



Fragmentación del paisaje y pérdida de conectividad en los bosques de **queñua** (*Polylepis*) en **Perú** y su vulnerabilidad ante el cambio climático

Landscape fragmentation and loss of connectivity in *Polylepis* forests in Peru and its vulnerability to climate change

Andrea Chanove-Manrique^{1*} y Berly Cárdenas-Pillco¹

¹ Universidad Católica de Santa María. Facultad de
Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente.
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
Arequipa, Perú.

* Autora de correspondencia.
achanove@ucsm.edu.pe

RESUMEN

Los bosques del género *Polylepis* son un importante ecosistema andino en varios países de Sudamérica. Actualmente, hay pocas investigaciones sobre los cambios de estos bosques, relacionados con fragmentación paisajística, pérdida de conectividad y cambio climático; esto representa una desventaja para la toma de decisiones sobre su restauración y conservación que, a futuro, pudieran ser estrategias de adaptación al cambio climático. La presente revisión busca dar a conocer los estudios sobre la fragmentación del paisaje y pérdida de conectividad en los bosques andinos de queñua (*Polylepis*) del Perú y su vulnerabilidad ante el cambio climático, mediante una búsqueda bibliográfica en bases de datos de artículos científicos, documentos y normativa peruana. Se encontró que el cambio climático a lo largo de los años ha venido afectando a los bosques de esta especie; sin embargo, algunos estudios muestran que puede ser resiliente, por lo que se sugieren futuras investigaciones de los cambios en estos ecosistemas, para fomentar su conservación.

PALABRAS CLAVE: Andes, bosque, biodiversidad, paisaje, conservación.

ABSTRACT

Polylepis forests are an important and large Andean ecosystem of biodiversity in many South American countries. Currently there is not much research on the changes in these forests related to landscape fragmentation, loss of connectivity and climate change; this leads to a disadvantage for making decisions about restoration and conservation of these forests that could be future adaptation strategies to climate change. This review analyzes studies on landscape fragmentation and loss of connectivity in *Polylepis* forests and the vulnerability to impacts of climate change in Peruvian Andean forests through a literature search in databases of scientific articles, documents and Peruvian regulations. It was found that climate change over the years has been affecting *Polylepis* forests; however, some studies show that this species may sometimes be resilient, so more research should be done on changes in these ecosystems which will be important information to promote their conservation.

KEYWORDS: Andean, forest, biodiversity, landscape, conservation.

INTRODUCCIÓN

Los bosques son componentes críticos de la biodiversidad en el mundo y, según las tendencias de las áreas forestales y de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO] y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP] (FAO y UNEP, 2020), 66% de la distribución global de estos se encuentra en 10 países, entre ellos el Perú. El cambio climático y la fragmentación del hábitat son amenazas para la biodiversidad mundial de los bosques, ya que generan pérdidas de muchos servicios ecosistémicos (Cui et al., 2021). Dada la escasez de conocimientos sobre estos paisajes mixtos, en la actualidad muchos de ellos no cuentan con alternativas de manejo forestal, condiciones de adaptabilidad y resiliencia climática (Janowiak et al., 2018; Nevins et al., 2021).

El Convenio Internacional de Diversidad Biológica indica que la causa de la pérdida de hábitat está relacionada con la degradación y el aislamiento de los fragmentos del paisaje, y esta situación puede presentarse en múltiples escalas espaciales y temporales (Fischer y Lindenmayer, 2007). La distribución de las especies presentes en los bosques se ve afectada por la intervención antrópica y los cambios del clima, este último es el principal factor determinante (Sun et al., 2020) pues altera tanto su composición como la riqueza de especies, influyendo así en la estructura y funciones de los ecosistemas (Scheffers et al., 2016).

El género *Polylepis* se distribuye a lo largo de los Andes desde Venezuela hasta el norte de Argentina y Chile (Zutta et al., 2012). Su distribución mantiene una composición de comunidades biológicas que son vulnerables a las actividades humanas, ya que su lenta recuperación, producto de la escasa regeneración natural a quema agrícola, tala para madera, leña o carbón, sobrepastoreo por introducción de ganado vacuno y ovino, así como la intensificación agrícola, evita su regeneración (Renison et al., 2018).

Se estima que existe menos de 10% de la extensión original de *Polylepis* en las regiones altas de Bolivia y Perú (Fjeldså y Kessler, 1996) y, en la actualidad, más de la mitad

de las especies registradas se encuentran en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN] (2021). Por ello, es importante que exista información que apoye a la conservación y restauración de los bosques para que ayude a entender el estado actual de estos ecosistemas, su ecología, principales amenazas, las causas de su distribución por cambio climático y estrategias de conservación (Pinos, 2020; Renison et al., 2018).

OBJETIVOS

El presente trabajo tuvo como objetivo recopilar la información que existe actualmente en bases de datos científicas y hacer una revisión sobre la fragmentación del paisaje y la pérdida de conectividad en los bosques de queñua (*Polylepis*) del Perú, además de analizar su vulnerabilidad ante los efectos derivados del cambio climático, comparando investigaciones nacionales e internacionales y discutiendo sobre la importancia de conocer características del bosque que puedan apoyar a la elaboración de estrategias de conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos búsquedas bibliográficas para construir un estudio que responda a los objetivos de este trabajo. Se incluyeron los resultados según alcance del estudio, formulación de pregunta, búsqueda bibliográfica, selección de publicaciones, análisis y síntesis de los resultados (Denyer y Tranfield, 2009).

Dentro del alcance del estudio se consideró el contexto nacional y el internacional, ya que en Perú existen pocos trabajos publicados en bases de datos especializadas con referencia a este género. La pregunta considerada para este trabajo fue ¿La fragmentación y la pérdida de conectividad en los bosques de queñua (*Polylepis*) en Perú se relaciona con su vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático?

En la primera búsqueda bibliográfica se utilizó Dimensions (<https://www.dimensions.ai>), un sistema de conocimiento de investigación vinculado en línea para extraer literatura científica específica, en este caso sobre la



fragmentación, conectividad y cambio climático en los bosques del género *Polylepis* en Perú. Se utilizaron dos cadenas de búsqueda, una para analizar de manera comparativa las investigaciones a escala global, la cual fue: (fragmentation OR climate change) AND *Polylepis*, y se llevaron al Centro de Exportación de Dimensions para usarlo en VOSviewer (Versión 1.6.20), Esto permitió obtener una visión general y comparativa de las publicaciones sobre los bosques de *Polylepis* a escala global (van Eck y Waltman, 2010). La otra cadena de búsqueda fue: (fragmentation OR climate change) AND *Polylepis* AND Peru, donde se activó manualmente el filtro “Título y Resumen”; realizando un resumen de los principales resultados de las investigaciones relacionadas con la fragmentación y la conectividad en los bosques de *Polylepis* en Perú y el análisis de la relación con el cambio climático.

En la segunda búsqueda bibliográfica, se utilizó la cadena de búsqueda (fragmentation OR climate change) AND *Polylepis*. Esta búsqueda se llevó a cabo en bibliotecas científicas electrónicas, normativas, informes de ministerios y entidades peruanas, así como en investigaciones internacionales. Este procedimiento complementó algunos conceptos relevantes con referencia al género *Polylepis*. Para la selección de publicaciones, se definieron diferentes criterios de elegibilidad (Alexander, 2020). El primer criterio fue seleccionar las investigaciones sobre fragmentación del paisaje y conectividad en bosques de *Polylepis*. Para ello, se procedió al análisis del título, resumen y los principales resultados. Se excluyeron estudios no alineados al tema. También se descartaron estudios que no ayudaran al objetivo de la revisión. Finalmente, se realizó un resumen

de los principales resultados de las investigaciones relacionadas con la distribución del género en Perú, la fragmentación y conectividad en los bosques de *Polylepis* y el análisis de su relación con el cambio climático.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estado de las investigaciones de *Polylepis*

A escala mundial, existen muchas investigaciones acerca del género *Polylepis*: de manera general, específica de una especie o sobre otras relacionadas con este género; sin embargo, considerando el alcance de este estudio y haciendo una comparativa a escala global, se identificaron 117 publicaciones de los últimos años, relacionadas con la fragmentación y la pérdida de conectividad en los bosques de Queñua (*Polylepis*); mientras que, en el caso de Perú, se ubicaron 23 investigaciones, tal como se puede visualizar en las estadísticas generales obtenidas de Dimensions (Tabla 1).

Asimismo, para analizar dicha comparativa global, se utilizó un mapa de red creado por VOSviewer para la colaboración entre países, encontrando que 11 países publicaron al menos ocho documentos (Fig. 1). En el mapa, la influencia de un país en el campo de la investigación se refleja en el tamaño del nodo, mientras que la cercanía cooperativa entre los diferentes países se indica en la cantidad y el grosor de los vínculos; entonces, se puede visualizar que los países que más investigaciones y colaboraciones tienen son Estados Unidos y Argentina, con 36 y 28 investigaciones, respectivamente.

