal-Paguay, Hugo Vallejos-Álvarez, Hugo Paredes-Rodríguez, Andrés Carrión-Burgos	11
Efectos de la adición de nutrientes sobre la diversidad taxonómica y funcional de briófitos en bosques montanos tropicales José Macas-Serrano, Jürgen Homeier, Fausto López, Ángel Benítez	25
Propuesta de riego para predios del sector Chariguiña de la parroquia San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, provincia de Loja. Edison Ramiro Vásquez, Elvis Erreyes-Armijos, Génesis Vásquez-Rodríguez	37
Enmienda de cal en suelos degradados por la ganadería en la parroquia Panguintza, cantón Zumbi, provincia de Zamora Chinchipe Marconi Mora Erraez, Edison Vásquez	49
Monitoreo del crecimiento en un ensayo de restauración de matorral andino en la hoya de Loja, Ecuador. Leonardo González, Luis Muñoz, Vanessa Granda, Zhofre Aguirre	68
Evaluación de tratamientos pre-germinativos en semillas de <i>Juglans neotropica</i> Diels. en el norte del Ecuador. Jorge Ramírez-López, Hugo Vallejos-Álvarez, Mario Añazco-Romero	83

# INDEX

Behavior of <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb. in agroforestry systems, from the Intag area, northwestern Ecuador	1
Hugo Vallejos - Álvarez, Ima Sánchez de Céspedes, Jorge Ramírez - López	
Phenological study of <i>Cinchona pubescens</i> Vahl. in two forest ecosystems, Intag, Imbabura.	11
Jorge Cué-García, Jorge Ramírez-López, Cristian Changoluisa-Tumbaco, Miguel Quilismal-Paguay, Hugo Vallejos-Álvarez, Hugo Paredes-Rodríguez, Andrés Carrión-Burgos	
Effects of nutrient addition on the taxonomic and functional diversity of bryophytes in tropical montane forests	25
José Macas-Serrano, Jürgen Homeier, Fausto López, Ángel Benítez	
Irrigation proposal for farms in the Chariguiña sector of the San Antonio de Cumbe neighborhood, Saraguro canton, Loja province.	37
Edison Ramiro Vásquez, Elvis Erreyes-Armijos, Génesis Vásquez-Rodríguez	
Lime amendment in soils degraded by livestock in the Panguintza parish, Zumbi canton, Zamora Chinchipe province	49
Marconi Mora Erraez, Edison Vásquez	
Growth monitoring in an Andean scrub restoration trial in Loja, Ecuador.	68
Leonardo González, Luis Muñoz, Vanessa Granda, Zhofre Aguirre	
Evaluation of pre-germination treatments in <i>Juglans neotropica</i> Diels seeds. in the north of Ecuador.	83
Jorge Ramírez-López, Hugo Vallejos-Álvarez, Mario Añazco-Romero	

Comportamiento de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en sistemas agroforestales, de la zona de Intag, noroccidente del Ecuador

Behavior of *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. in agroforestry systems, from the Intag area, northwestern Ecuador

Hugo Vallejos - Álvarez <sup>1\*</sup>



Ima Sánchez de Céspedes <sup>2</sup>



Jorge Ramírez - López <sup>3</sup>



<sup>1</sup>Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

<sup>2</sup>Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

<sup>3</sup>Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

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

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1609>

Recibido: 10/09/2022

Aceptado: 12/12/2022

## RESUMEN

La disminución de la productividad de los sistemas agrícolas, ha motivado a los agricultores a complementarlos, introduciendo especies maderables, que proveen de bienes y servicios adicionales. La presente investigación evaluó el comportamiento de *Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam., en cuatro sistemas agroforestales - (SAF). El estudio se realizó en el sector Conrralá, parroquia Peñaherrera, Cotacachi, Imbabura. Se utilizaron 96 individuos distribuidos en linderos en asocio con diferentes cultivos, a un distanciamiento de 7 m. Se realizaron mediciones mensuales de las variables: sobrevivencia, diámetro basal, altura, diámetro de copa y estado sanitario. Para la comparación entre los sistemas se usó la prueba de Kruskal Wallis. El diámetro basal de la especie presentó valores superiores en el SAF1 desde el primer mes, siendo las diferencias con el resto de sistemas evaluados estadísticamente significativas. La variable altura no presentó diferencias significativas en los cuatro sistemas hasta el segundo mes, momento en el que se registra un rezago significativo de altura en el SAF4. A partir del mes 10, la variable muestra mayores incrementos en el SAF1. No se registraron diferencias significativas de la variable diámetro de copa hasta el segundo mes del ensayo, cuando los individuos del SAF4 empezaron a relegarse de manera significativa frente al resto de sistemas analizados. El SAF1 mostró valores promedio mayores en todas las variables analizadas; no obstante, presentó la menor sobrevivencia de los cuatro sistemas analizados, el SAF2 mostró mortalidad en el primer mes, sin existir registro de pérdida de individuos hasta el final del ensayo.

**Palabras claves:** variables dasométricas, balsa, asocio, árboles en lindero

## ABSTRACT

The decrease in the productivity of agricultural systems has motivated farmers to complement them, introducing timber species, which provide additional goods and services. This research evaluated the behavior of *Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam., in four agroforestry systems – (SAF). The study was carried out in the Conrralá sector, Peñaherrera parish, Cotacachi, Imbabura. 96 individuals were used, distributed on boundaries in association with different crops, at a distance of 7 m. Monthly measurements of the variables were made: survival, basal diameter, height, crown diameter and health status. For the comparison between the systems, the Kruskal Wallis test was used. The basal diameter of the species presented higher values in the SAF1 from the first month, the differences with the rest of the evaluated systems being statistically significant. The height variable did not present significant differences in the four systems until the second month, at which time a significant height lag was recorded in SAF4. As of month 10, the variable shows greater increases in SAF1. No significant differences were recorded in the crown diameter variable until the second month of the trial, when individuals from SAF4 began to be significantly relegated compared to the rest of the systems analyzed. The SAF1 showed higher average values in all the variables analyzed; however, it presented the lowest survival of the four systems analyzed, the SAF2 showed mortality in the first month, with no record of loss of individuals until the end of the trial.

**Keywords:** dasometric variables, raft, association, trees on the edge

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador los bosques naturales aportan con el 12 % de la madera aprovechada, las plantaciones forestales el 65 %, otras formaciones el 2 % y los sistemas agroforestales el 21 % (Mejía y Pacheco, 2013); teniendo en cuenta que la madera que se extrae de bosques naturales es cada vez más escasa (Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2010), es por ello que la agroforestería se convierte en un pilar fundamental para lograr dichos objetivos, además de proveer variedad de productos y servicios, ayuda a la conservación del suelo y el agua (Detlefsen y Somarriba 2012; Torres et al., 2015).

Morán (2015) menciona que, para complementar la productividad del sistema agroforestal, en el cantón Jipijapa provincia de Manabí – Ecuador, el 100 % de los agricultores tiene árboles en sus fincas, de ellos el 48 % los utilizan como linderos, el 40 % tienen bosque, el 12% ubican a los árboles en asociación con cultivos. Las especies forestales más usadas en las parcelas corresponden al laurel (*Cordia alliodora* Ruiz & Pav.), algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.), cedro (*Cedrela odorata*; L.), guaba (*Inga edulis* Mart.), caoba (*Swietenia macrophylla* King), samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr.), balsa (*Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam.) Urb., pepito colorado (*Erythrina velutina* Wild.) y pachaco (*Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake), (Francis, 1991; Elias de Melo, 2005).

Según Galarza (2009) *Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam., se encuentra en México, Costa Rica, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Brasil y Paraguay; en Ecuador se distribuye en la región costera, en la amazonía, y es uno de los principales comercializadores de madera de balsa ya que en la zona subtropical se presentan condiciones geográficas y climáticas óptimas para su desarrollo. La mayor producción se concentra en las provincias de Guayas, El Oro, Los Ríos, Esmeraldas y Pichincha (González et al., 2008; Molina, 2020; citado por Jiménez et al., 2017), es uno de los rubros económicos de importancia en la economía del país (Villacís, 2012). En el año 2011 la exportación de madera

de balsa alcanzó las 7,266 toneladas, lo que representó para Ecuador ingresos por alrededor de 30 millones de dólares. La producción de madera de balsa se la realiza mayoritariamente sin un manejo silvicultural (Cuadros, 2013). Los datos de exportaciones generados por el Banco Central, determina un incremento entre los años 2009 al 2014 esto debido a la demanda de productos terminados de balsa en mercados internacionales (Cioppo & Carrera, 2015; WWF- Ecuador, 2022).

El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento de *Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam, en sistemas agroforestales, debido a que es una especie de importancia económica y ambiental del lugar, por lo que brinda sombra para los cultivos y ganado, se tiene producción de madera, ayuda a la protección y recuperación de los suelos (Luzuriaga et al., 2012), los finqueros asocian con cultivos agrícolas (p. ej. Yuca, plátano, orito, maíz, frejol, café) que ayudan para disminuir los costos de manejo del primer año de la plantación (Galarza, 2009); la información técnica de su rendimiento obtenida en la investigación, les permite a los silvicultores de la zona tomar decisiones oportunas para el manejo silvicultural del sistema agroforestal.

El estudio se realizó en el sector Conrralá, parroquia Peñaherrera, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, Ecuador. El sitio de estudio se ubica en las coordenadas 0° 20' 51" latitud N y -78° 31' 49" longitud W, a 1620 msnm. La temperatura y precipitación media anual es de 17,50 °C y 1500 mm respectivamente. Los meses más lluviosos son de diciembre a mayo, mientras que los meses de menor precipitación comprenden de junio a noviembre (GAD Peñaherrera, 2015).

Los materiales y equipos que se utilizaron en la investigación son: matriz de toma de datos, estacas de madera, brújula, cinta métrica, calibrador, machete, hoyadora. Se aplicó insumos como abono orgánico (Eco bonaza) abono químico (18 – 46 – 0) al momento de la plantación.

Se evaluó el comportamiento de *Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam. en cuatro sistemas agroforestales - SAF, para lo cual se utilizaron 96 individuos distribuidos en linderos de los SAF (Tabla 1), a un distanciamiento de 7 m.

Tabla 1. Sistemas agroforestales evaluados

N°	Sistema Agroforestal – SAF	Especie a evaluar	Número de individuos
SAF1	Café – aguacate	<i>Ochroma pyramidale</i> Cav. ex Lam.	22
SAF2	Café – leucaena	<i>Ochroma pyramidale</i> Cav. ex Lam.	21
SAF3	Café – plátano	<i>Ochroma pyramidale</i> Cav. ex Lam.	30
SAF4	Café – cítricos	<i>Ochroma pyramidale</i> Cav. ex Lam.	23

Las variables que se midieron durante 12 meses fueron: sobrevivencia, diámetro basal, altura, diámetro de copa, incremento corriente anual (ICA) y estado sanitario. Para la comparación de las variables cuantitativas entre los sistemas se usó la prueba de Kruskal Wallis, al no cumplir con los, supuestos paramétricos de normalidad (Shapiro Wilks,  $\alpha$ : 0,05) y homocedasticidad (Levene: 0,05).

## RESULTADOS

### Diámetro basal

El diámetro basal de la especie presentó valores superiores 4,92 cm en el SAF1 desde el primer mes de evaluación (Figura 1); al finalizar el ensayo las diferencias con el resto de sistemas evaluados son estadísticamente significativas (Kruskal Wallis,  $\alpha = 0,05$ ) (Tabla 2).

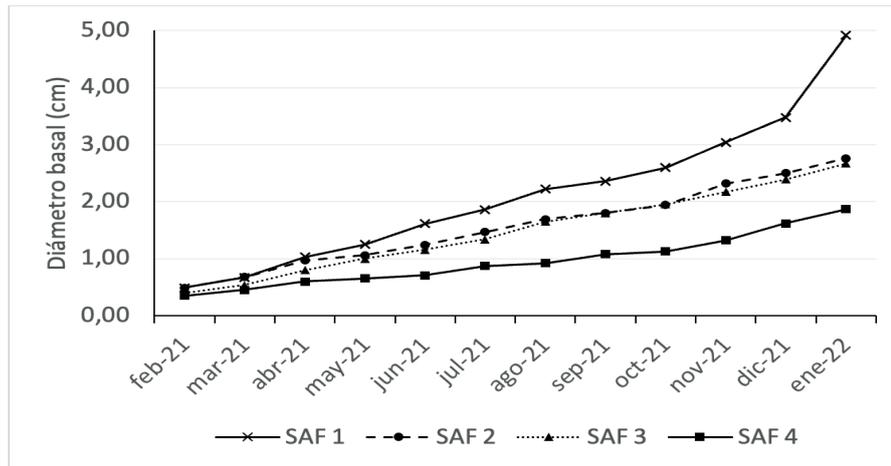


Figura 1. Crecimiento diámetro basal de balsa en los cuatro sistemas agroforestales estudiados

Tabla 2. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis para la variable diámetro basal (rangos)

Sistema	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	0,36 (a)	0,46 (a)	0,62 (a)	0,67 (a)	0,73 (a)	0,87 (a)	0,92 (a)	1,08 (a)	1,13 (a)	1,32 (a)	1,62 (a)	1,87 (a)
3	0,40 (a)	0,55 (a)	0,80 (b)	1,00 (b)	1,17 (b)	1,34 (b)	1,65 (b)	1,80 (b)	1,95 (b)	2,17 (b)	2,39 (b)	2,67 (b)
2	0,49 (b)	0,68 (b)	0,97 (c)	1,06 (b)	1,24 (bc)	1,47 (bc)	1,69 (b)	1,80 (b)	1,94 (b)	2,32 (b)	2,50 (bc)	2,76 (b)
1	0,51 (b)	0,68 (b)	1,03 (c)	1,25 (b)	1,61 (c)	1,86 (c)	2,22 (b)	2,36 (b)	2,60 (b)	3,04 (b)	3,48 (c)	4,92 (c)

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Altura

No se presentaron diferencias significativas en altura de la especie en los cuatro sistemas agroforestales evaluados hasta el segundo mes, tiempo en el que se registra un rezago significativo en el SAF4; a partir del mes 10, en promedio la variable muestra mayor incremento en el SAF1; sin embargo, en los dos últimos meses del ensayo no se pudieron establecer diferencias estadísticas debido al incremento de la desviación estándar en todos los sistemas (Tabla 3), presentando un crecimiento al año de plantación de 172,65 cm (Figura 2).

Tabla 3. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis para la variable altura (m)

Sistema	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	6,6 (a)	8,9 (a)	14,0 (a)	21,6 (a)	25,8 (a)	35,2 (a)	39,2 (a)	44,0 (a)	49,0 (a)	58,9 (a)	73,7 (a)	86,24 (a)
3	7,9 (a)	11,1 (a)	23,3 (b)	35,7 (b)	46,9 (b)	53,6 (b)	66,3 (a)	74,4 (b)	82,5 (b)	91,7 (b)	101,4 (a)	109,0 (a)
2	8,8 (a)	12,8 (a)	22,6 (b)	33,7 (b)	40,8 (b)	56,0 (b)	63,5 (b)	71,0 (b)	76,5 (b)	85,6 (b)	99,2 (a)	111,2 (a)
1	7,1 (a)	9,6 (a)	22,8 (b)	36,2 (b)	49,0 (b)	59,5 (b)	65,0 (b)	75,4 (b)	85,0 (b)	101,1 (b)	130,4 (a)	172,6 (a)

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

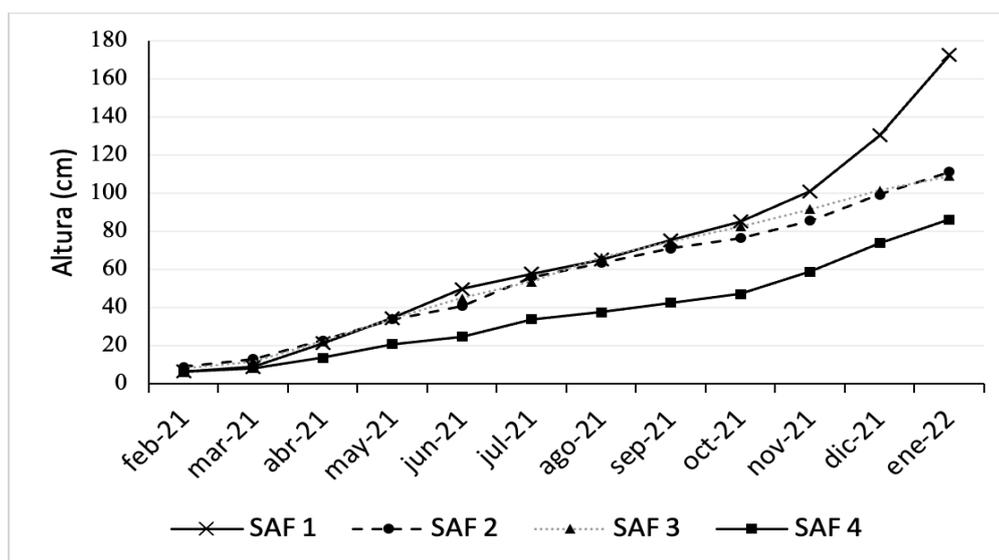


Figura 2. Incremento de la altura de balsa en los cuatro sistemas agroforestales estudiados

### Diámetro de copa

No se registraron diferencias significativas en diámetro de copa hasta el segundo mes del ensayo, en donde los individuos del SAF4 empezaron a relegarse de manera significativa frente a los del resto de sistemas analizados, (Tabla 4). Desde el mes cinco y hasta el final del ensayo, los individuos del SAF1 mostraron mayores incrementos 142,06 cm (Figura 3), pese a ello, la diferencia con los individuos del SAF2 no llegó a ser significativa.

Tabla 4. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis para el diámetro de copa (cm)

Sistema	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	11,7 (a)	14,5 (a)	18,5 (a)	23,0 (a)	26,8 (a)	34,1 (a)	37,0 (a)	40,6 (a)	44,5 (a)	51,8 (a)	64,9 (a)	73,82 (a)
	12,5 (a)	19,5 (b)	27,8 (b)	35,2 (b)	40,8 (b)	47,5 (b)	55,9 (b)	61,5 (b)	65,8 (b)	71,0 (b)	82,5 (b)	93,5 (ab)
3	15,7 (a)	27,1 (bc)	40,5 (c)	51,8 (c)	57,6 (c)	63,4 (c)	65,7 (bc)	70,2 (bc)	74,3 (bc)	79,2 (bc)	87,4 (bc)	100,8 (bc)
	13,0 (a)	21,3 (c)	40,8 (c)	54,2 (c)	66,9 (c)	73,0 (c)	77,8 (c)	83,5 (c)	89,7 (c)	100,5 (c)	126,7 (c)	142,0 (c)

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

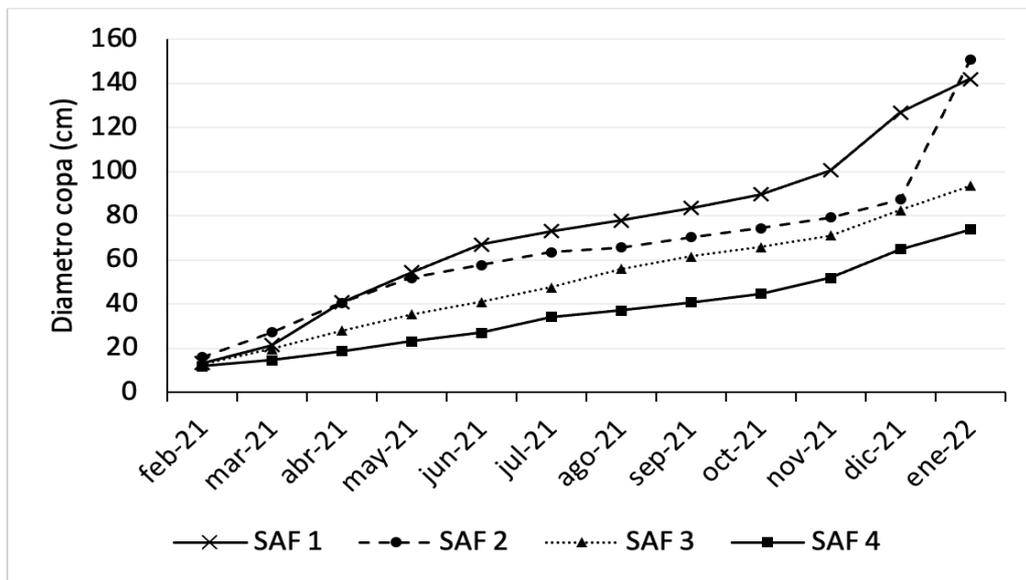


Figura 3. Crecimiento del diámetro de copa de balsa en los cuatro sistemas agroforestales estudiados

### Sobrevivencia

La sobrevivencia presentó distintos valores en cada uno de los sistemas agroforestales estudiados, en el SAF1 mostró valores promedio mayores en todas las variables analizadas; no obstante, expresó la menor sobrevivencia de los cuatro sistemas analizados. La mortalidad del sistema mencionado empezó en el segundo mes del ensayo y se estabilizó en el mes siguiente. En contraste, el SAF2 mostró mortalidad solo en el primer mes, sin existir registro de pérdida de individuos hasta el final del ensayo obteniendo 85 % de sobrevivencia (Figura 4).

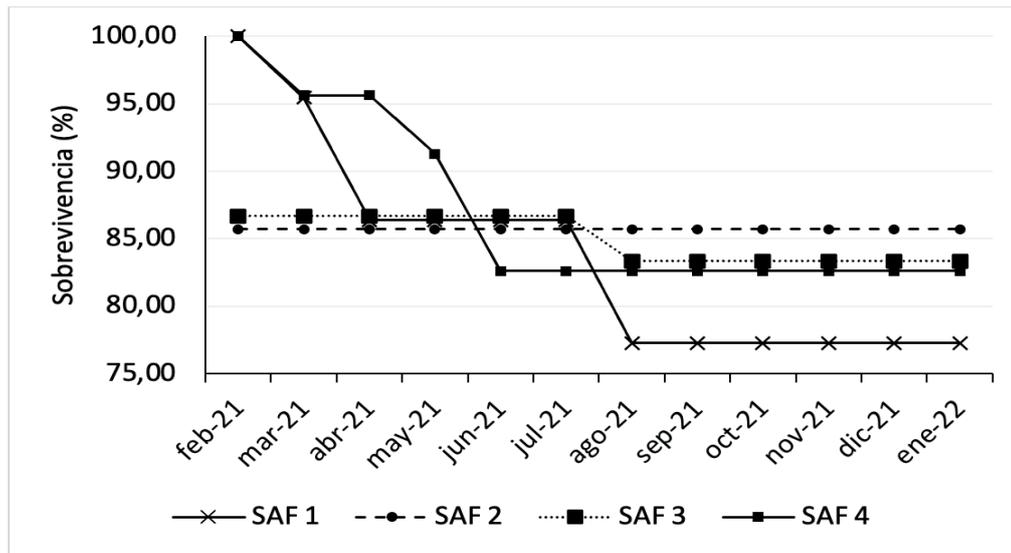


Figura 4. Sobrevivencia de balsa en los SAF estudiados

## DISCUSIÓN

### Diámetro basal

El crecimiento en diámetro basal de *Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam., obtenido en la presente investigación es inferior al registrado por Toledo et al. (2016) en el estudio realizado en Chiapas – México, en donde presenta un valor de 10,2 cm en plantación pura al año de su establecimiento; esta diferencia se puede atribuir a que en el sitio de la investigación las condiciones climáticas no son las óptimas; sin embargo, los resultados muestran que en asociación con el sistema agroforestal café - aguacate beneficia su incremento.

### Altura

Almagro de la Cueva (2013) en el estudio de crecimiento inicial de balsa, determinó un promedio mensual de 1,24 m de altura para procedencias de Ecuador y Colombia; Del Valle (2021) menciona que el crecimiento de *Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam., en el cantón Empalme provincia del Guayas, en altura durante su primer año fue de 4,14 m; mientras que Toledo (2016) obtuvo un crecimiento de 74,4 cm al año de establecido la plantación en unidades experimentales; Fernández (2012) obtiene un promedio de 7,12 m a los seis meses de plantación con fertilización (abono completo: N,P,K, Ca, Mg); Mendoza (2012) menciona que en buenas condiciones de sitio se pueden lograr crecimientos de 9 m de altura al año de plantación. Siendo estos datos superiores al registrado en la presente investigación, sin embargo, el crecimiento obtenido demuestra que esta especie es una opción para estos lugares y pueden ser ubicadas en prácticas agroforestales como linderos, permitiendo al agricultor obtener beneficios económicos, eco sistémicos y maderables a corto y mediano tiempo; es así que Osorio et al. (2010) indica que el beneficio neto por la venta de la madera de balsa es de \$ 3 522,94/ha; entregando directamente a las empresas exportadoras (Cioppo, & Carrera, 2015).

## Diámetro de copa

El crecimiento registrado en las condiciones evaluadas es el óptimo para el primer año de edad; el dimensionado de esta variable es de interés por distintos motivos en la gestión forestal: planificación de tratamientos silvícolas; calidad de madera a futuro por la presencia de más o menos nudos; capacidad de intersección lluvias y protección del suelo; conocimiento de la capacidad fotosintética, fijación de CO<sub>2</sub>, producción de frutos; por lo que según, Doumet, Ruiz, Sánchez (2021), estos motivos inciden en la toma de decisiones, tanto por los silvicultores, distribuidores y clientes de la semilla como de la plántula e incurriendo en mejorar la competitividad y eficiencia.

## Sobrevivencia

Investigaciones realizadas con balsa han obtenido sobrevivencias del 94,4% y 91,7% en plantaciones con 625 plantas/ha y 500 plantas/ha respectivamente (Almagro de la Cueva, 2013). Según Del Valle (2021), el porcentaje de sobrevivencia durante su primer año tuvo un promedio final de 97,33%/ha, lo que significa 1080 árboles por hectárea. Toledo (2016) menciona que la sobrevivencia fue del 88,8% al año de establecido la plantación en unidades experimentales. Resultados que son superiores a los obtenidos en este estudio, se puede atribuir al proceso de adaptación de la planta a las condiciones edafoclimáticas del sitio; ya que Galarza (2009) sostiene que: en Ecuador la balsa se desarrolla en sitios con elevaciones bajas a medianas desde 0 a 1200 msnm, aunque puede encontrarse hasta 2000 msnm, con temperaturas de 20-30 °C y climas cálidos húmedos; mientras que la precipitación oscila entre 1500 – 3000 mm, pudiendo soportar 5000 mm, Moreira (2013), Rizzo (2007) señalan que los suelos recomendados para el cultivo de balsa deben tener buen drenaje, alta MO y CIC, buena disponibilidad de humedad, textura franca, franco arenoso o franco limoso.

## CONCLUSIÓN

*Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam. Urb. presentó un crecimiento menor a los registrados en sitios de altitudes más bajas que en el estudiado; sin embargo, la sobrevivencia registrada en el ensayo es mayor al 75 %, por lo que la especie puede ser usada en sistemas agroforestales de la zona, en especial con el asocio de aguacate y café que favoreció el desarrollo de todas las variables dasométricas evaluadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Almagro de la Cueva, P. (2013). Evaluación de crecimiento inicial de la balsa *Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam. Urb. de dos procedencias, bajo cinco densidades poblacionales en el canton Santo Domingo. [Tesis de Ingeniería. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador.
- Cioppo, J. & Carrera, M. (2015). Análisis de la rentabilidad de dos sistemas de explotación y exportación de balsa (*Ochroma lagopus*) en el Ecuador: período 2009-2014. Revista Económicas CUC, 36(2), 125 – 134.
- Cuadros, N. (2013). Producción y exportación de madera de balsa. [Tesis Ingeniería. Universidad Espiritu Santo]. San Borondon, Ecuador.

- Del Valle, J. (2021). Costo de establecimiento y crecimiento inicial de una plantación de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex. Lam) Urb. (balsa) en el cantón El Empalme, provincia del Guayas. [Tesis ingeniería. Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Los Ríos – Ecuador.
- Detlefsen, G. & Somarriba, E. (2012). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica Ministry for Foreign Affairs of Finland - CATIE. Manual Técnico N° 109. p.21-26.
- Doumet, A. Ruiz, A. Sánchez, A. (2021). Cadena de valor del cultivo del árbol de balsa. *Dom. Cien.*, ISSN: 2477-8818 Vol 7, núm. 3, Mayo Especial 2021, pp. 539-551.
- Elias de Melo, V. (2005). Evaluación de los sistemas agroforestales con café en fincas vinculadas al consumo de cooperativas de caficulturas de Guanacaste y Montes de Oro- COOCAFE: un aporte a la construcción de la sostenibilidad. CATIE, FUNCAFOR. COOCAFE, VECO: Informe final del estudio. Costa Rica – America Central.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales (2010). Informe Nacional. Italia - Roma.
- Fernández, U. (2012). Efecto de la fertilización sobre el crecimiento de la balsa *Ochroma pyramidale* Cav. En la hacienda Mira, cantón Buena Fé, provincia los Ríos. [Tesis Ingeniería. Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Los Rios, Ecuador.
- Francis, J.K. (1991). *Ochroma pyamidale* Cav. Balsa. SO-ITF-SM-41. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Galarza, G. W. (2009). Plan de inversión para el establecimiento de 300 hectáreas de balsa (*Ochroma pyramidale*), con fines comerciales en la parroquia La Unión, del cantón Jipijapa. [Tesis ingeniería. Universidad Estatal del Sur de Manabi]. Jipijapa, Ecuador.
- GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL RURAL DE PEÑAHERRERA, (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - PDOT. Administración 2014-2019. Cotacachi, Ecuador.
- Gonzalez, B., Fonseca, C., Torres, E., Simba, L., & Chancay, X. (2008). Caracterización de cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de los Rios- Ecuador. *Revista. Ciencia y tecnología*, 7 - 11.
- Jiménez, E., Garcías, L., Carranza, M., Carranza, H., Morante, J., Martínez, M., & Cuasquer, J. (2017). Germinación y crecimiento de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en Ecuador. *Scientia Agropecuaria*, vol.8 no.3, 243- 249.
- Luzuriaga Muñoz, E., Cueva Flores, J., Eguiguren Riofrío, M., Samaniego Burneo, R. y Torres Guarnizo, S. (2012). Sistematización de problemáticas socioambientales en la región sur del Ecuador: Cantón Calvas, Espíndola, San Juan Bosco y parroquia los Encuentros del cantón Yantzaza. [Tesis Ingeniería. Universidad Técnica Particular de Loja – UTPL]. Loja, Ecuador.
- Mejía E y Pacheco P. (2013). Aprovechamiento forestal y mercados de la madera en la Amazonía Ecuatoriana. CIFOR: Occasional Paper 97. Bogor, Indonesia.
- Mendoza, F. (2012). Cultivo de balsa o boya en el Carmen. Manabí, Ecuador. <https://www.youtube.com/>
- Molina, D. (2020). Comportamiento del cultivo de café (*coffea arabica*) en un sistema agroforestal establecido en la parroquia Peñaherrera, Imbabura. [Tesis Ingeniería. Universidad Técnica del Norte]. Cotacachi, Ecuador.

- Moràn, B. (2015). Mejoramiento de la productividad forestal a través del manejo agroforestal en el cantón Jipijapa. [Tesis Ingeniería. Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Jipijapa, Manabí.
- Moreira, M. (2013). Tipos de corte en la madera verde de balsa (*Ochroma pyramidale*), y su efecto en el rendimiento industrial para la obtención de madera aserrada y otros productos. [Tesis Ingeniería. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Guayaquil, Ecuador.
- Osorio, et al. (2010). Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de los Ríos – Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología* 3(2): 7-11. 2010.
- Rizzo P. (2007). Especies seleccionadas para la forestación: eucalipto tropical, teca, melina, pino caribe, guayacán, laurel, balsa, eucalipto glóbulos y pino. [Tesis Ingeniería. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE]. Santo Domingo, Ecuador.
- Toledo, K. (2016). Germinación, crecimiento y densidad de la madera en dos variedades de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam) Urb. de la selva de Lacandona, Chiapas. *Chapingo ser. ciencia forestal ambiental* vol.25 no.1 Chapingo ene./abr. 2019 Epub 15-Feb-2021,
- Torres, et al. (2015). La gestión del conocimiento y los sistemas de información en las organizaciones. *Negotium*, vol. 11, núm. 32, pp. 3-20.
- Villacís, W. (2012). Proyecto de factibilidad agroforestal para la siembra de balsa (*Ochroma pyrmidale*) para la península de Santa Elena en la comunidad de limoncito. [Tesis ingeniería. Universidad de Guayaquil]. Santa Elena, Ecuador.
- WWF- Ecuador (2022). Análisis del Sistema de Explotación de la Balsa y sus Impactos Socio Económicos y Ambientales en Territorios Indígenas de Amazonía. Para el proyecto: Aumento de la Capacidad de Ejecución y Cooperación para Combatir el Tráfico Ilegal de Fauna Silvestre y de Madera en la Región Andes Amazonas.

## Estudio fenológico de *Cinchona pubescens* Vahl. en dos ecosistemas forestales, Intag, Imbabura.

### Phenological study of *Cinchona pubescens* Vahl. in two forest ecosystems, Intag, Imbabura.

Jorge Cué-García<sup>1\*</sup>  
Jorge Ramírez-López<sup>1</sup>  
Cristian Changoluisa-Tumbaco<sup>2</sup>  
Miguel Quilismal-Paguay<sup>2</sup>  
Hugo Vallejos-Álvarez<sup>1</sup>  
Hugo Paredes-Rodríguez<sup>1</sup>  
Andrés Carrión-Burgos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Docente Carrera de Ingeniería Forestal. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Imbabura. Ecuador.

<sup>2</sup> Ingeniero forestal. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Imbabura. Ecuador.

\* Autor para correspondencia: [jlcue@utn.edu.ec](mailto:jlcue@utn.edu.ec)

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1652>

Recibido: 18/10/2022

Aceptado: 20/12/2022

## RESUMEN

La fenología es uno de los aspectos ecológicos principales cuando de manejo silvicultural y agroforestal se trata. Sin embargo, el conocimiento fenológico de especies forestales sigue siendo escaso y fragmentado, principalmente en los trópicos. *Cinchona pubescens* Vahl. presenta información fenológica limitada, por lo que se planteó el objetivo evaluar la fenología de la especie *C. pubescens* Vahl. en dos ecosistemas forestales (sistema silvopastoril y bosque secundario) ubicados en Pucará Alto, zona de Intag, Imbabura, por el periodo comprendido de abril 2018 – mayo 2020. Se caracterizaron y seleccionaron individuos de *C. pubescens* según características fenotípicas. El seguimiento fenológico se realizó con método semicualitativo de Fournier. Se calculó el Índice promedio (IP) y porcentaje ponderado de las fenofases. La foliación estuvo presente durante todo el año de masividad intensa en los dos ecosistemas. La floración ocurrió una vez en el año, en el periodo enero-mayo en ambos ecosistemas con una masividad intensa. La fructificación para sistema silvopastoril ocurrió intensa en el periodo agosto-noviembre con su máximo en octubre y para bosque secundario con masividad media en el periodo septiembre-diciembre con su máximo en noviembre.

**Palabras clave:** foliación, floración, fructificación, fenofases

## ABSTRACT

Phenology is one of the main ecological aspects when it comes to silvicultural and agroforestry management. However, phenological knowledge of forest species is still scarce and fragmented, mainly in the tropics. *Cinchona pubescens* Vahl. presents limited phenological information, so the objective was to evaluate the phenology of the species *C. pubescens* Vahl. in two forest ecosystems (silvopastoral system and secondary forest) located in Pucará Alto, Intag area, Imbabura, for the period April 2018 - May 2020. Individuals of *C. pubescens* were characterized and selected according to phenotypic characteristics. Phenological monitoring was carried out with Fournier's semiquantitative method. The average index (PI) and weighted percentage of phenophases were calculated. The foliage was present throughout the year in an intense massiveness in both ecosystems. Flowering occurred once a year, in the period January-May in both ecosystems with an intense massiveness. Fructification for silvopastoral system occurred intensely in the period August-November with its maximum in October and for secondary forest with medium massivity in the period September-December with its maximum in November.

**Key words:** foliage, flowering, fruiting, phenophases.

## INTRODUCCIÓN

Ecuador goza de una riqueza florística extraordinaria y por ende gran diversidad forestal (Palacios, 2002), es considerado el de mayor diversidad biológica por unidad de área en América latina (Palacios, 2012 y 2016). Estos recursos constituyen importantes fuentes de vida, donde pueblos indígenas y campesinos han encontrado múltiples usos y servicios para la sociedad (Barranantes, Chávez y Vinuesa, 2010). La necesidad por estos productos y servicios, ha generado la intervención antropogénica como la tala ilegal y aprovechamiento forestal excesivo, entre otros, que provoca la reducción notoria de las poblaciones de especies forestales nativas que componen estos ecosistemas (Lastra, López y López, 2008). Por otro lado, la preocupación por la destrucción de estos ecosistemas ha ubicado al Ecuador en un alto estándar para el mundo en iniciativas de conservación, Ministerio del Ambiente-MAE, (2019).

La fenología, es uno de los aspectos ecológicos más importantes cuando de manejo silvicultural y agroforestal se habla, Hechavarría (1998). Varios autores exponen a la fenología como, el estudio de eventos periódicos, vegetativos y reproductivos de las plantas, que suceden en una especie y su relación con factores bióticos y abióticos de un determinado sitio (Fournier y Charpantier, 1978; Hechavarría 1998; Ramírez y Alvarez, 2000; Padilla, 2002; Müller et al., 2016; Wong, 2016 y Villar et al., 2018). Los estudios fenológicos, sirven de base para elaborar modelos de producción de semillas, planificación de su colecta, identificación de épocas críticas del desarrollo de las especies y planificación de la producción de plantas (Heuvelde et al. citado por Aguirre et. al, 2015).

