

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y GESTIÓN

MODELAMIENTO ESPACIAL DEL GÉNERO POLYLEPIS EN EL MACIZO DEL CAJAS

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

BIÓLOGA CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN

AUTORA:

DEISY VERÓNICA GUAZHAMBO SACA

DIRECTOR:

EDWIN ZÁRATE HUGO

CODIRECTOR:

JAVIER MONTALVO RODRÍGUEZ.

CUENCA – ECUADOR

2026

DEDICATORIA

¡Cuando crees que todo ha sucedido, algo nuevo te sorprende más!

Dedico este trabajo a mis hijos, que desde que llegaron a mi vida, cada día es un aprendizaje constante.

A mi esposo, que ha motivado e impulsado mi alma cada día.

Los amo hasta el infinito, y más allá…

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a la familia y a mí misma. Quienes conforman lo que fui, soy y seré por el resto de mi vida.

A la Universidad del Azuay y todos mis maestros por todas las enseñanzas recibidas.

A mi director de tesis Blgo. Edwin Zárate por la motivación incansable.

A mi tribunal por tomarse el tiempo de ser partícipes de este trabajo.

A la vida misma por haberme permitido estudiar mi carrera y a mi cuerpo por haberme permitido recorrer los rincones a los que he llegado para investigar.

¡Siempre gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTOS iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS iv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS v
ÍNDICE DE ANEXOS vi
RESUMEN vii
ABSTRACT viii
INTRODUCCIÓN ix
CAPÍTULO I 12
MATERIALES Y MÉTODOS 12
1. **Área de estudio** 12
2. **Modelos de distribución** 14
CAPÍTULO II 17
RESULTADOS 17
1. **Distribución potencial de *Polylepis*** 18
2. **Distribución potencial de *P. incana*** 19
3. **Distribución potencial de *P. lanuginosa*** 20
4. **Distribución potencial de *P. reticulata*** 21
5. **Distribución potencial de *P. weberbaueri*** 22
CAPÍTULO III 23
DISCUSIONES 23
BIBLIOGRAFÍA 26
ANEXOS 36

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS

Figura 1. Mapa del área de estudio, Macizo del Cajas, Andes sur de Ecuador. 13
Figura 2. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del umbral de sensibilidad y especificidad equivalentes (0.327). Cada triángulo representa un registro de presencia. 18
Figura 3. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis incana* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del décimo percentil (0.302). Cada triángulo representa un registro de presencia de la especie. 19
Figura 4. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis lanuginosa* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del umbral de sensibilidad y especificidad equivalentes (0.284). Cada triángulo representa un registro de presencia de la especie. 20
Figura 5. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis reticulata* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del umbral de sensibilidad y especificidad equivalentes (0.496). Cada triángulo representa un registro de presencia de la especie. 21
Figura 6. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis weberbaueri* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del décimo percentil (0.435). Cada triángulo representa un registro de presencia de la especie. 22

Tabla 1. Variables seleccionadas para la modelización de cada especie, incluye porcentaje de importancia. 16
Tabla 2. Porcentaje de contribución e importancia relativa de las variables empleadas en la modelización por especie y género 17

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Registros utilizados para generar los modelos de distribución potencial de *P. incana, P. lanuginosa, P. reticulata y P. weberbaueri* en los Andes sur de Ecuador. Se indican las coordenadas geográficas y la fuente específica de cada uno. 36

RESUMEN

En el Macizo del Cajas el género *Polylepis* está representado por las especies *incana, lanuginosa, reticulata y weberbaueri.* La distribución de estas especies es altamente fragmentada y se discute si las presiones humanas o ambientales han sido las causas de esto. Los modelos de distribución de especies permiten conocer zonas potenciales de prioridad para la conservación. Usando el software MaXent se obtuvo que la distribución potencial de las especies *incana, reticulata* y *weberbaueri* se encuentra dentro de las áreas protegidas como el Parque Nacional Cajas, Área Nacional de Recreación Quimsacocha, Área Protegida Autónoma Descentralizada de Mazán y el Refugio de Vida Silvestre Machángara-Tomebamba, mientras que la especie *lanuginosa* (endémica) no se encuentra dentro del sistema de manera representativa. La importancia de los bosques de *Polylepis* y los ecosistemas que dependen de éstos, requieren que se planifique acciones de exploración, conservación y manejo adecuados para cada una de las especies y sus condiciones ambientales óptimas.

