

Efecto alelopático de hojarasca de *Eucalyptus globulus* y *Pinus halepensis* en plantas silvestres Altoandinas, Perú

Allelopathic effect of *Eucalyptus globulus* and *Pinus halepensis* litter on high Andean wild plant species, Peru

Max Peter Panca-Jevera^{1*} , Dianet Christa Villanueva-Mamani¹ ,

Ivon Rocio Gutierrez-Flores¹ 

¹Programa Académico de Ecología - Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
Av. Floral 1153 - ciudad universitaria CP. 21001. Puno, Perú.

*Autor de correspondencia: mpancaj@est.unap.edu.pe

Nota científica

Recibida: 13 de octubre 2022

Aceptada: 02 de diciembre 2023

RESUMEN. Las especies de plantas exóticas invasoras causan graves impactos en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas invadidos, dejando en desventaja a las especies nativas. *Eucalyptus globulus* y *Pinus halepensis*, son dos especies caracterizadas por su amplia distribución y alta habilidad competitiva. El objetivo del estudio fue comparar el efecto alelopático del lixiviado de la hojarasca de *E. globulus* y *P. halepensis* sobre la germinación, crecimiento y diversidad de especies de plantas silvestres altoandinas. Se colectaron 30 muestras de suelo de los primeros 10 cm a partir de cuadrantes de 1 m². Los lixiviados afectaron de forma negativa la germinación, crecimiento y diversidad de especies de plantas silvestres, particularmente el lixiviado de eucalipto. Al ser este uno de los pocos estudios hechos en zonas altoandinas, es necesario la realización de estudios en condiciones naturales y en mayores escalas temporales, para evaluar con mayor precisión los efectos sobre la biodiversidad.

Palabras clave: Banco de semillas, eucalipto, pino, lixiviado de hojarasca, plantas exóticas.

ABSTRACT. Invasive exotic plant species cause serious impacts on the structure and functioning of invaded ecosystems, leaving native species at a disadvantage. *Eucalyptus globulus* and *Pinus halepensis* are two species characterized by their wide distribution and high competitive ability. The objective of the study was to compare the allelopathic effect of leaf litter leachate from *E. globulus* and *P. halepensis* on the germination, growth and diversity of high Andean wild plant species. Thirty soil samples were collected from the first 10 cm from 1 m² quadrats. The leachate negatively affected the germination, growth and diversity of wild plant species, particularly eucalyptus leachate. As this is one of the few studies carried out in high Andean areas, it is necessary to carry out studies in natural conditions and on larger time scales, to more accurately evaluate the effects on biodiversity.

Keywords: Eucalyptus, exotic plants, litter leached, pinus, seed bank.

Como citar: Panca-Jevera MP, Villanueva-Mamani DC, Gutierrez-Flores IR (2024) Efecto alelopático de hojarasca de *Eucalyptus globulus* y *Pinus halepensis* en plantas silvestres Altoandinas, Perú. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(1): e3505. DOI: 10.19136/era.a11n1.3505.

INTRODUCCIÓN

La introducción de especies exóticas junto con la destrucción de hábitats, sobreexplotación de recursos, contaminación y cambio climático son las principales causas de la pérdida de diversidad biológica (Capdevila-Argüelles *et al.* 2013). Durante las últimas décadas el ser humano ha eliminado muchas barreras geográficas que han permitido la dispersión e invasión de diversas especies, causando graves impactos en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas afectados (Alonso *et al.* 2015). Algunos de los efectos generados por las especies exóticas son la alteración de la producción primaria, ciclos de agua, nutrientes, secuestro de carbono y el régimen de incendios (Vilà *et al.* 2011, Le-Maitre *et al.* 2011, Dodet y Collet 2012). Además, es de consideración que las plantas exóticas generan efectos alelopáticos sobre el crecimiento de las nativas (Becerra *et al.* 2018).

La alelopatía, del griego *Allelon* significa “uno al otro” y del griego *Pathos* que significa “sufrir”; de modo que, se entiende como el efecto en el que un organismo causa efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de otro. La alelopatía es un fenómeno biológico característico de determinadas plantas, algas, bacterias, corales y hongos (Plett *et al.* 2023, Tokgoz *et al.* 2023, Wu *et al.* 2023), mediante el cual se producen y se liberan al medio sustancias bioquímicas que influyen en el crecimiento y el desarrollo de otros organismos (Narwal 2006). La hipótesis Novel Weapons (NW) (Callaway y Ridenour 2004), indica que las especies exóticas liberan aleloquímicos relativamente inefectivos en las plantas vecinas de su hábitat original, pero altamente inhibitorios del desarrollo de las plantas nativas en los hábitats introducidos (Becerra *et al.* 2018). El hecho de que se pueda dar este fenómeno se debe principalmente a que las especies de plantas nativas no están adaptadas a los aleloquímicos de las especies de plantas exóticas (Inderjit *et al.* 2006).

