

Ensayos de sobrevivencia y crecimiento inicial con tres especies forestales en un matorral andino del sur del Ecuador

Survival and initial growth trials with three forest species in an andean shrubland in southern Ecuador

 Leonardo Paúl González Niveló^{1*}, Vanessa Alexandra Granda Moser², Ivett Carolina Pacheco Cueva² y Zhofre Huberto Aguirre Mendoza²

¹ Universidad Nacional de Loja, Parque Universitario "Francisco Vivar Castro", Km 5 vía a Vilcabamba, Loja, Ecuador. lpgonzalezn@unl.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-3820-4813>

² Universidad Nacional de Loja. Ciudadela Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa", Loja, Ecuador. vanegranda78@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-4725-9460>; zhofre.aguirre@unl.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-6829-3028>; ivett.pacheco@unl.edu.ec, <https://orcid.org/0009-0003-6242-3877>

*Autor para correspondencia:
lpgonzalezn@unl.edu.ec

Recibido: 20-11-2023
Aceptado: 24-11-2023
Publicado: 27-11-2023

DOI: 10.26807/remcb.v44i2.972

eISSN 2477-9148



Como citar este artículo:
Gonzalez-Niveló L. 2023. Ensayos de sobrevivencia y crecimiento inicial con tres especies forestales en un matorral andino del sur del Ecuador. Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas 44 (2): 63-73. doi: 10.26807/remcb.v44i2.972

Resumen.- La vegetación nativa del matorral andino ha sido constantemente alterada por incendios, ampliación de la frontera agrícola y ganadería. Actualmente, se han convertido en un ecosistema frágil y poco resiliente. Este estudio busca aportar al conocimiento de la reforestación de estos ambientes y promover la recuperación de su vegetación y funcionalidad. Para esto se evaluó el crecimiento y sobrevivencia inicial en dos ensayos con tres especies nativas: *Lafoensia acuminata*, *Podocarpus sprucei* y *Handroanthus chrysanthus*. Las especies se plantaron en parcelas homogéneas, densidad de siembra de 3 x 3 m, 60 individuos por especie en cada ensayo. Se evaluaron crecimientos en diámetro basal, altura total, sobrevivencia y la relación del crecimiento con variables edáficas (textura, pendiente, densidad aparente, pH, materia orgánica y carbono) en un intervalo de 11 meses. Se encontró una sobrevivencia alta en *L. acuminata* (100 %), *H. chrysanthus* (≥ 93 %) y *P. sprucei* (≥ 85 %). Existe diferencias significativas ($< 0,0001$) en incremento del diámetro basal y altura total entre *L. acuminata* y *H. chrysanthus*. Las variables edáficas más correlacionadas con el crecimiento inicial fueron el pH, densidad aparente, materia orgánica y carbono. Preliminarmente, las tres especies tienen potencial para la reforestación de este matorral andino; *L. acuminata* fue la de mejor sobrevivencia inicial y mayor crecimiento.

Palabras clave: restauración ecológica, dinámica de crecimiento, especies forestales, monitoreo, factores edáficos.

Abstract.- The native vegetation of the Andean scrubland has been constantly altered by fires, expansion of the agricultural frontier and livestock farming. Currently, they have become a fragile and not very resilient ecosystem. This study seeks to contribute to the knowledge of the reforestation of these environments and promote the recovery of their vegetation and functionality. For this, initial growth and survival were evaluated in two trials with three native species: *Lafoensia acuminata*, *Podocarpus sprucei* and *Handroanthus chrysanthus*. The species were planted in homogeneous plots, planting density of 3 x 3 m, 60 individuals per species in each trial. Growth was evaluated in basal diameter, total height, survival and the relationship of growth with edaphic variables (texture, slope, apparent density, pH, organic matter and carbon) in an interval of 11 months. High survival was found in *L. acuminata* (100%), *H. chrysanthus* ($\geq 93\%$), and *P. sprucei* ($\geq 85\%$). There are significant differences (< 0.0001) in increase in basal diameter and total height between *L. acuminata* and *H. chrysanthus*. The edaphic variables most correlated with initial growth were pH, apparent density, organic matter and carbon. Preliminarily, the three species have potential for the reforestation of this Andean scrubland; *L. acuminata* had the best initial survival and greatest growth.

Key words: ecological restoration, growth dynamics, survival, monitoring, edaphic factors.

Introducción

La degradación de la tierra es un problema global que afecta a los recursos forestales y a su vez a la integridad y salud de los ecosistemas de los cuales dependen directamente las personas. El planeta ha perdido 178 millones de hectáreas de bosque hasta el año 2020, sin embargo, aún se conservan grandes extensiones como los bosques tropicales que representan el 40 % de la cobertura global (FAO, 2021). Por ello se promueve la evaluación de los recursos forestales mundiales con la participación de gobiernos internacionales, Organismos gubernamentales y no gubernamentales incluidos en la Agenda 2030.

Ecuador no es la excepción. Su territorio enfrenta la degradación de los ecosistemas, causada principalmente por la conversión de uso de suelo, aprovechamiento forestal no sostenido, deforestación y escasa gobernanza forestal (Torres et al., 2020). Estas actividades han contribuido a la reducción de los bosques en un 56 % desde 1990 hasta 2018 (Sierra et al., 2021). Sumado a esto, los matorrales interandinos representan 11 266 km² del Ecuador continental y son poco protegidos, viéndose afectados por la degradación (Ron, 2020). En el caso del cantón Loja alberga 21,33 % de matorral que tienen alta probabilidad de incendios (Reyes-Bueno y Balcazar-Gallegos, 2021). Por ejemplo, desde enero hasta octubre de 2023 se han quemado 354,59 ha de cobertura natural (Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos, 2023) provocando la pérdida de biodiversidad incalculable.