Palabras clave: *Polylepis,* MaxEnt, Macizo del Cajas, páramo, bosques altoandinos.

ABSTRACT

In the Cajas massif, the genus *Polylepis* is represented by the species *P. incana, P. lanuginosa, P. reticulata, and P. weberbaueri*. The distribution of these species is highly fragmented, and whether this is due to human or environmental pressures remains a subject of debate. Species distribution modeling helps identify potential priority areas for conservation. Using the software MaxEnt, it was determined that the potential distribution of *P. incana, P. reticulata, and P. weberbaueri* falls within protected areas, such as Cajas National Park, Quimsacocha National Recreation Area, the Mazán Decentralized Autonomous Protected Area, and the Machángara-Tomebamba Wildlife Refuge, whereas the species *P. lanuginosa* (which is endemic) lacks significant representation within this system. Given the importance of *Polylepis* forests and the ecosystems that depend on them, it is necessary to plan appropriate exploration, conservation, and management actions, tailored to each species and its optimal environmental conditions.

Keywords: *Polylepis*, MaxEnt, Cajas massif, paramo, high-Andean forests.

Guazhambo Saca Deisy Verónica

Trabajo de titulación

Edwin Zárate Hugo, Blgo.

2026

MODELAMIENTO ESPACIAL DEL GÉNERO POLYLEPIS EN EL MACIZO DEL CAJAS

INTRODUCCIÓN

El género *Polylepis* tiene una distribución neotropical asociado a los altos Andes de Ecuador, Perú y Bolivia dónde se incluyen alrededor de 27 especies (Simpson, 1979; Mendoza, 2005; Kessler, 2006; Mendoza, 2010). En el Ecuador, están presentes diez especies (Zutta *et al.*, 2012). Al sur del país se encuentran *Polylepis incana* Kunth., *Polylepis lanuginosa* Kunth., *Polylepis reticulata* Hieron. y *Polylepis weberbaueri* Pilg. (Minga *et al.*, 2016).

En los Andes sur de Ecuador, los bosques de *Polylepis* tienen una distribución fragmentada, con parches intersectados por páramo herbáceo, con diferente forma, aislamiento y áreas (Coblentz & Keating, 2008). Varios estudios se han concentrado en entender la composición y estructura de estos parches (Kessler, 2006; Mendoza y Cano, 2011; Ridbäck, 2008); sin embargo, muy pocos se han concentrado en estudiar su distribución a pesar de su gran importancia para la conservación (Lloyd, 2008; Reninson *et al.,* 2013; Gareca *et al.,* 2013 (Sevillano-Rios y otros, 2018).

La razón de la distribución actual de los bosques de *Polylepis* es un tema ampliamente debatido. Inicialmente se creía que estos bosques cubrían grandes extensiones en las montañas andinas (Ellenberg, 1979), y debido a fuertes presiones antropogénicas como actividades extractivas, agrícolas y de usos de suelo podrían haber fragmentado estos bosques (Kessler, 2002) y reducir su rango de distribución (Kessler, 2006). Por su parte, Gosling *et al.,* (2009) demuestran que antes del holoceno el género no formaba bosques, pero conforme

avanzó el periodo antes mencionado grandes incendios naturales iniciaron los procesos de fragmentaciòn en la distribución de las especies de este género en los Andes sur de Ecuador (Jantz & Behling, 2012).