Dos de las especies ampliamente introducidas a nivel mundial son *Eucalyptus globulus* (L’Her.) Labill (eucalipto) y *Pinus halepensis* (L.) Miller (pino), ya que se las utiliza frecuentemente en programas de forestación y reforestación (Calviño y van Etten, 2018). Estas especies tienen una rápida tasa de crecimiento en comparación con especies forestales nativas y son priorizadas por la calidad de su madera (Luzar 2007, Lorenzo y González 2010). A pesar de la importancia económica, son diversos los efectos negativos generados a nivel de los ecosistemas; tanto el eucalipto como el pino contienen aleloquímicos (terpenos y fenoles) capaces de inhibir la germinación y crecimiento de plántulas (Ballester *et al.* 2011, Puig *et al.* 2018, Bielinis *et al.* 2019). El mayor efecto de los aleloquímicos en las etapas iniciales de desarrollo de las especies, se debe a la inhibición del hipocótilo (Bielinis *et al.* 2019), a la alteración de la fotosíntesis, de la absorción de nutrientes y de la división celular (Santoja *et al.* 2019). Además, el efecto de los aleloquímicos se acentúa en condiciones adversas y duras (Rositska 2020), como las que caracterizan a las zonas altoandinas.

A pesar de haberse realizado varios estudios del efecto alelopático de las dos especies mencionadas (Bayle 2019, Haq *et al.* 2019, Pan *et al.* 2019, Kanatas 2020), hay pocos estudios realizados en zonas altoandinas por encima de los 3 800 msnm, caracterizados por bajas temperaturas y precipitaciones. Así mismo, la mayoría de los estudios evalúan el efecto inhibitorio en la germinación y desarrollo de plántulas, más no en la diversidad de especies. En ese sentido, el objetivo de la investigación fue comparar el efecto alelopático de hojarasca de *E. globulus* y *P. halepensis* sobre la germinación, crecimiento y diversidad de plantas silvestres altoandinas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las muestras de hojarasca de eucalipto y suelo se recolectaron del cerro Lilallata Chaqui, ubicado en el sector Pampilla en el centro poblado de Yapura, distrito de Capachica del departamento de Puno. Se encuentra entre los 15° 41' 24.97" de latitud sur y 69° 49' 42.43" de longitud oeste, y a 3 860 msnm. El estrato arbóreo estuvo compuesto por eucalipto y el estrato herbáceo por especies del género *Baccharis* y *Minthostachys*. Las muestras de hojarasca de pino fueron recogidas del bosque de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicado entre los 15° 49' 20.59" de latitud sur y 70° 0' 59.72" de longitud oeste y a 3 827 msnm. El estrato arbóreo estuvo compuesto principalmente por pino. Según el sistema de clasificación climática de Warren Thornthwaite, ambas zonas de muestreo se ubican en un clima semiseco con otoño e invierno secos-fríos, caracterizado con temperaturas que oscilan entre 16°-1 °C (verano- invierno) y la precipitación anual es de 671 mm, con máximas entre octubre a marzo (SENAMHI 2021). La parte experimental se realizó en el invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

Colección de muestras

Las muestras de hojarasca de eucalipto y pino fueron colectadas de forma aleatoria en 30 puntos de muestreo distanciados a 10 m, a partir de una cuadrícula de 25 cm². Las muestras de suelo fueron recolectadas en 10 cuadrantes de 1m² de los 10 primeros centímetros del suelo. Previo a su uso en las unidades experimentales, las muestras de suelo fueron homogenizadas y tamizadas con una malla de 1 mm, previa remoción de piedras e impurezas como ramas, hojas y cortezas. Se trabajó con el banco de semillas de las muestras de suelo recolectadas.

Diseño experimental

Los lixiviados se obtuvieron mediante filtrado simple de 5 L de agua de lluvia por semana. La obtención del lixiviado fue lenta, debido a que la aplicación se realizó imitando el efecto de la lluvia que se aplicó de forma uniforme en todas las hojas para luego filtrar y decantar el lixiviado. Los lixiviados fueron recolectados en recipientes cerrados y dispuestos en lugares fríos fuera del alcance de la luz solar. Se tuvieron 10 unidades experimentales por cada tratamiento (lixiviado de eucalipto, lixiviado de pino y un grupo control). Las unidades experimentales consistieron en contenedores de 25 cm³, dentro de los cuales se agregaron 100 g de suelo. Cada unidad experimental recibió 50 mL de lixiviado por semana durante tres meses. El grupo control fue irrigado con agua de lluvia que se recolectó diariamente.

VARIABLES ANALIZADAS

Al inicio de la investigación se midió el pH y la temperatura de los lixiviados con un medidor PASCO. También, se registró la temperatura superficial del sustrato en cada unidad experimental utilizando un termómetro infrarrojo (OAKTON, Mini*infraProTM 6). La germinación fue monitoreada diariamente para determinar la proporción de germinaciones vivas y muertas. Para registrar todas las germinaciones nuevas diarias, cada germinación fue marcada con un pin. Una vez estabilizada la curva de germinación acumulada (~30 días) se midió la altura de todos los

individuos germinados durante dos meses. Al término del experimento se determinó la diversidad de especies. Debido a que la investigación fue por un periodo corto, los individuos germinados no alcanzaron la etapa adulta y no fue posible identificar las especies. Por ello, el criterio de determinación de la diversidad de especies se basó en diferencias morfológicas de las hojas de las plántulas. Para el análisis de diversidad se usó el índice de Shannon (H').

