



## Los bioestimulantes mejoran el crecimiento de *Podocarpus glomeratus*, una conífera nativa de los Andes, en vivero y campo

### Biostimulants increase the growth of *Podocarpus glomeratus*, a native conifer from the Andes, in nursery and field conditions

Francisco Guillen-Cossio<sup>1</sup>, Ariel I. Ayma-Romay<sup>2,\*</sup> y Edwars Sanzetenea-Terceros<sup>1</sup>

**Recibido:** 11 octubre 2024 | **Aceptado:** 27 diciembre 2024 | **Publicado en línea:** 10 enero 2025

**Citación:** Guillen-Cossio, F; Ayma-Romay, AI; Sanzetenea-Terceros, E. 2024. Los bioestimulantes mejoran el crecimiento de *Podocarpus glomeratus*, una conífera nativa de los andes, en vivero y campo. Revista Forestal del Perú 39(2): 323-334. DOI: <https://doi.org/10.21704/rfp.v39i2.1123>

#### Resumen

El pino de monte (*Podocarpus glomeratus*) es un árbol nativo vulnerable a extinción de los bosques de neblina de los Andes centrales (Bolivia, Perú y Ecuador). Los esfuerzos de reforestación con plantines de pino de monte encaran desafíos, debido a su baja sobrevivencia y poco crecimiento. Los bioestimulantes son sustancias orgánicas que potencialmente pueden incrementar la sobrevivencia y crecimiento de los plantines. Sin embargo, los efectos de los bioestimulantes en plantines de especies de árboles de lento crecimiento fueron escasamente evaluados. Por tanto, se evaluó el efecto de un bioestimulante y un fertilizante sobre la sobrevivencia y crecimiento de plantines de pino de monte durante 6 meses en vivero, así como durante otros 6 meses en plantines que fueron reforestados en pastizales degradados con diferentes condiciones topográficas (crestas y laderas). El estudio fue realizado en el municipio de Independencia, Cochabamba, Bolivia. El análisis de datos fue realizado con análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey. La sobrevivencia fue alta, mayor a 90 % en vivero, y mayor a 80 % en los pastizales. La sobrevivencia de los plantines no fue influida por el bioestimulante o fertilizante en vivero y campo. En vivero el bioestimulante incrementó el 17 % el crecimiento en altura de los plantines comparado con el fertilizante y 20 % comparado con el control. En campo, el bioestimulante aplicado en vivero aumentó un 23 % el crecimiento en altura de los plantines plantados en sitios de crestas y no en laderas. En conclusión, los bioestimulantes incrementaron la altura de los plantines de *P. glomeratus*, una especie de lento crecimiento en vivero y campo, por lo que es necesario continuar investigando y ampliar el uso de bioestimulantes para mejorar el éxito de esfuerzos de reforestaciones, particularmente en ambientes desafiantes.

**Palabras clave:** restauración, reforestación, bioestimulante, fertilización, crecimiento, pastizales degradados

<sup>1</sup> Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

<sup>2</sup> Universidad Católica Boliviana San Pablo, Cochabamba, Bolivia.

\* Autor de Correspondencia: [aayma@ucb.edu.bo](mailto:aayma@ucb.edu.bo)

### Abstract

Pino de monte (*Podocarpus glomeratus*) is a native tree species found in the tropical montane cloud forests of the Andes from Bolivia, Perú y Ecuador, and it is vulnerable to extinction. Efforts to reforest pino de monte seedlings have faced challenges due to low survival and limited growth. Biostimulants, which are organic substances have the potential to improve the seedlings survival and growth. However, their effects on slow-growing tree species, like the pino de monte, have not been extensively studied. Therefore, we evaluated the effects of a biostimulant and a fertilizer on the survival and growth of pino de monte seedlings, both in nursery (six months) and in degraded grasslands with different topographic conditions (ridges and slopes) (six months). The study took place in the locality of Independencia, Cochabamba, Bolivia. Data analysis was performed using analysis of variance and Tukey's mean comparison tests. We found high survival rates in both the nursery and degraded grasslands, higher than 90% in nursery, and higher than 80% in grasslands, with neither the biostimulant nor the fertilizer significantly affecting survival. However, the biostimulant notably increased 17% and 20% of the height of seedlings in the nursery compared to both fertilizer and control, respectively. Additionally, in degraded grasslands, the biostimulant increased 23% the height of reforested seedlings, particularly on ridge sites, where seedlings growth was higher than on slopes. In conclusion, biostimulants enhance the growth of tree seedlings from slow-growing species. We advocate for further research and broader application of biostimulants to improve the success of reforestation efforts, particularly in challenging environments.

**Key words:** restoration, reforestation, biostimulant, fertilizer application, growing, degraded grasslands

### Introducción

Las especies del género *Podocarpus* son coníferas nativas muy importantes en la estructura, composición y función de los bosques de neblina y en la economía de las poblaciones rurales de los Andes (Anze 1993, Navarro 2005, Bergin 2000). El pino de monte, intimpa o romerillo (*Podocarpus glomeratus* D. Don) es una especie que se distribuye en bosques de neblina en Bolivia, Perú y Ecuador y ofrece múltiples beneficios maderables y no maderables a las comunidades campesinas e indígenas (Ayma-Romay *et al.* 2007). Sin embargo, *Podocarpus glomeratus* es un árbol con una reducida distribución geográfica, principalmente se encuentra en pequeñas manchas de bosque aisladas y es sujeto a sobreexplotación por tala y quema. *Podocarpus glomeratus* es una especie que no está presente en áreas protegidas y ha sido categorizada como especie cercanamente amenazada según la lista roja de flora de la UICN (Gardner 2013) y como vulnerable a extinción en Bolivia (Meneses y Beck 1990), siendo fundamental conservar los bosques nativos de *P. glomeratus* y extenderlos a través de

la reforestación (Ayma-Romay y Padilla 2009). Se ha observado que los plantines reforestados de esta especie tienen baja sobrevivencia en campo (menor a 30 %) y un lento crecimiento (Ayma-Romay *et al.* 2017), por lo que es crucial encontrar prácticas de manejo que permitan aumentar su porcentaje de sobrevivencia y crecimiento en las reforestaciones.