Pese a las diferentes posibles causas de fragmentación de estos bosques, la distribución actual es muy localizada (Montalvo *et al.,* 2018). La mayoría son pequeños parches de menos de 1 ha, con unos cuantos bosques de entre 1-10 ha de extensión (Coblentz & Keating, 2008) que están restringidos a laderas rocosas y/o quebradas montañosas de muy difícil acceso (Zutta *et al.*, 2012). *P. weberbaueri* es el ejemplo de lo anteriormente mencionado, ya que únicamente ha sido encontrada en zonas suroccidentales del Macizo del Cajas (sector: Chico Soldados) en forma de parches boscosos; siendo más común los individuos aislados. Por su parte, los bosques más densos de *P. reticulata* y *P. incana* se hallan en varias microcuencas, preferentemente en zonas de pendientes pronunciadas que han sufrido deslizamientos de rocas con irrigación constante. Por tal motivo es difícil establecer mediante métodos de observación directa, la distribución de los bosques de este género como así también los factores ambientales que influyen en dicha distribución (Kessler M. , 2006).

El Macizo del Cajas es el único lugar del mundo donde coexisten cuatro de las diez especies de *Polylepis* registradas en Ecuador: *P. incana, P. lanuginosa, P. reticulata y P. weberbaueri* (Simpson, 1979). Es considerado un área endémica de importancia para la biodiversidad (Barnett, 1997), por ejemplo, al menos cuatro especies de anuros son endémicos de los páramos del Macizo (Sánchez-Nivicela *et al.*, 2018). Los dispersos bosquetes de *Polylepis* que se forman, en combinación con otros árboles, son el hábitat de muchas especies de aves como el colibrí endémico del Cajas (*Metallura baroni*) (Rodríguez *et al.,* 2014; Tinoco *et al.*, 2009) y otras especies de importancia para la conservación como *Xenodacnis parina, Conirostrum binghami, Leptosittaca branickii* (Sevillano-Ríos *et al.,* 2018)*;* e incluso son el área de ocupación de nuevas especies (Sánchez-Nivicela *et al.*, 2018). Se estima que existen alrededor de 500 especies de plantas vasculares, 243 géneros y 70 familias, y al menos 16 de estas especies registradas son únicas del área de las cuales, 12 se encuentran en peligro de extinción y 4 se encuentran amenazadas (Chacón *et al.*, 2006).

Los modelos de distribución de especies son una valiosa herramienta para reconocer sitios convenientes para planificación de la conservación (Larsen *et al.*, 2012). El algoritmo de máxima entropía (MAXENT) utiliza las observaciones de la especie y su correspondiente característica ambiental para generar limitantes de distribución en aquellas localidades donde se desconoce la presencia de la especie; entonces MAXENT produce un robusto acercamiento sobre el hábitat conveniente de la especie prediciendo así una distribución potencial (Philips *et a.l*, 2006). Este tipo de modelos han servido para dirigir búsquedas en sitios poco estudiados o en regiones de difícil acceso (Tinoco *et al*., 2009; Morales, 2012; Merow *et al.*, 2013) y ponderar zonas prioritarias para la conservación de especies raras (Tinoco *et al*., 2009; Astudillo *et al*., 2016)

En éste estudio se modelizó la distribución potencial de las cuatro especies de *Polylepis* presentes en el Macizo del Cajas: *Polylepis incana, P. lanuginosa, P. reticulata y P. weberbaueri* en los Andes sur del Ecuador.

CAPÍTULO I

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Área de estudio

Este estudio se realizó en el Macizo del Cajas (79°10′52′′W, 2°46′54′′S). El territorio presenta una extensa variabilidad de ecosistemas que incluye páramos, humedales de altura, bosques altimontanos y altoandinos húmedos de estribaciones andinas incluyendo a bosque siempre verde montano alto, bosque de neblina montano y bosque siempre verde montano bajo (Vasco-Tapia *et al.*, 2012). El área de estudio limita al norte con la parroquia Suscal-Cañar al sur con las parroquias Baños y Chaucha-Azuay, al este con las parroquias Biblián, Déleg, Nazón, Jerusalén, Octavio Cordero y Turupamba-Cañar, Checa y Chiquintad-Azuay; y al oeste con Molleturo-Azuay. Los rangos de temperatura anual van de 12-20° C y en zonas superiores a los 3000 m snm las medias anuales fluctúan entre los 4-8° C; mientras que el rango de precipitación es de 500-2000 mm (Vasco-Tapia *et al.*, 2012). El área de estudio comprende territorios >3000 m snm correspondiente a una superficie de 1550 km^2 (Figura 1).

