

Plantas medicinales asociadas a bosques de *Polylepis tarapacana* del altiplano jujeño: Riqueza y cobertura en gradientes geográficos, topográficos y de estructura forestal

VICTORIA L. LÓPEZ^{1,2} & JUAN M. CELLINI²

¹ CCT La Plata (CONICET-La Plata). Buenos Aires, Argentina. ² Laboratorio de Investigaciones en Maderas (LIMAD). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). La Plata, Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN. El uso de plantas en medicina tradicional es cotidiano entre los pueblos del altiplano argentino, donde se desarrolla la especie de porte arbóreo a mayor elevación: *Polylepis tarapacana*. Hasta el momento no se ha cuantificado el recurso de plantas medicinales en estas formaciones forestales, dado que se desconoce la cobertura y la riqueza de las plantas medicinales. El objetivo fue cuantificar la cobertura y riqueza de plantas medicinales en gradientes geográficos, topográficos y de estructura forestal en bosques de *P. tarapacana*. Los bosques se categorizaron en 5 zonas donde se relevaron 93 parcelas. En cada bosque se realizó un muestreo de plantas medicinales mediante el método de intersección puntual. Se registraron 21 especies medicinales (16 géneros y 8 familias botánicas). La familia con mayor representación fue Asteraceae (12 especies, 9 géneros), mientras que las especies con mayor frecuencia y cobertura fueron *Baccharis tola* ssp. *tola* (97.8%, 2.37%), *Azorella compacta* (82.8%, 1.21%) y *Parastrephia lucida* (81.7%, 0.66%). La riqueza de plantas medicinales presentó diferencias de acuerdo con la elevación y la exposición norte (ExN). La riqueza disminuyó a medida que la aumentó la elevación, y también disminuyó en los bosques que presentan una exposición norte. Del total de 21 plantas medicinales halladas, 11 mostraron relaciones significativas entre su cobertura y variables geográficas, topográficas y de estructura forestal. Se observó que dentro de la amplia distribución de bosques de *P. tarapacana* en la Argentina, las plantas medicinales halladas se correspondieron con diferentes asociaciones vegetales de Bolivia y Chile. Esta información permitirá establecer lineamientos de manejo o protección adecuados de estos recursos.

[Palabras clave: queñoa de altura, elevación, vegetación alpina, riqueza de especies]

ABSTRACT. Medicinal plants associated with *Polylepis tarapacana* forests in the highlands of Jujuy: Richness and coverage in geographic, topographic and forest structure gradients. The use of medicinal plants in traditional medicine is common among the peoples of the Argentinean highlands, where only one tree-like species grows: *Polylepis tarapacana*. Until now, this resource of medicinal plants has not been quantified, ignoring the richness and coverage throughout its distribution and in different environments. The objective was to quantify the richness and coverage of medicinal plants in geographic, topographic and forest structure gradients in *P. tarapacana* forests. The forests were categorized into 5 zones, where 93 plots were surveyed. In each forest, medicinal plants were sampled using the point-intercept method. Twenty-one medicinal species (16 genera and 8 botanical families) were recorded. The family with the highest representation is Asteraceae (12 species, 9 genera), while the species showing the highest frequency and coverage were *Baccharis tola* ssp. *tola* (97.8%, 2.37%), *Azorella compacta* (82.8%, 1.21%) and *Parastrephia lucida* (81.7%, 0.66%). The richness of medicinal plants showed differences depending on elevation and northern aspect (ExN), where richness decreases with increasing elevation and northern aspect. From the total of 21 medicinal plants found, 11 presented significant relationships between their coverage and geographic, topographic and forest structure variables. It was observed that within the wide distribution of *P. tarapacana* forests in Argentina, the medicinal plants found correspond to different plant associations from Bolivia and Chile. This information will facilitate the establishment of guidelines for adequate management and protection of these resources.

[Keywords: queñoa de altura, elevation, alpine vegetation, species richness]

INTRODUCCIÓN

La Provincia Fitogeográfica Altoandina ocupa las altas cumbres de la cordillera de los Andes, en el norte Argentino, por encima de 4400 m s. n. m. (provincia de Jujuy, Argentina) (Cabrera 1968; Morello et al. 2012). Su vegetación es una combinación de especies con características asociadas al xerofitismo extremo, al viento y a las bajas temperaturas (Morello et al. 2012). Son frecuentes los arbustos rastreros y las plantas en cojín o en placas adosadas al suelo (Cabrera 1968; Oyarzabal et al. 2018); las dicotiledóneas de la región se caracterizan por un gran desarrollo subterráneo, hojas pequeñas, presencia de resinas, estomas protegidos y tricomas (Morello et al. 2012). En el extremo noroeste de la Argentina se encuentra definida una asociación vegetal de la Provincia Fitogeográfica Altoandina con la única especie de porte arbóreo: *Polylepis tarapacana* Phil. (Luebert and Gajardo 2005; Navarro 2011; Morello et al. 2012), conocida popularmente como queñoa de altura. Se caracteriza por formar bosquetes en donde *P. tarapacana* es la especie dominante que marca la fisonomía de la comunidad, mientras que *Parastrephia lucida* (Meyen) Cabr., *Parastrephia quadrangularis* (Meyen) Cabr., *Werneria aretioides* Wedd., *Festuca orthophylla* Pilger., *Deyeuxia breviaristata* Wedd., *Cinnagrostis crispa* (Rúgolo and Villav.) P.M. Peterson, Soreng, Romasch and Barberá, *Pycnophyllum molle* Remy y *Azorella compacta* Phil. son especies acompañantes (Luebert and Gajardo 2005; Navarro 2011). Hacia el sur tiene lugar un empobrecimiento de la diversidad (Luebert and Gajardo 2005).

Los bosques de *P. tarapacana* desarrollan una cubierta herbácea diversa (Teillier 1996; Kessler and Schmidt-Lebuhn 2006; Oyarzabal et al. 2018) debido a su estructura relativamente abierta; se extienden en forma discontinua sobre las faldas y las cumbres de los cerros, con una cobertura media del sotobosque de 20% (Luebert and Gajardo 2005; López et al. 2020). Estas plantas del sotobosque cumplen un rol crucial en el mantenimiento de las funciones y la estructura forestal, contribuyen a la biodiversidad, generan interacciones con las fases tempranas de la regeneración, determinan el ciclo de los nutrientes y responden a los disturbios de origen antrópico y natural (Gilliam 2007). También son fuente de plantas medicinales para uso popular en la Región Andina (Macía et al. 2005).

Durante siglos, la medicina tradicional fue el único sistema utilizado como medio para curar enfermedades y dolencias; la usa ~80% de la población mundial, sobre todo las sociedades rurales, y proporciona una alternativa real para los sistemas de atención primaria de salud (Arrázola et al. 2002; Macía et al. 2005). En el altiplano existen principalmente dos culturas originarias: la Aymara y la Quechua, ambas con un gran conocimiento médico en base a especies medicinales específicas y con conocimiento sobre los hábitats donde se desarrollan (Arrázola et al. 2002; Fernández et al. 2003; Vandebroek and Thomas 2003). Existen estudios generales sobre plantas útiles, y específicos sobre la medicina popular, sobre todo en la región andina boliviana (Oblitas 1992; De Lucca and Zalles 2009). Los recursos más empleados son las plantas aromáticas y medicinales nativas. Los saberes se desarrollan, mantienen y transmiten de generación en generación en el seno de una comunidad y forman parte de su identidad cultural (Barbarán 2008; Torres et al. 2016; Suazo et al. 2020). Si bien estos saberes y conocimientos se continúan transmitiendo entre generaciones y el uso medicinal de la flora de la región es cotidiano entre los pueblos del altiplano jujeño, hasta el momento no se ha cuantificado el recurso de plantas medicinales en las formaciones forestales de *P. tarapacana* en la República Argentina. Asimismo, se desconoce si existe una mayor cobertura de especies sectorizada en distintas regiones de su distribución o en diferentes elevaciones en el gradiente topográfico en el cual se desarrollan estos bosques. La distribución de especies medicinales es un tema muy poco estudiado, y son escasos los trabajos que abordan esta temática (Pérez et al. 2011). Por ello, el objetivo de este trabajo fue cuantificar la cobertura y la riqueza de plantas medicinales en bosques de *P. tarapacana*, en un gradiente de elevación en los Altos Andes. En particular, el estudio tuvo los siguientes objetivos específicos: a) clasificar las especies medicinales encontradas dentro de bosques de *P. tarapacana* según su uso, elevación, frecuencia y cobertura, b) analizar la riqueza y la cobertura de plantas medicinales observadas a lo largo de su distribución, en gradientes topográficos y de estructura forestal en bosques de *P. tarapacana*, y c) relacionar la cobertura de plantas medicinales con variables geográficas, topográficas y de estructura forestal de *P. tarapacana*. Esta información permitirá establecer lineamientos de manejo o protección adecuado de estos recursos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la región Altoandina del norte de la Argentina, en la provincia de Jujuy (22°04' - 23°40' S a 66°46' - 65°49' O) (Figura 1). Esta región posee un clima frío y seco, con vientos muy fuertes. Se caracteriza

por una estacionalidad reducida en la temperatura, pero una marcada estacionalidad en las precipitaciones en forma de nieve o granizo, con inviernos frescos y secos y veranos frescos-húmedos (Garreaud et al. 2003; Morello et al. 2012). La precipitación media anual oscila entre 100 y 500 mm (Garreaud et al. 2003; Vuille and Keimig 2004), la temperatura media anual varía de 0