La magnitud de esta degradación refuerza la necesidad imperiosa de desarrollar estrategias de reforestación, enriquecimiento y sistemas agroforestales que permitan restaurar los paisajes naturales. Ecuador se ha sumado a las iniciativas internacionales contra la degradación y el cambio climático adoptando como base la restauración. Inicialmente, la restauración se promovió en 1980 (Murcia et al., 2017) y actualmente consta con un Plan Nacional de Restauración Forestal 2019-2030. Este plan prioriza las áreas de restauración en sus tres regiones continentales (litoral, sierra y amazonia), (Ministerio del Ambiente, 2019). Se aspira que para el año 2030 se logren restaurar 30 000 ha mediante restauración activa y pasiva.

La restauración también conlleva un proceso de monitoreo que permite evaluar la eficacia de las estrategias utilizadas. Principalmente, se monitorean variables fáciles de medir y que permitan visualizar cambios, como la sobrevivencia de plántulas, condiciones físico-químicas del suelo, recurso hídrico, flora (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015; ECOPAR y GIZ, 2023). Por ejemplo, los suelos son la base para el desarrollo de las comunidades biológicas (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015) y por ende un factor influyente en el desarrollo de las especies forestales (De las Salas, 1987). Las perturbaciones modifican los suelos, por lo cual es relevante conocer su estado actual (Jiménez et al., 2007) y su relación con el desarrollo de las plantas.

La presente investigación se realizó en el ecosistema andino debido a que estos son ecosistemas de alta biodiversidad que han sido fragmentados por la deforestación y los cambios de uso de suelo (Bustamante y Salles, 2020). Un caso particular es el matorral andino del cantón Loja, que es susceptible y constantemente afectado por incendios, especialmente desde julio hasta diciembre (Reyes-Bueno y Balcazar-Gallegos, 2021). Como una alternativa para restaurar estos ambientes, se plantó y evaluó el crecimiento y sobrevivencia inicial de plántulas de tres especies forestales nativas consideradas de gran potencial para la restauración de estos paisajes.

Metodología

Área de estudio.- El ensayo se realizó en el Parque Universitario "Francisco Vivar Castro" de la Universidad Nacional de Loja, a 2 450 m s.n.m. (79° 11' 07" y 79° 12' 03" oeste; 04° 01' 37" y 04° 02' 02" sur; Figura 1). Los remanentes naturales corresponden a matorrales andinos y bosques siempreverdes montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes. El matorral en estudio ha sido afectado periódicamente por incendios desde 1989. El último suceso se dio en 2017 y se afectaron ~7 ha entre matorral y páramo antrópico (Sarango-Cobos et al., 2019), lo cual ha contribuido a la degradación del ecosistema en su composición, estructura y funcionalidad. Actualmente el área se encuentra en recuperación y está dominada por arbustos y hierbas. Los árboles son escasos y poco desarrollados. Los ensayos se establecieron en dos matorrales.