El Macizo del Cajas forma parte del sistema de Reservas de la Biosfera e incorpora en su zona núcleo al Parque Nacional Cajas (PNC). Es un amplio espacio montañoso aislado por cañones que forman el río Cañar (al norte) y el río Jubones (al sur); está ubicado en la parte más cercana de los Andes al océano Pacífico y esto hace que las estribaciones occidentales de la cordillera reciban en muy poco tiempo los vientos cargados de humedad que se dirigen hacia el oeste (Ministerio del Ambiente, 2014).

En las partes más altas del entero Macizo del Cajas se encuentra el ecosistema páramo, en donde se registran plantas con diferentes adaptaciones morfológicas y fisiológicas: así destacan plantas con formas de rosetas (*Hypochaeris sessiliflora, Werneria nubigena, Orithrophium peruvianum),* plantas con forma de almohadillas (*Plantago rigida),* pastos

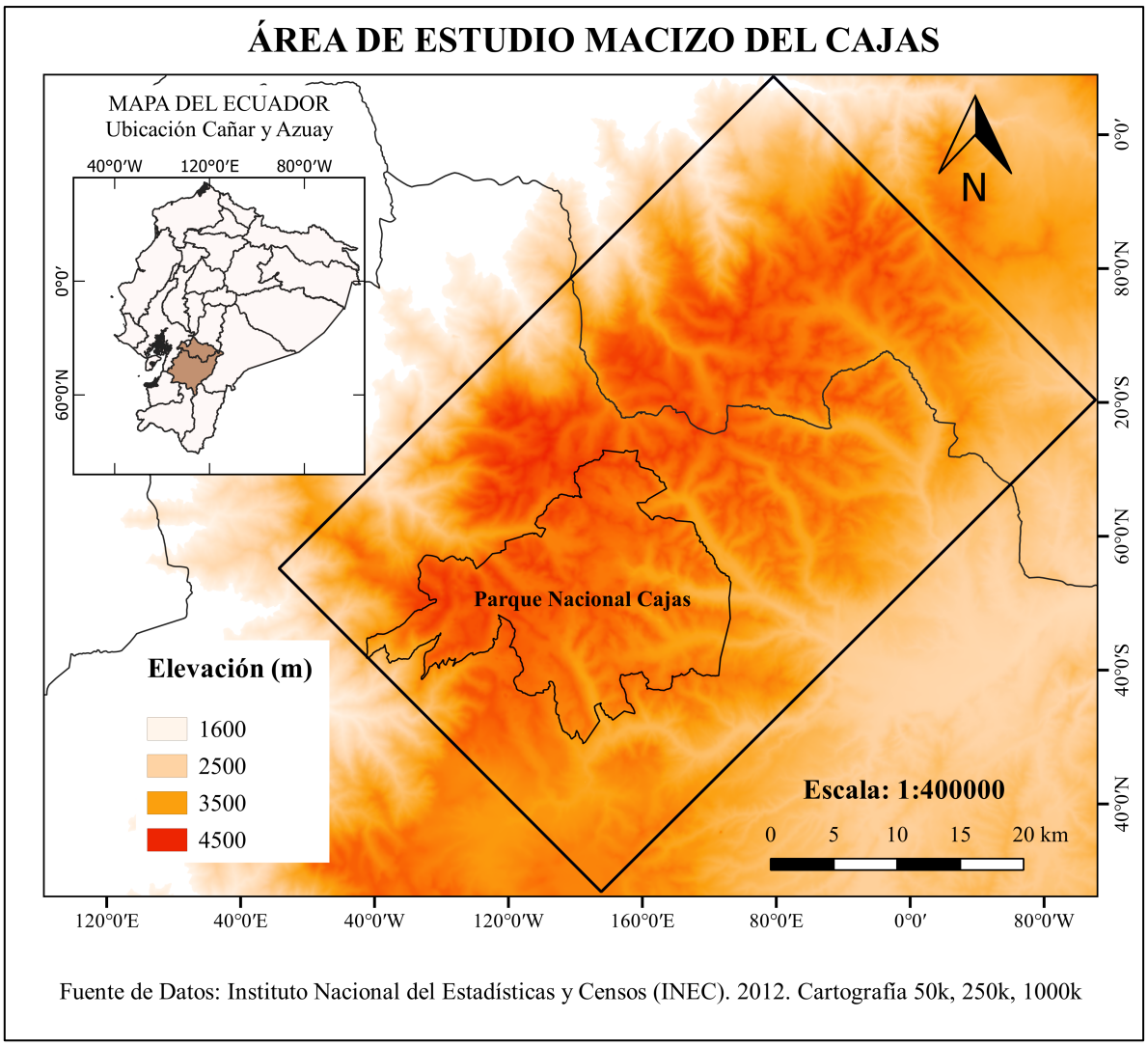

Figura 1. Mapa del área de estudio, Macizo del Cajas, Andes sur de Ecuador.

formando macollas (*Calamagrostis intermedia, Festuca subulifolia),* arbustos micrófilos (*Loricaria illinissae, Chuquiraga jusseui),* arbustos rastreros (*Vaccinium floribundum, Pernettya prostrata, Gaultheria amonea, Baccharis alpina*, entre otros). Parches de bosque compuestos por *Polylepis spp*. y *Gynoxys spp;* en las lagunas se encuentra especies como *Potamogeton paramoanus* y en los alrededores se encuentra a *Isoëtes novo-granatensis.*

En las partes bajas, por su parte, se encuentra el bosque altoandino. Al este se destaca el bosque alto andino de Mazán y Llaviucu entre los 2900-3400m snm y al oeste se encuentra el bosque de Jerez y Yacutuviana a la misma elevación. En los bosques de *Polylepis y*

