

Bosques andinos de *Polylepis* y su capacidad de mitigación al cambio climático

Andean *Polylepis* forests and their climate change mitigation capacity

Eduardo Luisenrique Sanchez Carrión^{1*} 
y Edwin Julio Palomino Cadenas¹ 

1 Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.



Citar como: Sanchez Carrión, L. E. y Palomino Cadenas, E. J. (2025). «Bosques andinos de *Polylepis* y su capacidad de mitigación al cambio climático». *South Sustainability*, 6(2), e129.
DOI: 10.21142/SS-0602-2025-e129

Artículo recibido: 10/3/2025
Revisado por pares
Artículo aprobado: 17/8/2025

El presente manuscrito fue seleccionado y presentado en el evento «Diálogos académicos: aportes de la ciencia a nuestro desafío climático, 7.ª ed.» (julio de 2024), organizado por el Ministerio del Ambiente (Minam) y el Grupo Impulsor de Acción Climática de la Academia.



©Los autores, 2025. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
esanchezc@unasam.edu.pe

RESUMEN

Los bosques de *Polylepis* son fundamentales para la regulación del carbono en los ecosistemas andinos. Un estudio realizado en el Parque Nacional Huascarán (Perú) ha evidenciado que los bosques naturales conservados y plantados de *Polylepis* son eficientes en el almacenamiento y la captura de carbono en la biomasa de los árboles y en el suelo. A partir de ello, se debe fortalecer la conservación de los bosques *Polylepis*. Esto permitirá que las autoridades y poblaciones locales, regionales y nacionales establezcan decisiones informadas para desarrollar políticas públicas de propagación y conservación de especies de *Polylepis* en zonas andinas, para incrementar los sumideros de carbono y generar oportunidades de mercados de carbono, con la finalidad de reducir los impactos de la variación climática actual en ecosistemas de montaña del Perú.

Palabras clave: bosque de *Polylepis*, reservas de carbono, captura de carbono, Parque Nacional Huascarán

ABSTRACT

In Andean ecosystems, *Polylepis* forests are essential for carbon regulation. A study conducted in Huascarán National Park, Peru, has shown that both natural conserved and planted *Polylepis* forests are efficient at storing and capturing carbon within the tree biomass and soil, indicating the need for improved conservation initiatives across all *Polylepis* forests. This will enable regional and national authorities and local populations to arrive at informed decisions, and to develop public policies for the propagation and conservation of *Polylepis* species in Andean areas, in order to increase carbon sinks and generate carbon market opportunities, with the aim of reducing the impacts of current climate variation on Peruvian mountain ecosystems.

Keywords: *Polylepis* forest, carbon reserves, carbon capture, Huascarán National Park



1. Introducción

En la actualidad los bosques de todo el mundo se encuentran bajo una enorme presión antrópica (FAO y PNUMA, 2020; Curtis *et al.*, 2018). El sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022) menciona que los bosques están bajo serias amenazas, mientras que los bosques gestionados de manera sostenible desempeñan un papel importante para mitigar y reducir la cantidad de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), y la adaptación a los impactos y efectos de la variación climática, donde se propone avanzar hacia la descarbonización y la resiliencia.

El Perú cuenta con grandes extensiones de bosques que son importantes reservas de carbono a nivel global. Asimismo, la tala ilegal y deforestación de estos bosques han aumentado rápidamente, ya que representan el 51 % del total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del Perú (Minam, 2016). En muchas regiones del país existen altos índices de degradación de estos ecosistemas por impactos relacionados con el cambio climático (Trinidad y Ortiz, 2019). Estos lugares son de gran importancia y, a su vez, motivo de preocupación, ya que están expuestos a constantes actividades de tala ilegal, deforestación, incendios y cambio de uso de suelo (FAO y PNUMA, 2020). Asimismo, estas presiones han contribuido significativamente a la pérdida de carbono almacenado en los ecosistemas tropicales. Según Baccini *et al.* (2017), entre 2003 y 2014, los bosques tropicales emitieron un promedio neto de 425,2 teragramos de carbono por año (Tg C/año), como resultado de una pérdida bruta de 861,7 Tg C/año y una ganancia por crecimiento de solo 436,5 Tg C/año. Por su parte, Gatti *et al.* (2021), mediante mediciones atmosféricas directas en torres de flujo, encontraron que la Amazonía oriental emite aproximadamente $0,29 \pm 0,064$ petagramos de CO₂ por año (Pg CO₂/año), lo que indica que ya no compensa sus propias emisiones y evidencia un cambio estructural en su función ecológica. En contraste, estudios en los Andes han mostrado que los bosques andinos de *Polylepis* en recuperación pueden secuestrar hasta 2,5 Mg C/ha/año en biomasa aérea, y destaca su valor como sumideros efectivos de carbono tras la perturbación humana (Calderón-Loor *et al.*, 2020).