Análisis estadístico

La riqueza de especies y abundancia de individuos fueron analizados con la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y con la prueba de diferencias múltiples de Dunn-Bonferroni. Las demás variables fueron analizadas con un ANDEVA y la prueba de T-student, previa verificación de los supuestos de normalidad (Anderson-Darling) y homogeneidad de varianzas (Bartlett). También, se realizó una regresión lineal de la altura de las plántulas con respecto al tiempo de evaluación. En todos los casos se trabajó con un 0.05 de nivel de significancia. Todos los análisis se realizaron en el software R (v.4.2.1) (R Core Team 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las especies exóticas *E. globulus* y *P. halepensis* son de las pocas especies introducidas que se han adaptado a altitudes mayores a 3 500 m. Debido a ello, las poblaciones rurales prefieren a estas especies más que a las nativas para actividades de forestación y reforestación (Luzar 2007), sin tomar en cuenta los efectos negativos en la biodiversidad (Stavi et al. 2023). En las zonas altoandinas, la especie arbórea nativa dominante es del género *Polylepis* (Gareca et al. 2007), la cual brinda una serie de servicios ecosistémicos, como la infiltración del agua en el suelo, previene la erosión del suelo y es hábitat de diversas especies de flora y fauna (Pinos 2020). Las especies de este género tienen una muy baja tasa de germinación (Domic y Capriles 2009) y crecimiento (Vega et al. 2018), por lo que es poco atractivo para las poblaciones rurales. Esto ha hecho que, en diversas partes de Latinoamérica, se hayan reemplazado y mezclado los bosques nativos con plantaciones de pino y eucalipto (Huber et al. 2010, Altamirano y Lara 2010).

Los efectos de las plantaciones de pino y eucalipto, no solo se restringen a la disminución de la diversidad en los sitios que son plantados y zonas aledañas (Gutierrez y Becerra 2017); sino también, genera efectos derivados de los lixiviados generados a partir de su hojarasca (Bonanomi et al. 2021). En esta investigación, el lixiviado del eucalipto tuvo un pH de 6.49; mientras que, la del pino tuvo un pH de 6.20, a una temperatura de ~ 21 °C. El grupo control tuvo un pH de 7.24 a una temperatura de 18 °C, siendo un pH más neutro en comparación con los lixiviados de pino y eucalipto. Las germinaciones iniciaron al sexto día, tanto a los que se aplicaron lixiviados de pino y eucalipto como en el grupo control, aunque en el grupo control el número de germinaciones fue mayor. En el tratamiento con lixiviado de eucalipto, el máximo nivel de germinación se alcanzó en el octavo día; mientras que, en el grupo control y en el tratamiento con lixiviado de pino se alcanzó en el día 15. Luego, en todos los casos, el número de germinaciones disminuyó progresivamente, siendo más pronunciado en el tratamiento con lixiviado de eucalipto (Figura 1). El comportamiento de la curva de germinación acumulada fue similar entre el grupo control y el tratamiento con lixiviado de pino. El menor nivel de germinación acumulada fue en el tratamiento con lixiviado de

eucalipto, con un máximo de 366 semillas germinadas. En cambio, en el grupo control y en el tratamiento con lixiviado de pino, se alcanzó a 626 y 519 semillas germinadas, respectivamente. La curva de acumulación de semillas germinadas con el tratamiento de lixiviado de eucalipto se estabilizó en el día 37; mientras que, en el grupo control y en el tratamiento con lixiviado de pino se estabilizó a los 40 días después de haber iniciado el experimento (Figura 2). Respecto al crecimiento de plántulas, en el grupo control el crecimiento de las plántulas fue sostenido durante las cuatro semanas de evaluación ($R^2 = 0.34$, $p < 0.001$) (Figura 3A). En cambio, en el tratamiento con lixiviados de eucalipto ($R^2 = 0.07$, $P = 0.059$) y pino ($R^2 = 0.03$, $P = 0.978$) el crecimiento fue bajo y negativo, estando influido por el alto nivel de mortalidad de las plántulas (Figura 3B y 3C). Otros estudios también encontraron mayores efectos negativos del eucalipto en comparación al pino, roble o acacia (Souto *et al.* 1994), pudiendo deberse al tipo y proporción de aleloquímicos que presentan. En general, los principales constituyentes de los aleloquímicos son compuestos fenólicos, como β -cariofileno y ácidos orgánicos (Puig *et al.* 2018, Santonja *et al.* 2019). Estos compuestos alteran las características de los suelos, disminuyendo la concentración de bases (Ca, Mg, K) (Frank y Finckh 1997); y, por lo tanto, disminuyen el pH. Estos cambios, junto con la exposición directa a los aleloquímicos, inhiben la germinación y crecimiento de las raíces de las plántulas (Santoja *et al.* 2019). Por ello, los aleloquímicos del eucalipto y pino han sido evaluados como potenciales herbicidas y fungicidas, obteniendo mejores resultados en comparación a tratamientos químicos convencionales (Hamrouni *et al.* 2015, Puig *et al.* 2018, Gil-Mora y Casas-Toribio 2023).

