

Original Article

Propagación de especies nativas para la restauración ecológica en la microcuenca Escaleras, Chuquisaca, Bolivia

Three and a Half Decades of Cover and Land Use Change in a Protected Area in Southern Bolivia

Manuel H. Jiménez Huamán^{1*}, Jorge R. Alurralde Saavedra¹, Josué Bejarano Chumacero¹, Julio C. Ramírez Balcera¹ & Ceferino Peca Huallpa²

*Autor de Correspondencia: jimenez:manuel@usfx.bo

¹ Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA) de la Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.

² Carrera de Ingeniería en Desarrollo Rural de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias - Universidad Autónoma Tomas Frías.

Recibido: 08/12/2024 Aceptado para publicación: 15/05/2025

Resumen

El uso de especies nativas constituye una estrategia prometedora para restauración de ecosistemas degradados. El objetivo del estudio fue, evaluar el comportamiento de propagación en vivero de cinco especies nativas utilizando plántulas provenientes de la regeneración natural en la Microcuenca Escaleras, municipio de Villa Serrano, Departamento de Chuquisaca. Los sitios y especies seleccionadas para recolección de plántulas fueron: estadio sucesional I, *Baccharis dracunculifolia* (t'ola); estadio sucesional II, *Baccharis latifolia* (ch'illka); estadio sucesional III, *Dodonaea viscosa* (ch'akatea); estadio sucesional IV, *Podocarpus parlatorei* (pino de monte) y estadio sucesional V, *Cedrela lilloi* (cedro). El diseño experimental utilizado fue bloques al azar (D.B.A), con cuatro repeticiones (bloques) y cinco tratamientos (especies). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de prendimiento, altura de la plántula, número de hojas, diámetro de tallo y volumen radicular. *Baccharis latifolia* (ch'illka), obtuvo el 100% de prendimiento, seguido de *Dodonaea viscosa* (ch'akatea) y *Cedrela lilloi* (cedro) 96%, luego *Baccharis dracunculifolia* (t'ola) con 95% y *Podocarpus parlatorei* (pino de monte) 90%. Así mismo, *Baccharis latifolia* (ch'illka) obtuvo la mejor respuesta en altura de planta (17 cm), diámetro de tallo (3 mm) y volumen de raíz (0.69 cm³), seguido por *Baccharis dracunculifolia* (t'ola). En el desarrollo de las plántulas en vivero se identificaron tres grupos, el primero compuesto por *Baccharis latifolia* (ch'illka) y *Baccharis dracunculifolia* (t'ola) con crecimiento acelerado; el segundo *Dodonaea viscosa* (ch'akatea) y el tercero formado por *Cedrela lilloi* (cedro) y *Podocarpus parlatorei* (pino de monte) con crecimiento lento, propios de estadios sucesionales tardíos. Los resultados de este estudio sugieren que el método de propagación mediante rescate de plántulas de regeneración natural es viable y eficiente especialmente en términos de tiempo.

Palabras clave: estadio sucesional, germinación, plántulas, regeneración natural y suelo degradado.

Abstract

The use of native species constitutes a promising strategy for the restoration of degraded ecosystems. The objective of the study was to evaluate the propagation behavior in a nursery of five native species using seedlings from natural regeneration in the Escaleras Microbasin, Villa Serrano municipality, Chuquisaca Department. The sites and species selected for seedling collection were: successional stage I, *Baccharis dracunculifolia* (t'ola); successional stage II, *Baccharis latifolia* (ch'illka); successional stage III, *Dodonaea viscosa* (ch'akatea); successional stage IV, *Podocarpus parlatorei* (mountain pine); and successional stage V, *Cedrela lilloi* (cedar). The experimental design was randomized blocks (RBD), with four replications (blocks) and five treatments (species). The variables evaluated were: percentage of engraftment, seedling height, number of leaves, stem diameter and root volume. *Baccharis latifolia* (ch'illka) obtained 100% take root, followed by *Dodonaea viscosa* (ch'akatea) and *Cedrela lilloi* (cedar) 96%, then *Baccharis dracunculifolia* (t'ola) with 95% and *Podocarpus*

parlatorei (mountain pine) 90%. Likewise, *Baccharis latifolia* (ch'illka) obtained the best response in plant height (17 cm), stem diameter (3 mm) and root volume (0.69 cm³), followed by *Baccharis dracunculifolia* (t'ola). In the development of the plants at the nursery level, three groups were observed, the first made up of *Baccharis latifolia* (ch'illka) and *Baccharis dracunculifolia* (t'ola) with accelerated growth, typical of pioneer species; the second *Dodonaea viscosa* (ch'akatea) and the third *Cedrela lilloi* (cedar) and *Podocarpus parlatorei* (mountain pine) with slow growth, typical of late successional stages. The results of this study indicate that the propagation method by rescuing naturally regenerated seedlings is viable and time-efficient.

Keywords: successional stage, germination, seedlings, natural regeneration and degraded soil

Introducción

En los Valles interandinos, la pérdida de la cobertura vegetal ha generado un impacto negativo, como la erosión del suelo, la disminución de la fertilidad de la tierra y la pérdida de la capacidad de infiltrar agua, repercutiendo en la disminución del caudal de vertientes naturales y manantiales, lo que se traduce en la degradación generalizada del ecosistema (Condori et al. 2022). La restauración ecológica es un proceso que ayuda a la restitución de los componentes vivos que eran parte de un ecosistema antes de ser dañado (Acero-Nitola & Cortés-Pérez 2014). La restauración mediante estrategias de revegetación y agroforestería dinámica integrando especies nativas, no solo favorece la recuperación y protección de manantiales y zonas de recarga hídrica, sino que también facilita la recuperación productiva de áreas agrícolas degradadas, contribuyendo al equilibrio ecológico y funcionalidad de los agroecosistemas (Jiménez et al. 2015).

En los procesos de restauración ecológica es fundamental comprender la dinámica de sucesión natural, entendiendo a esta como al cambio progresivo de la vegetación que se produce en el tiempo, hacia la formación de un bosque maduro (Crouzeilles et al., 2017). En este proceso se forman diferentes estadios sucesionales, en las primeras etapas dominan plantas herbáceas y arbustos pioneros de ciclo corto, destinados a generar condiciones para la vegetación de las sucesiones posteriores (Ramírez, 2023). Muchas especies nativas locales de los primeros estadios sucesionales, son consideradas de poco valor comercial, pero de gran valor ecológico por su potencial para prosperar en lugares perturbados y cumplen un papel muy importante en los ecosistemas al proveer recursos alimenticios para integrar a la fauna al proceso de restauración (Ladouceur et al., 2023). Cuando se incluyen especies de alto valor ecológico en los programas de restauración y conservación de ecosistemas, la efectividad ecológica es mayor y los procesos de recuperación de áreas degradadas se pueden acelerar (Ramírez 2023, Alvarado-García et al. 2018).

La propagación de plantas nativas ha sido ampliamente reconocida como una práctica fundamental en el ámbito

de restauración de ecosistemas, dado que la calidad de la semilla botánica o del material vegetativo utilizado condiciona el resto del proceso productivo (Vargas-Figueroa & Torres-González 2018). Muchas especies de plantas nativas presentan características y problemas particulares en su propagación, por lo que se hace necesario aplicar tratamientos especializados para la obtención de plantines (Leakey 2017).