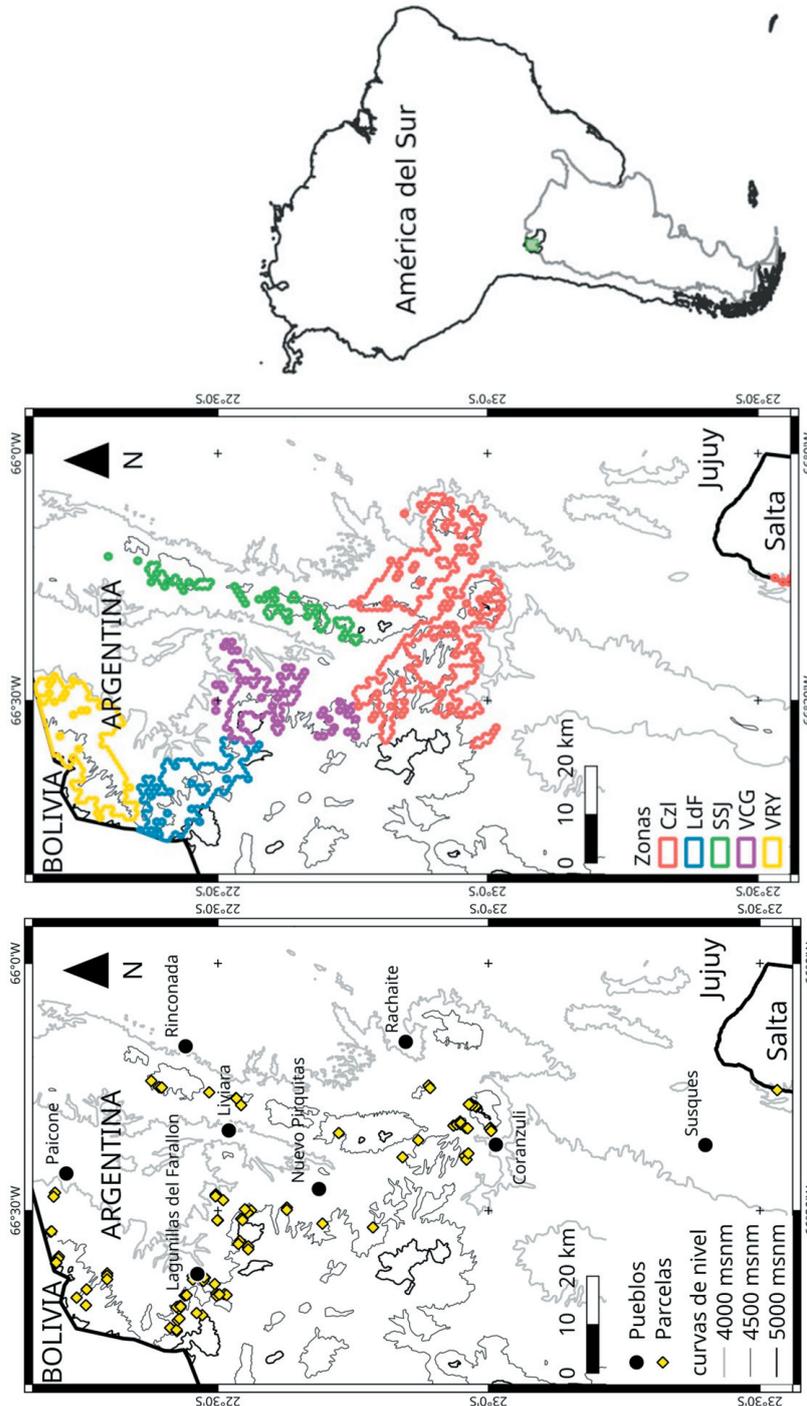


Figura 1. Ubicación de las parcelas de muestreo y zonas de distribución de bosques de *Polylepis tarapacana*. Czi: Coranzuli, LdF: Lagunillas del Farrallón, SSJ: Sierras de San José, VCG: Volcán Granadas, VRV: Volcán Ramadayoc.
Figure 1. Location of sampling plots and *Polylepis tarapacana* forest distribution areas. Czi: Coranzuli, LdF: Lagunillas del Farrallón, SSJ: Sierras de San José, VCG: Volcán Granadas, VRV: Volcán Ramadayoc.

a 4 °C, la temperatura media mensual tiende a estar por debajo de 0 °C durante más de la mitad del año y la amplitud térmica diaria es 25 °C (Cuyckens et al. 2016). En esta región, los bosques de *P. tarapacana* forman parches poco densos y dispersos, en un rango de elevación de 4400 a 5000 m s. n. m. (Cuyckens et al. 2016), y están presentes mayormente en las laderas de exposición norte (López et al. 2020, 2021). *Polylepis tarapacana* es la especie de porte arbóreo que crece a mayor altura sobre el nivel del mar (Kessler and Schmidt-Lebuhn 2006; Renison et al. 2013; Cuyckens et al. 2016). Esta especie es considerada 'casi amenazada' (*near threatened* [NT]) (IUCN 2020) debido a que las comunidades locales la usan como combustible (Renison et al. 2010).

Selección de parcelas

Los bosques de *P. tarapacana* se categorizaron en 5 zonas de acuerdo con la orografía. En cada una de estas zonas se relevaron bosques que se desarrollan en un gradiente de exposición, de elevación, pendiente y cobertura forestal. Se instalaron un total de 93 parcelas en Volcán Ramadayoc (14 parcelas), Lagunillas del Farrallón (Volcán Salle) (25), Sierras de San José (9), Volcán Granadas (20) y Volcán Coranzulí (25) (Figura 1). Dentro de cada bosque se seleccionó un punto al azar, el cual fue cargado en un dispositivo de geoposicionamiento global (GPS) para su ubicación en terreno. Este punto fue el centro de una parcela circular de radio variable, el cual se ajustó a un total mínimo de 20 individuos de árboles y arbustos de *P. tarapacana*. En cada parcela se midió el diámetro en la base (DAB) en cm y la altura de cada árbol. Se calculó el DAB promedio con todos los ejemplares y la altura media dominante (AMD) del bosque como promedio de los 3 árboles más altos (Assmann 1970).

Muestreo de plantas medicinales

Se realizó un muestreo de plantas vasculares del sotobosque a lo largo de una transecta de 50 m de largo, a partir del punto central de la parcela de estructura forestal (25 m hacia cada lado), manteniendo la cota de nivel. De esta forma, el punto inicial y el final de la transecta presentaron la misma elevación. A lo largo de esta transecta se realizaron las observaciones a intervalos de 1 m (50 puntos de muestreo por transecta) siguiendo el método de intersección puntual (Matteucci and Colma 1982) (Figura 2). En cada uno de los 50 puntos de muestreo se registraron las especies medicinales presentes, su uso y las partes que se utilizan, según Barbarán et al. (2008), Cantero et al. (2019) y Vignale (1996). Esta información se contrastó con un relevamiento realizado con la población de Lagunillas del Farallón (Cellini et al. 2020) en el que el total de plantas medicinales utilizadas en la localidad coincidió con las utilizadas en este trabajo. A su vez, se elaboró un inventario general de especies medicinales en una franja de 1 m de ancho a lo largo de la transecta, con el fin de registrar aquellas especies que no fueron observadas en la intersección puntual. Los censos se realizaron durante los meses de verano (diciembre a marzo) debido a que en esas fechas es más probable encontrar las plantas bien desarrolladas y con las estructuras reproductivas necesarias para su identificación. La determinación de las plantas se realizó en conjunto con el herbario SI del IBODA, donde quedaron depositados los ejemplares. El grupo funcional al que pertenece cada planta se determinó mediante la clasificación de Ramsay and Oxley (1997) adaptado por Carilla et al. (2018): arbustos y subarbustos, plantas en cojín, *tussok*, cespitosas, hierbas erectas, hierbas postradas, en roseta y helechos, así como su estado de conservación (IUCN 2020).

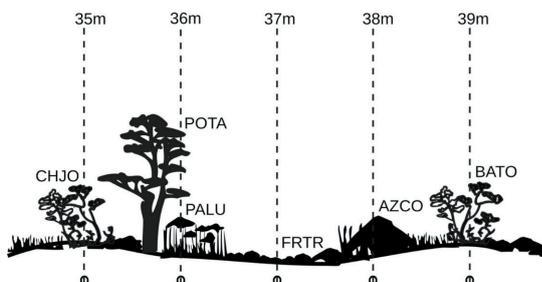


Figura 2. Método de intersección puntual en transecta de 50 m para determinar la riqueza y la cobertura de especies medicinales. AZCO: *Azorella compacta* Phil. (yareta, puna yareta), BATO: *Baccharis tola* Phil. ssp. *tolá* (lejía, tola), CHJO: *Chersodoma jodopappa* Cabrera (tola de burro), FRTR: *Frankenia triandra* Remy (yaretilla vicuña), PALU: *Parastrephia lucida* (Meyen) Cabrera (tola, tola de agua), POTA (*Polylepis tarapacana*) (queñoa de altura).