TABLA 1. Publicaciones sobre fragmentación y conectividad del género *Polylepis* a escalas global y nacional (Perú).

Publicaciones relacionadas a <i>Polylepis</i>	Años de publicación	Total
Escala global	1913-2023	117
Perú	1950-2023	23

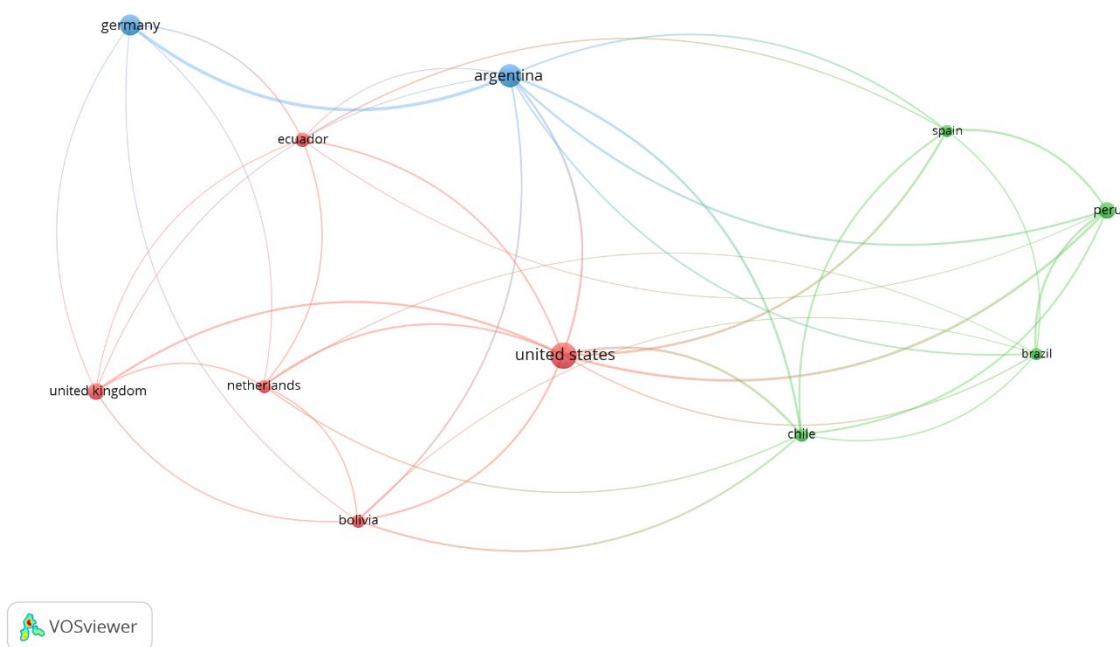


FIGURA 1. Colaboración entre países para publicaciones sobre fragmentación y conectividad del género *Polylepis* a escalas global y nacional.

Fuente: Dimensions.

Existen investigaciones del bosque de *Polylepis* que han realizado investigadores de Estados Unidos, en Perú, y sirven como base de investigación científica para la gestión del paisaje frente al cambio climático en curso. Una de ellas es la de Urrego et al. (2011), quienes elaboraron historias ecológicas y climáticas en el flanco oriental andino del Perú, utilizando el registro de polen y carbón vegetal de tres lagos en la Reserva de la Biosfera del Manu, observando cambios en la composición de la comunidad vegetal en respuesta tanto al clima como al uso de la tierra; y la trayectoria de los impactos humanos en el paisaje. Asimismo, existen también investigaciones de *Polylepis* como bosques primarios: Hastorf et al. (2005) presentan datos de restos de madera carbonizada de cinco sitios prehistóricos tardíos en el Valle del Alto Mantaro, Perú; y Valencia et al. (2018) demuestran que, debido a la variabilidad climática, los ecosistemas andinos donde se encuentran especies de *Polylepis* se ven amenazados por un creciente estrés hídrico. Estos autores sugieren proteger y gestionar las cuencas con alta rugosidad del terreno para que estos micro refugios andinos, al ser

más resilientes por atrapar la humedad y formar una barrera cortafuegos, protejan a los bosques. Estos ecosistemas representan un sistema biológico único de vegetación natural andina y son muy impactados negativamente, por lo que necesitan ser conservados e investigados para su conservación (Arizapana-Almonacid et al., 2022).

También se hallaron investigaciones con colaboraciones de múltiples países, como la que realizaron (Camel et al., 2019) en la que evalúan el impacto de una planta hemiparásita, *Tristerix chodatianus* (Loranthaceae), que induce daño progresivo en el crecimiento y la anatomía de la madera de *Polylepis flavipila*; estos autores utilizaron anillos de crecimiento y procesamiento de imágenes digitales, lo cual es útil para monitorear el estado fitosanitario de especies de *Polylepis* parasitadas.

En la primera búsqueda bibliográfica que se realizó con Dimensions, se obtuvieron 23 artículos científicos (Tabla 1); y en la segunda búsqueda bibliográfica, tomando en cuenta bibliotecas científicas electrónicas, informes y normativas peruanas e investigaciones internacionales, se



obtuvieron 58 documentos; siendo en total 81, con los cuales se desarrolló este estudio.

Bosque de *Polylepis* en Perú

Los bosques de *Polylepis* están presentes desde Venezuela hasta el norte de Chile y Argentina, y se consideran uno de los centros de mayor diversidad y endemismo de flora y fauna en el Neotrópico (Fig. 2) (Fjeldså et al., 1996). El género incluye aproximadamente 35 especies con remanentes y poblaciones fragmentadas a lo largo de la zona altoandina (Ames Martínez et al., 2019).

Las especies del género *Polylepis* son conocidas por los pobladores de los Andes en Perú como quinawira, quinawiro, queuña o queñua. En el mismo país, se registran 22 especies del género lo que constituye más de 70% de las 35 especies para el área andina. Esto hace que Perú sea la nación con mayor diversidad de este género, en comparación con Bolivia, Ecuador, Argentina, Colombia, Chile y Venezuela. Estas especies se distribuyen en 17 departamentos (Tabla 2), y la mayor diversidad de ellas se encuentra en los Andes del sur, por lo cual esta región se considera como el probable centro de diversificación del género *Polylepis* (Mendoza y Cano, 2011).

Estos bosques tienen gran importancia altoandina por los servicios ecosistémicos que brindan, como el de provisión y regulación hídrica, almacenamiento de agua y secuestro de carbono (Kessler, 2006). Además, son relevantes para la protección de la biodiversidad y como especie forestal, en la mitigación de los efectos del cambio climático local (Rodríguez-Ramírez et al., 2022). Sin embargo, 15 de las 35 especies del género *Polylepis* se encuentran dentro de la Lista Roja de la IUCN (2021); y en Perú existen dos especies en Peligro Crítico, cuatro en Peligro, seis Vulnerables y una Casi Amenazada (Decreto Supremo N° 043-2006-AG, 2006).

El conocimiento de la distribución y conectividad de estos bosques muestra los efectos de pérdida y fragmentación del paisaje, además de los efectos del cambio climático global (Valencia et al., 2018). Se encontraron estudios sobre el estado de su vulnerabilidad en la zona central de Perú debido a que este género, a lo largo de su distribución, sufre diferentes impactos antrópicos y su hiperfragmentación desde hace muchos años (Kessler, 2000). Por ejemplo, la especie *P. flavipila* que tiene un nivel muy alto de fragmentación ya que la cubierta forestal se redujo 53% en 45 años (Ames Martínez et al., 2019), según lo evaluado mediante imágenes satelitales entre los años de 1975 y 2020 en cuatro bosques (Tabla 3).