El trasplante de plántulas de regeneración natural a vivero para la propagación de plantas nativas, se muestra como alternativa viable (Reis et al 2024) debido a diversos factores: la fenología reproductiva de las plantas nativas ya sea de fructificación o floración varía entre especies, entre años y entre localidades, esto se debe a las particularidades ecológicas y biológicas que tiene cada microhábitat, condicionando la disponibilidad de semillas (Luna-Nieves 2017). Las plántulas están compuestas por tejidos jóvenes frágiles, susceptibles al ataque de plagas, depredadores, condiciones climáticas adversas y actividades antrópicas como la ganadería; estos factores constituyen procesos que condicionan la supervivencia de las plántulas en su medio natural (Paredes 2023). Por otro lado, existen evidencias de que el ataque de plagas, el pastoreo libre y la marcada estacionalidad de las lluvias han sido causa natural y el principal factor determinante que influyó significativamente en la mortalidad de las plántulas (Toro Manríquez 2019).

En ese sentido, la propagación de especies nativas a nivel de vivero por rescate de plántulas de regeneración natural, es una práctica que da ventaja para la restauración, al partir de plantines que en su primera etapa de desarrollo se han minimizado los factores de riesgo (ataque de plagas, depredadores, condiciones climáticas adversas y pisoteo por ganadería), a las que si estarían supeditadas las plántulas producto de la siembra directa de semillas en las áreas de restauración, además permite el aprovechamiento del excedente de plántulas que se producen en inmediaciones de las plantas madres en su estado natural. Por otro lado, se puede evitar gastos adicionales a los viveros forestales en la compra de semillas, sustratos e insumos, este sistema de producción forestal es más económico.

El objetivo de este estudio fue realizar la propagación de cinco especies nativas, obtenidas a partir de la regeneración natural en estadios sucesionales del bosque nativo, para la restauración ecológica en la Microcuenca Escaleras, municipio de Villa Serrano, Departamento de Chuquisaca, Bolivia.

Materiales y métodos

Ubicación y descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la comunidad de Escaleras del municipio de Villa Serrano del departamento de Chuquisaca (Figura 1). Se encuentra entre 2106 a 3096 msnm. La temperatura promedio anual es de 16.9 °C y la precipitación oscila entre los 600 a 650 mm año (Navarro & Wanderley, 2011a).

La vegetación nativa del área de estudio según

Navarro & Wanderley (2011b) corresponde a los bosques altimontanos pluviestacionales Boliviano-Tucumanos. En la zona se encuentran bosques húmedos montanos dominados por pino de monte (*Podocarpus parlatorei*), cedro (*Cedrela lilloi*), sahuinto (*Myrcianthes pseudomato*), arrayan (*Blepharocalyx salicifolius*), aliso (*Alnus acuminata*), laurel (*Cinnamomum porphyrium*), y quewiñas (*Polylepis hieronymi*). En cambio, en los bosques de la zona media y baja (quebradas), encontramos entre especies de: tipa (*Tipuana tipu*), ceibo (*Erythrina falcata*) y guaranguay (*Tecoma stans*) (Navarro & Wanderley 2011b).

Los principales cultivos en la Cuenca Escaleras varían de una comunidad a otra, debido a factores climáticos, calidad del suelo y la diversidad de pisos ecológicos. Los cultivos más relevantes son: papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*) y trigo (*Triticum aestivum*); en menor medida se encuentran haba (*Vicia faba*), arveja (*Pisum sativum*), ají (*Capsicum baccatum*), maní (*Arachis hypogaea*) y hortalizas de hoja. También se cultivan frutales como durazno (*Prunus persica*) y manzana (*Malus domestica*).

La Cuenca Escaleras presenta diversas características en función de la gradiente altitudinal, topografía y pendiente, lo que permite distinguir varios tipos de uso del suelo (ZONISIG 2000), tales como espacios destinados a la agricultura, al pastoreo, bosques nativos y bosques introducidos, que se distribuyen a lo largo de toda la superficie. Asimismo, se identifican zonas degradadas, que sirven como indicadores del grado de deterioro de la cuenca.

Ubicación de los sitios de recolección de plántulas

La clasificación de los estadios sucesionales se realizó siguiendo lo propuesto por Jiménez (2024), quien, a partir de encuestas realizadas a agricultores, indica que los bosques altoandinos requieren un período de descanso de aproximadamente 40 años para que un área intervenida por actividades agropecuarias pueda transformarse nuevamente en bosque. En este marco, se identificaron cinco series de vegetación descritas por Antezana & Navarro (2002), Navarro & Maldonado (2002), las cuales corresponden a categorías de sucesión según la edad de recuperación de la vegetación con especies características de estas.

La numeración de los estadios sucesionales I a IV no representa una secuencia cronológica de recuperación de la vegetación. Por ejemplo, la serie con *Dodonaea viscosa* fue sectorizada en un estadio sucesional intermedio debido a su desarrollo y permanencia en años en el sitio evaluado en el proceso de recuperación, no en función de un orden secuencial de regeneración. La recolección de plántulas se efectuó en parcelas temporales ubicadas en cada estadio sucesional, cuya ubicación se detalla en la Tabla 1.

Recolección de plántulas del bosque nativo

Las plántulas se recolectaron en el mes de marzo y corresponden a semillas dispersadas en el periodo invernal anterior (mayo – junio). La recolección se llevó a cabo en las primeras horas de la mañana, considerando su uniformidad en tamaño y diámetro. Las plántulas fueron almacenadas en recipientes de plástico y, con el

fin de evitar daños a las raíces por la exposición solar, se cubrieron con tierra. Posteriormente, se trasladaron al sitio destinado para su plantación en las últimas horas de la tarde del mismo día.

Preparación, embolsado y desinfección del sustrato

Las proporciones en volumen que se emplearon para preparar el sustrato fueron 67% de tierra negra del lugar (tres carretillas), 22% de arena lavada de río (una carretilla) y 11% de materia orgánica descompuesta (media carretilla). Estos componentes fueron cernidos y mezclados previamente hasta obtener una mezcla homogénea. Para el embolsado, se emplearon bolsas de polietileno de dimensiones 18 x 25 cm. La cantidad de sustrato utilizado fue de 1.77 m³ en 980 bolsas.

Para la desinfección del sustrato se empleó formol (CH₂O) diluido en agua según las indicaciones especificadas en el envase del producto (100 cm³ de formol por cada 10 litros de agua).

Establecimiento del diseño experimental

El ensayo de campo, se llevó a cabo utilizando un diseño de Bloques al Azar (Figura 2), con cuatro repeticiones (bloque) y cinco tratamientos (especies), en total se obtuvieron 20 unidades experimentales de 0.75 por 0.75 m., para un total de 49 plántulas (bolsas) totalizando 980 bolsas. Los tratamientos corresponden a la especie de la serie de vegetación de cada estadio sucesional: T1: ESI, *Baccharis dracunculifolia* (t'ola); T2: ESII, *Baccharis latifolia* (ch'illka); T3: ESIII, *Dodonaea viscosa* (ch'akatea); T4: ESIV, *Podocarpus parlatorei* (pino de monte); y T5: ESV, *Cedrela lilloi* (cedro).

