

***Polylepis incarum* (Rosaceae) una especie En Peligro Crítico en Bolivia: Propuesta de reclasificación en base al área de ocupación y estructura poblacional**

Polylepis incarum (Rosaceae) a critically endangered species in Bolivia: proposal for the reclassification based on area of occupancy and population structure

Alejandra I. Domic^{1,2*}, Arely N. Palabral-Aguilera², M. Isabel Gómez³, Rosember Hurtado², Noel Ortuño⁴ & Máximo Liberman⁵

¹Department of Anthropology, The Pennsylvania State University, University Park, Pensilvania 16802, USA. *Autora de correspondencia alejandradowic@gmail.com

²Herbario Nacional de Bolivia, Calle 27 Cota Cota, La Paz, Bolivia.

³Colección Boliviana de Fauna - Museo Nacional de Historia Natural, Calle 26 Cota Cota, La Paz, Bolivia.

⁴Wildlife Conservation Society, Casilla 3-35181 San Miguel, La Paz, Bolivia.

⁵Instituto de Ecología, Carrera de Biología, Universidad Mayor de San Andrés, Casilla 10077 – Correo Central, La Paz, Bolivia.

Resumen

Polylepis incarum (Rosaceae) es una especie endémica de la cuenca del Lago Titicaca que se caracteriza por formar bosques monoespecíficos distribuidos en laderas montañosas. En Bolivia, la especie está clasificada como En Peligro y se estima que cubre un área aproximada de 367 km², sin embargo no existe información cuantitativa sobre su distribución actual ni el estado de conservación de las poblaciones remanentes. En este estudio realizamos una intensa y sistemática evaluación para reevaluar el estado de conservación de la especie en Bolivia. Los objetivos del estudio fueron: a) identificar los bosques remanentes y cuantificar el área de ocupación (AOO), b) evaluar la estructura poblacional de los bosques y las amenazas a las que se encuentran sujetas y c) cuantificar la regeneración de estos bosques en base a la densidad de plántulas e individuos reproductivos y el banco de semillas. Registramos un total de 20 localidades donde se encuentra *P. incarum*, de los cuales sólo cinco son bosques. Encontramos que actualmente la especie sólo cubre un área total de 45.12 ha, correspondiente al 0.123% del área previamente estimada. La mayoría de los bosques presentaron alta densidad de plántulas (promedio: 17.68, rango: 0.43-38.35), sugiriendo potenciales altas tasas de regeneración. El estudio del banco de semillas mostró una mayor densidad de semillas en zonas debajo del dosel (0.56 ± 0.12 semillas/g de suelo) en comparación a las zonas abiertas (0.015 ± 0.013 semillas/g de suelo) así como un incremento en la densidad de semillas a medida que aumenta la densidad de individuos reproductivos. Debido a la reducida distribución actual de *P. incarum*, sugerimos reclasificar a la especie como En Peligro Crítico para Bolivia y la inmediata implementación de proyectos de conservación y restauración para poder coadyuvar a la recuperación de las poblaciones remanentes y así asegurar la recuperación de la especie.

Palabras clave: Bosques altoandinos, Cuenca del Lago Titicaca, Estado de conservación.

Abstract

Polylepis incarum (Rosaceae) is an endemic species of the Titicaca Lake basin that forms monospecific forest stands distributed in mountain slopes. In Bolivia, the species is classified as Endangered and it is estimated that the species covers approximately 367 km²; however, there is no quantitative information regarding the conservation status of the remaining populations. In this study, we conducted an intensive and systematic field evaluation to assess the conservation status of *P. incarum* in Bolivia. The objectives of the study were: a) to identify remaining *P. incarum* forest stands and to quantify the area of occupancy (AOO), b) to evaluate the population structure of forest stands and the effects of human activities, and c) to quantify the regeneration of these forest stands based on the density of seedlings and reproductive individuals and seed bank. We registered 20 localities where *P. incarum* is found, from which only five represent forest stands. The species covers an estimated area of 45.12 ha, which corresponds to only 0.123% of the previously estimated area. Most of the forest stands exhibit a high density of seedlings (mean: 17.68, range: 0.43-38.35), suggesting potentially high rates of regeneration. The seed bank assessment showed high seed density in areas located under the canopy (0.56 ± 0.12 seeds/g of soil) as opposed to open areas (0.015 ± 0.013 seeds/g of soil). Due to the small distributional range of *P. incarum*, we suggest reclassifying the species as Critically Endangered in Bolivia as well as the immediate implementation of conservation programs in order to promote the recuperation of the remaining populations and thus ensure the recovery of the species.

Keywords: Conservation status, High-mountain forests, Titicaca Lake basin.

Introducción

Polylepis incarum (Bitter) M. Kessler & Smidth-Leb, conocida localmente como lampaya y queñua, es una especie endémica de la cuenca del Lago Titicaca que forma pequeños rodales distribuidos en laderas rocosas, quebradas y a lo largo de riachuelos (Arrázola *et al.* 2012). La distribución actual de la especie es resultado de una larga historia de intervención humana, dada por la presencia de asentamientos humanos desde la época prehispánica hasta el presente y una intensa modificación del paisaje por actividades económicas (Kessler & Driesch 1993, Fjeldså & Kessler 1996). La pérdida de los bosques posiblemente se intensificó durante el Incario y posteriormente durante la colonia porque produjeron la expansión de la población humana y consecuentemente la intensificación de la agricultura y un incremento en la demanda de leña y carbón vegetal como combustible para las embarcaciones a vapor (Posnansky

1983, Ansión 1986, Capriles & Flores Bedregal 2002).

Las poblaciones remanentes de *P. incarum* se encuentran amenazadas por actividades humanas como la quema, el sobrepastoreo, la expansión de cultivos agrícolas y asentamientos humanos y por extracción de leña. Estos disturbios que producen la pérdida de cobertura boscosa y la degradación del hábitat (Martínez & Villarte 2009, Arrázola *et al.* 2012). La especie también es utilizada como medicina para curar una diversidad de enfermedades y como materia prima para elaborar herramientas y muebles rústicos para restaurantes de la turística localidad de Copacabana (Lieberman *et al.* 2015).