Los bosques andinos en el Perú abarcan solo el 0,17 % del territorio nacional. El género *Polylepis* resalta como uno de los grupos taxonómicos más importantes en este tipo de formación vegetal (Minam, 2015). La expansión de la ganadería y la agricultura en los Andes en los últimos siglos, junto con la quema de pastizales, la deforestación y la extracción de leña, son las principales causas de la degradación de estos ecosistemas. Estas actividades han llevado a un aumento en la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad y la mayor vulnerabilidad al cambio climático (Fjeldså y Kessler, 2004).

En ese contexto, las distintas especies de *Polylepis* presentes en el Parque Nacional Huascarán y la cordillera Blanca enfrentan impactos ambientales significativos derivados de las actividades humanas. Entre las principales amenazas se encuentran la fragmentación, la tala y la quema de los bosques, lo que compromete sus funciones ecosistémicas y afecta negativamente la biodiversidad asociada (Sernanp, 2017; Fjeldså y Kessler, 1996). Estas presiones son ejercidas, en gran parte, por las comunidades locales, tal como se ha documentado en diversas regiones andinas, donde los *Polylepis* siguen enfrentando intervenciones constantes que ponen en riesgo su conservación (Fuentealba y Sevillano, 2016). Este fenómeno afecta negativamente en el control de la erosión, la provisión de agua, la regulación del clima, la protección de la biodiversidad de flora y fauna, así como la capacidad de almacenamiento y captura de carbono (Fjeldså y Kessler, 1996). En el Parque Nacional Huascarán y la cordillera Blanca, las especies del género *Polylepis* enfrentan significativos impactos ambientales derivados de las actividades humanas. Las principales amenazas incluyen la fragmentación, la tala y la quema de los bosques, factores que comprometen sus funciones ecosistémicas y afectan negativamente a la biodiversidad asociada (Sernanp, 2017; Fjeldså y Kessler, 1996).

Los bosques andinos relictos, donde aún persisten especies nativas como las del género *Polylepis*, se encuentran altamente fragmentados y ocupan una proporción muy reducida del paisaje andino, lo que refleja su estado crítico de conservación (Fjeldså y Kessler, 1996; Cierjacks *et al.*, 2008). Esta situación pone en riesgo importantes servicios ecosistémicos que proveen, tales como el control de la erosión, la regulación del clima, la provisión y el almacenamiento de agua, la protección de la biodiversidad y la captura de carbono. A pesar de esta fragmentación y del entorno desafiante en el que se desarrollan, los bosques de *Polylepis* han demostrado una notable capacidad de secuestro de carbono. En el sur del Ecuador, Montalvo *et al.* (2018) evidenciaron que estos ecosistemas presentan una diversidad arbórea significativa y una alta tasa de captura de carbono, atribuida a sus adaptaciones morfológicas y funcionales a condiciones extremas. En el caso del Perú, Vásquez *et al.* (2014) desarrollaron una ecuación alométrica específica para *Polylepis incana*, lo que permitió estimar el carbono total almacenado en el ecosistema, incluyendo biomasa aérea, raíces y suelo. El estudio reportó un stock total de 439 Mg C/ha, con más del 90 % correspondiente al carbono edáfico. Estos hallazgos subrayan que, pese a su condición fragmentada, los remanentes de *Polylepis* constituyen reservorios clave de carbono, especialmente en el suelo, y son fundamentales en las estrategias de mitigación del cambio climático en ecosistemas de alta montaña.