Registro de datos

Los datos registrados correspondieron sólo a 25 plántulas evaluables de cada unidad experimental, referido al porcentaje de prendimiento, altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo y volumen de raíz. El porcentaje de prendimiento se registró a los siete, 14, 21, 28 y 90 días después del trasplante, contando el número de plántulas prendidas de cada unidad experimental. Las plántulas en estado de regeneración se evaluaron según (Mostacedo & Fredericksen 2000) como la altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo. se registró a los tres, 30, 60 y 90 días después del trasplante. El volumen de raíz se midió a través del método de desplazamiento de agua (Cabanzo-Atilano et al. 2020, Chave 2006) y se registró antes del trasplante y 90 días después de éste, para esto sólo se eligió una planta al azar de cada unidad experimental

Análisis de los datos

Los datos se analizaron mediante el software R versión 4.5.0 (R Core Team, 2025), con el entorno de desarrollo RStudio versión 2024.12.1 (RStudio Team, 2025). Para la comparación entre especies, los datos de altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis y Wilcoxon, por no cumplir con los supuestos de normalidad. Para el volumen de raíz se usó un modelo de Anova de bloques al azar y la prueba de Tukey. Para comparar la evaluación

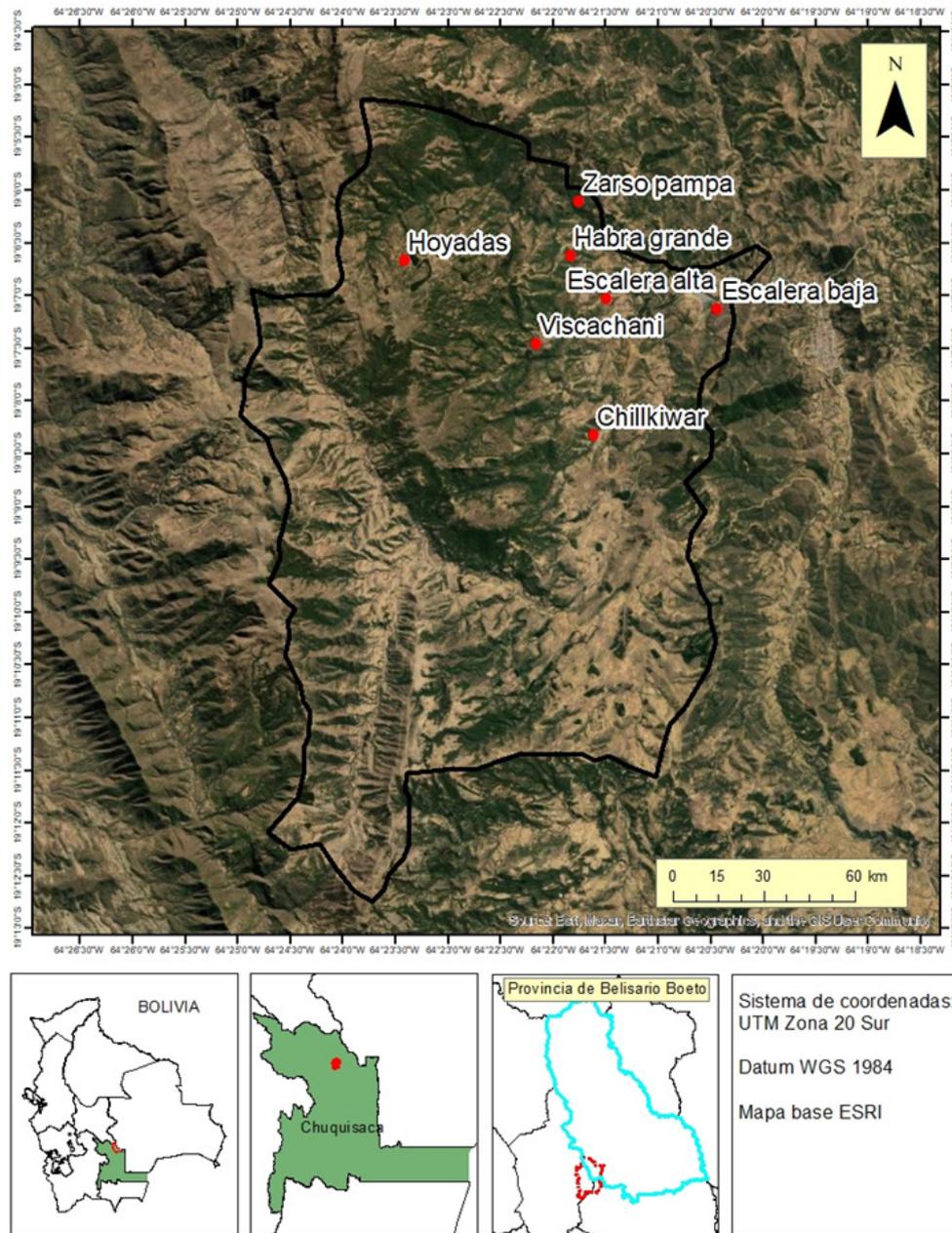


Figura 1. Ubicación de la microcuenca Escaleras, Municipio de Villa Serrano y distribución de áreas de muestreo.

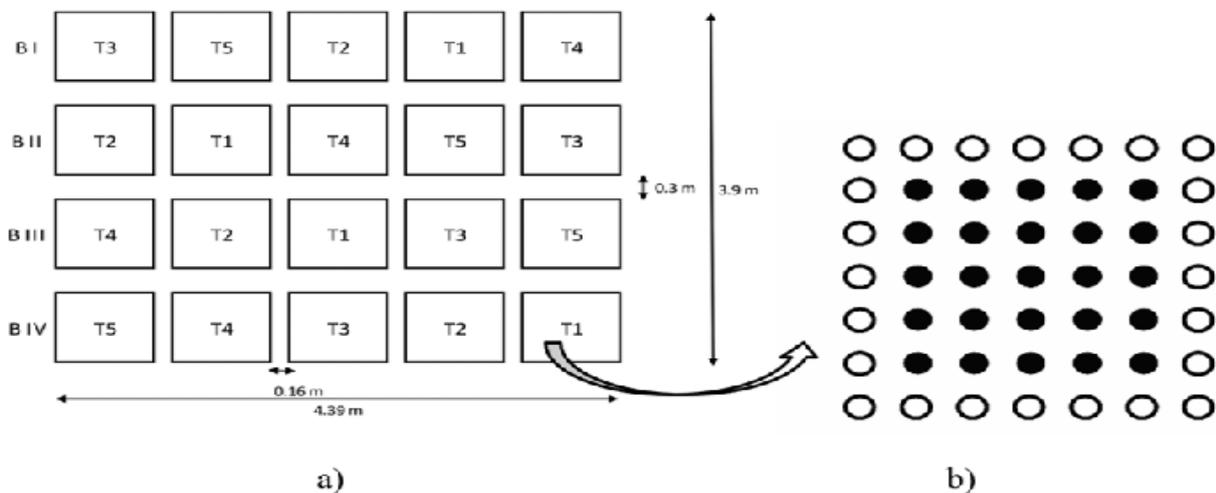


Figura 2. a) croquis del experimento en campo, b) representación de la unidad experimental (•=plántulas evaluables por el efecto de borde).

al momento del trasplante con la evaluación a los 90 días, se utilizó la prueba de Friedman para altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo por la no normalidad de los datos; para el volumen de raíz se utilizó Anova de medidas repetidas (ANOVA RM). Para validar los supuestos de normalidad se usó Shapiro-Wilk.

Análisis de los datos

Los datos se analizaron mediante el software R versión 4.5.0 (R Core Team, 2025), con el entorno de desarrollo RStudio versión 2024.12.1 (RStudio Team, 2025). Para la comparación entre especies, los datos de altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis y Wilcoxon, por no cumplir con los supuestos de normalidad. Para el volumen de raíz se usó un modelo de Anova de bloques al azar y la prueba de Tukey. Para comparar la evaluación al momento del trasplante con la evaluación a los 90 días, se utilizó la prueba de Friedman para altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo por la no normalidad de los datos; para el volumen de raíz se utilizó Anova de medidas repetidas (ANOVA RM). Para validar los supuestos de normalidad se usó Shapiro-Wilk.

Resultados

Porcentaje de prendimiento

La especie del estadio sucesional dos (ESII) *Baccharis latifolia* (ch'illka) presentó un 100% de prendimiento. Le siguieron *Dodonaea viscosa* (ch'akatea: ESIII) con un 96% de prendimiento. Luego continuaron *Cedrela lilloi* (cedro; ESV) que registró un 96% y *Baccharis dracunculifolia* (t'ola; ESI) con un 95%. La especie con el menor porcentaje fue *Podocarpus parlatorei* (pino de monte; ESIV) con un 90% (Figura 3). La mortalidad se registró a partir de los siete días posteriores al trasplante. Sin embargo, hasta los 28 días la única especie que mantuvo 100% supervivencia fue el *Baccharis latifolia* (ch'illka; ESII).