Las prácticas de reforestación requieren que los viveros obtengan plantines de buena calidad, con adecuado desarrollo foliar y radicular, y que les proporcione mayor vigor y resistencia luego del trasplante en campo. Estas características pueden obtenerse adicionando nutrimentos a los plantines a través de la fertilización (Jackson *et al.* 2012) o mediante bioestimulantes (Crouch *et al.* 1990, Atzmon y Staden 1994, Ali *et al.* 2021). Sin embargo, los efectos de aplicar fertilizantes o bioestimulantes sobre el desempeño de plantines forestales en reforestaciones han sido todavía poco comparados y evaluados.

Por un lado, la fertilización depende de la naturaleza de sus nutrimentos, dosis y la fisiología

de la planta, puede acelerar o retrasar el crecimiento de la parte foliar como radicular (Rose *et al.* 2004, Jacobs *et al.* 2005). La fertilización en dosis adecuadas mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas (nitrógeno, fósforo, potasio entre otras) y su crecimiento. Por ejemplo, en vivero la aplicación de fertilizantes mejoró el crecimiento de plantines de coníferas, tales como de *Pinus palustris* Mill. (Jackson *et al.* 2012), *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., *Pinus rudis* Endl. y *Pinus pseudostrabus* Lindl. (Olivares 1995) y algunas del género *Podocarpus*, tales como de *Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) Sweet en el sur oeste de Estados Unidos (Yeager y Johnson 1985) y China (Xu *et al.* 2019). Incluso la aplicación de fertilizantes en vivero mejoró el desempeño de los plantines forestales en el campo (Wolffsahn 1994). Sin embargo, la fertilización de plantines en vivero con dosis inadecuadas no incrementó el crecimiento de plantines de *Podocarpus blumei* Endl. (Dewi *et al.* 2024) y *Podocarpus macrophyllus*, ya que estas especies posiblemente son poco eficientes con el uso del nitrógeno (Xu *et al.* 2019).

Por otro lado, los bioestimulantes son productos constituidos por moléculas biológicamente activas de origen orgánico que mejoran la eficiencia de uso de los recursos, la productividad y la resistencia a estreses ambientales de las plantas (Ali *et al.* 2021), como una consecuencia de una compleja emergencia de sus constituyentes (Yakhin *et al.* 2017). Los bioestimulantes son obtenidos por métodos físicos (calor, presión, microondas) y químicos (solventes, ácidos y álcali) (Ali *et al.* 2021), y contienen aminoácidos y sustancias reguladoras de crecimiento (auxinas, citocininas y giberelinas) que mejoran la absorción y traslocación de nutrientes del sustrato a la planta, y que pueden estimular la división celular permitiendo mayor desarrollo radicular y foliar (Crouch *et al.* 1990). La mayoría de los estudios muestran que los bioestimulantes mejoran el rendimiento de plantas agrícolas, tales como hortalizas y verduras, las cuales tienen una estrategia de vida de crecimiento rápido (Crouch *et al.* 1990, Ali *et al.* 2021). Sin embargo, existen

escasas experiencias del uso de bioestimulantes en la producción de plantas forestales en vivero y estudios que evalúan sus efectos en la sobrevivencia y crecimiento de los plantines reforestados en campo. Por ejemplo, en vivero los bioestimulantes mejoraron el crecimiento de plántulas de *Pinus pinea* L. (Atzmon y Staden 1994) y de *Picea obovata* Ledeb. (Salteovich *et al.* 2021), pero se desconoce sus efectos en el desempeño de los plantines reforestados en campo. Existe un estudio en Argentina mostrando que los bioestimulantes mejoraron el crecimiento y redujeron el estrés hídrico de plantines de *Prosopis alba* Griseb. reforestados en ambientes semi-áridos (Santacruz-García *et al.* 2022), lo cual sugiere que la aplicación de bioestimulantes en vivero posiblemente contribuya en el desempeño de los plantines en campo.

El objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de los bioestimulantes sobre la producción de plantines de *P. glomeratus* en vivero y el establecimiento en campo. Para ello se comparó el efecto de la aplicación de un bioestimulante, un fertilizante y respectivo control sobre la sobrevivencia y el crecimiento de plantines de *P. glomeratus* en vivero y que luego fueron reforestados en pastizales degradados con diferentes condiciones topográficas (crestas y laderas). La hipótesis del estudio es que la aplicación de bioestimulantes en plantines de *P. glomeratus* producidos en vivero mejora su crecimiento y sobrevivencia en fase de vivero y posteriormente en la fase de campo.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