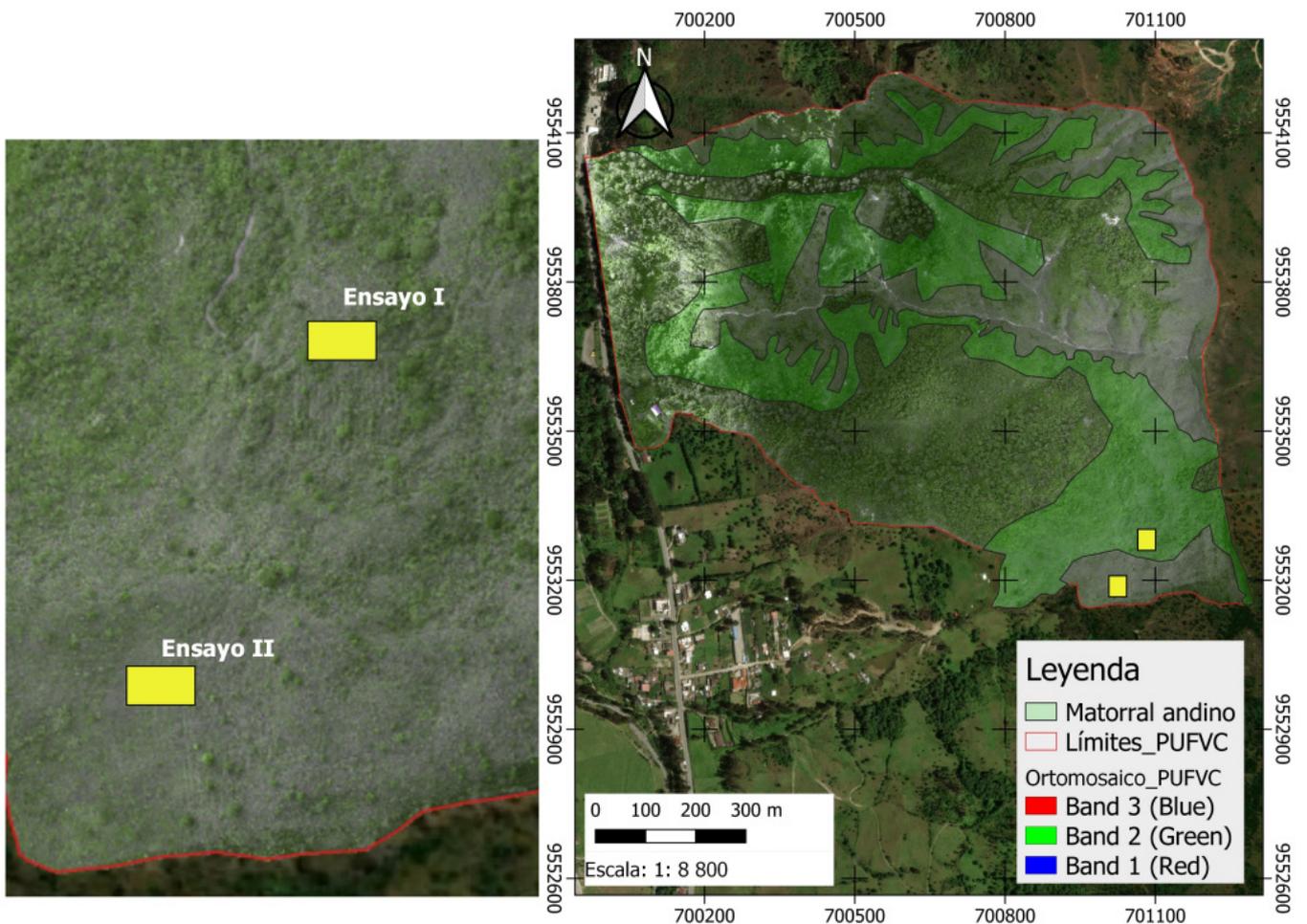


Figura 1. Mapa de ubicación de la cobertura vegetal de matorral andino en el Parque Universitario "Francisco Vivar Castro". Fuente: Ortomosaico proporcionado por el Centro de Investigaciones Territorial (CIT), Universidad Nacional de Loja.

Diseño y establecimiento de los ensayos de restauración.- Basado en el estudio de Aguirre et al. (2019) en un matorral andino, se establecieron dos ensayos homogéneos mediante un diseño sistemático en bloques. Se seleccionaron tres especies forestales nativas con un alto valor ecológico y económico: *Handroanthus chrysanthus*, *Lafoensia acuminata* y *Podocarpus sprucei*. Estas especies son fáciles de propagar por lo cual se logró conseguir plantas en vivero de aproximadamente un año de edad. La procedencia del material vegetal es de árboles semilleros manejados por el vivero.

Handroanthus chrysanthus es una especie heliófita (Aguirre y León, 2011) y presenta una distribución amplia sobre suelos levemente húmedos (Villacis et al., 2015), con pendientes escarpadas. *Lafoensia acuminata*, es una especie esciófita (Díaz y Velásquez, 2015) y heliófita que puede encontrarse cultivada en avenidas, parques o jardines, aunque estos sitios no presentan buenas características edafoclimáticas, la resiliencia ha contribuido a su adaptabilidad. Por otra parte, *Podocarpus sprucei* se observa en zonas abiertas menos intervenidas o en bosques naturales bien conservados. Según Hofstede et al. (1998) esta especie se distribuye en condiciones extremas hasta 3900 m s.n.m con precipitaciones > 1000 mm.

Las plantas (individuos) antes de plantarse presentaron alturas promedio de 25 cm. Se implementaron tres repeticiones para cada especie, con un total de nueve repeticiones por ensayo. Cada repetición contiene 20 individuos plantados a una densidad de 3 x 3 m, dando un total de 60 individuos por especie en cada ensayo (Figura 2).

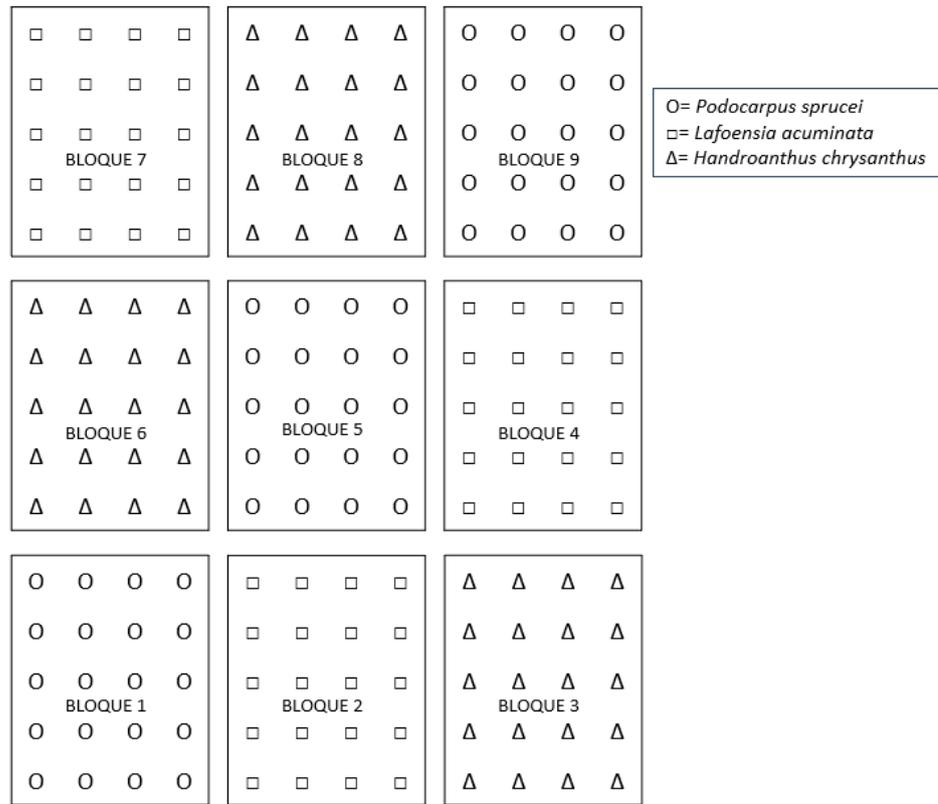


Figura 2. Diseño de los ensayos de restauración con tres especies forestales establecidas en el matorral andino.