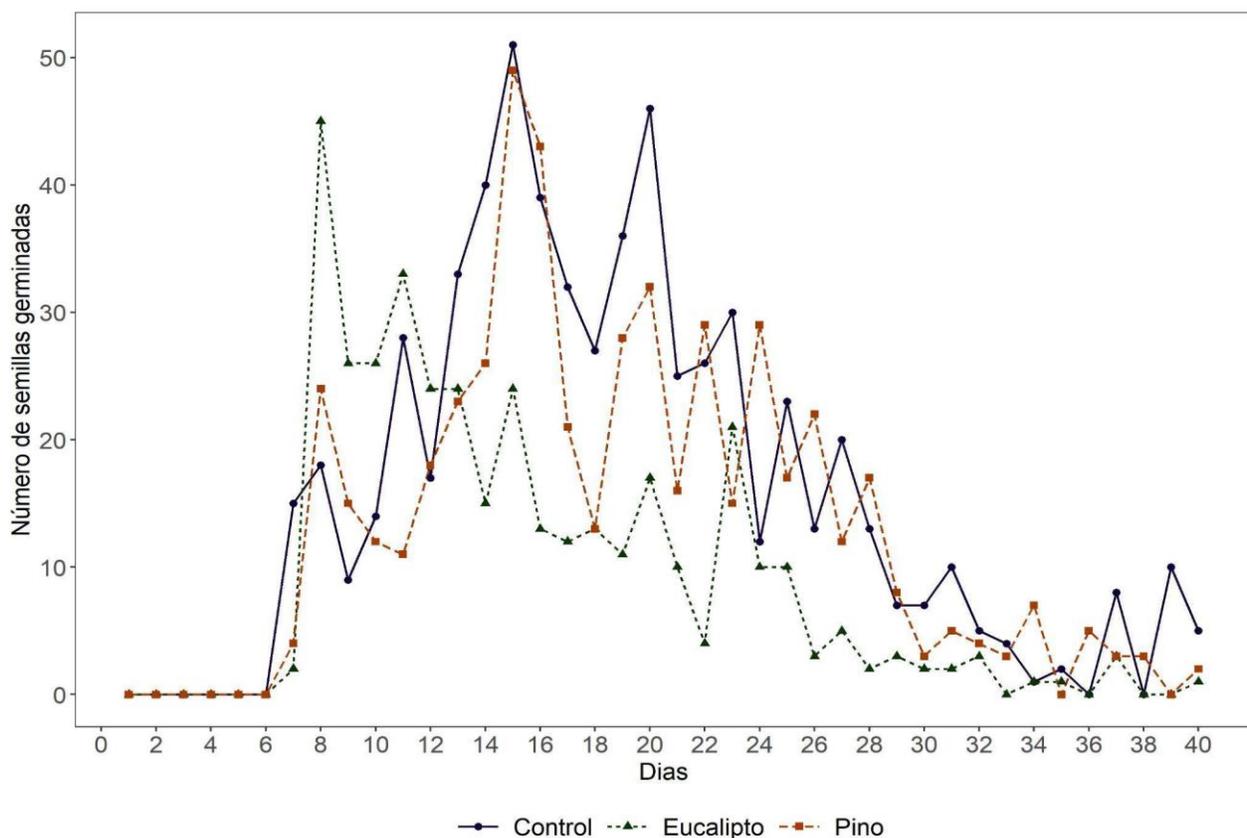


Figura 1. Número de semillas germinadas tratadas con lixiviados de eucalipto, pino y agua de lluvia (grupo control).

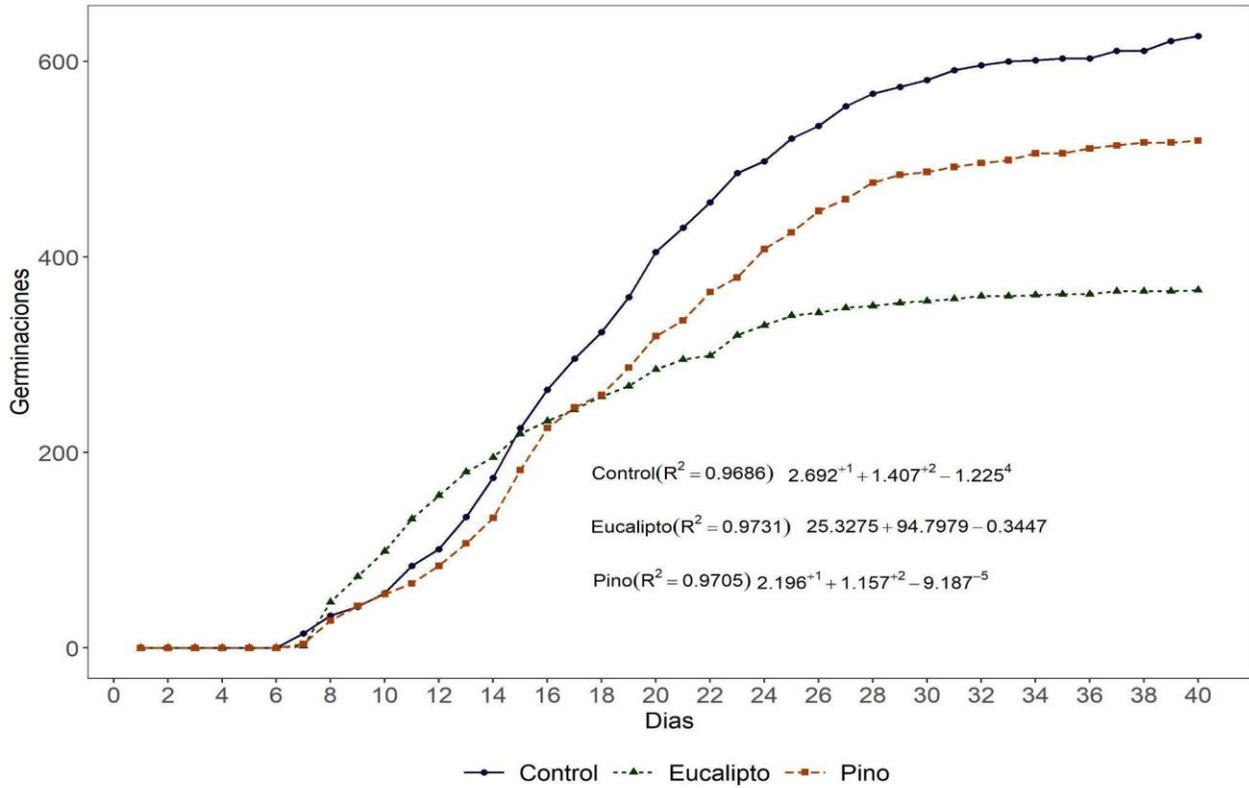


Figura 2. Curvas de germinación acumulada de plantas silvestres irrigadas con lixiviados de eucalipto y pino, y un grupo control.