El estado de conservación de *Polylepis incarum* no ha sido evaluado a lo largo de su rango de distribución global, sin embargo, en Bolivia, ésta se encuentra categorizada como “En Peligro” (EN) (Arrázola *et al.* 2012). La categorización se basó en la estimación de la distribución potencial de

la especie en base al sistema de clasificación de vegetación de Navarro & Ferreira (2011). Se estima un área de extensión de presencia (EOO) de aproximadamente 1.757 km² y un área de ocupación estimada (AOO) de 367 km² (Arrázola *et al.* 2012). Adicionalmente, Arrázola *et al.* (2012) consideran que no existen poblaciones naturales remanentes y que la especie persiste naturalmente en forma de individuos aislados y pequeños grupos de individuos (Navarro *et al.* 2010). Sin embargo, esta categorización se encuentra limitada por la carencia de datos cuantitativos sobre el estado de las poblaciones (p.ej. área de cobertura, densidad, entre otros). En este estudio realizamos una evaluación sistemática de la distribución de *P. incarum* en la cuenca del Lago Titicaca en Bolivia con el fin de reevaluar el estado de conservación de la especie. Los objetivos del estudio fueron: 1) identificar poblaciones de *P. incarum* y cuantificar el área de ocupación (AOO), 2) evaluar la estructura poblacional de estas poblaciones así como las amenazas a las que se encuentran sujetas y 3) estimar la regeneración de las poblaciones existentes en base a la densidad de plántulas e individuos reproductivos y el banco de semillas.

Metodología

Área de estudio

La vegetación del Lago Titicaca es propia de la puna húmeda y abarca los pisos ecológicos altimontano y altoandino inferior. Ocupa áreas con suelos bien drenados en cerros, serranías y laderas altas de los glaciales aluviales, entre 3.600-4.100 m (Navarro *et al.* 2010). La región se caracteriza por una larga historia de ocupación humana, la cual ha producido una intensa modificación del paisaje. La vegetación esta predominantemente degradada, dominando matorrales y pajonales, en medio de barbechos abandonados o en diferentes etapas de descanso (Navarro 2002). La actividad agrícola es de

pequeña escala y se caracteriza por el cultivo de tubérculos andinos (papa, oca y papalisa), cereales (cebada y quinua) y leguminosas (haba, tarwi y arveja). Entre las especies nativas destacan los matorrales de *Clinopodium bolivianum* (Lamiaceae), *Chersodoma jodopappa* (Asteraceae), *Tetraglochin cristatum* (Rosaceae), *Baccharis tola* var. *incarum* (Asteraceae), *B. boliviana* (Asteraceae) y *Adesmia spinosissima* (Fabaceae), hierbas como *Galium corymbosum* (Rubiaceae), *Bartsia crenoloba* (Orobanchaceae), *Calceolaria* spp. (Calceolariaceae), *Gamochaeta* spp. (Asteraceae) y pajonales con predominio de *Festuca*, *Jarava*, *Stipa* y *Deyeuxia* (Poaceae).

Especie de estudio

Polylepis incarum (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb. (Rosaceae) es una especie que incluye árboles y arbustos con una altura promedio entre 1-3 m de alto (hasta 8 m). Posee hojas compuestas e imparipinadas de 1-2 cm de largo, de ápice obtuso a agudo; con un par o raramente dos pares de folíolos ovados, y de ser así, el par más cercano al peciolo suele ser más pequeño (Kessler & Schmidt-Lebuhn 2006). El envés de la hoja está cubierto por pelos blanquecinos y el raquis tiene además pelos glandulares amarillos en medio de los pelos blanquecinos, el haz es glabro o casi glabro (Kessler & Schmidth-Lebum 2006). La inflorescencia no ramificada posee de 3 a 12 flores con densos pelos villosos. Los frutos son aquenios con numerosas espinas. Esta especie fue ascendida al rango de especie por Kessler & Schmidth-Lebum (2006), previamente estaba clasificaba como *Polylepis incana* Kunth subsp. *incarum* Bitter, basónimo de *Polylepis besseri* Hieron. subsp. *incarum* (Bitter) M. Kessler (Kessler 1995). La presencia de la especie en la Isla del Sol está confirmada por el topónimo colectado del sector suroeste de la isla. El espécimen tipo se perdió en la Segunda Guerra mundial por lo que un neotipo fue colectado en la misma Isla del Sol, el mismo lugar donde se colectó el

espécimen tipo hace más de un siglo atrás. La distribución de *Polylepis incarum* se restringe al oeste de Bolivia y al sureste de Perú (Kessler & Schmidh-Lebum 2006). *Polylepis incarum* se encuentra distribuida exclusivamente en los alrededores de la cuenca del Lago Titicaca. En Bolivia se encuentra en las provincias Manco Kapac, Camacho y Omasuyos del departamento de La Paz (Arrázola *et al.* 2012) y en Perú, en el departamento de Puno (Montesinos-Tubée *et al.* 2015).

Métodos

Estimación de la distribución geográfica

Identificamos sitios potenciales de presencia de bosques de *Polylepis incarum* utilizando las colectas botánicas depositadas en el Herbario Nacional de Bolivia (LPB), la base de datos en línea del Missouri Botanical Garden y del Global Biodiversity Information Facility (GIBF). Complementamos los registros con la revisión del mapa de vegetación de la Isla del Sol (Lieberman *et al.* 1988), publicaciones científicas, informes y libros donde se reportó la presencia de bosques de la especie. Adicionalmente utilizamos el mapa de distribución potencial de Navarro & Ferreira (2007) para identificar áreas potenciales de distribución y planificar las evaluaciones en campo. La evaluación en campo consistió en visitar estas áreas potenciales y todos los registros de presencia de *P. incarum* en la región. Cada vez que encontramos bosques y/o individuos de *P. incarum*, los georeferenciamos y mapeamos, incluyendo sólo el área de cobertura boscosa. Posteriormente los mapas fueron comparados con imágenes de Google Earth para determinar el área de ocupación del bosque (AOO) y generar los mapas de distribución. Adicionalmente colectamos muestras botánicas que fueron identificadas utilizando la clave de Kessler & Schmidh-Lebum (2006) y la colección de referencia de tipos del Herbario Nacional de Bolivia.

Evaluación de la estructura poblacional

En 2015, evaluamos la estructura poblacional utilizando transectos lineales de 200 x 3 m (600 m²) en cuatro bosques de *P. incarum*. En el caso del bosque Japapi (Isla del Sol), instalamos cuatro transectos de 20 x 2 m (40 m²) debido a su reducido tamaño y alta fragmentación. En cada transecto, contamos y medimos todas las plantas de *Polylepis*. Las plantas fueron categorizadas en tres hábitos en base a su altura total y número de ramas basales: árboles (individuos >0.5 m de alto, con uno o varios troncos claramente definidos), arbustos (individuos >0.5 m de alto, con varias ramas basales) y plántulas (individuos <0.5 m de alto y estériles). Categorizamos como rebrotes a las plantas que poseían cicatrices de tala y tenían además ramas vivas. Registramos los siguientes caracteres morfométricos en todas las plantas presentes en el transecto: altura total, altura del tronco principal y cobertura de la copa. Para cada plántula registramos el sustrato dominante donde estaba creciendo (i.e. hojarasca, briófitos, roca, suelo pedregoso, gramíneas o suelo desnudo). Para determinar las actividades humanas llevadas a cabo en los bosques, en cada transecto cuantificamos el número de individuos de *Polylepis* quemados, talados y/o ramoneados. La información fue complementada con el registro de la presencia de tocones de árboles de *Polylepis*, evidencia de incendios (suelo y otras plantas quemadas) y presencia de bosta de animales.