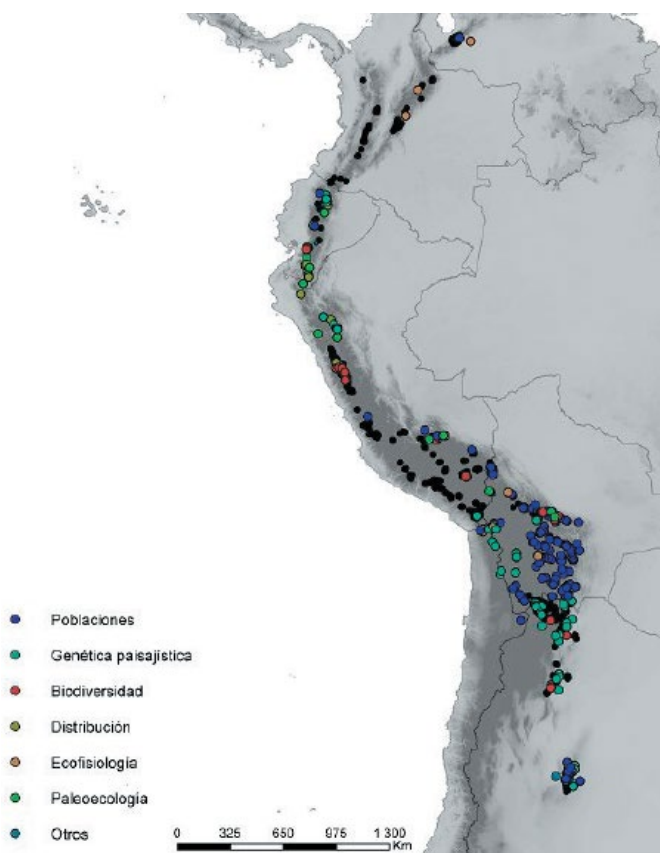


FIGURA 2. Áreas de estudio de los bosques del género *Polylepis* en Perú.

Adaptado de Renison et al. (2018).

Los colores de los círculos reflejan los principales tipos de estudio según la leyenda. Los bosques de *Polylepis* se representaron en color negro.

TABLA 2. Lista de las especies de *Polylepis* registradas para el Perú, con intervalos altitudinales y distribución departamental.

<i>Especie</i>	<i>Altitud (m)</i>	<i>Departamento</i>
<i>Polylepis canoi</i> W. Mendoza	3350 - 3400	AY, CU, JU
<i>Polylepis flavipila</i> (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb.	3650 - 4100	HV, LI
<i>Polylepis incana</i> Humboldt, Bonpland & Kunth	3000 - 4200	AN, AP, AY, CU, HU, JU, LI, PA, PU
<i>Polylepis incarum</i> (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb.	3100 - 4200	CU, PU
<i>Polylepis lanata</i> (Kuntze) M. Kessler & Schmidt-Leb.	2900 - 4100	AP, AY, CU
<i>Polylepis microphylla</i> (Wedd.) Bitter	3200 - 4000	AR, CU, LI
<i>Polylepis multijuga</i> Pilger	2200 - 3600	AM, CA, LA
<i>Polylepis pauta</i> Hieron.	1800 - 4000	AY, CU, JU, SM
<i>Polylepis pepeï</i> B.B. Simpson	3900 - 4500	AN, CU, PU, SM
<i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.	2900 - 4000	AN, AP, AY, CA, CU, HU, JU, LI, LL, PA
<i>Polylepis reticulata</i> Hieron.	3350 - 4450	AN, JU, LI, LL
<i>Polylepis rugulosa</i> Bitter	3000 - 4600	AR, MO, TA
<i>Polylepis sericea</i> Wedd.	2000 - 4100	AN, CU, JU, LL
<i>Polylepis subsericans</i> J.F. Macbride	2900 - 5100	AP, AY, CU
<i>Polylepis subtusalbida</i> (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb.	4000 - 4500	MO, TA
<i>Polylepis tarapacana</i> Philippi	4200 - 4800	TA
<i>Polylepis tomentella</i> Weddell	3500 - 4500	AP, AR, AY
<i>Polylepis triacotandra</i> Bitter	3500 - 3900	PU
<i>Polylepis weberbaueri</i> Pilger	2500 - 4200	AN, CA, LA, LI, PI

Adaptado de Mendoza y Cano (2011). AM = Amazonas, AN = Ancash, AP = Apurímac, AR = Arequipa, AY = Ayacucho, CA = Cajamarca, CU = Cusco, HU = Huánuco, HV = Huancavelica, JU = Junín, LI = Lima, LL = La Libertad, MO = Moquegua, PA = Pasco, PU = Puno, SM = San Martín y TA = Tacna.

TABLA 3. Porcentaje de fragmentación para cuatro bosques de *Polylepis flavipila*, de acuerdo con Ames Martínez et al. (2019).

<i>Fragmentación</i>	<i>Bosques</i>			
	1	2	3	4
Porcentaje %	91.2	55.7	31.7	39.6



Fragmentación del paisaje en los bosques de *Polylepis* en Perú

El paisaje es una superficie terrestre heterogénea compuesta por un grupo de ecosistemas que interactúan y se repite de forma similar en todas partes (Forman y Godron, 1991); estos ecosistemas se pueden relacionar unos con otros y están delimitados por clima, topografía, geología, suelos y su patrón (Montis et al., 2017). El dinamismo del paisaje nace a raíz de la acción de factores humanos y naturales, por lo que no es estático, si no que varía como consecuencia del avance social (Zubelzu Mínguez y Allende Álvarez, 2015). Estas variaciones producen lo que se conoce como fragmentación, que se basa en consideraciones teóricas, principalmente derivadas de la teoría biogeográfica de las islas (Diamond, 1975). La fragmentación del paisaje es una de las principales causas de la pérdida de hábitats alrededor del mundo, y puede ser causada por diversos cambios como la introducción de carreteras, vías férreas, extensión de áreas de asentamiento o zonas industrializadas (Atasoy, 2018). Los parches generados tienden a estar más aislados que en la condición original y esto puede traer consigo diversos efectos ecológicos que no solo incluyen la pérdida de hábitat, sino el aumento de la mortalidad de las plantas y el aislamiento de especies, poblaciones animales y vegetales (Montis et al., 2017). Existen estudios que demuestran impactos complementarios a esta fragmentación, como el aumento en el área cubierta por especies forestadas para producción de madera y el incremento en la superficie de tierras cultivadas a lo largo de la Cordillera Blanca (Byers, 2000; George Jiduc, 2016).

Dentro de esta fragmentación, se presenta la fragilidad paisajística, que es la vulnerabilidad que tiene un paisaje frente a los diferentes cambios evolutivos de manera natural o antropogénica, evaluados mediante el análisis del deterioro visual que experimenta la zona (Peña et al. 2017). En la presente revisión, se encontró únicamente un estudio donde se analiza la fragilidad paisajística de un bosque de *Polylepis* en una microcuenca de Paria-Huasta en Ancash, Perú (Castro y Flores, 2015). En este, se utilizan como variables de fragilidad la densidad poblacional, la regeneración de la especie y la

altura de la localidad; determinando que las zonas de mayor altitud brindan mayor protección a este género, al encontrarse a una altitud de 4691 m s.n.m., ya que es menos accesible para los humanos; los autores concluyen que el bosque de *Polylepis* de la microcuenca de Paria sería uno de los más antiguos y mejor conservados del norte de Perú, con una menor fragilidad paisajística (Castro y Flores, 2015).

Pérdida de conectividad en los bosques de *Polylepis* en Perú

La conectividad es la característica del paisaje que permite el movimiento y la dispersión de individuos de las especies entre parches de hábitat, su intercambio genético y otros flujos ecológicos en un territorio (Saura y Rubio, 2010), lo cual es vital para los procesos de un ecosistema (Montis et al., 2017) y para el movimiento de genes, individuos, poblaciones y especies en múltiples escalas de tiempo, influyendo en la capacidad de las especies para adaptarse, expandirse o alterar sus áreas de distribución como respuesta al clima (Lookingbill y Minor, 2017).

Los bosques de *Polylepis* albergan muchas especies endémicas y son de gran importancia ecológica. El cambio de uso de suelo por la deforestación y la necesidad de obtener recursos naturales del sitio tienden a desestabilizar y transformar los hábitats y a generar parches de manera indiscriminada; lo cual hace frágil al paisaje y vulnerable a cualquier cambio global. Dicha fragilidad se puede resolver gestionando el paisaje mediante la conectividad para lograr una recuperación funcional y estructural de las áreas naturales fragmentadas (Coelho et al., 2016). Algunos estudios plantean que, a través del aumento de la conectividad del parche, la permeabilidad de la matriz, la reducción de la erosión del suelo, la quema y las tasas de carga de ganado, se contribuiría a mejorar la conservación y restauración de los bosques de *Polylepis* y las aves que lo habitan. Estos bosques son considerados un centro de endemismo y de diversidad de aves; sin embargo, se menciona que el escenario del cambio climático podría afectar esta interacción y aumentaría el riesgo de extinción de especies menos competitivas y especializadas (Ríos, Rodewald y Morales, 2018).

En el Perú, de acuerdo con la clasificación nacional del año 2014 (Decreto Supremo N° 004-2014-MINAGRI, 2014), existen 15 especies de aves en la categoría Peligro Crítico, 29 en Peligro, 78 en Vulnerable y 68 en Casi Amenazada. Este hecho genera la preocupación de los especialistas debido a que dichas especies proporcionan un hábitat importante para una amplia gama de organismos (Jameson y Ramsay, 2007). Existe una investigación sobre especies que dependen de estos bosques, que no se encontraban aún detectadas, como *Anairetes alpinus*, ave especialista que actualmente se encuentra en peligro de extinción, y cuya presencia se detectó en dos nuevas localidades en el departamento de Junín (Quispe-Melgar et al., 2018).