Figure 2. Point intersection method in a 50 m transect to determine the richness and coverage of medicinal species, AZCO: *Azorella compact* Phil. (yareta, puna yareta), BATO: *Baccharis tola* Phil. ssp. *tolá* (lejía, tola), CHJO: *Chersodoma jodopappa* Cabrera (tola de burro), FRTR: *Frankenia triandra* Remy (yaretilla vicuña), PALU: *Parastrephia lucida* (Meyen) Cabrera (tola, tola de agua), POTA (*Polylepis tarapacana*) (queñoa de altura).

La riqueza de las plantas medicinales del sotobosque se calculó a través del conteo de especies medicinales observadas en cada parcela de intersección puntual y en el inventario general. La cobertura de cada especie de planta medicinal se calculó sumando el número de ocurrencia y multiplicando por 2 para estimar la cobertura en porcentaje (%). De la misma forma se calculó la cobertura total en porcentaje (plantas medicinales). Para completar la estimación de cobertura se asignó el 0.1% de cobertura a cada especie encontrada en el inventario general (Pérez Flores et al. 2019). La frecuencia se calculó como la proporción de ocurrencia de cada especie en todo el inventario (93 parcelas).

Análisis de datos

Las diferencias de composición florística de las especies medicinales se estimaron mediante un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (metaMDS) utilizando el paquete 'vegan' (Oksanen et al. 2022) en el software R (R Core Team 2020). La cobertura se expresó en porcentaje (%) para cada una de las 93 parcelas. Se identificaron los dos ejes de variación (eje 1 y 2) y se elaboró una matriz con los resultados por parcela. Con los resultados del NMDS (ejes 1 y 2) se realizó una regresión múltiple con las variables geográficas, topográficas y de estructura forestal (latitud, longitud, elevación, pendiente, exposición norte, exposición este, altura media dominante y diámetro a la base), en la que se seleccionaron las variables que explicaron significativamente los ejes 1 y 2 para ser utilizadas en análisis posteriores.

Las variables geográficas, topográficas y de estructura forestal seleccionadas se relacionaron con el porcentaje de cobertura de especies medicinales del sotobosque y la riqueza de especies medicinales mediante regresiones lineales simples. Asimismo, se utilizaron regresiones lineales simples para

explicar los valores de cobertura en % para cada planta medicinal que presentó un valor promedio superior a 0.1% de cobertura, con las variables predictoras geográficas, topográficas y de estructura forestal seleccionadas.

RESULTADOS

Las 93 parcelas instaladas presentaron una amplia heterogeneidad en variables geográficas y topográficas (i.e., ubicación, elevación, pendiente y exposición), donde el rango N-S de la distribución de parcelas fue de 156 km y 61 km en O-E, con un gradiente de elevación de 789.1 m, las exposiciones en las que se desarrollan estos bosques abarcan los 4 puntos cardinales, y pendientes desde 0 a 43°. A su vez, los bosques presentaron estructuras forestales contrastantes en altura media dominante y DAB (Tabla 1).

Se registró un total de 21 especies de plantas vasculares medicinales en las 93 parcelas, con un promedio de 6.5 especies por parcela (mínimo 3, máximo 11 especies por parcela), pertenecientes a 16 géneros y 8 familias botánicas (Tabla 2). La familia con mayor representación en géneros y especies botánicas fue *Asteraceae* (12 especies, 9 géneros), seguida por *Apiaceae* y *Solanaceae* (2 especies, 1 género). Las especies que presentaron mayor frecuencia y cobertura fueron *Baccharis tola* Phil. ssp. *tolá* (97.8%, 2.37%), *Azorella compacta* Phil. (82.8%, 1.21%) y *Parastrephia lucida* (Meyen) Cabrera (81.7%, 0.66%). Se observó un 71.4% de las especies dentro del grupo funcional arbusto y subarbusto, seguidas por hierbas erectas (14.2%) y plantas en cojín (9.5%), y una sola especie con el grupo funcional roseta, como *Trichocline auriculata* (Wedd.) Hieron. var. *auriculata* (4.7%).

Dentro de los diferentes usos medicinales que poseen las especies de plantas del altiplano, en el presente trabajo se encontraron plantas

Tabla 1. Valores promedio, máximos y mínimos de las variables geográficas, topográficas y de estructura forestal de bosques de *P. tarapacana* estudiados en comunidades vegetales del Altoandino de Jujuy, Argentina. Latitud (grados), Longitud (grados), Elevación (m s. n. m.), ExE: exposición este (seno de la exposición en grados [oscila entre -1 en el oeste y 1 en el este]), ExN: exposición norte (coseno de la exposición en grados [oscila entre -1 en el sur y 1 en el norte]), Pend: pendiente (grados), AMD: altura dominante del bosque como promedio de los tres árboles más altos (m), DAB: diámetro promedio a la base (cm), Prom: promedio, Mín.: mínimo, Máx.: máximo.

Table 1. Average, maximum and minimum of surveyed variables and forest structure of *P. tarapacana* forests in High Andean plant communities in Jujuy, Argentina.

| | Latitud | Longitud | Elevación | Pend | ExN | ExE | AMD | DAB |
|-------|---------|----------|-----------|------|-------|-------|-------|------|
| Prom. | -22.58 | -66.50 | 4541.7 | 21.2 | 0.69 | 0.06 | 139.1 | 7.4 |
| Mín. | -23.53 | -66.74 | 4159.6 | 0.0 | -0.53 | -1.00 | 56.5 | 1.7 |
| Máx. | -22.19 | -66.24 | 4948.7 | 43.0 | 1.00 | 1.00 | 271.7 | 14.4 |

Tabla 2. Frecuencia de ocurrencia (%) y cobertura (%) de especies de plantas medicinales asociadas a bosques de *Polylepis tarapacana*. Las especies se encuentran ordenadas alfabéticamente por familia. Especie (nombre científico [nombre vulgar], GF: grupo funcional, A: arbustos y subarbustos, PC: plantas en cojín, HE: hierbas erectas, R: roseta), Uso (AF: antifúngica, M: medicinal, AM: antimicrobiano, AO: antioxidante). Parte utilizada de la planta, según la bibliografía (PE: planta entera, R: raíz, H: hoja, Fl: flor, PA: parte aérea, Fr: fruto). m s. n. m.: rango de elevación donde se encontró la planta. *: Ampliación del rango de elevación según el Instituto Botánico de Darwinion (darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/fa.htm). Frec%: porcentaje de parcelas con ocurrencia del ejemplar. Cob%: cobertura promedio en porcentaje medida en las parcelas. Biblio: bibliografía (1: Cantero et al. 2019; 2: Barbarán 2008; 3: Vignale 1996).

Table 2. Frequency of occurrence (%) and cover (%) of medicinal plant species associated with *Polylepis tarapacana* forests. The species are arranged alphabetically by family. Especie (scientific name (common name), GF: functional group, A: shrubs and subshrubs, PC: cushion plants, HE: erect herbs, R: rosette). Use (AF: antifungal, M: medicinal, AM: antimicrobial, AO: antioxidant. Part (PE: whole plant, R: root, H: leaf, Fl: flower, PA: aerial part, Fr: fruit). m s. n. m.: elevation range where the plant was found. *: Widening of the elevation range according to the Darwinion Botanical Institute (darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/fa.htm). Freq%: percentage of plots with occurrence of the specimen. Cob%: average coverage in percentage measured in the plots. Biblio: bibliography (1: Cantero et al. 2019; 2: Barbarán 2008; 3: Vignale 1996).