Caracterización del banco de semillas

Para caracterizar el banco de semillas colectamos muestras de suelo de hasta 5 cm de profundidad con un cilindro de metal. Las muestras fueron colectadas en zonas abiertas y debajo del dosel. En el Herbario Nacional de Bolivia, las semillas fueron separadas mediante la técnica de flotación-filtración utilizado por Pake & Venable (1996) y López (2003). Para este estudio cuantificamos solamente la densidad de semillas de *P. incarum* y excluimos otros tipos

de semillas. El recuento de semillas se realizó considerando exclusivamente las semillas enteras y aparentemente viables, sin evidencias de daño o predación. Calculamos la densidad de semillas (número de semillas/gramo de suelo) discriminando zonas abiertas y cerradas.

Análisis de datos

El Índice de Regeneración fue calculado como la altura promedio de las plántulas, multiplicado por el número total de individuos por 100 m² (Maguini 1967). Realizamos una ANOVA de una vía para determinar diferencias entre la densidad de semillas en el suelo entre zonas cubiertas por dosel y zonas abiertas. También realizamos regresiones lineales para determinar la relación entre la densidad de plántulas, la densidad promedio de semillas de zonas cerradas y la densidad de plantas reproductivas.

Resultados

Distribución

Registramos la presencia de *Polylepis incarum* en un total de 20 localidades con un área total de 45.12 ha. Sólo encontramos cinco bosques que cubren un área aproximada de 25.68 ha y se encuentran en la Isla del Sol, Puerto Acosta, Copacati, Sampaya y Villa Molino. Los bosques se caracterizan por ser pequeños (0.48-11.68 ha), estar altamente fragmentados y por encontrarse en laderas y zonas rocosas (Fig. 1, Tabla 1). En muchos casos encontramos individuos aislados y pequeños grupos de individuos (10-40 árboles) entremezclados con plantaciones de eucaliptos o en una matriz de cultivos agrícolas en diferentes estados de sucesión a orillas del Lago Titicaca, Bolivia (Fig. 2, Tabla 2).

Tabla 1. Bosques de *Polylepis incarum* ubicados en las orillas del Lago Titicaca, Bolivia.

Zona	Localidad	Área (ha)	Rango altitudinal (m)	Pendiente promedio en grados (rango)	Latitud	Longitud	Observaciones adicionales
Sampaya	Cerca a la comunidad de Sampaya	1.45	4.026-4.064	10 (5-20)	-16.0828	-69.1041	Rodeado por eucaliptos y cercos de rocas.
Copacati	Copacati	4.13	3.890-3.970	23.6 (9-35)	-16.188	-69.0808	El bosque se sitúa en el sitio arqueológico Inca Banderani
Villa Molino	Comunidad Villa Molino, camino a Aguas Calientes	9.39	3.982-4.200	33 (15 - 50)	-15.7807	-69.009	
Puerto Acosta	Cerca de la comunidad Pichari	11.68	3.960-4.098	36 (25-45)	-15.6071	-69.2247	Creciendo en una zona muy rocosa, cerca de peñascos
Isla del Sol	Japapi	0.48	3.911-3.945		-16.039202	-69.150563	La estimación del área sólo considera el área continua.

Tabla 2. Individuos aislados y grupos de individuos de *Polylepis incarum* en las orillas del Lago Titicaca, Bolivia.

Zona	Localidad	Latitud	Longitud	Observaciones adicionales
Ancoraimes	Cerca de la comunidad Eucaliptos	-15.895306	-68.905861	
Chichijaya	Borde de la carretera La Paz - Copacabana	-16.173095	-68.982898	Individuos entremezclados con ciprés
	Borde de la carretera La Paz - Copacabana	-16.171002	-68.982192	
Copacabana	Cerca de Copacabana	-16.169361	-69.061694	Incluye cerca de 45 individuos grandes aislados y entremezclados con casas
	Cerca a Copacabana, al lado de la carretera	-16.17425	-69.065417	
Huarina	Cerca a Copacabana, al lado de la carretera	-16.174113	-69.074331	
	Quebrada cerca de Huarina	-16.198504	-68.592.637	Grupo de individuos, ocupan un área de 15x2 metros
Isla del Sol	Yumani	-16.038743	-69.147508	Grupo de 11 individuos cerca de una casa
	Challampa	-15.994801	-69.188996	Grupo de individuos de pequeño tamaño, se extiende hasta el sitio arqueológico la Horca del Inca
Sampaya	Cerca a la comunidad Sampaya	-16.081278	-69.101278	
	Comunidad de Sampaya	-16.080361	-69.100583	
Yampupata	Creciendo sobre antiguas terrazas de cultivos	-16.071936	-69.119991	
Sicuani	Comunidad de Sicuani, al lado del camino	-16.08325	-69.114389	
Titicachi	Cerca a la localidad de Titicachi, al lado del camino de tierra	-16.103444	-69.091444	
Titicachi - Copacabana	Al lado del camino de Titicachi hacia las islas flotantes	-16.138833	-69.079444	