Gynoxys la vegetación crece sobre relieve accidentado con afloramientos rocosos, acantilados y pendientes mayores al 60% (Minga D. , 2000). Las especies arbóreas más representativas son *Gynoxys spp., Lomatia hirsuta, Miconia spp., Myrsine andina, Oreopanax spp., Prunus opaca, Solanum spp.;* entre los arbustos podemos encontrar a *Baccharis spp., Brachyotum confertum, Chuquiraga jussieui* (endémica), *Saracha quitensis, Valeriana hirtella* entre otros. El bosque altoandino prevalece sobre fuertes pendientes, hacia los bordes de quebradas y riachuelos (Minga *et al.*, 2016); está compuesto por especies arbóreas como *Freziera verrucosa, Saurauia bullata, Abatia parviflora, Symplocos sp., Cletra revoluta, Myrcianthes sp., Ocotea sp., Persea sp., Brunellia goudottii.* El subdosel está caracterizado por especies como: *Palicourea heterochroma, Solanum nutans, Oreopanax sp., Siparuna sp., Sessea crassivenosa* entre otras. En los claros y hacia los bordes son frecuentes las especies: *Monactis holwayae, Ferreyranthus verbascifolius, Tournefortia scabrida y Gynoxys sp.*

Además, existe una franja de transición entre los 3300 y 3500 m snm denominada ceja andina; en donde existe un bosque bajo y denso con un dosel cerrado que alcanza una altura promedio entre 5 y 8 m, la especie dominante es *Polylepis lanuginosa* (Minga *et al.*, 2016)

La vegetación dominante en estos ambientes es una expresión del clima (precipitación, humedad, temperatura, viento), el cual regula muchos de los procesos y funciones que se desarrollan en ellos (Minga *et al.*, 2016).