A pesar de la importancia que tiene el conocimiento fenológico, son pocos los estudios realizados en el campo forestal en Ecuador, siendo aún muy escaso y fragmentario, particularmente en las regiones tropicales, que se limitan a indicar comportamientos de manera aproximada e inclusive empírica (Fournier, 1974; Padilla, 2002).

Las especies del género *Cinchona* se las conoce comúnmente como: cascarilla, quina, quinina (Palacios, 2016). Se le atribuyen los valores medicinales por la quinina, extraída de su corteza, para combatir el paludismo y malaria hace ya más de 300 años (Romero, 2015). Su madera ha sido considerada como material para la construcción de viviendas. En Ecuador el género tiene gran importancia histórica debido a que la *cascarilla* fue originalmente descrita en Loja y ha sido declarada planta nacional del Ecuador (Palacios, 2016).

Las especies del género *Cinchona* se presentan en hábitats frágiles, por lo que poseen características fenológicas supra-anales, con periodo de inicio bien definido, pero con lapsos de más de un año entre eventos (Jäger, 2018). Estudios desarrollados en *C. pubescens* se relacionan con el contenido químico de su corteza, la extracción y reproducción de los individuos para comercialización (Acosta, 1950). En los últimos años se ha estudiado la especie en Galápagos como invasora, Jardinero et al, (2013).

La información fenológica de *C. pubescens* es limitada y su conocimiento es, preferentemente, de carácter empírico. La investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento fenológico de *C. pubescens*, en dos ecosistemas forestales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se desarrolló en la parroquia Apuela, cantón Cotacachi – Imbabura. El sector presenta pendientes de 32–42 %, clima templado húmedo, con precipitación media anual de 1500 - 1750 mm y temperaturas promedio entre 18°C a 20°C (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Apuela [GAD-Apuela], 2015).

### Precipitaciones

La variable meteorológica precipitación, se obtuvo de los datos registrados por el señor Charles Venator (2020), durante 9 años a una altitud de 1897 m.s.n.m, en el sector de Puranquí cercano al área de la investigación, pues no se dispone de estación meteorológica en la zona.

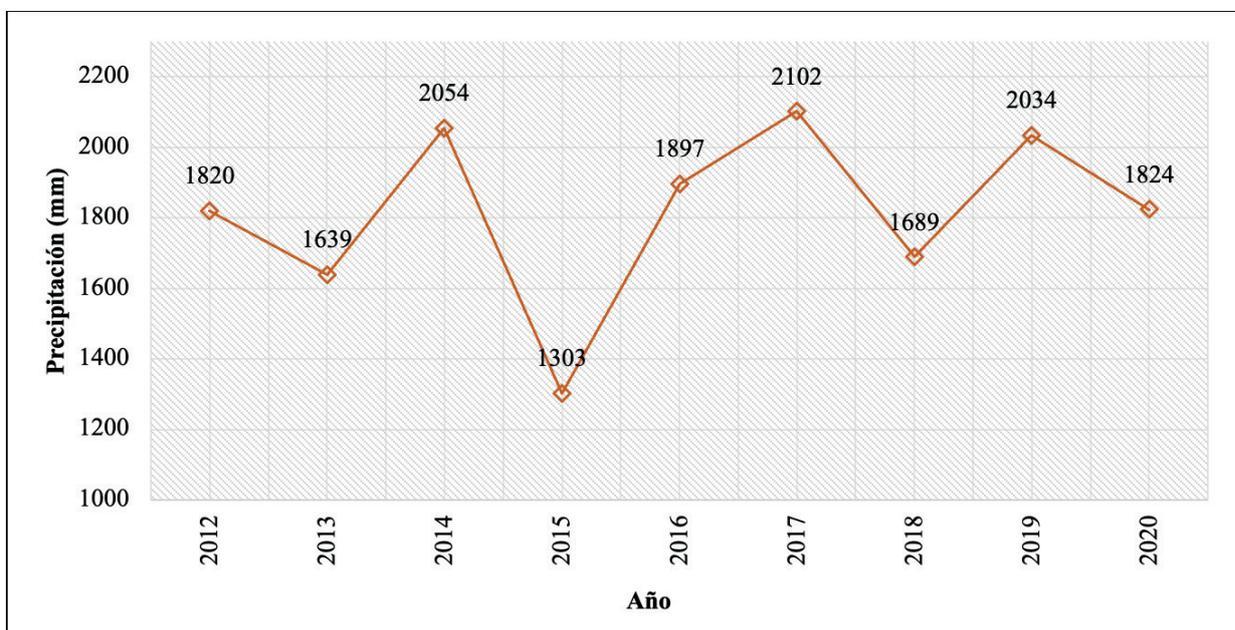


Figura 1. Precipitación anual 2012-2020, sector Puranquí, Apuela.

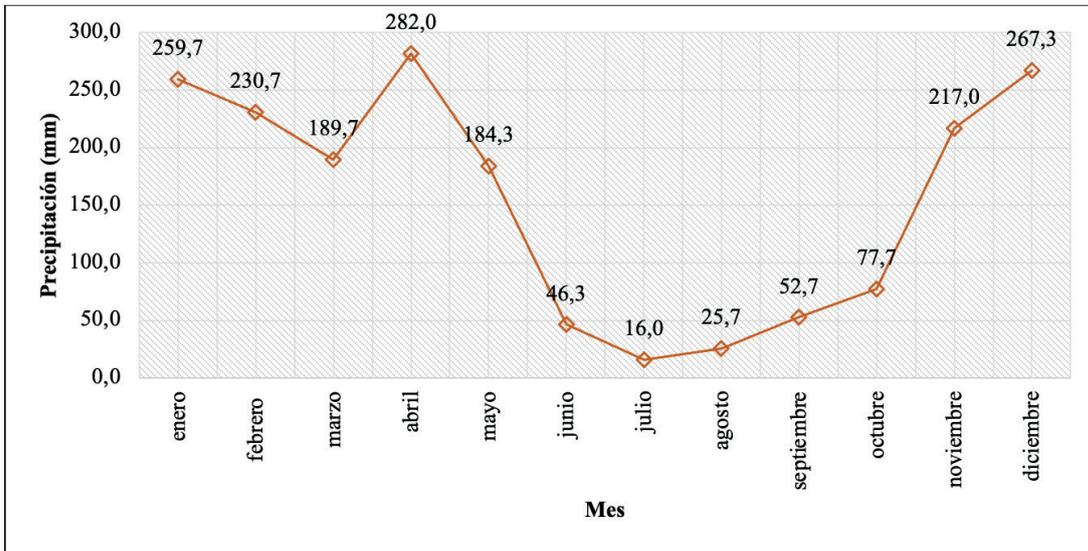


Figura 2. Precipitación mensual promedio 2018-2020 sector Puranquí, Apuela.

Fuente: Venator (2021).

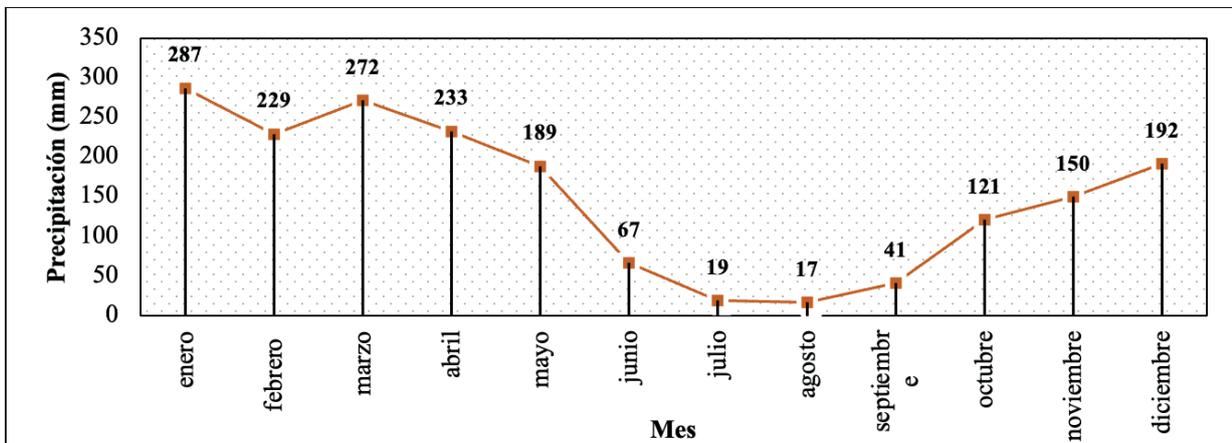


Figura 3. Precipitación mensual promedio 2012-2020 sector Puranquí, Apuela.

Fuente: Venator (2021).

Las áreas en estudio se encuentran localizadas a una latitud  $0^{\circ}22'37''$  N, una longitud de  $78^{\circ}27'35''$  W y altitud entre los 2000-2300 m.s.n.m. Una se corresponde con un sistema silvopastoril de 1,84 ha, con árboles dispersos en pasturas (Loján, 1990) y la otra es un remanente de bosque secundario de 1,52 ha.

### Selección de los individuos, procedimiento de observación y cálculo de índices.

La selección de los individuos se realizó sobre base del análisis multicriterio planteado por Lombardi (2001). Aquellos seleccionados, fueron etiquetados con placas de metal atadas con una cuerda plástica

alrededor del árbol. El número de individuos estudiados fueron 15 en el sistema silvopastoril y siete en bosque secundario, de poblaciones de 425 y 31 individuos, respectivamente. Fournier y Champartier (1978) señalan que una muestra al azar de mínimo cinco individuos por especie es recomendable para este tipo de investigaciones.

La observación se realizó mediante el método semicuantitativo propuesto por Fournier (1974), con escala de puntuación de 0 a 4, el extremo inferior 0 indica la ausencia total del fenómeno y 4 el fenómeno en su máxima expresión. El tiempo de observación se enmarcó entre abril 2018 y mayo 2020, para ello se emplearon binoculares Bushnell 10x. La observación de cada individuo se realizó dividiendo la copa en cuatro cuadrantes equitativos. Los valores registrados corresponden a la fase vegetativa: hoja joven, hoja adulta y fase reproductiva: flor en botón, flor adulta, fruto joven, fruto maduro y fruto abierto.

Se realizó el cálculo índice promedio (IP) individual y total, propuesto por Echavarría (1998), ecuación 1 y 2, que expresa la masividad de las fenofase. Los niveles planteados de masividad fueron: baja ( $IP \leq 0,5$ ); débil ( $IP = 0,5$  y  $< 1$ ); media ( $IP = 1$  y  $< 2$ ) e intensa ( $IP \geq 2$ ). Además, se calculó el porcentaje ponderado de la manifestación fenológica, ecuación 3.

$$IP_i = \frac{\sum \text{valor de escala} * \text{individuo}}{n * 4}$$

Fuente: Hechavarría (1998).

Donde:

$IP_i$  = Índice promedio individual

$\sum$  = sumatoria valores Fournier de cada individuo

$n$  = número de cuadrantes

$$IP = \frac{(IP_{i1} + IP_{i2} + \dots + n)}{n}$$

Fuente: Hechavarría (1998).

Donde:

IP = Índice promedio total

$IP_i$  = Índice promedio individual

$n$  = número total de individuos evaluados

$$P = \left( \frac{\sum a_{ij}}{n * 16} \right) * 100$$

Fuente: (Cárdenas et.al, 2015)

Donde:

P = porcentaje ponderado de la fenofase (%)

$\sum a_{ij}$  = sumatoria de todos los valores reales de la escala de cada individuo

i = individuos

j = fenofases

n = número muestral

16= valor máximo que puede alcanzar un individuo en una fenofase

## RESULTADOS

### Fenología de la fase vegetativa.

La foliación de *C. pubescens* estuvo presente durante todo el periodo de evaluación, en los dos ecosistemas evaluados. La manifestación se mantuvo por encima del 50%, excepto en octubre con una mínima disminución y diciembre un tanto más marcada, para el sistema silvopastoril y en febrero, marzo, junio y diciembre en el bosque secundario, figuras 4 y 5.

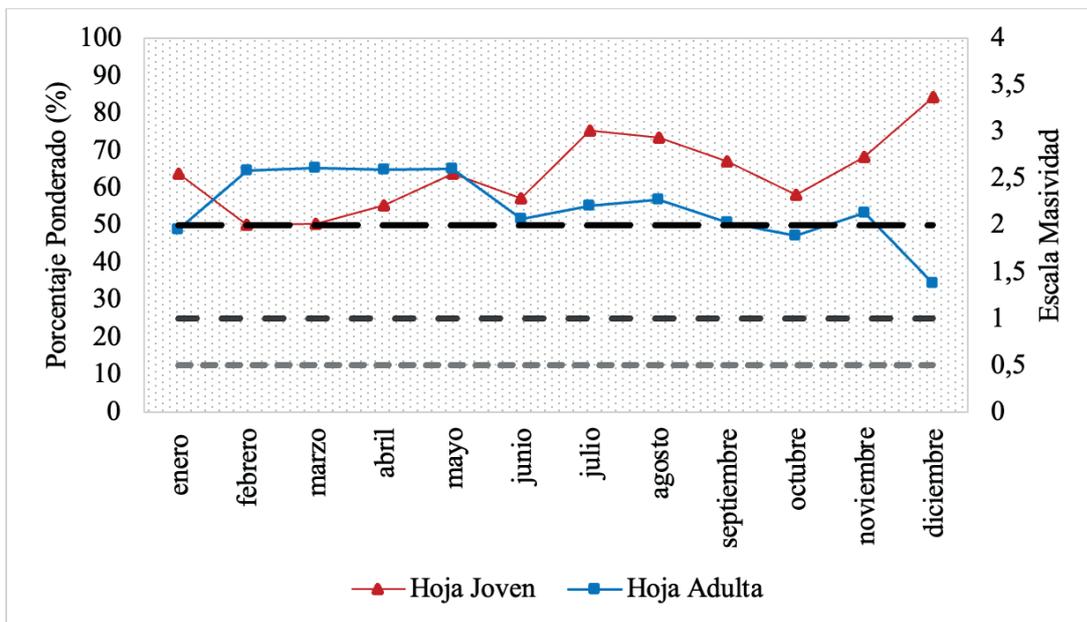


Figura 4. Representación gráfica del evento foliación de *C. pubescens* en sistema silvopastoril.

Nota: Masividad baja (IP=<0,5); débil (IP=0,5 y <1); media (IP=1 y <2) e intensa (IP=>2).

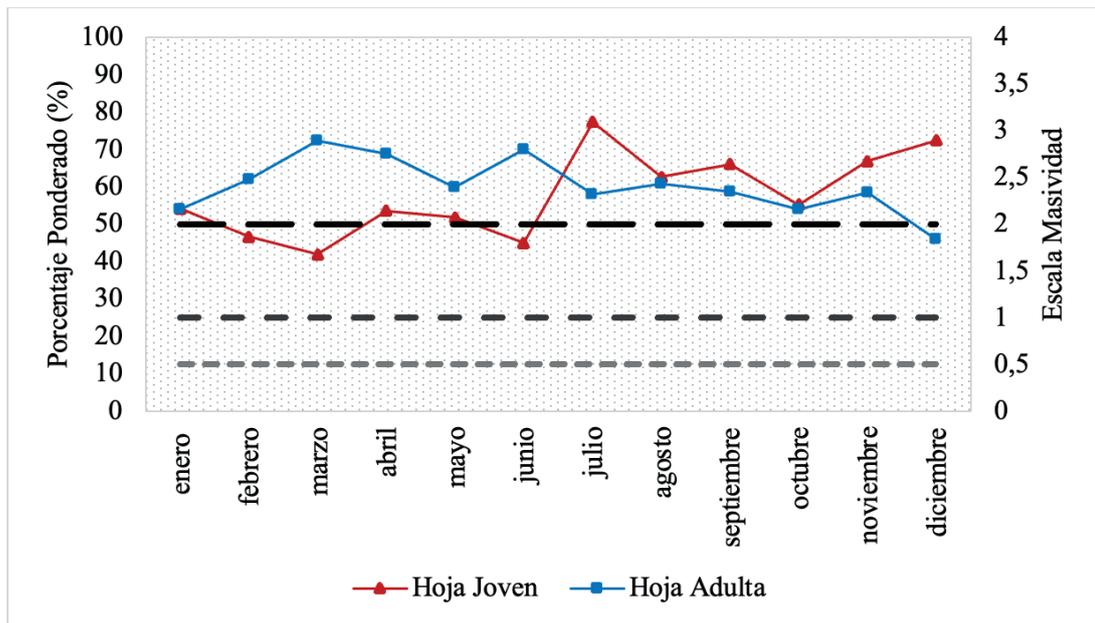


Figura 5. Representación gráfica del evento foliación de *C. pubescens* en bosque secundario.

Nota: Masividad baja ( $IP < 0,5$ ); débil ( $IP = 0,5$  y  $< 1$ ); media ( $IP = 1$  y  $< 2$ ) e intensa ( $IP > 2$ ).

La presencia de hoja joven, en el sistema silvopastoril, mostró una masividad intensa durante todos los meses, los valores más elevados se presentaron en los meses de julio, agosto y diciembre, con 75, 73 y 84 %, respectivamente. En el bosque secundario se destaca el mes de julio con el valor más alto 77 %, mientras que, los únicos meses que alcanzan masividad media fueron: febrero, marzo y junio, por debajo del 50%.

Se puede plantear en relación a la fenofase hoja adulta, que la misma tuvo una manifestación intensa en la mayor parte del año en los dos ecosistemas. Los valores más elevados se alcanzaron en el bosque secundario, como tendencia de su comportamiento, donde solo en el mes de diciembre con un 46 % se muestra intensidad media. También se debe destacar que, en el sistema silvopastoril, en los meses de enero, octubre y diciembre, muestran intensidad media en esta fenofase de hoja adulta, con 49, 48 y 34 %, respectivamente.

El comportamiento de las fenofases foliares es similar entre los ecosistemas, lo que permite afirmar que el mismo es de tipo perennifolio, propio de la especie. Independientemente de las condiciones meteorológicas y biológicas, es posible encontrar a *C. pubescens* con una carga foliar entre intensa y media durante todo el año.

### Fenología de la fase reproductiva.

La floración de la especie ocurrió en el periodo de enero a mayo, figuras 6 y 7, con índice promedio similar entre los ecosistemas, con máximos en los meses de febrero, marzo y abril. Para inicios de enero, se pudo observar pequeños brotes florales con una manifestación baja en los ecosistemas ( $< 10\%$ ), que fue en ascenso en febrero a masividad media y para el mes de marzo mostró su más alta de manifestación con 62% en el sistema silvopastoril y 53% en bosque secundario. En los meses subsiguientes, el descenso es paulatino y su pendiente llega al mínimo entre los meses julio a diciembre.

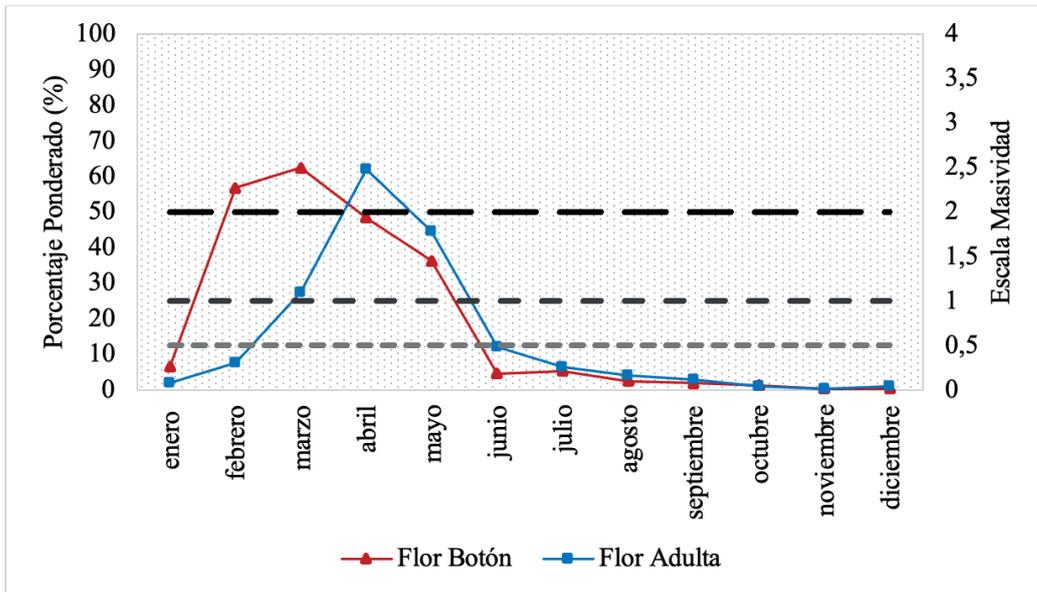


Figura 6. Representación gráfica del evento floración de *C. pubescens* en sistema silvopastoril.  
Nota: Masividad baja ( $IP < 0,5$ ); débil ( $IP = 0,5$  y  $< 1$ ); media ( $IP = 1$  y  $< 2$ ) e intensa ( $IP \geq 2$ ).

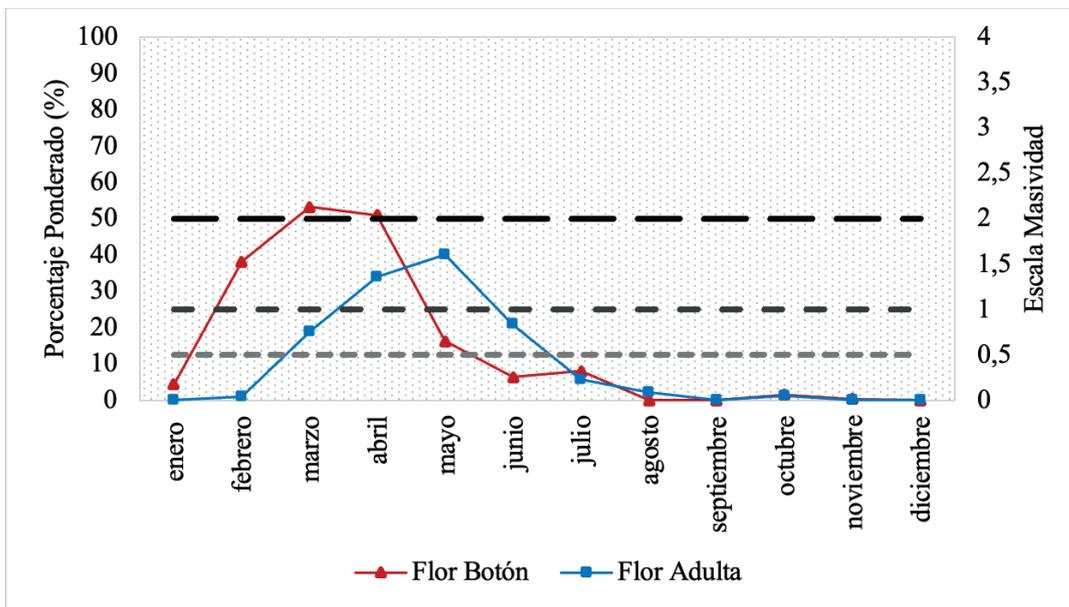


Figura 7. Representación gráfica del evento floración de *C. pubescens* en bosque secundario.  
Nota: Masividad baja ( $IP < 0,5$ ); débil ( $IP = 0,5$  y  $< 1$ ); media ( $IP = 1$  y  $< 2$ ) e intensa ( $IP \geq 2$ ).

Un mes después de haber iniciado los botones florales su manifestación, se pudo constatar sus primeros indicios de flor adulta, en los dos ecosistemas, siendo de masividad baja en febrero y ascendiendo a masividad media en marzo. Para los meses de abril y mayo la masividad de esta fenofase pasó a ser intensa. El pico máximo registrado fue de un 59% en el sistema silvopastoril y 60% en el bosque secundario.

El proceso de formación y desarrollo de frutos en la especie, figuras 8 y 9, se hizo visible desde el mes de abril en sistema silvopastoril y mayo en bosque secundario. En el mes de junio el porcentaje ponderado de frutos jóvenes fue de 43% en sistema silvopastoril, se intensifica de julio a septiembre la producción, con el máximo registrado en agosto que superó el 60%. En bosque secundario en cambio, la producción de fruto joven fue intensa desde el mes de julio y llegando a su valor máximo, 63%, en el mes de septiembre. Posterior al climax de manifestación, se evidenció un descenso paulatino del fenómeno.

Se comprobó la presencia de frutos adultos la mayor parte del año en ambos ecosistemas, excepto para los meses marzo abril y mayo en el bosque secundario. La especie alcanzó su plena fructificación en sistema silvopastoril para los meses de septiembre a noviembre, el pico superior alcanzó el 67% en octubre, donde la mayoría de los frutos alcanzaron una coloración rojiza carmesí, en racimos densos. Esta característica de los frutos se traduce como la completa formación de las estructuras que conforman el mismo. En bosque secundario, la fenofase frutos adultos, no alcanza masividad intensa en ningún mes, mostando manifestación de masividad media desde junio hasta diciembre.

Los frutos maduros permanecieron en ese estado por un corto periodo de tiempo, 4–6 semanas, antes de iniciar su dehiscencia y caída natural de los mismos. Al ser un fruto dehiscente, este comienza a abrirse en la misma panícula, si no es cosechado a tiempo, para esparcir su semilla. Por lo cual agosto–noviembre para el sistema silvopastoril y septiembre–diciembre para bosque secundario, son los periodos idóneos para la recolección de frutos adultos.

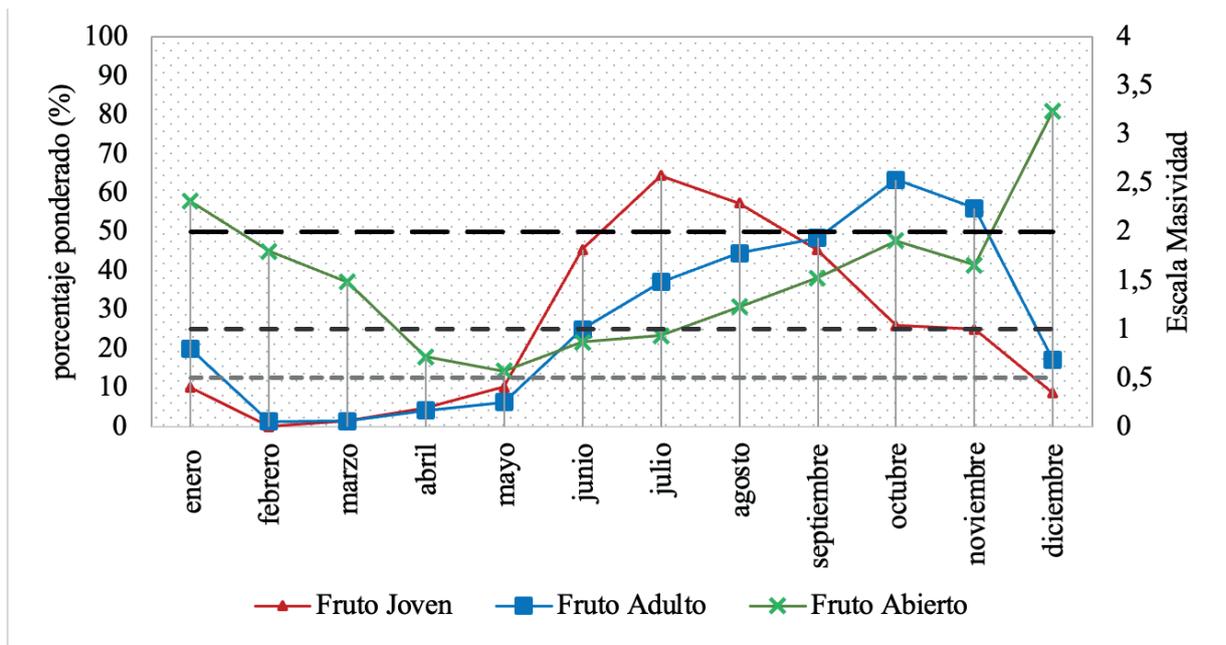


Figura 8. Representación gráfica del evento fructificación de *C. pubescens* en sistema silvopastoril.

Nota: Masividad baja (IP=<0,5); débil (IP=0,5 y <1); media (IP=1 y <2) e intensa (IP=>2).

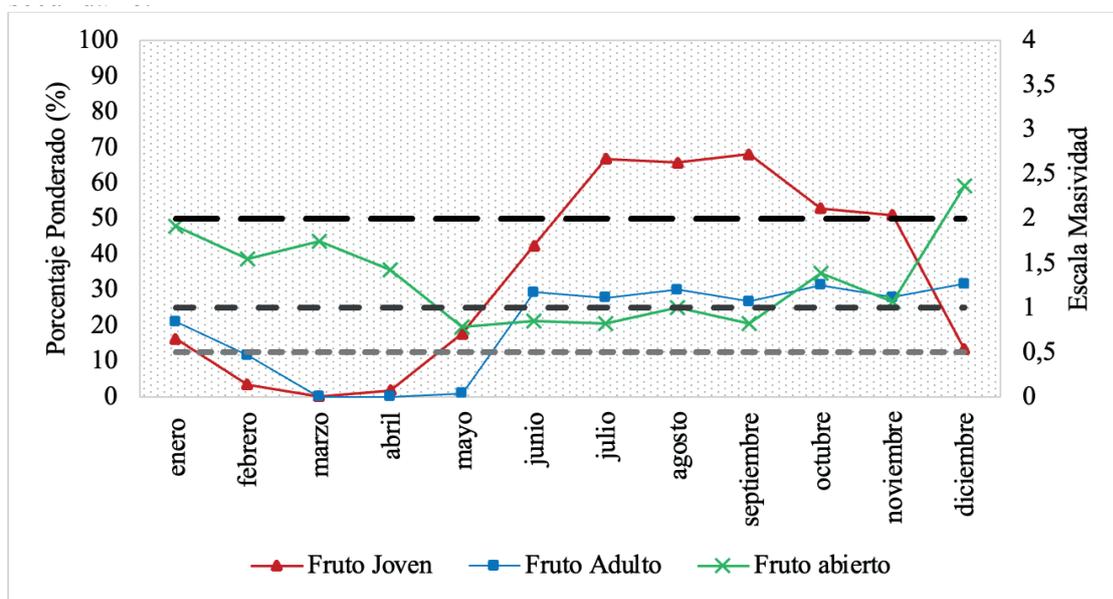


Figura 9. Representación gráfica del evento fructificación de *C. pubescens* en bosque secundario.

Nota: Masividad baja (IP=< 0,5); débil (IP=0,5 y <1); media (IP=1 y <2) e intensa (IP=> 2).

## DISCUSIÓN

La manifestación de la foliación de masividad intensa durante el año, figuras 4 y 5, es característico de especies siempre verdes o perennifolias (Gómez, 2010). Las hojas jóvenes se producen permanentemente durante todo el año, como respuesta de las plantas a los cambios estacionales del clima y por la disponibilidad de recursos (Alvarado et al. 2002). Este comportamiento permite que la especie tenga capacidad de renovar las hojas deciduas todo el tiempo, sin que su copa se vea desprovista de hojas adultas en ningún momento, proceso característico de este género (Fernández, Jiménez y Fonfría, 2004).

La manifestación de hoja joven que se observó en el mes de mayo se puede explicar por la relación que existe con la precipitación, que en ese mes se registró por encima de la media y posterior el cese fuerte de las mismas con 5mm de precipitación (figura 2). La manifestación media de la hoja joven registrada en los meses de enero–abril se relaciona a la producción de botones y flores adultas que ocurre dicho periodo, mientras que la observada en los meses junio-agosto corresponde a la temporada seca, la cual estimula a que la planta concentre la energía en la formación y desarrollo de los frutos (Aguirre et. al., 2013).

El modelo propuesto por Jackson, citado por Gómez (2010), aborda el comportamiento de la sustitución foliar en plantas tropicales; teniendo en cuenta la intensidad de las variaciones estacionales en temperatura y humedad relativa del aire (que varía de acuerdo con la precipitación). El modelo presupone que, en un clima no estacional, el comportamiento más ventajoso sería que las hojas adultas permanecieran fotosintetizando hasta la emergencia de las nuevas, lo que explicaría el patrón observado en *C. pubescens*.

En los meses más secos se observó una disminución de la fenofase, aunque con valores cercanos a permanecer intensa para ambos ecosistemas forestales. La pérdida de hojas en respuesta a la sequía ha sido observada frecuentemente, teniendo como principal objetivo disminuir la transpiración (Alvarado, 2003). Una manifestación mayor en bosque secundario puede deberse a las condiciones y elementos que interactúan en este sistema, y que permiten una mayor concentración hídrica. De acuerdo con Aguirre et. al (2013), si la disposición tanto de agua, como nutrientes es mayoritaria, permite la suficiente energía para generar una mayor carga foliar.

En relación a la pérdida de hojas adultas en temporadas de lluvias, se infiere que pierde parte de su follaje, para captar de mejor manera el agua lluvia e infiltrar la mayor cantidad de agua y así mantener la humedad dentro de su sistema. De esta manera, la especie *C. pubescens* está en constante competencia por este recurso con otras especies vegetales.

En Colombia, Manrique et al., (2018), encontraron que esta especie no presenta cambios abruptos de follaje, es constante el recambio, así como, los renuevos foliares y caída de hojas ocurren durante todo el año, con similar comportamiento en la experiencia que se presenta.

### **Fenología de la fase reproductiva.**

La floración de la especie muestra un patrón de comportamiento que manifiesta una floración en masa, Ceferino (2016), concentrándose su mayor manifestación de febrero a mayo. En adelante se observó el declive del fenómeno hasta no manifestarse en agosto. Las manifestaciones esporádicas registradas en bosque secundario, corroborado por Padilla (2017), no se relacionan a las variables meteorológicas del sitio

La flor adulta muestra su máximo comportamiento en el mes de mayo; por tanto, se asume que sí, los picos de ambas fenofases duran en manifestarse en el intervalo de un mes, quiere decir que este es el tiempo que le toma a la flor desarrollarse por completo. La ocurrencia de la floración muestra similar comportamiento en los ecosistemas, lo cual se asemeja, no solo a los registrados de la misma especie en condiciones similares, sino también, de otras especies del género *Cinchona* (Acosta, 1950).

La aparición de fruto joven y fruto adulto, tiende al aumento durante los periodos de menor precipitación que se correspondió con los meses de junio a octubre. Este comportamiento puede estar relacionado con la característica de la especie de producir semillas livianas y pequeñas en grandes cantidades, que se corresponde con especies de tipo R, de acuerdo al significado evolutivo de la fenología (Gómez 2010). Mencionan Barukcic y Sola (2015) que *C. pubescens* presenta una dispersión anemócora, en tanto Ferrera et al. (2017) para diferentes especies leñosas de dispersión anemócora, en distintas zonas de Brasil, correlacionan la precipitación y la floración con el comienzo de la estación lluviosa y la fructificación se correlaciona con el estrés hídrico.

El desfase registrado entre la duración y actividad de la fructificación, y entre los ecosistemas, es debido a factores ambientales (luminosidad, fotoperiodo, evapotranspiración) y condiciones estructurales del ecosistema (ubicación gregaria, relaciones inmediatas) expuestas en Aguirre et. al (2013). La presencia de frutos adultos fue evidente durante seis meses, información que se corrobora con lo publicado por Acosta (1950), quien en sus expediciones manifiesta que la cosecha y secado de frutos, por parte de los campesinos, se efectuaba en los meses comprendidos de julio-octubre. Aunque, debido a su amplia distribución, Purseglove (1968), indica que la especie puede producir fruto durante todo el año, en las diferentes condiciones de su distribución.

## **CONCLUSIONES**

El comportamiento fenológico de la especie *C. pubescens* Vahl. en el sistema silvopastoril reflejó la presencia del evento foliación, durante todo el periodo de evaluación mostrándose con masividad intensa, una floración en masa registrada en los meses enero-mayo y una fructificación intensa en los meses de septiembre a noviembre.