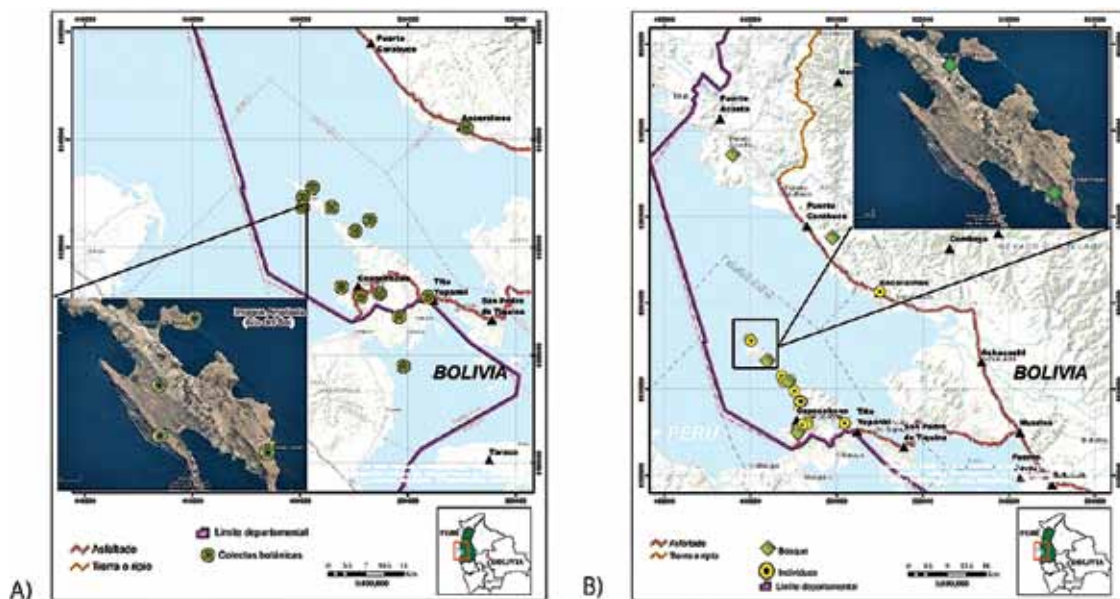


Figura 1. Mapa de ubicación de A. colectas botánicas (referencia a la presencia histórica de *P. incarum*) y B. individuos aislados (círculos amarillos) y bosques (rombos verdes) de *Polylepis incarum* en inmediaciones al Lago Titicaca, Bolivia (en la imagen se muestra la Isla de Sol como un ejemplo).

Estructura poblacional

Los bosques de *P. incarum* mostraron una amplia variación en la densidad total de individuos (Tabla 3). Copacati fue el bosque que presentó la mayor densidad de individuos, seguido por Villa Molino, mientras que el bosque de Japapi (Isla del Sol) presentó la densidad más baja. Las plántulas presentaron la mayor densidad en todos los bosques evaluados y es particularmente alta en Copacati y Villa Molino. Los árboles y arbustos mostraron similares patrones de densidad; Copacati y Villa Molino registraron las mayores densidades, a diferencia de Japapi y Puerto Acosta. Encontramos una densidad muy baja de individuos rastreros en todos los bosques y la mayor densidad de individuos reproductivos en Copacati.

Los bosques de *P. incarum* se encuentran amenazados por varias actividades humanas

que han reducido el tamaño de los bosques y el hábitat potencial de la especie. La evaluación de actividades antrópicas llevadas a cabo dentro de los bosques de *P. incarum* mostraron que los principales disturbios en la actualidad son la tala y la quema (Tabla 3). Sin embargo, el porcentaje de individuos quemados y talados es muy bajo (<5%) en todos los bosques estudiados, sugiriendo que estas actividades son llevadas a cabo de forma ocasional y actualmente tendrían un bajo impacto en las poblaciones. El bosque de Sampaya presentó el porcentaje de individuos quemados y talados más alto (3.2%).

Registramos un total de 1.296 plántulas de las cuales el 44% se encontraban entre hojarasca, seguido por áreas pedregosas (18%), suelo desnudo (16%) y briófitas (14%) (Fig. 3A). Tan sólo el 7% de las plántulas estaban asociadas a gramíneas y el 1% a zonas rocosas. Comparaciones entre los bosques



Figura 2. *Polylepis incarum* en la cuenca del Lago Titicaca, Bolivia. A. Hojas e inflorescencias, B. individuos aislados en la Isla del Sol, C. individuo cerca de casas, E. grupo de individuos en medio de una matriz de cultivos agrícolas, D. grupo de individuos en ladera y F. bosque de Copacati.

Tabla 3. Características de la estructura poblacional de cinco bosques de *Polylepis incarum* ubicados alrededor del Lago Titicaca, La Paz – Bolivia. La densidad representa el número de individuos/100 m² y el índice de regeneración se presenta en altura promedio (cm) x número de total de individuos por 100 m².

Bosque	Densidad total	Densidad por hábito					Densidad de individuos reproductivos	Índice de Regeneración	Talados (%)	Quemados (%)
		Árbol	Arbusto	Plántula	Rastrero	Rebrote				
Copacati	71	4.46	6.97	38.35	0.14	0	5	6167.6	0.7	0.1
Japapi	0.59	0.06	0.09	0.43	0	0	0.04	9.01	0	0
Puerto Acosta	32.7	1.35	2	5.5	0.1	0.05	0.92	2612.2	0	0.5
Sampaya	41.7	2.71	4.72	9.72	0.21	0	2	3366.5	3.6	3.2
Villa Molino	62.2	1.87	2.07	34.4	0.1	0.1	2.67	2822	1.02	0

mostraron diferencias en los sustratos donde se desarrollan las plántulas. Por ejemplo, en el bosque de Copacati, las plántulas se encuentran predominantemente en hojarasca (Fig. 3B), mientras que en Villa Molino y Puerto Acosta se encontraban mayormente en áreas pedregosas.

Banco de semillas

La densidad de semillas fue significativamente mayor en los suelos debajo del dosel que en los suelos de zonas abiertas ($F = 13.81$; gl. = 1; $P < 0.001$). Encontramos en promedio 0.56 ± 0.12 semillas/g de suelo en áreas con cobertura boscosa, en comparación a las áreas abiertas donde las semillas fueron escasas (0.015 ± 0.013 semillas/g de suelo). Los bosques de Copacati y Villa Molino presentaron las densidades más altas de semillas en zonas debajo del dosel (aproximadamente 0.15 semillas/g de suelo). La densidad promedio de semillas en áreas con dosel incrementó significativamente con la densidad promedio de plantas reproductivas (densidad promedio de semillas = $-0.61 + 4.2 * \text{densidad de plantas reproductivas}$, R^2 ajustado = 0.66, $P = 0.58$; Fig.

4A). También observamos una relación similar entre la densidad de plántulas y la densidad de individuos reproductivos (densidad promedio semillas = $-10.43 + 43.65 * \text{densidad de plantas reproductivas}$; R^2 ajustado = 0.91; $P < 0.001$; Fig. 4B).

Discusión

En los alrededores del Lago Titicaca en Bolivia todavía existen pequeños bosques remanentes de *Polylepis incarum*. Estos se encuentran restringidos a quebradas rocosas y laderas montañosas, asociadas mayormente a vegetación disturbada y exótica. La distribución actual de *P. incarum* posiblemente es producto de una intensa modificación antrópica del paisaje, especialmente por la agricultura y la sobreexplotación de la especie como leña. La región del Lago Titicaca es una de las zonas rurales del departamento de La Paz que posee la mayor densidad poblacional humana, donde la agricultura constituye una de las principales actividades económicas y el paisaje se caracteriza por la escasez de vegetación natural (CIRNMA & CEDAFOR 2001).