| Especie (nombre vulgar) | GF | Uso | Parte | m s. n. m. | Frec% | Cob% | Biblio |
|--|----|---------|-------|------------|-------|-------|--------|
| APIACEAE | | | | | | | |
| <i>Azorella compacta</i> Phil. (yareta, puna yareta) | PC | M | PE | 4160-4949 | 82.8 | 1.21 | 1,2,3 |
| <i>Azorella ulicina</i> (Gillies and Hook.) G.M. Plunkett and A.N. Nicolas (espina amarilla) | A | M | PA | 4353-4949* | 28.0 | 0.11 | 1,2,3 |
| ASTERACEAE | | | | | | | |
| <i>Baccharis tola</i> Phil. ssp. tola (lejía, tola) | A | M-AF | H | 4160-4949* | 97.8 | 2.37 | 1 |
| <i>Chersodoma argentina</i> Cabrera (tola gris, salvia de la puna) | A | M | PA | 4339-4808* | 7.5 | 0.01 | 1 |
| <i>Chersodoma jodopappa</i> Cabrera (tola de burro) | A | M | PA | 4224-4808* | 66.7 | 0.44 | 1 |
| <i>Mutisia friesiana</i> Cabrera (chinchircoma colorada) | A | M | H | 4160-4627* | 16.1 | 0.34 | 1,3 |
| <i>Mutisia hamata</i> Reiche (chinchircuma blanca) | A | M | PA | 4224-4339 | 2.2 | <0.01 | 1,2 |
| <i>Nassauvia axillaris</i> (Lag. ex Lindl.) D. Don (uña de gato, chuchicaña) | A | M | - | 4160-4861* | 20.4 | 0.27 | 1 |
| <i>Parastrephia lucida</i> (Meyen) Cabrera (tola, tola de agua) | A | M-AF-AM | PE | 4160-4949 | 81.7 | 0.66 | 1 |
| <i>Senecio puchii</i> Phill. (---) | A | M | - | 4224-4793 | 7.5 | 0.05 | 1 |
| <i>Senecio nutans</i> Sch.Bip. (chachacoma, tola hembra) | A | M | - | 4160-4949 | 69.9 | 0.45 | 1 |
| <i>Tagetes multiflora</i> Kunth (suico, suiquillo) | HE | M | PA | 4353-4478 | 3.2 | <0.01 | 1,2 |
| <i>Trichoclina auriculata</i> (Wedd.) Hieron. var. <i>auriculata</i> (achicoria) | R | M | - | 4454-4723* | 3.2 | <0.01 | 1 |
| <i>Xenophyllum poposum</i> (Phil.) V.A. Funk. (pupusa, poposa) | A | M | PE | 4815-4949 | 3.2 | <0.01 | 1,2,3 |
| CALCEOLARIACEAE | | | | | | | |
| <i>Calceolaria santolinoides</i> Kraenzl. (zapatito) | HE | M | PA | 4160-4751* | 21.5 | 0.15 | 1 |
| EPHEDRACEAE | | | | | | | |
| <i>Ephedra chilensis</i> C.Presl (tramontana, pingo pingo) | A | M | PE | 4160-4949* | 52.7 | 0.12 | 1,2,3 |
| FRANCOACEAE | | | | | | | |
| <i>Frankenia triandra</i> Remy (yaretilla vicuña) | PC | M-AM | PE | 4297-4842* | 33.3 | 0.41 | 1 |
| LOASACEAE | | | | | | | |
| <i>Caiophora coronata</i> (Gillies ex Arnott) Hook. and Arn. (ortiga de la sierra) | HE | M | Fl | 4333-4902* | 24.7 | 0.02 | 1 |
| ROSACEAE | | | | | | | |
| <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm. (choquecangia, canjia) | A | M-AM | PA | 4160-4478 | 4.3 | <0.01 | 1,2 |
| SOLANACEAE | | | | | | | |
| <i>Fabiana densa</i> J. Remy (tola, checal) | A | M-AM | - | 4297-4388 | 3.2 | <0.01 | 1,2 |
| <i>Fabiana bryoides</i> Phil. (pata de perdiz) | A | M-AO | Fr | 4478-4478 | 1.1 | 0.02 | 1 |

medicinales utilizadas como antifúngicas (e.g., *B. tola* ssp. *tola* y *P. lucida*), antimicrobianas (e.g., *P. lucida*, *Frankenia triandra* Remy, *Tetraglochin cristatum* (Britton) Rothm y

Fabiana densa J. Remy) y antioxidantes (e.g., *Fabiana bryoides* Phil.). En cuanto a las partes utilizadas de la planta, se encontró que en 5 de las 21 especies (23.8%) se emplea toda la

planta (i.e., raíces, tallos, hojas y flores), en 7 especies (33.3%) se utiliza la parte aérea de la planta, de las cuales en 2 especies (9.5%) sólo se utilizan las hojas, y de una especie (4.7%) se utilizan flores y frutos. Para las cinco especies restantes no se encontró qué parte específica de la planta se emplea.

Las plantas medicinales halladas se distribuyen en un amplio rango de elevación y en 11 especies se ha ampliado el límite superior citado en la Flora Argentina (Anton and Zuloaga 2022) (Material Suplementario-Tabla S1). Algunas de estas se encontraron específicamente en grandes elevaciones, como *Xenophyllum poposum* (Phil.) V.A. Funk (4815-4949 m s. n. m.) o *T. auriculata* var. *auriculata* (4454-4723 m s. n. m.), otras en bajas elevaciones como *Mutisia hamata* Reiche y *Fabiana densa* J. Remy. A su vez, otras presentan amplios rangos de elevación como *A. compacta*, *B. tola* ssp. *tola*, *Nassauvia axillaris* (Lag. ex Lindl.) D. Don, *P. lucida*, *Senecio nutans* Sch. Bip y *Ephedra chilensis* C. Presl. Dentro de las especies encontradas, *A. compacta*, *X. poposum* y *E. chilensis* se encuentran registradas en la lista roja de especies amenazadas (IUCN 2020), dentro de la categoría de especies consideradas preocupación menor (*least concern*), el resto no se encuentran categorizadas.

En la Tabla 3 se observan los resultados de la regresión múltiple con los resultados del NMDS (ejes 1 y 2) y las todas las variables geográficas, topográficas y de estructura forestal. Se observa que para los ejes 1 y 2, los modelos de regresión múltiple presentaron significancia estadística (eje 1: $R^2=30.59\%$,

$p=0.0001$; eje 2: $R^2=16.58\%$, $p=0.0460$). En el caso del eje 1, la latitud, la elevación y la ExN; para el eje 2, la pendiente, AMD y DAB fueron las variables seleccionadas para ser utilizadas en los análisis posteriores.

La riqueza de plantas medicinales presentó diferencias de acuerdo con la elevación y la exposición norte (ExN), donde la riqueza disminuye a medida que la elevación aumenta, y también disminuye en los bosques que presentan una exposición norte. La cobertura de plantas medicinales en bosques de *P. tarapacana* no presentaron significancia en los modelos de regresión lineal simple con las variables geográficas, topográficas y de estructura forestal (Tabla 4). El promedio de cobertura fue 39.3%, mientras que la riqueza promedio fue 6.5, con un rango de 3 a 11 especies por parcela.

Del total de 21 especies medicinales halladas, 11 presentaron valores superiores a 0.1% de cobertura promedio (Tabla 5). Estas especies presentaron relaciones significativas con las variables geográficas, topográficas y de estructura forestal analizadas. En cuanto a la latitud, se observó que *A. compacta* presenta una mayor cobertura en el norte de la distribución de *P. tarapacana*, mientras que *N. axillaris*, *P. lucida* y *S. nutans* presentaron mayor cobertura en el sur. En relación con la elevación, sólo se encontraron 6 especies medicinales que presentaron diferencias significativas, así vemos que *A. ulicina*, muestra una mayor cobertura con el aumento de la elevación, mientras que para *B. tola* ssp. *tola*, *Calceolaria santolinoides* Kraenzl., *Chersodoma*

Tabla 3. Estimadores y significancia estadística de regresiones múltiples en el uso de variables geográficas, topográficas y de estructura forestal en la estimación de los dos ejes de variación (ejes 1 y 2) resultantes del NMDS. Est: estimador, E.E.: error estándar, Constante: ordenada al origen del modelo de regresión múltiple, Latitud (grados), Longitud (grados), Elevación (m s. n. m.), Pendiente (grados), ExN: exposición norte (coseno de la exposición en grados [oscila entre -1 en el sur y 1 en el norte]), ExE: exposición este (seno de la exposición en grados [oscila entre -1 en el oeste y 1 en el este]), AMD: altura dominante del bosque como promedio de los tres árboles más altos (m), DAB: diámetro promedio a la base (cm).

Table 3. Parameters and statistical significance of multiple regressions in the use of geographic, topographic and forest structure variables in the estimation of the two axes of variation (axis 1 and 2) resulting from the NMDS.

| | Est (eje1) | E.E. (eje1) | p-valor | Est (eje2) | E.E. (eje2) | p-valor |
|-----------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Constante | 22.4836 | 30.7169 | 0.4662 | 40.8362 | 33.3369 | 0.2240 |
| Latitud | 0.5726 | 0.2452 | 0.0219 | 0.1826 | 0.2661 | 0.4943 |
| Longitud | 0.0353 | 0.4065 | 0.9309 | 0.5460 | 0.4412 | 0.2193 |
| Elevación | -0.0016 | 0.0003 | 0.0000 | -0.0001 | 0.0004 | 0.7799 |
| Pendiente | -0.0013 | 0.0057 | 0.8223 | 0.0130 | 0.0062 | 0.0383 |
| ExN | 0.2935 | 0.1437 | 0.0443 | -0.2673 | 0.1560 | 0.0904 |
| ExE | 0.1077 | 0.0849 | 0.2079 | -0.1084 | 0.0921 | 0.2427 |
| AMD | -0.0015 | 0.0018 | 0.3875 | -0.0042 | 0.0019 | 0.0307 |
| DAB | 0.0078 | 0.0303 | 0.7980 | 0.0794 | 0.0329 | 0.0182 |
| Modelo | | | 0.0001 | | | 0.0460 |

jodopappa Cabrera, *E. chilensis* y *Mutisia friesiana* Cabrera, la cobertura es mayor en elevaciones bajas. En relación con la pendiente se observaron relaciones negativas en *A. ulicina* y *F. triandra*, es decir, mayores coberturas de estas especies en pendientes bajas. En cuanto

Tabla 4. Valores de pendiente (β) y p-valor (entre paréntesis) de los modelos de regresión lineal simple en los que se utilizaron variables geográficas, topográficas y de estructura forestal para estimar la riqueza y la cobertura en % de las plantas medicinales en bosques de *P. tarapacana*. Riqueza: número de especies de plantas medicinales por parcela, Cobertura %: sumatoria de las coberturas porcentuales individuales de plantas medicinales por parcela, Latitud (grados), Elevación (m s. n. m.), Pend: pendiente (grados), ExN: exposición norte (coseno de la exposición en grados [oscila entre -1 en el sur y 1 en el norte]), AMD: altura dominante del bosque como promedio de los tres árboles más altos (m), DAB: diámetro promedio a la base (cm).