El comportamiento fenológico de *C. pubescens* Vahl. en bosque secundario, se expresó con una presencia de foliación permanente de masividad intensa, floración de febrero-mayo y fructificación de masividad media en los meses septiembre-diciembre

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Solis, M. (1950). *Las Cinchonas del Ecuador*. Quito.
- Aguirre Mendoza, Z., Díaz Ordoñez, L., & Palacios, B. (2015). Fenología de especies forestales nativas en el jardín Botánico el Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 5(1), 68-80. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/47/45>
- Aguirre, L.F., Anderson, E. P., Brehm, G., Herzog, S. K., Jorgensen, P. M., Kattan, G. H., Maldonado, M., Martínez, R., Mena, J. L., Pabón, J. D., Seimon, V. & Toledo, C. (2013). Fenología y relaciones ecológicas interespecíficas de la biota andina frente al cambio climático. Pp 83-111, En: *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales* (Sebastian K. Herzog, S. K., R. Martinez, P. M. Jørgensen and H. Tiessen, Eds.). Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), 410 pp. <https://www.researchgate.net/publication/245023891>
- Barranantes, G., Chávez, H., & Vinueza, M. (2010). *El Bosque en Ecuador. Una visión transformada para el desarrollo y la conservación*. Quito.
- Barukcic, A., y Sola, M. (2015). *Desarrollo de formulaciones fito-cosméticas antioxidantes empleando como sustancia activa el extracto seco de Cinchona pubescens Vhal, Rubiaceae (cascarilla)* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador]. Repositorio académico de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9377>
- Cárdenas, M., Londoño, V., Llano, M., González, Á., Rivera, K., Vargas, J., . . . Moreno, M. (2015). Fenología de cuatro especies arbóreas de bosque seco tropical en el Jardín Botánico Universitario, Universidad del Valle (Cali), Colombia. *Actualidades biológicas*, 37, 121-130. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/actbio/article/view/328992>
- Ceferino, J. O. (2016). *Estudio fenológico de (Bursera graveolens y eritroxylum glaucum) en la Reserva Ecológica Arenillas* [Tesis pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Loja: Repositorio Institucional de la UTPL. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/15707>
- Ferrera, T., Pelissaro, T., Eisinger, S., Righi, E., y Buriol, G. (2017). Phenology of native tree species in the central region of the state of Rio Grye do sul/Brazil. *Ciência Florestal*, 27(3), 753-766. doi: <https://doi.org/10.5902/1980509828608>
- Fournier, L. A. (20 de Agosto de 1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba*, 422-423.
- Fournier, L. A., & Charpentier, C. (1978). El tamaño de la muestra y la frecuencia de las observaciones en el estudio de características fenológicas de los árboles tropicales. *Cespedia. Suplemento*, 7, 25-26.
- Gómez, M. L. (2010). *Fenología reproductiva de especies nativas presentes en la jurisdicción de Corantioquia, un paso hacia la conservación* (Vol. I). Medellín: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTOQUIA.
- Hechavarría, O. (1998). *Aspectos metodológicos sobre la fenología de árboles forestales*. Obtenido de Alianza de Servicios de información Agropecuaria (SIDALC): <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5811/A7151e.pdf?sequence>
- Jardinero, M. R., Trueman, M., Buddenhagen, C., Heleno, R., Jäger, H., Atkinson, R. & Tye, A. (2013) Un enfoque pragmático para el manejo de invasiones de plantas en Galápagos. En: Foxcroft L., Pyšek P., Richardson D., Genovesi P. (eds) *Plant Invasions in Protected Areas. Naturaleza invasora - Serie Springer en Ecología de invasión*, vol. 7. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7750-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7750-7_16)

- Jäger, H. (2018). *Cinchona pubescens* III-4 *Cinchona pubescens* VAHL, 1790. En: Proyecto Manejo de Plantas Invasivas en Galápagos, Charles Darwin Foundation. [https://www.researchgate.net/publication/322941263\\_Cinchona\\_pubescens\\_III-4\\_Cinchona\\_pubescens\\_VAHL\\_1790](https://www.researchgate.net/publication/322941263_Cinchona_pubescens_III-4_Cinchona_pubescens_VAHL_1790)
- Lastra, J., López, M., & López, S. (Diciembre de 2008). Tendencias del cambio climático global y los eventos extremo asociados. *Ra Ximhai*, 4(3), 625 - 633. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46140307.pdf>
- Loján, L. (1990). *Agroforestería I: Prácticas agroforestales de los Andes*. Quito: Programa de desarrollo forestal participativo en los Andes.
- Lombardi, Y., & Nalvarte, A. W. (2001). *Establecimiento y manejo de fuentes semilleras, ensayos de especies y procesos forestales, aspectos técnicos y metodológicos*. Escuela Nacional de Ciencias Forestales; Organización Internacional de las Maderas Tropicales. Proyecto PD 8/92 Rev. 2 (F), “Estudio de Crecimiento de Especies Nativas de Interés Comercial en Honduras (PROECEN)”. [http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD8%2092/pd%208-92-7%20rev%202%20\(F\)%20.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD8%2092/pd%208-92-7%20rev%202%20(F)%20.pdf)
- Manrique, N., Gil, P., Gil, J., y Morales, M. (2018). Capítulo VII. Fitofenología estrategias reproductivas En: La vida en un fragmento de bosque en las rocas: una muestra de la diversidad Andina en Bolívar, Santander (pp.331-358). DOI:10.19053/978-958-660-331-7.7
- Ministerio del Ambiente-MAE, (2019). *Régimen Forestal Nacional, TÍTULO VI. En: Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. [https://vlex.ec/vid/codigo-organico-ambiente-879613056#section\\_29](https://vlex.ec/vid/codigo-organico-ambiente-879613056#section_29)
- Müller, A., Cunha, S., Junges, F. y Schmitt, J. (2016). Efeitos climáticos sobre a fenologia de *Lindsaea lancea* (L.) Bedd. (Lindsaeaceae) em fragmento de floresta Atlântica no sul do Brasil [Efectos climáticos sobre la fenología de *Lindsaea lancea* (L.) Bedd. (Lindsaeaceae) en un fragmento de bosque atlántico en el sur de Brasil]. *Interciencia*, 41(1), 34-39.
- Padilla, S. (2017). *Estudio fenológico y análisis de las características del suelo donde se desarrolla Cinchona officinalis L. en cuatro relictos boscosos de la provincia de Loja*. Loja: Universidad nacional de Loja.
- Padilla, R. (2002). *Fenología de Cedrelinga cateniformis (Duke) en el parque nacional Yasuní y su difusión mediante un folleto informativo*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Palacios, W. A. (2016). *Árboles del Ecuador. Especies representativas del Ecuador*. Universidad Técnica del Norte. Editorial UTN. Ibarra Ecuador.
- Palacios, W. A. (2002). *Guía para Estudios de Flora y Vegetación*. Quito: Fundación Jatun Sacha/ Prigrama SUR.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Apuela (2015). *Plan de desarrollo y de Ordenamiento Territorial de la de la Parroquia Rural de Apuela*.
- Fernández, J., Jiménez, C., & Fonfría, J. (2004). *Las quinas de caldas*. En: Historia de las ciencias y de las técnicas (pp.559-584) Publisher: Universidad de La Rioja Madrid: UMC. [https://www.researchgate.net/publication/41517195\\_Las\\_quinas\\_de\\_Caldas](https://www.researchgate.net/publication/41517195_Las_quinas_de_Caldas)
- Purseglove, J. W. (1968). *Tropical crops. Dicotyledons*. London: Longmas: Green & Co.ltd.
- Ramírez, J. A., & Álvarez, R. R. (2000). *Estudio fenológico de 28 especies maderables del bosque húmedo tropical de Honduras*. Proyecto PD 8/92 “Estudios de especies Nativas de Interés Comercial en Honduras (PROECEN)”. <http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD8%2092/pd%208-92-6%20rev%202%20%28F%29%20.pdf>

- Romero, J. M. (2015). Rásgos morfológicos de frutos, semillas y embriones de *Cinchona officinalis* L. (RUBEACEA) en el sur del Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 36(1-2), 27-35. <https://dialnet.unirioja.es/revista/26028/A/2015>
- Venator, C. (2018). *Registro de campo de precipitación*. Puranquí-Apuela-Intag.
- Villar, M., Marcelo, F., y Baselly, J. (2018). *Calendario fenológico de la Cinchona officinalis* L. (árbol de la Quina). <http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/handle/inia/888>
- Wong, E. (2016). *Estudio fenológico de Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson y *Tabebuia billbergii* (Bureau & K. Schum.) Standl. en la Reserva Ecológica Arenillas. [Tesis pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Loja: Repositorio Institucional de la UTPL. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/15713>

## Efectos de la adición de nutrientes sobre la diversidad taxonómica y funcional de briófitos en bosques montanos tropicales

### Effects of nutrient addition on the taxonomic and functional diversity of bryophytes in tropical montane forests

José Macas-Serrano <sup>1</sup>

Jürgen Homeier <sup>2,3</sup>

Fausto López <sup>4</sup>

Ángel Benítez <sup>1,5\*</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Biología de la Conservación y Ecología Tropical, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n, Loja 1101608, Ecuador.

<sup>2</sup> Plant Ecology and Ecosystems Research, University of Goettingen, Untere Karspüle 2, 37073 Goettingen, Germany.

<sup>3</sup> Centre for Biodiversity and Sustainable Land Use, University of Goettingen, Büsingenweg 1, 37077, Goettingen, Germany.

<sup>4</sup> Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n, Loja 1101608, Ecuador.

<sup>5</sup> Biodiversidad de Ecosistemas Tropicales-BIETROP, Herbario HUTPL, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n, Loja 1101608, Ecuador.

Autor para correspondencia: arbenitez@utpl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1589>

Recibido: 03/10/2022

Aceptado: 25/11/2022

## RESUMEN

En la actualidad las actividades antrópicas han provocado un incremento en la disponibilidad de nutrientes en bosques tropicales, con efectos negativos sobre la diversidad y funcionamiento de estos ecosistemas. Se analizó los efectos de la adición en el suelo de nitrógeno (N), fósforo (P), nitrógeno más fósforo (N+P) y un tratamiento control sin fertilizar (Con) sobre la diversidad taxonómica y funcional de briófitos epífitos en un bosque montano de la Región Sur de Ecuador. Se registró la riqueza y composición en 320 cuadrantes de 20 x 30 cm de un total de 80 árboles. Los efectos de los tratamientos sobre la diversidad taxonómica y funcional se evaluaron mediante modelos lineales generalizados mixtos y los cambios en la composición de las comunidades con análisis multivariados. Un total de 59 especies de briófitos fueron registradas en el bosque montano. Los resultados indicaron que no hay efectos de la adicción de nutrientes en suelo sobre la riqueza, riqueza funcional y composición de briófitos epífitos, sin embargo, el diámetro de los árboles fue un factor limitante para los briófitos. Los tratamientos con nutrientes en bosques tropicales montanos no estuvieron relacionados con la riqueza, composición y diversidad funcional de briófitos, sin embargo, los rasgos del hospedador (DBH) fueron factores limitantes.

**Palabras clave:** riqueza funcional, epífitos, diversidad beta, formas de vida, nitrógeno, fósforo.

## ABSTRACT

At present, anthropogenic activities have caused an increase in nutrient availability in tropical forests, with negative effects on the diversity and functioning of these ecosystems. The effects of soil addition of nitrogen (N), phosphorus (P), nitrogen plus phosphorus (N+P) and an unfertilized control treatment (Con) on the taxonomic and functional diversity of epiphytic bryophytes in a montane forest in the southern region of Ecuador were analyzed. Richness and composition were recorded in 320 quadrats of 20 x 30 cm from a total of 80 trees. The effects of treatments on taxonomic and functional diversity were evaluated using generalized linear mixed models and changes in community composition with multivariate analysis. A total of 59 bryophyte species were recorded in the montane forest. The results indicated that there is no effect of soil nutrient addition on the richness, functional richness and composition of epiphytic bryophytes, however tree diameter was a limiting factor. Nutrient treatments in tropical montane forests were not related to bryophyte richness, composition and functional diversity, however host tree traits (DBH) was limiting factor.

**Key words:** functional richness, epiphytes, beta diversity, life forms, nitrogen, phosphorus

## INTRODUCCIÓN

Actividades antropogénicas como ganadería, combustión de biomasa y combustibles fósiles y el uso excesivo de fertilizantes en las últimas décadas (Krupa, 2003; Galloway et al., 2008) han provocado un incremento de la deposición de nutrientes en todas las regiones del mundo. Como consecuencia de estas actividades existen cambios en la diversidad taxonómica y funcional de las comunidades vegetales (Fenn et al., 2003; Helsen et al., 2014; Carter et al., 2017; Báez y Homeier, 2018). Además, otros procesos relacionados con la funcionalidad de los ecosistemas (e.g. biomasa microbiana del suelo, biomasa de raíces finas, producción de hojarasca) son afectados negativamente por la alteración de la disponibilidad de nutrientes (Bobbink et al., 2010; Dise et al., 2011, Homeier et al., 2012; Tischer et al., 2015, Camenzind et al., 2016, Spannl et al., 2016). Estos cambios puede provocar pérdida de la diversidad de especies nativas y permitir la proliferación de especies vegetales invasoras (Ostertag y Verville, 2002; Fenn et al., 2003; Homeier et al., 2012, 2013; Camenzind et al., 2014, 2016).

Los bosques montanos son vulnerables a un incremento de nutrientes, debido a un lento proceso de reciclaje de nutrientes (Homeier et al., 2012, 2013) y presentan menor tasa de descomposición, los suelos son más jóvenes y pocos erosionados en comparación con otros bosques (Wullaert et al., 2010; Fisher et al., 2013). Así, los briófitos epífitos son muy importantes en los bosques montanos relacionados con el ciclo de nutrientes y del agua (Holz y Gradstein, 2005; Benítez et al., 2015), además son indicadores efectivos de cambios ambientales, debido a que captan sus nutrientes a través de la atmósfera y dependen de las condiciones ambientales (Pharo et al., 1999; Gignac, 2001; Gradstein et al., 2003).

En este contexto, previos estudios en otros ecosistemas señalan que cambios en la disponibilidad de nutrientes (e.g. nitrógeno) implican cambios en la diversidad de epífitos como líquenes (Hauck y Wirth, 2010; Johansson et al., 2012) y briófitos (Benner y Vitousek, 2007; Benner, 2011). Por ejemplo, algunos estudios señalan una disminución de la cobertura y abundancia de briófitos (Arróniz-Crespo et al., 2008; Hedwall et al., 2017), efectos en la tasa de crecimiento (Mitchell et al., 2004) y pérdida de biomasa (Shi et al., 2017), pero también la adición de nutrientes a largo plazo aumenta la abundancia y diversidad de musgos (Benner y Vitousek, 2007). A pesar de ello, en los bosques tropicales, específicamente en los bosques montanos la mayor parte de estudios se han enfocado en plantas vasculares (e.g. Homeier et al., 2012).

Además, los estudios señalados anteriormente utilizan la cobertura, riqueza o abundancias de epífitos (e.g. briófitos) para evaluar los efectos de los nutrientes como nitrógeno y fósforo (Benner et al., 2007; Benner y Vitousek, 2007; Gordon et al., 2001). También toma en cuenta pocas especies por presentar ciertas características como tolerancia al nitrógeno (Benner, 2011) o especies comunes (Arróniz-Crespo et al., 2008). Pero no utilizan rasgos funcionales para evaluar efectos de la deposición de nutrientes, a pesar de que previos estudios han utilizado la diversidad funcional de briófitos epífitos para evaluar cambios en las condiciones climáticas de bosques tropicales (Pardow et al., 2012; Gradstein y León-Yáñez, 2020), y además ya se ha evidenciado el uso de la diversidad funcional en respuesta a deposición de nutrientes en plantas vasculares (Adamek et al., 2009, Homeier et al., 2012, Fisher et al., 2013).

Por lo tanto, se analizó los efectos de la adición de nutrientes (N, P y N+P) en el suelo sobre la diversidad taxonómica y funcional de briófitos epífitos en bosques montanos de la Región Sur de Ecuador, debido a que previos estudios en la zona han documentado efectos significativos de la adición de nutrientes sobre los rasgos del hospedador (e.g. diámetro de los árboles) que son limitantes para los organismos epífitos (Benítez et al., 2015). Para ello nos planteamos la siguiente pregunta de investigación: 1) ¿Cómo se relaciona la diversidad taxonómica y funcional de briófitos con la deposición de nutrientes en bosques montanos tropicales?

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en la Reserva Biológica San Francisco ubicada entre las provincias de Loja y Zamora Chinchipe a 2020 - 2120 m s.n.m. (S 3° 58' W 79° 04') (Homeier et al., 2012, 2013). Gran parte de la reserva es bosque natural correspondiente a un bosque siempreverde montano con un dosel no superior a 20 metros y una riqueza de epífitas no vasculares y vasculares (Homeier et al., 2008; Gradstein, 2008). El área de estudio tiene una precipitación anual media de 2200 mm y temperatura promedio anual de 15 °C, la mayor parte del año con presencia de neblina en las partes altas (Bendix et al., 2008).

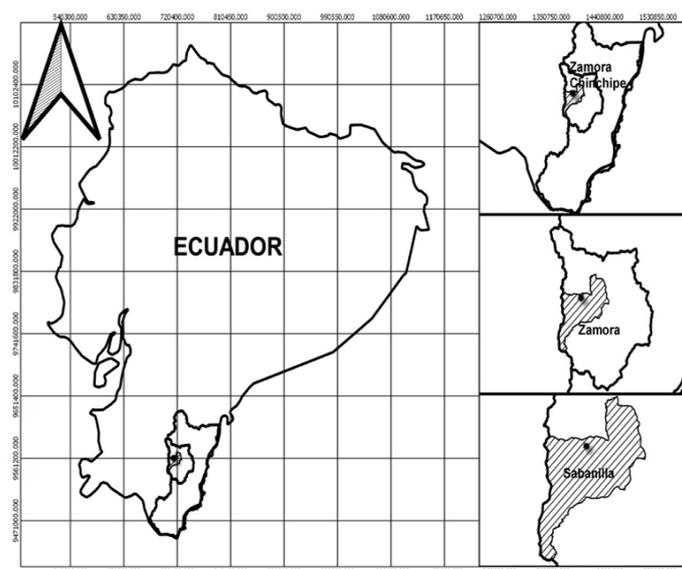


Figura 1. Ubicación del área de estudio de la Reserva San Francisco en la parte sur del Ecuador entre la vía Loja – Zamora.

## Diseño y colección de datos

Se realizó un diseño aleatorio estratificado en bloques conocido como Numex (Ecuadorian Nutrient Manipulation Experiment), se establecieron 16 parcelas de 20 x 20 m (400 m<sup>2</sup>), los tratamientos se ubicaron al azar siguiendo la secuencia: nitrógeno (N), fósforo (P), nitrógeno y fósforo (N+P) y un tratamiento control sin fertilizar (Con). Para cada tratamiento se realizaron cuatro repeticiones, separados por lo menos 10 m uno del otro (Homeier et al., 2013).

En el año 2016, después de ocho años de manipulación de nutrientes, en cada parcela elegimos cinco árboles al azar, en cada árbol se registró la presencia y cobertura briófitos epífitos en cuatro cuadrantes de 20 x 30 cm, a 1 y 2 metros desde el suelo en orientaciones norte y sur (Benítez et al., 2015), Se registró también el DBH (diámetro a la altura del pecho) relacionado con la estructura del bosque. La diversidad funcional se evaluó en función de las formas de vida (Tabla 1), que están relacionadas con la distribución y las condiciones ambientales como la disponibilidad de agua (Mägdefrau, 1982; Bates, 1998; Holz et al., 2002).

Tabla 1. Forma de vida de briófitos epífitos clasificados con su código

Briófitos	Forma de vida	Códigos
		Cojines = Cu; Plumas = Fe; Esteras = Ma;
		Colas = Ta; Césped = Tu; Colgantes = Pe;
		Arbolitos = Tr; Tramas = We

La identificación de los briófitos se realizó mediante claves taxonómicas observando sus características morfológicas que presentan estos organismos para lograr su determinación hasta llegar a género y especie (Sharp et al., 1994; Churchill y Linares 1995; Gradstein et al., 2001; Gradstein y Costa, 2003). Las muestras fueron depositadas en el herbario de la Universidad Técnica Particular de Loja (HUTPL), colección de briófitos y líquenes.

## Análisis de datos

La riqueza específica (Magurran, 2004) se determinó como el número de especies encontradas a nivel de árbol en cada uno de los tratamientos. Además, la riqueza de especies por cada categoría de rasgo funcional se calculó como el número de especies por árbol, que mide el espacio en función de las formas de crecimiento para un conjunto de especies (Laliberte y Legendre, 2010). El efecto de los tratamientos y diámetro a la altura del pecho (DBH) sobre la riqueza y diversidad funcional (Fric) se analizó mediante modelos lineales generalizados mixtos (GLMM), donde se incluyó bloque como factor aleatorio y tratamientos y DBH como factores fijos.

Un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) permitió ilustrar la similitud de briófitos epífitos en función de los diferentes tratamientos en cada bloque, como medida de similitud se utilizó la distancia Bray-Curtis (Benitez et al., 2015). Los efectos de los tratamientos y DBH en la composición de las comunidades se examinó con análisis multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA). Los análisis se realizaron el software estadístico R (R Core Team, 2020), con los paquetes “vegan” (Oksanen et al., 2017), “nlme” (Pinheiro et al., 2017) y “FD” (Laliberte et al., 2014).

## RESULTADOS

Se registró un total de 46 especies de briófitos epífitos, de los cuales tenemos 10 musgos y 36 hepáticas. Un total de 32 especies para en tratamiento nitrógeno, 30 especies para el tratamiento nitrógeno con fósforo, 29 especies para en el tratamiento control y 27 especies para fósforo. Las curvas de rarefacción en los cuatro tratamientos son casi iguales, así como el estimador de riqueza Chao 2 (Fig. 2).

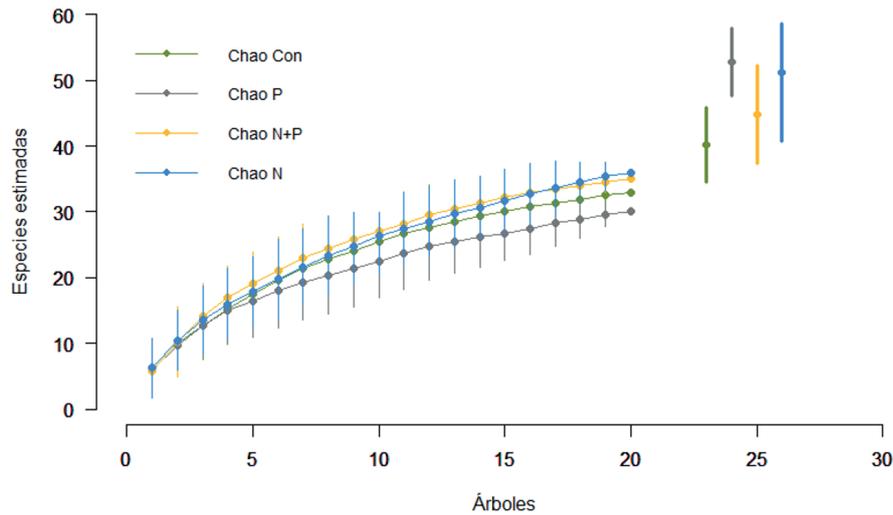


Figura 2 Curva de rarefacción y estimador Chao 2 (puntos a la derecha de la figura) de cuatro tratamientos con nutrientes en bosques montanos. Control (Con); Nitrógeno (N); Fósforo (P); Nitrógeno más Fósforo (N+P).

El diagrama de cajas señaló que la riqueza y diversidad funcional (Fric) de briófitos epífitos es similar en cada uno de los tratamientos (Fig. 3).

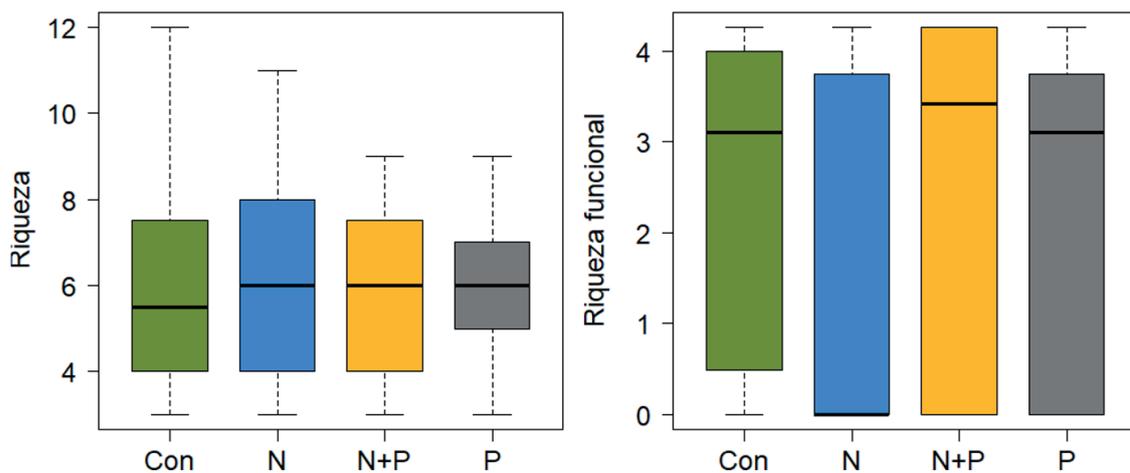


Figura. 3: Diagrama de cajas que no indican cambios en la riqueza y riqueza funcional por cada tratamiento de nutrientes.

Corroborando nuestros hallazgos la riqueza y diversidad funcional no señalaron cambios significativos en los diferentes tratamientos según el GLMM, sin embargo, el DBH influyó significativamente en la riqueza taxonómica y funcional (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del Modelo lineal generalizado mixto sobre la riqueza y riqueza funcional de briófitos epífitos para cada uno de los cuatro tratamientos. Diferencias significativas con un valor  $p < 0,05$ . N = nitrógeno, N+P = nitrógeno con fósforo, P = fósforo, DBH = diámetro a la altura del pecho.

<b>Riqueza</b>				
	<b>Estimador</b>	<b>SD</b>	<b>T</b>	<b>P-valor</b>
Control	3,537	0,663	2,848	0,57
N	0,349	0,628	0,572	0,568
N+P	-0,125	0,628	-0,205	0,837
P	0,326	0,628	0,53	0,597
DBH	0,14	0,062	2,243	0,028
<b>Riqueza funcional</b>				
	<b>Estimador</b>	<b>SD</b>	<b>T</b>	<b>P-valor</b>
Control	0,656	0,041	0,63	0,53
N	-1,045	0,574	-1,818	0,073
N+P	-0,271	0,575	-0,472	0,638
P	-0,261	0,579	-0,45	0,653
DBH	0,116	0,057	2,007	0,048

Por otra parte, el NMDS señaló que no hay diferencias en la composición de los briófitos epífitos en relación a los tratamientos en bosques montanos (Fig. 4).

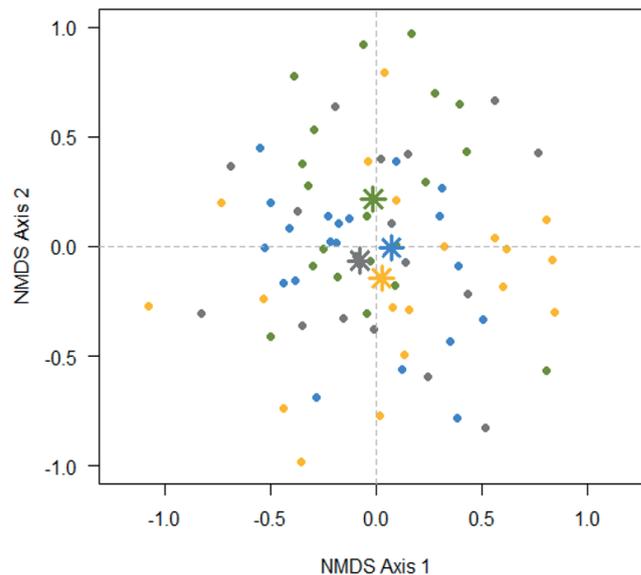


Figura 4. NMDS de la distribución de las especies en función del tratamiento. Los asteriscos muestran los centroides de cada tratamiento. Control (círculo verde), nitrógeno (círculo azul), nitrógeno y fósforo (círculo amarillo), fósforo (círculo gris).

De manera similar el análisis basado en permutaciones (Permanova) señaló un débil efecto de los tratamientos en la composición de las especies al igual que el DBH, donde la variable tratamiento explico un 6% de variabilidad de los briófitos, mientras que el DBH solo es un 1% (Tabla 3).

Tabla 3. Resultado del Permanova de las especies y los tratamientos. Df= grados de libertad, MS= cuadrados medios, F= estadístico de F, R2= coeficiente de variación, P=nivel de significancia.

VARIABLES	Df	MS	F	R2	P
Tratamiento	3	0,645	1,859	0,068	0,001
DBH	1	0,353	1,019	0,012	0,001
Residuos	73	0,347		0,919	
Total	79			1	

## DISCUSIÓN

Los resultados indicaron que la riqueza, composición y diversidad funcional de briófitos epífitos no estuvieron influenciadas por los diferentes tratamientos aplicados en el suelo (nitrógeno (N), fósforo (P), nitrógeno y fósforo (N+P) y un tratamiento control) del bosque montano. Sin embargo, el DBH fue un factor limitante. En contraste con nuestros resultados, en bosques montanos del archipiélago de Hawái que son fertilizados con fósforo la riqueza y abundancia de líquenes y briófitos epífitos en el dosel se incrementó, demostrando que pueden causar cambios en la comunidad epífita (Benner y Vitousek, 2007). Así mismo la aplicación de fósforo en el suelo aumenta la abundancia de epífitos no vasculares (*Pseudocyphellaria crocata*) en un bosque montano hawaiano (Benner et al., 2007). Una máxima concentración de fósforo en la corteza y hojas del hospedador están correlacionadas con una mayor abundancia de cianolíquenes, sin embargo para los briófitos y clorolíquenes fueron más abundantes en condiciones de luz (Benner, 2011). En este contexto en nuestra área de estudio más que la adición de nutrientes la diversidad taxonómica y funcional de briófitos se encuentran limitados por el diámetro de los árboles (Benítez et al., 2015), además de otros factores como el microclima y la estructura del bosque, como se ha documentado previamente en otros estudios (Holz y Gradstein, 2005; Gradstein, 2008; Benítez et al., 2015).

Por otra parte, los cambios en la diversidad de epífitos no vasculares relacionados con la adición de nutrientes se debe a procesos de deposición y eutrofización directa (Mitchell et al., 2004; Hauck, 2010; Johansson et al., 2012). Así varios estudios experimentales relacionados con una fertilización sobre líquenes y briófitos documentan cambios en la diversidad de estos organismos, sin embargo, los resultados son controversiales (Gordon et al., 2001, Johansson et al., 2012). Por ejemplo la aplicación de fósforo y nitrógeno en briófitos terrestres del norte de Europa provoca una disminución de la abundancia de especies (Dirkse y Martakis, 1992; Arróniz-Crespo et al., 2008), mientras que un brezal del Ártico no hay efecto la abundancia de los briófitos, pero si en los líquenes (Gordon et al., 2001). En Hawái por su parte, hubo una pérdida de la cobertura de musgos junto con plántulas nativas (Ostertag y Verville, 2002). Así mismo, Johansson et al. (2012) señala que una fertilización de nitrógeno en altas dosis en ecosistemas boreales disminuye la riqueza de líquenes. Por lo tanto, las características de los diferentes tipos de bosques (topografía, grado de alteración) influyen sobre factores importantes como la cobertura arbolada, microclima, luz, humedad (Frahm y Gradstein, 1991; Acebey et al., 2003; Martínez et al.,

2011; Benítez et al., 2012). Además, las características del hospedador como el tipo de corteza, pH de la corteza y nutrientes del sustrato (Frahm y Gradstein 1991; Wolf 1993; Acebey et al., 2003; Gradstein y Culmsee, 2010) influyen sobre la diversidad taxonómica y funcional de briófitos epífitos.

A pesar de que la adición de nutrientes en el suelo de las zonas estudiadas produce un aumento en la producción de hojarasca, del área foliar y el incremento del DBH (Homeier et al., 2012; Fisher et al., 2013), los efectos no se observaron en la diversidad taxonómica y funcional de briófitos. El DBH se ha identificado como un factor limitante de la riqueza, composición y diversidad funcional de las comunidades de epífitos no vasculares incluyendo briófitos (Gradstein, 2008; Gradstein y Culmsee, 2010; Benítez et al., 2015; Benítez et al., 2018), por ello se esperaba que el incremento del DBH relacionado con la adición de nutrientes implicaría cambios en la diversidad de briófitos. La riqueza taxonómica y funcional de briófitos estuvo influenciado por el DBH. Así, estudios previos demuestran que a mayor diámetro de los árboles hay mayor espacio disponible para el establecimiento y desarrollo de briófitos epífitos (Gradstein y Culmsee, 2010; Benítez et al., 2012; Benítez et al., 2015; Boch et al., 2013).

En este contexto se ha documentado que los factores microclimáticos son limitantes de la diversidad taxonómica y funcional en los bosques montanos, por ejemplo Gradstein y Leon-Yanez (2020) reportan cambios en la diversidad funcional de diferentes bosques montanos de *Polylepis* debido a las afectaciones climáticas como la humedad (Pardow et al., 2012). En nuestro caso, las formas de vida de los briófitos epífitos de tipo césped y esteras fueron las más dominantes en estos bosques montanos. En favor de nuestros resultados varios estudios señalan que la forma de vida de tipos césped y esteras son típicas de los bosques montanos (Holz et al., 2002; Acebey et al., 2003; Holz y Gradstein, 2005; Ah-Peng et al., 2014). Por lo tanto la riqueza funcional en nuestra zona de estudio representado por las formas de vida, están más relacionados por cambios en la disponibilidad de agua y luz, es decir cambios microclimáticos (Bates, 1998; Pardow et al., 2012) y no por la adición de nutrientes.

## ■ CONCLUSIONES

La riqueza, composición y diversidad funcional de briófitos epífitos no estuvo relacionada con la adición de nutrientes en el suelo (tratamientos) del bosque tropical montano, sin embargo, el DBH fue un factor limitante. Por lo tanto, evidenciamos que la adición de nutrientes de forma indirecta (e.g. suelo) no es un limitante en la diversidad de briófitos epífitos, donde factores relacionados con el microclima (e.g. luz y humedad) y rasgos del hospedador (e.g. pH, diámetro y tipo de corteza) condicionan la diversidad taxonómica y funcional de briófitos epífitos.

## ■ BIBLIOGRAFÍA

- Acebey, A., S. R. Gradstein y K. Thorsten. 2003. Species richness and habitat diversification of bryophytes in submontane rain forest and fallows of Bolivia. *Journal of Tropical Ecology* 19(01): pp. 9–18.
- Adamek, M., M. D. Corre y D. Hölscher. 2009. Early effect of elevated nitrogen input on above-ground net primary production of a lower montane rain forest, Panama. *Journal of Tropical Ecology* 25(06): p. 637.
- Ah-Peng, C., O. Flores, N. Wilding, J. Bardat, L. Marline, T. A. J. Hedderson y D. Strasberg. 2014. Functional diversity of subalpine bryophyte communities in an oceanic island (La Réunion). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 46(4): 841–851. DOI: 10.1657/1938-4246-46.4.841.