Crecimiento en altura de planta

Las especies del estadio sucesional uno (ESI) *B. dracunculifolia* (t'ola) y del estado sucesional dos (ESII) *B. latifolia* (ch'illka) mostraron un crecimiento en altura significativamente mayor en comparación con las especies de los otros estadios sucesionales *D. viscosa* (ch'akatea; ESIII), *P. parlatorei* (pino de monte; ESIV) y *C. lilloi* (cedro; ESV) que reportaron menor crecimiento (Figura 4a). La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis evidenció diferencias altamente significativas en la altura de planta a los 90 días posteriores al trasplante ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$).

Tabla 1. Lugares de recolección de plántulas según los estadios sucesionales de regeneración en bosque nativo

Estación sucesional	Serie de vegetación/ Especie recolectada	Nombre común	Localidad	Altitud (msnm)	Ubicación
Estadio sucesional I (ESI): 1 a 10 años	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	T'ola	Viskachani	2178	S: 0358042, W: 7885752
Estadio sucesional II (ESII): 11 a 20 años	<i>Baccharis latifolia</i>	Ch'illka	Viskachani	3592	S: 0355979, W: 7884766
Estadio sucesional III (ESIII): 21 a 30 años	<i>Dodonaea viscosa</i>	Ch'akatea	Chillkiwar	2293	S: 0356532, W: 7886107
Estadio sucesional IV (ESIV): bosque de 31 a 40 años	<i>Podocarpus parlatorei</i>	Pino de monte	Zarzo Pampa	2443	S: 0355819, W: 7888148

Tabla 2. Comparación entre especies mediante Test de Wilcoxon para altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo y prueba de Tukey para volumen de raíz, ($p < 0.05$), a los 90 días después del trasplante (a, b, c, d, letras iguales no hay diferencias significativas, letras diferentes muestran diferencias significativas)plante (a, b, c, d, letras iguales no hay diferencias significativas, letras diferentes muestran diferencias significativas)

Especie	Test de Wilcoxon (mediana)				Prueba de Tukey (media)			
	Altura de planta (cm)	Grupos	Número de hojas	Grupos	Diámetro de tallo (mm)	Grupos	Volumen de raíz (cm ³)	Grupos
<i>B. dracunculifolia</i>	16	a	22	a	1,99	b	1,12	a
<i>B. latifolia</i>	17	a	11	b	3,01	a	1,3	a
<i>C. lilloi</i>	8	b	5	c	1,45	cd	0,78	ab
<i>P. parlatorei</i>	7	cd	22,5	a	1,43	d	0,3	b
<i>D. viscosa</i>	6,25	d	4	d	1,54	c	0,34	b

Tabla 3. Crecimiento de las plántulas durante la etapa de vivero (dpt: días después del trasplante)

VARIABLES EVALUADAS (p<0.05)	<i>B. dracunculifolia</i>	<i>B. latifolia</i>	<i>C. lilloi</i>	<i>D. viscosa</i>	<i>P. parlatoresi</i>
Altura de planta a 3 dpt (mediana cm)	7	7	4	3,25	3,75
Altura de planta 90 dpt (mediana cm)	16	17	8	6,25	7
Prueba de Friedman	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001
Número de hojas a 3 dpt (mediana)	13,5	5	3	4	17
Número de hojas a 90 dpt (mediana)	22	11	5	4	22,5
Prueba de Friedman	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p=0.63	p<0.001
Diámetro de tallo a 3 dpt (mediana mm)	1,19	1,9	0,82	1	0,8
Diámetro de tallo a 90 dpt (mediana mm)	1,99	3,01	1,45	1,54	1,43
Prueba de Friedman	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001
Volumen inicial de raíz (media cm ³)	0,51	0,61	0,38	0,14	0,12
Volumen de raíz a los 90 dpt (media cm ³)	1,12	1,3	0,78	0,34	0,3
ANOVA RM	p=0.07	p=0.04	p=0.09	p=0.07	p=0.04

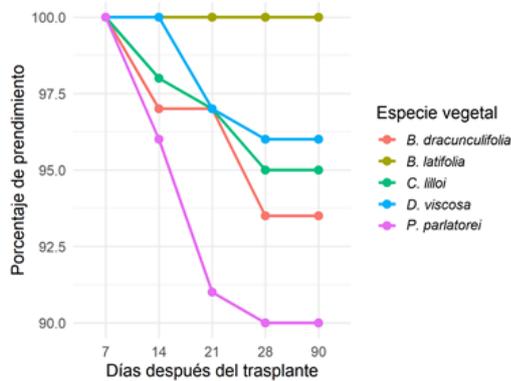


Figura 3. Prendimiento de plántulas de la regeneración natural en vivero.

La prueba post hoc de Wilcoxon con ajuste para comparaciones múltiples reveló que no hubo diferencia significativa ($p = 0.17$, $\alpha = 0.05$) entre la altura de planta de *B. latifolia* y *B. dracunculifolia*, sin embargo, estas especies tuvieron alturas superiores altamente significativas ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$) en relación a *C. lilloi*, *D. viscosa* y *P. parlatoresi*. Por otro lado, la misma prueba reporta diferencias altamente significativas al comparar la altura de planta de *C. lilloi* con *D. viscosa* ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$) y *P. parlatoresi* ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$). Finalmente, no se detectó diferencia significativa entre *P. parlatoresi* y *D. viscosa* ($p = 0.17$, $\alpha = 0.05$), sugiriendo que ambas presentan alturas similares (Tabla 2)

A los 90 días, se identificaron tres grupos con base a la altura de las plantas. El primer grupo conformado por *B. latifolia* (ch'illka; ESII) y *B. dracunculifolia* (t'ola; ESI) con medianas de 17 y 16 cm respectivamente. El segundo grupo conformado por *C. lilloi* (cedro; ESV) con una mediana de 8 cm. El tercer grupo incluyó a *P. parlatoresi* (pino de monte; ESIV) con 7 cm y *D. viscosa* (ch'akatea; ESIII) con 6.25 cm de altura de planta (Figura 4b).

La formación de estos grupos estuvo influenciada por la edad de los estadios sucesionales. Es decir, que las

especies pertenecientes a los primeros estadios crecieron más rápido en relación a los de mayor edad.

Crecimiento en número de hojas

Las especies del ESI *B. dracunculifolia* (t'ola), ESII *B. latifolia* (ch'illka) y ESIII *D. viscosa* (ch'akatea) experimentaron una pérdida de hojas hasta los 30 días después del trasplante. Posteriormente se registró la aparición de nuevas hojas que resultó en el incremento del número total de estas (Figura 5a). Las especies del ESIV *P. parlatoresi* (pino de monte) y ESV *C. lilloi* (cedro) no presentaron pérdida de hojas, pero registraron un incremento a un ritmo más lento. A los 90 días después del trasplante, la prueba de Kruskal-Wallis encontró diferencias altamente significativas ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$) entre especies en el número de hojas por planta. Por otro lado, la prueba post hoc de Wilcoxon reveló que no hubo diferencia significativa ($p = 0.17$, $\alpha = 0.05$) entre número de hojas por planta de *B. dracunculifolia* y *P. parlatoresi*; sin embargo, estas dos especies tuvieron un incremento altamente significativo ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$) en relación a las especies *B. latifolia*, *C. lilloi* y *D. viscosa*. Así mismo, el incremento del número de hojas de *B. latifolia* en relación a *C. lilloi* y *D. viscosa* es altamente significativo ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$); comportamiento similar se produce ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$) a favor del *C. lilloi* en relación a *D. viscosa* (Tabla 2).