2. Modelos de distribución

La modelización de la distribución potencial del género y las cuatro especies de este estudio estuvo basada en el algoritmo de máxima entropía MaxEnt versión 3.3 (Philips *et al*., 2006). MaxEnt que genera un *raster* de idoneidad de hábitat; la configuración del análisis fue ajustada a las recomendaciones presentadas por Phillips *et al*.,2006; Phillips & Dudik, 2008 y Merow *et al*., 2013 con algunas variaciones. De este modo, se utilizó un modelo logístico de salida el cual ofrece un rango de estimación entre 0-1, en donde valores cercanos a uno representan hábitats más idóneos y en consecuencia una mayor probabilidad de presencia de la especie (Phillips et al. 2006). Debido a que las especies de este estudio tienen alta

especificidad de hábitat, se ajustó el parámetro multiplicador de regularización a un valor de 0.3 (Merow *et al.*, 2013). Valores menores a la unidad (valor por defecto) ajustan el error a límites más estrechos generando un ajuste en la distribución cercana a los datos de presencia de la especie (Elith *et al.*, 2011). Además, se ajustó a 15000 el parámetro "*background points"* o valores de fondo y se ejecutaron 10 réplicas para verificación mediante método de validación cruzada.

Cada modelo fue evaluado mediante el área bajo la curva ROC (Característica Operativa del Receptor por sus siglas en inglés). Esta técnica permite evaluar la porción de valores predichos por el modelo de distribución *versus* aquellos valores reales de observación; compara la curva de verdaderos positivos (predicción y con observaciones reales) frente a la curva de falsos positivos (sin predicción y con observaciones reales). Los valores bajo la curva varían entre 0-1, aquellos que se acercan a 0 evidencian un modelo pobremente estimado donde se ponderan los falsos positivos, valores cercanos a 0.5 demuestran que el modelo predice de manera aleatoria y, valores cercanos a 1 denotan que el modelo tiene un desempeño mejor donde se ponderan los verdaderos positivos (Philips *et al.*, 2006).

MaxEnt modela la distribución potencial de las especies a partir de la ubicación geográfica de presencias conocidas y las variables expresadas en capas de información ambiental (de tipo categóricas o continuas) asociadas a estos puntos (Elith *et al.*, 2011; Philips *et al.,*2006).

La ocurrencia de las cuatro especies de *Polylepis* fue obtenida mediante datos georreferenciados disponibles en bases de datos en línea (i.e., GBIF (2016); HA-Herbario Azuay (2016); Trópicos (2016)). En adición, se usaron registros actuales de inventarios botánicos para ecotonos del Macizo del Cajas (Minga *et al.*, 2016) y del Plan de Manejo de la Cuenca del Machángara (Verdugo *et al.*, 2013). Todos estos registros fueron depurados y validados en el campo mediante visitas de observación realizadas desde Julio del 2016 hasta octubre del 2017.

Las variables ambientales empleadas fueron clasificadas en: i) climáticas; ii) meteorológicas y iii) topográficas. Las variables climáticas usadas provienen del portal WorldClim (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005); con una resolución de 30 segundos; las variables meteorológicas como radiación solar y su duración, fueron derivadas de modelos de simulación integrando la influencia de la pendiente, aspecto y

sombra del relieve generados por medio de un MDT. Además, en base al mismo MDT se obtuvieron las variables topográficas. Finalmente, se mejoró y estandarizó la resolución espacial de todas las variables mediante interpolación local (TIN) a una escala de 30x30 m.

Para la selección de las variables se usó el método propuesto por Pearson para evitar correlaciones, se analizó la importancia de la permutación, contribución relativa y se realizó un análisis Jackknife para medir su importancia (Tabla 1).

Para la elaboración de los mapas de presencia/ausencia se consideraron dos umbrales: sensibilidad y especificidad equivalentes (*equal training sensitivity and specificity*) y 10 percentil (*10 percentil training presence),* recomendados (Liu y otros, 2005) y más usados en la literatura (Plasencia-Vázquez y otros, 2014).

Todos los análisis espaciales se desarrollaron usando el software QGis versión 3.4.4.

Tabla 1. Variables seleccionadas para la modelización de cada especie, incluye porcentaje de importancia.