Por ello, aunque los remanentes de *Polylepis* han demostrado ser importantes reservorios de carbono,

aún existen pocas investigaciones que evalúen el almacenamiento y la captura de carbono en plantaciones de esta especie y su capacidad para replicar las funciones ecosistémicas de los bosques nativos (Cierjacks *et al.*, 2008). La mayoría de los estudios se han enfocado en especies arbóreas de uso comercial, cultivos agrícolas y sistemas agroforestales, lo que limita el conocimiento sobre el rol específico de *Polylepis* en la regulación del carbono en la vegetación y el suelo (Vásquez *et al.*, 2014; Gareca *et al.*, 2018). Esta brecha también impide estimar con precisión el valor económico de su capacidad de captura de carbono, un aspecto clave para diseñar estrategias de adaptación frente a la variabilidad climática en los ecosistemas andinos (Sánchez, 2024).

2. Enfoque y discusión

El estudio realizado por Sanchez (2024) evaluó las reservas totales de carbono almacenado en la biomasa vegetal y suelo a 50 cm de profundidad, así como el valor económico de captura de carbono a partir del CO₂ fijado y del precio social del carbono estimado para el Perú (Pica *et al.*, 2024) en dos escenarios. Uno en un bosque natural conservado de *Polylepis* (49,15 ha) de la quebrada Llaca, y el otro en una plantación de *Polylepis* (6,96 ha) con más de 30 años de antigüedad de la portada Quillcayhuanca en el Parque Nacional Huascarán, mediante la estratificación de bosque denso y muy denso definidos con base en criterios estructurales y de cobertura de dosel (Minam, 2015; FAO, 2020) y la metodología del ICRAF (2009) (Figura 1).

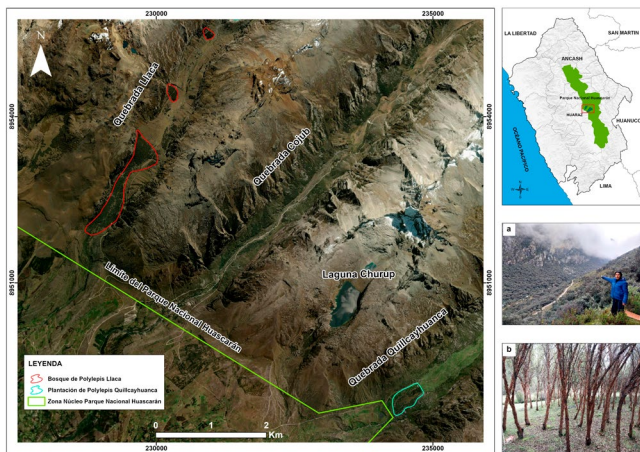


Figura 1. a) Bosque relicto natural de *Polylepis*, quebrada Llaca. b) Bosque plantado de *Polylepis*, quebrada Quillcayhuanca. Nota. Extraído de Inaigem (2016).

El estudio indica que el bosque de Llaca registró una mayor cantidad de carbono total almacenado en la vegetación, en el bosque muy denso 390,2 tC/ha y denso de 100,3 tC/ha con un total de 491 tC/ha, debido a la predominancia de especies endémicas como *Polylepis albicans* y *Polylepis weberbaueri*, con diámetros a la altura del pecho (DAP) que varían entre 7 cm y 46 cm. Esta composición estructural refleja la antigüedad