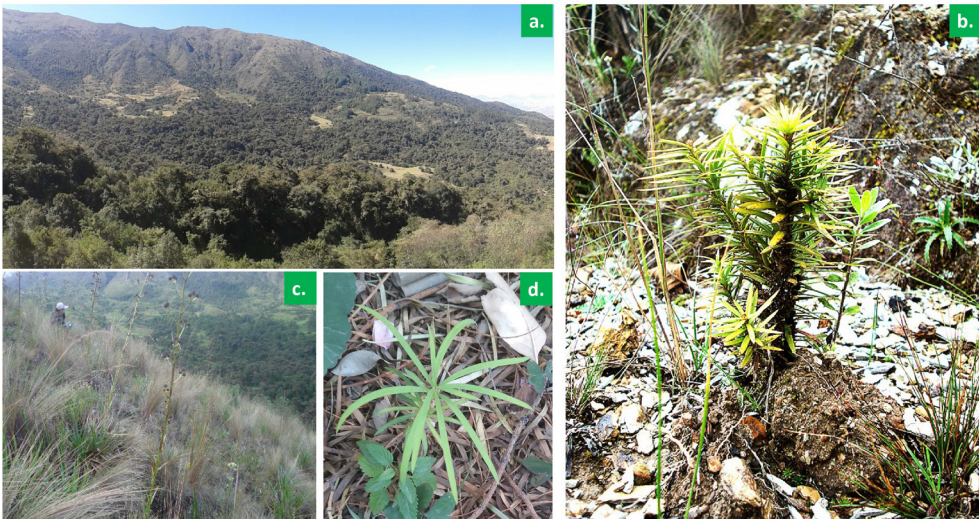
Esta investigación se realizó en el municipio de Independencia, de la provincia Ayopaya en el departamento de Cochabamba, Bolivia, la cual geográficamente está localizada entre los 16° 46' y 17° 26' latitud Sur y 66° 38' y 67° 00' longitud Oeste. El área de estudio pertenece a la región biogeográfica de los Yungas Peruano-Boliviano, en la provincia Yungas del Cotacajes (Navarro 2005). En Independencia, los bosques de neblina están dominados por *Podocarpus glomeratus*, los cuales se encuen-

tran entre altitudes de 2500 a 3600 m s.n.m. y dispersos en manchas de bosque rodeados por áreas agrícolas y pastizales para la crianza de ganado ovino y vacuno. Los bosques de *P. glomeratus* generan múltiples beneficios para las comunidades campesinas, principalmente para madera de construcción, leña y tintes naturales y otros servicios ecosistémicos, tales como la protección de las cuencas y las fuentes de agua (Ayma-Romay *et al.* 2007).

La primera fase del estudio se realizó en el vivero del Gobierno Municipal de Independencia, localizado en la capital del municipio de Independencia con una altitud de 2 500 m s.n.m. El clima es templado y pluviestacional con una temperatura promedio anual de 18 °C, una precipitación de 900 mm, una época lluviosa de noviembre a marzo y una época seca entre abril y octubre (Navarro 2005). La segunda fase del estudio se realizó en la comunidad de Pajchanti, localizada a ocho km de distancia del vivero, lugar donde se instalaron tres parcelas de reforestación de 15 × 15 m a una altitud aproximada de 3300 m s.n.m. Un estudio previo mostró mayores porcentajes

de sobrevivencia de plantines reforestados de *P. glomeratus* a esa altitud de la montaña (Ayma-Romay *et al.* 2017). La precipitación anual promedio es de 1100 mm y la temperatura anual de 15 °C. La vegetación de las parcelas de reforestación se encuentra dominada por pastos nativos de las especies *Festuca dolichophylla* J. Presl y *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.) Kunth (60 % de pastos, 30 % de hierbas y 10 % de suelo descubierto y piedras) (Ayma-Romay *et al.* 2017). Las tres parcelas de reforestación fueron delimitadas, señalizadas, pero no fueron cercadas debido a que la comunidad de Pajchanti excluyó el ganado vacuno de las zonas donde las parcelas fueron implementadas. Las parcelas de reforestación están distanciadas entre ellas a 1000 m aproximadamente, en una ladera expuesta al sur, cuyos relieves forman terrenos con diferente topografía y orientación. Así, las parcelas de reforestación quedaron en una ladera expuesta al Oeste, otra en ladera expuesta al Este y una última en una cresta con topografía convexa (Figura 1, Cuadro 1).

Las propiedades estructurales y de composición del suelo de las parcelas fueron ana-



**Figura 1.** Área de estudio en el municipio de Independencia. a) Bosque de *Podocarpus glomeratus* en la comunidad de Pajchanti. b) Plantín de *Podocarpus glomeratus* reforestado en pastizales de la comunidad de Pajchanti. c) Pastizales donde se realizó la reforestación de plantines de *Podocarpus glomeratus* a 3300 m s.n.m. d) Plántulas de *Podocarpus glomeratus* extraídas del bosque y trasplantadas en contenedores de plástico en vivero.

Tratamiento	Parcela #1	Parcela #2	Parcela #3
Coordenadas geográficas	-17.0581 S; -66.8599 OE	-17.0595 S; -66.8516 OE	-17.0598 S; -66.8407 OE
Altitud (m)	3289	3295	3290
Exposición	Cresta	Ladera Este	Ladera Oeste
Pendiente (%)	5	70	60
Nitrógeno (%)	0.336	0.324	0.332
Fósforo disponible (ppm)	1.1	0.80	0.88
Potasio me/100 g	0.18	0.15	0.07
Arcilla (%)	38	34	36
Limo (%)	32	34	26
Arena (%)	30	32	38
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.04	1.04	1.02
pH	4.6	4.3	4.3
Conductividad eléctrica (dS/m)	0.032	0.03	0.023

**Cuadro 1.** Caracterización de localización, topografía, composición y estructura del suelo de las parcelas de reforestación de plántulas de *Podocarpus glomeratus* en la comunidad de Pajchanti, municipio de Independencia, Bolivia.

lizadas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón. Para ello se tomaron muestras de suelo recolectadas en las tres parcelas a 20 cm de profundidad (Cuadro 1). El suelo, entre las parcelas, tiene pocas diferencias de estructura y composición. El suelo es franco arcilloso y la densidad aparente del suelo indica que este es poco compactado. El suelo es muy ácido (pH entre 4.3 y 4.6) y tiene baja salinidad (Conductividad eléctrica de 0.2 a 0.3 dS/m). El contenido de materia orgánica es alto entre 7.59 y 7.66 %. Además, el nitrógeno total es alto de 0.32 a 0.33 %. La disponibilidad de fósforo es muy baja entre 0.8 y 1.1 ppm (método de Bray y Kurtz), así como, el Potasio intercambiable que también es escaso de 0.07 a 0.18 meq/100 g (1 meq = 330 ppm) (Cuadro 1).