Asimismo, existen otras poblaciones de especies asociadas a ese ecosistema; y la pérdida de hábitat por la deforestación de *Polylepis* y los efectos del cambio climático traen como consecuencia irremediable su disminución. Ancajima y Grados (2022) realizaron el inventario de tres taxones de *Lepidoptera* nocturnos (*Sphingidae*, *Saturniidae* y *Arctiinae*) presentes en los bosques de *Polylepis* del parque nacional Huascarán. Estos registros son importantes para comprender el patrón de distribución de esta especie amenazada y mejorar los actuales esfuerzos de conservación, así como los estudios de la relación de las especies de avifauna con los bosques de *Polylepis*; sin embargo, en Perú se encontró escasez en los mismos.

Relación del cambio climático con la fragmentación del paisaje y la pérdida de conectividad en los bosques de *Polylepis*

El cambio climático global trae consigo impactos que están afectando a muchos ecosistemas a escala mundial y a sus especies de fauna y flora, lo cual puede conducir a una extinción generalizada por la reducción del área de hábitat y el tamaño de la población, que, a su vez, ocasionaría una disminución local de la biodiversidad con un alto potencial de alteraciones de los servicios ecosistémicos, de los cuales los seres humanos obtienen beneficios (Feeley et al., 2011). Perú cuenta con la Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio climático (Decreto Supremo N° 007-2016-

MINAM, 2016), donde se prevén afectaciones del paisaje y la resiliencia de los ecosistemas debido al cambio climático.

Los bosques de *Polylepis* se distribuyen en las zonas montañosas de forma irregular por lo que se encuentran restringidos de sitios húmedos o cálidos desafiando la sostenibilidad de las comunidades locales (Toivonen et al., 2018). De ese modo, al analizar el potencial hídrico y el índice de vegetación en función del gradiente altitudinal, la pendiente y los factores microclimáticos, se ha evidenciado un estrés hídrico y cambios morfológicos como respuesta a las variaciones climáticas (Cano et al., 2021). Otros estudios relacionados con los efectos del cambio climático sobre *P. tarapacana* afirman que parámetros como temperatura, precipitación y disponibilidad de agua afectarán significativamente al crecimiento de los árboles y sus raíces, siendo un impedimento para su función como sumidero de CO₂ (Rodríguez-Caton et al., 2021). De la misma forma, se ha documentado que el incremento de sequías en las zonas altas tiene efectos significativos y negativos en la regeneración de *P. australis* a lo largo de su intervalo de distribución altitudinal (Marcora et al., 2021; Valencia et al., 2018).

En los últimos tiempos, la variación del clima está afectando a los bosques de las zonas montañosas de los andes peruanos. Así, el cambio climático modifica las precipitaciones y las temperaturas que intervienen en el crecimiento de especies arbóreas produciéndose una degradación de los paisajes (Rodríguez-Morata et al., 2020). Proyecciones de los efectos del cambio climático sobre la temperatura indicaron un incremento de la misma en los Andes (Marengo et al., 2010), lo que podía ser beneficioso para la germinación de semillas de poblaciones de especies forestales de *Polylepis* que se encuentran en mayor abundancia. Sin embargo, una investigación en Bolivia demuestra que, si la temperatura máxima modelada para el clima supera la temperatura óptima de germinación de la semilla, disminuye el potencial de brote de *Polylepis besseri* (Gareca et al., 2012). Asimismo, las fuertes heladas y los descensos en la temperatura causan la lenta tasa de crecimiento de muchas especies de *Polylepis* a escala global y, en consecuencia, su baja tasa de regeneración efectiva



(Pinos, 2020). Por lo tanto, el clima y los cambios bruscos de temperatura afectan a las diferentes especies forestales, en especial al bosque de *Pohlylepis* que, al ser una de las especies más abundantes de la zona, ayuda a la estabilidad de los ecosistemas. Para analizar estos cambios en el análisis de dicha estabilidad se utilizan indicadores de biomasa como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) que indica la salud de la vegetación o los cambios por estrés hídrico. Existe una reciente investigación en nuestro Perú de Cano et al. (2021), relacionada con las variaciones en las precipitaciones y la temperatura y cómo han ido afectando la salud de la vegetación del bosque de queñua. En este trabajo analizan la respuesta fisiológica de las plantas ante el estrés hídrico y el NDVI y concluyen que el estrés hídrico fue diferente entre especies y varió según el gradiente altitudinal, y cambios hidrológicos del suelo y temperatura; estos autores observaron una adaptación del tamaño de los folíolos relacionada con los cambios de estrés y una alta correlación del NDVI con el estado de estrés de la planta.

En cuanto a modelos y escenarios climáticos relacionados con el género *Pohlylepis*, existen investigaciones donde se analiza el polen para ver las variaciones paleoclimáticas. Como ejemplo de estos, se puede mencionar un estudio sobre cambios de distribución de 17 especies del género *Pohlylepis* durante la época del último máximo Glacial, el Holoceno medio y el Antropoceno en los Andes centrales (Domic y Capriles, 2021). En dicho trabajo, se realizaron modelos de distribución de especies basados en condiciones climáticas actuales, utilizando el software Maxent. Estos modelos de distribución se proyectaron en tres escenarios climáticos para los tres periodos, identificándose cuatro puntos críticos: la cordillera central de Perú, la cuenca del lago Titicaca, la cordillera occidental de Bolivia y el norte de Chile, las cuales son áreas clave de conservación de los bosques de *Pohlylepis* (Fig. 3). Estos registros de especies podrían ayudar a la formulación de futuras estrategias de conservación de dichos bosques (Brunschön y Behling, 2009; Pinos, 2020; Domic y Capriles, 2021).

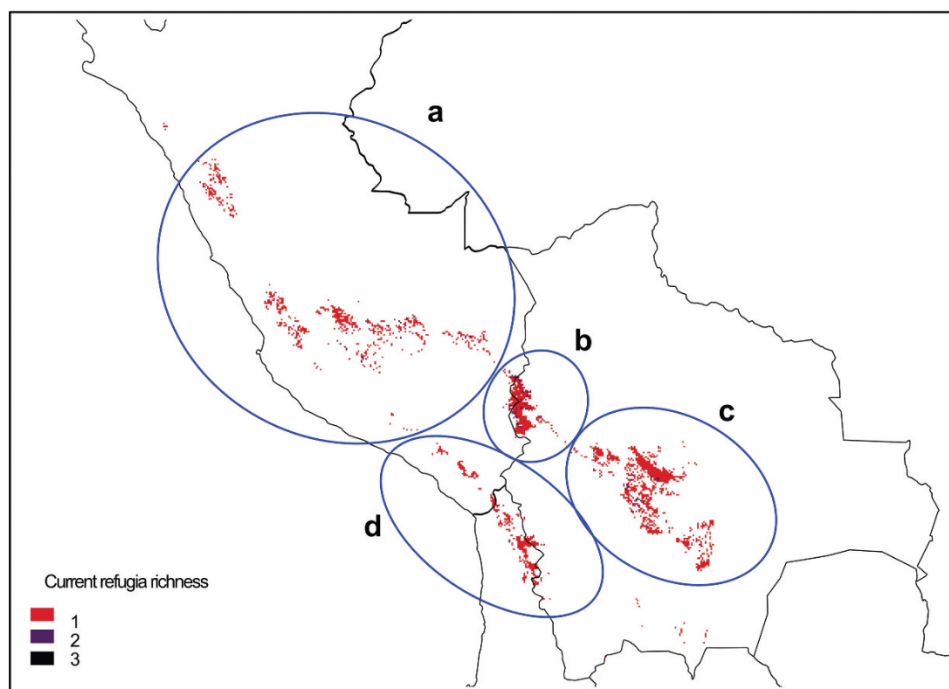


FIGURA 3. Distribución de *Pohlylepis* en los Andes Centrales.

Adaptado de Domic y Capriles (2021). a) La Cordillera Central de Perú; b) la cuenca del lago Titicaca; c) la Cordillera Occidental de Bolivia; d) el norte de Chile.

En otro estudio, se realizó una proyección del estado de los bosques de *Polylepis* en el altiplano andino, en la que se analizó la distribución de la especie bajo tres escenarios de cambio climático (Fig. 4) y se concluyó que en el futuro habrá una reducción severa del bosque (Cuyckens et al., 2016). Ante esta situación, es crucial reconocer el papel

fundamental que desempeña la resiliencia climática en la supervivencia de *Polylepis*; por tanto, es necesario promover la diversificación de la investigación y fomentar proyectos que impulsen la conservación y el desarrollo de esta especie (Doughty, 2016).