- Arróniz-Crespo, M., J. R. Leake, P. Horton y G. K. Phoenix. 2008. Bryophyte physiological responses to , and recovery from , long-term nitrogen deposition and phosphorus fertilisation in acidic grassland. *New Phytologist* 180(4): 864–874. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02617.x
- Báez, S., y J. Homeier. 2018. Functional traits determine tree growth and ecosystem productivity of a tropical montane forest: Insights from a long-term nutrient manipulation experiment. *Global Change Biology* 24(1): 399–409. DOI: 10.1111/gcb.13905.
- Bates, J. W. 1998. Is “life-form” a useful concept in *bryophyte ecology*. *Oikos* 82(2): 223–237.
- Bendix, J., R. Rollenbeck, M. Richter, P. Fabian y P. Emck. 2008. Climate. In: Beck, E., J. Bendix, I. Kottke, F. Makeschin, R. Mosandl (eds.). *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador*. 2008. Springer. Berlin, Germany. Pp. 63–73. DOI:10.1007/978-3-540-73526-7.
- Benítez, A., M. Prieto, Y. González y G. Aragón. 2012. Effects of tropical montane forest disturbance on epiphytic macrolichens. *Science of the Total Environment* 441(2012): 169–175. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.09.072
- Benítez, A. G. Aragón, Y. González y M. Prieto. 2018. Functional traits of epiphytic lichens in response to forest disturbance and as predictors of total richness and diversity. *Ecological Indicators*, 86(2018): 18–26. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.12.021.
- Benítez, A., M. Prieto, y G. Aragón. 2015. Large trees and dense canopies: Key factors for maintaining high epiphytic diversity on trunk bases (bryophytes and lichens) in tropical montane forests. *Forestry* 88(5): 521–527. DOI: 10.1093/forestry/cpv022
- Benner, J. W., S. Conroy, C. K. Lunch, N. Toyoda y P. M. Vitousek. 2007. Phosphorus Fertilization Increases the Abundance and Nitrogenase Activity of the Cyanolichen *Pseudocyphellaria crocata* in Hawaiian Montane Forests. *Biotropica* 39(3):400–405. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2007.00267.x
- Benner, J. W. 2011. Epiphytes preferentially colonize high-phosphorus host trees in unfertilized Hawaiian montane forests. *The Bryologist* 114(2): 335–345. DOI: 10.1639/0007-2745-114.2
- Benner, J. W. y P. M. Vitousek. 2007. Development of a diverse epiphyte community in response to phosphorus fertilization. *Ecology Letters* 10(7):628–636. DOI: 0.1111/j.1461-0248.2007.01054.x
- Bobbink, R., K. Hicks, J. Galloway, T. Spranger, R. Alkemade, M. Ashmore, M. Bustamante, S. Cinderby, E. Davidson, F. Dentener, B. Emmett, J. W. Erisman, M. Fenn, F. Gillian, A. Nordin, L. Pardo y W. De Vries. 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity : a synthesis. *Ecological Applications* 20(1): 30–59.
- Boch, S., J. Müller, D. Prati, S. Blaser y M. Fischer. 2013. Up in the tree - The overlooked richness of bryophytes and lichens in tree crowns. *PLoS ONE* 8(12): 1–8. DOI: 10.1371/journal.pone.0084913.
- Camenzind, T., S. Hempel, J. Homeier, S. Horn, A. Velescu y W. Wilcke. 2014. Nitrogen and phosphorus additions impact arbuscular mycorrhizal abundance and molecular diversity in a tropical montane forest. *Global Change Biology* 20(12): 3646–3659. DOI: 10.1111/gcb.12618
- Camenzind, T., H. Papathanasiou, A. Förster, K. Dietrich, D. Hertel, J. Homeier, Y. Oelmann, P. Olsson, J. P. Suárez y M. Rillig. 2016. Increases in Soil Aggregation Following Phosphorus Additions in a Tropical Premontane Forest are Not Driven by Root and Arbuscular Mycorrhizal Fungal Abundances. *Frontiers in Earth Science*, 3:89. DOI: 10.3389/feart.2015.00089

- Carter, T. S., C. M. Clark, M. E. Fenn, S. Jovan, S. S. Perakis, J. Riddell, P. G. Schaberg, T. L. Greaver y M. G. Hastings. 2017. Mechanisms of nitrogen deposition effects on temperate forest lichens and trees. *Ecosphere* 8(3). DOI: 10.1002/ecs2.1717.
- Churchill, S. y E. Linares. 1995. *Prodromus Bryologiae Novo-Granatensis*. Introducción a la flora de musgos de Colombia. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural.
- Dirkse, G. M., y G. F. P. Martakis. 1992. Effects of fertilizer on bryophytes in Swedish experiments on forest fertilization. *Biological Conservation* 59(2–3): 155–161. DOI: 10.1016/0006-3207(92)90576-9
- Dise, N. B., M. Ashmore, S. Belyazid, A. Bleeker, R. Bobbink, W. de Vries, J. W. Erisman, T. Spranger y C. S. L. van den Berg. 2011. Nitrogen as a threat to European terrestrial biodiversity. In: Sutton, M. A., C. M. Howard, J. W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. van Grinsven y B. Grizzetti (eds.). *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. 2011. Cambridge University Press. Cambridge, UK. Pp 463–494. DOI: 10.1017/CBO9780511976988.023.
- Fenn, M. E., J. S. Baron, E. B. Allen, H. M. Rueth, K. R. Nydick, L. Geiser, W. D. Bowman, J. O. Sickman, T. Meixner, D. W. Johnson y P. Neitlich. 2003. Ecological Effects of Nitrogen Deposition in the Western United States. *BioScience* 53(4): 404–420. DOI: 10.1641/0006-3568(2003)053[0404:eeondi]2.0.co;2
- Fisher, J. B., Y. Malhi, I. Cuba Torres, D. B. Metcalfe, M. J. van de Weg, P. Meier, J. E. Silva-Espejo y W. Huaraca Huasco. 2012. Nutrient limitation in rainforests and cloud forests along a 3,000-m elevation gradient in the Peruvian Andes. *Oecologia* 172(3): 889–902. DOI: 10.1007/s00442-012-2522-6)
- Frahm, J. P., y R. Gradstein. 1991 An altitudinal zonation of tropical rain forests using bryophytes. *Journal of Biogeography*, 18(6): 669–678.
- Galloway, J. N., A. R. Townsend., J. W. Erisman., M. Bekunda., Z. Cai., J. R. Freney., L. A. Martinelli., S. P. Seitzinger y M. A. Sutton. 2008. Transformation of the Nitrogen Cycle. *Science* 320: 889–892. DOI: 10.1126/science.1136674.
- Gignac, L. D. 2001. Bryophytes as Indicators of Climate Change. *The Bryologist* 104(3): 410–420. DOI:10.1639/0007-2745(2001)104[0410:BAIOCC]2.0.CO;2
- Gordon, C., J. M. Wynn., y S. J. Woodin. 2001. Impacts of increased nitrogen supply on high Arctic heath : the importance of bryophytes and phosphorus availability. *New Phytologist* 149(3): 461–471. DOI:10.1046/j.1469-8137.2001
- Gradstein, R. 2008. Epiphytes of tropical montane forest-impact of deforestation and climate change. In Gradstein, S. R., J. Homeier y D. Gansert. (eds). *The Tropical Mountain Forest-Patterns and Processes in a Biodiversity Hotspot*. Göttingen. Pp 51–65.
- Gradstein, R., S. Churchill, N. Salazar-Allen. 2001. *Guide to the bryophytes of Tropical America*. New York: *Memoirs of the New York Botanical Garden*.
- Gradstein, R. y H. Culmsee. 2010. Bryophyte diversity on tree trunks in montane forests of Central Sulawesi, Indonesia. *Bryophyte Diversity and Evolution* 31(1): 95–105. DOI: 10.11646/bde.31.1.16.
- Gradstein, R. D. Pinheiro da Costa. 2003. *The Hepaticae and Anthocerotae of Brazil*. New York: *Memoirs of the New York Botanical Garden* Vol. 87.
- Gradstein, S. R., N. M. Nadkarni, T. Krömer. I. Holz y N. Nöske 2003. A Protocol for Rapid and Representative Sampling of Vascular and Non-Vascular Epiphyte Diversity of Tropical Rain Forest. *Selbyana* 24(1): 105–111.

- Gradstein, S. R. y S. León-Yáñez. 2020. Liverwort diversity in *Polylepis* pauta forests of Ecuador under different climatic conditions. *Neotropical Biodiversity* 6(1):138–146. DOI: 10.1080/23766808.2020.1809273.
- Hauck, M. y V. Wirth. 2010. Preference of lichens for shady habitats is correlated with intolerance to high nitrogen levels. *Lichenologist* 42(4): 475–484. DOI: 10.1017/S0024282910000046.
- Hedwall, P. O., J. Bergh y J. Brunet. 2017. Phosphorus and nitrogen co-limitation of forest ground vegetation under elevated anthropogenic nitrogen deposition. *Oecologia* 185(2): 317–326. DOI: 10.1007/s00442-017-3945-x.
- Helsen, K., T. Ceulemans, C. J. Stevens, y O. Honnay. 2014. Increasing Soil Nutrient Loads of European Semi-natural Grasslands Strongly Alter Plant Functional Diversity Independently of Species Loss. *Ecosystems* 17:169–181. DOI: 10.1007/s10021-013-9714-8.
- Holz, I., S. R. Gradstein, J. Heinrichs, M. Kappelle 2002. Bryophyte Diversity, Microhabitat Differentiation, and Distribution of Life Forms in Costa Rican Upper Montane *Quercus* Forest. *The Bryologist* 105(3):334–348.
- Holz, I. R. S. Gradstein. 2005. Cryptogamic epiphytes in primary and recovering upper montane oak forests of Costa Rica - Species richness, community composition and ecology. *Plant Ecology*, 178(1): 89–109. DOI: 10.1007/s11258-004-2496-5.
- Homeier, J. F. A. Werner, S. R. Gradstein, S. W. Breckle, M. Richter. 2008. Potential vegetation and floristic composition of Andean forests in South Ecuador, with a focus on the RBSF. In Beck, E., J. Bendix., I. Kottke, F. Markeschin y R. Mosandl. (eds). *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador*. 2008. Springer. Berlin, Germany: Springer. Pp. 87–100.
- Homeier, J., D. Hertel, T. Camenzind, N. L. Cumbicus, M. Maraun, G. O. Martinson, L. N. Poma, M. C. Rillig, D. Sandmann, S. Scheu, E. Veldkamp, W. Wilcke, H. Wullaert y C. Leuschner. 2012. Tropical Andean Forests Are Highly Susceptible to Nutrient Inputs — Rapid Effects of Experimental N and P Addition to an Ecuadorian Montane Forest. *PLoS ONE*, 7(10). DOI: 10.1371/journal.pone.0047128
- Homeier, J., C. Leuschner, A. Brauning, N. Cumbicus, D. Hertel, G. Martinson, S. Spannll y E. Veldkamp. 2013. Effects of Nutrient Addition on the Productivity of Montane Forests and Implications for the Carbon Cycle. In Bendix, J., E. Beck, A. Brauning, F. Markeschin, R. Mosandl, S. Scheu, W. Wilcke (eds). *Ecosystem Services, Biodiversity and Environmental Change in a Tropical Mountain Ecosystem of South Ecuador*. Springer. Berlin, Germany. Pp 315–329.
- Johansson, O., K. Palmqvist y J. Olofsson 2012. Nitrogen deposition drives lichen community changes through differential species responses. *Global Change Biology* 18(8): 2626-2635. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02723.x
- Krupa, S. V. 2003. Effects of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: A review. *Environmental Pollution* 124(2): 179–221. DOI: 10.1016/S0269-7491(02)00434-7.
- Laliberte, E. y P. Legendre. 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91(1): 299–305. DOI: 10.1890/08-2244.1.
- Laliberte, E., P. Legendre Y B. Shipley. 2014. FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology. R package version 1.0-12.

- Mägdefrau, K. 1982. Life-forms of Bryophytes. In A. J. E. Smith (ed). *Bryophyte Ecology*. Chapman and Hall. London. Pp 45–58.
- Magurran, A. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.
- Martínez, I., R. Belinchón, M otárola, G. Aragón, M. Prieto y A. Escudero. 2011. Efectos de la fragmentación de los bosques sobre los líquenes epífitos en la Región Mediterránea. *Ecosistemas* 20(2): 54–67.
- Mitchell, R., M. A. Sutton, A. Truscott, J. D. Leith, J. N. Cape, C. E. R. Pitcairn y N Van Dijk. 2004. Growth and tissue nitrogen of epiphytic Atlantic bryophytes : effects of increased and decreased. *Functional Ecology* 18: 322–329.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kint, P. Legendre, D. McGlinn, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simson, P. Solymos, M. H. Stevens, E. Szoecs y H. Wagner. 2019. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Ostertag, R. y J. H. Verville. 2002. Fertilization with nitrogen and phosphorus increases abundance of non-native species in Hawaiian montane forests. *Plant Ecology* 162: 77–90.
- Pardow, A., C. Gehrig-Downie, R. Gradstein, M. Lakatos. 2012. Functional diversity of epiphytes in two tropical lowland rainforests, French Guiana: Using bryophyte life-forms to detect areas of high biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 21(14): 3637–3655. DOI: 10.1007/s10531-012-0386-z.
- Pharo, E. J., A. J. Beattie y D. Binns. 1999. Vascular Plant Diversity as a Surrogate for Bryophyte and Lichen Diversity. *Conservation Biology* 13(2): 289–292.
- Pinheiro, J., D. Bates, S. DebRoy, D. Sarkar, R core Team 2020. *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-144. <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- R Core Team 2020 *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>.
- Sharp, A., H. Crum y P. Eckel. 1994. *The Moss Flora of Mexico*. Edited by The New York Botanical Garden. Bronx, New York.
- Shi, X. M., L. Song, W. Y. Liu, H. Z. Lu, J. H. Qi, S. Li, X. Chen, J. F. Wu, S. Liu y C. S. Wu. 2017. Epiphytic bryophytes as bio-indicators of atmospheric nitrogen deposition in a subtropical montane cloud forest: Response patterns, mechanism, and critical load. *Environmental Pollution* 229: 932–941. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.07.077.
- Spannl, S., J. Homeier y A. Bräuning. 2016. Nutrient-induced modifications of wood anatomical traits of alchornea lojaensis (Euphorbiaceae). *Frontiers in Earth Science* 4:50. DOI: 10.3389/feart.2016.00050.
- Tischer, A., M. Werisch, F. Dobbelin, T. Camenzind, M. Rillig, K. Potthast, U. Hamer 2015. Above- and belowground linkages of a nitrogen and phosphorus co-limited tropical mountain pasture system – responses to nutrient enrichment. *Plant Soil* 391:333–352.
- Wolf, J. H. D. 1993. Diversity Patterns and Biomass of Epiphytic Bryophytes and Lichens Along an Altitudinal Gradient in the Northern Andes. *Ann. Missouri Bot. Gard* 80(4): 928–960.
- Wullaert, H., J. Homeier, C. Valarezo, W. Wilcke 2010. Response of the N and P cycles of an old- growth montane forest in Ecuador to experimental low-level N and P amendments. *Forest Ecology and Management* 260(9):1434–1445.

## Propuesta de riego para predios del sector Chariguiña de la parroquia San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, provincia de Loja.

### Irrigation proposal for farms in the Chariguiña sector of the San Antonio de Cumbe neighborhood, Saraguro canton, Loja province.

Edison Ramiro Vásquez <sup>1\*</sup>  
Elvis Erreyes-Armijos <sup>2</sup>  
Génesis Vásquez-Rodríguez <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Docente-Investigador de la Carrera de Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

<sup>2</sup>Ingeniero Agrícola, Loja-Ecuador

<sup>3</sup>Docente-Investigador de la Carrera de Automotriz, Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

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

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1453>

Recibido: 12/07/2022

Aceptado: 12/10/2022

## RESUMEN

La agricultura familiar campesina, constituye una estrategia para la seguridad alimentaria, generación de empleo agrícola, mitigación de la pobreza, conservación de los recursos naturales y saberes ancestrales; en este contexto y con el objetivo de aprovechar el agua y el suelo de los predios del sector Chariguiña de la parroquia San Antonio de Cumbe, se diseñó un sistema de riego por aspersión en 0,5 ha para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y 0,5 ha en pasto (*Cynodon dactylon*); considerando las características hidrofísicas del suelo y factores agronómicos e hidráulicos. Para el cultivo de papa se obtuvo una lámina de riego de 27,32 mm y para pasto de 28,68 mm; por tanto, se estableció una frecuencia de riego de siete días y tiempo de riego de seis horas. La red hidráulica principal, secundaria o múltiple y lateral con diámetros nominales de 3", 3" y 1 1/2", respectivamente. El agua se capta de la quebrada Chariguiña, con una dureza de 1,77 mg CaCO<sub>3</sub>/l, que se clasifica como blanda, salinidad 0,017 dS/m, pH 7,39, alcalinidad 25 mg/l, relación de absorción del sodio 0,52, carbonato de sodio residual menor a 1,25 meq/l y sólidos totales de 53 mg/l; parámetros que definen la calidad del agua para riego en condiciones óptimas para favorecer el crecimiento de los cultivos, sin causar daños al suelo y garantizar el correcto funcionamiento del sistema de riego. El costo de instalación de 1,00 ha de riego por aspersión es de \$3.705,14; inversión que se espera recuperar en seis meses.

**Palabras claves:** riego por aspersión, diseño agronómico, diseño hidráulico, Coeficiente de Christiansen.

## ABSTRACT

Family farming is a strategy for food security, generation of agricultural employment, poverty alleviation, conservation of natural resources and ancestral knowledge; In this context and to take advantage of the water and soil in the Chariguiña sector of the San Antonio de Cumbe parish, a sprinkler irrigation system was designed for 0.5 ha of potato (*Solanum tuberosum*) and 0.5 ha of grass (*Cynodon dactylon*); considering the hydrophysical characteristics of the soil and agronomic and hydraulic factors. For the potato crop, an irrigation lamina of 27.32 mm was obtained and for pasture 28.68 mm; therefore, an irrigation frequency of seven days and an irrigation time of six hours were established. The primary, secondary, or multiple and lateral hydraulic networks with nominal diameters of 3", 3" and 1 1/2", respectively. Water is captured from the Chariguiña Creek, with a hardness of 1.77 mg CaCO<sub>3</sub>/l, which is classified as soft, salinity 0.017 dS/m, pH 7.39, alkalinity 25 mg/l, sodium absorption ratio 0.52, residual sodium carbonate less than 1.25 meq/l and total solids of 53 mg/l; parameters that define the quality of irrigation water in optimal conditions to promote crop growth without damaging the soil and ensure the proper functioning of the irrigation system. The cost of installing 1.00 ha of sprinkler irrigation is \$3,705.14, an investment expected to be recovered in six months.

**Key words:** sprinkler irrigation, agronomic design, hydraulic design, Christiansen coefficient.

## INTRODUCCIÓN

La Agricultura Familiar Campesina (AFC), se sustenta en la noción de economía campesina y en la sociología rural (Martínez-Valle, 2013); su importancia radica, entre otros aspectos, por la relevancia en la seguridad alimentaria, generación de empleo agrícola, mitigación de la pobreza, conservación de la biodiversidad y saberes ancestrales (Chamba-Morales et al., 2019).

La superficie de regadío en el mundo es de 325,1 millones de hectáreas, lo que representa el 20 % de la superficie total de tierra cultivada, de la cual se obtiene el 40 % de los alimentos producidos en el mundo. Adicionalmente, se estima que el 70 % del agua es manejada por la agricultura de regadío a nivel mundial; de los cuales el 94 % corresponde a riego por gravedad y 6 % a riego por aspersión o goteo; la eficiencia del riego promedio, se estima en 56 % (Arroyo, 2017).

A nivel latinoamericano, la agricultura se presenta como el mayor consumidor de agua, con promedio similar al consumo mundial, con variaciones entre países y regiones; sin embargo, en la última década, el ritmo de expansión del riego se ha reducido considerablemente como consecuencia de la situación financiera de la región, el elevado costo de la construcción de presas y sistemas de regadío y la necesidad de asignar los recursos a la consolidación de otros proyectos. En este periodo se materializa enormes problemas ambientales asociados a la mala construcción y gestión de los sistemas de riego (EUROSUR, 2015).

En el Ecuador hay infraestructura instalada para regar una superficie de aproximadamente 0 528 474 ha, incluyendo a sistemas de riego en operación y sistemas nuevos, tanto públicos, comunitarios y privados; sin embargo, el área efectivamente regada es mucho menor, con 977 074 ha (SECRETARÍA DEL AGUA, 2019, p. 35). En la provincia de Loja según Terán (2014), únicamente el 22 % de la superficie con uso agropecuario dispone de riego, mientras que el 78 % carece del mismo. Por el contrario, siendo Saraguro un cantón con vocación agropecuaria, resulta importante que la oferta hídrica se traduzca en disponibilidad de riego, para mantener cierto nivel

de regularidad de los ciclos productivos; de acuerdo con la información recolectada, al año 2008 se contaba con 5 704 ha regadas por cinco sistemas de riego, mientras que en estudio existían 4 946 ha, con lo cual se alcanzaría una superficie regada de 10 649,99 ha (GAD-Saraguro, 2015).

De acuerdo a FAO, las principales formas de riego que se utilizan en Ecuador son 663 900 ha (78 %) de riego por inundación y gravedad, 170 100 ha (20 %) de aspersión y 19 400 ha (2 %) de riego localizado, lo que evidencia escasa tecnificación en la forma de aplicar el agua a los cultivos (Martínez, 2015).

La provincia de Loja, caracterizada por un minifundio acentuado, el 20 % de las fincas tiene una superficie promedio de 2,0 ha, siendo tierras degradadas, de secano y bajo riego, sobre todo en el piso medio; se trata de un territorio frecuentemente azotado por el fenómeno cíclico de la sequía que soporta restricciones físicas, bióticas y socioeconómicas que han limitado su desarrollo y participación plena en el sistema económico nacional, con graves consecuencias ambientales (INEC, 2000). La superficie regable por los sistemas de riego cubre 29 218 ha y el 92 % de los sistemas se encuentran en malas condiciones de operación (GAD-Loja, 2015).

El sector Chariguiña de la parroquia San Antonio de Cumbe del cantón Saraguro, se caracteriza por desarrollar de manera preferente la actividad ganadera y en menor proporción los cultivos, particularmente papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*) y melloco (*Ullucus tuberosus*). En el caso de la actividad ganadera, la producción de forrajes depende en buena parte de las precipitaciones durante la época lluviosa que va de diciembre a mayo. En estas condiciones, al norte del sector se ha logrado implementar algunos sistemas de riego que funcionan energizados por bombeo; no obstante, presenta inconvenientes de orden técnico puesto que, incluso la selección y adquisición de las bombas se hace sin ningún criterio técnico. En las condiciones indicadas los resultados alcanzados distan mucho de satisfacer las expectativas de los productores; la dificultad para la aplicación de riego limita los rendimientos de las actividades señaladas. En estas consideraciones, se propuso el diseño de un sistema de riego por aspersión para la producción de forraje y cultivos locales en un predio ubicado en la parroquia San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, con la finalidad de utilizar eficientemente el recurso hídrico.

## ■ MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El estudio se desarrolló en la finca Buenos Aires del sector Chariguiña de la parroquia San Antonio de Cumbe, a 7 km de la ciudad de Saraguro, ubicada en las coordenadas UTM, Zona 17 Sur, Datum WGS84, en la zona 17s a 9.603 953,61 m Norte y 699 826,07 m Este. La extensión de la parroquia es de 78,33 km<sup>2</sup>, limita al Norte con la provincia del Azuay, al Sur con la parroquia Urdaneta, al Este con la parroquia El Tablón y al Oeste con la parroquia San Pablo de Tenta (GAD-Saraguro, 2015).

### Análisis de datos

La información primaria de la producción agrícola y ganadera se recabó de marzo a julio de 2021, con la finalidad de describir: tenencia de la tierra y uso actual del suelo; prácticas culturales en el manejo de los cultivos, particularmente el tipo de riego; destino de la producción, entre otros.

### Descripción del perfil del suelo

Se utilizó la Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos del USDA, (2014); en una calicata de 1,5 m de largo, 1,0 m de ancho y 1,0 m de profundidad, se delimitó los horizontes, de los tres primeros se tomó muestras de suelo con corte trasversal y se realizó ensayos de campo para textura.

## Diseño del sistema de riego

Para el diseño de riego por aspersión, se realizó un levantamiento topográfico con GPS; el caudal de la fuente se aforó con el método volumétrico.

Para la determinación de las constantes hidrofísicas del suelo (CC, PMP, AA), se tomaron tres submuestras disturbadas y no disturbadas a 40 cm de profundidad; para pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, densidad aparente, saturación del suelo, porosidad y la textura se determinó con el método de Bouyoucos; y muestras no disturbadas en la superficie del suelo con los cilindros Koppecky de 100 cm<sup>3</sup>; con base a las propiedades hidrofísicas se graficó la curva de retención de humedad.

Para la determinación de la zona de desarrollo de la planta, se utilizó el diagrama triangular de evaluación de las condiciones físicas del suelo. La velocidad de infiltración del agua en el suelo se realizó mediante el método de los anillos infiltrómetros, con lecturas cada 5, 10, 15 y 30 minutos, a intervalos de una hora y se determinó mediante el modelo matemático de Kostiaikov.

Para el diseño agronómico se calculó el requerimiento de agua para el cultivo de papa y pasto con el método de Penman–Monteith implementado en el software *CROPWAT* 8.0 de la FAO; con base a datos climáticos de la estación meteorológica Saraguro: altitud, latitud, longitud, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y heliofanía, recuperados de anuarios meteorológicos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) de un periodo de 24 años (1980-2003). Se obtuvo la curva de  $kc$ , tomando como referencia las etapas fenológicas y los  $kc$  obtenidos por Ureña (2017), con lo que se obtuvo un  $kc$  para el día 15 de cada mes y se calculó la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), mediante la ecuación de la FAO (2006),  $ET_c = ET_o * Kc$ ; donde  $ET_o$  es la evapotranspiración del cultivo de referencia mediante la fórmula de Hargreaves (1985) y  $Kc$  es el coeficiente del cultivo.

Para los parámetros de riego: lámina de agua aprovechable (LAA) y lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) se utilizó un umbral de riego o porcentaje de agotamiento de 50 % (INIA, 2000 y Cadena, 2016) para papa y pasto; frecuencia de riego, lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada y lámina de riego, se determinaron a partir de los resultados de las propiedades hidrofísicas del suelo. El aspersor se seleccionó en función de la presión de funcionamiento, caudal de emisión, diámetro húmedo y la velocidad de infiltración del suelo. Además, se obtuvo la intensidad de precipitación del aspersor con la condición  $I_p \leq VIB$ , con un marco de riego de 60%. Para la línea de riego se calculó el tiempo de riego; número de aspersores por lateral, longitud del lateral, caudal del lateral, número de laterales en el área y caudal de la línea secundaria.

Para el diseño hidráulico, se determinaron los diámetros de la red hidráulica del sistema de riego, dimensiones de la red principal, secundaria, laterales, pérdidas de carga en las tuberías y accesorios. La elección del diámetro adecuado se determinó por tanteos sucesivos, en función de la velocidad, el caudal y la longitud de la tubería; con el diámetro seleccionado se estimaron, con la ecuación de Hazen–William, las pérdidas de carga por fricción de las tuberías. Para tuberías con multisalidas, se utilizó el factor de corrección de Christiansen, para corregir la pérdida de carga por fricción por longitud se consideró la ubicación del lateral. Las pérdidas locales o de accesorios se determinaron en función de los coeficiente de pérdidas menores en accesorios propuestos en el Catálogo Técnico de la marca Tigre (2011) y la velocidad media del flujo en la tubería, velocidades que deben estar en el rango de 0,5 a 2,5 m/s. Se calculó la diferencia de presión en el origen y al final del lateral dentro del sistema de riego que debe ser menor a 20 % de la presión nominal, diferencia que producirá un decremento del 10 % de caudal de descarga. Para la estimación de las presiones se eligió los aspersores en el lateral más crítico, que puede estar de forma ascendente o descendente.

Para determinar la calidad del agua para riego se tomaron muestras de agua en la Quebrada Chariguiña, con base a las recomendaciones de INTA, (2011); se recogieron las muestras en una zona donde el agua estaba en movimiento evitando zonas estancadas, se tomó la muestra de 5 a 15 cm por debajo de la superficie, en un recipiente de plástico de 1 l de capacidad, luego se almacenó y conservó en una hielera termo espuma flex T3, con hielo sintético; las muestras se enviaron al Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD de la ciudad de Quito para determinar: dureza, conductividad eléctrica, salinidad, pH, alcalinidad, relación entre sodio, calcio y magnesio del agua, relación de absorción del sodio (RAS) y sólidos totales.

## RESULTADOS

### Descripción del perfil del suelo

En la Tabla 1 se describe el perfil del suelo y en la Tabla 2 los horizontes y capas del suelo de la finca Buenos Aires, del sector Chariguiña.

Tabla 1. Descripción del perfil del suelo de la finca Buenos Aires.

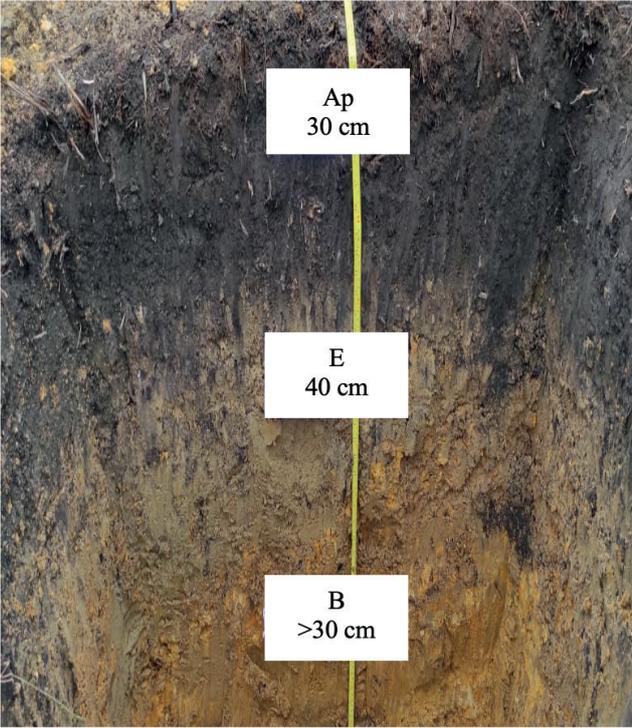
Altitud	2 828 m.s.n.m.		
Coordenadas	699 826 E 9 603 953 N		
Pendiente	5 %		
Paisaje	Pie de monte		
Tipo de relieve	Vertiente cresta		
Forma del terreno	Pendiente baja		
Condiciones de humedad	Húmedo		
Pedregosidad superficial	0 %		
Tamaño	N/A		
Afloramientos rocosos	No		
Tipo	N/A		
Uso actual o cobertura vegetal	Sin uso		
Material parental	Rocas sedimentarias		
Presencia de sales o alcalis:	libre	Drenaje	
Clasificación taxonómica USDA, (2014)	<i>Vertic Hapustalfs</i>		

Tabla 2. Descripción de los horizontes y capas del suelo de la finca Buenos Aires.

Horizonte y espesor (cm)	Color	Textura	Estructura y consistencia	Poros	Raíces	Límite
<b>Ap</b> 00 - 30	7,5 YR 1/7 Negro	franco arenoso	bloques subangulares, gruesos medios y finos Ligeramente adherente, no plástico, blando en seco.	abundantes medios, finos y muy finos	abundantes, medias, finas, muy finas	neto y plano
<b>E</b> 30 - 70	7,5 YR 8/3 Luz	arcilloso	prismáticas y columnares fuertes, con cutanes discontinuos delgados, y cementación fuerte, adherente, muy plástico.	frecuentes, muy finos, finos y gruesos	pocas, muy finas, finas y medias	brusco
<b>B</b> 70 - 100	7,5 YR 8/6 Naranja	arcillo arenoso	masivo, muy adherente, Ligeramente plástico.	pocos y finos	muy pocas, finas y medias	brusco

El diseño del sistema de riego se realizó en un predio representativo de 1,0\0 ha con pendiente de 5 %, en el que se trazaron curvas de nivel a cada 1,0 m. El caudal en la fuente es de 2,4 l/; las constantes hidrofísicas del suelo fueron CC: 31,92 % (pF 2,0), PMP: 17,35 % (pF 4,2), estado poroso del suelo o saturación de 66,04 % (pF 0,0) y textura franco arenosa.

El AA fue de 14,57 %, valor alto de agua fácilmente disponible para el desarrollo de la planta, con una capacidad de aireación del suelo de 30,12 % (muy alta); el volumen de poros físicamente inerte fue de 55,31 %; volumen total de sólidos de 37,96 %. La velocidad de infiltración básica fue de 18,5 mm/h.

En el diseño agronómico (Fig. 1), para los requerimientos hídricos en la época de máxima demanda de agua en el cultivo se consideró la época de siembra de los cultivos de papa y pasto (junio a septiembre); En la Tabla 3, se presenta los coeficientes de los dos cultivos en las diferentes etapas fenológicas.

Tabla 3. Coeficientes de cultivo (papa y pasto) en las diferentes fases fenológicas.

Cultivo	<i>kc</i>				<i>ETc</i> (mm/día)
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	
papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	0,45	0,75	1,15	0,85	1,17–2,99
pasto ( <i>Cynodon dactylon</i> )	0,55	1,05	1,05	1,00	2,47–2,90

La LAA fue 43,71 mm para papa y 45,90 mm para pasto, a una profundidad radicular efectiva de 40 cm; la LARA de 21,86 mm (papa) y 21,95 mm (pasto); la frecuencia de riego de siete días para la papa y ocho días para el pasto, se ajustó la LARA a 21,86 mm (papa) y 22,95 mm (pasto); se consideró la eficiencia del método de riego en 50 % debido a la velocidad del viento, que en el sector alcanza 3,5 m/s; para mantener la humedad óptima del cultivo y evitar el estrés hídrico (INIA, 2009); con lo cual la lámina de riego fue de 27,32 mm para papa y 28,62 mm para pasto.

Por tratarse de cultivos (papa y pasto) con similares características en requerimientos hídricos y en profundidad radicular, se seleccionó un aspersor mini cañón (Naandanjain 5022 SD 1/2” o 3/4”) con número de boquilla de 2,8 mm por 1,8 mm (código naranja), caudal de 0,62 m<sup>3</sup>/h, presión de 2,0 bar, altura del elevador de 0,7 m y diámetro húmedo de 24 m. A fin de obtener mayor uniformidad de distribución del agua se consideró un marco de riego, proporcionado por el fabricante, de (12 por 12) m. La intensidad de precipitación del aspersor es de 4,31 mm/h, siendo menor a la velocidad de infiltración básica. El tiempo de riego es de 6 h; debido a la forma del terreno se diseñó 10 laterales de 96 m con siete aspersores y caudal por lateral de 1,21 l/s.

Para el diseño hidráulico (Figura 2), en función del caudal, diámetro interno de tubería y el coeficiente de fricción de 150, que coincide para la tubería PVC, se determinaron las pérdidas de carga por fricción con la condición que la velocidad en la tubería principal sea menor a 2,5 m/s y de 0,5 a 2,0 m/s para las laterales (Tabla 4).

Tabla 4. Pérdida de carga en la red de tubería con el método de Hazen-Williams.

Tubería	Caudal l/s	Longitud m	Diámetro			Velocidad m/s	J m/100	hf m	F	Hf m
			Nominal pulgadas	Externo mm	Interno mm					
Principal	2,40	169	3	75	71,4	0,60	0,54	0,91	---	0,91
Secundaria	2,40	125	3	75	71,4	0,60	0,54	0,67	0,41	0,27
Lateral 1	1,21	80	1 ½	40	37,2	1,11	3,58	2,87	0,38	1,08
Accesorios										0,22
HfTotal										2,48

La condición de diseño se cumple, la diferencia de presiones entre los aspersores con máxima y mínima presión, no superan el 20% de la presión nominal.

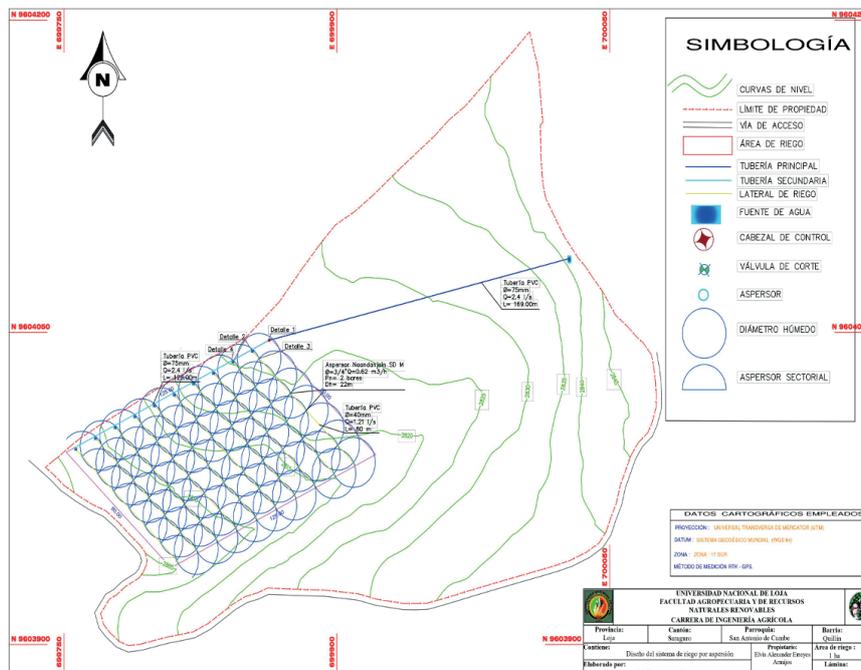


Fig. 1: Diseño agronómico para el sistema de riego del sector Chariguiña.

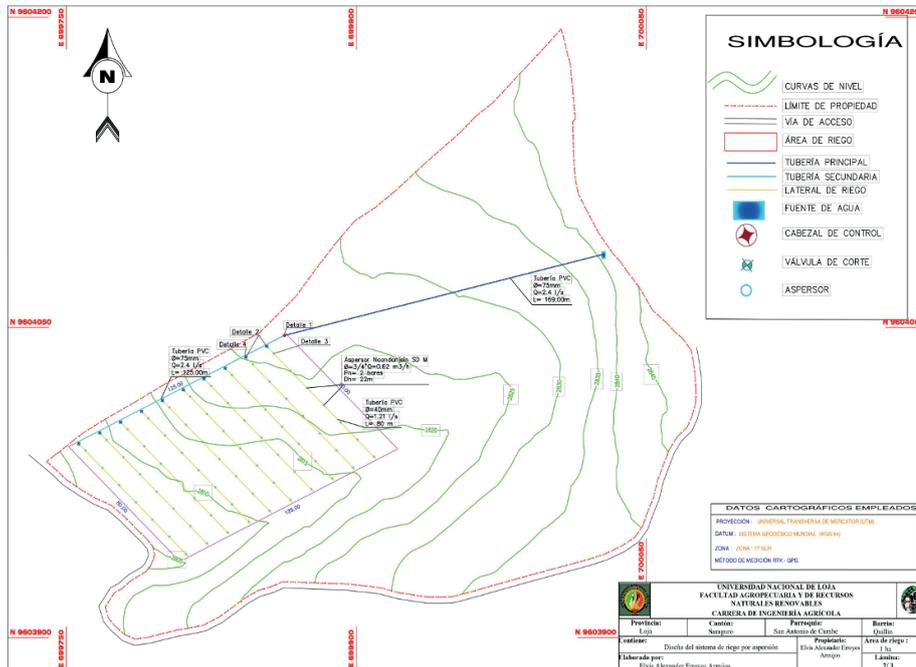


Fig. 2: Diseño hidráulico para el sistema de riego del sector Chariguña.

La calidad del agua para riego presenta una dureza de: 1,77 mgCaCO<sub>3</sub>/l, según Zamora, (2009) se clasifica como agua blanda, salinidad de 0,017 =dS/m de CE, pH 7,39, alcalinidad de 25 mg/l; relación de adsorción de sodio (RAS) de 0,52 y carbonato de sodio residual (CSR) de 1,25 meq/l.

El diseño e implementación del sistema de riego por aspersión para 1,0 ha tiene un costo de \$ 3.705,14.

Los costos de producción del cultivo es \$ 3 597,55/campaña (3,5 meses) y como se prevé realizar tres campañas de papa chaucha al año en 0,5 ha, el costo de producción será de \$10 792,65; aplicando esta proyección, el costo de producción para cultivar 0,5 ha de pasto será de \$ 283,00 y se espera tener cuatro cosechas anualmente; lo que da una producción de \$ 400,00 con una ganancia de \$117 por año; Por tanto, con los dos cultivos se espera obtener una ganancia anual de \$ 7 424,35. Por lo tanto la inversión se espera recuperar en seis meses.

### Caracterización de la AFC del sector Chariguña

La tenencia de la tierra en el sector Chariguña, en su mayoría, son predios con superficie menor o igual a 1,0 ha, Según Graham (2012); De la O. y Garner (2012), citados en FAO (2014) mencionan, para una AFC en el área andina se considera fincas de hasta 5,0 ha; en Centroamérica y el Caribe, aproximadamente de 2,0 ha, siendo a veces, inferiores a 1,0 ha.

Los predios se dedican en su totalidad a la ganadería, se practica una agricultura mecanizada para la preparación del suelo, la siembra y cosecha se realiza tradicional o convencionalmente; con mano de obra del sector, la misma que no es calificada.