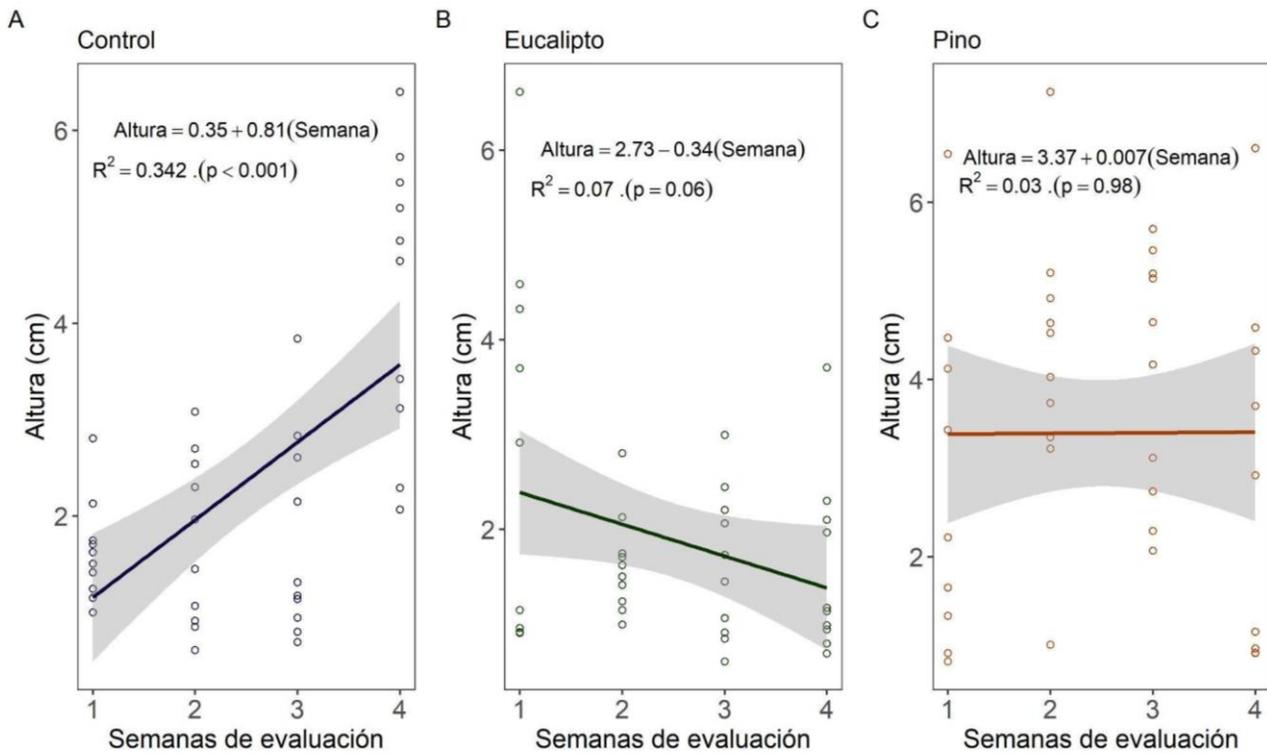


Figura 3. Efecto de los lixiviados de eucalipto y pino y grupo control en la altura de plantas silvestres.

Se evidenció un efecto negativo de los lixiviados sobre la diversidad de especies, sobre todo del eucalipto en donde se encontraron diferencias significativas en la abundancia de las especies germinadas ($X^2 = 6.885$, $gl = 2$, $P = 0.032$). Con el lixiviado de eucalipto se registró una menor abundancia en comparación al tratamiento con lixiviado de pino y el grupo control (Figura 4A). En el grupo control se encontró mayor riqueza de especies en comparación con los lixiviados de eucalipto y pino ($X^2 = 10.243$, $gl = 2$, $P = 0.006$) (Figura 4B). Del mismo modo, la diversidad de especies según el índice de Shannon fue mayor en el grupo control, en comparación a los tratamientos con los lixiviados de pino y eucalipto ($F = 7.531$, $gl = 2$, $P = 0.003$) (Figura 4C). El efecto negativo de los aleloquímicos sobre la diversidad de especies se restringiría a la etapa juvenil de las plantaciones; en el que, al estar en pleno crecimiento, la demanda por los nutrientes es alta (McCoy *et al.*, 2022). Posterior a esta etapa, se puede evidenciar una recuperación de la diversidad (Cao *et al.* 2010), pudiendo establecerse exitosamente especies nativas (Senbeta y Teketay 2001, Guerrero y Bustamente 2007).