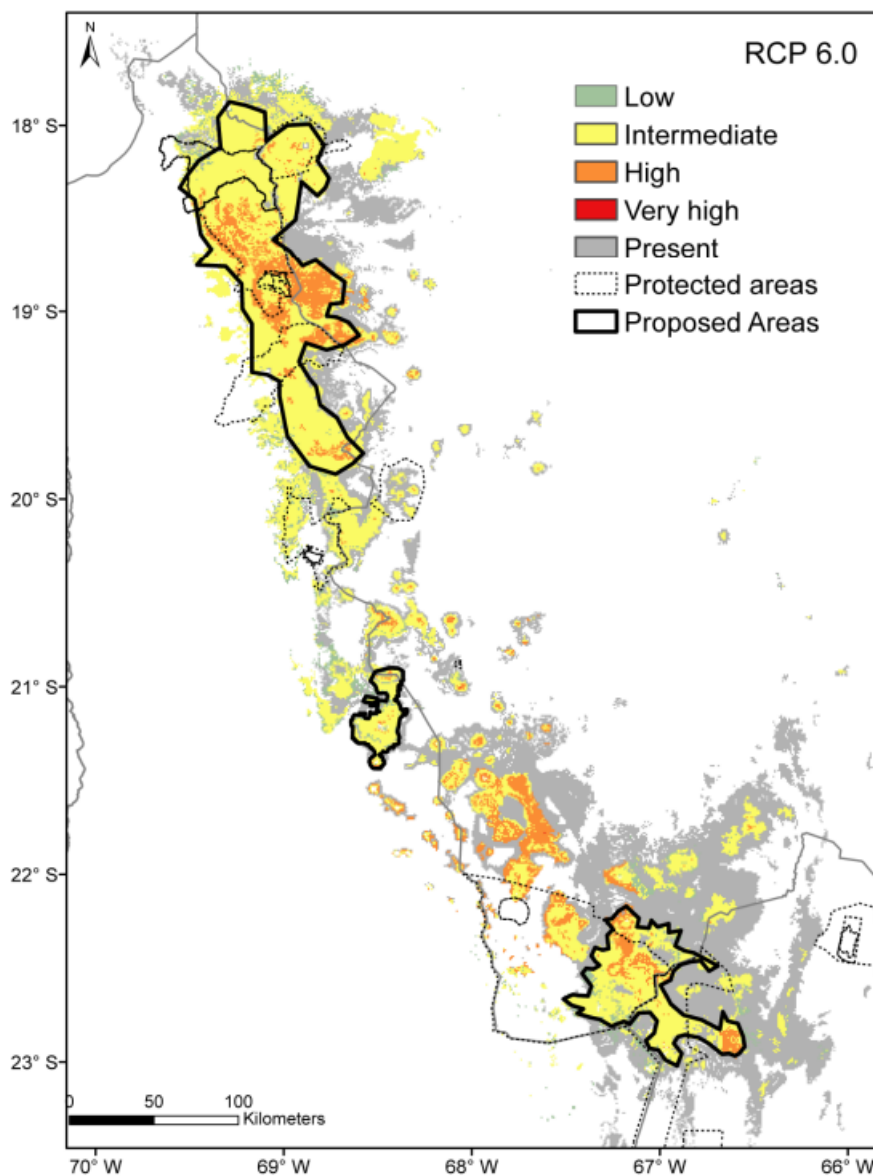


FIGURA 4. Distribución futura de *Polylepis tarapacana* según variables ambientales medias de tres modelos climáticos de circulación general en Chile, Bolivia y Argentina.

Adaptado de Cuyckens et al. (2016)



Una estrategia clave para impulsar la conservación de los bosques de *Pohlylepis* es resaltar su importancia como mitigadores de los efectos del cambio climático (Hansen y Rodbell, 1995; Gosling *et al.*, 2008; Montesinos-Tubée *et al.*, 2015). Zutta y Rundel (2017) modelaron los cambios en la distribución de las especies del género *Pohlylepis* desde el último máximo glacial hasta la actualidad, destacando que su extensión se ha reducido en 36% debido a las oscilaciones climáticas del Holoceno y las presiones antropogénicas de las civilizaciones precolombinas y modernas. Por otro lado, Segovia-Salcedo *et al.* (2018) observaron que las especies ubicadas en la cuenca amazónica del sur y el altiplano presentan mayor resiliencia, reflejada en una mayor riqueza de la especie *Pohlylepis*, mientras que en los extremos norte y sur de los Andes su distribución es más limitada. En la tabla 4 se muestra la cantidad aproximada de especies de *Pohlylepis* en los países de América del Sur, de acuerdo con Zutta y Rundel (2017). Otro estudio da a conocer el primer registro paleoecológico de la cordillera occidental de los Andes peruanos con los datos de polen, carbón, susceptibilidad magnética y densidad aparente, y se ve que los cambios no son tan significativos en ellos, pero los pequeños cambios podrían deberse a la actividad humana o quizás a un cambio climático regional asociado con la rotación cultural en otros lugares de los Andes (Weng *et al.*, 2006).

TABLA 4. Cantidad de especies del género *Pohlylepis* en los países de América del Sur.

Zonas	Número de especies de <i>Pohlylepis</i>
Norte de los Andes en Ecuador	6
Centro de los Andes en Ecuador	6
Sur de los Andes en Ecuador	1
Frontera Colombia y Ecuador	1
Norte del Amazonas, Perú, Colombia y Ecuador	1
Centro del Amazonas en Perú	1
Sur del Amazonas en Perú	15
Argentina Norte	1
Altiplano Perú y Bolivia	8
Sur de Brasil	7

Adaptado de Zutta y Rundel (2017).

Existen especies amenazadas de *Pohlylepis* por el cambio climático (Morales-Aranibar y Morales-Aranibar, 2023), por ejemplo, *Pohlylepis quadrijuga*, cuyo hábitat se puede reducir en 80% como efecto de las alteraciones climáticas futuras (Caballero-Villalobos *et al.*, 2021). Los ecosistemas andinos donde están los bosques de *Pohlylepis* son cada vez más vulnerables a la fragmentación y pérdida de conectividad, en respuesta a ello, hay mayor interés en estudios que permitan predecir su distribución para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático mediante la conservación y la reforestación. Tal es el caso de Zutta *et al.* (2012), quienes, con ayuda del programa Maxent, confirman que la altitud y la temperatura son los factores más importantes que influyen en la distribución de *P. sericea* y *P. besseri*. Esta información es relevante ya que puede ayudar a definir las áreas de diversidad y mejorar las estrategias de conservación. En el Perú se tienen muchas especies de *Pohlylepis* que actualmente se encuentran amenazadas y es por ello que existe la necesidad de incrementar las investigaciones en estos bosques y priorizar su conservación, lo que podría disminuir dichas presiones y amenazas antrópicas, así como las del cambio climático (Guamba *et al.*, 2021; Paduano *et al.*, 2003). Es necesario, a futuro, que existan investigaciones de evaluación de la fragilidad paisajística mediante indicadores, ya que se deben entender los patrones de fragmentación del paisaje que producen zonas vulnerables o susceptibles, todo ello para reforzar el cuidado de los ecosistemas con una correcta gestión (Zhu *et al.*, 2023). Las investigaciones de Sundriyal *et al.* (2018) se basaron en el impacto turístico sobre una zona montañosa de la India. Estos autores evaluaron la pendiente como un factor de fragilidad paisajística y su investigación explica que, donde hay mayor pendiente, se reduce la posibilidad de intervención humana en el paisaje y resulta menor la fragilidad; en cambio, lugares con menor pendiente son más propensos a perturbaciones antropogénicas, lo que conduce a una mayor fragilidad. Asimismo, una de las causas más importantes de la fragilidad paisajística es la deforestación, que se encuentra entre los principales impactos que contribuyen al cambio climático, además de cambiar los patrones del paisaje y aumentar el

aislamiento del hábitat reduciendo el tamaño de los parches forestales generando fragmentación. Esto se puede observar en la investigación de Tapia-Armijos et al. (2015), que se centra en los bosques del sur de Ecuador; en ese estudio utilizan imágenes satelitales para observar cómo han sido los patrones de deforestación y consecuentemente la fragmentación que ha sufrido este paisaje con el paso de los años, confirmando que existe un cambio continuo en la configuración del paisaje que puede generar ecosistemas vulnerables o frágiles.