y el buen estado de conservación del ecosistema. Esta tendencia también se observa en ecosistemas andinos bien conservados, como el Parque Nacional de Cutervo, con 749,7 tC/ha de carbono total almacenado en la biomasa aérea, la hojarasca y el suelo. Ello confirma que los bosques montanos húmedos pueden alcanzar altos niveles de captura en buenas condiciones (Avellaneda, 2024). En contraste, el bosque de Quillcayhuanca registró en el bosque muy denso 101,2 tC/ha y denso de 84,7 tC/ha, con un total de 186 tC/ha, donde predomina la plantación de *Polylepis racemosa*, acompañada por la presencia de eucalipto, con DAP de entre 4 cm y 30 cm (Figura 2). Este bosque se encuentra sometido a una alta presión antrópica, agravada por su proximidad a una zona turística y de recreación establecida por el Sernanp (2020). Ello ha generado afectaciones permanentes al ecosistema debido al pastoreo, la tala y las actividades turísticas con escaso control, a pesar de la existencia de un puesto de vigilancia (Vidal y Azpilicueta, 2016; Sánchez, 2024).

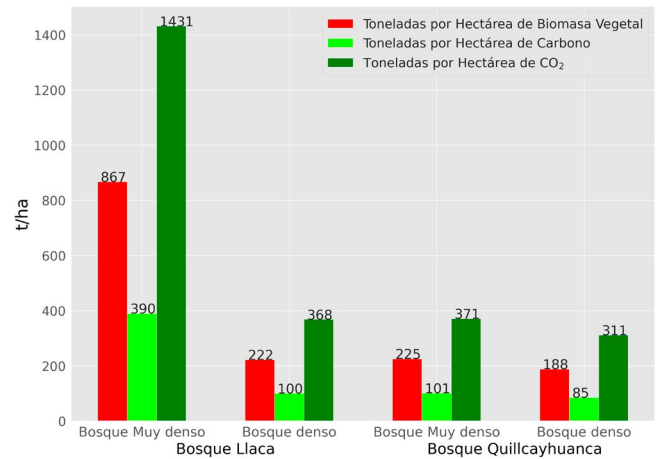


Figura 2. Cantidad total carbono orgánico almacenado y CO₂ fijado de la biomasa vegetal (t/ha).

El almacenamiento de carbono en los bosques de *Polylepis* no se concentra únicamente en la biomasa vegetal de los árboles, sino también en el suelo (Vásquez *et al.*, 2014). En particular, el estudio confirma esta tendencia: en el bosque de Llaca, la biomasa vegetal representa el 43,78 % del carbono orgánico total, mientras que el suelo concentra el 56,22 %. En el bosque de Quillcayhuanca, esta proporción es aún más marcada: solo el 26,01 % del carbono está en la biomasa y el 73,99 %, en el suelo (Figura 3). De manera similar, en bosques de *Polylepis incana*, hasta el 90,6 % del carbono del ecosistema se encuentra en el suelo, una cifra comparable con la registrada en los pastizales andinos de la puna del Parque Nacional del Manu (Gibbon *et al.*, 2010). Esta alta proporción de carbono edáfico se explica por la baja biomasa arbórea y las bajas temperaturas, que ralentizan la descomposición y favorecen su acumulación (Schlesinger y Bernhardt, 2013; Moser *et al.*, 2008). No obstante, en bosques ubicados más cerca del ecuador, el suelo almacena solo

entre el 10 % y el 30 % del carbono total (Fehse *et al.*, 2002), lo que evidencia una alta variabilidad espacial. Esta variabilidad también se relaciona con el grado de disturbio humano, ya que se ha observado que ecosistemas andinos pueden recuperar su capacidad de secuestro de carbono tras procesos de restauración (Calderón-Loor *et al.*, 2020).

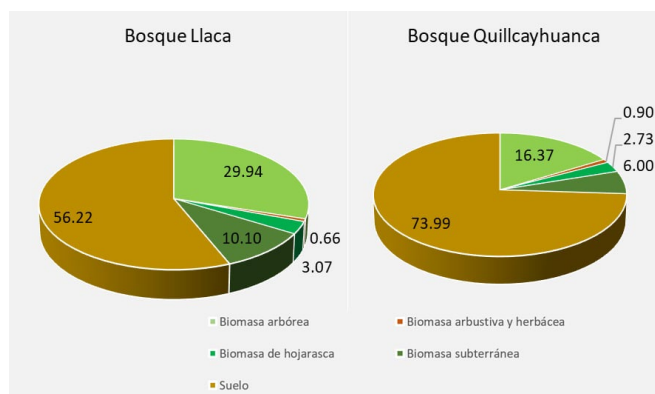


Figura 3. Cantidad total de carbono orgánico en los bosques de estudio (%).