En este caso a los 90 días también se evidencia un primer grupo conformado por el ESI *B. dracunculifolia* (t'ola) y ESIV *P. parlatoresi* (pino de monte) con medianas de 22 y 22.5 hojas por planta respectivamente. El segundo grupo con 11 hojas por planta para el ESII *B. latifolia* (ch'illka). Finalmente, el tercer grupo lo conforman el ESV *C. lilloi* (cedro) y el ESIII *D. viscosa* (ch'akatea) con 5 y 4 hojas respectivamente. En este caso la conformación de los grupos a diferencia de la altura de planta, probablemente estuvo influenciada por el tamaño de las hojas, es decir que las especies de hojas más pequeñas incrementaron mayor número de hojas (Figura 5b).

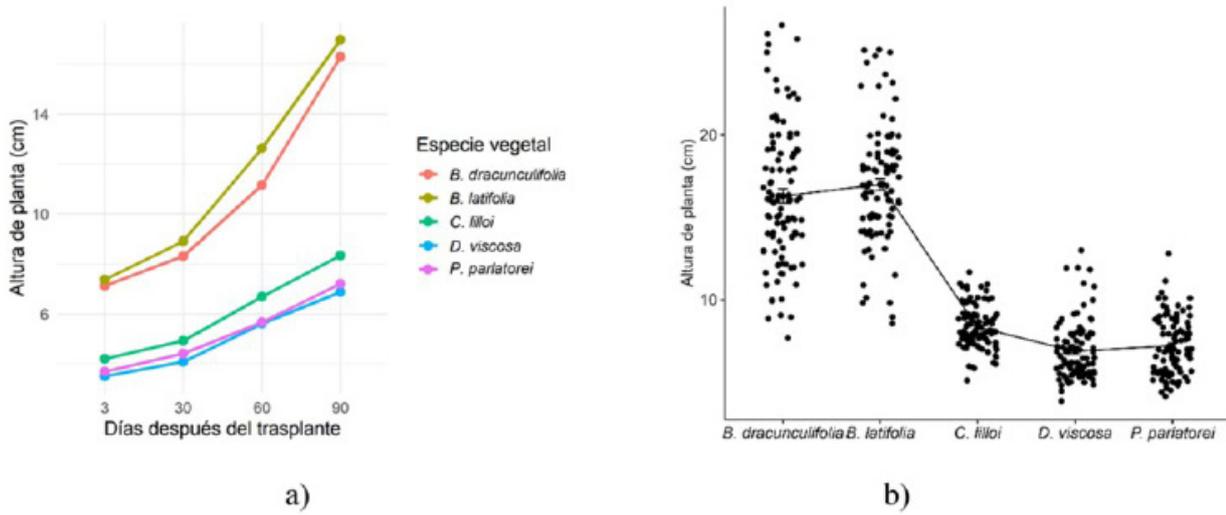


Figura 4. a) crecimiento en altura de planta de cinco especies nativas en vivero, b) comparación de altura de planta entre especies a los 90 después del trasplante

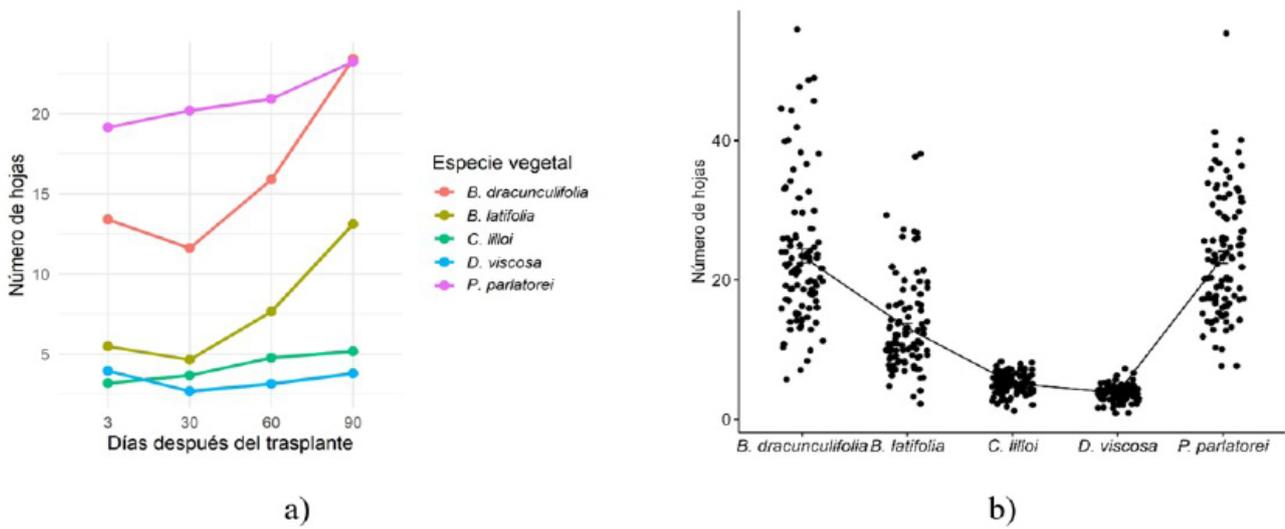


Figura 5. a) incremento en número de hojas de cinco especies en vivero, b) comparación de número de hojas entre especies a los 90 días después del trasplante.

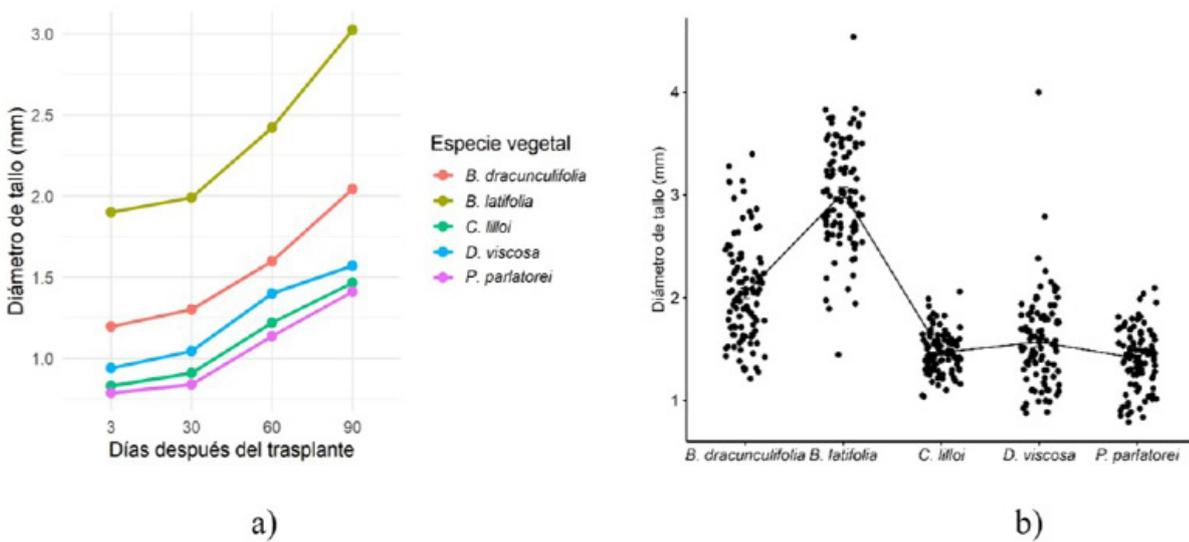


Figura 6. a) crecimiento en diámetro de tallo de cinco especies en vivero, b) comparación del diámetro de tallo entre especies a los 90 días después del trasplante.