Especie	Nombre de la variable	% importancia
P. incana	Rango anual de temperatura	39.1
	Radiación directa	22.8
	Pendiente	21.6
	Estacionalidad de la precipitación	16.5
P. lanuginosa	Precipitación del cuarto más seco	56.6
	Pendiente	20.1
	Isotermalidad	16.2
	Radiación directa	7.1
P. reticulata	Precipitación anual	45.2
	Precipitación del mes más seco	15.4
	Estacionalidad de la temperatura	14.2
	Radiación directa	10.5
	Pendiente	8.7
	Precipitación cuarto más húmedo	5.9
P. weberbaueri	Temperatura mínima mes más frio	56.5
	Precipitación anual	25.8
	Orientación	13.8
	Radiación directa	3.8
Polylepis spp	Radiación directa	35.8
	Precipitación mes más seco	19.6
	Precipitación cuarto más húmedo	18.2
	Pendiente	13.9
	Rango medio diurno de temperatura	12.5

CAPÍTULO II

RESULTADOS

En total se obtuvo 244 registros de presencia del género *Polylepis*, distribuidos de la siguiente manera: 55 para *P. incana*, 86 para *P. lanuginosa*, 50 para *P. reticulata* y 53 para *P. weberbaueri* (ANEXO 1**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El 73% de los datos corresponden a registros realizados en campo, el 27% son datos de colecciones botánicas o registros de herbarios.

Las variables ambientales de mayor importancia son: radiación directa, precipitación anual y pendiente. Sin embargo, el porcentaje de contribución de cada una de las variables ambientales es diferente para los modelos de cada especieVariables seleccionadas para la modelización de cada especie, incluye porcentaje de importancia. (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentaje de contribución e importancia relativa de las variables empleadas en la modelización por especie y género

Especie	Variable	% contribución	Importancia relativa
P. incana	Pendiente	35.2	28
	Radiación directa	26.8	27.3
	Rango anual de Temperatura	20.1	28.2
	Estacionalidad de la precipitación	18	16.4
P. lanuginosa	Precipitación cuarto más seco	38.1	50.2
	Isotermalidad	25.4	17.4
	Radiación directa	24	20.7
	Pendiente	12.4	11.7
P. reticulata	Precipitación anual	35.5	39
	Estacionalidad de temperatura	27.3	10.3
	Pendiente	12.4	11
	Precipitación mes más seco	10.8	16.9
	Radiación directa	10.7	11.3
	Precipitación cuarto más húmedo	3.3	11.5
P. weberbaueri	Radiación directa	36.9	50.8
	Precipitación anual	25.5	7.6
	Temperatura mínima mes más frío	19.4	33.3
	Orientación	18.2	8.2
Polylepis spp.	Precipitación cuarto más húmedo	32.8	30.1
	Rango medio diurno de temperatura	23.5	18.1
	Radiación directa	19.5	25
	Precipitación mes más seco	15.1	17.6
	Pendiente	9.2	9.2

1. Distribución potencial de *Polylepis*

El modelo presentó un buen desempeño (AUC= 0.836), en consecuencia, valores superiores al umbral de sensibilidad y especificidad equivalentes (0.327), del *raster* de idoneidad de hábitat, fue seleccionado para depurar el mapa de distribución (Figura 2). El predictor ambiental que más aporta al modelo es la precipitación del cuarto más húmedo (32.8%), seguido del rango medio diurno de temperatura (23.5%) y la radiación directa (19.5%; Tabla 2).

La distribución potencial cubre un área de 207.22 km^2 y se extiende al norte en la parroquia Gualleturo en las estribaciones de las microcuencas de los ríos Corazón, Raura y drenajes menores (17S 710446, 9717131; 3000 msnm), al suroccidente hasta las estribaciones del río El Chorro (17S 677200, 9690465; 3600 msnm) y al suroriente hasta la microcuenca del río Mazán (17S 702199, 9681561; 3600 msnm; Figura 2).