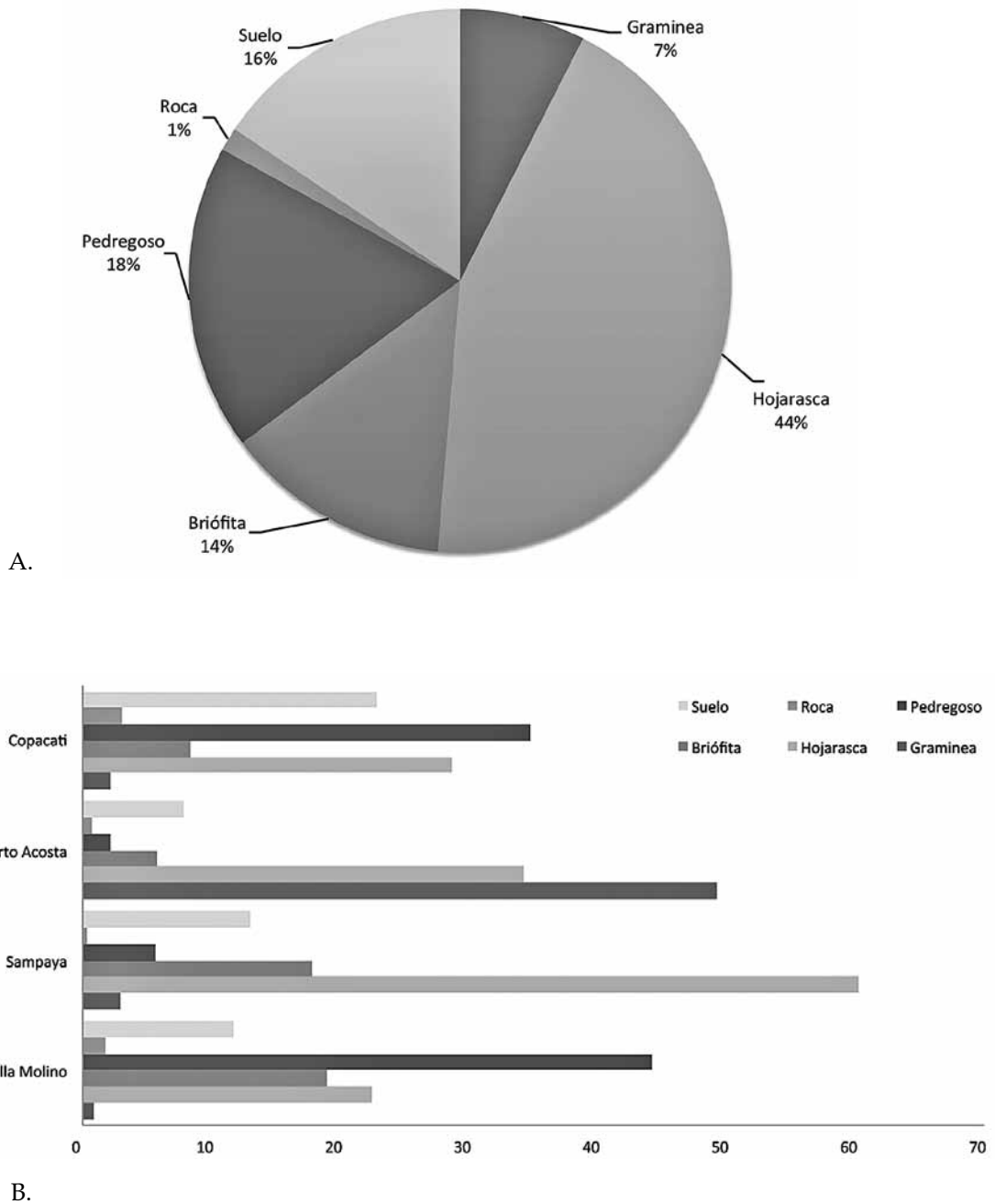


Figura 3. A. Porcentaje promedio de plántulas creciendo en diferentes sustratos en cuatro bosques y B. porcentaje promedio de plántulas de *Polylepis incarum* creciendo en diferentes sustratos en las orillas del Lago Titicaca, Bolivia.

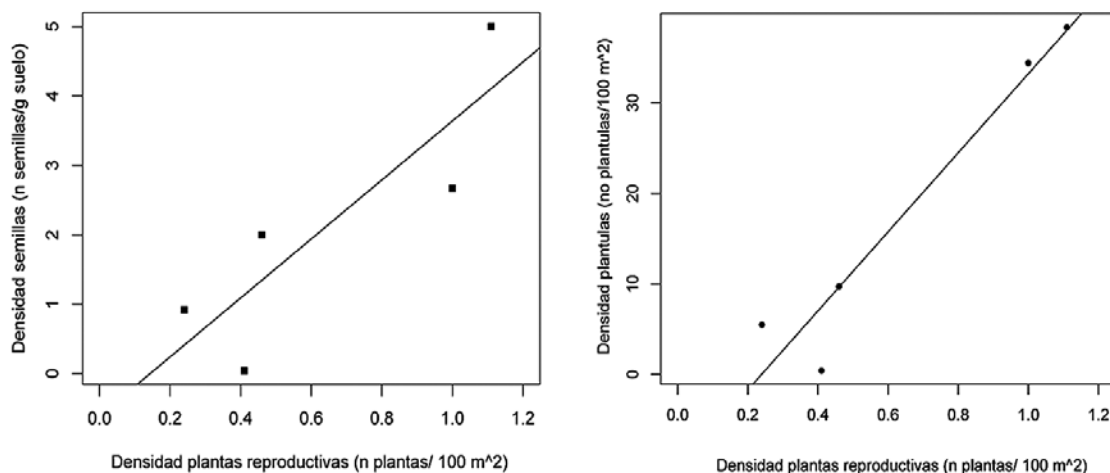


Figura 4. A. Relación entre la densidad promedio de semillas (número/g de suelo) en áreas debajo del dosel y densidad de plantas reproductivas (densidad promedio de semillas = $-0.61 + 4.2 * \text{densidad de plantas reproductivas}$, R^2 ajustado = 0.66, $P = 0.58$) y B. relación entre la densidad promedio de plántulas vs. densidad de plantas reproductivas (densidad promedio de plántulas = $-10.43 + 43.65 * \text{densidad de plantas reproductivas}$, R^2 ajustado = 0.91, $P < 0.001$) en cinco bosques de *Polylepis incarum* en las orillas del Lago Titicaca, Bolivia.