Monitoreo de los dos ensayos de restauración con tres especies forestales.- Las especies fueron plantadas en enero de 2022 aprovechando la temporada de lluvias. El monitoreo consistió en evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas, a través de variables dasométricas como diámetro basal (medida a un centímetro sobre el nivel suelo) y altura total. Estas variables fueron medidas en dos fases: fase inicial en febrero de 2022 y fase dos en enero de 2023. En este periodo se evaluó la sobrevivencia y mortalidad de los individuos. Adicionalmente, en las dos fases también se evaluaron las condiciones físicas del sitio, tomando como referencia el suelo (características físicas y químicas).

Cálculo de la sobrevivencia.- La sobrevivencia se calculó para cada especie con base a la relación porcentual de los individuos vivos al final del monitoreo y los establecidos al inicio de la plantación, se aplicó la ecuación 1.

$$\text{Sobrevivencia (\%)} = \frac{\sum \text{N}^\circ \text{ individuos vivos}}{\text{N}^\circ \text{ total de individuos plantados}} * 100 \text{ (Ecuación 1)}$$

Cálculo del crecimiento de las tres especies forestales.- Se calculó el crecimiento de cada planta y por especie (promedio de todos los individuos) en cada ensayo, para lo cual se utilizó los datos iniciales y finales de las variables diámetro basal (Ecuación 2) y altura total (Ecuación 3), así como se detalló en el monitoreo. Se aplicó las siguientes ecuaciones empleadas por Aguirre et al. (2014):

- Crecimiento de diámetro basal

$$Cr.db (cm) = Cr.db_{final} - Cr.db_{inicial} \text{ (Ecuación 2)}$$

Cr.db= crecimiento del diámetro basal

- Crecimiento en altura

$$Cr.ht (cm) = Cr.ht_{final} - Cr.ht_{inicial} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Cr.ht= crecimiento de altura total

Evaluación de variables físicas en los ensayos de restauración.- Se midió la pendiente usando un clinómetro Suunto. Se colectaron 24 muestras de suelo a 10 cm de profundidad para evaluar la textura (arena, limo y arcilla), densidad aparente (g/cm³), pH, materia orgánica (%) y carbono (%) (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015). Por cada ensayo se colectaron nueve muestras no disturbadas, una por cada bloque o especie en sentido horizontal utilizando cilindros de Copecky y, tres muestras disturbadas por cada ensayo (Mendoza y Espinoza, 2017). Los suelos pueden ser variables a cortas distancias en sus características físicas y químicas por lo que fue necesario coleccionar varias repeticiones en cada bloque. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja. Cada una de las variables permitió evaluar la correlación con el crecimiento inicial de las especies y a la par el estado actual y de conservación del suelo.

Análisis de datos.- Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) y prueba de Fisher con 0,05 de probabilidad, utilizando las variables del crecimiento en diámetro basal y altura de las tres especies en cada ensayo. Adicionalmente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) en el que las variables del crecimiento en diámetro basal y altura que fueron correlacionadas con la densidad aparente (g/cm³), pH, materia orgánica (%), carbono (%) y textura. Para los análisis se utilizó el Software Infostat/L versión 2020.

Resultados

Los resultados muestran la evaluación de la adaptabilidad y crecimiento inicial de especies plantadas en un matorral andino como parte del monitoreo en la restauración. Se destaca el buen desarrollo de las plantas y como estas se correlacionan con las variables del suelo en su proceso de adaptación y desarrollo inicial.

Sobrevivencia.- La sobrevivencia fue alta en las tres especies y en los dos ensayos (85-100%; Tabla 1).

Tabla 1. Sobrevivencia y mortalidad de las tres especies forestales establecidas en los dos ensayos de restauración del matorral andino.

Especie	Individuos plantados	Individuos vivos	Individuos muertos	Sobrevivencia (%)	Mortalidad (%)
Ensayo I					
<i>Handroanthus crisanthus</i>	60	59	1	98	2
<i>Lafoensia acuminata</i>	60	60	0	100	0
<i>Podocarpus sprucei</i>	60	56	4	93	7
Ensayo II					
<i>Handroanthus crisanthus</i>	60	56	4	93	7
<i>Lafoensia acuminata</i>	60	60	0	100	0
<i>Podocarpus sprucei</i>	60	51	9	85	15

Crecimiento en altura y diámetro basal.- El ensayo I presentó los mejores crecimientos en altura y diámetro basal. *Lafoensia acuminata* tuvo crecimientos en altura superiores a las otras especies, pero menor en área basal. *Podocarpus sprucei* presentó un crecimiento con valores intermedios en relación con las dos especies. Sin embargo, *Handroanthus chrysanthus* tuvo un crecimiento en diámetro mayor que las demás especies (Tabla 2).

Tabla 2. Crecimiento en altura y diámetro basal de tres especies forestales establecidas en dos ensayos de restauración del matorral andino.