### Descripción del perfil del suelo

En la finca Buenos Aires con pendiente del 5 %, el suelo es muy profundo, constituido por los horizontes genéticos: Ap de 0,30 m de espesor, con bloques subangulares, se encuentra en la parte superficial y contiene gran porcentaje de materia orgánica, al respecto Valarezo-Manosalvas

(2016) manifiestas, el horizonte A generalmente se denomina capa superior, es el horizonte superior mineral con acumulación de materia orgánica; el horizonte E de 0,40 m, con bloques prismáticos y columnares; generalmente se sitúa entre el horizonte A y B, con menos materia orgánica que el A. Además, son suelos muy arenosos y de colores muy claros (Cuenca, 2020); por su parte Valarezo-Manosalvas, (2016) refiere, los colores claros son el resultado de una gran lixiviación de arcilla, materia orgánica y otras sustancias químicas como el hierro. El horizonte B de más de 30 a 100 cm, es masivo, muy adherente y muy duro en seco; no contiene materia orgánica y con mayor cantidad de arcilla en relación al horizonte E, lo cual coincide con la descripción de Valarezo-Manosalvas, (2016); adicionalmente, Cuenca (2020) expresa que el horizonte B se lo puede llamar horizonte de enriquecimiento en arcilla (iluvial o in situ), con un buen desarrollo de estructura edáfica típicamente en bloques angulares, subangulares y prismática.

La velocidad de infiltración básica fue de 18,46 mm/h, USDA (2014) la clasifica como infiltración moderadamente lenta, por estar en el rango de 5 a 20 mm/h, por su parte Cisneros-Almazan (2003), valores de 17,5 a 25,0 mm/h, corresponde a una velocidad de infiltración media, debido al efecto que tienen los limos (22%); por lo general, al ser fácilmente arrastrados por el agua tienden a taponar los poros, reduciendo el diámetro de los mismos y generando mayor tortuosidad al paso del agua (Ochoa, 2012).

### **Diseño del sistema de riego por aspersión**

El sector Chariguiña de la parroquia San Antonio de Cumbe del cantón Saraguro, al igual que otros cantones de la provincia de Loja como Catamayo (Vásquez et al., 2022), se caracteriza por desarrollar una agricultura familiar campesina de subsistencia, con énfasis en la actividad ganadera, la producción de forrajes depende, por lo general, de las precipitaciones durante la época lluviosa que va de diciembre a mayo; al norte del sector se han implementado algunos sistemas de riego que funcionan energizados por bombeo; no obstante, presenta inconvenientes de orden técnico puesto que, incluso la selección y adquisición de las bombas se hace sin ningún criterio técnico. Es evidente la falta de tecnología para manejar el agua de riego; un bajo porcentaje riegan por aspersión, debido a la falta de conocimiento y experiencia. Según AGROSÍNTESIS (2016), el riego por goteo es uno de los sistemas más eficientes, debido a la mayor uniformidad, menor incidencia de malezas, menor costo de mano de obra, menor impacto al ambiente y uso eficiente de los insumos para la producción. Para la aplicación de sistemas de riego por gravedad o por aspersión, se debe realizar estudios, específicamente para controlar el contenido de humedad en el suelo y lograr un desarrollo adecuado del cultivo (INIAP, 2014).

El sistema de riego fue diseñado para satisfacer las necesidades del cultivo sin causar erosión o escurrimiento. El costo inicial de instalación del sistema de riego, puede parecer costoso; sin embargo, se debe considerar la vida útil de 10 a 12 años (NRCS, 2013); en estas consideraciones, la inversión se justifica, dado las características de la finca, relacionado con el tamaño, topografía, condiciones físicas del suelo, calidad de agua para riego y las costumbres de los agricultores en los cultivos principalmente de papa, el sistema de riego propuesto es de fácil operación por parte de los agricultores

La instalación de 1,0 ha de riego por aspersión tiene un costo de \$ 3 705,14; la inversión se recuperará en seis meses; siempre y cuando se haga un correcto manejo del agua y el suelo; así como, adecuado plan de fertilización, cosecha y postcosecha. Al respecto, se reporta \$ 2 575,62 (Gallegos-Días, 2016), \$3 778,05 (Torres, 2017), \$ 4 450,4 (Jiménez, 2019) para el costo de instalación de 1,0 ha; la variación de costos, se debe fundamentalmente, al material utilizado, situación geográfica y al año en que se realizó la instalación del sistema de riego por aspersión.

## CONCLUSIONES

En general, en los predios del sector Chariguiña, caracterizados por suelos planos, de textura franco-arenosa y con superficie, en su mayoría, de 1,0 ha, se practica una agricultura de subsistencia, donde predominan los cultivos de pasto, papa, melloco, maíz, fréjol, entre otros; la producción, mayoritariamente, se destina para el autoconsumo.

Las condiciones físicas del suelo del sector Chariguiña, se ubica en la ZONA III y se clasifica como medio

Se propuso un sistema de riego para el cultivo de papa y pasto con tiempo de riego de seis horas y frecuencia de riego de siete días, con una lámina de riego de 27,32 mm.

El agua del sector Chariguiña tiene las condiciones óptimas para favorecer el crecimiento de los cultivos, sin causar daños al suelo, así como garantizar el correcto funcionamiento del sistema de riego.

La instalación de 1,00 ha de riego por aspersión tiene un costo de \$ 3 705,14; inversión que se recuperará en seis meses.

### Contribución de los autores

E.R.V.: Responsable del proceso de investigación, análisis de información y elaboración del manuscrito. E.A.E.A.: Recopilación de información, diseño de sistema de riego. G.J.V.R.: Aporte en la revisión de la información, análisis de datos y escritura del manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGROSÍNTESIS (2016). Riego por goteo en el cultivo de maíz. *Revista AgroSíntesis*. <https://www.agrosintesis.com/riego-goteo-cultivo-maiz>
- Arroyo, M. M. (2017, septiembre 11). *El Riego Inteligente en la agricultura*. <https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/riego-inteligente-agricultura>
- Cadena, V. H. (2016). *Hablemos de riego*. <https://isbn.cloud/9789942110541/hablemos-de-riego/>
- Chamba-Morales, M. D., Lapo-Paredes, L. E., & Vásquez, E. R. (2019). La agricultura familiar campesina en el cantón Catamayo, provincia de Loja. *CEDAMAZ Revista del Centro de Estudio y Desarrollo de la Amazonia*, 9(2), 66-74. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/886/711>
- Cisneros-Almazan, R. (2003). *Apuntes de Riego y Drenaje*. <http://www.ingenieria.uaslp.mx>
- Cuenca, M. (2020). *Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos*. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19586/mod\\_resource/content/1/LIBRO%20DE%20CAMPAÑA%20PARA%20DESCRIPCIÓN%20Y%20MUESTREO%20DE%20SUELOS.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19586/mod_resource/content/1/LIBRO%20DE%20CAMPAÑA%20PARA%20DESCRIPCIÓN%20Y%20MUESTREO%20DE%20SUELOS.pdf)
- EUROSUR (2015). *El riego en América Latina*. [http://www.eurosur.org/medio\\_ambiente/bif60.htm](http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif60.htm)
- FAO (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

Vásquez, E., et al. (2023). Propuesta de riego para predios del sector Chariguiña de la parroquia San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 13(1):37-48. <https://doi.org/https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1453>

- FAO (2014). *Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política* (S. Salcedo & L. Guzmán, Eds.). <http://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>
- Gallegos-Díaz, C. P. (2016). Diseño e implementación de un sistema de riego presurizado para pastos en la finca Landapo de la parroquia Lauro Guerrero, cantón Paltas, provincia de Loja [Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12733/1/CRISTIAN\\_PEDRO\\_GALLEGOS\\_D%c3%8dAZ.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12733/1/CRISTIAN_PEDRO_GALLEGOS_D%c3%8dAZ.pdf)
- Hargreaves, G., & Samani, Z. (1985). *Reference Crop Evapotranspiration from Temperature*. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>
- INIA (2000). *Inserción del riego en rotaciones de cultivos y pasturas*. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10424/1/70.pdf>
- INIAP (2014). *Cultivo de yuca en el Ecuador*. 28. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mraiz/ryuca>
- INTA (2011). Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego) [https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo\\_de\\_muestreo\\_de\\_aguas\\_inta.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf)
- Jiménez, R. A. (2019). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José [Universidad Nacional de Loja]*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/22595>
- Martínez-Valle, L. (2013). La Agricultura Familiar en El Ecuador. Serie Documentos de Trabajo No.147. Grupo de Trabajo: Desarrollo con Cohesión Territorial. Programa Cohesión Territorial para el Desarrollo. *Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP)*. Santiago, Chile, 4-38. [https://www.rimisp.org/wpcontent/files\\_mf/1434745799147AgriculturaFamiliarEcuadorMartinez\\_editado.pdf](https://www.rimisp.org/wpcontent/files_mf/1434745799147AgriculturaFamiliarEcuadorMartinez_editado.pdf)
- Martínez, S. (2015). *Implementación de un Sistema de Riego por Goteo en la Granja Experimental de Agroempresas de la Universidad San Francisco de Quito en Puenbo- Pichincha [Universidad San Francisco de Quito USFQ]*. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6396/1/130564.pdf>
- NRCS (2013). *Irrigation\_brochure-Spanish.pdf*. [http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5C2015%5Coperacion\\_laderas.pdf](http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5C2015%5Coperacion_laderas.pdf)
- Ochoa, V. E. M. (2012). Suelos Parcialmente Saturados, de la Investigación a la Cátedra Universitaria. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 31, 23-38.
- GAD-Loja (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja*. 547.
- GAD-San Antonio de Cumbe (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia San Antonio de Cumbe*. 120.
- SECRETARÍA DEL AGUA (2019). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019—2027* <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/2019/12/PNRD-2019-2027.pdf>. 160.
- Torres, I. A. (2017). *Diseño e instalación de riego por aspersión*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6960/6/TEORIA.pdf>

- USDA (2014). *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales Décima segunda Edición, 2014. 410.*
- Valarezo-Manosalvas, C. (2016). *El suelo como recurso básico para el crecimiento de las plantas: Elementos sobre génesis, mineralogía, características fisicoquímicas y fertilidad.*
- Tigre (2011). *Polietileno: Manual Técnico.* <https://www.tigre.com.ar/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/argentina/catalogo-pehd.pdf>
- Ureña, G. del C. (2017). *Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz (Zea Mays), mediante el lisímetro volumétrico, en el sector El Porvenir perteneciente al sistema de riego Campana-Malacatos [Tesis, Universidad Nacional de Loja].* [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UNL\\_4385bccc5769b1a01a82726fdeaa6c87](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UNL_4385bccc5769b1a01a82726fdeaa6c87)
- Vásquez, E. R., Guamán-Zhingre, M. A., & Vásquez-Rodríguez, G. J. (2022, abril 10). Agricultura familiar campesina y propuesta de riego para predios del sector El Salado del barrio La Vega, cantón Catamayo, provincia de Loja. *2022, 12(1), 31-42.* <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/issue/view/93/166>
- Zamora, J. R. (2009). *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. 9(12), 10.*

## Enmienda de cal en suelos degradados por la ganadería en la parroquia Panguintza, cantón Zumbi, provincia de Zamora Chinchipe

### Lime amendment in soils degraded by livestock in the Panguintza parish, Zumbi canton, Zamora Chinchipe province

Marconi Mora Erraez<sup>1</sup>  
Edison Vásquez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Docente-Investigador de la Carrera de Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

\*Autor para correspondencia: romney.mora @unl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1539>

Recibido: 31/08/2022

Aceptado: 11/11/2022

## RESUMEN

Los suelos de Zamora Chinchipe, son profundos, ácidos y de baja fertilidad, el material parental *andesita* tiene una incidencia notable en su potencial productivo. Con el objetivo de controlar la acidez en suelos de ladera, degradados por efecto de la ganadería en la parroquia Panguintza del cantón Zumbi, se analizaron las características químicas y físicas. La vegetación herbácea y arbustiva se cortó a raz; se ubicó el punto de cada especie arbórea; a partir del cual se trazó una circunferencia de 2,0 m de diámetro; en el círculo se distribuyó superficial y uniformemente el carbonato de calcio; luego se mezcló con el suelo hasta 25 cm de profundidad. En un arreglo de parcelas subdivididas (2x2x3) se diseñó un experimento de bloques al azar con 12 tratamientos, tres réplicas y 16 plantas por unidad experimental; se probaron dos especies arbóreas: melina (*Gmelina arborea Roxb*) y pachaco (*Schizolobium parahybum Vell. Conc*), dos niveles de cal con fertilización y tres niveles de carbón vegetal (0, 3 y 6 t/ha). Al inicio del cultivo se aplicó N, P, K, B, Mg y Zn. A los 120 días el pH se incrementó de 4,6 a 4,9; el Al<sup>3+</sup> disminuyó de 3 a 1,6 meq/100 g, la saturación de bases incrementó en 23 unidades. En altura de planta, se evidenció un crecimiento, para el pachaco de 0,7 y 1,3 cm/día sin y con fertilización, respectivamente, mientras que la melina tuvo un crecimiento de 0,9 y 1,1 cm/día sin y con fertilización.

**Palabras claves:** meteorización ferralítica, ultisoles, oxisoles

## ABSTRACT

The soils of Zamora Chinchipe, they are deep, andesita, acidic and low fertility, the andesite parent material has a notable impact on its productive potential. In order to control the acidity of a Rhodic Kandudults in hillside soils, degraded by the effect of livestock, formed of andesites, They belong to the Upper Member of the Chapiza Formation of the Jurassic, of the Panguintza parish of the Zumbi canton, the chemical and physical characteristics of the soil were analyzed. Herbaceous and shrubby vegetation was cut to the ground. The experiment was traced and the planting point of each tree species was located; From which a circumference of 2.0 m in diameter was drawn. In the circle the calcium carbonate was distributed superficially and uniformly; then it was mixed with the soil up to 25 cm deep. These doses were applied in an arrangement of subdivided plots (2x2x3) two tree species melina (*Gmelina arborea Roxb*) y pachaco (*Schizolobium parahybum Vell. Conc*), two levels of the lime-fertilization combination and three levels of carbon (0.0 t/ha, 3.0 t/ha and 6.0 t/ha), A randomized block experiment was designed. with twelve treatments, three replicates and 16 plants per experimental unit. In the initial stage of cultivation, the experimental units received N, P, K, B, Mg and Zn; at 120 days, an increase in pH from (4.6 to 4.9) was observed;  $Al^{3+}$  decreased from 3.0 to 1.6 meq/100 g, base saturation increased by 23 units and decreased by 3. In the response variable plant height, a significant increase was evidenced, the pachaco reached an average height of 5.4 and 9.2 m, without and with fertilization whose difference is equivalent to a growth of 0.7 and 1.3 cm/day, while the melina reached a average height of 6.4 and 7.7 m without and with fertilization, which is equivalent to a growth of 0.9 and 1.1 cm/day.

**Key words:** ferralitic weathering, ultisols, oxisols

## INTRODUCCIÓN

El potencial hidrogeno es una propiedad química que mide el valor de acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas, el pH tiene una escala de 0 a 14; la solución del suelo fluctúa entre 4,0 a 8,0. La acidez del suelo es una condición común en los suelos de las regiones húmedas tropicales, mientras que la condición alcalina predomina en suelos de regiones secas tropicales. (Osorio, 2012). Cuando el pH se reduce por debajo de 5,5, los nutrientes como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , Mo y P pueden no estar disponibles para las plantas, en estas condiciones, el Fe,  $Al^{3+}$  y  $Mn^{2+}$  se vuelven tóxicos; en los suelos del trópico húmedo la acidez constituye una limitante para el desarrollo de la agricultura; entre los factores que determinan baja productividad, se incluyen la toxicidad del  $Al^{3+}$  y  $Mn^{2+}$ , deficiencias y/o desbalance entre los cationes básicos y del estado de meteorización y mineralogía.

El proceso de acidificación del suelo por acumulación de materia orgánica, alteración de los minerales primarios y lixiviación de los constituyentes solubles (De Coninck, 1989), se debe a la pérdida de las bases por disolución en zonas de alta precipitación, percolación y lixiviación; los sitios en la matriz del suelo ocupados por las bases se reemplazan por el ion hidrógeno ( $H^+$ ). Adicionalmente, existen otras causas para incrementar la concentración de  $H^+$ : remoción de las bases por parte del cultivo, aplicación de materia orgánica, que en su proceso de descomposición pierde sus enlaces covalentes, los organismos del suelo en su proceso de respiración generan  $CO_2$ , el mismo que al unirse con el agua del suelo da lugar a la generación de  $H^+$  (Padilla, 2004).

El aporte de los co-iones a la solución del suelo como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica (MOS) produce aniones  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  y  $Cl^-$  que arrastran a los cationes del perfil. Además, los microorganismos descomponen la MOS y generan un constante suplemento de  $CO_2$  que fácilmente se transforma en bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) y se combina con los cationes de la solución para promover

condiciones de acidez; la MOS contiene también grupos carboxílicos y fenólicos activos que se disocian liberando iones  $H^+$ . El contenido de MOS varía de sitio a sitio y por lo tanto su contribución a la acidez del suelo es también variable (Espinoza, 1987)

La mayoría de los suelos del trópico húmedo se desarrollan a través de un proceso de meteorización ferralítica o acumulación residual de óxidos de hierro y aluminio; son rojo-amarillentos y pertenecen a los *Ultisoles* y *Oxisoles*, que se caracteriza por baja reserva de nutrientes, elevada acidez, alta toxicidad de aluminio y deficiencia de fósforo (Valarezo, 2004a).

En la zona sur de la amazonia ecuatoriana, el tipo de material parental, predominantemente granodiorita y andesita, tiene una incidencia en su potencial productivo. En la parroquia Panguintza (cantón Zumbi de la provincia Zamora Chinchipe), el suelo debe su origen al material parental de andesitas volcánicas, zona de altas precipitación (mayor a 1 200 mm/año) y temperatura media mensual mayor a 22 °C; con valores de pH 4,5. Por su alto efecto fitotóxico, el  $Al^{3+}$  debe ser desplazado del sistema, mediante prácticas de encalamiento al suelo, esta acidez intercambiable es nociva para la mayoría de plantas.

El sobre encalado a valores de pH cercanos a 7,0 puede deprimir el rendimiento, causar deterioro de la estructura e inducir deficiencias de Zn, B y Mn; el encalado de los suelos tropicales debe ser suficiente para neutralizar el  $Al^{3+}$  hasta llegar a valores de 5,5 a 6,0. El mayor efecto benéfico del encalado de suelos es la reducción de la solubilidad del  $Al^{3+}$  y  $Mn^{2+}$ , nutrientes que, en bajas concentraciones son tóxicos para la mayoría de los cultivos; cuando se añade cal el incremento en pH induce la precipitación del  $Al^{3+}$  y  $Mn^{2+}$ , como compuestos insolubles removiéndolos de la solución del suelo (Espinoza, 1987). Sys (1979) citado por Valarezo (2004b) recomienda, la incorporación de  $CaCO_3$  en los suelos del trópico húmedo debe considerar el contenido de materia orgánica y de  $Al^{3+}$  intercambiable.

En estas consideraciones, se estudió el efecto de la aplicación de cal en el sector Los Zapotes de la parroquia Panguintza, con el fin de neutralizar el  $Al^{3+}$  tóxico y mejorar las propiedades químicas del suelo y lograr mayores rendimientos de los cultivos.

## ■ MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

La zona de estudio de Panguintza (Figura 1) corresponde a los flancos de las cordilleras Real y El Cóndor del valle alargado y estrecho de la red fluvial Zamora - Nangaritzza, en el sur de la amazonia ecuatoriana. El principal sistema de drenaje es el río Zamora con sus afluentes principales los ríos Yacuambi y Nangaritzza (Valarezo, 2004a).

El sector Los Zapotes, parroquia Panguintza, cantón Centinela del Cóndor, se ubica entre las coordenadas 9 5668110 y 9 5668160 E; y, 0741799 y 0741868 N, en un rango de altitud de 875 a 917 m s.n.m (Mora, 2014), es representativa de los suelos de ladera, degradados por efecto de la ganadería, formados de andesitas y brechas tobaceas, que pertenecen al Miembro Superior de la Formación Chapiza del Jurásico (DGGM, 1989).

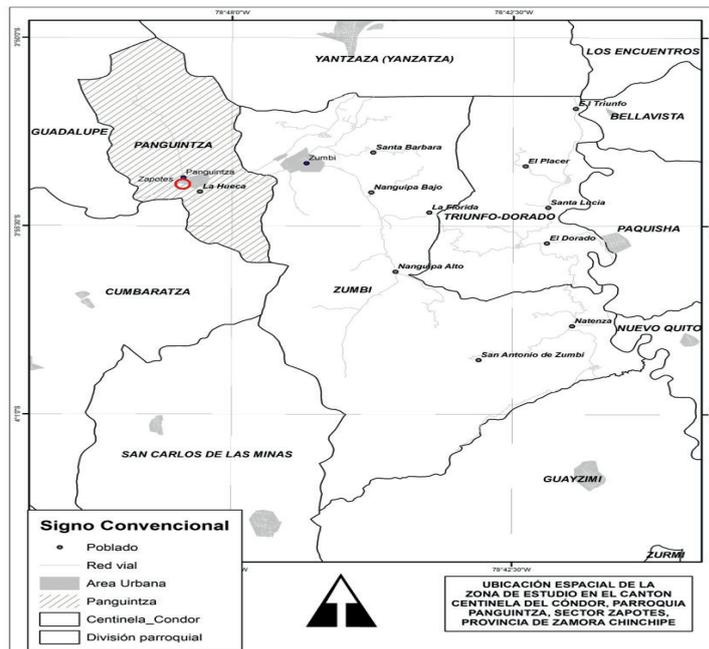


Figura 1. Ubicación del experimento en el sector Los Zapotes - Panguintza del cantón Centinela del Córdor (Zumbi) de la provincia de Zamora Chinchipe.

Como materiales y equipos se usaron plántulas de melina y pachaco, cal agrícola ( $\text{CaCO}_3$ ) de 95 % de pureza, GPS Garmin, hipsómetro electrónico (Dendrómetro-Relascopio electrónico “Criterion RD1000” para inventario forestal, medición de diámetros de 5 a 254 cm, área basal de 0,2 a 39,0 m<sup>2</sup>/ha, medición de pendientes (rango  $\pm 90^\circ$  y precisión  $\pm 0, 1^\circ$ ).

### Diseño experimental, factores en estudio, niveles y tratamientos

En un arreglo de parcelas subdivididas (2x2x3), se diseñó un experimento de bloques al azar, con doce tratamientos, tres réplicas y 16 plantas por unidad experimental.

Los factores estudiados fueron (Tabla 1): dos especies arbóreas melina (*Gmelina arborea* Roxb) y pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc), dos niveles de la combinación cal-fertilización (sin y con) y tres niveles de carbón (0 t/ha, 3 t/ha y 6 t/ha).

Tabla 1. Factores y niveles del experimento.

Factores	Niveles
Especies arbóreas (A)	a1 Pachaco ( <i>Schizolobium parahybum</i> Vell- Conc)
	a2 Melina ( <i>Gmelina arborea</i> Roxb)
Carbón vegetal (C)	c1 0,0 t/ha
	c2 3,0 t/ha
	c3 6,0 t/ha
Cal + Fertilización (F)	f1 0,0 t/ha cal + 0 kg/ha de nutrientes
	f2 Cal (3,0 t/ha) + (200 N, 150 P, 200 K, 118 Mg, 229 S, 40 Zn) kg/ha

## **Variables analizadas**

Se analizaron las variables: reacción del suelo, acidez cambiante, CIC, % SB y disponibilidad de nutrientes en las capas 00 a 25 cm y 25 a 50 cm, para evidenciar a los seis y 14 meses la evolución de las condiciones químicas y de fertilidad del suelo por efecto de la aplicación de nutrientes, cal.

## **Caracterización de la geología, geomorfología y material parental del suelo**

Para la identificación de la mineralogía, geomorfología y material parental del suelo se revisó las cartas de Zamora Chinchipe, mapa geológico del Ecuador escala 1:100 000 (Instituto Ecuatoriano de Minería DGGM, 1989); se observó *in situ* las formas del terreno y se identificó la roca de la cual se había formado el suelo.

## **Descripción de perfiles de suelos y toma de muestras alteradas**

Se utilizó la Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos del USDA (2010); en una calicata de 1,5 x 1,0 m y 1,0 m de profundidad; se delimitó los horizontes, de los tres primeros se tomó muestras de suelo con corte transversal y se realizó ensayos de campo para textura.

De cada horizonte del perfil del suelo se tomó una muestra disturbada para el análisis: reacción del suelo ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ), método potenciómetro; acidez cambiante ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ) extracción con KCl 1 N y titulación con NaOH 0,01 N (método de Day).

## **Preparación del área experimental**

La vegetación herbácea y arbustiva se cortó a ras del suelo. Se trazó el experimento y se ubicó el punto de plantación de cada especie arbórea; a partir del cual se trazó una circunferencia de 2,0 m de diámetro. En el círculo se distribuyó superficial y uniformemente el carbonato de calcio; luego se mezcló con el suelo hasta 25 cm de profundidad; la remoción de suelo en el círculo se realizó también en los sitios de los árboles de las unidades experimentales sin fertilización y sin carbón vegetal; finalmente, se realizó la plantación de las plántulas de pachaco y melina.

La dosis de 3 t/ha de  $\text{CaCO}_3$  se calculó a partir de los promedios ponderados del contenido de  $\text{Al}^{3+}$  intercambiable (extraído con  $\text{KCl}$  1N) y del contenido de MO de las muestras tomadas de las capas superiores del suelo (hasta 25 cm de profundidad), en relación 2:1 (2 cmol (+)/kg  $\text{Ca}^{2+}$ : 1 cmol (+)/kg  $\text{Al}^{3+}$ /cmol (+)/kg  $\text{Al}^{3+}$ , sugerida por Sys (1979) y citado por Valarezo (2004b).

Monitoreo de la evolución de las condiciones químicas y de fertilidad del suelo.

Al inicio y durante los 6 y 14 meses después de la plantación, en las cuatro plantas centrales de cada unidad experimental, se tomaron muestras de suelo disturbadas hasta 25 cm y de 25 a 50 cm de profundidad, para determinar la evolución de los contenidos de las formas disponibles de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn, del  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , acidez intercambiable ( $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{H}^+$ ), CIC y bases intercambiables.

## **Análisis de datos**

La información primaria del efecto de la enmienda de cal en suelos de ladera degradados por la ganadería se recabó de junio de 2010 a septiembre de 2011; con el software *InfoStat* (Di Rienzo *et al.*, 2008) se realizó el análisis de la variancia y la prueba de Tukey al nivel de significancia de 0,05, para la variable altura de planta y la evolución de las condiciones químicas, fertilidad, disponibilidad de nutrientes y la cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo.

Los contenidos totales de los elementos (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn, del  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , acidez intercambiable ( $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{H}^+$ ), CIC y bases intercambiables) de las unidades experimentales del bloque II, se analizaron en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Geografía de la Universidad de Berna, Suiza.

## RESULTADOS

### Descripción del perfil del suelo

En la Figura 2 se describe el perfil del suelo y en la Tabla 3 los horizontes y capas del suelo sector Los Zapotes de la parroquia Panguintza. Los tres perfiles no son idénticos, como es normal en la naturaleza, pero presentan capas con características similares; suelos muy profundos, formados a partir de andesita y brechas tobáceas; producto de los procesos pedogénéticos, los horizontes O y A han desaparecido por mineralización y erosión, respectivamente; como consecuencias del cambio del bosque primario y por la fuerte pendiente del terreno (60 %).

Altitud	875 m.s.n.m.		
Coordenadas	9 5668110 a 9 5668160 E 0741799 a 0741868 N		
Pendiente	60 %		
Paisaje	Pie de monte		
Tipo de relieve	Ladera		
Forma del terreno	Pendiente alta		
Condiciones de humedad	Udico		
Pedregosidad superficial	0 %		
Tamaño	N/A		
Afloramientos rocosos	No		
Tipo	N/A		
Uso actual o cobertura vegetal	Pasto artificial		
Material parental	Andesitas		
Presencia de sales o alcalis:	libre	Drenaje	bueno
Clasificación taxonómica USDA, (2010)	<i>Rhodic Kandiudults</i>		

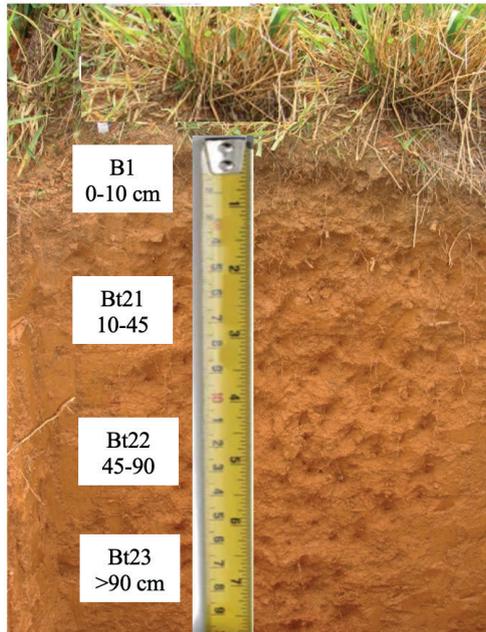


Figura 2. Descripción del perfil del suelo del sector Los Zapotes, parroquia Panguintza.

Tabla 2. Descripción de los horizontes y capas del suelo del sector Los Zapotes, parroquia Panguintza.

Horizonte y espesor (cm)	Color en húmedo	Textura	Estructura y consistencia	Poros	Raíces	Límite horizontal
B1 00 - 10	10 YR 4/6	Franco a franco limoso (al tacto)	Grado (Moderado), tipo (Bloque Sub Angular), Tamaño (Media); Adhesividad (Ligeramente adherente), Plasticidad (plástico), Cohesión (muy friable)	Cantidad (muchos), Diámetro (finos-medianos)	Tamaño (finos y medios) Cantidad (abundante)	Ancho (neto) Topografía (ondulada)
Bt21 10-45	7,5 YR 4/6	Arcilloso limoso	Grado (moderado), tipo (Bloque Subangular), tamaño Media; Adhesividad (adherente), Plasticidad (plástico), Cohesión friable	Cantidad (frecuente) Diámetro (finos-medianos)	Tamaño (finos y medios) Cantidad (comunes)	Ancho (gradual), Topografía (plano)
Bt22 45-90	7,5 YR 8/6 Naranja	Arcillo limoso	Grado (moderado), tipo (Bloque Subangular), tamaño Media; Adhesividad (adherente), Plasticidad (plástico), Cohesión friable	Cantidad (pocos) Diámetro (finos)	Tamaño (finos) Cantidad (pocas)	Ancho (difuso), Topografía (plano)
Bt23 90-120	5 YR 5/6	Arcillo limoso	Grado (moderado), tipo (Bloque Subangular), tamaño Media; Adhesividad (adherente), Plasticidad (plástico), Cohesión friable	Cantidad (muy pocos), Diámetro (muy finos)	Tamaño (muy finos y medios) Cantidad (muy pocas)	Ancho (masivo)

### Características químicas del suelo

La reacción en el perfil suelo fue muy ácida, con valores de  $pH_{H_2O}$  de 4,5 a 4,9 que varían irregularmente con la profundidad. En todos los horizontes minerales el  $pH_{KCl}$  es menor al  $pH_{H_2O}$  en un rango de 0,7 a 1,1 unidades, lo que evidencia que el suelo tiene carga eléctrica negativa neta. La acidez intercambiable ( $Al^{3+} + H^+$ ), aumenta con la profundidad, correspondiendo el menor valor (2,9 cmol (+)/kg) al horizonte Ap el más alto (6,4 cmol (+)/kg) al horizonte Bt22.

El  $Al^{3+}$  aumenta gradualmente con la profundidad, con 4,9 cmol (+)/kg para el horizonte Bt22; y 1,3 cmol(+)/kg para el Ap. El contenido de materia orgánica oscila entre 0,9 % para el horizonte Bt23 y 2,8 % para el horizonte Ap.

### Contenido total de Calcio y Magnesio

A los 14 meses después de la plantación en la capa superficial, el contenido total de calcio disminuyó con la aplicación de 3,0 t/ha de cal (Figura 3). Según el balance, para las dos especies arbóreas, en los tratamientos con fertilización los valores se incrementaron notablemente (1,6 g/kg) en relación al inicio.

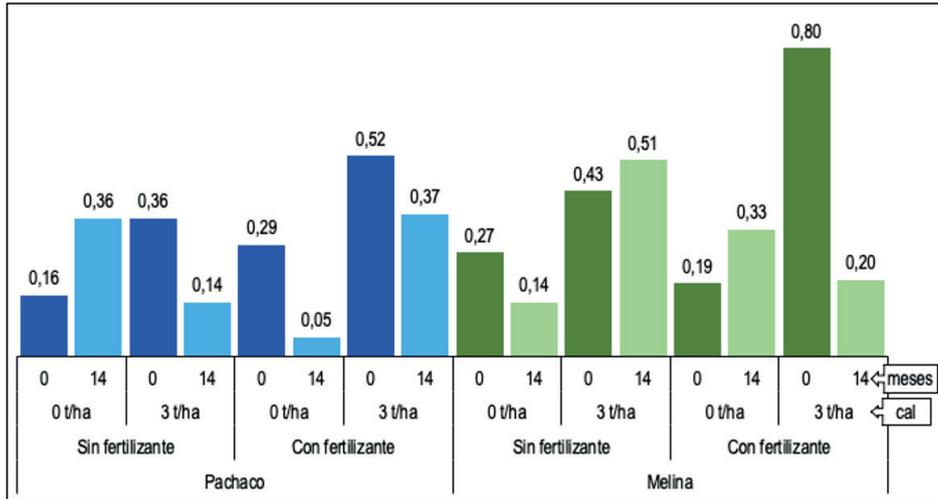


Figura 3. Evolución del contenido total de calcio (g/kg), en la capa de 0 a 25 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

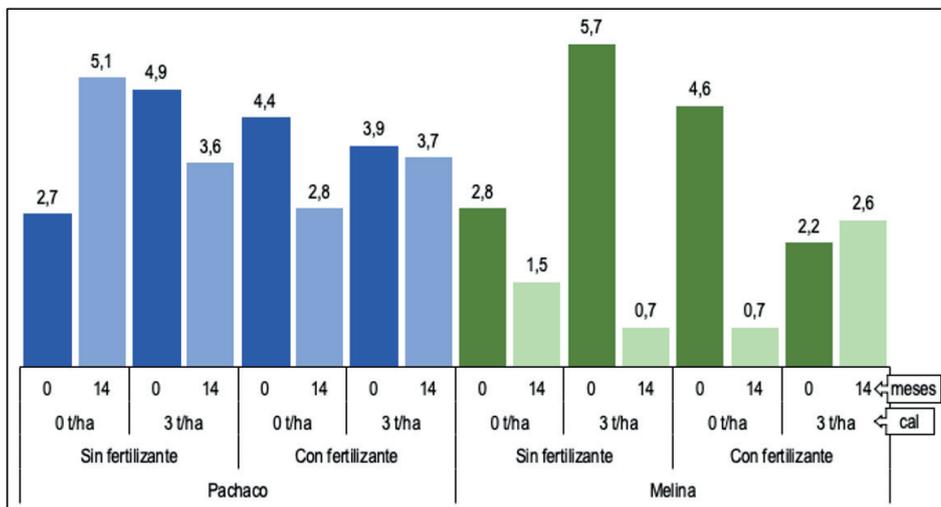


Figura 4. Evolución del contenido total de magnesio (g/kg), en la capa de 0 a 25 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

A los 14 meses, el contenido total de magnesio varió entre 0,7 y 5,2 g/kg, para la capa superficial (Figura 4). Según el balance, en los tratamientos con fertilización, el contenido disminuyó en promedio de 0,01 g/kg en relación al inicio, a pesar que se aplicó 118 kg/ha de este elemento.

## Evolución de las condiciones químicas del suelo

### Reacción del suelo y Acidez cambiante ( $Al^{3+} + H^+$ )

A los 24 meses después de la plantación, el  $pH_{H_2O}$  se incrementó en 0,3 unidades tanto en la capa superficial, como en la de 25 a 50 cm (Figura 5). Con la incorporación de fertilización, hasta una profundidad de 25 cm, la acidez intercambiable disminuye de 3,0 a 1,6 meq/100 g (Figura 6).