En este estudio realizamos un intenso y sistemático relevamiento para cuantificar la distribución actual de las poblaciones de *P. incarum* en los alrededores de la cuenca del Lago Titicaca en Bolivia. Los resultados muestran la existencia de tan solo cinco bosques remanentes y además la presencia de individuos aislados y pequeños grupos de individuos en varias localidades de los alrededores del Lago Titicaca que cubren un área total de 45.12 ha. Los individuos aislados posiblemente fueron plantados para proveer sombra, proteger contra el viento y/o con fines ornamentales. En contraste, la presencia de pequeños grupos de árboles dentro de matrices de campos agrícolas y plantaciones de eucaliptos sugiere que los bosques fueron reemplazados por plantaciones de especies exóticas, cultivos agrícolas y que algunos individuos fueron mantenidos como cortinas rompevientos y/o para delimitar las parcelas agrícolas.

Existe muy poca información sobre la distribución pasada de *P. incarum* en la cuenca del Lago Titicaca. Algunos estudios (Navarro *et al.* 2010, Montesinos-Tubée *et al.* 2015) consideran a la especie como un elemento conspicuo de la vegetación pero no existe suficiente información para estimar el área cubierta por la especie en el pasado. Sin embargo, existen algunas evidencias que permiten inferir sobre la distribución pasada de *P. incarum* en la región. Por ejemplo, los registros paleoambientales del Lago Titicaca señalan la presencia de polen de *Polylepis* en la región desde 136.000 años AP (Hanselman *et al.* 2005) y que el polen constituía cerca del 8% del polen en el lago entre 5.000 y 2.000 años atrás. Sin embargo, la concentración de polen disminuye drásticamente hasta 2% después de 2.000 años AP (Graf 1992, Gosling & Williams 2013). La reducción de la abundancia del polen de *Polylepis* podría estar asociada

con la sobreexplotación de los bosques por los grupos humanos (Gosling & Williams 2013) y particularmente con la llegada de los españoles que aceleró la deforestación y la intensificación de las actividades económicas, como la agricultura y el pastoreo (Fjeldsá & Kessler 1996, Capriles & Flores Bedregal 2012).

Estudios más recientes muestran resultados contrastantes sobre cambios en la distribución de *P. incarum* en Bolivia. Pursell & Bresfold (2004) reportaron que las ocho poblaciones (posiblemente *P. incarum*) registradas por Fjeldsá & Kessler (1996) en los alrededores del Lago Titicaca boliviano no mostraron cambios en el área cubierta (4 ha) después de siete años. Martínez & Villarte (2009) reportaron que los bosques de *P. incarum* cubrían 6 y 4 ha, respectivamente, en las comunidades de Japapi y Yumani (Isla del Sol). Sin embargo, nuestro relevamiento mostró que actualmente el bosque de Japapi tiene un área de 0.48 ha y Yumani incluye tan sólo 11 árboles, lo cual podría implicar una reducción del 99% de ambas poblaciones en tan solo seis años. No obstante, la estimación realizada por Martínez & Villarte (2009) incluyó la matriz de plantaciones de eucaliptos y las áreas cultivadas cercanas; por lo cual consideramos que sus resultados sobre estimaron el área de bosque y deben ser tomados con cautela. El estudio realizado por Liberman *et al.* (1995) mostró que el área cubierta por los bosques de *Polylepis incarum* en la Isla del Sol era reducida, restringiéndose a dos lugares (comunidades de Challa y Chaycopata) que incluían individuos de diferentes edades y abundante densidad de plántulas. También registraron la presencia de algunos individuos cerca de los poblados y así como la presencia de árboles aislados en 10 sitios lo que sugeriría la antigua existencia de varios bosques en la isla. En este estudio visitamos la comunidad de Challa y encontramos sólo individuos aislados utilizados como cercos vivos, sugiriendo la conversión del bosque por cultivos agrícolas.

La evaluación de la estructura poblacional mostró diferencias drásticas en la densidad de individuos entre las poblaciones de *P. incarum*. El bosque de Japapi en la Isla del Sol presentó la menor densidad total en comparación a los otros cuatro bosques evaluados, los cuales poseían densidades mayores a 30 individuos/100 m². El bosque de Japapi es el más amenazado debido a su pequeño tamaño, baja densidad de plántulas e individuos adultos reproductivos (menor a 0.1 individuos/100 m²) y una intensa presión por la expansión de cultivos agrícolas.

Comparaciones de la estructura poblacional de otras especies de *Polylepis* muestran que la densidad de plantas de *P. incarum* es mucho mayor a las reportadas previamente para otras especies del mismo género. En este estudio, reportamos las mayores densidades totales para *Polylepis* puesto que en Copacati y Villa Molino registramos densidades de 71 y 62 individuos/100 m², respectivamente. En comparación, en los bosques de *P. australis* se registraron entre 11.83 y 20.83 individuos/100 m² (Enrico *et al.* 2004) y en los bosques moderadamente y altamente disturbados de *P. tomentella* un promedio de 27.8 y 10.7 individuos/100 m², respectivamente (Domic *et al.* 2014). Nuestros resultados sugieren que en poblaciones donde la intensidad de los disturbios antrópicos es baja, la regeneración de la especie podría ser alta. Adicionalmente, nuestro estudio sugiere que las altas tasas de regeneración en cuatro bosques de *P. incarum* podrían estar asociadas con la alta densidad de individuos reproductivos, la alta densidad de semillas en el suelo y un alto porcentaje de germinación de las semillas (Liberman *et al.* 2015).

A pesar de que los disturbios antrópicos (especialmente la quema y la tala) dentro de los bosques fueron poco comunes, encontramos que la agricultura a pequeña escala constituye la mayor amenaza para la especie. La agricultura disminuye el hábitat potencial, inhibe la expansión lateral de las poblaciones

remanentes, fragmenta las poblaciones y reduce gradualmente la cobertura boscosa. Otra amenaza son las plantaciones con especies maderables exóticas, que crecen en áreas potencialmente habitables por la especie y la producción de muebles artesanales con madera de *Polylepis*. Desde los años 70, se realizaron varias campañas de forestación en el Altiplano boliviano, los cuales mayormente promocionaron el uso de especies exóticas (*Eucalyptus*, *Pinus* y *Cupressus*) sobre las nativas, debido a la alta demanda de madera y su rápido crecimiento (Ansión 1986). En la región, también registramos individuos de *Polylepis triacontandra* cerca de las casas, especie nativa de la ceja de montaña de Bolivia y Perú (Navarro 2002). Estos árboles fueron también plantados como parte de los programas de reforestación en la región y es posible que *P. triacontandra* pueda hibridizar con *P. incarum* (Fjeldsã & Kessler 1996).