#### Recolección, trasplante y manejo de las plántulas en vivero

Las plántulas de *P. glomeratus* fueron recolectadas de la regeneración natural de un bosque de neblina ubicado en la comunidad de Pajchanti, a una altitud de 3000 m s.n.m., siendo una alternativa para propagar esta espe-

cie en vivero debido a la ausencia de semillas en el bosque. En estudios previos mostraron la escasa productividad de semillas de los árboles de *P. glomeratus* (Ayma-Romay y Sanzeteña 2007) y la abundante cantidad de plántulas de regeneración natural en bosques disturbados (Bergin 2000, Ayma-Romay *et al.* 2007). La recolección de plántulas del bosque fue realizada en un día con poca radiación solar. Cada plántula fue extraída con su cepellón de tierra, con ayuda de una picota pequeña, y puesta a un recipiente con barro suelto para evitar su marchitamiento. Se recolectaron 1000 plántulas del bosque, las cuales fueron transportadas el mismo día al vivero para su trasplante en bolsas de polietileno (18 cm de alto por 15 cm de diámetro) con un sustrato de tierra vegetal recolectada de bosque de neblina (50 %) y tierra negra (50 %). Las características de las plántulas fueron: altura de tres a cinco centímetros, vigorosas y con presencia de al menos cinco hojas. El riego de las 1000 plántulas fue por aspersión, con una frecuencia de cada dos días. También se colocó una malla de semi-sombra durante el periodo de aclimatación durante ocho semanas.

### Diseño experimental en vivero

En el vivero se realizó un experimento completamente al azar con estructura unifactorial de los tratamientos. Luego de dos meses del trasplante de las plántulas a los contenedores de plástico se aplicó los siguientes tres tratamientos:

a) Plántulas con la aplicación de un fertilizante foliar de la marca Foligam® compuesto por nitrógeno, potasio y fósforo (20, 20, 20) entre otros (Cuadro 2).

b) Plántulas con la aplicación de un bioestimulante de algas de la marca Kelpak® (ver <https://www.kelpak.com>) (Cuadro 2).

c) Plántulas testigo (sin la aplicación de ninguna sustancia).

Cada tratamiento tuvo tres repeticiones, y cada repetición diez plántulas como unidad experimental. En total se evaluaron 90 plántulas. La evaluación de la sobrevivencia y el crecimiento de las plántulas tuvo una duración de seis meses y se realizaron seis mediciones. Las plántulas tuvieron una sola dosis del bioestimulante o fertilizante según las especificaciones de cada producto al principio del experimento. La aplicación fue manual y consistió en rociar una dosis de 10 ml/L acorde a las instrucciones de cada producto. La sobrevivencia fue evaluada como una proporción de plantines vivos sobre el total de plantines en cada tratamiento y repetición. Además, se evaluó el incremento en altura de los plantines (diferencia entre la altura final y la altura inicial del plantín) como único indicador de crecimiento.

### Diseño experimental de plantación en campo

Los plantines manejados en vivero fueron plantados en las tres parcelas de reforestación de la comunidad de Pajchanti bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar. En cada parcela fueron plantados los plantines tratados con bioestimulantes y plantines sin bioestimulantes en vivero (cada tratamiento con 10 plantines), teniendo un total de 60 plantines. Los plantines que fueron fertilizados en vivero, no fueron plantados en campo, puesto que estos no mostraron ninguna ganancia de crecimiento respecto a los plantines control. En las parcelas los plantines fueron plantados a una distancia de tres metros cada uno, en hoyos de 40 × 40 × 40 cm y durante la época de lluvia (mes de febrero), los cuales no fueron regados. En este experimento medimos el incremento de altura y diámetro de los plantines a través de las diferencias de altura y diámetro de cuello del plantín entre el final de la evaluación y el principio de la plantación.

### Análisis de datos

Los porcentajes de sobrevivencia de plantines en vivero y campo fueron analizados descriptivamente y comparados entre tratamientos con la prueba de Chi-cuadrado. El crecimiento de los plantines en vivero fue analizado con un análisis de varianza de una vía (ANOVA) comparando el incremento en altura total de los plantines entre tratamientos, seguido de una prueba de comparación de medias de Tukey. Luego, con el procedimiento de modelos mixtos y comparaciones de medias con la prueba

Compuesto	Composición
Foligam	Nitrógeno 20 %, Fósforo (20 %), Potasio (20 %), Calcio (0.4 %), Magnesio (0.7 %), Boro (0.006 %), Zinc (0.1 %), Hierro (0.1%), Cobre (0.01%), Molibdeno (0.005 %), Manganeso (37.5 ppm), Cobalto (2.87 ppm).
Kelpak	Nitrógeno (0.4 %), Fósforo (1.8 %), Potasio (0.6 %), Calcio (0.08 %), Magnesio (0.02 %), Boro (0.24 ppm), Zinc (4.2 ppm), Hierro (13.6 ppm), Cobre (0.20 ppm), Molibdeno (0.38 ppm), Manganeso (8.4 ppm), Cobalto (0.38 ppm). Fitohormonas: Auxinas (11 ppm), Citoquininas (0.031 ppm), aminoácidos (2.48 g/l), vitaminas (0.02 g/l), carbohidratos (16.9 g/l).