Por otro lado, el estudio estimó el valor económico de la cantidad total de captura de carbono con base en el valor del CO₂ fijado y al precio social de mercado de US\$ 43, proyectado a 2030 (Pica *et al.*, 2024). Bajo este escenario, el bosque de Llaca registró un valor de US\$ 3 548 723,85 tCO₂e, y el de Quillcayhuanca, US\$ 370 340,53 tCO₂e. Estos resultados se alinean con lo propuesto por Busch *et al.* (2024), quienes señalan que precios de US\$ 20-100/tCO₂ son adecuados para financiar proyectos de restauración efectivos, especialmente en regiones tropicales y montañosas. Esto refuerza la importancia de establecer políticas que integren el valor del carbono como incentivo para la conservación y el manejo sostenible de los bosques andinos.

Por ello, los hallazgos del estudio resaltan la importancia de considerar el carbono de la biomasa y suelo de los bosques *Polylepis*, con el objetivo de desarrollar mecanismos de financiamiento climático como REDD+, particularmente en ecosistemas andinos donde pueden representar la mayor parte del carbono total. Ignorar este componente conduce a una subvaloración del potencial real de mitigación que ofrecen los bosques de *Polylepis*. El informe de procedimientos de aprobación y registro de proyectos REDD+ (Che Piu y García, 2011) ya contempla las propuestas de procedimiento para la revisión y aprobación de Proyectos REDD+ por parte del Gobierno de Perú. Esta visión ha sido reforzada por la Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático (Minam, 2016) y los lineamientos del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor, 2018) para ecosistemas andinos, que reconocen la necesidad de adaptar los sistemas de monitoreo y reporte a las particularidades de estos ecosistemas. En la misma línea, estudios advierten que

los enfoques centrados únicamente en la biomasa aérea limitan la efectividad de REDD+ en los Andes (Llambí y Garcés, 2021).

Además, es importante fortalecer la recolección de datos sobre las reservas de carbono orgánico en bosques naturales y plantaciones de *Polylepis* en zonas andinas, a fin de evaluar su potencial ecosistémico y valor económico en la captura de carbono (Avellaneda, 2024). La restauración de estos bosques debe considerar no solo el carbono almacenado en biomasa y suelo, sino también la estructura y diversidad del paisaje (Renison *et al.*, 2011); además, debe reconocer las limitaciones ecológicas de *Polylepis*, como su baja supervivencia y lento crecimiento (Gareca *et al.*, 2018; Toivonen *et al.*, 2011). Por ello, los objetivos de restauración deben adaptarse a las condiciones locales, tanto ecológicas como sociales. Esta información será clave para que las autoridades locales y nacionales diseñen instrumentos de gestión forestal, social y ambiental orientados a la conservación y restauración de *Polylepis*, y para la formulación de proyectos que aseguren el mantenimiento de estos sumideros andinos de CO₂, lo que contribuye a la reducción de GEI y al enfrentamiento de los impactos del cambio climático en los ecosistemas de montaña del Perú.

3. Conclusiones y recomendaciones

Los hallazgos mostrados ponen en evidencia la importancia de la conservación de los bosques del género *Polylepis*. A partir de ello, se recomienda que los gobiernos locales del distrito de Independencia, la provincia de Huaraz y las demás provincias cercanas al Parque Nacional Huascarán implementen estrategias para reducir los impactos ambientales, como la expansión de la ganadería y la agricultura, la quema de pastizales, la deforestación y la extracción de leña. Estas actividades afectan el área donde se desarrollan los bosques endémicos, lo que provoca un aumento en la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad y una mayor vulnerabilidad al cambio climático. De forma paralela, el Gobierno Regional de Áncash debe fomentar la conservación de estos bosques, con el objetivo de preservar los sumideros andinos de carbono y así reducir los efectos de la variación climática actual en los ecosistemas de montaña a futuro. Adicionalmente, el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp) debe trabajar en la actualización del Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán, ajustándolo con los lineamientos para la reducción de emisiones y la mitigación de los efectos del cambio climático en ecosistemas de montaña a escala local. Asimismo, se debe evaluar la posibilidad de implementar otras medidas de Conservación Basadas en Áreas (OMEC) en zonas clave fuera del Parque Nacional, como herramienta complementaria para conservar los bosques de *Polylepis* y su función como sumideros de carbono.