Los estudios de conectividad y fragmentación del paisaje son importantes para definir zonas de desplazamiento e intercambio genético entre especies que sirvan como estrategias de conservación (Cartaya et al., 2016; DeMatteo et al., 2017). Dichos estudios no son muy desarrollados en el Perú, ya que las herramientas que se utilizan para analizar la conectividad y fragmentación como la teledetección y sistemas de información geográfica, solo se usan para determinar zonas de distribución de especies (Böhm y Popescu, 2016). Es muy importante abordar este tema en Perú y empezar a buscar métodos que ayuden a la investigación y formulación de futuras propuestas para problemas de fragmentación (Barbero-Bermejo et al., 2021). Una de estas alternativas es la realización de corredores ecológicos; esta es una de las estrategias paisajísticas para la conservación de la biodiversidad, ya que permite que se creen unidades de conservación y que haya el intercambio genético entre especies; además, posibilitan el enlace de fragmentos de hábitat (Morandi et al., 2020). Los bosques fragmentados de *Polylepis* logran su estabilidad ecosistémica manteniendo su conectividad por medio de asociaciones con comunidades de aves (Lloyd y Marsden, 2008). Los estudios sobre la relación entre aves y especies forestales son importantes para entender los impactos antropogénicos sobre la diversidad de avifauna en los bosques, así como para identificar el nivel de conectividad entre los parches ocasionados por la fragmentación (Lloyd y Marsden, 2008; Sevillano-Rios y Rodewald, 2016) Es importante poder identificar la avifauna asociada a especies forestales (Sekercioglu, 2002) y tener datos sobre su estado de conservación. Investigaciones como la de Astudillo et al.

(2019) evaluaron los movimientos de avifauna en relación con las características de los parches del bosque de *Polylepis* en los Andes ecuatorianos, logrando obtener que la heterogeneidad de los hábitats de gran altitud en los Andes es un factor importante para la conservación y tiene una influencia potencialmente positiva en la conectividad a escala de paisaje. También algunas especies de aves asociadas a *Polylepis* se consideran amenazadas a escala mundial por lo que pueden presentar poblaciones extremadamente pequeñas en los diminutos parches de bosque que quedan (Fjeldså y Krabbe, 1996). Si se pudieran identificar los factores que afectan a la fragmentación que generan parches de bosque de *Polylepis*, dicha información podría apoyar a los restauradores a predecir con mayor precisión las respuestas de las aves a la pérdida y degradación del hábitat, y proporcionar un vínculo con los mecanismos y estrategias de restauración frente al cambio climático (Lloyd, 2008).

Por lo tanto, las pocas investigaciones en Perú sobre la fragmentación del paisaje y conectividad en los bosques de *Polylepis* no contribuyen con información requerida para investigaciones (Requena-Rojas et al., 2020), ni con datos importantes que se necesitan para realizar propuestas y planes de conservación de las especies relacionadas con este bosque. Dentro de la conservación, es muy importante determinar zonas de calidad de hábitat o nichos ecológicos libres de impactos antropogénicos (Yang et al., 2022) donde se puedan evaluar los patrones del paisaje que ayuden a entender su fragmentación y, con ello, se pueda lograr una gestión ecológica adecuada.

CONCLUSIONES

Los bosques de queñua (*Polylepis*) se encuentran distribuidos a lo largo de la Cordillera de los Andes, ubicándose en Perú su mayor ocupación y diversidad. En este país, la mayor diversidad de especies del género se encuentra en los Andes del Sur; siendo el probable centro de diversificación del género.

Las alteraciones climáticas que han ocurrido a lo largo de los años tienen una relación con las condiciones a las que



se han ido adaptando los bosques de *Polylepis*, con lo que se puede afirmar que, por sus características y condiciones, podrían ser especies que ayuden a la adaptación al cambio climático. Las investigaciones recopiladas evidencian que estos bosques han sobrevivido a diversos impactos ambientales y antropogénicos que contribuyen a la fragmentación y pérdida de conectividad del paisaje; sin embargo, su rebrote es lento y probablemente sea eliminado por el incremento de la deforestación, cambio de uso de suelo y aumento de temperatura por el cambio climático, haciendo que aumente su vulnerabilidad.

Es necesario impulsar investigaciones sobre los bosques de *Polylepis*, sus cambios de distribución, nuevos registros de especies, fragmentación, conectividad, especies asociadas e impactos en sus ecosistemas, para poder construir futuras propuestas de conservación de la biodiversidad con base en información sólida y confiable que apoye a la adaptación al cambio climático.

REFERENCIAS

- Alexander, P. A. (2020). Methodological guidance paper: the art and science of quality systematic reviews. *Review of Educational Research*, 90(1), 6-23. <https://doi.org/10.3102/0034654319854352>
- Ames Martínez, F. N., Quispe Melgar, H. R., Zuñiga López, D. G., Segovia Salcedo, M. C., & Kessler, M. (2019). *Bosques de Polylepis: Biodiversidad en la región central del Perú*. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5922>
- Ancajima, G. P., & Grados, J. (2022). First records of Sphingidae, Saturniidae, and Arctiinae (Lepidoptera) in the forests of *Polylepis sericea* in the Huascarán National Park, Ancash, Peru. *Entomological Communications*, 4, ec04019-ec04019. <https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec04019>
- Aprueban Categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre, Pub. L. No. 043-2006-AG (2006). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/944738/D.S.-N-043-2006-AG---Aprueban-Categorización-de-Especies-Amenazadas-de-Flora-Silvestre20200705-25584-3pd55e.pdf>
- Aprueban Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático, Pub. L. No. 007-2016-MINAM, 2 (2016).
- Arizapana-Almonacid, M. A., Camel, V., Castañeda-Tinco, M., Pyles, M. V., Teodoro, G. S., & Van den Berg, E. (2022). The effect of human impact and environmental conditions on *Polylepis* forest and on the world's highest mistletoe infestation. *Plant Ecology*, 223(8), 965-976. <https://doi.org/10.1007/s11258-022-01254-5>
- Astudillo, P. X., Schabo, D. G., Siddons, D. C., & Farwig, N. (2019). Patch-matrix movements of birds in the páramo landscape of the southern Andes of Ecuador. *Emu - Austral Ornithology*, 119(1), 53-60. <https://doi.org/10.1080/01584197.2018.1512371>
- Atasoy, M. (2018). Monitoring the urban green spaces and landscape fragmentation using remote sensing: A case study in Osmaniye, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(12), 713. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7109-1>
- Barbero-Bermejo, I., Crespo-Luengo, G., Hernández-Lambrano, R. E., Rodríguez de la Cruz, D., & Sánchez-Agudo, J. Á. (2021). Natural protected areas as providers of ecological connectivity in the landscape: The case of the Iberian Lynx. *Sustainability*, 13(1), 41. <https://doi.org/10.3390/su13010041>
- Böhm, M., & Popescu, V. D. (2016). Landscape ecology, biogeography, and GIS methods. En K. Dodd (Ed.) *Reptile ecology and conservation*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198726135.003.0022>
- Brunschön, C., & Behling, H. (2009). Late Quaternary vegetation, fire and climate history reconstructed from two cores at Cerro Toledo, Podocarpus National Park, southeastern Ecuadorian Andes. *Quaternary Research*, 72(3), 388-399. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2009.07.001>
- Byers, A. C. (2000). Contemporary landscape change in the Huascarn National Park and buffer zone, Cordillera Blanca, Peru. *Mountain Research and Development*, 20(1), 52-63. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2000\)020\[0052:clcih\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2000)020[0052:clcih]2.0.co;2)
- Caballero-Villalobos, L., Fajardo-Gutiérrez, F., Calbi, M., & Silva-Arias, G. A. (2021). Climate change can drive a significant loss of suitable habitat for *polylepis quadrijuga*, a treeline species in the Sky Islands of the Northern Andes. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fevo.2021.661550>
- Camel, V., Arizapana-Almonacid, M., Pyles, M., Galeano, E., Quispe-Melgar, H. R., Ninanya-Parra, Z., Ames-Martínez, F. N., Requena-Rojas, E., & Kessler, M. (2019). Using dendrochronology to trace the impact of the hemiparasite *Tristerix chodatianus* on Andean *Polylepis* trees. *Plant Ecology*, 220(9), 873-886. <https://doi.org/10.1007/s11258-019-00961-w>
- Cano, R. M. Y., Almonacid, M. A. A., Mendoza, E. P. O., Antonio, V. H. P., & Tinco, M. I. C. (2021). Water status of *Polylepis* forests related to altitudinal gradient, microclimate variables and slope. *Journal of Ecological Engineering*, 22(3), 151-160. <https://doi.org/10.12911/22998993/132425>