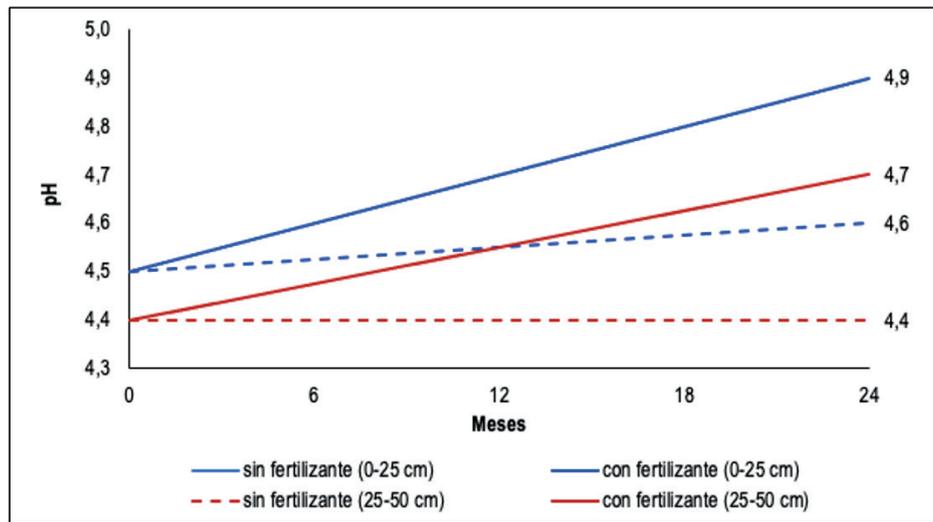


Figura 5. Evolución de la Reacción del suelo en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

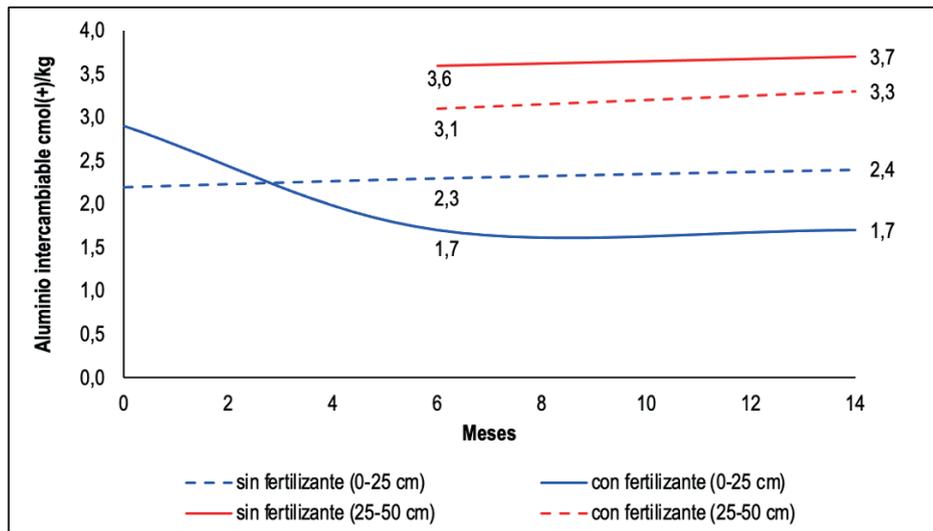


Figura 6. Evolución de la Acidez intercambiable en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

### Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe)

La CICe en la capa superficial con fertilización se incrementó a los seis meses y a los 14 meses desciende; sin fertilización se observó (Figura 7) un comportamiento similar, pero no tan pronunciado. En la segunda capa de 25 a 50 cm, disminuyó una unidad con la aplicación de fertilizante y de 0,2 unidades sin fertilización.

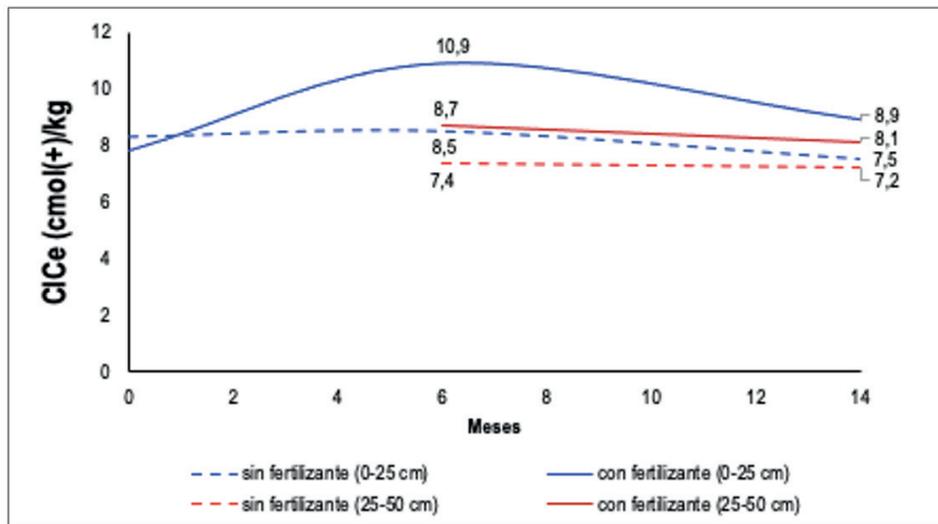


Figura 7. Evolución de la CICe en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

### Calcio intercambiable ( $Ca^{2+}$ ) y Magnesio intercambiable ( $Mg^{2+}$ )

El  $Ca^{2+}$  en la capa superficial, a los seis meses se incrementó en 0,8 unidades, a los 14 meses disminuyó 0,4 unidades con fertilización (Figura 8); sin fertilización a los seis meses disminuyó 0,4 unidades y a los 14 meses 0,1 unidades. En la capa de 25 a 50 cm, se presenta un decremento de 1,1 y 1,2 unidades con y sin fertilización, respectivamente.

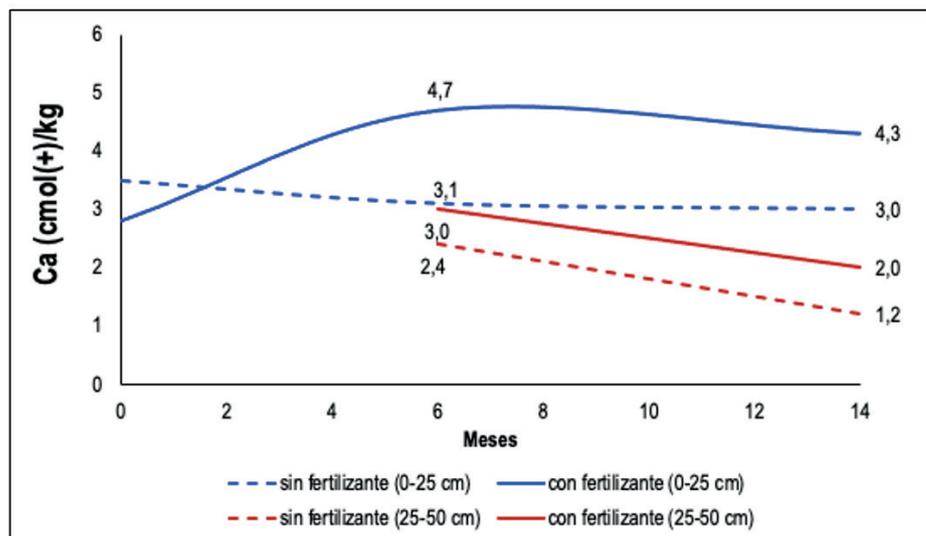


Figura 8. Evolución del  $Ca^{2+}$  en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

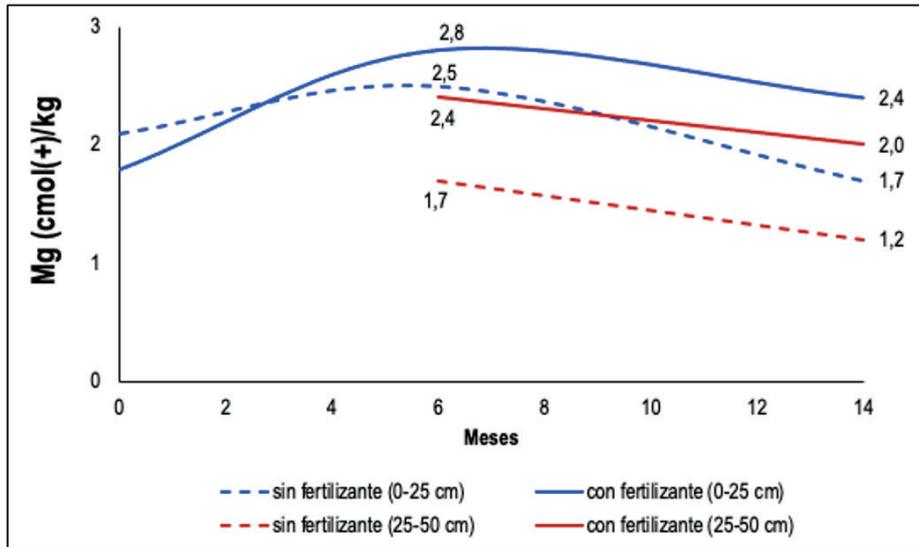


Figura 9. Evolución del  $Mg^{+2}$  en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

El  $Mg^{2+}$  en la capa superficial, a los seis meses se incrementó una unidad, a los 14 meses disminuyó 0,4 unidades con fertilización (Figura 9); sin fertilización a los seis meses incrementó 0,4 unidades y a los 14 meses disminuyó 0,8 unidades. En la capa de 25 a 50 cm, se presenta un decremento de 0,4 y 0,5 unidades con y sin fertilización, respectivamente.

### Saturación de bases (% SB)

El %SB, en la capa superficial, a los seis meses se incrementó 23 unidades, a los 14 meses disminuyó 3 unidades con fertilización (Figura 10); sin fertilización a los seis meses disminuyó una unidad y a los 14 meses disminuyó 4 unidades. En la capa de 25 a 50 cm, se presenta un decremento de 7 unidades con y sin fertilización.

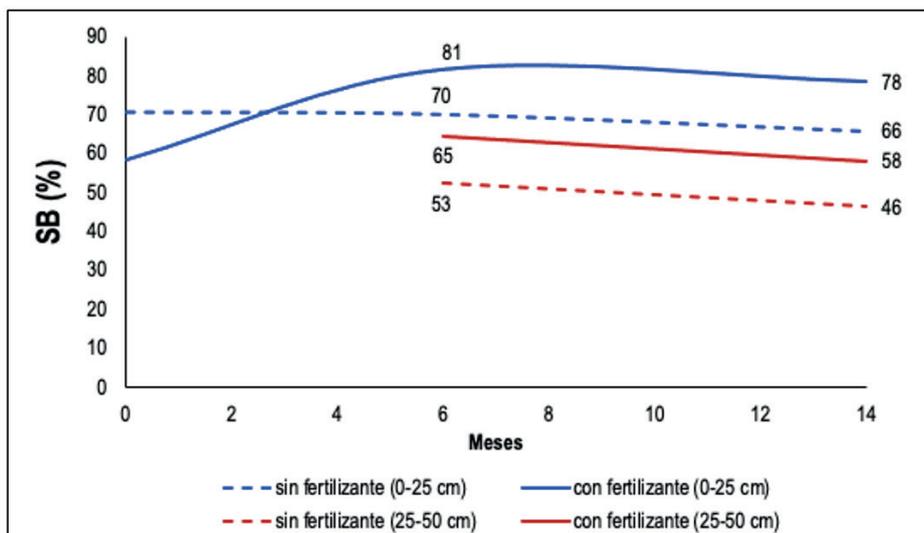


Figura 10. Evolución del porcentaje de saturación de bases en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

## Disponibilidad de nutrientes

### Nitrógeno disponible

El nitrógeno disponible en la capa superficial y de 25 a 50 cm, en los tratamientos sin y con fertilización se mantuvo en el rango de bajo durante los 24 meses desde la plantación. Aunque en los tratamientos con fertilización se aplicaron 200 kg/ha de N; sin embargo, el contenido de la forma aprovechable se ubica en el rango de bajo, lo cual se explicaría por la absorción del mismo por las especies arbóreas, lixiviación por la lluvia y hasta volatilización de las formas gaseosas.

### Fósforo disponible

En la capa superficial, el fósforo disponible a los seis meses se incrementó en 29 unidades, a los 14 meses disminuye 16 unidades con fertilización (Figura 11); sin fertilización a los seis meses incrementó 4 unidades y a los 14 meses incrementó 7 unidades. En la capa de 25 a 50 cm, se incrementó en 13 y 5 unidades con y sin fertilización, respectivamente.

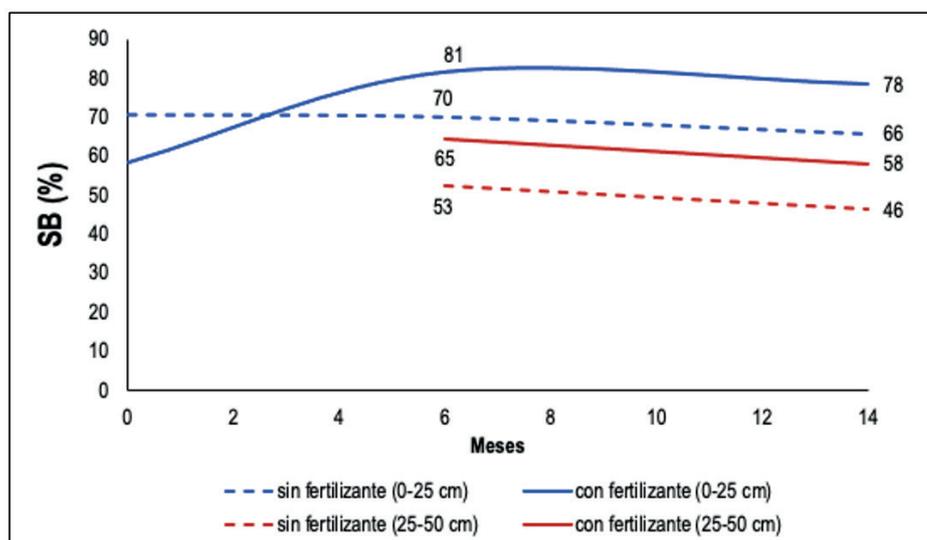


Figura 11. Evolución del Fósforo disponible en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la fertilización

### Calcio y magnesio disponible

En la capa superficial, el calcio disponible a los seis meses se incrementó en 291 unidades, a los 14 meses disminuyó 91 unidades con fertilización (Figura 12); sin fertilización a los seis meses incrementó 76 unidades y a los 14 meses disminuyó 52 unidades. En la capa de 25 a 50 cm, disminuyó 23 unidades con y sin fertilización aumentó 8 unidades.

En la capa superficial, el magnesio disponible a los seis meses se incrementó en 224 unidades y 6 unidades a los 14 meses con fertilización (Figura 12); sin fertilización a los seis meses incrementó 168 unidades y a los 14 meses disminuyó 5 unidades. En la capa de 25 a 50 cm, disminuyó 19 unidades con fertilización y una unidad sin fertilización (Figura 13).

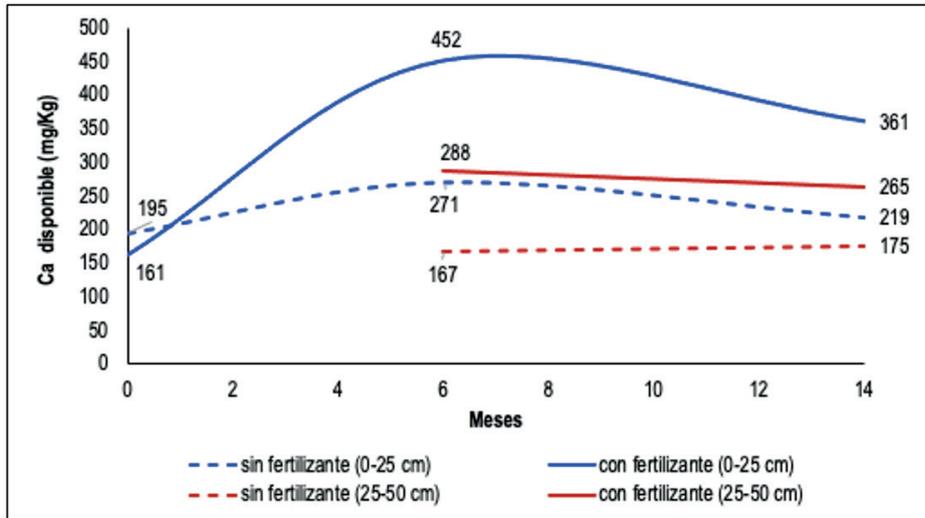


Figura 12. Evolución del calcio disponible en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

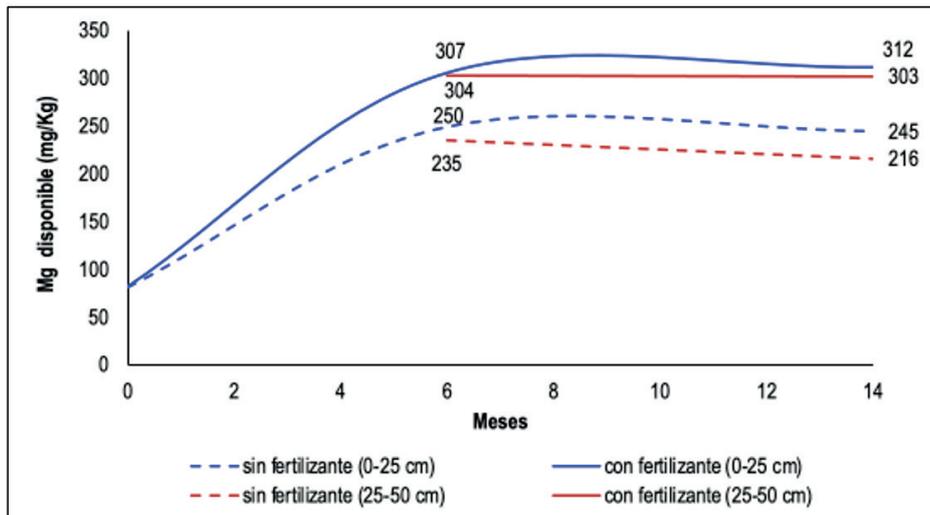


Figura 13. Evolución del magnesio disponible en las capas de 0 a 25 y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la fertilización.

### Altura de planta de pachaco y melina

La altura de planta para las dos especies (con y sin fertilización) hasta los 730 días se ajusta al modelo lineal, lo cual es coherente por cuanto se evaluó la etapa juvenil de las mismas (Figura 14). Pachaco tuvo un crecimiento diario de 7 y 11 mm; y melina de 8 y 9 mm sin y con fertilizante, respectivamente. A los dos años después de la plantación, el pachaco con y sin fertilización alcanzó una altura promedio de 9,20 y 5,40 m, respectivamente con una diferencia de 3,80 m. Por su parte, la altura promedio de la melina fue 7,70 y 6,40 m, con y sin fertilización, respectivamente, con una diferencia de 1,30 m.

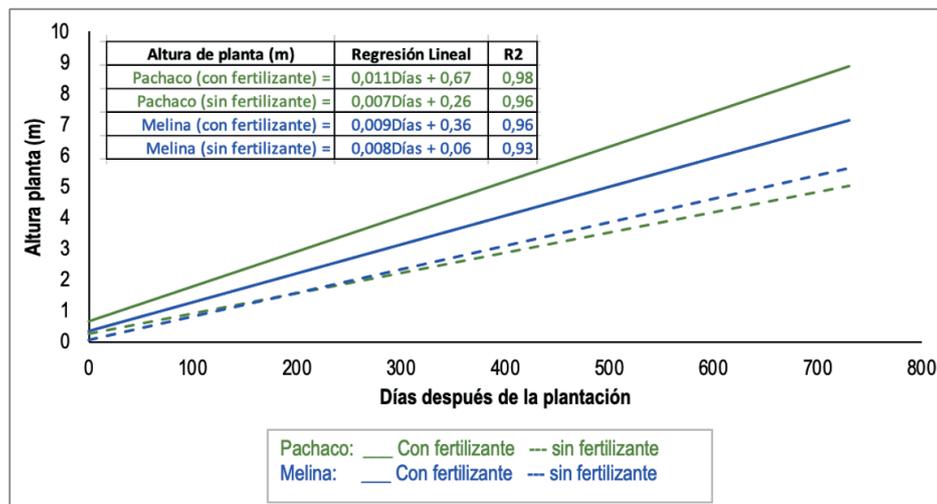


Figura 14. Altura del pachaco y melina sin y con fertilización hasta los 730 días después de la plantación.

## DISCUSIÓN

### Descripción del perfil del suelo

El suelo del sector Los Zapotes, clasificado en campo como *Rhodic Kandiuults*, tiene una reacción del perfil suelo fue “muy ácida”, con valores de  $pH_{H_2O}$  que varían irregularmente con la profundidad de 4,5 a 4,9. En todos los horizontes minerales el  $pH_{KCl}$  es menor al  $pH_{H_2O}$  en un rango de 0,7 a 1,1 unidades, esto evidencia que el suelo tiene carga eléctrica negativa neta. La acidez intercambiable ( $H^+ + Al^{3+}$ ), aumenta con la profundidad, correspondiendo el menor valor (2,9 cmol (+)/kg) al horizonte Ap el más alto (6,4 cmol (+)/kg) al horizonte Bt22. En un suelo *Typic Kandihumults* en Zamora Chinchipe, Villamagua (2014) indica, la reacción del suelo fue “muy fuertemente ácida”, con valores de  $pH_{H_2O}$  de 4,9 para el horizonte Ap, disminuyendo gradualmente hasta 4,7 en los horizontes inferiores. Al respecto, Villamagua (2014), en suelos del cantón Zamora, reporta resultados similares.

### Evolución del contenido total de Calcio

En los tratamientos que recibieron fertilización más cal, se incrementó en 0,4 g/kg en relación al testigo, lo que significa, una movilización parcial del elemento desde la primera a la segunda capa. Villamagua (2014) en un suelo de Zamora reporta un aumento de la concentración de Ca en los tratamientos con fertilización, aspecto que se explica por la adición de 5,0 t/ha de  $CaCO_3$ .

### Evolución del contenido total de Magnesio

A los 14 meses, el contenido total del Mg, para la capa de 00 a 25 cm; según el balance, en los tratamientos con fertilización el contenido disminuyó en un promedio de 0,01 g/kg en relación al inicio. Esta tendencia se podría explicar desde dos aproximaciones: en los tratamientos con fertilización se registró un mayor desarrollo de los árboles (altura), lo que conlleva también una mayor acumulación del elemento en la biomasa; y la biomasa de las podas de melina aportó nuevamente Mg al suelo.

En los tratamientos que no recibieron fertilización, en la capa de 00 a 25 cm, el contenido total de Mg se incrementó en 0,04 g/kg en relación al inicio. A los 14 meses en la capa de 25 a 50 cm los contenidos

totales de Mg fueron de 2,5 a 6,2 g/kg; sin embargo, en algunos casos los valores se incrementaron y en otros disminuyeron en relación al inicio, sin una clara tendencia que indique con certeza una movilización desde la capa superior, al respecto Villamagua, (2014) reporta datos similares en un suelo de Zamora Chinchipe.

### **Reacción del suelo**

En las capas de 00 a 25 cm y 25 a 50 cm, a los 24 meses después de la plantación, en los tratamientos con fertilización el  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  se incrementó en comparación con aquellos sin fertilización. No obstante, la reacción del suelo se mantiene en el rango de “muy ácida” en las dos capas, se puede indicar que el ligero incremento se debe a la aplicación de cal (3 t/ha) conjuntamente con la fertilización; lo ideal hubiera sido alcanzar un valor de pH de 5,5 para neutralizar el Al soluble, lo cual no se logró con la dosis de cal empleada, la misma que se calculó con base a la fórmula de Sys (1979) para los suelos del trópico húmedo. Una situación similar reportó Villamagua (2014) en Zamora, dado que con la aplicación de 5,0 t/ha en la capa de 00 a 25 cm, únicamente alcanzó el valor de pH de 5,2 a los 18 meses después de la plantación. Así mismo, Espinoza (1987) menciona, se han demostrado que el encalado en *Ultisoles* de suelos Tropicales debe ser suficiente para neutralizar la mayoría del aluminio intercambiable los cual lleva el pH a valores de 5,5 a 6,0.

### **Acidez intercambiable**

Los valores de acidez cambiante en la capa de 00 a 25 cm, en los tratamientos que no recibieron la fertilización (que incluyó la aplicación de 3 t/ha de cal) se incrementaron a los 14 meses en relación al inicio. En cambio, en los tratamientos que recibieron fertilización los valores descendieron. Es indudable que la acidez cambiante disminuyó en los tratamientos con fertilización por el efecto neutralizante de la cal. En la capa de 25 a 50 cm no se registró diferencia de acidez, situación similar reportó Villamagua (2014) en Zamora para suelos ácidos provenientes de granodiorita, en las dos capas y en los tratamientos con fertilización (que recibieron 3,0 t/ha de cal) disminuyó la acidez intercambiable ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ) en comparación con los tratamientos sin fertilización, por lo tanto, se puede indicar, que la acidez intercambiable disminuyó en los tratamientos con fertilización, por el efecto neutralizante de la cal.

### **Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE)**

Los valores del referido incremento a los seis meses se deben al predominio de arcillas de baja actividad (caolinita); y el aporte de 3,0 t/ha de carbonato de calcio que favoreció el aumento de la carga negativa del suelo que puede ser ocupada efectivamente por los cationes intercambiables, estos valores del referido incremento son corroborados por (Villamagua, 2014), manifiesta que el aumento del pH por efecto del encalado incrementó las cargas eléctricas negativas dependientes del pH. Consecuentemente, desde la perspectiva de la fertilización la CICE es el parámetro más indicado para trabajar (Padilla, 2004).

### **Calcio intercambiable ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

En las dos capas a los 14 meses el  $\text{Ca}^{2+}$  se incrementó significativamente en los tratamientos con fertilización en relación a aquellos sin fertilización. En la capa de 00 a 25 cm el incremento se atribuye a la aplicación de 3 t/ha de  $\text{CaCO}_3$ ; mientras que, en la capa de 25 a 50 cm, el ligero incremento se debe a la movilización del  $\text{Ca}^{2+}$  desde la capa superior, aunque los valores permanecen en el rango bajo. Datos reportados por Villamagua (2014) señala, en la capa de 25 a 50 cm se evidenció un incremento del contenido de  $\text{Ca}^{2+}$ , por la aplicación de cal (5 t/ha  $\text{CaCO}_3$ ) a los 14 meses.

### **Magnesio intercambiable ( $Mg^{2+}$ )**

En los tratamientos con fertilización en las dos capas a los 14 meses, se incrementó significativamente los valores del  $Mg^{2+}$  respecto a aquellos sin fertilización. En la capa de 00 a 25 cm el  $Mg^{2+}$  se incrementó al límite superior del rango medio lo cual se atribuye a la aplicación de 118 kg/ha de  $Mg^{2+}$ . Se asume que para la capa de 25 a 50 el incremento se debió a la lixiviación del elemento desde la capa superior.

### **Saturación de bases (%)**

En la capa superficial, a los seis meses, la SB se incrementó significativamente en los tratamientos con fertilización frente a aquellos sin fertilización, ubicándose el valor en el rango alto; probablemente se debió a la aplicación de la cal y de los elementos Mg, K y Zn con la fertilización.

### **Nitrógeno disponible**

El nitrógeno disponible en las dos capas, en el caso de los tratamientos fertilizados se atribuye a una importante toma del elemento por las especies arbóreas, lo cual se refleja en el mayor desarrollo de la biomasa en general y a las pérdidas tanto por lixiviación como por volatilización, Villamagua (2014) señala que el contenido de N disponible en las dos capas para los tratamientos fertilizados se atribuye a la toma del elemento por las especies arbóreas.

### **Fósforo disponible**

En la capa superficial, este elemento se incrementó en los tratamientos con fertilización frente a aquellos sin fertilización, se atribuye al efecto de la aplicación de 150 kg/ha de fósforo y a la neutralización parcial del aluminio soluble como respuesta a la aplicación de 3,0 t/ha de cal, lo cual habría evitado la precipitación total del elemento en forma de compuestos insolubles.

En la capa de 25 a 50 cm, el contenido de fósforo se incrementó al nivel medio (10 a 20 mg/kg). Dada la baja movilidad del elemento en el suelo, la explicación tendría dos opciones: fue tomado por las raíces de los árboles y éstas al morir parcialmente dejaron el elemento en esa capa; y, al extraer la muestra se podría haber tomado también una parte de la capa superior.

### **Calcio disponible**

A los 14 meses el  $Ca^{2+}$ , en la capa superficial el incremento en los tratamientos con fertilización se atribuye a la aplicación de 3 t/ha de  $CaCO_3$ ; mientras que, de 25 a 50 cm, el ligero incremento sugiere que el elemento se movilizó desde la capa superior, aunque los valores permanecen en el rango bajo, esto es corroborado por Villamagua, (2014) encontró datos similares que señala que el aumento de la concentración de Ca en los tratamientos con fertilización se explica por la adición de 5,0 t/ha de  $CaCO_3$  en un suelo ácido en Zamora.

### **Magnesio disponible**

En la capa superficial a los 14 meses, en los tratamientos que recibieron la fertilización, el contenido de Mg disponible, aumentó significativamente en relación a los tratamientos sin fertilización, lo cual se atribuye a la aplicación de 118 kg de Mg; de 25 a 50 cm, en los tratamientos con fertilización el contenido de Mg se incrementó significativamente frente a aquellos sin fertilización, lo cual sugiere una cierta lixiviación del elemento desde la capa superior.

## Crecimiento de las especies arbóreas

### Altura de planta

El pachaco, a los dos años después de la plantación alcanzó una altura promedio de 5,4 y 9,2 m, sin y con fertilización, respectivamente, cuya diferencia equivale a un crecimiento de 0,7 y 1,3 cm/día, en su orden. Estos valores son superiores a 3,2 y 6,9 m (sin y con fertilización respectivamente) que reportó Villamagua (2014) en el experimento de Zamora. La mayor tasa de crecimiento promedio (1,7 cm/día) se registró entre los 547 y 730 días en los tratamientos con fertilización, valor que duplica (0,7 cm/día) al registrado por (Blake, 1919) para esta especie en México a los tres años de plantación.

La melina a los dos años después de la plantación alcanzó una altura promedio de 6,4 y 7,7 m sin y con fertilización, respectivamente, lo que equivale a un crecimiento de 0,9 y 1,1 cm/día, en su orden. Estos valores son superiores a 4,4 y 6,4 m (sin y con fertilización, respectivamente) que reportó Villamagua (2014) en Zamora. La mayor tasa de crecimiento promedio (1,7 cm/día) se registró entre los 547 y 730 días en los tratamientos con fertilización. Este valor es superior a 1,0 cm/día a los dos años después del trasplante encontrado por Otsamo (2002) en Indonesia y a 1,3 cm/día que encontró Urrego (2004) en Colombia, pero inferior a 1,9 cm/día que indica Betancourth (1989) en Cuba, a los 14 meses después de la plantación.

La diferencia de altura de planta durante los dos años, se atribuye al efecto combinado de los nutrientes aplicados (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn) y del  $\text{CaCO}_3$  que neutralizó el  $\text{Al}^{3+}$  soluble en el suelo, facilitando la absorción de los nutrientes, especialmente el fósforo el cual es precipitado por la acción del  $\text{Al}^{3+}$  Valarezo (2004b).

El crecimiento en altura de planta como la acumulación de biomasa para las dos especies (con y sin fertilización) hasta los 730 días se ajusta al modelo lineal, lo cual es coherente por cuanto se evaluó la etapa juvenil de las mismas.

## CONCLUSIONES

El suelo para la investigación se clasificó como ultisol, su acidez varía con la profundidad, en todos los horizontes minerales tienen carga eléctrica negativa neta, la acidez intercambiable aumentó con la profundidad.

La mayor concentración de cationes se presentó en el horizonte alterado por el pisoteo de la ganadería.

Con la profundidad del suelo se incrementan los contenidos totales de Zn, Cu, Fe, Al y Si

La fertilización contribuyó en la etapa juvenil de las dos especies arbóreas un mayor crecimiento en altura de planta, diámetro basal y diámetro de altura al pecho.

El potencial hidrógeno en agua hasta los 24 meses después de la plantación en la capa de 00 a 25 cm se mantuvo en el rango ácido.

Este ligero incremento del potencial hidrógeno se encuentra en un rango ácido, lo cual no se logró con la dosis de cal empleada.

Los valores de acidez cambiante en la capa superficial, en los tratamientos que recibieron fertilización más cal evolucionaron al rango alto.

Para el aporte de carbonato de calcio y la aplicación de cal se utilizó la fórmula de Sys para los suelos del trópico húmedo, esta concentración no influyó significativamente en la reacción del suelo por lo que debería ser revisada para el caso de los suelos de la zona sur de la amazonia ecuatoriana por ser una zona lluviosa. En la capa superficial por efecto de la fertilización a los 14 meses, la capacidad de intercambio catiónico efectiva aumentó; y, el porcentaje de saturación de bases también se incrementó.

La fertilización fue importante para los contenidos aprovechables en las dos capas, a los 14 meses no así con el N.

El pachaco, a los dos años después de la plantación creció con la aplicación de la fertilización, la mayor tasa de crecimiento promedio se registró entre los 547 y 730 días.

La melina también a los dos años después de la plantación incrementó la altura promedio con fertilización, y la mayor tasa de crecimiento promedio se registró entre los 547 y 730 días.

La diferencia de altura de planta durante los dos años, se atribuye al efecto combinado de los nutrientes aplicados que neutralizó el  $Al^{3+}$  soluble en el suelo, facilitando la absorción de los nutrientes, especialmente el fósforo el cual es precipitado por la acción del  $Al^{3+}$ .

El crecimiento en altura de planta como la acumulación de biomasa para las dos especies con y sin fertilización hasta los 730 días se ajustó al modelo lineal, lo cual es coherente por cuanto se evaluó la etapa juvenil de las mismas.

### Contribución de los autores

M.R.M.E.: responsable del proceso de investigación, análisis de información y elaboración del manuscrito.

E.R.V.: Aporte en la revisión de la información, análisis de datos y escritura del manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

Balzarini, M., Casanoves, F., González, L., Robledo, C., Tablada, M. (2008). InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

De Coninck, F. (1989). Regional Pedology. Part II. International Training Centre for Postgraduate Soil Scientists. Lecture notes. State University of Ghent.

Espinosa, J. (1987). Efecto del encalado en las propiedades químicas de los suelos ecuatoriano. Memorias del primer Congreso Nacional de Ciencias de la Comunidad Científica Ecuatoriana. Quito, Ecuador.

Espinosa, J. (s.f.). *Acidez y encalado de los suelos*

Instituto Ecuatoriano de Minería (DGGM, 1989). Mapa geológico del Ecuador. Hojas de Paquisha y Zamora. Instituto Geográfico Militar. Quito, Ecuador

Mora, M. E., (2014). Almacenamiento de carbono y evolución de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita, en la fase inicial de una plantación de *Gmelina arborea* Roxb. y *Schizolobium parahybum* Vell. Conc con enmiendas de carbón vegetal, en la zona sur de la amazónica ecuatoriana". Universidad Tecnológica Equinoccial.

Osorio, N.W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes [Archivo PDF]. <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>

Padilla, W. (2004). Química de suelos.

United States Department of Agriculture (USDA, 2010). Keys to Soil Taxonomy. Eleventh Edition. Natural Resource Conservation Service p. 338.

Valarezo, C. (2004a). Características, distribución, clasificación y capacidad de uso de los suelos en la Región Amazónica Ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja- Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios – PROMSA. Editorial Universitaria, Loja. p. 201.

Mora, M. et al. (2023). Enmienda de cal en suelos degradados por la ganadería en la parroquia Panguintza, cantón Zumbi, provincia de Zamora Chinchipe. *Bosques Latitud Cero*, 13(1): 49 - 67. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1539>

Valarezo, C. (2004b). Gestión de la fertilidad del suelo en el trópico húmedo, en la Región Amazónica Ecuatoriana y bajo sistemas agroforestales. Universidad Nacional de Loja- Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios PROMSA. Editorial Universitaria, Loja.

Villanagua, M. (2014). Almacenamiento de carbono y evolución de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre granodiortita, en la fase inicial de una plantación de *Gmelina arborea* Roxb. y *Schizolobium parahybum* Vell. Conc con enmiendas de carbón vegetal, en la zona sur de la amazónica ecuatoriana”. Universidad Tecnológica Equinoccial.

## Monitoreo del crecimiento en un ensayo de restauración de matorral andino en la hoya de Loja, Ecuador.

### Growth monitoring in an Andean scrub restoration trial in Loja, Ecuador.

Leonardo González <sup>1\*</sup>

Luis Muñoz <sup>2</sup>

Vanessa Granda<sup>2</sup>

Zhofre Aguirre <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Parque Universitario "Francisco Vivar Castro", Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

<sup>2</sup>Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador

<sup>3</sup>Herbario "Reinaldo Espinosa", Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

\*Autor para correspondencia: [lpgonzalezn@unl.edu.ec](mailto:lpgonzalezn@unl.edu.ec)

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1735>

Recibido: 12/10/2022

Aceptado: 20/12/2022

## RESUMEN

La restauración ecológica procura restablecer las funciones ecosistémicas y gestionar los recursos naturales, por esta razón debe hacerse monitoreo para conocer la dinámica de las especies sembradas y de la vegetación que va formándose. El objetivo de la investigación fue monitorear dos ensayos de restauración con tres especies *Cedrela montana*, *Lafoensia acuminata* y *Jacaranda mimosifolia*, sembradas en bloques mixtos y plantación pura, establecidas en el año 2016 en un matorral afectado por incendios forestales. Se midió altura, diámetro basal, sobrevivencia, variables físicas (profundidad de suelo HO y cobertura de dosel) y vegetación asociada. Se calculó el crecimiento en diámetro y altura y la sobrevivencia de los individuos. Se realizó análisis ANOVA y PCA utilizando las variables físicas y dasométricas. *Lafoensia acuminata* presentó mejor crecimiento en altura 55,57 cm; diámetro 0,60 cm y sobrevivencia en la plantación pura (91,67 %); mientras que en el ensayo de plantación mixta sobresalió *Jacaranda mimosifolia* con mayor sobrevivencia (50 %). El crecimiento en altura y diámetro del ensayo homogéneo mediante el ANOVA mostró diferencias significativas en *Jacaranda mimosifolia*, contrario al ensayo mixto que no presentó diferencias significativas en las tres especies. El PCA demostró mayor correlación entre la cobertura vegetal y profundidad del suelo. *Lafoensia acuminata* desarrollo mayor porcentaje de cobertura vegetal con 70,29 %, con la dominancia de *Pteridium arachnoideum* en todo el ensayo. Se sugiere que *Lafoensia acuminata* puede utilizarse como especie potencial para la restauración en zonas perturbadas en la zona andina sur del Ecuador.