Crecimiento en diámetro de tallo

En lo que corresponde al diámetro del tallo de las plántulas, a partir de los 30 días las especies del estrato sucesional uno (ESI) *B. dracunculifolia* (t'ola) y del estrato sucesional dos (ESII) *B. latifolia* (ch'illka) experimentaron un incremento acelerado. En contraste las otras tres especies mostraron un incremento lento (Figura 6a). La prueba de Kruskal-Wallis detectó diferencias altamente significativas ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$) entre especies en el diámetro de tallo, a los 90 días de edad después del trasplante.

La prueba post hoc de Wilcoxon reveló que *B. latifolia* presentó un incremento del diámetro del tallo significativamente superior ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$) en comparación a las otras cuatro especies. Por otro lado, el incremento en el diámetro de tallo de *B. dracunculifolia* fue altamente significativo ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$) en relación a *D. viscosa*, *C. lilloi* y *P. parlatoarei*. Así mismo, el incremento de diámetro de tallo de *D. viscosa* fue significativo ($p = 0.024$, $\alpha = 0.05$) en comparación a *P. parlatoarei*, pero no presentó diferencias significativas con *C. lilloi* ($p = 0.172$, $\alpha = 0.05$). Finalmente, en el incremento del diámetro de tallo de *C. lilloi* con relación a *P. parlatoarei* no tuvo diferencias significativas ($p = 0.264$, $\alpha = 0.05$; Tabla 2).

En cuanto al diámetro del tallo también se identificaron tres grupos. El primer grupo estuvo conformado por *B. latifolia* (ch'illka; ESII), con mediana de 3 mm. El segundo grupo correspondió a *B. dracunculifolia* (t'ola; ESI) con 2 mm, y el tercer grupo incluyó a *D. viscosa* (ch'akatea; ESIII), *C. lilloi* (cedro; ESV) y *P. parlatoarei* (pino de monte; ESIV) con medianas de 1.54 mm, 1.45 mm y 1,43 mm de diámetro respectivamente (Figura 6b).

Como en el caso del crecimiento en altura, la conformación de los grupos en términos de diámetro del tallo estuvo influenciada por la edad de los estadios sucesionales. Las especies pertenecientes a los estadios sucesionales con menor número de años, crecieron más rápido en relación a los de mayor edad.

Crecimiento en volumen radicular

En relación al volumen radicular, tanto en la evaluación inicial como a los 90 días después del trasplante (volumen final), la prueba de ANOVA reportó diferencias altamente significativas entre especies ($p < 0.001$, $\alpha = 0.05$). El mayor incremento de volumen corresponde a *B. latifolia* con 1.3 cm³, seguido por *B. dracunculifolia* (1.12 cm³), *C. lilloi* (0.78 cm³), *D. viscosa* (0.34 cm³) y finalmente *P. parlatoarei* con 0.3 cm³ (Tabla 2).

La prueba de Tukey en la comparación de especies mostró los mismos resultados en el volumen inicial, como a los 90 días después del trasplante. Las especies *B. latifolia*, *B. dracunculifolia* y *C. lilloi*, no tuvieron diferencias estadísticas en el volumen de raíz; pero si las dos primeras fueron estadísticamente mayor que *D. viscosa* y *P. parlatoarei*. Por otro lado las especies *C. lilloi*, *D. viscosa* y *P. parlatoarei*, no tuvieron diferencias estadísticas en el volumen de raíz (Figura 7, Tabla 2)

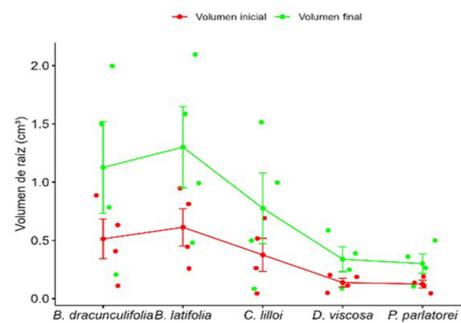


Figura 7. Comparación del crecimiento de volumen radicular entre especies al inicio y 90 días después del trasplante.

Comparación del crecimiento desde la plantación a los 90 días posteriores al trasplante

El crecimiento en altura de planta de las cinco especies (*B. dracunculifolia*, *B. latifolia*, *C. lilloi*, *P. parlatoarei* y *D. viscosa*) durante los 90 días después del trasplante (dpt) en vivero fue altamente significativo. En relación al incremento del número de hojas, solo fue altamente significativo para *B. dracunculifolia*, *B. latifolia*, *C. lilloi*, y *P. parlatoarei*. Por otro lado *D. viscosa* no mostró un incremento significativo en el número de hojas, lo cual se atribuye a la pérdida de hojas debido al estrés de trasplante, recuperando solo aquellas que había perdido durante el periodo de observación. Para el diámetro de tallo el comportamiento fue similar que altura de planta, con incrementos altamente significativos para las cinco especies. En volumen radicular, el incremento fue significativo solo para *B. latifolia* y *P. parlatoarei*, esto probablemente influenciado por el reducido número de datos que se registró para esta variable, considerando que se quería evitar mayor sacrificio de plántulas (Tabla 3).

Discusión

El incremento de áreas degradadas es la muestra del deterioro acelerado de los ecosistemas y una consecuencia cuando se rompe la capacidad natural de regeneración que tienen estos espacios, sino se interviene oportunamente la tendencia es inevitable a la desertificación. En las estrategias de restauración la vegetación nativa juega un rol fundamental. Según Azpilicueta et al. (2023) el uso de la regeneración para producir plántulas forestales cuando la semilla de interés no se vende en el mercado (lo que sucede con la mayoría de las plantas nativas), es una alternativa totalmente viable y permite obtener material de propagación durante todo el año.

Según Castañeda et al. (2007) existe escasa información acerca de la reproducción de especies nativas con fines de restauración ecológica, en ese marco aplico dos métodos de propagación en *B. latifolia*. En el método de propagación por semilla obtuvo como resultado 32.14% de germinación y encontró que las plántulas se desarrollaron mejor bajo un porcentaje de sombra del 30%. En el método de propagación por estaca obtuvo 35% de enraizamiento y 22% de sobrevivencia de estacas. En ambos métodos los valores encontrados están por debajo de los encontrados por este estudio que registró valores del 100% de prendimiento de plántulas al día 28 después

del trasplante, los mismos que se mantuvieron hasta los 90 días de seguimiento, alcanzando alturas de 16.98 cm en relación a la altura de inicio que fue de 7.13 cm.

Por otro lado, Manfreda et al. (2022) encontraron tasas de germinación de *B. dracunculifolia* de 86% y 69% a partir de semillas, valores inferiores al 95% de prendimiento reportado en este estudio hasta los 90 días de seguimiento después del trasplante, a partir de plántulas de regeneración natural; en este periodo, alcanzaron una altura de 16.29 cm, duplicando la altura inicial de 7.39 cm. En relación a *D. viscosa*, Acero-Nitola & Cortés-Pérez (2014) encontraron en una prueba de viabilidad indirecta de semillas recolectadas de individuos sanos de entre 2 y 5 metros de altura y con una cobertura de 2 a 7.5 m², un 21% de plántulas viables al germinar las semillas. En la misma investigación, al aplicar la técnica de propagación por rescate de plántulas sanas de su medio natural, se logró 97% de supervivencia hasta los 65 días de seguimiento. Este valor es similar al encontrado en nuestro estudio utilizando la misma técnica de propagación, que alcanzó un 96% al finalizar los 90 días de seguimiento, con alturas de 6.88 cm, duplicando la altura inicial de 3.51 cm.