**Cuadro 2.** Composición del fertilizante Foligam y el bioestimulante Kelpak.

de Tukey, se determinó si existían diferencias estadísticamente significativas en el incremento en altura de los plantines entre tratamientos a través de cada evaluación en el tiempo. El incremento en altura y en diámetro de los plantines reforestados en campo fueron analizados por separado con un análisis de varianza en función a los tratamientos y los bloques (parcelas de reforestación). El nivel de confianza para el análisis estadístico fue del 95 %. Todos los procedimientos estadísticos se realizaron con el paquete SAS® versión 15.1.

**Resultados**

**Sobrevivencia y crecimiento en vivero**

En vivero los plantines de *Podocarpus glomeratus* mostraron alto porcentaje de sobrevivencia. Los plantines del control tuvieron un 96.7 % de sobrevivencia y los plantines de los tratamientos con bioestimulante y fertilizante tuvieron 100 % de sobrevivencia, sin diferencias estadísticamente significativas (Prueba de Chi-cuadrado,  $\chi^2 = 0.06$ , g.l.= 2,  $p = 0.97$ ). Los plantines tratados con bioestimulante tuvieron mayor incremento en altura y mayores tasas de crecimiento que los plantines ferti-

lizados y plantines de control con diferencias estadísticamente significativas (Anova,  $p < 0.0001$ ,  $F = 21.7$ , g.l. = 2; Prueba de Tukey,  $p < 0.005$ ) (Cuadro 3). Los plantines con bioestimulante alcanzaron 17 % más de altura que los plantines fertilizados y 20,3 % más de altura que los plantines control. El crecimiento de los plantines con fertilizante y testigo no mostraron diferencias estadísticamente significativas (Prueba de Tukey,  $p < 0.05$ ) (Cuadro 3).

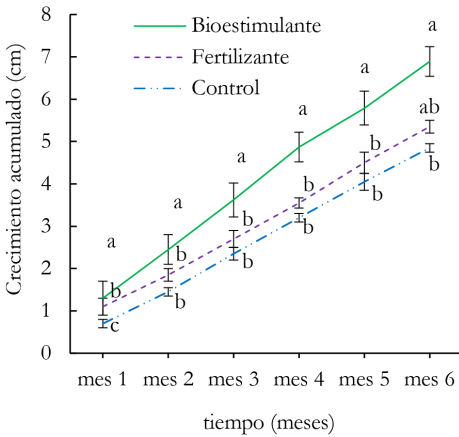
Además, los plantines tuvieron diferencias estadísticamente significativas en las tasas de crecimiento en altura a través de las evaluaciones mensuales (Anova,  $p < 0.001$ ,  $F = 9.67$ , g.l. = 11) y de estas en interacción con los tratamientos ( $p < 0.001$ ,  $F = 5.68$ , g.l. = 22) (Cuadro 4 y Figura 2). Así, los plantines tratados con el bioestimulante tuvieron mayores tasas de crecimiento en altura predominantemente a través de las evaluaciones mensuales, respecto a los plantines de los otros tratamientos (fertilizante y control). En el quinto y sexto mes, las tasas de crecimiento de los plantines con bioestimulante fueron disminuyendo y estos no fueron mejor que el crecimiento de los plantines fertilizados. Los

Tratamiento	Sobrevivencia (%)	Crecimiento en altura total (cm)	Tasa de crecimiento en altura (cm/mes)
Bioestimulante	100	6.4 ± 0.9 <sup>a</sup>	1.06 ± 0.15 <sup>a</sup>
Fertilizante	100	5.3 ± 1.1 <sup>b</sup>	0.88 ± 0.18 <sup>b</sup>
Control	97	5.1 ± 1 <sup>b</sup>	0.85 ± 0.16 <sup>b</sup>

**Cuadro 3.** Porcentaje de sobrevivencia y crecimiento en altura en centímetros de plantines de Pino de monte (*Podocarpus glomeratus*) con bioestimulante, fertilizante y control luego de seis meses en vivero. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos con un nivel de confianza de 0.95. En crecimiento se muestran las medias y la desviación estándar.

Factores	g.l.	F	P
Tratamiento	2	21.7	< 0.001
Tiempo de evaluación	11	9.6	< 0.001
Tratamiento x Tiempo	22	5.7	< 0.001
Error	1033	-	-

**Cuadro 4.** Análisis de varianza mostrando los efectos de tratamientos (bioestimulante, fertilizante vs control) y el tiempo de evaluación sobre el crecimiento en altura de plantines de *Podocarpus glomeratus* en el vivero del municipio de Pajchanti, Cochabamba, Bolivia.



**Figura 2.** Crecimiento acumulado en altura de plantines de Pino de monte (*Podocarpus glomeratus*) tratados con bioestimulante, fertilizante y control a través de seis meses de evaluación. Las barras muestran la desviación estándar. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos con un nivel de confianza de 0.95.

plantines fertilizados predominantemente no tuvieron diferencias significativas de crecimiento respecto al control (Figura 2).

### Sobrevivencia y crecimiento de plantines reforestados en los pastizales degradados

La sobrevivencia de los plantines de *P. glomeratus* que fueron reforestados en los pastizales fue alta. Los plantines de todo el experimento tuvieron una sobrevivencia entre 80 % y 90 % al final de los seis meses, sin diferencias estadísticamente significativas de sobrevivencia entre las parcelas de reforestación y tratamientos (bioestimulante versus control) (Prueba de Chi-cuadrado,  $\chi^2 = 0.40$ , g.l. = 2,  $p = 0.81$ ) (Cuadro 5). A pesar de la existencia de ganadería extensiva, la alta sobrevivencia encontrada muestra que el pisoteo de los animales tuvo bajo impacto durante el experimento.