**Palabras clave:** Restauración, monitoreo, matorral andino, *Lafoensia acuminata*.

## ABSTRACT

Ecological restoration seeks to restore ecosystem functions and manage natural resources, for this reason monitoring must be done to know the dynamics of the planted species and the vegetation that is forming. The objective of the research was to monitor two restoration trials with three species *Cedrela montana*, *Lafoensia acuminata* and *Jacaranda mimosifolia*, planted in mixed blocks and pure planting, established in 2016 in a scrubland affected by forest fires. Height, basal diameter, survival, physical variables (depth of HO soil and canopy cover) and associated vegetation were measured. The growth in diameter and height and the survival of the individuals were calculated. ANOVA and PCA analysis was performed using the physical and dasometric variables. *Lafoensia acuminata* presented better growth in height 55.57 cm; diameter 0.60 cm and survival in the pure plantation (91.67 %); while in the mixed plantation trial *Jacaranda mimosifolia* stood out with higher survival (50 %). The growth in height and diameter of the homogeneous test through ANOVA showed significant differences in *Jacaranda mimosifolia*, contrary to the mixed test that did not present significant differences in the three species. The PCA showed a higher correlation between vegetation cover and soil depth. *Lafoensia acuminata* developed a higher percentage of plant cover with 70.29 %, with the dominance of *Pteridium arachnoideum* throughout the trial. It is suggested that *Lafoensia acuminata* can be used as a potential species for restoration in disturbed areas in the southern Andean zone of Ecuador.

**Keywords:** Restoration, monitoring, andean scrub, *Lafoensia acuminata*.

## INTRODUCCIÓN

La restauración ecológica actualmente es tendencia debido a que fomenta la capacidad de restablecer las funciones ecosistémicas, gestionar los recursos naturales, mitigar efectos climáticos negativos y preservar el capital natural como recurso estratégico para la sociedad (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015). Consecuentemente, la restauración debe estar ligada a actividades de monitoreo, especialmente, en ambientes heterogéneos y cambiantes (Macayo y Renison, 2015), ya que, debido a las presiones antrópicas y procesos naturales, los ecosistemas sufren cambios a nivel de microclima, suelos, flora y fauna, lo cual genera un proceso de transformación que necesita ser evaluado para la toma de decisiones en el mejoramiento de recuperación de las funcionalidades del ecosistema (Vásquez y Kometter, 2019).

La recuperación ecosistémica, producto de la restauración activa o pasiva genera una serie de procesos naturales (Aguirre et al., 2013) y transformación de las condiciones intrínsecas de un ecosistema como, por ejemplo: la formación de un nuevo microhábitat producto de la aparición de nuevas especies vegetales y su asociación (Batista, 2005). Sin duda, las condiciones intrínsecas como los factores ambientales juegan un papel elemental en el desarrollo de las especies que, para comprender como funcionan los cambios en la vegetación es necesario evaluar las condiciones ambientales como cobertura, humedad, profundidad de suelo, variables acondicionadas producto de una serie de procesos naturales (Silveira et al., 2022).

El Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, es un laboratorio vivo referente para estudiar los diversos procesos ecológicos que se han generado a lo largo del tiempo, ya sean estos por procesos naturales (erosión de suelos, sucesión) o antrópicos (incendios forestales). En cuanto a los procesos antrópicos se han visto afectadas varias formaciones ecosistémicas como el bosque andino, matorral andino y páramos. Consecuentemente, debido a los disturbios se han generado iniciativas para evaluar los cambios y resiliencia de los ecosistemas afectados (Sarango-Cobos et al., 2019), así como, la propuesta de restaurar (restauración activa) estas áreas con la implementación de especies nativas (Aguirre et al., 2019), especialmente en la zona de matorral andino con el fin de recuperar la funcionalidad ecosistémica.

Ante lo mencionado, la presente investigación se enfocó en monitorear la dinámica del crecimiento de tres especies forestales establecidas en dos ensayos de restauración en el matorral andino y, para ello se evaluó variables dasométricas como la altura y diámetro y, por otra parte, es importante conocer las condiciones intrínsecas del ecosistema y su influencia sobre el desarrollo de las especies plantadas, por lo cual, se evaluó variables físicas del ecosistema como: profundidad del suelo HO y cobertura vegetal. Esta publicación es parte de un proyecto institucional denominado: Procesos ecológicos de la vegetación en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Universidad Nacional de Loja. Fase III. 2022-2023.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

La investigación se realizó en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC) ubicado en la hoya de Loja (km 5 vía a Vilcabamba), tiene un área de 100,15 ha conformadas por páramo antrópico, matorral andino, bosque andino, plantaciones forestales de pino y eucalipto y bosque de nogal (Aguirre et al., 2016) (ver Figura 1).

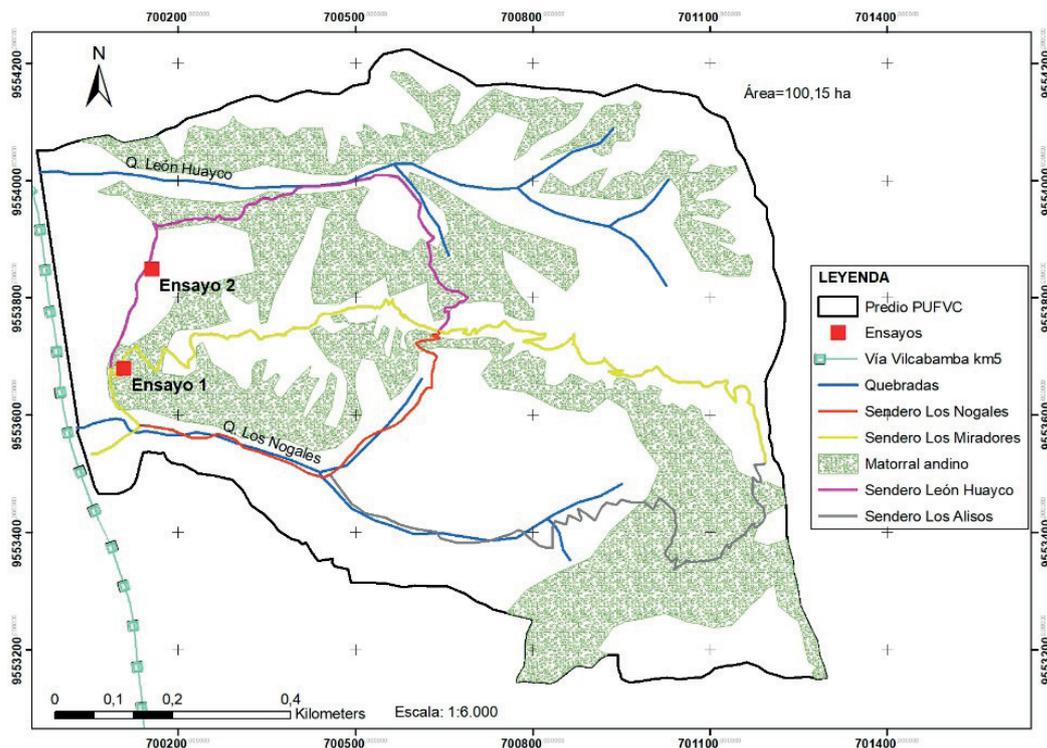


Figura 1. Ubicación del área de estudio y ensayos de restauración en el matorral andino del PUFVC.

En el año 2016 se establecieron dos ensayos de restauración con tres especies *Cedrela montana*, *Lafoensia acuminata* y *Jacaranda mimosifolia* en matorral andino. El primer ensayo (42 x 33 m) en las coordenadas UTM 700109; 9553680 está conformado por nueve bloques con tres repeticiones para cada especie, cada bloque contiene 20 individuos plantados a un distanciamiento de 3 x 3 m; mientras que el segundo ensayo (27 x 21 m) en las coordenadas UTM 700156; 9553849 contiene tres bloques y cada uno combinado con las tres especies con total de 20 individuos (Aguirre et al., 2019) (ver Figura 2).

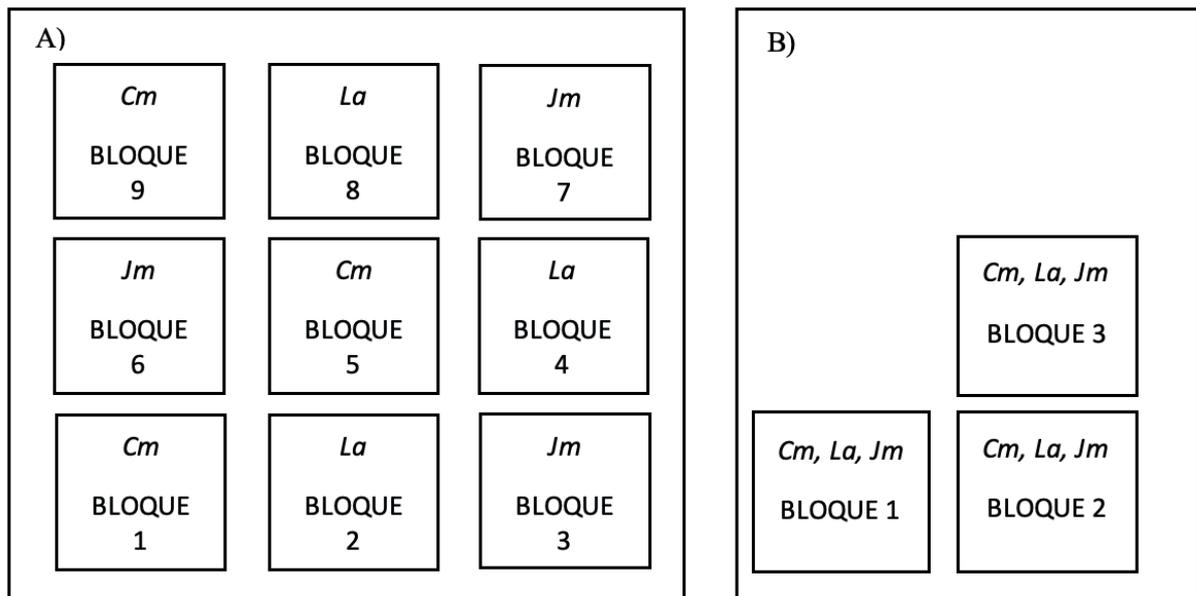


Figura 2. Diseño de los ensayos de restauración en el matorral andino del PUFVC. A) Primer ensayo. B) Segundo ensayo. Cm = *Cedrela montana*, La = *Lafoensia acuminata*, Jm = *Jacaranda mimosifolia*.

### Sobrevivencia

La sobrevivencia se determinó en base a la relación porcentual que se da entre el número de individuos vivos y los establecidos originalmente en la plantación, considerando el periodo de análisis (Arribalza, 2007).

$$(\%) \text{ Supervivencia} = \frac{\sum \text{ind. vivos}}{N}$$

Dónde:

N: total de individuos por especie

### Crecimiento e incremento en diámetro y altura

Para el crecimiento se consideró los datos que corresponden al año de establecimiento (2016) y el segundo monitoreo (septiembre de 2021). En la presente evaluación (2021) se midió la altura total y diámetro basal a una altura de 1 cm desde la superficie del suelo de cada individuo utilizando una cinta métrica y calibrador pie de rey, respectivamente para cada variable dasométrica (Duarte, 2017; Aguirre *et al.*, 2019). Con los datos obtenidos se calculó el crecimiento e incremento medio anual de cada especie. Se aplicó las fórmulas sugeridas por Quesada *et al.* (2012).

Crecimiento en diámetro basal

$$\text{Cr. db (cm)} = d_f - d_i$$

Dónde:

$d_f$ = diámetro final

$d_i$ = diámetro inicial

Crecimiento en altura

$$\text{Cr. H (m)} = h_f - h_i$$

Dónde:

$h_f$ = altura final

$h_i$ = altura inicial

Incremento medio anual

$$\text{IMA} = \frac{Cf}{t}$$

Dónde:

$Cf$ = crecimiento final de periodo

$t$ = años de evaluación

### Identificación de la vegetación asociada

Se realizó un muestreo mediante observación de las especies vegetales leñosas del estrato arbóreo y arbustivo que crece asociado a los individuos plantados en los dos ensayos, se consideró como unidades de muestreo cada bloque (Castellanos y Bonilla, 2011; Duarte et al., 2017), las especies fueron identificadas en el herbario LOJA.

### Condiciones físicas del sitio

El análisis de las condiciones ambientales del sitio permitió evaluar la formación del microhábitat y su fisonomía la cual está condicionada por las formaciones vegetales y propiedades intrínsecas del sitio, dado por la interacción de factores bióticos y abióticos. Para poder determinar las condiciones ambientales, se procedió a evaluar variables: profundidad del suelo y cobertura del dosel (Durán et al., 1994; Mostacedo y Fredericksen, 2000).

- Para la profundidad de suelo: se consideró el horizonte O de cada parcela en los dos ensayos, lo cual permitió determinar la disponibilidad de materia orgánica en el suelo, para obtener estos datos se utilizó una cinta métrica.
- Cobertura: permite medir la densidad del dosel y a su vez el ingreso o disponibilidad de luz solar bajo un determinado grado de cobertura vegetal, para su medición se utilizó un densiómetro esférico convexo y se registró en cada bloque, colocando el instrumento al nivel del suelo.

## Análisis estadístico de la información

Con las variables altura y diámetro basal, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) por especie y tipo de ensayo. Con las variables físicas se aplicó un análisis de componentes principales (PCA), para lo cual, se empleó el programa estadístico Infostat V 2020.

## RESULTADOS

### Sobrevivencia

En el ensayo puro, la mayor sobrevivencia representa *Lafoensia acuminata* (91,67 %), mientras que, en el ensayo mixto mayor sobrevivencia tienen *Jacaranda mimosifolia* con 50 % (ver Tabla 1).

Tabla 1. Sobrevivencia de *Lafoensia acuminata*, *Cedrela montana* y *Jacaranda mimosifolia*, establecidas en dos ensayos de restauración en matorral andino.

Especie	Nº ind plantados	Nº ind muerto	Nº ind vivo	Sobrevivencia (%)
Ensayo 1 (año 2016-2021) Puro				
<i>Cedrela montana</i>	60	44	16	26,67
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	60	36	24	40,00
<i>Lafoensia acuminata</i>	60	5	55	91,67
Ensayo 2 (año 2016-2021) Mixto				
<i>Cedrela montana</i>	20	12	1	5,00
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	20	10	10	50,00
<i>Lafoensia acuminata</i>	20	13	7	35,00

### Crecimiento e incremento medio anual

En el ensayo puro, el crecimiento en altura destacó *Lafoensia acuminata* (55,57 cm) y en diámetro basal *Cedrela montana* (0,85 cm), siendo relativo el incremento medio anual. *Lafoensia acuminata* en el ensayo mixto también presentó los mejores resultados tanto en altura (12,53 cm) y en diámetro (0,23 cm) (ver Tabla 2).

Tabla 2. Ensayo 1. Crecimiento e Incremento medio anual de *Lafoensia acuminata*, *Cedrela montana* y *Jacaranda mimosifolia*, establecidas en dos ensayos de restauración en matorral andino.

Especies	Prom Ht (cm)	Prom Db (cm)	IMA Ht (cm)	IMA Db (cm)
Ensayo 1 (año 2016-2021) Puro				
<i>Lafoensia acuminata</i>	55,57	0,60	9,26	0,10
<i>Cedrela montana</i>	35,25	0,85	5,88	0,14
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	17,17	0,14	2,86	0,02
Ensayo 2 (año 2016-2021) Mixto				
<i>Lafoensia acuminata</i>	12,53	0,23	2,09	0,04
<i>Cedrela montana</i>	10,10	0,21	1,68	0,04
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	11,51	0,22	1,92	0,04

Ht = altura total; Db = diámetro basal; IMA = incremento medio anual

## Vegetación asociada

En el ensayo puro se registraron 53 especies de 47 géneros y 29 familias botánicas, con 2 526 individuos. En el ensayo mixto se contabilizaron 702 individuos que pertenecen a 21 especies, 19 géneros de 10 familias. La mayor asociación de especies se evidenció en *Lafoensia acuminata* (41 especies), seguidas de *Jacaranda mimosifolia* (38 especies) y *Cedrela montana* (37 especies). *Pteridium arachnoideum* es la especie abundante en el ensayo puro (1380 individuos) y mixto (440 individuos).

Relacionado al hábito de crecimiento de las especies asociadas, en el ensayo puro 43 especies son arbustivas y 9 especies arbóreas, en el ensayo mixto 20 especies son arbustivas y una arbórea. Las especies vegetales asociadas se presentan en el anexo 1 y 2.

## Condiciones físicas del sitio

Se determinó que *Lafoensia acuminata* presenta mayor porcentaje de cobertura vegetal asociada con un 70,29 %, seguida de *Cedrela montana* con 69,72 % y *Jacaranda mimosifolia* con 69,27 %; la profundidad del suelo a nivel del horizonte O presentó mayores valores en los bloques de *Lafoensia acuminata* (3,41 cm), valores mínimos se registró en los bloques de *Jacaranda mimosifolia* (2,63 cm) y *Cedrela montana* (2,53 cm) la pendiente presentó un valor de 36 %.

## Análisis de varianza del crecimiento en altura y diámetro basal

La Tabla 3 muestra que en la plantación pura de *Jacaranda mimosifolia* es diferente significativamente con crecimientos bajos, mientras que el ensayo mixto no refleja diferencias significativas en el crecimiento de las tres especies.

Tabla 3. Análisis de varianza de las variables altura y diámetro de de *Lafoensia acuminata*, *Cedrela montana* y *Jacaranda mimosifolia*, establecidas en dos ensayos de restauración en matorral andino.

Altura	<i>Cedrela montana</i>	Puro	35,25	± 7,62	AB
		Mixto	5,10	± 12,34	A
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Puro	17,17	± 6,22	A
		Mixto	13,63	± 3,90	A
	<i>Lafoensia acuminata</i>	Puro	55,57	± 4,11	B
		Mixto	9,31	± 3,42	A
Diámetro	<i>Cedrela montana</i>	Puro	0,85	± 0,10	B
		Mixto	0,31	± 0,27	A
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Puro	0,14	± 0,08	A
		Mixto	0,10	± 0,08	A
	<i>Lafoensia acuminata</i>	Puro	0,60	± 0,06	B
		Mixto	0,33	± 0,07	A

El análisis de la variable altura (ver Figura 3A) y diámetro basal (ver Figura 3B) en el ensayo puro muestra diferencias significativas entre *Jacaranda mimosifolia* y *Lafoensia acuminata*, mientras que *Cedrela montana* y *Lafoensia acuminata* no representan diferencias significativas en el crecimiento de las dos variables; la altura está representada por una media de 42,44 cm y diámetro basal con 0,53 cm.

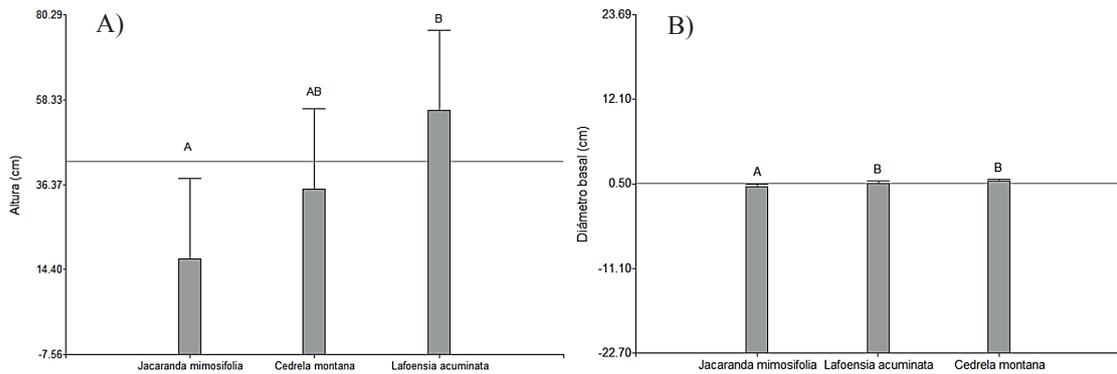


Figura 3. Análisis de varianza del crecimiento en altura (Figura 3A) y diámetro basal (Figura 3B) del ensayo puro de restauración en matorral andino. Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

En el ensayo mixto las variables altura (ver Figura 4A) y diámetro basal (ver Figura 4B) no representan diferencias significativas; la altura tiene una media de 10,93 cm y el diámetro basal con 0,24 cm.

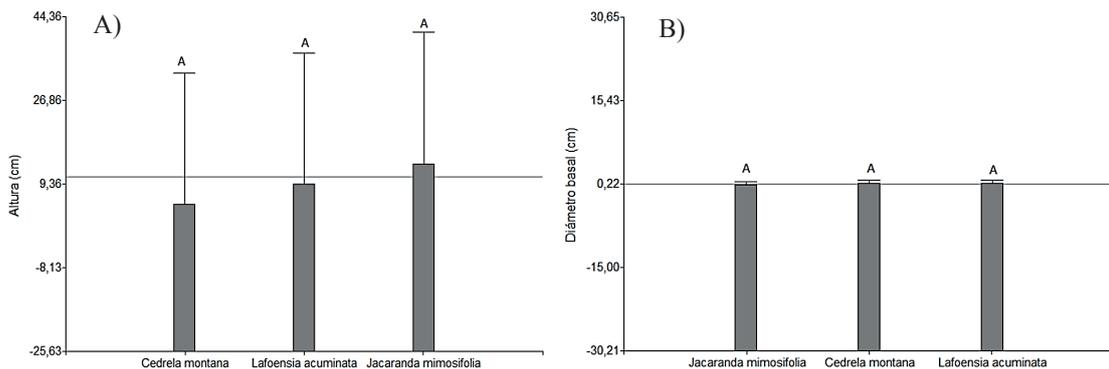


Figura 4. Análisis de varianza del crecimiento en altura (Figura 4A) y diámetro basal (Figura 4B) del ensayo mixto de restauración en matorral andino del PUFVC.

### Análisis de componentes principales de las variables físicas

La disposición de los ángulos de los vectores correspondientes al número de individuos muertos e individuos vivos en los dos ensayos presentan una fuerte correlación negativa al presentar un ángulo de 180°; en el ensayo puro y mixto se observa alta correlación entre la cobertura y HO del suelo (ángulo cercano a 0°); además, se evidencia la agrupación de los vectores con *Lalofoensia acuminata* lo cual indica mejores resultados para esta especie.

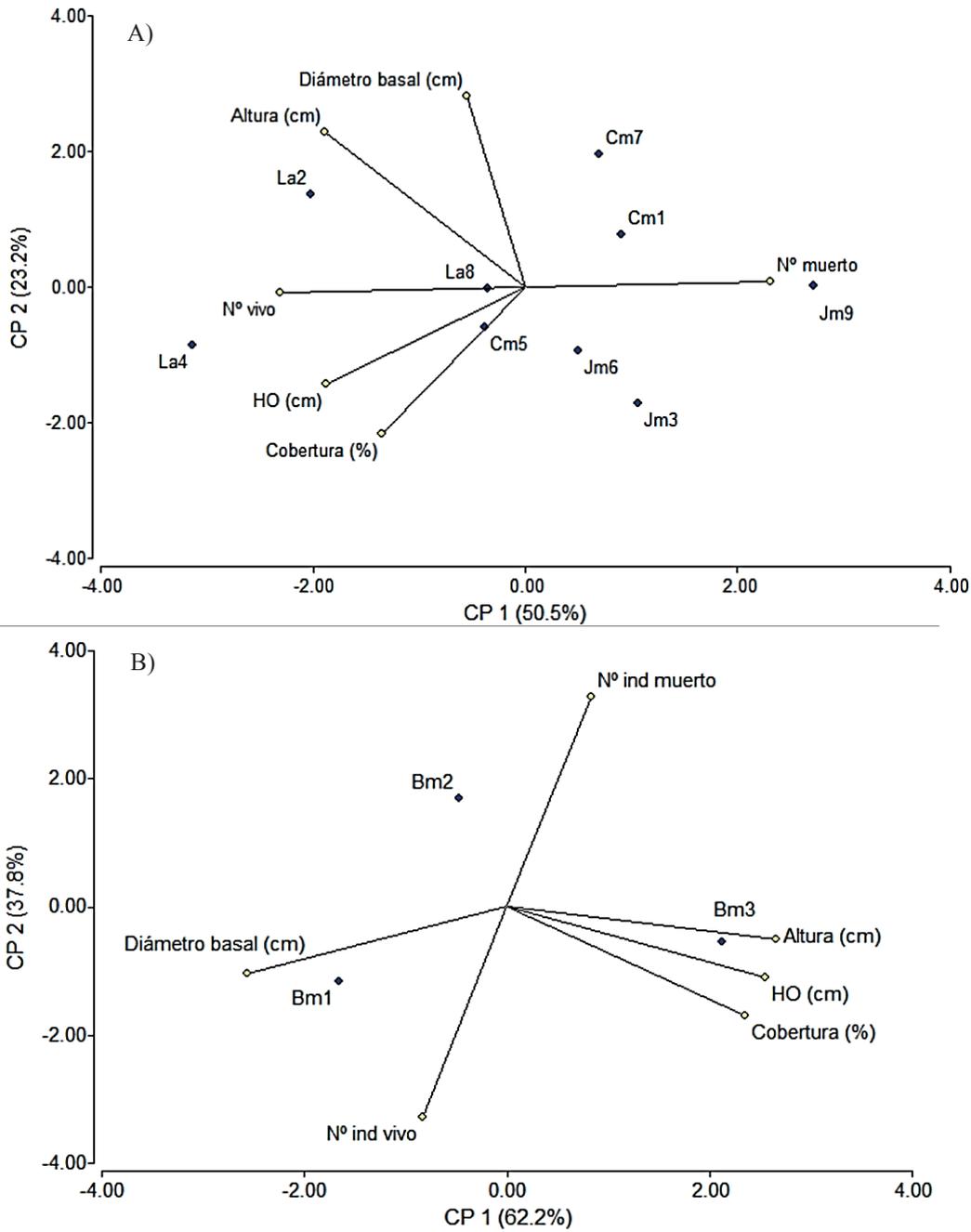


Figura 5. Análisis PCA de las variables físicas en el ensayo puro (Figura 5A) y mixto (Figura 5B) de restauración en matorral andino. Cm = *Cedrela montana*; Jm = *Jacaranda mimosifolia*; La = *Lafoensia acuminata*.

## DISCUSIÓN

### Sobrevivencia de las especies

La sobrevivencia, es una variable relevante en el monitoreo de la restauración ecológica, permitiendo determinar que especies deben implementarse en los ecosistemas degradados. En esta investigación se determinó mayor porcentaje de sobrevivencia en *Lafoensia acuminata*, la cual presentó mejor adaptación en el ensayo puro y, *Jacaranda mimosifolia* sobresale en el ensayo mixto, lo mencionado se corrobora con el primer monitoreo, donde, Aguirre et al. (2019) reportó mayor sobrevivencia en *Lafoensia acuminata* cuando se trata de ensayos puros, contrario a *Jacaranda mimosifolia* que en la actualidad presentó mayor sobrevivencia en el ensayo mixto. Cabe recalcar que Aguirre y León (2011) también reportaron buenos porcentajes de sobrevivencia en *Lafoensia acuminata* establecida en un área perturbada, lo cual es determinante para definir que la especie es adecuada para microhábitat de ecosistemas alterados.

*Cedrela montana*, reporta bajos porcentajes de sobrevivencia en los dos ensayos, esto debido a las condiciones del sitio, en donde, existe la presencia de alta competencia con vegetación pionera la cual genera gran porcentaje de cobertura y, considerando que *Cedrela montana* es una especie heliófita requiere de altos niveles de luz solar, esto se corrobora con lo indicado por González et al. (2010) que menciona la intolerancia de la competencia y la sombra de esta especie, especialmente, en estadios iniciales o brinzales.

### Crecimiento e incremento medio anual

*Lafoensia acuminata*, con respecto al primer monitoreo sigue manteniendo buen crecimiento en el ensayo puro y mixto, especialmente, en la variable altura con valores promedios de 55,57 cm y 12,53 cm, respectivamente. Esto, posiblemente, se debe a que la especie soporta altos grados de competencia por presencia de abundante cobertura vegetal y por ser especie esciófita, lo que es corroborado por Aguirre y León (2011) en un estudio sobre sobrevivencia y crecimiento de especies vegetales, que reportan buenos crecimientos para esta especie. El crecimiento en diámetro basal es limitado en *Jacaranda mimosifolia*, que permite deducir que no soporta la competencia, ya que ésta es una especie heliófita que para desarrollarse necesita de tratamientos silviculturales en su estadio inicial. *Cedrela montana*, presenta un crecimiento intermedio con respecto a las tres especies y, esto se debe a muertes apicales que inducen en la aparición de rebrotes (Aguirre et al., 2019), debido a ataques de *Hypsipyla*, daños por vientos y muerte terminal parcial debido a la competencia por luz (González et al., 2010)

Se reporta mejores crecimientos en el ensayo puro, contrario al ensayo mixto que presentó valores bajos, consecuentemente, debido a que el crecimiento también está condicionado por factores ambientales o físicos (González et al., 2021) donde el matorral andino en estudio presentó características particulares con abundante cobertura arbustiva, baja profundidad del suelo y pendiente pronunciada.

### Vegetación asociada

Las condiciones del matorral andino, en cuanto a composición luego de una perturbación producto de un incendio se ha acondicionado con varias especies de sucesión, algunas de ellas pirófitas como, el caso de *Pteridium arachnoideum* que es una especie típica en zonas afectadas por el fuego (Sarango-Cobos et al., 2019; Tillaguango, 2022). El ensayo puro, reportó mayor abundancia y riqueza, formando vegetación más densa que induce a mayor competitividad por recursos en las especies plantadas, sin embargo, acondiciona mejor el sitio con la provisión de materia orgánica, humedad y otros factores físicos según los sustenta Batista et al. (2005). Lo contrario ocurre en el ensayo mixto, donde existe menor riqueza de especies asociadas.

*Lafoensia acuminata*, está asociada con mayor cantidad de especies (41) que, en su mayoría son arbustos y pocos árboles debido al estadio sucesional y la recuperación del matorral, de la misma manera Sarango-Cobos et al. (2019) reportó alta presencia de especies arbustivas en una zona post-incendio.

En forma general el área de matorral presentó buena riqueza de especies vegetales, especialmente arbustivas. Esto se corrobora con lo indicado por Rojas (2017) que, mediante un estudio de la estructura y composición florística de la vegetación en proceso de restauración los matorrales densos presentan mayor riqueza.

### Condiciones físicas del sitio

La introducción de especies que no estaban presentes en un ecosistema puede cambiar gradualmente las condiciones ambientales del micrositio (Pérez et al., 2014). Es así que, la implementación de las tres especies nativas en los ensayos de restauración en el matorral andino generó datos relevantes en cuanto a las variables físicas, en donde, la cobertura representó valores entre 69 y 70 %, siendo así que, la cobertura o apertura del dosel influyen directamente en el desarrollo de las especies (Silveira, 2022). La profundidad del suelo HO está mejor representada en los bloques con presencia de *Lafoensia acuminata* (3,41 cm), por otra parte, los bloques de *Cedrela montana* y *Jacaranda mimosifolia* presentaron menor profundidad de suelo y, considerando la vegetación asociada se encuentra estrechamente relacionada con la producción de materia orgánica. González (2020) en un área cercana a matorral andino reporta valores similares en cuanto al suelo (HO) con una profundidad entre 1 y 3,5 cm.

### Análisis estadístico de ANOVA y PCA

El crecimiento de altura y diámetro no representan diferencias significativas entre *Lafoensia acuminata* y *Cedrela montana*, contrario a *Jacaranda mimosifolia* que si presenta diferencias significativas evidentes por su bajo crecimiento, debido a la competencia con la vegetación asociada. Las especies en plantación mixta, no reportaron diferencias significativas en el crecimiento de las tres especies y, su desarrollo fue bajo con referencia a la plantación pura, esto se contradice con el primer monitoreo que si reportó diferencias significativas (Aguirre et al., 2019).

Los datos representados como negativos en los diagramas del ANOVA en el caso de la altura se deben a que, *Jacaranda mimosifolia* y *Cedrela montana* presentaron muerte apical en algunos de sus individuos ocasionando así la presencia de rebrotes y, consecuentemente se ve influenciado el crecimiento del diámetro basal y altura. Ante lo mencionado, es importante contar con una buena estrategia metodológica para evaluar el crecimiento de las especies ya que, en sus estadios iniciales presentan un desarrollo impredecible.

El PCA también permitió corroborar que *Lafoensia acuminata* está asociada con valores mayores de cobertura y materia orgánica, lo cual está correlacionado con un mejor crecimiento, desarrollo y adaptabilidad al ecosistema de matorral luego de haberse producido una perturbación y posterior acondicionamiento físico.

## CONCLUSIONES

*Lafoensia acuminata*, es una especie recomendable para la implementación de programas de restauración en ecosistemas de matorral andino alterados por incendios forestales. Esto se sugiere por la respuesta positiva de su crecimiento en sitios con competencia por recursos como la luz, suelo, otras especies; además, no es exigente en cuidados silviculturales en comparación con *Cedrela montana* y *Jacaranda mimosifolia*.

No se descarta la posibilidad de utilizar *Cedrela montana* o *Jacaranda mimosifolia* para actividades de restauración, sin embargo, se debe considerar los requerimientos de tratamientos silviculturales que permitan asegurar su adaptación y posterior desarrollo.

Como estrategia de restauración, ayudar a recuperar el ecosistema con la implementación de especies nativas es clave, debido a que permite mayor asociación de factores bióticos (asociación de vegetación) y abióticos (cobertura, suelos), induciendo a la temprana recuperación de algunos bienes y servicios ecosistémicos.

La restauración ecológica, debe estar ligada a actividades de monitoreo, especialmente, en sus estadios iniciales ya que permiten evaluar el crecimiento y desarrollo de las especies plantadas, debido a que, estas pueden presentar cambios impredecibles debido a los factores bióticos y físicos cambiantes del ecosistema.

## ■ BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Garavito, M y Ramírez, W. (2015). Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C., Colombia.
- Aguirre, N., Torres, J y Velasco, P. (2013). Guía para la restauración ecológica en los páramos del Antisana. Volumen I, 9-13 pp. Quito, Ecuador: Fondo de protección del agua FONAG.
- Aguirre, Z., Yaguana, C., Gaona T. (2016). Parque universitario de educación ambiental y recreación Ing. Francisco Vivar Castro. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Aguirre, Z. (2019). *Guía de métodos para medir la biodiversidad*. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.
- Aguirre, Z., Gaona, T y Palacios, B. (2014). Dinámica de crecimiento de especies forestales establecidas en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 4(1), 62-75.
- Aguirre, Z., Gaona, T., Granda, V y Carrión, J. (2019). Supervivencia, mortalidad y crecimiento de tres especies forestales plantadas en matorral andino en el sur del Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(3), 325-340.
- Arribalzaga, E. B. (2007). Interpretación de las curvas de supervivencia. *Revista chilena de cirugía*, 59(1), 75-83.
- Batista, W., Taboada, M., Lavado, R., Perelman, S y León, R. (2005). Asociación entre comunidades vegetales y suelos en el pastizal de la Pampa Deprimida. *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León*. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina, 113-129.
- Castellanos-Castro, C & Bonilla, M. (2011). Grupos funciones de plantas con potencial uso para la restauración en bordes de avance de un bosque altoandino. *Acta Biológica Colombiana*, 16 (1), 175-184.
- Duarte, N., Cuesta, F., Terán, E., Pinto, E., Solano, A y Torres, O. (2017). Protocolo para monitoreo de áreas de restauración ecológica en los bosques montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador. CONDESAN, Fundación Imaymana. Quito - Ecuador.

- Durán, L., Jara, A., y Barrales, L. (1994). Efectos ambientales de diferentes tipos de cortas en bosque nativo. El caso de las cortas de protección en fajas. *Ciencia & Investigación Forestal*, 8(1), 87-118.
- González, D., Poma, R., Ordóñez, M., & Aguirre, N. (2010). Crecimiento inicial de *Tabebuia chrysantha* y *Cedrela montana* con fines de rehabilitación de áreas abandonadas en el trópico húmedo ecuatoriano. *Ecología Forestal*, 1(1), 73-80.
- González, L. (2020). *Monitoreo de la sucesión de especies vegetales leñosas nativas bajo la plantación de Pinus radiata D. Don, del Parque Universitario "Francisco Vivar Castro", provincia de Loja, Ecuador*. [Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja], Loja, Ecuador.
- Macayo, N. y Renison, D. (2015). ¿Cuántos años monitorear el éxito de plantaciones con fines de restauración?: Análisis en relación al micrositio y procedencia de las semillas. *Bosque* 36(2), 315-322. DOI: 10.4067/S0717-92002015000200016
- Mendoza, Z y Abad, N. (2011). Sobrevivencia y crecimiento inicial de especies vegetales en el Jardín Botánico de la quinta El Padmi, Zamora, Chinchipe. Zamora, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Arnaldoa*, 18(2), 115-122.
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal* (Vol. 87). Santa Cruz, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOS).
- Pérez, D., Farinaccio, F., Cecon, E., Alvarez, A., Carolina, A., Kalinhoff, C., Cornejo, P., Ávila-Lovera, E., Lagos, L., Dalmasso, A y Escartin, C. (2014). Aspectos ecológicos, microbiológicos y fisiológicos de la restauración de ambientes degradados de zonas áridas. Aportes de investigaciones de Argentina, Chile, Venezuela y México, 93-97.
- Quesada-Monge, R., Acosta-Vargas, L.G., Garro-Chavarría, M. Y Castillougalde, M., (2012). Dinámica del crecimiento del bosque húmedo tropical, 19 años después de la cosecha bajo cuatro sistemas de aprovechamiento forestal en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha* 25(5), 55-66.
- Rojas, S. (2017). Estructura y composición florística de la vegetación en proceso de restauración en los Cerros Orientales de Bogotá (Colombia). *Caldasia*, 39(1), 124.
- Sarango-Cobos, J., Muñoz, J., Muñoz, L y Aguirre, Z. (2019). Impacto ecológico de un incendio forestal en la flora del páramo antrópico del Parque Universitario "Francisco Vivar Castro", Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 101-114.
- Silveira, D., Cadenazzi, M., Nabinger, C y Boggiano, P. (2022). Influencia del ambiente lumínico sobre la cobertura vegetal y metabolismos fotosintéticos en comunidades de sotobosque. *Agro Sur* 50(1), 47-63.
- Tillaguango, J. (2022). Evaluación del manejo de áreas de páramo antrópico afectadas por incendios forestales y ocupadas por *Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon (Llashipa) en el Parque Universitario "Francisco Vivar Castro" [Tesis de grado Universidad Nacional de Loja], Loja, Ecuador.
- Vásquez, J y Kometter, R. (2019). Lineamientos metodológicos para iniciativas de restauración de paisajes de bosques andinos.