Variable	Especies	Ensayos	Medias (cm)	E.E	p-valor	Significancia (0,05)
Altura	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	E I	1,85	± 0,55	< 0,0001	B
		E II	1,05	± 0,19	< 0,0001	B
	<i>Lafoensia acuminata</i>	E I	4,10	± 0,54	< 0,0001	A
		E II	2,93	± 0,22	< 0,0001	A
	<i>Podocarpus sprucei</i>	E I	2,60	± 0,56	< 0,0001	AB
		E II	1,25	± 0,19	< 0,0001	B
Diámetro	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	E I	0,17	± 0,01	< 0,0001	A
		E II	0,12	± 0,01	< 0,0001	A
	<i>Lafoensia acuminata</i>	E I	0,12	± 0,01	< 0,0001	B
		E II	0,09	± 0,01	< 0,0001	B
	<i>Podocarpus sprucei</i>	E I	0,14	± 0,01	< 0,0001	AB
		E II	0,10	± 0,01	< 0,0001	AB

Lafoensia acuminata creció en altura ~25% más en el ensayo I, contrario a *Podocarpus sprucei* y *Handroanthus chrysanthus* que no presentaron diferencias significativas (Figura 3A). Por otra parte, se observó que *Handroanthus chrysanthus* presentó diferencias significativas en crecimiento del diámetro basal en los dos ensayos (Figura 3B), mientras que en general *Podocarpus sprucei* no presentó diferencias significativas con respecto a *Handroanthus chrysanthus* y *Lafoensia acuminata* (Figura 3A y B).

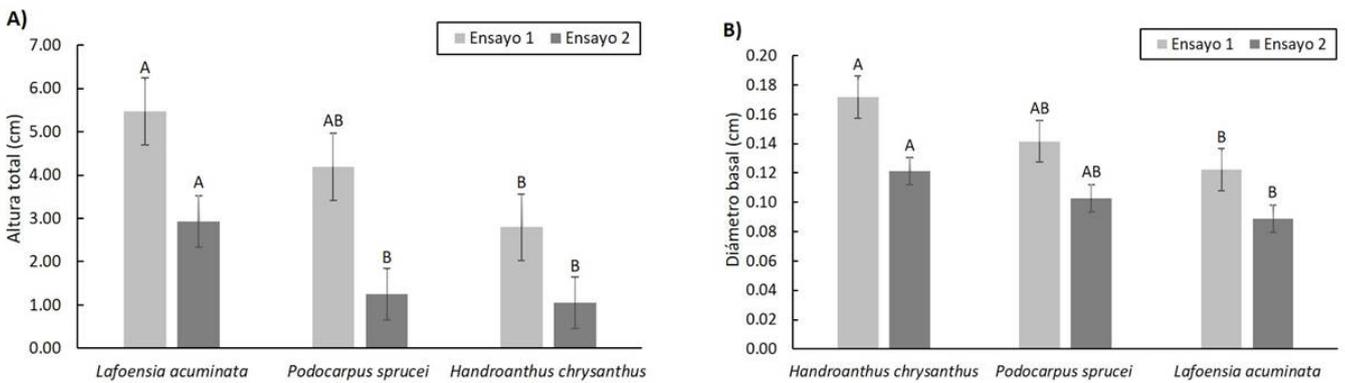


Figura 3. Crecimiento en altura (A) y diámetro basal (B) de tres especies forestales establecidas en dos ensayos de restauración en el matorral andino. Las diferencias corresponden a los análisis de ANOVA.

Variables físicas de los ensayos de restauración.— El suelo de los dos ensayos fue ligeramente diferente en textura, características químicas y pendiente (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de las características físicas y químicas del suelo en los ensayos de restauración del matorral andino.

Escenario	Textura			Descripción	DA (g/cm ³)	pH	Mo (%)	C (%)	Pen-diente (%)
	Ao (%)	Lo (%)	Ac (%)						
Ensayo 1	48,21	42,49	9,31	Franco-Arenoso	0,91	4,13	33,99	17,92	17,78
Ensayo 2	45,52	43,84	10,64	Franco-limoso	1,01	4,13	31,61	16,67	23,00

Nota: Ao= arena; Lo= Limo; Ac=arcilla; Mo= materia orgánica; C= carbono; DA= densidad aparente

Influencia de las variables físicas en el crecimiento de las especies.- Las variables físico-químicas del suelo se correlacionan con el crecimiento en altura y diámetro basal de las especies. Los análisis de PCA explican 82,8-72,3 % de la variación encontrada. Las especies se agrupan por bloques, debido a que estos se direccionan a donde hay mayores concentraciones en los valores de los atributos físicos y químicos (Figura 4).