Table 4. Values of slope (β) and p-value (between brackets) of the simple linear regression models where geographic, topographic and forest structure variables were used to estimate the richness and cover in % of medicinal plants in *P. tarapacana* forests.

| | Riqueza | Cobertura % |
|-----------|-------------------------|------------------|
| Latitud | -0.9609 (0.1743) | -1.8431 (0.2684) |
| Elevación | -0.0032 (0.0078) | -0.0048 (0.0936) |
| Pend | 0.0057 (0.7655) | -0.0327 (0.4625) |
| ExN | -1.1248 (0.0319) | -2.1092 (0.0883) |
| AMD | -0.0039 (0.2269) | -0.0039 (0.6017) |
| DAB | -0.0115 (0.8350) | -0.0622 (0.6304) |

Tabla 5. Valores de pendiente (β) y p-valor (entre paréntesis) de los modelos de regresión lineal simple en los que se utilizaron variables geográficas, topográficas y de estructura forestal para estimar la cobertura en % de las plantas medicinales en bosques de *P. tarapacana*, Altoandino de Jujuy, Argentina. PM: plantas medicinales (con valores superiores a 0.1% de cobertura), Latitud (grados), Elevación (m s. n. m.), Pend: pendiente (grados), ExN: exposición norte (coseno de la exposición en grados [oscila entre -1 en el sur y 1 en el norte]), AMD: altura dominante del bosque como promedio de los tres árboles más altos (m), DAB: diámetro promedio a la base (cm). Especies con cobertura mayor al 0.1% (AZCO: *Azorella compacta* Phil. (yareta, puna yareta), AZUL: *Azorella ulicina* (Gillies and Hook.) G.M. Plunkett and A.N. Nicolas (espina amarilla), BATO: *Baccharis tola* Phil. ssp. *tolá* (lejía, tola), CASA: *Calceolaria santolinoides* Kraenzl. (zapatito), CHJO: *Chersodoma jodopappa* Cabrera (tola de burro), EPCH: *Ephedra chilensis* C. Presl (tramontana, pingo pingo), FRTR: *Frankenia triandra* Remy (yaretilla vicuña), MUFR: *Mutisia friesiana* Cabrera (chinchircoma colorada), NAAX: *Nassauvia axillaris* (Lag. ex Lindl.) D. Don (uña de gato, chuchicaña), PALU: *Parastrephia lucida* (Meyen) Cabrera (tola, tola de agua), SENU: *Senecio nutans* Sch.Bip. (chachacoma, tola hembra).

Table 5. Values of slope (β) and p-value (in parentheses) of the simple linear regression models where geographic, topographic and forest structure variables were used to estimate the cover in % of medicinal plants in forests of *P. tarapacana*, High Andean of Jujuy, Argentina.

| PM | Latitud | Elevación | Pend | ExN | AMD | DAB |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| AZCO | 0.6324 (0.0375) | 0.0005 (0.3174) | -0.0061 (0.4533) | -0.3657 (0.1088) | 0.0011 (0.4200) | 0.0175 (0.4610) |
| AZUL | -0.0630 (0.5985) | 0.0008 (0.0000) | -0.0082 (0.0088) | -0.1043 (0.2413) | 0.0018 (0.0006) | 0.0284 (0.0017) |
| BATO | -0.2080 (0.5378) | -0.0014 (0.0127) | 0.0070 (0.4364) | -0.0763 (0.7622) | -0.0026 (0.0907) | -0.0554 (0.0321) |
| CASA | -0.0723 (0.6101) | -0.0006 (0.0138) | 0.0043 (0.2596) | -0.4115 (0.0000) | -0.0008 (0.2306) | -0.0123 (0.2612) |
| CHJO | -0.2560 (0.1996) | -0.0009 (0.0049) | 0.0046 (0.3914) | 0.0406 (0.7862) | -0.0021 (0.0218) | -0.0356 (0.0201) |
| EPCH | 0.0903 (0.4019) | -0.0006 (0.0016) | 0.0037 (0.1954) | 0.0452 (0.5741) | -0.0014 (0.0041) | -0.0193 (0.0192) |
| FRTR | 0.3442 (0.1284) | 0.0005 (0.1849) | -0.0133 (0.0271) | 0.1247 (0.4629) | 0.0016 (0.1154) | 0.0286 (0.1023) |
| MUFR | 0.2487 (0.2558) | -0.0015 (0.0000) | 0.0065 (0.2646) | -0.1559 (0.3405) | -0.0010 (0.3138) | -0.0025 (0.8827) |
| NAAX | -0.6254 (0.0008) | 0.0001 (0.7266) | -0.0041 (0.4302) | 0.0537 (0.7096) | 0.0001 (0.9090) | 0.0208 (0.1619) |
| PALU | -0.7894 (0.0005) | -0.0001 (0.8882) | -0.0045 (0.4718) | -0.1744 (0.3196) | 0.0002 (0.8657) | -0.0074 (0.6866) |
| SENU | -0.4787 (0.0221) | 0.0002 (0.5825) | -0.0092 (0.1031) | -0.0631 (0.6903) | 0.0015 (0.1215) | 0.0269 (0.0985) |

a la exposición, *C. santolinoides* presenta una menor cobertura en exposición norte, con un aumento hacia la exposición sur. En el caso de variables de estructura forestal, únicamente *A. ulicina* presentó una relación positiva con AMD y DAB, mientras que *C. santolinoides* y *E. chilensis* decrecen su cobertura con el desarrollo de la cubierta forestal de bosques de *P. tarapacana*.

DISCUSIÓN

Se registraron 21 especies de plantas vasculares consideradas medicinales, de las que la familia con mayor representación fue *Asteraceae* (12 especies, 9 géneros). En particular, esta familia es la más abundante en número de especies medicinales en el Altiplano. En la provincia de Salta, Argentina, se encontró que las familias con mayor número de taxones usados, sobre el total de plantas medicinales, fueron *Asteraceae* (35.9%), seguida por *Fabaceae* (13.3%) (Etcheverry et al. 2012). Asimismo, Barbarán (2018) identificó 42 especies de plantas medicinales en Salta y Jujuy, entre 3500 y 5000 m s. n. m.; entre ellas, *Asteraceae* es la familia con más especies (30.9%). A su vez, Giberti (1983) registró en el altiplano del noroeste argentino una proporción de *Asteraceae* del 22% dentro de

las plantas medicinales nativas, de las cuales *X. poposum* y *S. nutans* se encuentran entre las más comunes de la farmacopea andina (Giberti 1983). Asimismo, en 5 localidades de Oruro, Bolivia, Flores et al. (2019) encontraron que la familia *Asteraceae* presentó la mayor cantidad de especies medicinales, con *B. tola* ssp. *tola*, *P. lucida*, *Tetraglochin cristatum* y *Tagetes multiflora* como las más abundantes. Otros estudios de plantas medicinales del Altiplano boliviano citan también a *Asteraceae* como la familia con el mayor número de especies medicinales y mayor representación en la flora del Altiplano (Cabrera 1968). De la misma forma, *Solanaceae*, *Lamiaceae* y *Fabaceae* se encuentran entre las familias más importantes en número de especies medicinales (Bastien 1983; Arrázola et al. 2002; Fernández et al. 2003; Macía et al. 2005).

La exposición norte, al recibir mayor radiación solar, puede promover la coexistencia de plantas con requisitos de rango de temperatura más amplios (Oberbauer et al. 2013). Las plantas en cojín y arbustos y subarbustos son los grupos funcionales con mayor resistencia a altas amplitudes térmicas (Squeo et al. 1996; Sierra-Almeida et al. 2009). En el presente estudio se observó un 71.4% (4.8% de cobertura) de plantas medicinales del grupo funcional arbusto y subarbusto, seguidas por plantas en cojín con un 9.5% (1.6% de cobertura). Resultados similares se observaron en las cumbres altoandinas de Tucumán, Argentina, donde las formas de vida dominantes fueron las plantas en cojín con 7.0% de cobertura, mientras que los arbustos presentaron 1.6% de cobertura (Carilla et al. 2018).

En el presente estudio se registraron plantas antifúngicas, antimicrobianas y antioxidantes. Según Heinrich et al. (1998), las plantas medicinales en el altiplano son de uso diverso (e.g., antisépticos, antiinflamatorios y expectorantes), mientras que del total de especies medicinales presentes en farmacopea del altiplano jujeño, las afecciones gastrointestinales es la clase con mayor número de especies medicinales (26%), seguida por las plantas medicinales para las enfermedades del sistema esqueleto-muscular (16%) (Rivero et al. 2002). En el presente trabajo se observó que se utilizan mayormente la parte aérea y la planta entera de las especies medicinales halladas. Esto concuerda con lo observado por Macía et al. (2005) en un estudio de recopilación de plantas medicinales en la provincia de Jujuy, donde se observó que en el 11.7% de las

plantas se utiliza la planta entera, en el 29.3% de las plantas se emplea sólo la parte aérea; en el 20.7%, las hojas; en el 7%, las flores, y en el 6.3%, los tallos. Etcheverry et al. (2012) hallaron resultados similares, en los que la parte de la planta más utilizada fueron hojas (36.2%) y tallos (15.9%).