Por otro lado, es importante conocer el sustrato en el que se desarrollan las plántulas de *P. incarum* para así identificar los factores que pueden afectar su establecimiento y sobrevivencia. Nuestros resultados muestran que la mayoría de las plántulas se encontraron creciendo mayormente entre hojarasca, en suelos desnudos, zonas pedregosas y entre briófitas. Sin embargo, lamentablemente no contamos con datos de frecuencia de los distintos sustratos en cada localidad por lo que no podemos hacer una correlación entre la frecuencia de estos sustratos y la frecuencia de la presencia de plántulas en cada tipo de sustrato. La aparente dominancia de plántulas en hojarasca o en zonas pedregosas, no podría denotar una preferencia a éstos y sólo sería resultado de la dominancia de éstos sustratos en los bosques.

Es posible que las zonas pedregosas favorezcan el establecimiento de las plántulas al crear un microclima y protegerlas contra las condiciones extremas características de la Puna (p.ej., altas variaciones térmicas diarias, altas temperaturas y radiación solar diurna y

heladas nocturnas) (Renison *et al.* 2002, Ayma-Romay *et al.* 2015) Así mismo, las briófitas y la hojarasca podrían favorecer la germinación de las semillas y el establecimiento de las plántulas al generar un microambiente más húmedo (Sotes *et al.* 2013), mientras que las gramíneas podrían inhibir el establecimiento de las plántulas al competir por luz, nutrientes y agua. Para poder identificar cuáles son los sustratos que favorecen el establecimiento de las plántulas de *P. incarum* es necesario realizar experimentos de transplante *in situ* que incluya un monitoreo a largo plazo.

Encontramos una mayor densidad de semillas de *P. incarum* en áreas con cobertura boscosa en comparación a las zonas abiertas. La escasez de semillas en áreas abiertas sugiere una baja capacidad de dispersión y que muchas de estas semillas podrían estar concentrándose cerca de los árboles parentales (Torres *et al.* 2008). Adicionalmente es posible que exista una mayor tasa de predación de semillas en las áreas abiertas debido a la alta visibilidad y accesibilidad por parte de aves, insectos y roedores (Edwards & Crawley 1999; Flores *et al.* 2004, Ibáñez & Soriano 2004).

Conservación de la especie

Polylepis incarum fue categorizada como una especie En Peligro (EN) por Arrázola *et al.* (2012) en base a estimaciones del área potencial de la especie. La estimación del área ocupada (AOO) sugería que la especie tenía una distribución aproximada de 367 km² (Arrázola *et al.* 2012), sin embargo los resultados de nuestro estudio muestran que actualmente el área total de los bosques abarca un total es 45.12 ha, equivalente al 0.123% del área inicialmente estimada. Sugerimos recategorizar a la especie como En Peligro Crítico para Bolivia porque el área de distribución actual es mucho menor a 10 km² y porque las poblaciones se encuentran severamente fragmentadas y existe una intensa presión por expansión de la agricultura y plantaciones de especies exóticas (UICN 2012).

En base a las evaluaciones en campo, que consideraron componentes como la estructura

poblacional y las amenazas antrópicas, identificamos áreas prioritarias para la conservación de *Polylepis incarum*. Las áreas prioritarias incluyen los cuatro bosques más grandes (Copacati, Puerto Acosta, Sampaya y Villa Molino) porque todavía cubren una importante extensión y presentan altas tasas de regeneración. Sin embargo, la expansión de cultivos agrícolas y la demanda de madera para construir muebles artesanales podrían producir su rápida reducción, así como la degradación del hábitat. La especie es valorada por su utilidad como fuente de medicina, leña y madera para la elaboración de artesanías y muebles, pero también es considerada una planta perjudicial (Lieberman *et al.* 2015). Es por ello que consideramos importante llevar acciones colaborativas de conservación que involucren la participación activa de comunidades locales.

Específicamente sugerimos llevar a cabo las siguientes medidas de conservación: a) revalorización de los bosques nativos a través de la implementación de programas de educación y sensibilización ambiental en escuelas y centros turísticos; b) protección de los bosques remanentes a través de la creación de reservas forestales e implementación de programas de manejo forestal sostenible; c) creación y mantenimiento de colecciones *ex-situ* para crear un banco de semillas que incluya la diversidad de poblaciones e individuos; d) establecimiento de un sistema de monitoreo *in-situ* de las poblaciones remanentes; e) evaluación del estado de conservación en Perú y g) elaboración de estudios sobre la biología de la especie con énfasis en el impacto de las actividades humanas y el cambio climático global.

Agradecimientos

Agradecemos a Rosa Isela Meneses, Cecilia López, Cecilia Vega, Juan Carlos Bermejo, Luciana Tellería, Micaela Medrano, Viviana Urrelo, Loly Vargas, Julieta Acho, Ángela Terán, Nivardo Urzagasti, Laura Moya, Elvia Moya y Adriana Rico por su apoyo en diversas etapas del proyecto. Así mismo a las comunidades de Copacati, Japapi, Puerto Acosta, Sampaya y Villa

Molino por permitarnos trabajar en sus bosques. A la Dirección General de Biodiversidad y Áreas Protegidas del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) quien otorgó el permiso para realizar la investigación. El estudio fue financiado por la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI) en convenio con la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) en el marco del proyecto “Ecología y conservación de dos especies de árboles andinos en peligro de extinción (*Polylepis incarum* y *Polylepis pacensis*, Rosaceae) en el departamento de La Paz”.

Referencias

- Ansión, J. 1986. El árbol y el bosque en la sociedad andina. Ministerio de Agricultura, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), Lima. 119 p.
- Arrázola, S., I. Coronado, L. Torrico, R.I. Meneses, G. Navarro & W. Ferreira. 2012. *Polylepis incarum* (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb. Pp: 44-45. En: Libro Rojo de la Flora Amenazada de Bolivia, Volumen I. Zona Andina, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, La Paz.
- Capriles J.M. & E. Flores Bedregal. 2002. The economic, symbolic, and social importance of the “keñua” (*Polylepis* spp.) during prehispanic times in the Andean highlands of Bolivia. *Ecotropica* 8: 225-231.
- CIRNMA (Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente) & CEDAFOR (Centro de Desarrollo Agrario y Forestal). 2001. Informe final: Diagnóstico e inventario de los recursos naturales de flora y fauna. Proyecto PER/98/G32 Conservación de la Biodiversidad en la Cuenca del Lago Titicaca- Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa TDPS. Autoridad Nacional del Lago Titicaca – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Puno. 147 p.