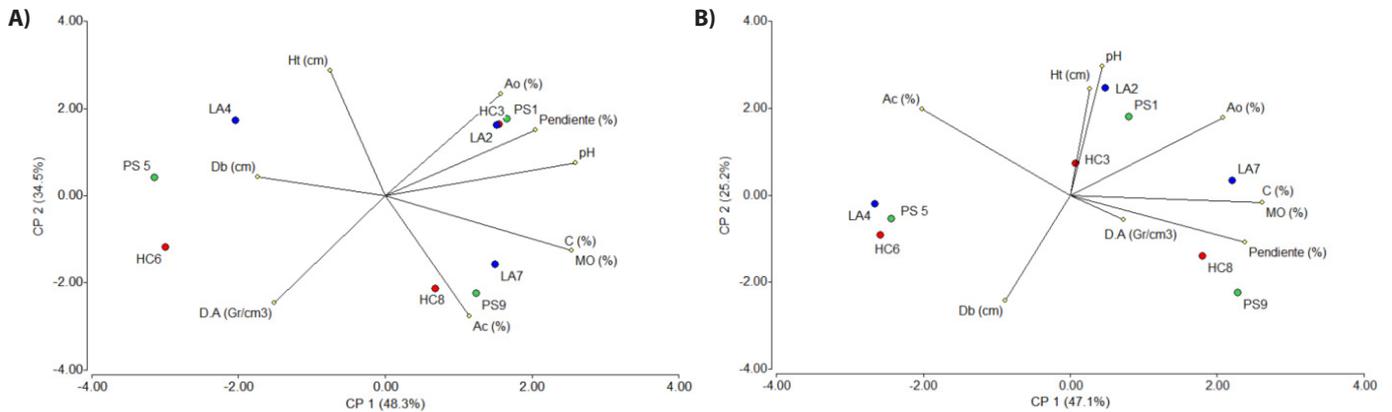


Figura 4. Análisis de componentes principales del crecimiento en altura y diámetro basal de tres especies forestales y su correlación con variables físicas. Ensayo I: A) y Ensayo II: B). LA= *Lafoensia acuminata*; HC: *Handroanthus chrysanthus*; PS= *Podocarpus sprucei*; CP= componente principal; Ao= arena; Lo= Limo; Ac=arcilla; Mo= materia orgánica; C= carbono; DA= densidad aparente.

Discusión

Sobrevivencia.- Las tres especies presentan alto porcentaje de sobrevivencia al concluir los 11 meses desde que fueron plantadas. En otros estudios, *Handroanthus chrysanthus* también presentó altos porcentajes de sobrevivencia inicial ($\geq 93,5\%$; González et al. (2010); Palomeque et al. (2020); Jiménez-Cueva y Palacios-Herrera (2023)), sugiriendo que la especie podría desarrollarse bien en el matorral andino en procesos de recuperación. Sin embargo, estos resultados no implican necesariamente una sobrevivencia a largo plazo. Aguirre et al. (2013) reporta que en un ensayo realizado en un bosque húmedo, ningún individuo del ensayo sobrevivió luego de siete años, mientras que Aguirre et al. (2014) reportaron una sobrevivencia de apenas 5,56 % luego de 4 años de monitoreo. Así, una sobrevivencia inicial alta no implica necesariamente que a largo plazo las plántulas o juveniles se mantengan. Según Vargas (2007) la persistencia de las plantas en los primeros estadios de desarrollo se ve afectada por barreras como sequías, heladas, competencia, herbivoría o patógenos, lo cual vuelve incierta la sobrevivencia a futuro.

Lafoensia acuminata, inicialmente presentó una alta adaptabilidad en el ecosistema andino. Así lo corrobora Aguirre et al. (2019) demostrando que esta especie presenta buena sobrevivencia en plantaciones homogéneas (93,33 %) en zonas de matorral andino. Sin embargo, con el tiempo las especies son susceptibles a barreras biológicas o físicas que afectan la sobrevivencia. Esto lo corrobora González et al. (2023) que con base al estudio de Aguirre et al. (2019) reporta que luego de seis años *L. Acuminata* disminuyó su sobrevivencia (91,67 %). Sin embargo, la alta sobrevivencia inicial la proyecta como posible alternativa para restaurar.

Podocarpaceas es una familia con especies representativas de los bosques nublados en los Andes tropicales (Yaguana et al., 2012), en donde, las condiciones ambientales son conservadas; es por ello que se vuelve un reto adaptar especies en ecosistemas diferentes, como en este caso el matorral andino. Sin embargo, *Podocarpus sprucei* presentó un buen porcentaje de sobrevivencia a corto plazo, se infiere que a futuro tengan buen desarrollo, ya que González et al. (2022) menciona a *P. sprucei* con alta sobrevivencia ($> 94\%$) en un arboretum de 14 años de edad establecido en el ecosistema andino a 2 135 m s.n.m.

Crecimiento en altura y diámetro basal.- *Handroanthus chrysanthus* es una especie con un desarrollo particular. Presenta un comportamiento caducifolio en ausencia de precipitaciones (Camacho-Moreno et al., 2017), lo cual se observó en algunos individuos. Posteriormente

cuando las temperaturas disminuyen y existen precipitaciones constantes vuelven a regenerar sus hojas. Estos comportamientos limitan o aceleran el crecimiento, ya que presentan un estado latente en el consumo de energía. Los esfuerzos del crecimiento inicial se concentraron en el diámetro ($p = <0,0001$), siendo la especie más dominante. De igual manera González et al. (2010) en una plantación pura luego de dos años reporta buenos crecimientos en diámetro (1,63 cm). Sin embargo su crecimiento en altura es lento (Palomeque et al., 2020). Con referencia al presente estudio Jiménez-Cueva y Palacios-Herrera (2023) reportan un crecimiento mayor en altura (4,08 cm), sin embargo, mencionan que es bajo en comparación con otras especies nativas de crecimiento lento como *Podocarpus oleifolius*.