Considerando la riqueza de especies vegetales, la Argentina es uno de los 25 países más diversos del mundo debido a su riqueza de especies y endemismos (Caldecott et al. 1996; Zuloaga et al. 2008), en donde las regiones noroeste y noreste poseen el más alto número de familias, géneros y especies (Zuloaga et al. 2008). Una revisión general de la flora nativa de plantas medicinales de la Argentina (Barboza et al. 2009) indica que las áreas con mayor diversidad de flora medicinal se corresponden con la más alta diversidad de flora vascular reportada por Zuloaga et al. (2008). Asimismo, el 28-37% de las especies endémicas del país crecen en la región noroeste de la Argentina (Barboza et al. 2009). Las principales especies medicinales asociadas a los bosques de *P. tarapacana* en la Argentina fueron *A. compacta*, *A. ulicina*, *B. tola* ssp. *tola*, *C. santolinoides*, *C. jodopappa*, *E. chilensis*, *F. triandra*, *M. friesiana*, *N. axillaris*, *P. lucida* y *S. nutans*. Esto puede compararse con lo descrito por Navarro (2011) en el Arbustal Altoandino de *Polylepis* de la Cordillera Occidental centro-sur, en Bolivia (serie de *Adesmia horrida* - *P. tarapacana*) entre 4100 y 4800 m s. n. m. Esta formación forestal incluye las especies medicinales *A. compacta*, *A. ulicina* y *P. lucida*. Asimismo, las especies medicinales *Fabiana bryoides*, *B. tola* ssp. *tola*, *C. jodopappa*, *E. chilensis* y *S. nutans* se encuentran representadas en Bolivia en el Pajonal-matorral subnival de la Puna xerofítica suroccidental, entre 4300 y 4700 m s. n. m (asociación *Fabiana bryoides* - *Stipa venusta*), donde no se observan ejemplares de *P. tarapacana*. Además, en elevaciones entre 4700 y 5000 m s. n. m. en laderas pedregosas de pendiente pronunciada, Navarro (2011) describe la comunidad de vegetación geliturbada subnival de la Puna xerofítica suroriental (también sin la presencia de *P. tarapacana*), en donde se observan ejemplares de la especie medicinal *Xenophyllum poposum*.

A su vez, la vegetación de la cordillera de los Andes en Chile presenta una marcada zonación por elevación, producto de la influencia combinada del descenso de la temperatura y del aumento de las precipitaciones (Luebert and Gajardo 2005). Las zonas de elevación

intermedia presentan mayor riqueza específica y de grupos funcionales debido a sus condiciones térmicas y ómicas moderadas. La vegetación en zonas de mayor elevación se encuentra limitada por el descenso de las temperaturas. Asimismo, la composición y la estructura de la vegetación también varía con la latitud (Luebert and Gajardo 2005; Luebert and Pliscoff 2006). Para la Puna chilena se describe una asociación similar al arbustal altoandino de *Polylepis* de Bolivia, el matorral bajo tropical andino. Se encuentra dominado por arbustos de *P. lucida* y *A. compacta* en taludes pedregosos o rocosos, entre 4300 y 4600 m s. n. m., donde la presencia de *P. tarapacana* queda reducida a faldas de cerros con exposiciones norte (Luebert and Gajardo 2005; Luebert and Pliscoff 2006). Las plantas medicinales presentes son *A. compacta*, *B. tola* ssp. *tola*, *P. lucida* y *S. nutans* (Villagrán et al. 1983; Luebert and Gajardo 2005). Entre las laderas y planicies, entre 4000 y 4400 m s. n. m. se encuentra el Matorral bajo tropical andino de *Parastrephia lucida* y *Festuca orthophylla*, caracterizado por la presencia de numerosas plantas en cojín y una mayor proporción de gramíneas en penacho, en donde en las faldas de algunos cerros se observan bosquetes de *P. tarapacana*. Las plantas medicinales presentes son las mismas que en el matorral bajo tropical andino de *Parastrephia lucida* y *Azorella compacta*, y se suma la presencia de *Tetraglochin cristatum* (Britton) Rothm. (Luebert and Gajardo 2005; Luebert and Pliscoff 2006).

Bajo el anterior piso altitudinal se encuentra el Matorral bajo tropical andino de *Fabiana squamata* y *Festuca chrysophylla*, en laderas entre 3800 y 4100 m s. n. m. en donde en algunos sectores muy localizados se ha reportado la presencia de bosquetes de *P. tarapacana* que alcanzan su límite sur de distribución. Las plantas medicinales aquí presentes son *A. compacta*, *B. tola* ssp. *tola*, *F. bryoides* y *S. nutans* (Luebert and Gajardo 2005; Luebert and Pliscoff 2006). Asimismo, por sobre los 4600 m s. n. m., en las partes altas de la cordillera andina de Chile se encuentra el Matorral bajo tropical andino de *Azorella compacta* y *Pycnophyllum molle*, y se asocian las medicinales *S. puchii* y *Xenophyllum poposum*. Al igual que en la comunidad de vegetación geliturbada subnival de la Puna Xerofítica de Bolivia (Navarro 2011), no se ha reportado aquí la presencia de bosques de *P. tarapacana* (Luebert and Gajardo 2005; Luebert and Pliscoff 2006). En este trabajo se registró que el rango de elevación encontrado en los bosques de *P. tarapacana* de la Argentina presenta un

límite superior 150 m s. n. m. mayor al de los bosques de Bolivia (4100 a 4800 m s. n. m. según Navarro [2011]) y 350 m s. n. m. por encima del límite para los bosques de Chile (Luebert and Gajardo 2005; Luebert and Pliscoff 2006). De esta forma, la amplia distribución de bosques de *P. tarapacana* en la Argentina (en elevación y zonas geográficas) abarca diferentes distribuciones de plantas medicinales. Esta amplitud de ambientes y su correspondiente riqueza de plantas medicinales halladas se corresponde con diferentes asociaciones de plantas en Bolivia y Chile. Estas asociaciones, en algunos casos, presentan bosques de *P. tarapacana* y en otros son matorrales sin presencia de esta especie. La riqueza de plantas medicinales en las asociaciones en Bolivia y Chile siempre es menor a la encontrada en los bosques estudiados en Argentina.

La composición de la vegetación —y en particular, la de plantas medicinales— en bosques de *P. tarapacana* para la Argentina se encuentra muy poco estudiada (Ruthsatz and Movia 1975), sólo existen descripciones generales de la Ecorregión Altoandina (Cabrera 1968; Morello et al. 2012). La Provincia Altoandina en la zona de Mina Aguilar tiene su límite inferior alrededor de 4100 m s. n. m., presentando entre 4250 y 4500 m s. n. m. el Matorral alto de *Polylepis tarapacana*, con una altura promedio de 90 cm y coberturas de ~25%, entremezclados con gramíneas y varias especies arbustivas, en su mayoría *Asteraceae* (Ruthsatz and Movia 1975). En esta zona, la planta medicinal que presenta mayor cobertura es *B. tola* ssp. *tola*, seguida por *Chersodoma argentina* Cabrera, *E. chilensis* y *T. cristatum*. Con una baja cobertura aparecen *A. compacta* y *N. axilaris*, mientras que *C. santalinooides* es la planta medicinal con menor frecuencia (Ruthsatz and Movia 1975). Estos resultados se corresponden en gran medida con los resultados hallados en este estudio, en el que para bosques de *P. tarapacana* aparecen plantas medicinales que no habían sido citadas en Chile ni Bolivia, como *N. axilaris* y *C. santalinooides*.

En los Andes tropicales se pueden reconocer tres grandes gradientes de variación de la vegetación: latitud, longitud y elevación (Luebert and Gajardo 2005; Luebert and Pliscoff 2006; Navarro 2011). Los patrones de zonación latitudinal se encuentran marcados por una disminución de las precipitaciones desde el norte hacia el sur, encontrándose la Puna húmeda al norte (Seibert 1993) y la

Puna xerofítica al sur (Cabrera 1968; Ruthsatz and Movia 1975; Villagrán et al. 1983; Luebert and Gajardo 2005; Luebert and Pliscoff 2006; Navarro 2011). En la Puna xerofítica se observa que la vertiente oriental de la cordillera andina tiende siempre a ser más húmeda que la occidental, con un desplazamiento hacia el sur de las comunidades de la vertiente oriental respecto a sus variantes occidentales (Ruthsatz and Movia 1975; Villagrán et al. 1983; Navarro 2011). Esto genera una asimetría en la estructura y la composición de la vegetación entre ambas vertientes. La zonación por elevación, en cambio, está determinada primariamente por el régimen termoclimático (Ruthsatz and Movia 1975). Estos gradientes en la vegetación —marcados por la latitud, la longitud y la elevación— repercuten en la diversidad y cobertura de plantas medicinales encontradas a lo largo de la amplia distribución de *P. tarapacana*, en donde las diferencias de la riqueza de estas plantas se presentan en un gradiente de elevación (con menor riqueza a mayores elevaciones).