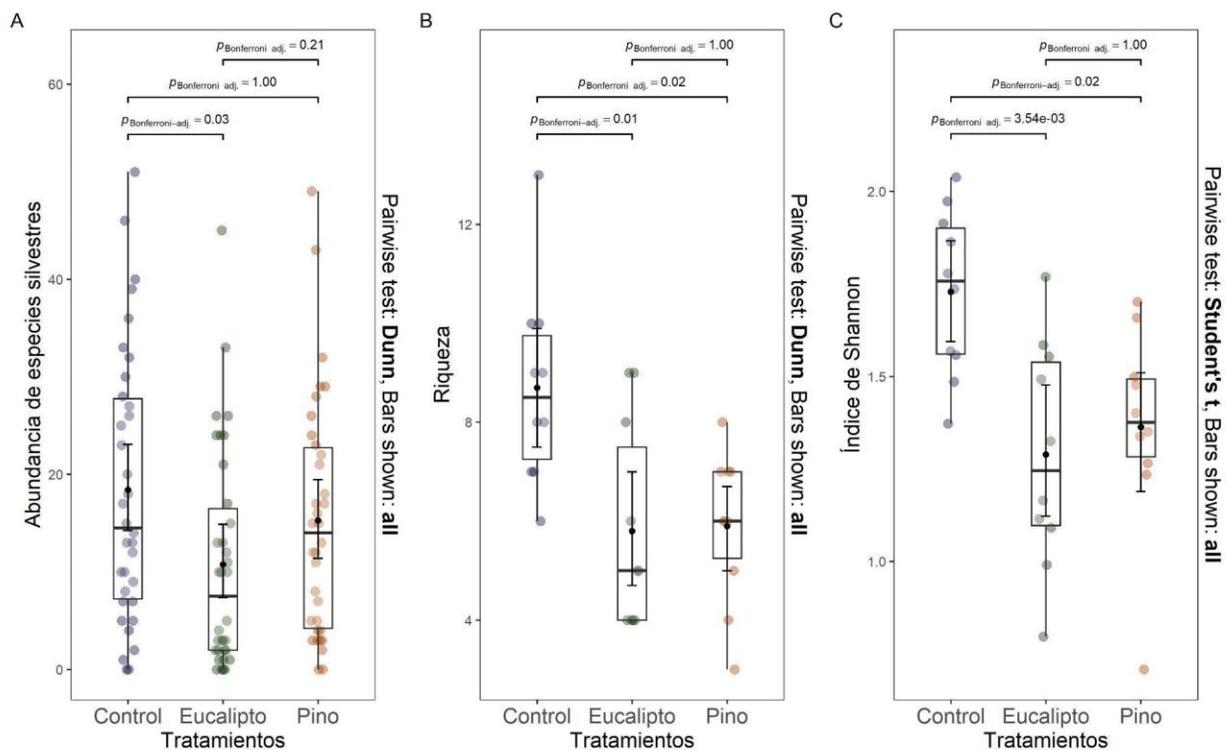


Figura 4. Efecto de los lixiviados de eucalipto y pino y grupo control en (A) abundancia de individuos. (B) riqueza de especies y (C) diversidad de especies de plantas silvestres.

En el Perú, la especie que en mayor medida se ha plantado es el eucalipto (Luzar 2007), dejando pasar por alto el efecto negativo que tendría en la biodiversidad. Además, las condiciones extremas que caracterizan a las zonas altoandinas, en términos de temperatura y disponibilidad hídrica, podría conducir a un mayor efecto en la biodiversidad (Rositska 2020), siendo necesario evaluar este efecto en diferentes elevaciones (Karki *et al.* 2023). Aunque no se pudo identificar a las especies debido al corto periodo de evaluación, algunas de las especies que lograron germinar y crecer podría tratarse de especies exóticas y generalistas, tal como reportaron Franck y Finckh

(1997) y Chu *et al.* (2014). Así mismo, el efecto cambia según grupos funcionales, siendo mayor en dicotiledóneas que en monocotiledóneas (Alrababah *et al.* 2009). Entonces, son necesarios estudios que determinen el efecto alelopático de las especies nativas en comparación con las exóticas y si difiere según los grupos funcionales de las plantas (Gaofeng *et al.* 2018).