Es importante promover la cooperación multidisciplinaria entre las comunidades campesinas, guardaparques, profesionales, gobiernos locales y público interesado para desarrollar programas de reforestación de árboles nativos de *Polylepis*. Estos programas deben incluir planes de participación comunitaria que involucren a las comunidades locales en la ejecución de proyectos REDD +, con el fin de generar bonos de carbono que ayuden a estas poblaciones y generen incentivos económicos para su desarrollo social. Además, se deben brindar capacitaciones trimestrales sobre los procesos de restauración de áreas afectadas y degradadas para recuperar y aumentar la eficiencia de la capacidad de los bosques andinos en el almacenamiento y captura de carbono, lo cual crea sociedades resilientes que se adapten a los efectos del cambio climático actual y futuro.

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri) debe facilitar la gestión sostenible de los bosques andinos para la regulación de carbono en los ecosistemas de montaña existentes en todo el Perú. Esto debe realizarse a través de un enfoque científico multidisciplinario basado en evidencia, que aborde las deficiencias en los proyectos de reforestación causadas por la excesiva presión antrópica, como la quema, el aumento del ganado y la mala gestión de las instituciones encargadas de la parte forestal de estos bosques, especialmente dentro del Parque Nacional Huascarán, en la región Áncash. Este enfoque debe servir como apoyo en la toma de decisiones para mejorar los proyectos de reforestación en el Perú, al enfocarse no solo en la plantación de árboles de especies exóticas de rápida propagación y en el cumplimiento de la normativa forestal para recuperar y aumentar la cobertura forestal, sino también en la utilización de especies nativas, como el género de *Polylepis*, que representan una alternativa eficaz para la recuperación y preservación de áreas fragmentadas

de bosques que no logran experimentar una regeneración natural.

Finalmente, el Gobierno del Perú, a través del Ministerio del Ambiente (Minam) y dentro del Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC), debe instituir una política de Estado para la conservación de bosques, la creación de una metodología de estimación de almacenamiento y captura de carbono en bosques andinos. Asimismo, debe establecer un precio social de carbono que considere la información histórica sobre compromisos nacionales de reducción de GEI, proyecciones de emisiones nacionales, PIB (PPA) per cápita y el estado actual de estos ecosistemas. Esto permitirá demostrar el verdadero valor económico de la fijación de CO₂ generado por los bosques naturales y plantaciones andinas en el Perú, acorde a los precios de carbono del mercado internacional y las recomendaciones del IPCC, que se ajustan a la normativa nacional actual con la Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (Ley 30215) y la Ley de Cambio Climático (Ley 30754).

Contribución de autoría

ESC: investigación, metodología, recopilación y análisis de la información, redacción del manuscrito y edición final. EPC: revisión y edición.

Fuente de financiamiento

El desarrollo de esta investigación fue financiado por la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, a través de la Resolución de Consejo Universitario 515-2023-UNASAM.

Potenciales conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.