En cuanto a la latitud, vemos que *N. axillaris*, *P. lucida* y *S. nutans* muestran una marcada disminución de su cobertura hacia el norte de la distribución de *P. tarapacana* en el área de estudio. Esto coincide con la ausencia de estas plantas medicinales en bosques de *P. tarapacana* en Bolivia y en Chile, pero son frecuentes en otras asociaciones vegetales sin la presencia de *P. tarapacana*. Estas diferencias podrían deberse al amplio rango de elevación que presenta *P. tarapacana* en la Argentina, a las diferencias climáticas (temperatura y precipitaciones) o a la presencia de sitios seguros para su instalación (López et al. 2021) que permiten a estas plantas medicinales ocupar el sotobosque de *P. tarapacana*.

La exposición es una causa de las variaciones de la riqueza y la composición de la flora (Alzérreca et al. 2001; Ruthsatz 2012). En este trabajo se observó una disminución de la riqueza dada por la variable continua ExN. Esto coincide con lo observado por Adler and Morales (1999) al registrar en el altiplano de Salta y Jujuy un total de 19 especies en sitios orientados al sur, pero sólo 4 especies exclusivamente en orientaciones norte. Este contraste tan marcado entre exposiciones puede deberse no sólo a las diferencias en la radiación solar, sino también a la condensación de las nubes bajas transportadas por los vientos predominantes en la estación húmeda del verano (Adler and Morales 1999; Garreaud et al. 2003; Tálamo et al. 2010).

No se observaron relaciones entre las variables geográficas, topográficas y de estructura forestal con la cobertura total de plantas medicinales, lo que indica que este recurso no se vería limitado por los gradientes de estas variables, difiriendo únicamente la riqueza de las especies en diferentes elevaciones y exposiciones. Sin embargo, en la cobertura por planta medicinal se observan relaciones con los gradientes de variables geográficas, topográficas y de estructura forestal, así como especies generalistas que aparecen sin diferencias de cobertura, como es el caso de *A. ulicina*, *B. tola* ssp. *tola*, *C. jodopappa* y *E. chilensis*. Es importante tener en cuenta estas relaciones para el manejo y la conservación de las plantas medicinales (Barbarán 2008; Cantero et al. 2019; Vignale 1996).

El conocimiento tradicional sobre el uso de plantas medicinales se está perdiendo paulatinamente debido a que cada vez es más fácil para los habitantes obtener atención médica en los sistemas de atención primaria de salud. Con la participación de la población local, es necesario definir planes para el uso sostenible de ese recurso de propiedad común. Al mismo tiempo, se deben proteger de forma adecuada los conocimientos tradicionales de los habitantes de la región. El carácter endémico de las especies aumenta significativamente su grado de vulnerabilidad y riesgo de extinción, sobre todo por encontrarse en áreas geográficas restringidas o por presentar poblaciones pequeñas. Es importante buscar y plantear acciones para rescatar el saber tradicional o popular sobre el uso de los recursos fitoterápicos del norte argentino, y así resguardar este patrimonio original para el futuro. Esta situación sugiere la necesidad de realizar investigaciones etnobotánicas y documentar las plantas medicinales y el conocimiento asociado. Dichos estudios serán útiles para identificar plantas amenazadas y tomar las medidas de conservación adecuadas. Comprender los fundamentos del uso y la preservación de este importante recurso natural es el requisito previo para el desarrollo de cualquier marco de investigación.

AGRADECIMIENTOS. A los pobladores por su disponibilidad para compartir sus conocimientos y experiencias sobre el bosque de *P. tarapacana*. Este trabajo está dedicado a todos aquellos egresados de la Universidad Nacional de La Plata, de las carreras de Biología y de Ingeniería Forestal, en su mayor parte hoy profesionales, a los que desde 2018 a la actualidad participaron en los viajes de

campana en donde compartimos numerosas horas de campo de mutuo aprendizaje y discusión en diferentes lugares de las provincias de Jujuy y Salta. De ellos depende en gran medida el aumento futuro en el conocimiento de los ecosistemas argentinos. Para todos ellos nuestro agradecimiento.

Asimismo, agradecemos la contribución en los análisis estadísticos a Marcelo Fabián Arturi y Fernando Archuby y, al Editor y a los Revisores por sus valiosos comentarios y sugerencias, los cuales contribuyeron sustancialmente a enriquecer y mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Adler, P. B., and J. M. Morales. 1999. Influence of environmental factors and sheep grazing on an Andean grassland. *Journal of Range Management* 52(5):471-480. <https://doi.org/10.2307/4003774>.
- Alzérreca, H., G. Prieto, L. C. Jorge, D. Luna, and S. Laguna. 2001. Características y distribución de los bofedales en el ámbito boliviano. Informe Final. Subcontrato 21.12. Asociación Integral de Ganaderos en Camélidos de los Andes Altos, Autoridad Binacional Lago Titicaca y Programa de las Naciones para el Desarrollo, La Paz, Bolivia.
- Anton, A. M., and F. O. Zuloaga. Flora Argentina. Marzo 2022. URL: buscador.floraargentina.edu.ar.
- Arrázola, S., M. Atahuachi, E. Saravia, and A. López. 2002. Diversidad florística medicinal y potencial etnofarmacológico de las plantas de los valles secos de Cochabamba Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 12:53-85.
- Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study: studies in the organic production, structure, increment, and yield of forest stands. Pergamon Press. Oxford. England.
- Barbarán, F. R. 2008. Medicinal Plants of the Argentinian Puna: A Common Property Resource and an Opportunity for Local People. Conference Paper. Cheltenham, England.
- Barboza, G. E., J. J. Cantero, C. Núñez, A. Pacciaroni, and L. A. Espinar. 2009. Medicinal plants: A general review and a phytochemical and ethnopharmacological screening of the native Argentine Flora. *Kurtziana* 34(1-2):7-365.
- Bastien, J. W. 1983. Pharmacopeia of Qollahuaya Andeans. *Journal of Ethnopharmacology* 8:97-111. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(83\)90091-0](https://doi.org/10.1016/0378-8741(83)90091-0).
- Brancaleoni, L., J. Strelin, and R. Gerdol. 2003. Relationships between geomorphology and vegetation patterns in subantarctic Andean tundra of Tierra del Fuego. *Polar Biology* 26:404-410. <https://doi.org/10.1007/s00300-003-0499-7>.
- Cabrera, Á. L. 1968. Ecología vegetal de la Puna. *Colloquium Geographicum* 9:91-116.
- Caldecott, J. O., M. D. Jenkins, T. H. Johnson, and B. Groombridge. 1996. Priorities for conserving global species richness and endemism. *Biodiversity and Conservation* 5:699-727. <https://doi.org/10.1007/BF00051782>.
- Cantero, J. J., O. C. Núñez, J. Mulko, A. Amuchástegui, M. V. Palchetti, P. Brandolin, J. Iparraguirre, N. Virginil, G. Bernardello, and L. A. Espinar. 2019. Las plantas de importancia económica en Argentina, UniRío, Río Cuarto, Argentina.
- Carilla, J., S. Halloy, S. Cuello, A. Grau, A. Malizia, and F. Cuesta. 2018. Vegetation trends over eleven years on mountain summits in NW Argentina. *Ecology and Evolution* 8:11554-11567. <https://doi.org/10.1002/ece3.4602>.
- Cellini, J. M., V. L. López, A. Martínez, J. S. Salgado, V. Bautista Berrios, and S. E. Sharry. 2020. Intercambio de saberes autóctonos en plantas nativas: Experiencias en la búsqueda de la revalorización y el intercambio de conocimiento de plantas nativas del altiplano. *Boletín Electrónico de Extensión* 3: 6-7.
- Cuyckens, G. A. E., D. A. Christie, A. I. Domic, L. R. Malizia, and D. Renison. 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>.
- De Lucca, M., and J. Zalles. 2009. Flora medicinal boliviana-Diccionario enciclopédico. Editorial Los Amigos del Libro. La Paz, Bolivia.
- Etcheverry, A. V., C. N. Yáñez, D. López-Spahr, T. Figueroa-Fleming, M. M. Alemán, and C. A. Gómez. 2012. Biodiversity of medicinal plants from Salta Province. Northwestern Argentina. *Acta Horticulturae* 955:25-30. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.955.1>.
- Fernández, E. C., Y. E. Sandi, and L. Kokoska. 2003. Ethnobotanical inventory of medicinal plants used in the Bustillo province of the Potosí department, Bolivia 74(4):407-416. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(03\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(03)00053-4).
- Flores, N., G. Arcaine, C. Apaza, F. García, R. Mamani, S. Pérez, M. Belzu, and E. Chávez. 2019. Herbolaria medicinal del altiplano de Oruro, Bolivia. *Medicine Plants Communication* 2(1):1-5.
- Garreaud, R., M. Vuille, and A. C. Clement. 2003. The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194:5-22. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00269-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00269-4).
- Giberti, G. C. 1983. Herbal folk medicine in northwestern Argentina: Compositae. *Journal of Ethnopharmacology* 7: 321-341. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(83\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0378-8741(83)90006-5).
- Gilliam, F. S. 2007. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *BioScience* 57(10): 845-858. <https://doi.org/10.1641/B571007>.
- Heinrich, M., M. Robles, J. E. West, B. R. Ortiz de Montellano, and E. Rodríguez. 1998. Ethnopharmacology of Mexican Asteraceae (Compositae). *Annual Review Pharmacology Toxicology* 38:539-565. <https://doi.org/10.1146/annurev.p.harmtox.38.1.539>.