Este es uno de los pocos estudios que evalúa el efecto de los lixiviados de plantaciones de pino y eucalipto ubicados por encima de los 3 800 msnm. Se evidenció efectos negativos de los lixiviados en la germinación, crecimiento y diversidad de plantas silvestres, sobre todo del lixiviado de eucalipto. El estudio realizado tuvo un corto periodo de duración y se realizó en condiciones controladas, siendo necesario estudios en condiciones naturales y por mayor tiempo a fin de determinar los efectos en la composición y estructura de la biodiversidad. Así mismo, es necesario evaluar en diferentes altitudes, a fin de evidenciar si el efecto sería mayor en las zonas altoandinas, donde exitosamente se han desarrollado plantaciones de pino y eucalipto.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó gracias al apoyo del jefe de la Oficina de Gestión Ambiental Puno, el Dr. Ángel Canales Gutiérrez a quien agradecemos por facilitarnos el uso de las instalaciones del invernadero y los instrumentos de medición necesarios para la realización de nuestro proyecto. Asimismo, agradecemos las evaluaciones, comentarios y sugerencias de Marisol Sheyla Chambi Alarcon y César Lipa Luque; y a los dos revisores anónimos que contribuyeron en la mejora del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Alonso Á, Castro-Díez P (2015) Las invasiones biológicas y su impacto en los ecosistemas: *Ecosistemas* 24: 1-3. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-1.01>
- Altamirano A, Lara A (2010) Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. *Bosque* 31: 53-64. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000100007>
- Alrababah MA, Tadros MJ, Samarah NH, Ghosheh H (2009) Allelopathic effects of *Pinus halepensis* and *Quercus coccifera* on the germination of Mediterranean crop seeds. *New Forests* 38: 261-272. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-009-9145-8>
- Ballester A, Arias A, Cobián B, López-Calvo E, Viéitez-Cortizo E (2011) Estudio de potenciales alelopáticos originados por "*Eucalyptus globulus*" Labill., "*Pinus pinaster*" Ait. y "*Pinus radiata*" D. *Pastos* 12: 239-254.
- Bayle GK (2019) Ecological and social impacts of eucalyptus tree plantation on the environment. *Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management* 5: 1-12. <https://doi.org/10.3329/jbcm.v5i1.42189>
- Becerra PI, Catford JA, Inderjit U, McLeod ML, Andonian K, Aschehoug ET, Montesinos D, Callaway RM (2018) Inhibitory effects of *Eucalyptus globulus* on understory plant growth and species richness are greater in non-native regions. *Global Ecology and Biogeography* 27: 68-76. <https://doi.org/10.1111/geb.12676>
- Bielinis E, Kwiatkowski J, Boiko S (2019) Identification of *Pinus sylvestris* clones with highest and lowest allelopathic potentials. *Baltic Forestry* 25: 52-58. <https://doi.org/10.46490/vol25iss1pp052>
- Bonanomi G, Zotti M, Idbella M, Mazzoleni S, Abd-ElGawad AM (2021) Microbiota modulation of allelopathy depends on litter chemistry: Mitigation or exacerbation? *Science of the Total Environment* 776. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145942>
- Callaway RM, Ridenour WM (2004) Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 436-443.

- Calviño-Cancela M, van Etten EJ (2018) Invasive potential of *Eucalyptus globulus* and *Pinus radiata* into native eucalypt forests in Western Australia. *Forest Ecology and Management* 424: 246-258. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2018.05.001>
- Cao Y, Fu S, Zou X, Cao H, Shao Y, Zhou L (2010) Soil microbial community composition under *Eucalyptus* plantations of different age in subtropical China. *European Journal of Soil Biology* 46: 128-135. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.12.006>
- Capdevila-Argüelles L, Zilletti B, Álvarez VÁ (2013) Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies Exóticas Invasoras. 22. *Memorias de La Real Sociedad Española de Historia Natural* 10: 55-75.
- Chu C, Mortimer PE, Wang H, Wang Y, Liu X, Yu S (2014) Allelopathic effects of *Eucalyptus* on native and introduced tree species. *Forest Ecology and Management* 323: 79-84. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.004>
- Dodet M, Collet C (2012) When should exotic forest plantation tree species be considered as an invasive threat and how should we treat them? *Biological Invasions* 14: 1765-1778. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0202-4>
- Domic A, Capriles J (2009) Allometry and effects of extreme elevation on growth velocity of the Andean tree *Polylepis tarapacana* Philippi (Rosaceae). *Plant Ecology* 205: 223-234. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9612-5>
- Frank D, Finckh M (1997) Impactos de las plantaciones de pino oregón sobre la vegetación y el suelo en la zona centro-sur. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 191-211.
- Gaofeng X, Shicai S, Fudou Z, Yun Z, Hisashi KN, David RC (2018) Relationship Between Allelopathic Effects and Functional Traits of Different Allelopathic Potential Rice Accessions at Different Growth Stages. *Rice Science* 25: 32-41. <https://doi.org/10.1016/J.RSCI.2017.09.001>
- Gareca E, Martinez Y, Bustamante R, Aguirre L, Siles M (2007) Regeneration patterns of *Polylepis subtusalbida* growing with the exotic trees *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* at Parque Nacional Tunari, Bolivia. *Plant Ecology* 193: 253-263. <https://doi.org/10.1007/s11258-007-9263-3>
- Gil-Mora JE, Casas-Toribio SM (2023). Extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* Labill. en la germinación y desarrollo de cultivos andinos: un estudio de alelopatía en Cusco, Perú. *Revista Forestal Del Perú* 38: 60-80. <https://doi.org/10.21704/RFP.V38I1.1596>
- Guerrero P, Bustamante R (2007) Can native tree species regenerate in *Pinus radiata* plantations in Chile? Evidence from field and laboratory experiments. *Forest Ecology and Management* 253: 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.006>
- Gutierrez IR, Becerra P (2017) The effect of native forest replacement by *Pinus radiata* plantations on riparian plant communities in Chile. *Plant Ecology and Diversity* 10: 65-75. <https://doi.org/10.1080/17550874.2017.1294630>
- Haq A, Muhammad Z, Badshah L, Burni T, Ullah I (2019) Allelopathic effect of *Eucalyptus camaldulensis* L. on seed germination and seedling growth of *Mungbean Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Pakistan Journal of Weed Science Research* 25: 251-257. [https://doi.org/10.28941/25-3\(2019\)-7](https://doi.org/10.28941/25-3(2019)-7)
- Hamrouni L, Hanana M, Amri I, Romane E, Gargouri S, Jamoussi B (2015) Allelopathic effects of essential oils of *Pinus halepensis* Miller: chemical composition and study of their antifungal and herbicidal activities. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 48: 145-158. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.884667>
- Huber A, Iroumé A, Mohr C, Frêne C (2010) Efecto de plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Chile. *Bosque* 31: 219-230. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000300006>
- Kanatas P (2020) Potential role of *Eucalyptus* spp. and *Acacia* spp. allelochemicals in weed management. *Chilean journal of agricultural research* 80: 452-458. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000300452>
- Karki D, Pandeya B, Ghimire B (2023) Diversity and distribution of invasive alien plant species along elevation gradient in Makawanpur district, central Nepal. *Journal of Ecology and Environment* 47. <https://doi.org/10.5141/JEE.23.032>
- Inderjit, Callaway RM, Vivanco JM (2006) Plant biochemistry helps to understand invasion ecology. *Trends in Plant Science* 11: 574-580.
- Le-Maitre DC, Gaertner M, Marchante E, Ens EJ, Holmes PM, Pauchard A, O'Farrell PJ, Rogers AM, Blanchard R, Blignaut J, Richardson DM (2011) Impacts of invasive Australian acacias: implications for management and restoration. *Diversity and Distributions* 17: 1015-1029. <https://doi.org/10.1111/J.1472-4642.2011.00816.X>
- Lorenzo P, González L (2010) Alelopatía: Una característica ecofisiológica que favorece la capacidad invasora de las especies vegetales. *Ecosistemas* 19: 79-91. <https://doi.org/10.7818/re.2014.19-1.00>