Los plantines de todo el experimento tuvieron un incremento en altura promedio de 1 cm, con un mínimo de 0.5 cm y un máximo de 2 cm durante seis meses de evaluación. Los plantines tuvieron diferente incremento en altura a través de los sitios de reforestación

Tratamiento	Ladera Este (%)	Cresta (%)	Ladera Oeste (%)
Bioestimulante	90	80	80
Control	90	90	90

**Cuadro 5.** Porcentaje de sobrevivencia de plantines de *Podocarpus glomeratus* tratados con bioestimulante y control en diferentes condiciones topográficas del sitio de plantación al final de seis meses sin riego durante otoño e invierno en la localidad de Pajchanti (Cochabamba).

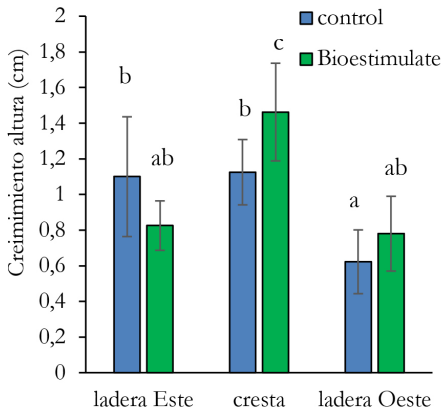
Factores	g.l.	F	p
Tratamiento	1	0.2	0.62
Sitio	2	18.7	< 0.001
Sitio*Tratamiento	2	9.12	< 0.001
Error	45	-	-

**Cuadro 6.** Análisis de varianza mostrando los efectos del tratamiento (bioestimulante vs control) y el sitio de plantación sobre el crecimiento en altura de plantines de *Podocarpus glomeratus* reforestados a 3300 m s.n.m en la localidad de Pajchanti, Cochabamba, Bolivia.

con diferencias estadísticamente significativas (Anova,  $p < 0.001$ ;  $F = 18.7$ ; g.l. = 2). Además, los plantines tuvieron un incremento en altura con diferencias estadísticamente significativas entre la interacción de tratamientos (con bioestimulante versus control) y el sitio de reforestación (parcelas) (Anova,  $p < 0.001$ ;  $F = 9.12$ ; g.l. = 2) (Cuadro 6). Así, los plantines que fueron tratados con bioestimulante en el vivero y después reforestados en el sitio de cresta tuvieron mayor incremento en altura comparado con los plantines tratados con bioestimulante y plantines control reforestados en laderas Este y Oeste (Prueba de Tukey,  $p < 0.05$ ) (Figura 3).

El incremento en diámetro de los plantines tuvo una media de 0.89 cm con un valor mínimo de cero y un máximo de 2 cm. El crecimiento en diámetro no tuvo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Anova,  $p = 0.66$ ;  $F = 0.18$ ), entre sitios ( $p = 0.124$ ;  $F = 2.18$ ) o entre sitio e interacción con el tratamiento ( $p = 0.73$ ;  $F = 0.31$ ).





**Figura 3.** Crecimiento en altura de plantines de *Podocarpus glomeratus* tratados con bioestimulante o control en condiciones topográficas diferentes luego de seis meses de plantación a 3300 m s.n.m. en la localidad de Pajchanti, Cochabamba, Bolivia. Las barras muestran la desviación estándar. Las letras comparan las diferencias de medias de Tukey entre los tratamientos.

## Discusión

Los plantines reforestados de *Podocarpus glomeratus* mostraron altos porcentajes de sobrevivencia en vivero y campo. En general, los plantines tuvieron una sobrevivencia mayor a 95 % en vivero al final de seis meses de manejo y mayor a 80 % en pastizales degradados luego de seis meses de establecimiento, sin diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Factiblemente, el alto porcentaje de sobrevivencia fue debido a los cuidados en la recolección de plantines del bosque, el trasplante, los posteriores cuidados silviculturales en vivero (riego, sombra entre otros), la baja densidad de ganado en las áreas de reforestación que evitó el pisoteo de plantines. Posiblemente, la evaluación de la sobrevivencia de los plantines de *P. glomeratus* en el campo requiere un periodo más largo de observación considerando que esta fue solamente de seis meses durante verano y otoño y la mortalidad de plantines posiblemente aumente con el tiempo del establecimiento, ya que en un estudio previo la sobrevivencia de plantines reforestados de *P. glomeratus* redujo durante

cuatro años hasta un 25 % debido a daños de pisoteo de ganado (Ayma-Romay *et al.* 2017). Sin embargo, evaluar los plantines reforestados más tiempo no fue posible por nuestras limitaciones financieras para la investigación. En un estudio observaron que el monitoreo de la sobrevivencia de plantines de *Polylepis australis* Bitter durante uno o dos años, podría ser apropiado para evaluar el éxito de la reforestación, puesto que las tasas de mortalidad son elevadas el primer año y luego reducen con el pasar el tiempo (Simoes-Macayo y Renison 2015).

La aplicación del fertilizante no incrementó la altura de los plantines en vivero comparado con los plantines control. Este resultado es contrario a lo observado en otros estudios de fertilización en plántulas de *Podocarpus macrophyllus* donde encontraron que aportes intermedios de NPK incrementan la biomasa y altura de los plantines (Yeager y Johnson 1985, Xu *et al.* 2019). Sin embargo, otro estudio mostró también poca efectividad de fertilizantes NPK aplicados en plantines de *Podocarpus blumei* (Dewi *et al.* 2024). Posiblemente, esto ocurre debido a la poca eficiencia de uso de nutrientes de los plantines de *P. glomeratus*, la cual ha sido observada en especies de coníferas con una estrategia de vida de crecimiento lento. Por ejemplo, la aplicación de fertilizante a plantines de *Podocarpus guatemalensis* Standl. no incrementó la eficiencia del uso del nitrógeno, posiblemente por limitaciones en la conductancia estomática y en el sistema de transporte de agua, propio de especies coníferas de estrategia conservativa (Palma *et al.* 2020). Así, el crecimiento de los plantines de *P. glomeratus* podría mejorar incrementando la dosis del fertilizante. Por tanto, es importante realizar estudios que puedan evaluar el desempeño de los plantines bajo diferentes niveles de fertilizante para encontrar dosis óptimas de aplicación (Xu *et al.* 2019).