Referencias bibliográficas

- Avellaneda-Alarcón, S. (2024).** «Reservas de carbono en áreas naturales protegidas, una medida de mitigación frente al cambio climático: el caso del Parque Nacional de Cutervo (Perú)». *South Sustainability*, 5(1) e089. Disponible en: <https://doi.org/10.21142/SS-0501-2024-e089>
- Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D. y Houghton, R. A. (2017).** «Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss». *Science*, 358(6360), pp. 230-234. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.aam5962>
- Busch, J., Bukoski, J. J., Cook-Patton, S. C., Griscom, B., Kaczan, D., Potts, M. D., Yi, Y. y Vincent, J. R. (2024).** «Cost-effectiveness of natural forest regeneration and plantations for climate mitigation». *Nature Climate Change*, 14(9), pp. 996-1002. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02068-1>
- Calderón-Loor, M., Cuesta, F., Pinto, E. y Gosling, W. D. (2020).** «Carbon sequestration rates indicate ecosystem recovery following human disturbance in the equatorial Andes». *PLoS One*, 15(3)(e0230612). Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230612>
- Che Piu, H. y García, T. (2011).** *Estudio REDD Perú: La situación de REDD en el Perú*. Derecho Ambiente y Recursos Naturales (DAR). Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/estudio-redd-peru-situacion-redd-peru>
- Cierjacks, A., Salgado, S., Wesche, K., Hensen, ICierjacks, A., Salgado, S., Wesche, K. y Hensen, I. (2008).** «Post-fire population dynamics of two tree species in high-altitude *Polylepis* forests of central Ecuador». *Ecotropica*, 14(1), pp. 43-54. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/30045458>
- Curtis, P. G., Slay, C. M., Harris, N. L., Tyukavina, A. y Hansen, M. C. (2018).** «Classifying drivers of global forest loss». *Science*, 361(6407), pp. 1108-1111. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.aau3445>
- El Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). (2009).** *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Disponible en: <https://www.cifor-icraf.org/publications/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>
- Fehse, J., Hofstede, R., Aguirre, N., Paladines, C., Kooijman, A. y Sevink, J. (2002).** «High altitude tropical secondary forests: a competitive carbon sink?». *Forest Ecology and Management*, 163(1-3), pp. 9-25. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00535-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00535-7)
- Fjeldså, J. y Kessler, M. (1996).** *Conserving the biological diversity of *Polylepis* woodlands of the highlands of Peru and Bolivia. A contribution to sustainable natural resource management in the Andes*. Copenhagen: Nordic Foundation for Development and Ecology.
- Fjeldså, J. y Kessler, M. (2004).** *Conservación de la biodiversidad de los bosques de *Polylepis* de las tierras altas de Bolivia*. Santa Cruz: FANM.
- Fuentealba, B. y Sevillano, C. S. (2016).** «Experiencias de rehabilitación comunitaria con queñual (*Polylepis* sp.) en el Departamento de Ancash, Perú». En E. Ceccon y D. R. Pérez (coords.), *Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales en América Latina y el Caribe* (pp. 315-330). Buenos Aires: Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Restauración Ecológica. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/311205401>
- Gareca, E. E., Martínez, Y. Y., Solís, C. y Aguirre, L. F. (2018).** «Efectos de los árboles exóticos y del ambiente materno sobre la producción de semillas, la germinación y el crecimiento inicial de *Polylepis subtusalbida* (Rosaceae) en el Parque Nacional Tunari, Bolivia». *Ecología Austral*, 28(1-bis), pp. 262-277. Disponible en: <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.698>
- Gatti, L. V., Basso, L. S., Miller, J. B., Gloor, M., ... y Neves, R. (2021).** Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, 595, pp. 388-393. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>
- Gibbon, A., Silman, M. R., Malhi, Y., Fisher, J. B., Meir, P., Zimmermann, M., Dargie, G., Farfan, W. y García, K. C. (2010).** «Ecosystem carbon storage across the grassland-forest transition in the high Andes of Manu National Park, Peru». *Ecosystems*, 13, pp. 1097-1111. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10021-010-9376-8>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2022).** *Sexto informe de evaluación del IPCC: Cambio climático 2022*. Disponible en: <https://www.unep.org/es/recursos/informe/sexta-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem). (2016).** Monitoreo Glaciológico-Informe Técnico N.º 03. Huaraz. Disponible en: <https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/d7442ba2-33be-4b8d-85a9-eb88f4b4f65d>
- Llambí, L. D. y Garcés, A. (2021).** «Adaptation to climate change in the Andes: gaps in understanding and opportunities for knowledge management». Disponible en: <https://weadapt.org/knowledge-base/adaptation-in-mountains/adaptation-to-climate-change-in-the-andes/>
- Ministerio del Ambiente (Minam). (2015).** *Mapa nacional de cobertura vegetal (memoria descriptiva)*. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2674-mapa-nacional-de-cobertura-vegetal-memoria-descriptiva>
- Ministerio del Ambiente (Minam). (2016).** «Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC)». Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/ESTRATEGIA-NACIONAL-SOBRE-BOSQUES-Y-CAMBIO-CLIM%C3%81TICO-DECRETO-SUPREMO-007-2016-MINAM11.pdf>
- Ministerio del Ambiente (Minam). (2016).** «Guía de valoración económica del patrimonio natural». Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/GVEPN-30-05-16-baja.pdf>
- Montalvo, J., Minga, D., Verdugo, A., López, J., Guazhambo, D., Pacheco, D., Siddons, D., Crespo, A. y Zárate, E. (2018).** «Características morfológico-funcionales, diversidad arbórea, tasa de crecimiento y de secuestro de carbono en especies y ecosistemas de *Polylepis* del sur de Ecuador». *Ecología Austral*, 28(1), pp. 249-261. Disponible en: <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.557>
- Moser, G., Röderstein, M., Soethe, N., Hertel, D. y Leuschner, C. (2012).** «Cambios altitudinales en la estructura de la masa forestal y la distribución de biomasa de los bosques tropicales de montaña en relación con el microclima y la química del suelo. Gradientes en un ecosistema de montaña tropical de Ecuador». *Ecosystems*, 15, pp. 958-973. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10021-012-9556-9>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2020).** «Global Forest Resources Assessment». Disponible en: <https://www.fao.org/interactive/forest-resources-assessment/2020/en/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2020).** *El estado de los bosques del mundo. 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Renison, D., Hensen, I. y Suarez, R. (2011).** «Landscape structural complexity of high-mountain *Polylepis australis* forests: a new aspect of restoration goals». *Restoration Ecology*, 19(3), pp. 390-398. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00555.x>