Lafoensia acuminata, tiene mayor crecimiento ($p = <0,0001$) en altura, sobresaliente a las demás especies. Sus zonas apicales presentan un buen desarrollo logrando ganar altura, sin embargo, presenta un crecimiento bajo ($p = <0,0001$) y lento en diámetro. Esto se correlaciona según Aguirre et al. (2019) que en el matorral andino luego de 3 años reportó buen crecimiento en altura (21,95 cm), contrario al diámetro basal que fue bajo (0,08 cm), muy similar a lo obtenido es seis meses por Jiménez-Cueva y Palacios-Herrera (2023). Es evidente que influyen las condiciones edafoclimáticas del tipo de ecosistema, un claro ejemplo son los bosques húmedos, en donde, Aguirre y León (2011) en cuatro años obtuvieron crecimientos considerables en diámetro (2,54 cm), muy superiores a los reportados en el matorral andino.

Podocarpus sprucei es de desarrollo lento, sin embargo, es la segunda especie que reportó mejores crecimientos iniciales en diámetro y altura. Lo que se puede correlacionar con su preferencia por hábitat en zonas abiertas (Hofstede et al., 1998). González et al. (2022) menciona que, esta especie tiene buen comportamiento en el crecimiento y reporta valores del diámetro basal entre 2,85 cm y 3,47 cm en periodos de 5 y 7 años, respectivamente, y crecimiento en altura con valores $> 1,10$ cm. Algunos parientes cercanos como *Retrophyllum rospigliosii* y *Prumnopitys harmsiana* en los bosques nublados albergan individuos longevos con diámetros mayores a 70 cm y hasta 47 m de altura (Yaguana et al., 2012). Esto genera un indicador que las especies al encontrarse en sitios idóneos presentan un buen desarrollo.

Variables físicas y crecimiento de plántulas.- El suelo del matorral presentó alta materia orgánica (31 y 33 %), lo que es característico de suelos andinos (Hofstede et al., 1998). Estos valores son altos comparados con otras formaciones, por ejemplo bosques secundarios piemontanos (4-7 % Mo; Jiménez et al., 2007). El carbono está asociado a la materia orgánica con valores altos (16-17 %), muy común en ecosistemas andinos (17-68 % de C; Ayala et al., 2014). La densidad aparente es baja y poco variable, interpretándose como suelos con buena porosidad y baja compacidad (Enriquez y Cremona, 2018). La densidad aparente indica que mientras más bajo es su valor, los suelos son más conservados o viceversa (United States Department of Agriculture, 1999) promoviendo la facilidad de emergencia de las plantas (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015).

El suelo es un requerimiento en el crecimiento de las plantas, por ejemplo algunas prefieren suelos poco drenados y arcillosos (densidad aparente alta) o fértiles con abundante materia orgánica como *Tectona grandis* (Jerez et al., 2011). Esto también se conoce como la distribución potencial de las especies. Según Ordoñez-Gutiérrez et al. (2020) menciona que la textura del suelo se relaciona con el crecimiento y desarrollo de especies nativas como *Clarisia racemosa*. Otro caso es *Podocarpus oleifolius*, que demuestra preferencias por suelos ácidos (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).

Conclusiones

Lafoensia acuminata y *Handroanthus chrysanthus* son especies rústicas que inicialmente presentan mayores probabilidades y facilidades de adaptarse a nuevas condiciones de microhábitat. Esto se asevera por los altos valores de sobrevivencia y crecimiento. Sin embargo, se observó que el establecimiento de estas especies nativas se vuelve un reto, especialmente en los estadios iniciales debido a que las especies tienen preferencias edafoclimáticas, por lo cual, buscan su adaptabilidad logrando adaptar su capacidad de resiliencia para superar las barreras ecológicas del sitio.

Incluir el análisis de variables físicas es clave ya que determinan el desarrollo de las plantas a largo plazo y explican el aporte progresivo del mejoramiento del ecosistema. Asegurando que a futuro se pueda observar los cambios físico-químicos promovidos por los procesos de restauración. Los procesos de monitoreo deben ser a largo plazo ya que el comportamiento de las especies es dinámico y no predecible. Las especies cambian su comportamiento en función de las condiciones ambientales y biológicas; conforme pase el tiempo posiblemente cambien su desarrollo y sobrevivencia.

Referencias bibliográficas

Aguilar-Garavito, M., y Ramírez, W. (2015). Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres (Primera edición).

Aguirre, Z., Gaona, T., Granda, V., y Carrión, J. (2019). Sobrevivencia, 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.

Aguirre, Z., Gaona, T., y Palacios, B. (2014). Dinámica de crecimiento de especies forestales establecidas en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Revista CEDAMAZ*, 4(1), 62-75.

Aguirre, Z., y León, N. (2011). Sobrevivencia y crecimiento inicial de especies vegetales en el Jardín Botánico de la quinta El Padmi, Zamora, Chinchipe. *Arnaldoa*, 18(2), 115-122.

Aguirre, Z., León, N., Palacios, B., y Aguirre, N. (2013). Dinámica de crecimiento de 29 especies forestales en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Revista CEDAMAZ*, 3(1), 18-36.

Ayala, L., Villa, M., Aguirre, Z., y Aguirre, N. (2014). Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yasuni, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Revista CEDAMAZ*, 4(1), 45-52.

Bustamante, T., y Salles, J. (2020). De la parcela al paisaje: Restauración forestal en los Andes ecuatorianos. *FLACSO*. <https://doi.org/10.46546/20203savia>

Camacho-Moreno, E., López-Ortiz, S., Olgún-Palacios, C., Suárez-Islas, A., Valdez-Hernández, J., y Pineda-Herrera, E. (2017). Fenología y arquitectura arbórea de *Calyptanthus schiedeana* O. Berg, *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth y *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson en agroecosistemas de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 19-35.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2018). Plan de Conservación y Manejo de *Podocarpus oleifolius* D. Don ex Lamb (pino colombiano) en la Jurisdicción CAR.