La aplicación de bioestimulante incrementó la altura de los plantines de *P. glomeratus* en vivero y campo. Estos resultados obtenidos en vivero coinciden con lo observado en otros estudios donde aplicaron bioestimulantes en plantas agrícolas (Crouch *et al.* 1990,

Torres-García *et al.* 2024) y plantas forestales (Atzmon y Staden 1994, Salteovich *et al.* 2021, Sanchez-Santillan *et al.* 2024). Es posible que los bioestimulantes incrementan el crecimiento de los plantines porque aumentan la eficiencia en la absorción de nutrientes y desarrollo de raíces (Ali *et al.* 2021). Las diferencias de crecimiento de las plántulas a lo largo del experimento y entre tratamientos muestra que es necesario analizar una periodicidad óptima para aplicar bioestimulantes (Rose *et al.* 2004, Jackson *et al.* 2012). El estudio sugiere la aplicación de bioestimulantes en plantines de *P. glomeratus* en vivero debe realizarse aproximadamente cada cinco meses.

Los resultados de campo muestran que el efecto positivo de la aplicación de bioestimulante sobre el crecimiento en los plantines en vivero puede mantenerse cuando estos están plantados en campo. Este efecto positivo del bioestimulante fue observado incluso bajo la alta variabilidad de las condiciones ambientales de los pastizales. Los resultados de crecimiento en campo muestran que las crestas en las montañas propician un mejor desempeño de los plantines, en comparación con sitios de ladera, ya que las crestas pueden tener mayor retención de agua en el suelo comparado con las laderas, lo cual pudo causar menor déficit hídrico en los plantines de pino de monte (Sparacino *et al.* 2019).

Es importante desarrollar tecnologías para producir y aplicar bioestimulantes basados en compuestos orgánicos en iniciativas de reforestación de especies de lento crecimiento o restauración de bosques nativos. Además, las condiciones ambientales adversas del sitio podrían manejarse con el mejoramiento del suelo o la protección de los plantines con piedras, mallas semi-sombra o arbustos para proteger a las plántulas de daños mecánicos y mejorar las condiciones degradadas de los pastizales (Ayma-Romay *et al.* 2017). Debido a las limitaciones del estudio, a futuro se necesita evaluar los efectos de diferentes dosis de fertilizantes y bioestimulantes o su combinación sobre diferentes aspectos de la sobrevivencia y crecimiento de los plantines. Por ejemplo, el efecto

de los bioestimulantes sobre el crecimiento, tomando indicadores morfológicos y fisiológicos de la calidad de las plantas en la parte aérea y subterránea.

## Conclusiones

Los plantines de *Podocarpus glomeratus* tuvieron alta sobrevivencia en vivero y en campo con o sin bioestimulantes. Posiblemente, esta alta sobrevivencia estuvo relacionada con las prácticas de cuidado y manejo de los plantines durante la recolección, trasplante y establecimiento en vivero y la poca densidad de ganado en el campo. Se recomienda realizar investigaciones con mayores periodos de monitoreo de sobrevivencia de plantines.

La aplicación de bioestimulante en plántulas de *P. glomeratus* (una especie de crecimiento lento) en vivero contribuye a superar el bajo crecimiento en altura de las plántulas de esta especie en las fases de vivero y de campo. Por tanto, sugerimos usar bioestimulantes en especies de lento crecimiento, como una alternativa biológica y con bajo impacto ambiental para mejorar el rendimiento de cultivos forestales o agrícolas, comparado con los fertilizantes.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Gobierno Municipal de Independencia por facilitar el vivero para realizar los experimentos. Asimismo, agradecen a la comunidad de Pajchanti por permitir realizar las reforestaciones de pino de monte en su comunidad y participar en el cuidado de los plantines reforestados evitando el pisoteo del ganado.

## Contribución de los autores

FGC: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, redacción de borrador original. AIAR: conceptualización, análisis formal, adquisición de fondos, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, visualización, redacción de borrador original, redacción-revisión y edición. EST: supervisión y redacción de borrador original.

## Conflicto de intereses

Los autores no incurrir en conflictos de intereses.

## Fuentes de financiamiento

La investigación recibió financiamiento de la Foundation Rufford Small Grants a través del proyecto: Restoration and Management of Queñua (*Polylepis racemosa*) and Pino de Monte (*Podocarpus glomeratus*) Woodlands in the Yungas of Independencia, Bolivia.

## Aspectos éticos / legales

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos ni haber omitido normas legales.