- Cartaya, S., Zurita, S., & Eduarte, R. M. (2016). Propuesta de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento como medidas para restaurar la conectividad del hábitat de la especie *Cuniculus paca* en Ecuador. *Ambiente y Desarrollo*, 20(39), Article 39. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-39.pcez>
- Castro, A., & Flores, M. (2015). Caracterización de un bosque de queñual (*Polylepis spp.*) ubicado en el Distrito de Huasta, Provincia de Bolognesi (Ancash, Perú). *Ecología Aplicada*, 14(1), 1-9.
- Coelho, M. T. P., Raniero, M., Silva, M. I., & Hasui, É. (2016). The effects of landscape structure on functional groups of Atlantic forest birds. *The Wilson Journal of Ornithology*, 128(3), 520-534. <https://doi.org/10.1676/1559-4491-128.3.520>
- Cui, F., Wang, B., Zhang, Q., Tang, H., De Maeyer, P., Hamdi, R., & Dai, L. (2021). Climate change versus land-use change—What affects the ecosystem services more in the forest-steppe ecotone? *Science of The Total Environment*, 759, 143525. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143525>
- Cuyckens, G. A. E., Christie, D. A., Domic, A. I., Malizia, L. R., & Renison, D. (2016). Climate change and the distribution and conservation of the world's highest elevation woodlands in the South American Altiplano. *Global and Planetary Change*, 137, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.12.010>
- Decreto Supremo que aprueba la actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas, Pub. L. No. 004-2014- MINAGRI (2014). <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretosupremos/2014/ds04-2014-minagri.pdf>
- DeMatteo, K. E., Rinas, M. A., Zurano, J. P., Selleski, N., Schneider, R. G., & Argüelles, C. F. (2017). Using niche-modelling and species-specific cost analyses to determine a multispecies corridor in a fragmented landscape. *PLOS ONE*, 12(8), e0183648. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183648>
- Denyer, D., & Tranfield, D. (2009). Producing a systematic review. En D. A. Buchanan, & A. Bryman (Eds.) *The Sage handbook of organizational research methods* (pp. 671-689). Sage Publications Ltd.
- Diamond, J. M. (1975). The island dilemma: Lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. *Biological Conservation*, 7(2), 129-146. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(75\)90052-X](https://doi.org/10.1016/0006-3207(75)90052-X)
- Domic, A. I., & Capriles, J. M. (2021). Distribution shifts in habitat suitability and hotspot refugia of Andean tree species from the last glacial maximum to the Anthropocene. *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 297-309. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1957652>
- Doughty, C. A. (2016). Building climate change resilience through local cooperation: A Peruvian Andes case study. *Regional Environmental Change*, 16(8), 2187-2197. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0882-2>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP] (2020). *The state of the world's forests 2020: Forests, biodiversity and people*. FAO and UNEP. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>
- Feeley, K. J., Silman, M. R., Bush, M. B., Farfan, W., Cabrera, K. G., Malhi, Y., Meir, P., Revilla, N. S., Quisipyanqui, M. N. R., & Saatchi, S. (2011). Upslope migration of Andean trees. *Journal of Biogeography*, 38(4), 783-791. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02444.x>
- Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: A synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16(3), 265-280. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x>
- Fjeldså, J., Kessler, M., Engblom, G., & Driesch, P. (1996). *Conserving the biological diversity of Polylepis woodlands of the highland of Peru and Bolivia: A contribution to sustainable natural resource management in the Andes*. NORDECO.
- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1991). *Landscape ecology*. Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Landscape+Ecology-p-9780471870371>
- García, E. E., Vandellook, F., Fernández, M., Hermy, M., & Honnay, O. (2012). Seed germination, hydrothermal time models and the effects of global warming on a threatened high Andean tree species. *Seed Science Research*, 22(4), 287-298. <https://doi.org/10.1017/S0960258512000189>
- George Jiduc, S. (2016). Contemporary landscape changes in the Cordillera Blanca and Cordillera Huayhuash of Peru (1936-2012). *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 1. <https://doi.org/10.36580/rgem.i1.37-50>
- Gosling, W. D., Bush, M. B., Hanselman, J. A., & Chepstow-Lusty, A. (2008). Glacial-interglacial changes in moisture balance and the impact on vegetation in the southern hemisphere tropical Andes (Bolivia/Peru). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 259(1), 35.
- Guamba, J. C. C., Corredor, D., Galárraga, C., Herdoiza, J. P., Santillán, M., & Segovia-Salcedo, M. C. (2021). Geometry morphometrics of plant structures as a phenotypic tool to differentiate *Polylepis incana* Kunth. And *Polylepis racemosa* Ruiz and Pav. Reforested jointly in Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 121-134. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1906138>



- Hansen, B. C. S., & Rodbell, D. T. (1995). A late-glacial/Holocene pollen record from the Eastern Andes of Northern Peru. *Quaternary Research*, 44, 216-227. <https://doi.org/10.1006/qres.1995.1066>
- Hastorf, C. A., Whitehead, W. T., & Johannessen, S. (2005). Late prehistoric wood use in an Andean intermontane valley. *Economic Botany*, 59(4), 337-355. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2005\)059\[0337:lpwuia\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2005)059[0337:lpwuia]2.0.co;2)
- Jameson, J. S., & Ramsay, P. M. (2007). Changes in high-altitude *Polylepis* forest cover and quality in the Cordillera de Vilcanota, Perú, 1956–2005. *Biological Conservation*, 138(1-2), 38.
- Janowiak, M. K., D'Amato, A. W., Swanston, C. W., Iverson, L., Thompson, F. R., Dijak, W. D., Matthews, S., Peters, M. P., Prasad, A., Fraser, J. S., Brandt, L. A., Butler-Leopold, P., Handler, S. D., Shannon, P. D., Burbank, D., Campbell, J., Cogbill, C., Duveneck, M. J., Emery, M. R., ... Templer, P. H. (2018). New England and northern New York forest ecosystem vulnerability assessment and synthesis: A report from the New England Climate Change Response Framework project. *Gen. Tech. Rep. NRS-173. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station*. 234 p., 173, 1-234. <https://doi.org/10.2737/nrs-gtr-173>
- Kessler, M. (2006). Bosques de *Polylepis*. En M. Moraes R., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius, & H. Balslev (Eds.), *Botánica Económica de los Andes Centrales* (pp. 110-120). Universidad Mayor de San Andrés.
- Lloyd, H. (2008). Foraging ecology of High Andean insectivorous birds in remnant *Polylepis* forest patches. *The Wilson Journal of Ornithology*, 120(3), 531-544. <https://doi.org/10.1676/07-059.1>
- Lloyd, H., & Marsden, S. J. (2008). Bird community variation across *Polylepis* woodland fragments and matrix habitats: Implications for biodiversity conservation within a high Andean landscape. *Biodiversity and Conservation*, 17(11), 2645-2660. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9343-2>
- Lookingbill, T. R., & Minor, E. S. (2017). Assessing multi-scale landscape connectivity using network analysis. En S. E. Gergel, & M. G. Turner (Eds.), *Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques* (pp. 193-209). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6374-4_12
- Marcora, P. I., Tecco, P. A., Ferrero, M. C., Ferreras, A. E., Zeballos, S. R., Funes, G., Gurvich, D. E., Arias, Gonzalo., Cáceres, Y., & Hensen, I. (2021). Are populations of *Polylepis australis* locally adapted along their elevation gradient? *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 246-256. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1940049>
- Marengo, J. A., Ambrizzi, T., Rocha, R. P. da, Alves, L. M., Cuadra, S. V., Valverde, M. C., Torres, R. R., Santos, D. C., & Ferraz, S. E. T. (2010). Future change of climate in South America in the late twenty-first century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, 35, 1089-1113.
- Mendoza, W., & Cano, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología*, 18(2), 197-200.
- Montesinos-Tubée, D. B., Pinto, Á., Beltrán, D., & Galiano Sánchez, W. (2015). Vegetation of a *Polylepis incarum* forest (Rosaceae) in Lampa district, Puno, Peru. *Revista Peruana de Biología*, 22, 87-96. <https://doi.org/10.15381/rpb.v22i1.11125>
- Montis, A. D., Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Ledda, A., & Serra, V. (2017). Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. *Land Use Policy*, 64, 83-94.
- Morales-Aranibar, L., & Morales-Aranibar, C. (2023). Maps of the distribution of *Polylepis* forests in Southern Peru. En XV *International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022"* (pp. 3009-3018). https://doi.org/10.1007/978-3-031-21432-5_332
- Morandi, D. T., França, L. C. de J., Menezes, E. S., Machado, E. L. M., da Silva, M. D., & Mucida, D. P. (2020). Delimitation of ecological corridors between conservation units in the Brazilian Cerrado using a GIS and AHP approach. *Ecological Indicators*, 115, 106440. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106440>
- Nevins, M. T., D'Amato, A. W., & Foster, J. R. (2021). Future forest composition under a changing climate and adaptive forest management in southeastern Vermont, USA. *Forest Ecology and Management*, 479, 118527. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118527>
- Paduano, G. M., Bush, M. B., Baker, P. A., Fritz, S. C., & Seltzer, G. O. (2003). A vegetation and fire history of Lake Titicaca since the Last Glacial Maximum. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194(1-3), 259-279. [https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(03\)00281-5](https://doi.org/10.1016/s0031-0182(03)00281-5)
- Peña, J. J., Noa, R., & Martínez-Murillo, J. (2017). Landscape visual fragility associated to temporal dynamic in the chestnut lands in Faraján (Spain). *Cuadernos Geográficos*, 56, 116-135.
- Pinos, J. (2020). Challenges and conservation implications of woodlands in the Andean region: Defining actions for sustainable management. *Hacquetia*, 19(2), 143-153. <https://doi.org/10.2478/hacq-2020-0001>
- Quispe-Melgar, H. R., Romo, W. C. N., Ames-Martínez, F. N., Paucar, V. F. C., & Sevillano-Ríos, C. S. (2018). New distribution records of *Anairetes alpinus* (Carriker, 1933) (Aves, tyrannidae), a highly specialized and endangered bird of *Polylepis* forests in Junín, Peru. *Check List*, 14(3), 499-504. <https://doi.org/10.15560/14.3.499>
- Renison, D., Morales, L., Cuyckens, G. É., Sevillano, C. S., & Amaya, D. M. C. (2018). Ecología y conservación de los bosques y arbustales