De las Salas, G. (1987). Suelos y ecosistemas forestales: Con énfasis en América tropical. IICA.

Díaz, B., y Velásquez, L. (2015). Análisis de captura de carbono en seis especies forestales nativas (3 esciofitas-3 heliofitas) plantadas con fines de restauración en el Parque Ecológico La Poma (PEP)—Sabana de Bogotá—Colombia. *Revista Mutis*, 5(2), 46-54.

Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos, M. (2023). Informe de Situación No. 55 – 26/10/2023 (Informe de situación nacional 55; SitRep No. 55 – Incendios Forestales, p. 8 pp). Secretaría Nacional de Riesgos. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2023/10/SITREP-Nro.-55-Incendios-Forestales-01012023-al-26102023.pdf>

ECOPAR, y GIZ. (2023). La Restauración de Paisajes Altoandinos en Ecuador—Una revisión de la literatura. Quito, Ecuador.

Enriquez, A., y Cremona, M. (2018). El rol de los suelos en la restauración ecológica. Universidad Nacional del Comahue.

FAO. (2021). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825es>

González, D., Poma, R., Ordoñez, M., y Aguirre, N. (2010). Crecimiento inicial de *Tabebuia crisantha* y *Cedrela montana* con fines de rehabilitación de áreas degradadas en el trópico húmedo ecuatoriano. *Ecología Forestal*, 1(1), 73-83.

González, L., Gutiérrez, M., Aguirre, Z., y Benítez, Á. (2022). Dinámica del crecimiento de *Podocarpus oleifolius* y *Podocarpus sprucei* establecidas en el Jardín Botánico «Reinaldo Espinosa», Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 12(1), 15-30.

González, L., Muñoz, L., Granda, V., y Aguirre, Z. (2023). Monitoreo del crecimiento en un ensayo de restauración de matorral andino en la hoya de Loja, Ecuador. *Revista Bosques Latitud Cero*, 13(1), 68-82.

Hofstede, R., Lips, J., y Jongmsa, W. (1998). Geografía, ecología y Forestación de la sierra alta del Ecuador.

Jerez, M., Quevedo, A., Moret, A. Y., Plonczak, M., Garay, V., Vincent, L., y Silva, J. D. (2011). Regeneración natural inducida y plantaciones forestales con especies nativas: Potencial y limitaciones para la recuperación de bosques tropicales degradados en los llanos occidentales de Venezuela. *La Restauración Ecológica en Venezuela: Fundamentos y Experiencias*, 35-60.

Jiménez, L. S., Mezquida, E. T., y Capa, M. B. (2007). Cambio en las propiedades del suelo por transformación de áreas boscosas en pastizales en Zamora-Chinchipe (Ecuador). *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*.

Jiménez-Cueva, T., y Palacios-Herrera, B. (2023). Establecimiento de una plantación de nueve especies forestales con fines de rehabilitación de suelos degradados en la hacienda la Florencia en el Cantón y provincia de Loja. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 2036-2051.

Mendoza, R., y Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos* (Primera edición).

Ministerio del Ambiente. (2019). *Plan Nacional de Restauración 2019-2030*.

Murcia, C., Guariguata, M., Peralvo, M., y Gálmez, V. (2017). La restauración de bosques andinos tropicales: Avances, desafíos y perspectivas del futuro. *Center for International Forestry Research (CIFOR)*. <https://doi.org/10.17528/cifor/006524>

Ordoñez-Gutiérrez, O., Valarezo-Aguilar, K., y Ordóñez, G. (2020). Distribución potencial de especies forestales nativas en el cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 10(2), Article 2. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/831>

Palomeque, X., Günter, S., Hildebrant, P., Stimm, B., Aguirre, N., y Weber, M. (Eds.). (2020). *Reforestación con especies nativas y exóticas: Caso del valle de San Francisco, Zamora Chinchipe en Bustamante y Zalles. De la parcela al paisaje: Restauración forestal en los Andes ecuatorianos* (1.a ed.). Flacso Ecuador. <https://doi.org/10.46546/20203savia>

Reyes-Bueno, F., y Balcazar-Gallegos, C. (2021). Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 50-60. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2634>

Ron, S. R. (2020). Regiones naturales del Ecuador. BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/regionesNaturales.html>

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), Article 2.

Sierra, R., Calva, O., y Guevara, A. (2021). La deforestación en el Ecuador, 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes.

Torres, B., Fischer, R., Vargas, J., y Gunter, S. (2020). Deforestación en paisajes forestales tropicales del Ecuador: Bases científicas para perspectivas políticas. (01 de diciembre de 2020). Imprenta Monsale.

United States Department of Agriculture. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo.

Vargas, O. (2007). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino (Primera edición).

Villacis, G., Aguirre, Z., González, A., Benítez, E., y Aguirre, N. (2015). Pasado, presente y futuro de los "guayacanes" *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S. O. Grose y *Handroanthus billbergii* (Bureau & K. Schum.) S. O. Grose, de los bosques secos de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 22(1), 85-104.

Yaguana, C., Lozano, D., Neill, D., y Asanza, M. (2012). Diversidad florística y estructura del bosque nublado del Río Numbala, Zamora-Chinchi, Ecuador: El "bosque gigante" de Podocarpaceae adyacente al Parque Nacional Podocarpus. *Revista Amazónica: Ciencia y Tecnología*, 1(3), 226-247.