- Sanchez Carrion, E. L. (2024).** Estimación de las reservas totales de carbono almacenado en los bosques dominados por el género *Polylepis* de las quebradas de Llaca y Quillcayhuanca, Huaraz, Áncash, 2022. [Tesis de titulación en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Disponible en: <https://repositorio.unasam.edu.pe/item/f3ac52c4-efb5-4019-aa86-16d5092f1802>
- Schlesinger, W. H. y Bernhardt, E. S. (2013).** *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. (3.ª ed.). Cambridge: Academic Press. Disponible en: <https://scholars.duke.edu/publication/1096519>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp). (2017).** *Actualización del Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán 2017-2021*. Disponible en: <https://sis.sernanp.gob.pe/biblioteca/?publicacion=1519>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp). (2020).** «Mapa de Zonificación del Parque Nacional Huascarán». Disponible en: <https://geoportal.sernanp.gob.pe/categorias-mapa-tematico/zonificacion-interna-de-anp/>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor). (2018).** «Lineamientos para la Restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre». Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1269060/Lineamientos%20restauracion.pdf>
- Toivonen, J. M., Kessler, M., Ruokolainen, K. y Hertel, D. (2011).** «Accessibility predicts structural variation of Andean *Polylepis* forests». *Biodiversity and Conservation*, 20, pp. 1789-1802. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0061-9>
- Trinidad, C. y Ortiz, E. (2019).** «Precio al carbono en el Perú: transición energética y justicia climática». En C. Trinidad (ed.), *Precio al carbono en América Latina. Tendencias y oportunidades* (pp. 270-317). Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/337447336>
- Vásquez, E., Ladd, B. y Borchard, N. (2014).** «Carbon storage in a high-altitude *Polylepis* woodland in the Peruvian Andes». *Alpine Botany*, 124, pp. 71-75. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00035-014-0126-y>
- Vidal, D. O. y Azpilicueta, O. J. S. (2016).** «Bosques de *Polylepis* como bancos genéticos para la restauración ecológica de los ecosistemas de montaña». *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 1, pp. 111-115. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/336600756>