- Domic, A.I., G.R. Camilo & J.M. Capriles. 2014. Small-scale farming and grazing reduce regeneration of *Polylepis tomentella* (Rosaceae) in the semiarid Andes of Bolivia. *Biotropica* 46: 106–113.
- Kessler, M. & P. Driesch. 1993. Causas e historia de la destrucción de bosques altoandinos en Bolivia. *Ecología en Bolivia* 21: 1-18.
- Kessler, M. & A.N. Schmidh-Lebum. 2006. Taxonomical and distributional notes on *Polylepis* (Rosaceae). *Organisms Diversity & Evolution* 1: 1-10.
- Edwards, G.R. & M.J. Crawley. 1999. Rodent seed predation and seedling recruitment in mesic grassland. *Oecologia* 91: 360–364.
- Enrico, L., G. Funes & M. Cabido. 2004. Regeneration of *Polylepis australis* Bitt. in the mountains of central Argentina. *Forest Ecology and Management* 190: 301–309.
- Fjeldså, J. & M. Kessler. 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, Copenhagen. 250 p.
- Flores, J., O. Briones, A. Flores & S. Sánchez-Colón. 2004. Effects of predation and solar exposure on the emergence and survival of forest seedlings of contrasting life-forms. *Journal of Arid Environments* 58: 1–18.
- Graf, K. 1992. Pollendiagramme aus den anden: Eine synthese zur klimageschichte und vegetationsentwicklung seit der letzten eiszeit. University of Zurich, Gunderson. 138 p.
- Gosling, W.D. & J.J. Williams. 2013. Ecosystem service provision sets the pace for pre-hispanic societal development in the central Andes. *The Holocene* 23: 1619–1624.
- Hanselman, J.A., W.D. Gosling, G.M. Paduano & M.B. Bush. 2005. Contrasting pollen histories of MIS5e and the Holocene from Lake Titicaca (Bolivia/Peru). *Journal of Quaternary Science* 20: 663–670.
- Ibáñez, J. & P.J. Soriano. 2004. Hormigas, aves y roedores como depredadores de semillas en un ecosistema semiárido andino de Venezuela. *Ecotropicos* 17: 38-51.
- Liberman, M. 1990. Estudio de un sistema agrosilvopastoril en la Cordillera Andina de Bolivia. Pp:95-124. En: *Agroecología y Saber Andino. Proyecto de Agrobiología de la Universidad de Cochabamba – Proyecto Andino de Tecnologías Campesinas*, Lima.
- Liberman, M., F. Pedrotti & R. Venanzoni. 1988. La vegetación de la Isla del Sol en el Lago Titicaca, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 11: 69-70.
- Liberman, M., M.I. Gómez, A. Palabral-Aguilera, A.I. Domic, R. Hurtado & A. Rico. 2015. Ecología y conservación de dos especies de árboles andinos en peligro de extinción (*Polylepis incarum* y *Polylepis pacensis*, Rosaceae) en el departamento de La Paz. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. Informe no publicado. 50 p.
- López, R.P. 2003. Soil seed banks in the semi-arid Prepuna of Bolivia. *Plant Ecology* 168: 85-92.
- Magini, E. 1967. Ricerche sui fattori della rinnovazione naturale dell'abete bianco nell' Appennino. *Italian Journal of Forest and Mountain Environments* 22: 126–147.
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). 2012. Plan nacional para la conservación y manejo sostenible de los bosques de *Polylepis* (kewiña, keñua y/o lampaya) y su biodiversidad asociada (programa y lineamientos generales). EDOBOL, La Paz. 43 p.
- Martínez, O. & F. Villarte. 2009. Estructura dasométrica de las plantas de un parche de *Polylepis besseri incarum* y avifauna asociada en la Isla del Sol (Lago Titicaca, La Paz - Bolivia). *Ecología en Bolivia* 44: 1–14.

- Montesinos-Tubée, D.B., A.C. Pinto, D.F. Beltrán & W. Galiano. 2015. Vegetación de un bosque de *Polylepis incarum* (Rosaceae) en el distrito de Lampa, Puno, Perú. *Revista Peruana de Biología* 22: 87-96.
- Navarro, G. 2002. Vegetación y unidades biogeográficas. Pp. 1-500. En: Navarro, G. & M. Maldonado (eds). *Geografía Ecológica de Bolivia. Vegetación y Ambientes Acuáticos*. Centro Ecología Simón I. Patiño – Departamento de Difusión, Cochabamba.
- Navarro, G. & W. Ferreira. 2007. Mapa de vegetación de Bolivia, escala 1: 250 000. The Nature Conservancy ISBN 978-9954-0-168-9.
- Navarro, G., S. Arrázola, J.A. Balderrama, W. Ferreira, N. De la Barra, C. Antezana, I. Gómez & M. Mercado. 2010. Diagnóstico del estado de conservación y caracterización de los bosques de *Polylepis* en Bolivia y su avifauna. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 28: 1-35.
- Pake, C.E. & D.L. Venable. 1996. Seed banks in desert annuals: implications for persistence and coexistence in variable environments. *Ecology* 77: 1427-1435.
- Posnansky, M. 1983. Los efectos sobre la ecología del Altiplano de la introducción de animales y cultivos por los españoles. pp. 13-22. En: Geyger E & C. Arce (eds). *Ecología y Recursos Naturales en Bolivia*. Centro Portales, Cochabamba.
- Purcell, J. & A. Brelsford. 2004. Reassessing the causes of decline of *Polylepis*, a tropical subalpine forest. *Ecotropica*: 155-158.
- Renison, D., A.M. Cingolani & R. Suarez. 2002. Efectos del fuego sobre un bosquecillo de *Polylepis australis* (Rosaceae) en las montañas de Córdoba, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 719-727.
- Sotes, G.J., R.O. Bustamante & C.A. Henríquez. 2013. Distribución de plántulas y germinación de semillas del lúcumo chileno (*Pouteria splendens*) en Los Molles, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 337-344.
- Torres, R.C., D. Renison, I. Hensen, R. Suarez & L. Enrico. 2008. *Polylepis australis*' regeneration niche in relation to seed dispersal, site characteristics and livestock density. *Forest Ecology and Management* 254: 255-260.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2012. Categorías y criterios de la lista roja de la UICN: versión 3.1. Segunda edición, Gland y Cambridge. 34 p.

Artículo recibido el: 17 julio 2017

Aceptado en: 12 septiembre 2017

Manejado por: Andrea Premoli