## ID ORCID

Francisco Guillen-Cossio

<https://orcid.org/0009-0009-4510-6259>

Ariel I. Ayma-Romay

<https://orcid.org/0000-0002-0350-9617>

Edwards Sanzeteña-Terceros

<https://orcid.org/0009-0009-0906-4581>

## Referencias

- Ali, O; Ramsubhag, A; Jayaraman, J. 2021. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production. *Plants* 10(3):531. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10030531>.
- Anze, R. 1993. Podocarpaceae. In Killeen, T; García E; Beck, S (eds.). Guía de árboles de Bolivia. La Paz, Bolivia. Quipus S.R.L. p. 641-645.
- Atzmon, N; Staden, J. 1994. The effect of seaweed concentrates on the growth of *Pinus pinea* seedlings. *Review New Forests* 8(3):279-288. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00025373>.
- Ayma-Romay, AI; Lovera, P; Soto-Rojas, G. 2017. Sobrevivencia y crecimiento de plántulas reforestadas de *Podocarpus glomeratus* (Podocarpaceae) en diferentes altitudes y micrositos en ecosistemas de pastizales de los Andes bolivianos después de cuatro años. *Ecología Austral* 27:63-71. DOI: <https://doi.org/10.25260/EA.17.27.1.0.215>.
- Ayma-Romay, AI; Padilla-Barroso, E. 2009. Efecto de la tala de *Podocarpus glomeratus* (Podocarpaceae) sobre la estructura de un bosque de neblina en los Andes (Cochabamba, Bolivia). *Revista Peruana de Biología* 16:73-79.
- Ayma-Romay, AI; Padilla, E; Calani, E. 2007. Estructura composición y regeneración de un bosque de neblina: sugerencias silviculturales para *Podocarpus glomeratus* en la comunidad de Pajchanti Cochabamba Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 21:27-41.
- Ayma-Romay, AI; Sanzeteña, E. 2007. Atributos y manejo de semilla de Pino de monte (*Podocarpus glomeratus*), Sailapata, Cochabamba, Bolivia. *Revista Agricultura* 39:33-36.
- Bergin, DO. 2000. Current knowledge relevant to management of Podocarpus. *New Zealand Journal of Botany* 38:343-359.
- Crouch, IJ; Beckett, RP; Van Staden, J. 1990. Effects of seaweed concentrate on the growth and mineral nutrient stressed lettuce. *Journal Applied Phycology* 2:269- 272. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02179784>.
- Gardner, M. 2013. *Podocarpus glomeratus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T42504A2983439. DOI: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42504A2983439.en>.
- Jacobs, DF; Salifu, KF; Seifert, JR. 2005. Growth and nutritional response of hardwood seedlings to controlled-release fertilization at outplanting. *Forest Ecology and Management* 214: 28-39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.053>.
- Jackson, DP; Dumroese, RK; Barnett, JP. 2012. Nursery response of container *Pinus palustris* seedlings to nitrogen supply and subsequent effects on outplanting performance. *Forest Ecology and Management* 265: 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.018>.

- Meneses, R; Beck, S. 2005. Especies amenazadas de la flora de Bolivia. La Paz, Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia. 60 p.
- Navarro, G. 2005. Vegetación y biogeografía de Bolivia. In Navarro, G; Maldonado M. (eds.). Geografía ecológica de Bolivia, vegetación y ambientes acuáticos. Cochabamba, Bolivia. Centro de Ecología y Difusión Simón & Patiño. p. 31-428.
- Olivares, AA. 1995. Ensayo de fertilización con nitrógeno y fósforo en *Pinus pseudostrobus* Lindl., bajo condiciones de vivero. Tesis de licenciatura, Chapingo, México, Universidad Autónoma Chapingo.
- Palma, A; Winter, K; Aranda, J; Dalling, JW; Cheesman, A; Turner, B; Cernusak, L. 2020. Why are tropical conifers disadvantaged in fertile soils? Comparison of *Podocarpus guatemalensis* with an angiosperm pioneer, *Ficus insipida*. *Tree Physiology* 40: 810–821. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa027>.
- Rose, R; Haase, DL; Arellano, E. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Revista Bosque* 25(2):89-100. Disponible en [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002004000200009](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002004000200009).
- Saltevich, YV; Ageev, AA; Buryak, LV; Achikolova, IS. 2021. Use of organic bioestimulant for growing Siberian spruce seedlings. IOP Conferencing Series: Earth and Environmental Science 875:012084. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012084>.
- Santacruz-García, AC; Senilliani, MG; Gómez, AT; Ewens, M; Evangelina, Y; Villalba, G; Azucena-Nazareno, M. 2022. Biostimulants as forest protection agents: Do these products have an effect against abiotic stress on a forest native species? Aspects to elucidate their action mechanisms. *Forest Ecology and Management* 522:120446. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120446>.
- Sanchez-Santillan, T; Huamán-Vela, MH; Fernandez-Zarate, FH; Vásquez García, J. 2024. Comportamiento vegetativo de quina (*Cinchona pubescens* Vahl.) con la aplicación de cuatros bioestimulantes orgánicos en invernadero en Perú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 25(2):e3493. DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol25\\_num2\\_art:3493](https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num2_art:3493).
- Simoies-Macayo, N; 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: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000200016>.
- Sparacino, J; Renison, D; Devegili, AM; Suarez, R. 2019. Wind protection rather than soil water availability contributes to the restriction of high-mountain forest to ravines. *New Forests* 51:101-117. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09722-z>.
- Torres-García, A; Héctor-Ardisana, EF; León-Aguilar, R; Zambrano-Gavilanes, FE; Fosado-Téllez, OA. 2024. Vermicompost leachate-based biostimulant and its effects on physiological variables and yield of different crops in Manabí, Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 25(1):3388. DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol25\\_num1\\_art:3388](https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num1_art:3388).
- Xu, L; Zhang, X; Zhang, D; Wei, H; Guo, J. 2019. Using morphological attributes for the fast assessment of nutritional responses of Buddhist pine (*Podocarpus macrophyllus* Thunb. D. Don) seedlings to exponential fertilization. *PLoS ONE* 14(12): e0225708. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225708>.
- Yakhin, OI; Lubyantsev, A; Yakhin IA; Brown, P. 2017. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science* 7:2049. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>.
- Yeager, TH; Johnson, CR. 1985. Response of *Podocarpus macrophyllus* to rock phosphate and mycorrhizae. *Journal Environmental Horticulture* 3(4):168-171. DOI: <https://doi.org/10.24266/0738-2898-3.4.168>.