- IUCN. Red List of Threatened Species. Version 2020. URL: iucnredlist.org.
- Kessler, M., and A. N. Schmidt-Lebuhn. 2006. Taxonomical and distributional notes on *Polylepis* (Rosaceae). *Organisms Diversity and Evolution* 5:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ode.2005.04.001>.
- López, V. L., M. Pérez Flores, S. Sharry, and J. M. Cellini. 2020. Estructura vertical y horizontal en dos bosques de *Polylepis tarapacana* con diferentes situaciones ambientales. *Historia Natural* 10(2):165-173.
- López, V. L., J. M. Cellini, and G. A. E. Cuyckens. 2021. Influencia del micrositio y el ambiente en la instalación de *Polylepis tarapacana* en los Altos Andes. *Neotropical Biodiversity* 7(1):135-145. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1902251>.
- Luebert, F., and R. Gajardo. 2005. Vegetación altoandina de Parinacota (norte de Chile) y una sinopsis de la vegetación de la Puna meridional. *Phytocoenologia* 35:79-128. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2005/0035-0079>.
- Luebert, F., and P. Plissock. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile. Editorial Universitaria. Santiago de Chile, Chile.
- Matteucci, D. S., and A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C. Pp. 168.
- Macía, M. J., E. García, and P. J. Vidaurre. 2005. An ethnobotanical survey of medicinal plants commercialized in the markets of La Paz and El Alto, Bolivia. *Journal of Ethnopharmacol* 97:337-350. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.11.022>.
- Morello, J., S. D. Matteucci, A. F. Rodríguez, M. Silva, and J. C. De Haron. 2012. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. Primera edición. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina.
- Navarro, G. S. 2011. Clasificación de la vegetación en Bolivia. Primera edición. Fundación Simón Patiño, Ibáñez, Bolivia.
- Oberbauer, S. F., S. C. Elmendorf, T. G. Troxler, R. D. Hollister, A. V. Rocha, M. S. Bret-Harte, M. A. Dawes, A. M. Fosaa, G. H. R. Henry, T. T. Høye, F. C. Jarrad, I. S. Jónsdóttir, K. Klanderud, J. A. Klein, U. Molau, C. Rixen, N. M. Schmidt, G. R. Shaver, R. T. Slider, Ø. Totland, C. H. Wahren, and J. M. Welker. 2013. Phenological response of tundra plants to background climate variation tested using the International Tundra Experiment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 368(1624):20120481. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0481>
- Oblitas, E. 1992. Plantas medicinales de Bolivia. Editorial Los Amigos del Libro, La Paz, Bolivia.
- Oksanen, J., G. L. Simpson, F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, P. Solymos, M. H. H. Stevens, E. Szoecs, H. Wagner, M. Barbour, M. Bedward, B. Bolker, D. Borcard, G. Carvalho, M. Chirico, M. De Caceres, S. Durand, H. B. Antoniazzi Evangelista, R. FitzJohn, M. Friendly, B. Furneaux, G. Hannigan, M. O. Hill, L. Lahti, D. McGlenn, M. Ouellette, E. Ribeiro Cunha, T. Smith, A. Stier, C. J. F. Ter Braak, and J. Weedon. 2022. *vegan*: Community Ecology Package. R package version 2.6-2. URL: CRAN.R-project.org/package=vegan
- Oyarzabal, M., J. Clavijo, L. Oakley, F. Biganzoli, P. Tognetti, I. Barberis, H. M. Maturo, R. Aragón, P. I. Campanello, D. Prado, M. Oesterheld, and R. J. C. León. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28:040-063. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>.
- Pérez Flores, M., G. Martínez Pastur, J. M. Cellini, and M. V. Lencinas. 2019. Recovery of understory assemblage along 50 years after shelterwood cut harvesting in *Nothofagus pumilio* Southern Patagonian forests. *Forest Ecology and Management* 450:117494. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117494>.
- Pérez Machín, M., M. L. Sueiro, and A. de la Cruz. 2011. Uso tradicional de plantas medicinales con acción diurética en el Municipio de Quemado de Güines, Cuba. *Revista de Biología Tropical* 59(4):1859-1867. <https://doi.org/10.15517/rbt.v59i4.33191>.
- Ramsay, P. M., and E. R. B. Oxley. 1997. The growth form composition of plant communities in the ecuadorian páramos. *Plant Ecology* 131(2):173-192. <https://doi.org/10.1023/A:1009796224479>.
- Renison, D., I. Hensen, R. Suárez, A. M. Cingolani, P. Marcora, and M. A. Giorgis. 2010. Soil conservation in *Polylepis* mountain forests of Central Argentina: is livestock reducing our Natural capital? *Austral Ecology* 35(4):435-443. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2009.02055.x>.
- Renison, D., G. A. E. Cuyckens, S. Pacheco, F. G. Guzmán, H. R. Grau, P. Marcora, G. Robledo, A. M. Cingolani, J. Domínguez, M. Landi, L. Bellis, and I. Hensen. 2013. Distribución y estado de conservación de las poblaciones de árboles y arbustos del género *Polylepis* (Rosaceae) en las montañas de Argentina. *Ecología Austral* 23(1):27-36. <https://doi.org/10.25260/EA.13.23.1.0.1189>.
- Rivero, S. A., M. Atahuachi, E. Saravia, and A. López. 2002. Diversidad florística medicinal y potencial etnofarmacológico de las plantas de los valles secos de Cochabamba - Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 12:53-85.
- Ruthsatz, B. 2012. Vegetation and ecology of the high Andean peatlands of Bolivia. *Phytocoenologia* 42:133-179. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2012/0042-0535>.
- Ruthsatz, B., and C. P. Movia. 1975. Relevamiento de las estepas andinas del Noroeste de la Provincia de Jujuy. República Argentina Buenos Aires. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Buenos Aires, Argentina.
- Seibert, P. 1993. La vegetación de la región de los Kallawayá y del altiplano de UllaUlla en los Andes bolivianos. *Ecología Bolivia* 20:1-84.
- Sierra-Almeida A., L. A. Cavieres, and L. A. Bravo. 2009. Freezing resistance varies within the growing season and with elevation in high-Andean species of central Chile. *The New Phytologist* 182(2):461-469. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02756.x>.
- Squeo, A. F., F. Rada, C. García, M. Ponce, A. Rojas, and A. Azócar. 1996. Cold Resistance mechanisms in high desert Andean plants. *Oecologia* 105:552-555. <https://doi.org/10.1007/BF00330019>.

- Suazo Rivas, N. E., D. Á. Mairena, and J. A. Flores. 2020. Composición florística de las plantas medicinales de la comunidad indígena de Tiktik Kaanu. *Ciencia e Interculturalidad* 26(01):148-162. <https://doi.org/10.5377/rci.v26i01.9891>.
- Tálamo, A., J. Tolaba, C. Trucco, and E. Acuña. 2010. Unidades de vegetación y composición florística en sectores del Altiplano del Noroeste de Argentina. I. Ambientes de estepas. *Ecología en Bolivia* 45(1):4-19.
- Teillier, S. 1996. Flora y vegetación alto-andina del área de Collahuasi-Salar de Coposa, Andes del norte de Chile. *Revista Chilena Historia Natural* 71:313-329.
- Torres, N. L., J. L. Martínez, C. Laurido, and A. Zapata. 2016. Plantas medicinales de Panamá 1: etnobotánica de la reserva forestal el montuoso. *Boletín latinoamericano y del Caribe plantas medicinales y aromáticas* 15(6):407-421.
- Vandebroek, I., and E. Thomas. 2003. Plantas medicinales para la atención primaria de la salud: el conocimiento de ocho médicos tradicionales de Apillapampa (Bolivia). Industrias Gráficas Serrano. Cochabamba, Bolivia.
- Vignale, N. D. 1996. Plantas medicinales del área andina de la Provincia de Jujuy. Pp. 177-182 *en* A. Bandoni (ed.). VII Congreso nacional de recursos naturales aromáticos y medicinales. SAIPA, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Villagrán, C., M. T. K. Arroyo, and C. Marticorena. 1983. Efectos de la desertificación en la distribución de la flora Andina de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 56:137-157.
- Vuille, M., and F. Keimig. 2004. Interannual variability of summertime convective cloudiness and precipitation in the central Andes derived from ISCCP-B3 data. *Journal of Climate* 17:3334-3348. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017%3C3334:IVOSCC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017%3C3334:IVOSCC%3E2.0.CO;2).
- Zuloaga, F., O. Morrone, and M. Belgrano. 2008. Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 107:1-3348.