- de *Polylepis*: ¿qué sabemos y qué ignoramos? *Ecología Austral*, 28(1-bis), 163–174. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.522>
- Requena-Rojas, E. J., Crispín-DelaCruz, D. B., Ticse-Otarola, G., Quispe-Melgar, H. R., Inga Guillen, J. G., Camel Paucar, V., Guerra, A., Ames-Martinez, F. N., & Morales, M. (2020). Temporal growth variation in high-elevation forests: case study of *Polylepis* forests in Central Andes. En M. Pompa-García, J. Camarero, (Eds.), *Latin American Dendroecology* (pp. 263-279). https://doi.org/10.1007/978-3-030-36930-9_12
- Sevillano Ríos, C. S., Rodewald, A. D., & Morales, L. V. (2018). Ecología y conservación de las aves asociadas con *Polylepis*: ¿qué sabemos de esta comunidad cada vez más vulnerable? *Ecología Austral*, 28(1-bis), 216–228. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.519>
- Rodríguez-Caton, M., Andreu-Hayles, L., Morales, M. S., Daux, V., Christie, D. A., Coopman, R. E., Alvarez, C., Rao, M. P., Aliste, D., Flores, F., & Villalba, R. (2021). Different climate sensitivity for radial growth, but uniform for tree-ring stable isotopes along an aridity gradient in *Polylepis tarapacana*, the world's highest elevation tree species. *Tree Physiology*, 41(8), 1353-1371. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab021>
- Rodríguez-Morata, C., Madrigal-González, J., Stoffel, M., & Ballesteros-Cánovas, J. A. (2020). Climate impacts on tree growth in a Neotropical high mountain forest of the Peruvian Andes. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 13(3), 194. <https://doi.org/10.3832/ifer3124-013>
- Rodríguez-Ramírez, E. C., Crispín-DelaCruz, D. B., Ticse-Otarola, G., & Requena-Rojas, E. J. (2022). Assessing the hydric deficit on two *Polylepis* species from the Peruvian Andean mountains: xylem vessel anatomic adjusting. *Forests*, 13(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/f13050633>
- Saura, S., & Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3), 523-537. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05760.x>
- Scheffers, B. R., De Meester, L., Bridge, T. C. L., Hoffmann, A. A., Pandolfi, J. M., Corlett, R. T., Butchart, S. H. M., Pearce-Kelly, P., Kovacs, K. M., Dudgeon, D., Pacifici, M., Rondinini, C., Foden, W. B., Martin, T. G., Mora, C., Bickford, D., & Watson, J. E. M. (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, 354(6313), aaf7671. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7671>
- Segovia-Salcedo, M. C., Domic, A., Boza, T., & Kessler, M. (2018). Situación taxonómica de las especies del género *Polylepis*. Implicancias para los estudios ecológicos, la conservación y la restauración de sus bosques. *Ecología Austral*, 28(1-bis), 188–201. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.527>
- Sekercioglu, C. H. (2002). Effects of forestry practices on vegetation structure and bird community of Kibale National Park, Uganda. *Biological Conservation*, 107(2), 229-240. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00097-6)
- Sun, Y.-L., Shan, M., Pei, X.-R., Zhang, X.-K., & Yang, Y.-L. (2020). Assessment of the impacts of climate change and human activities on vegetation cover change in the Haihe River basin, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 115, 102834. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.102834>
- Sundriyal, S., Shridhar, V., Madhwal, S., Pandey, K., & Sharma, V. (2018). Impacts of tourism development on the physical environment of Mussoorie, a hill station in the lower Himalayan range of India. *Journal of Mountain Science*, 15(10), 2276-2291. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4786-0>
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & Cruz, M. de la (2015). Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s – Losing a hotspot of biodiversity. *PLOS ONE*, 10(9), e0133701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133701>
- The IUCN Red List of Threatened Species*. (2021). IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/es>
- Toivonen, J. M., Gonzales-Inca, C. A., Bader, M. Y., Ruokolainen, K., & Kessler, M. (2018). Elevational shifts in the topographic position of *Polylepis* forest stands in the Andes of Southern Peru. *Forests*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/f9010007>
- Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). *Landscape ecology in theory and practice*. <https://link.springer.com/book/10.1007/b97434>
- Urrego, D. H., Niccum, B. A., La Drew, C. F., Silman, M. R., & Bush, M. B. (2011). Fire and drought as drivers of early Holocene tree line changes in the Peruvian Andes. *Journal of Quaternary Science*, 26(1), 28-36. <https://doi.org/10.1002/jqs.1422>
- Valencia, B. G., Bush, M. B., Coe, A. L., Orren, E., & Gosling, W. D. (2018a). *Polylepis* woodland dynamics during the last 20,000 years. *Journal of Biogeography*, 45(5), 1019-1030. <https://doi.org/10.1111/jbi.13209>
- Valencia, B. G., Bush, M. B., Coe, A. L., Orren, E., & Gosling, W. D. (2018b). *Polylepis* woodland dynamics during the last 20,000 years. *Journal of Biogeography*, 45(5), 1019-1030. <https://doi.org/10.1111/jbi.13209>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Weng, C., Bush, M. B., Curtis, J. H., Kolata, A. L., Dillehay, T. D., & Binford, M. W. (2006). Deglaciation and Holocene climate change



in the western Peruvian Andes. *Quaternary Research*, 66(1), 87-96.
<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2006.01.004>

Yang, Y., Chen, J., Lan, Y., Zhou, G., You, H., Han, X., Wang, Y., & Shi, X. (2022). Landscape pattern and ecological risk assessment in Guangxi based on land use change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1595. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031595>

Zhu, L., Zhu, K., & Zeng, X. (2023). Evolution of landscape pattern and response of ecosystem service value in international wetland cities: A case study of Nanchang City. *Ecological Indicators*, 155, 110987. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110987>

Zubelzu Mínguez, S., & Allende Álvarez, F. (2015). El concepto de paisaje y sus elementos constituyentes: Requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(1), 29-42. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n1.41369>

Zutta, B. R., & Rundel, P. W. (2017). Modeled shifts in *Pohlylepis* species ranges in the Andes from the Last Glacial Maximum to the present. *Forests*, 8(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/f8070232>

Manuscrito recibido el 26 de abril de 2023

Aceptado el 30 de abril de 2024

Publicado el 12 de diciembre de 2024

Este documento se debe citar como:

Chanove-Manrique, A., & Cárdenas-Pillco, B. (2024). Fragmentación del paisaje y pérdida de conectividad en los bosques de queñua (*Pohlylepis*) en Perú y su vulnerabilidad ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 30(3), e3032593. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3032593>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.



Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61781541007>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la
academia

Andrea Chanove-Manrique, Berly Cárdenas-Pillco
**Fragmentación del paisaje y pérdida de conectividad en
los bosques de queñua (Polylepis) en Perú y su
vulnerabilidad ante el cambio climático**
**Landscape fragmentation and loss of connectivity in
Polylepis forests in Peru and its vulnerability to climate
change**

Madera y bosques
vol. 30, núm. 3, e3032593, 2024
Instituto de Ecología A.C.,
ISSN: 1405-0471
ISSN-E: 2448-7597

DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3032593>