- Luzar J (2007) The political ecology of a “Forest Transition”: *Eucalyptus* forestry in the Southern Peruvian Andes. *Ethnobotany Research and Applications* 5: 85-93.
- McCoy RM, Widhalm JR, McNickle GG (2022) Allelopathy as an evolutionary game. *Plant Direct* 6. <https://doi.org/10.1002/pld3.382>
- Narwal SS (2006) Allelopathy in ecological sustainable agriculture. *Allelopathy* 25: 51-72. https://doi.org/10.1007/1-4020-4280-9_24
- Pan M, Lei Q, Zang N, Zhang H (2019) A Strategy Based on GC-MS/MS, UPLC-MS/MS and virtual molecular docking for analysis and prediction of bioactive compounds in *Eucalyptus globulus* leaves. *International Journal of Molecular Sciences* 20: 3875. <https://doi.org/10.3390/ijms20163875>.
- Pinos J (2020) Challenges and conservation implications of *Polylepis* woodlands in the Andean region: Defining actions for sustainable management. *Hacquetia* 19: 143-153. <https://doi.org/10.2478/hacq-2020-0001>
- Plett KL, Monk M, Carnegie AJ, Powell JR, Green P, Plett JM (2023) Reduced growth of *Pinus radiata* in the presence of the Australian native *Allocasuarina nana* via direct allelopathy and inhibition of the pine-supporting mycorrhizal community. *Applied Soil Ecology* 187. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104852>
- Puig CG, Reigosa MJ, Valentão P, Andrade PB, Pedrol N (2018) Unravelling the bioherbicide potential of *Eucalyptus globulus* Labill: Biochemistry and effects of its aqueous extract. *PLOS ONE* 13(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192872>
- R Development Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>. Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2022.
- Rositska NV (2020) Influence of drought on allelopathic properties of *Pinus sylvestris* L. *Plant Introduction* 85/86: 41-49. <https://doi.org/10.46341/PI2019001>
- Santonja M, Bousquet-Mélou A, Greff S, Ormeño E, Fernandez C (2019) Allelopathic effects of volatile organic compounds released from *Pinus halepensis* needles and roots. *Ecology and Evolution* 9: 8201-8213. <https://doi.org/10.1002/ece3.5390>
- Senbeta F, Teketay D (2001) Regeneration of indigenous woody species under the canopies of tree plantations in Central Ethiopia. *Tropical Ecology* 42: 175-185.
- SENAMHI (2021) Climas del Perú. Mapa de clasificación Climática Nacional. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-09410 <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>. Fecha de consulta: 25 de octubre de 2022.
- Souto XC, Bolaño JC, González L, Reigosa MJ (2001) Allelopathic effects of tree species on some soil microbial populations and herbaceous plants. *Biología Plantarum* 44: 269-275.
- Stavi I, Xu C, Argaman E (2023) Climate-smart forestry in the world's drylands: A review of challenges and opportunities. *The Anthropocene Review*. SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/20530196231182354>
- Tokgoz A, Emsen B, Dogan M (2023) Allelopathic effects of some lichens on growth and antioxidant activities of *in vitro* propagated *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. *Journal of Taibah University for Science* 17. <https://doi.org/10.1080/16583655.2023.2229595>
- Vega C, Villegas G, Rocabado P, Quezada J, López M, Quevedo A (2018) Biología reproductiva de tres especies de *Polylepis* (*P. neglecta*, *P. incarum* y *P. pacensis*), con énfasis en su comportamiento germinativo. *Ecología Austral* 28: 310-324. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.703>
- Vilà M, Espinar JL, Hejda M, Hulme PE, Jarošík V, Maron JL, Pergl J, Schaffner U, Sun Y, Pyšek P (2011) Ecological impacts of invasive alien plants: A meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters* 14: 702-708. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x>
- Wu L, Li L, Dong P, Zhang L, Tang H, Han Y, Xie G (2023) Allelopathy of p-coumaric acid on *Limnothrix* sp., a bloom-forming cyanobacteria. *Algal Research* 103268. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103268>