En relación al *C. lilloi* la información de propagación es muy escasa a pesar de ser una de las especies más apreciadas por su madera muy trabajable y durable, excelente para la ebanistería. Reynel et al. (2009) menciona que la semilla tiene 50 a 90% de germinación a partir del día 20 hasta el 40 después del almacenado, la pérdida de viabilidad bajo almacenamiento es acelerada y la viabilidad desciende sustancialmente en un año. En el caso de nuestro trabajo usando plántulas de la regeneración natural, se obtuvo un prendimiento del 96% a los 90 días de seguimiento, con altura promedio de 8.34 cm, esta altura significa el doble de la altura de inicio que fue de 4.20 cm.

Para *P. parlatorei* también existe poca información de propagación de esta especie, como referencia se cita lo indicado por Ayma (2005) para *Podocarpus glomeratus*, la semilla de esta especie es recalcitrante, el contenido de humedad, peso y viabilidad bajan en función a días de almacenamiento, por lo que en un ensayo realizado con escarificado en laboratorio se obtuvo un 58% de germinación, en bosque y vivero 0%. Esto debido a que no se aplicaron los tratamientos pregerminativos correctos y no se proporcionaron los requerimientos de humedad y luz, considerando que la semilla tiene una latencia combinada de cubierta y del embrión de tipo fisiológico. En su medio natural (bosque) se puede apreciar abundante regeneración de *P. parlatorei*, esto probablemente se debería a la gran cantidad de sustancias de naturaleza lipídica presentes en el pseudofruto, que indicarían la importancia que tiene en la dieta de especies frugívoras y estas a su vez tendrían un papel importante en la pregerminación y dispersión de las semillas (Barros & Giménez 2017). En nuestro estudio a partir de plántulas de regeneración natural se obtuvo un prendimiento de 90% hasta los tres meses de seguimiento, con una altura de 7.21 cm, incrementando el 95% de la altura inicial que fue de 3.7 cm.

Los resultados de este estudio muestran que el uso de

plántulas de la regeneración natural para la producción de plantines es una alternativa, considerando que se obtuvo prendimientos igual y/o superior al 90% para las cinco especies estudiadas, con un sustrato de 67% de tierra negra del lugar, 22% de arena lavada y 11% de materia orgánica. Por lo que el uso de un buen sustrato es determinante (Pérez et al., 2011), quienes realizaron la propagación por regeneración natural de cedro (*Cedrela odorata*), empleando como sustrato tierra negra del lugar con abono orgánico, logrando un porcentaje de supervivencia cercano al 80%.

Las plántulas que mostraron crecimiento rápido fueron *B. latifolia* (especie del estadio sucesional II, de 11 a 20 años de regeneración) y *B. dracunculifolia* (especie del estadio sucesional I, de 1 a 10 años de regeneración), mostrando un comportamiento típico de plantas pioneras; corroborado por Valenzuela (2023) que indica que *B. latifolia* es pionera y ruderal utilizada para revegetación con propósitos de estabilización de suelos y por Stephan et al. (2024) que identifica a *B. dracunculifolia* colonizando áreas erosionadas con suelo poco profundos y pedregosos afectadas por incendios frecuentes. En el caso de *D. viscosa* (con presencia en sitios degradados con 20 a 30 años, especie exótica del estadio sucesional III) tuvo un crecimiento de moderado a lento similar a *C. lilloi* (especie del estadio sucesional V, bosque primario) y *P. parlatorei* (especie del estadio sucesional IV, bosque secundario de 30 a 40 años).

Conclusiones

El porcentaje de prendimiento fue alto (igual y/o superior al 90%) en las cinco especies estudiadas: *B. latifolia* (ch'illka), *D. viscosa* (ch'akatea), *B. dracunculifolia* (t'ola), *C. lilloi* (cedro) y *P. parlatorei* (pino de monte). Esto demuestra que el método de propagación por rescate de plántulas de la regeneración natural es viable, ofreciendo ventajas. Entre ellas destaca que las plántulas de regeneración natural siempre estarán disponibles en el medio natural, partiendo de plántulas seguras. Además se evita el uso de tratamientos pregerminativos costosos y que se desconocen para la mayoría de las plantas nativas. Este método ahorra tiempo considerando que se parte de plántulas que han completado de manera natural las fases de dispersión, selección, germinación y crecimiento inicial todo dentro de su hábitat natural, donde interactúan con otras especies del ecosistema (insectos, frugívoros, otros). Esta ventaja contribuye a que en un periodo de 90 días se puedan obtener plantines listos para su trasplante a campo definitivo. Sin embargo, el uso de la regeneración natural para la producción de plantines en vivero requiere ciertas precauciones. Es fundamental realizar una selección y protección de los rodales semilleros, así como su espacio para garantizar una producción sostenida de plántulas.

Las especies *B. latifolia* y *B. dracunculifolia* son de estadios sucesionales tempranos y tiene un desarrollo acelerado típicos de plantas pionera. Sin embargo. Por su parte, *D. viscosa* presenta crecimiento lento, un patrón similar se observó en *C. lilloi* y *P. parlatorei* que son especies propias del bosque primario.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la Cooperación Suiza por el financiamiento del Proyecto "Plantas nativas, una alternativa para la fertilidad natural y provisión de agua a frutales de valle"- PIA.ACC-USFX.25, a AGRUCO – UMSS, al Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA) de la Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.

Al Gobierno Autónomo Municipal de Villa Serrano y de manera muy especial a los agricultores de la comunidad de Escaleras. Así mismo al Ing. Ignacio Guzmán por facilitar el trabajo con la comunidad y al Ing. Ronald Alcibia por su colaboración en el trabajo de campo.

Contribución de autores

Manuel H. Jiménez Huamán: Registro de datos de campo, análisis estadístico y redacción del documento.

Ceferino Peca Huallpa: Implementación del experimento y transcripción de datos de campo.

Jorge R. Alurralde Saavedra: Revisión de redacción técnica.

Josue Bejarano Chumacero: Generación de base bibliográfica.

Julio V. Ramírez Balcera: Organización de la logística de campo.

Referencias

Antezana, C. F. y G. Navarro (2002). Contribución al análisis biogeográfico y catálogo preliminar de la flora de los valles secos interandinos del centro de Bolivia. *Rev. Bol. Ecol.* 12:3-38, 2002.

Antezana, C. (2004). Estudio de la flora y vegetación de los valles secos interandinos del departamento de Cochabamba (Bolivia). Memoria para optar el grado de Doctora por la Universidad Complutense de Madrid.

Acero-Nitola, A. M. & Cortéz-Pérez F. (2014). Propagación de especies nativas de la microcuenca del río La Vega, Tunja, Boyacá, con potencial para la restauración ecológica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 38(147):195-205. <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/76/45>

Alvarado-García, V. & Zúñiga-Amador, M. A. (2018). Vegetación nativa como factor de control de erosión y restauración ecológica, San José, Costa Rica. *La Calera*, 18(30), 39-47. <https://doi.org/10.5377/calera.v18i30.7738>

Ayma, A.I. (2005). Estudio de propagación sexual de pino de monte (*Podocarpus glomeratus* D. Don) en la comunidad de Sailapata – Independencia. Tesis de grado para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 10.13140/RG.2.1.4873.0005

Azpilicueta, M. M., Aparicio, A. G., Mondino, V. & Pastorino, M. J. (2023). Banco de plantas con cría diferida como alternativa para la producción continua de plantines de lenga en el vivero. *Bosque*. 44(1): 201-206. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000100201>

Barros, J. & Giménez, A. M. (2017). El valor de un bosque montano en Catamarca, Argentina. Pp. 105-126 En: *Ecoanatomía y Biodiversidad. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero*. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/libro-ecoanatomia/ecoanatomia-p1-05-barros-El-valor-de-un-bosque-montano-en-Catamarca-Argentina.pdf>