Anexo 1. Lista de especies que crecen asociadas al ensayo puro de restauración del matorral andino en la hoya de Loja.

Especie	Familia	Nombre común	Hábito crecimiento	Número de individuos
<i>Pteridium arachnoideum</i> (Kaulf.) Maxon	Dennstaedtiaceae	Llashipa	Arbusto	1380
<i>Tibouchina laxa</i> (Desr.) Cogn.	Melastomataceae	Garra del diablo	Arbusto	151
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	Adoxaceae	Rañiz	Arbusto	131
<i>Lepechinia mutica</i> (Benth.) Epling	Lamiaceae	Casa Casa	Arbusto	98
<i>Pappobolus acuminatus</i> (S.F. Blake) J.L. Panero	Asteraceae	Tarapu	VArbusto	97
<i>Baccharis obtusifolia</i> Kunth	Asteraceae	Chilca	Arbusto	80
<i>Rubus</i> sp.	Rosaceae	Mora	Arbusto	57
<i>Viola arguta</i> Willd. ex Roem. & Schult	Violaceae		Arbusto	55
<i>Salvia</i> sp.	Lamiaceae		Arbusto	39
<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	Primulaceae	Maco maco	Arbusto	35
<i>Amicia glandulosa</i> Kunth	Fabaceae		Arbusto	34
<i>Cronquistianthus loxensis</i> R.M. King & H. Rob.	Asteraceae		Arbusto	32
<i>Aristeguietia persicifolia</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae		Arbusto	29
<i>Oreopanax rosei</i> Harms	Araliaceae	Pumamaqui	Árbol	29
<i>Austroeupatorium</i> sp.	Asteraceae		Arbusto	25
<i>Monochaetum lineatum</i> (D. Don) Naudin	Melastomataceae		Arbusto	22
<i>Piper barbatum</i> Kunth	Piperaceae	Matico	Arbusto	19
<i>Tournefortia fuliginosa</i> Kunth	Boraginaceae		Arbusto	19
<i>Aulonemia longiaristata</i> L.G. Clark & Londoño	Poaceae	Chincha	Arbusto	16
<i>Dendrophorbium scytophyllum</i> (Kunth) C. Jeffrey	Asteraceae		Arbusto	16
<i>Cantua quercifolia</i> Juss.	Polemoniaceae	Cholala	Arbusto	15
<i>Calceolaria perfoliata</i> L.f.	Calceolariaceae	Zapatitos	Arbusto	13
<i>Cestrum tomentosum</i> L. F.	Solanaceae		Arbusto	13
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Betulaceae	Aliso	Árbol	11
<i>Piper asperiusculum</i> Kunth	Piperaceae	Matico	Arbusto	11
<i>Miconia theaezans</i> (Humb. Bonpl.) Cogn.	Melastomataceae		Arbusto	9
<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br.	Proteaceae	Cucharillo	Arbusto	8
<i>Eupatorium</i> sp.	Asteraceae		Arbusto	7
<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex J. St.-Hil.) Hoerold.	Ericaceae		Arbusto	6
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth.	Clethraceae	Almizcle	Árbol	6
<i>Clusia latipes</i> Planch. & Triana	Clusiaceae	Duco	Árbol	6
<i>Ageratina</i> sp.	Asteraceae		Arbusto	5
<i>Minthostachys mollis</i> Griseb	Lamiaceae		Arbusto	5
<i>Monnina</i> sp.	Polygalaceae		Arbusto	5
<i>Escallonia paniculata</i> (Ruiz & Pav.) Schult.	Escalloniaceae		Arbusto	4
<i>Frangula granulosa</i> (Ruiz & Pav.) Grubov	Rhamnaceae	Aliso amarillo	Árbol	4
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (Pers.) Lindl.	Rosaceae	Quique	Árbol	4
<i>Acacia dealbata</i> Link	Fabaceae		Árbol	3
<i>Baccharis</i> sp.	Asteraceae		Arbusto	3
<i>Brachyotum azuayense</i> Wurdack	Melastomataceae		Arbusto	3

Especie	Familia	Nombre común	Hábito crecimiento	Número de individuos
<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Myricaceae	Laurel de cera	Arbusto	3
<i>Triumfetta althaeoides</i> Lam.	Malvaceae	Cadillo	Arbusto	3
<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Asteraceae	Chilca	Arbusto	2
<i>Clinopodium taxifolium</i> (Kunth) Harley.	Lamiaceae	Poleo del inca	Arbusto	2
<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Ericaceae	Zalapa	Arbusto	2
<i>Miconia obscura</i> (Bonpl.) Naudin	Melastomataceae		Arbusto	2
<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	Primulaceae	Maco maco	Árbol	2
<i>Clethra revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	Clethraceae	Almizcle	Árbol	1
<i>Eugenia orthostemon</i> O.Berg	Myrtaceae		Arbusto	1
<i>Mauria heterophylla</i> Kunth	Anacardiaceae		Árbol	1
<i>Serjania</i> sp.	Sapindaceae		Arbusto	1
<i>Solanum</i> cf. <i>cutervanum</i> Zahlbr.	Solanaceae		Arbusto	1

Anexo 2. Lista de especies que crecen asociadas al ensayo mixto de restauración del matorral andino en la hoyo de Loja.

Especie	Familia	Nombre común	Hábito crecimiento	Número de individuos
<i>Pteridium arachnoideum</i> (Kaulf.) Maxon	Dennstaedtiaceae	Llashipa	Arbusto	440
<i>Gaiadendron punctatum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	Loranthaceae	Violeta de campo	Arbusto	111
<i>Huberia peruviana</i> Cogn.	Melastomataceae		Arbusto	29
<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth	Ericaceae		Arbusto	25
<i>Ageratina</i> sp.	Asteraceae		Arbusto	22
<i>Bejaria subsessilis</i> Benth	Ericaceae		Arbusto	17
<i>Baccharis brachylaenoides</i> DC.	Asteraceae		Arbusto	10
<i>Gaultheria erecta</i> Vent.	Ericaceae		Arbusto	10
<i>Cronquistianthus loxensis</i> R.M. King & H. Rob.	Asteraceae		Arbusto	6
<i>Monochaetum lineatum</i> (D. Don) Naudin	Asteraceae		Arbusto	6
<i>Bejaria aestuans</i> L.	Ericaceae	Payamo	Arbusto	5
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	Adoxaceae	Rañiz	Arbusto	5
<i>Dendrophorbium scytophyllum</i> (Kunth) C. Jeffrey	Asteraceae		Arbusto	3
<i>Escallonia paniculata</i> (Ruiz & Pav.) Schult.	Escalloniaceae		Arbusto	3
<i>Lepechinia mutica</i> (Benth.) Epling	Lamiaceae	Casa casa	Arbusto	3
<i>Tibouchina laxa</i> (Desr.) Cogn.	Melastomataceae	Garra del diablo	Arbusto	2
<i>Brachyotum azuayense</i> Wurdack	Melastomataceae		Arbusto	1
<i>Frangula granulosa</i> (Ruiz & Pav.) Grubov	Rhamnaceae	Aliso amarillo	Árbol	1
<i>Miconia theaezans</i> (Humb. Bonpl.) Cogn.	Melastomataceae		Arbusto	1
<i>Monnina</i> sp.	Polygalaceae		Arbusto	1
<i>Pappobolus acuminatus</i> (S.F. Blake) J.L. Panero	Asteraceae	Tarapu	Arbusto	1

## Evaluación de tratamientos pre-germinativos en semillas de *Juglans neotropica* Diels. en el norte del Ecuador.

### Evaluation of pre-germination treatments in *Juglans neotropica* Diels seeds. in the north of Ecuador.

Jorge Ramírez-López <sup>1</sup>   
Hugo Vallejos-Álvarez <sup>2\*</sup>   
Mario Añazco-Romero <sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

\*Autor para correspondencia: [lhvvallejos@utn.edu.ec](mailto:lhvvallejos@utn.edu.ec)

DOI: <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1737>

Recibido: 22/10/2022

Aceptado: 21/12/2022

## RESUMEN

*Juglans neotropica* Diels, conocida en Ecuador como nogal o tocte, se encuentra amenazada debido a la pérdida de su hábitat en la región Andina de América del Sur. En el país es escaso el conocimiento referente a la correlación entre la disminución de la población de nogal y el dominio de técnicas para la propagación de la especie. La reproducción de *J. neotropica* presenta la limitante de la latencia física de sus semillas; los tratamientos pre-germinativos constituyen un medio idóneo para superar la baja uniformidad en la germinación de las semillas a causa del letargo que poseen. La investigación tuvo el objetivo de evaluar el efecto de tratamientos pre-germinativos en la latencia de las semillas de *Juglans neotropica* Diels. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis tratamientos y un testigo, tres repeticiones y 25 semillas por cada unidad experimental. La germinación acumulada al final del ensayo, todos los tratamientos pre-germinativos presentaron porcentajes significativamente superiores a los registrados por el testigo. De entre los tratamientos usados, el agua corriente por cinco días (T1) mostró mayor eficiencia en la capacidad germinativa, según todas las variables vinculadas a este criterio, alcanzando un porcentaje de germinación final del 80 %; mientras que la escarificación de la punta de la semilla con una lija N° 80 durante diez minutos alcanzó un pico de germinación máxima de 66 % en un menor tiempo. Se concluye que los tratamientos pre-germinativos influyen significativamente en el incremento del porcentaje y disminución del tiempo de germinación de *Juglans neotropica* Diels.

**Palabras claves:** Propagación, endocarpio, latencia, germinación, plántulas

## ABSTRACT

*Juglans neotropica* Diels, known in Ecuador as nogal or tocte, is threatened due to the loss of its habitat in the Andean region of South America. In the country there is little knowledge regarding the correlation between the decrease of the walnut population and the mastery of techniques for the propagation of the species. The reproduction of *J. neotropica* is limited by the physical dormancy of its seeds; pre-germination treatments are an ideal means to overcome the low uniformity in the germination of walnut seeds due to their lethargy. The present investigation had the objective of evaluating the effect of pre-germination treatments on the dormancy of *Juglans neotropica* Diels seeds. A completely randomized experimental design was used with six treatments and one control, three repetitions and 25 seeds for each experimental unit. Regarding the accumulated germination, at the end of the test, all the pre-germination treatments presented significantly higher percentages than those registered by the control. Among the treatments used, running water for five days (T1) showed greater germination capacity, according to all the variables linked to this criterion, reaching a final germination percentage of 80 %; while the scarification of the seed tip with a No. 80 sandpaper for ten minutes reached its germination peak 66 % in less time. It is concluded that the pre-germination treatments significantly influence the increase in the percentage and decrease in the germination time of *Juglans neotropica* Diels.

**Keywords:** Propagation, endocarp, dormancy, germination, seedlings

## INTRODUCCIÓN

En Ecuador *Juglans neotropica* Diels se conoce con los nombres de nogal o tocte, el rango de distribución va desde 900 a 3000 m s.n.m. En el callejón interandino se encuentra en los valles secos desde 1800 hasta 3000 m s.n.m. en las laderas andinas; en las estribaciones orientales entre 1800 hasta 2600 m s.n.m. y en las estribaciones occidentales desde 900 m s.n.m. hasta 2000 m s.n.m. En cuanto a sus rangos climáticos, la especie se desarrolla en temperaturas de entre 12 °C hasta 28 °C; con precipitaciones entre 300 y 3000 mm/año (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

El problema central del nogal o tocte en Ecuador, radica en la carencia de conocimiento confiable acerca de la relación entre pérdida de la diversidad genética y los ciclos productivo y reproductivo de la especie (Añazco, 2021). La regeneración natural de *J. neotropica* en la mayoría de ecosistemas y agroecosistemas en Ecuador es común encontrar, no obstante, a medida que transcurre el tiempo esta disminuye a causa de una alta mortalidad de las plántulas en sus estados iniciales de crecimiento por efecto de alta humedad y/o total sombrío. Otro aspecto a considerar es que se puede encontrar semillas que tardan en germinar hasta más de 300 días, situación que obedece a la presencia de asociaciones benéficas de las raíces con micorrizas arbusculares de los géneros *Glomus* sp. y *Archaespora* sp., lo cual incluso permite observar nódulos nitrificantes. Esta situación, aunque ventajosa para la especie, no facilita su velocidad de germinación encontrando semillas que una vez caídas del árbol tardan alrededor de un año para germinar (Aponte y Sanmartín, 2011; Palomeque, 2012).

Las técnicas asexuales como estacas y esquejes no han tenido éxito en la propagación de *Juglans neotropica* Diels (pudrición de tallos, por alta humedad); sin embargo, la capacidad regenerativa a partir de brotes basales es otra opción, ocurre a través de sus raíces adventicias en la base de los tallos, como

una estrategia adaptativa importante en su sobrevivencia en ambientes extremos; el mayor inconveniente es la cantidad de brotes que es baja (Stone *et al.*, 2009). La propagación *in vitro* utilizando citoquininas combinadas con nutrientes, han dado resultados entre 80 a 100 % de germinación en ocho días, pero son más costosos y no difieren mucho de las germinaciones por semilla (Rocano *et al.*, 2017). El mejor método de reproducción del nogal es utilizando técnicas sexuales, no obstante, este método presenta dos limitantes, la primera está relacionada con los frutos y la segunda con las semillas. En cuanto a los frutos, la cantidad de estos es baja por árbol, una causa es el desprendimiento temprano de las ramas antes de adquirir su madurez fisiológica (Gómez-Restrepo y Toro-Murillo, 2007)

El objetivo de estudio fue evaluar el efecto de tratamientos pre-germinativos en la latencia de las semillas de *Juglans neotropica* Diels, debido a que presenta una baja capacidad germinativa, baja uniformidad de su germinación y latencia profunda. Algunas investigaciones concluyen que la mejor manera de incrementar la germinación es mediante el uso de tratamientos pre germinativos, siendo estos de tipo mecánico, físico, biológicos y químicos. La estratificación reduce las cantidades de inhibidores en las semillas resultando beneficioso para la germinación de esta especie (Peña *et al.*, 2014).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Recolección de material de propagación

El estudio se realizó en el Campus Forestal Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, ubicado en la ciudad de Ibarra, al norte del Ecuador ( $0^{\circ}21'24''$  N -  $78^{\circ}07'18''$  W, 2256 m s.n.m.) (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del campus Yuyucocha

Los frutos maduros se recolectaron en octubre de 2021, directamente de la copa de 20 individuos, éstos fueron seleccionados de forma aleatoria para obtener una muestra representativa de la diversidad genética presente en prácticas agroforestales localizadas al interior y de los alrededores del campus Yuyucocha. Para caracterizar las condiciones del sitio se usó la información de precipitación (mm) y temperatura (°C) de la estación meteorológica M1240 del INAMHI (<http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>), ubicada en el campus Yuyucocha, en el periodo septiembre 2020 – marzo 2022.

El material recolectado fue lavado hasta separar el mesocarpio de la testa de las semillas y posteriormente secado al aire libre para evitar la propagación de hongos. Se realizó una preselección por tamaños de semillas mediante un tamiz para ser distribuidas de manera proporcional en cada unidad experimental. Finalmente se realizó una inspección visual para eliminar semillas que presentaron imperfecciones.

### Ensayo de germinación

El ensayo se desarrolló en platabandas de germinación ubicadas en el Campus Yuyucocha. Se usó un diseño completamente al azar con siete tratamientos (Tabla 1), tres repeticiones y 25 semillas por cada unidad experimental. Las características del diseño fueron determinadas con un experimento preliminar, siguiendo la sugerencia de (Barbin, 2003). Como sustrato se usó 70 % de tierra negra, 20 % de materia orgánica y 10 % de pomina.

Tabla 1. Tratamientos pre-germinativos evaluados en el experimento

Código	Tratamiento	Descripción
T1	Inmersión	Semillas expuestas a agua corriente durante cinco días.
T2	Escarificación mecánica - giberelina	Se procedió a escarificar la punta de la semilla con una lija N° 60 durante dos minutos; posteriormente se sumergió en una solución de 100 ppm de giberelina durante una hora.
T3	Solarización	Se colocaron las semillas a exposición del sol durante 72 horas, roseándolas con arena al finalizar el periodo.
T4	Agua caliente	Se colocaron las semillas en agua en estado de ebullición por un periodo de 12 horas. El agua se fue enfriando paulatinamente.
T5	Escarificación mecánica dos	Se procedió a escarificar la punta de la semilla con una lima triangular por cinco minutos.
T6	Escarificación mecánica tres	Se procedió a escarificar la punta de la semilla con una lija N° 80 durante diez minutos.
T7	Control	Sin ningún tratamiento pre-germinativo

La germinación fue monitoreada cada día, considerando como germinada a aquellas semillas que mostraron emergencia de los brotes. La especie registra germinación hasta los 300 días después de su siembra (Toro-Vanegas y Roldán-Rojas, 2018), por lo que, para evaluar la efectividad de los tratamientos pre-germinativos, el ensayo se extendió hasta el día 90. Para la evaluación de los tratamientos pre-germinativos se usaron variables (Tabla 2) relacionadas a capacidad germinativa y la distribución de la germinación en el tiempo (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996; Restrepo, 2004).

Tabla 2: Detalle de las ecuaciones de las variables evaluadas.

Variable	Ecuación	Descripción
Porcentaje de germinación (%)	$PG = \frac{Sg}{Ss} * 100$	Sg: Total semillas germinadas. Ss: Total semillas sembradas.
Vigor germinativo (adimensional)	$VG = \frac{Pg}{\sum t_i} * \frac{PG}{\sum t}$	Pg: Pico de germinación PG: Porcentaje de germinación t <sub>i</sub> : número de días después de la siembra. t: tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.
Tiempo promedio de germinación (días)	$T = \frac{\sum(n_i t_i)}{\sum n_i}$	t <sub>i</sub> : número de días después de la siembra. n: número de semillas germinadas el día i.
Coefficiente de velocidad (días <sup>-1</sup> )	$CV = \frac{\sum n_i}{\sum(n_i t_i)}$	t <sub>i</sub> : número de días después de la siembra. n: número de semillas germinadas el día i.
Índice de Abbot (adimensional)	$IA = \sum \left( n_i \left( \frac{1}{t_i} \right) \right)$	i: número de día. n: número de semillas germinadas el día i.
Índice de velocidad de germinación (adimensional)	$M = \sum \left( \frac{n_i}{t} \right)$	n: número de semillas germinadas el día i. t: tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.
Valor de germinación (adimensional)	$C = p * m * \left( \frac{1}{t} \right)$	p: porcentaje acumulado hasta el pico de germinación. m: porcentaje final de germinación. t: tiempo de germinación desde la siembra hasta que germina la última semilla.

## Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se aplicó un MANOVA con el total de variables dependientes con la finalidad de identificar si, en términos generales de capacidad germinativa y la distribución de la germinación en el tiempo, existe diferencias significativas entre los tratamientos ( $\alpha: 0,05$ ). Previamente se verificaron los supuestos paramétricos del modelo: distribución normal multivariada (Shapiro Wilks multivariado  $\alpha: 0,05$ ), linealidad (Pearson  $\alpha: 0,05$ ), Homocedasticidad (matrices covarianza:  $\alpha: 0.05$ ).

Posteriormente se realizó un ANOVA para cada variable y el análisis de comparación de medias de Tukey ( $\alpha: 0,05$ ). Previo a estos análisis se determinó los supuestos de normalidad (Shapiro Wilks,  $\alpha: 0,05$ ) y homocedasticidad (Levene,  $\alpha: 0,05$ ) para cada variable de manera individual.

## RESULTADOS

### Análisis meteorológico

La temperatura promedio en el periodo de análisis fue de 15,8 °C, mientras que la precipitación anual acumulada antes de la colecta de los frutos fue de 907,7 mm (Figura 2). La distribución de las precipitaciones en el periodo evaluado muestra a los meses de junio, julio y agosto como los más secos, a excepción de octubre de 2020 que registró lluvias por debajo de sus registros históricos. Situación similar se presentó con el mes de marzo de 2021 con precipitaciones atípicas que casi duplican los históricos del mes. La época de maduración de los frutos coincidió con el inicio de la época lluviosa en el área de experimentación.

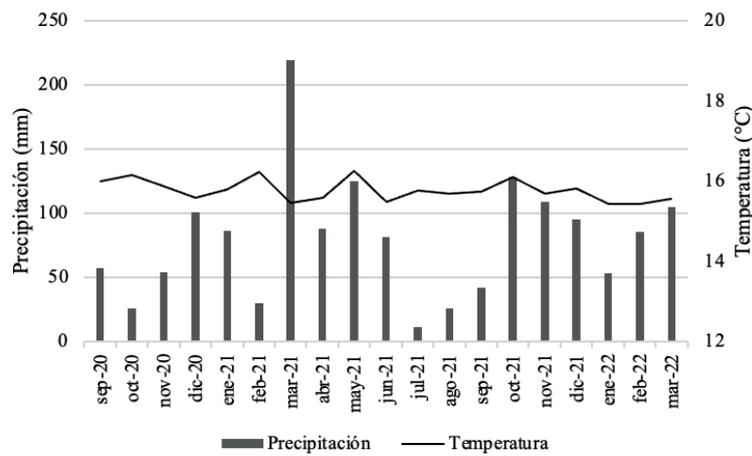


Figura 2. Precipitación y temperatura registrada en la estación meteorológica INAMHI 1240, periodo septiembre 2020 – marzo 2022.

### Análisis de la germinación acumulada

Los tratamientos evaluados incrementaron significativamente la germinación de *Juglans neotropica* Diels. Las semillas que recibieron los tratamientos pre-germinativos presentaron germinación mayor al 50%, salvo el T2 que presentó un valor de 27,33%, cercano al 22,67% del control; sin embargo, solo el T1 y T4 iniciaron la emergencia de las plantas antes que el control (Figura 3).

El T1 mostró germinación homogénea, con emergencia sostenida de las plántulas a partir del día 37 de siembra. El T6 mostró su pico de germinación entre los días 53 y 60, posterior a ese periodo la intensidad de germinación disminuyó hasta alcanzar 66% de germinación acumulada. El T5 mostró una baja germinación hasta el día 65, momento en el cual se incrementó la emergencia de las plántulas hasta alcanzar un 66,67% de germinación acumulada. Las semillas que no recibieron ningún tratamiento iniciaron su emergencia a partir del día 44; pese a iniciar su germinación antes que varios tratamientos, no alcanzó una germinación satisfactoria.

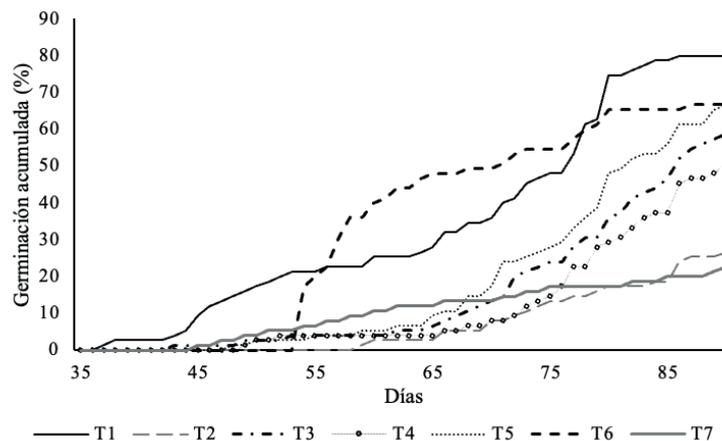


Figura 3. Germinación acumulada (%) de los tratamientos estudiados.

### Análisis estadístico de las variables estudiadas

Las semillas a las que se les aplicó agua corriente por cinco días (T1) alcanzaron un porcentaje de germinación del 80%, significativamente superior al resto de tratamientos evaluados. En un segundo grupo se encontraron las escarificaciones mecánicas (T5 y T6). La aplicación de giberelina en semillas escarificadas perjudicó el potencial de germinación de las semillas, ya que fue el único tratamiento (T2) que no presentó diferencias significativas con el control (T7) (Tabla 3).

El T1 también destacó al analizar el vigor germinativo; en el caso de esta variable, el tratamiento con agua caliente siguió en efectividad al T1, pese haber alcanzado tan solo el 51.33% de germinación final.

En el caso de las variables relacionadas al tiempo de germinación T6 mostró el mejor comportamiento. Si bien las semillas germinaron luego del testigo, alcanzaron un pico de germinación en un periodo corto de tiempo.

Cabe recalcar que el coeficiente de variación en todas las variables analizadas no superó el 10%, lo que garantiza la efectividad del experimento y los métodos usados en la investigación.

Tabla 3. ANOVA de las variables estudiadas

Resultados ANOVA								
Variables	VG	PG	T	Cv	M	IA	C	
F-valor	734.42**	371.82**	140.60**	239.62**	117.97**	111.12**	1784.88**	
CV (%)	4.68	3.58	1.21	0.98	6.29	7.12	4.01	
Comparación de medias Tukey ( $\alpha:0.05$ )								
Tratamiento	T1	0.73 (a)	80.00 (a)	67.49 (a)	1.49 (a)	0.22 (a)	0.29 (a)	65.93 (a)
	T2	0.14 (b)	27.33 (b)	75.24 (bc)	1.34 (b)	0.08 (b)	0.09 (b)	1.46 (b)
	T3	0.26 (c)	58.00 (c)	74.19 (b)	1.35 (b)	0.16 (c)	0.19 (c)	16.65 (c)
	T4	0.36 (d)	51.33 (d)	76.96 (c)	1.30 (c)	0.17 (c)	0.21 (cd)	22.78 (d)
	T5	0.29 (c)	66.67 (e)	75.66 (bc)	1.32 (bc)	0.18 (c)	0.22 (cd)	31.90 (e)
	T6	0.26 (c)	66.00 (e)	63.18 (d)	1.58 (d)	0.23 (a)	0.23 (d)	14.96 (c)
	T7	0.04 (e)	22.67 (b)	81.26 (e)	1.24 (e)	0.07 (b)	0.06 (b)	3.27 (b)

Nota: CV: coeficiente de variación; \*\* significancia con 0.01 de probabilidad. Promedios con letras comunes en las columnas no son estadísticamente diferentes.

Todos los estadísticos del análisis multivariado mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, posicionando a T1 como el más efectivo para superar la latencia de las semillas de *Juglans neotropica* Diels en términos de capacidad y velocidad de germinación. Los resultados del MANOVA reafirman el análisis de las variables por separado (Tabla 4).

Tabla 4. MANOVA variables estudiadas

MANOVA								
F.V.	p - Wilks	p - Pillai	p - Hotelling	p - Roy				
Tratamientos	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001				
Hotelling - Bonferroni								
Tratamientos	VG	PG	T	Cv	M	IA	C	Dif.
T1	0.73	80.00	67.49	1.49	0.22	0.29	65.93	a
T2	0.14	27.33	75.24	1.34	0.08	0.09	1.46	b
T3	0.26	58.00	74.19	1.35	0.16	0.19	16.65	c
T4	0.36	51.33	76.96	1.30	0.17	0.21	22.78	d
T5	0.29	66.67	75.66	1.32	0.18	0.22	31.90	e
T6	0.26	66.00	63.18	1.58	0.23	0.23	14.96	f
T7	0.04	22.67	81.26	1.24	0.07	0.06	3.27	g

Nota: F.V.: fuente de variación; \*\* significancia con 0.01 de probabilidad; Dif.: diferencias. Promedios con letras comunes en las columnas no son estadísticamente diferentes.

## DISCUSIONES

### Análisis variables meteorológicas

La precipitación y temperatura al momento de la recolección de los frutos e instalación del ensayo estuvieron dentro del rango ecológico de la especie (Toro-Vanegas y Roldán-Rojas, 2018); aspecto fundamental el momento de planificar la reproducción de *Juglans neotrópica* Diels, ya que sus fases fenológicas se ven alteradas por cambios en la precipitación (Ospina-Penagos et al., 2003).

El análisis meteorológico permitió identificar que, en la zona de estudio la maduración de los frutos coincide con el inicio del segundo periodo de precipitaciones. La identificación del periodo de maduración de los frutos es fundamental en la reproducción de la especie, ya que estos son climatéricos, esto es, que una vez caen del árbol ya no continúan con su proceso de maduración y desarrollo (Ospina et al., 2003). López y Piedrahita (1998) mencionan que frutos de seis meses de formación ya son aptos para iniciar su proceso de germinación y no antes, lo cual es un aspecto que dificulta también la propagación de la especie debido al aborto de los frutos que ocurre antes del periodo de maduración (Gómez-Restrepo y Toro-Murillo, 2007).

En general las condiciones climáticas y altitud del sitio de experimentación son adecuadas para la reproducción de la especie. Si bien, la especie crece más rápido entre 1600 y 2000 m s.n.m. en este rango altitudinal presenta problemas sanitarios causados por barrenadores, principalmente por el ataque del lepidóptero *Gretchena garai* Miller; mientras que entre 2000 y 3000 m s.n.m. se la aprecia saludable, especialmente con precipitaciones no mayores a 1500 mm anuales, en suelos profundos y en sitios protegidos (Estrada, 1997).

## Efecto de los tratamientos pre-germinativos

Los resultados de la investigación muestran la efectividad y necesidad de la aplicación de tratamientos pre-germinativos para la reproducción sexual de *Juglans neotropica* Diels. Las semillas de la especie presentan limitantes propias de su naturaleza, al ser una nuez de endocarpio duro presentan latencia natural en el orden físico, la cual produce baja uniformidad en la germinación en condiciones de vivero, situación que dificulta la obtención de plántulas en calidad, cantidad y tiempo adecuados (Gómez-Restrepo y Toro-Murillo, 2007). Atwater (1980) señala que el principal bloqueo en la germinación del *Juglans neotropica* Diels se asocia con la retención de inhibidores, los cuales están contenidos en la testa que es permeable al agua y semi o impermeable a algunos químicos o gases, la cual, además, ejerce resistencia mecánica contra el desarrollo del embrión.

López (1997), sobre los inhibidores se refiere al grado de lignificación de la testa, misma está relacionado con la latencia que limita la cantidad de oxígeno dentro de la semilla. Sobre el tema otros autores como Ospina et al. (2003) añaden que los altos contenidos de aceites en los cotiledones, disminuyen la capacidad y uniformidad de germinación, sobre todo en condiciones de alta temperatura está relacionado con la latencia que limita la cantidad de oxígeno dentro de la semilla, lo que lleva a la producción de sustancias inhibitorias del crecimiento en los tejidos embriogénicos.

De lo anterior se deduce que *Juglans neotropica* Diels, presenta una baja capacidad germinativa, baja uniformidad de su germinación y latencia profunda. Algunas investigaciones concluyen que la mejor manera de incrementar la germinación es mediante el uso de tratamientos pre germinativos, siendo estos de tipo mecánico, físico, biológicos y químicos. La estratificación reduce las cantidades de inhibidores en las semillas resultando beneficioso para la germinación de esta especie (Peña et al, 2014).

En la presente investigación el tratamiento de hidratación con agua corriente por cinco días presentó los mejores resultados. El resultado es consistente con los reportado por Toro y Roldan (2018) en Colombia, que señalan que de entre los varios tratamientos usados, existen dos de mayor eficiencia, uno es hidratar en agua durante ocho días (cambio de agua diario o poner en agua corriente) y el otro es exponiendo al sol durante 48 horas. Similar situación expone Azogue (2016) en Ecuador, utilizando el tratamiento de solarización en 48 horas obtuvo un porcentaje de germinación de 81,25%, seguido por el tratamiento agua corriente donde obtuvo 73,44% de germinación.

Los tratamientos de escarificación mecánica siguieron en efectividad a la hidratación. Silva (2017) en Perú registró un 48% de germinación con corte mecánico de la testa de la semilla, inferior a los valores obtenidos en esta investigación.

Otras investigaciones dan cuenta de la eficiencia de los tratamientos combinados, así López Carvajal y Piedrahíta Cardona (1998), señalan la combinación de los tratamientos de osmocondicionamiento (-1.0 MPa) y estratificación durante 60 días como el tratamiento más efectivo para aumentar la velocidad y el vigor de la semilla de nogal.

## CONCLUSIONES

El uso de tratamientos pre-germinativos influye de manera significativa en la capacidad y tiempo de germinación de las semillas de *Juglans neotropica* Diels. La hidratación de las semillas con agua corriente por cinco días se constituye como el tratamiento pre-germinativo más eficiente para superar la baja uniformidad de su germinación y latencia profunda. Los tratamientos de escarificación mecánica no alcanzaron una germinación tan alta como la hidratación; sin embargo, alcanzan el pico de germinación en un lapso de tiempo menor al del resto de los tratamientos evaluados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Añazco, M. (2021). Programa de investigación *Juglans*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Aponte, R. V., y Sanmartín, J. C. (2011). *Fenología y ensayos de germinación de diez especies forestales nativas, con potencial productivo maderable y no maderable del bosque protector el bosque de la parroquia San Pedro de Vilcabamba, Loja*. [Tesis Ingeniería. Universidad Nacional de Loja], Loja, Ecuador.
- Azogue, A. (2016). *Evaluación del efecto de los tratamientos pregerminativos en semillas de nogal (Juglans neotrópica diels) en el recinto Pumin provincia de Bolívar*. [Tesis Ingeniería. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)]. Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Atwater, B. (1980). Germination dormancy and morphology of seeds of herbaceous. *Seed Science and Technology*. 8: 523-573
- Barbin, D. (2003). *Planejamento e análise estatística de experimentos agronômicos*. Cárdenas, D., y Salinas, N. (2006). *Libro rojo de plantas de Colombia, Especies maderables amenazadas I parte*. Bogotá, Colombia: SINCHI-MAVDT.
- Estrada, W. (1997). *Manual para la producción de nogal*. OIMT, CORMADERA. Quito, Ecuador
- Gómez-Restrepo, M. L., y Toro-Murillo, J. L. (2007). *Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque*. Medellín, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia- CORANTIOQUIA.
- González-Zertuche, L., y Orozco-Segovia, A. (1996). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Botanical Sciences*, 58, 15–30.
- López-Carvajal, J. y Piedrahíta-Cardona, E. (1998). Respuesta de la semilla de cedro negro (*Juglans neotropica* Diels) a la aplicación de tratamientos pregerminativos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 51(1), 217-235.
- López, J. (1997). *Tratamientos pregerminativos aplicados a la semilla de cedro negro (Juglans neotropica) para reducir su periodo de germinación*. [Tesis Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín]. Medellín. Antioquia, Colombia.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.
- Ospina-Penagos, C. M., Hernández-Restrepo, R. J., Aristizabal-Valencia, F. A., Patiño-Castaño, J. N., y Salazar-Castaño, J. W. (2003). Título: El cedro negro: una especie promisoría en la zona cafetera.
- Palomeque, F. J. (2012). *Natural succession and tree plantation as alternatives for restoring abandoned lands in the Andes of Southern Ecuador: Aspects of facilitation and competition*. [Tesis Doctoral. Technische Universität München], Munchen, Alemania.
- Peña, D., Rocano, M., Salazar, J. y Torres, C. (2014). Inducción de la brotación *in vitro* de microplántulas de Nogal (*Juglans neotropica*) tratadas con Thidiazuron (TDZ) y 6-Bencilaminopurina (BAP). *MASKANA*, 5(2).
- Rocano, M., Villena, P., y Peña, D. (2017). Evaluación de los sistemas de cultivo semisólido y BIT en la multiplicación *in vitro* de *Juglans neotrópica*. *MASKANA*, 8(1), 103-109.
- Stone, D. E., Oh, S.-H., Tripp, E. A., Ríos G, L. E., y Manos, P. S. (2009). Natural History, Distribution, Phylogenetic Relationships, and Conservation of Central American Black Walnuts (*Juglans* sect. *Rhysocaryon*). *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 136(1), 1–25. <http://www.jstor.org/stable/40207615>
- Silva, G. (2017). *Metodologías de escarificación para la producción de plantones de nogal (*Juglans neotropica*, diels)*, en Rodríguez de Mendoza, Amazonas. [Tesis Ingeniería. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Amazonas, Perú.
- Toro-Vanegas, E., y Roldán-Rojas, I. C. (2018). State of the art, propagation and conservation of *Juglans neotropica* Diels., in Andean zones. *Madera y bosques*, 24(1), e2411560



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 1

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](http://www.revistas.unl.edu.ec)

**e-mail:** [bosqueslatitudcero@unl.edu.ec](mailto: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**

**latindex**  
catálogo 2.0

**REDIB**  
Red Iberoamericana  
de Innovación y Conocimiento Científico

**Google**  
Scholar

**ROAD** DIRECTORY  
OF OPEN ACCESS  
SCHOLARLY  
RESOURCES

**BASE**

**Diseño, Diagramación y Portada:**

*Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo*

**Editor:**

*Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo*

**Fotografía de portada superior:**

*Dr. Zhofre Aguirre*

**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**