Cabanzo-Atilano, I., Rodríguez-Mendoza, M. N., García-Cué, J. L., Al-

maraz-Suárez, J. J., & Gutiérrez-Castorena, María del Carmen. (2020). La biofertilización y nutrición en el desarrollo de plántulas de chile serrano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(4), 699-712. Epub 13 de septiembre de 2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2121>

Condori Tintaya, F., Pino Vargas, E. M., & Villegas, P. T. (2022). Pérdida de suelos por erosión hídrica en laderas semiáridas de la subcuenca Cairani Camilaca, Perú. *Idesia (Arica)*, 40(2), 7–15. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292022000200007>

Crouzeilles, R., Ferreira, M. S., Chazdon, R. L., David, B., Lindenmayer, D. B., Sansevero, J. B. B., Monteiro, L., Iribarrem, A., Latawiec A. E. & Strassburg, B. B. N. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Sci. Adv.* 3, e1701345. <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/sciadv.1701345>

Chave, J. (2006). Medición de densidades de madera en árboles tropicales. Manual de campo. Lab. Evolution et Diversité Biologique Universidad de Toulouse 3 Paul Sabatier. Proyecto Pan-Amazônia. https://rainfor.org/wp-content/uploads/sites/129/2022/07/wood_density_spanish1.pdf

Jiménez, M., Gonzales, M. L. & Ramírez J. C. (2015). Guía práctica de plantas leñosas para la implementación de sistemas agroforestales en el Parque Nacional y Área Natural de manejo Integrado "Serranía del Iñao". BEISA 3 – Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria – IASA. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. Sucre, Bolivia. 12- 148 Pág. https://usfx.bo/Documentos/LibrosIASA/GUIA_PRACTICA_DE_PLANTAS_LENOSAS.pdf

Jiménez, M. H. (2024). Conocimiento tradicional y plantas nativas para la fertilidad del suelo de la Microcuenca Escaleras. Marthá Serrano Editora. Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA). Editorial Departamento de Publicaciones USFX. 170 p. https://usfx.bo/Documentos/LibrosIASA/Conocimiento_Tradicional_20_09_24.pdf

Ladouceur, E., Isbell, F., Clark, A. T., Harpole, W. S., Reich, P. B., Tilman, G. D., & Chase, J. M. (2023). The recovery of plant community composition following passive restoration across spatial scales. *Journal of Ecology*. 111, 814–829. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14063>

Leakey, R. R. B. (2017). Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. En K. Wood & A. J. Sanchez (Eds.), *Agroforestry for sustainable land-use* (págs. 275–292). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805356-0.00017-9>

Luna-Nieves, A. L., Meave, J. A., Cerdeira, L. P. & Ibarra-Marquez, G. (2017). Reproductive phenology of useful Seasonally Dry Tropical Forest trees: Guiding patterns for seed collection and plant propagation in nurseries. *Forest Ecology and Management*, 393, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.014>

Manfreda, V. T., Alcaraz, M. L. y Scaramuzzino, R. L. (2020). Germinación de *Baccharis dracunculifolia* subsp. *tandilensis*: caracterización basada en la temperatura, la luz y la salinidad. *Rodriguésia*. Vol. 71: e02642017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202071035>

BOLFOR, Mostacedo, B., Fredericksen, T. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia. <http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>

Navarro, G. & Ferreira, W. (2011a). Bioclima del Departamento de Chuquisaca. En Carretero A., M. Serrano, F. Borchsenius & H. Balslev (eds.). 2011. Pueblos y plantas de Chuquisaca. Estado del conocimiento de los pueblos, la flora, uso y conservación (pp. 25-53). Herbario del Sur de Bolivia-Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. Sucre, Bolivia.

Navarro, G. & Ferreira, W. (2011b). Clasificación y caracterización de la vegetación del Departamento de Chuquisaca. En Carretero A., M. Serrano, F. Borchsenius & H. Balslev (eds.). 2011. Pueblos y plantas de Chuquisaca. Estado del conocimiento de los pueblos, la flora, uso y conservación (pp. 25-53). Herbario del Sur de Bolivia-Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. Sucre, Bolivia.

Navarro, G. & Maldonado, M. (2002). Geografía ecológica de Bolivia. Vegetación y ambientes acuáticos. Editorial Centro de Ecología Simón I. Patiño. Cochabamba. 719 p.

Ochoa, S., Pérez, I. & Bernardus, H. J. (2008). Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 56 (2): 657-673. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442008000200020

Paredes, D. R. E. (2023). Características estructurales que inciden en la regeneración natural de bosques cosechados bajo cortas de protección de *Nothofagus pumilio* (lenga) a lo largo de gradientes ambientales en Tierra del Fuego, Argentina: Adecuación de prácticas silvícolas para el manejo sostenible (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). <https://doi.org/10.35537/10915/165100>

Pérez, J., Acosta, L. & Parrado, A. (2011). Ensayos de propagación de algunas especies forestales aptas para el manejo de la microcuenca La Lejía, Cundinamarca, Colombia. *Revista científica*. 124-137 Pág. <https://www.redalyc.org/pdf/5043/504373320009.pdf>

Ramírez, T. & Lozano, D. C. (2023). Estructura y dinámica sucesional de la regeneración natural en el bosque siempreverde piemontano con intervención de manejo forestal en Zamora Chinchipe, Ecuador. Tesis para optar el grado de Magister en Biodiversidad y Cambio Climático. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/27845>

R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing (Versión 4.3.2) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

Reis, L., Szabo, J., Damasceno-Junior, G. & Garcia, L. (2024). Reintroduction by transplanting seedlings from natural regeneration: an alternative for ecological restoration?. *Rev. Restoration Ecology*. Vol. 33(1). <https://doi.org/10.1111/rec.14289>

Reynel, C. & Marcelo, J. (2009). Árboles de los ecosistemas forestales andinos. Manual de identificación de especies. Serie investigación y sistematización N° 9. Programa Regional ECOBONA - INTERCOOPERATION. Lima, Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/1526.pdf>

RStudio Team. (2025). RStudio: Integrated development environment for R (Versión 2023.06.2) [Computer software]. Posit Software, PBC. <https://posit.co/>

Stephan, B., Fuentes, A., López, C. L., Cuba-Orozco, E. & Gallegos, S. C. (2024). Los bosques montanos húmedos de la serranía de Apa-Apa (Sud Yungas, La Paz, Bolivia): Un centro de diversidad de plantas y fuente esencial de agua. *Rev. Ecología en Bolivia* vol.59 (2): 85-151. <http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v59n2/2075-5023-reb-59-02-85.pdf>

Toro Manríquez, M., Cellini, J. M., Lencinas, M. V., Peri, P. L., Peña Rojas, K. A. & Martínez, G. J. (2019). Suitable conditions for natural regeneration in variable retention harvesting of southern Patagonian *Nothofagus pumilio* forests. *Ecol Process* 8, 18 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0175-7>

Valenzuela, E. (2023). La chilka en el valle de La Paz. *Ciencia y Cultura* N° 51. <https://doi.org/10.35319/rcyc.2023511198>

Vargas-Figueroa, J. A. & Torres-González, A. M. (2018). Germination and seed conservation of a pioneer species, *Tecoma stans* (Bignoniaceae), from tropical dry forest of Colombia. *Revista De Biología Tropical*, 66(2), 918–936. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33423>

Zamora, M. (2006). Influencia de la ganadería trashumante y la apertura de claros en la supervivencia y el crecimiento de *Cedrela lilloi* en Tariquía, Bolivia. 131-142 Pág. <https://proyungas.org.ar/wp-content/uploads/2014/12/librocedro.pdf>

ZONISIG. (2000). Zonificación agroecológica y socioeconómica del departamento de Chuquisaca. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Sucre, Bolivia. https://www.bivica.org/files/zonificacion_chuquisaca.pdf