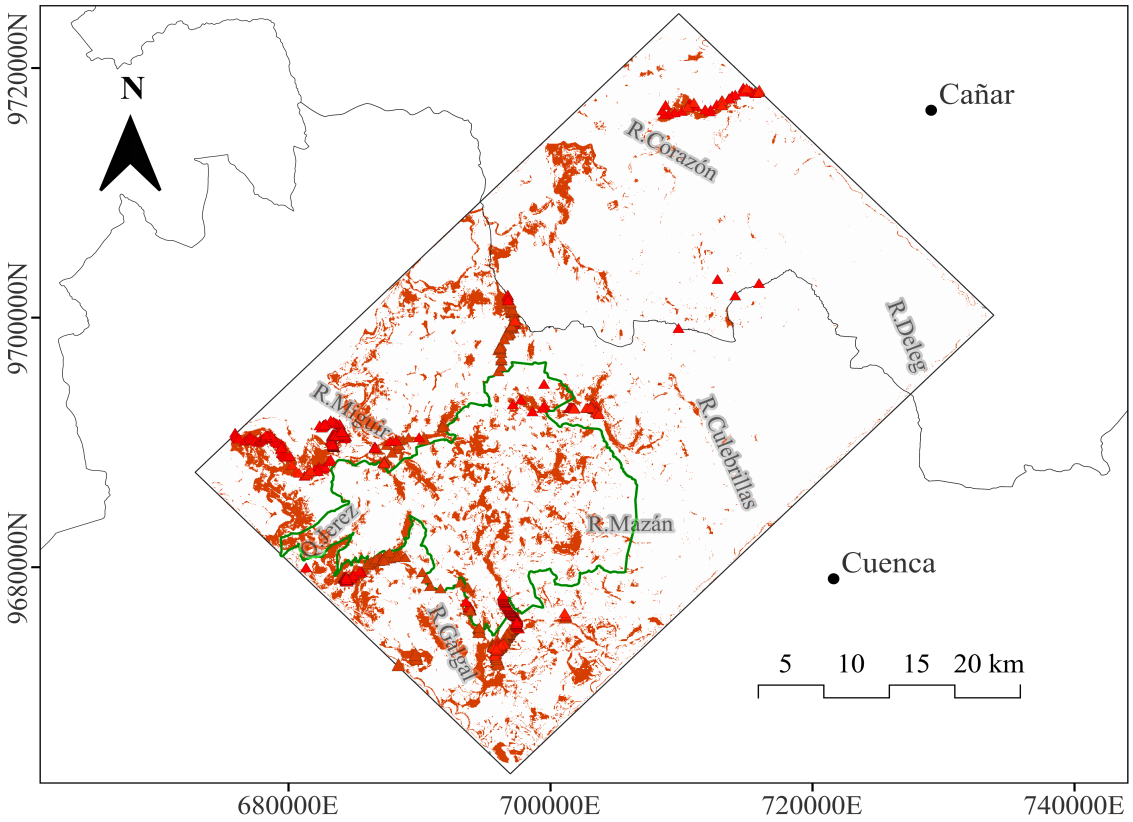

Figura 2. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del umbral de sensibilidad y especificidad equivalentes (0.327). Cada triángulo representa un registro de presencia.

2. Distribución potencial de *P. incana*

El modelo presentó un buen desempeño (AUC= 0.896), en consecuencia, valores superiores al décimo percentil (0.302), del *raster* de idoneidad de hábitat, fueron seleccionados para depurar el mapa de distribución (Figura 3). El predictor ambiental que más aporta al modelo es la pendiente (35.2%), seguido de la radiación directa (26.8%) y el rango anual de temperatura (20.1%; Tabla 2).

La distribución potencial de esta especie cubre un área de 266.95 km^2 y se extiende al norte en la microcuenca del río Raura en las zonas altas de la parroquia Gualleturo (17S 714816, 9716952; 3600 msnm), siguiendo toda la zona montañosa al suroccidente en las microcuencas de los ríos Chacayacu, El Chorro, Migüir y Canoas (17S 676868, 9688336; 3000 msnm) al sur hasta las estribaciones de los ríos Galgal y Bermejos (17S 696586, 9664457; 3800 msnm) y al suroriente en las microcuencas de los ríos Patamarca y Quintul (17S 721841, 9688321; 3000 msnm; Figura 3).

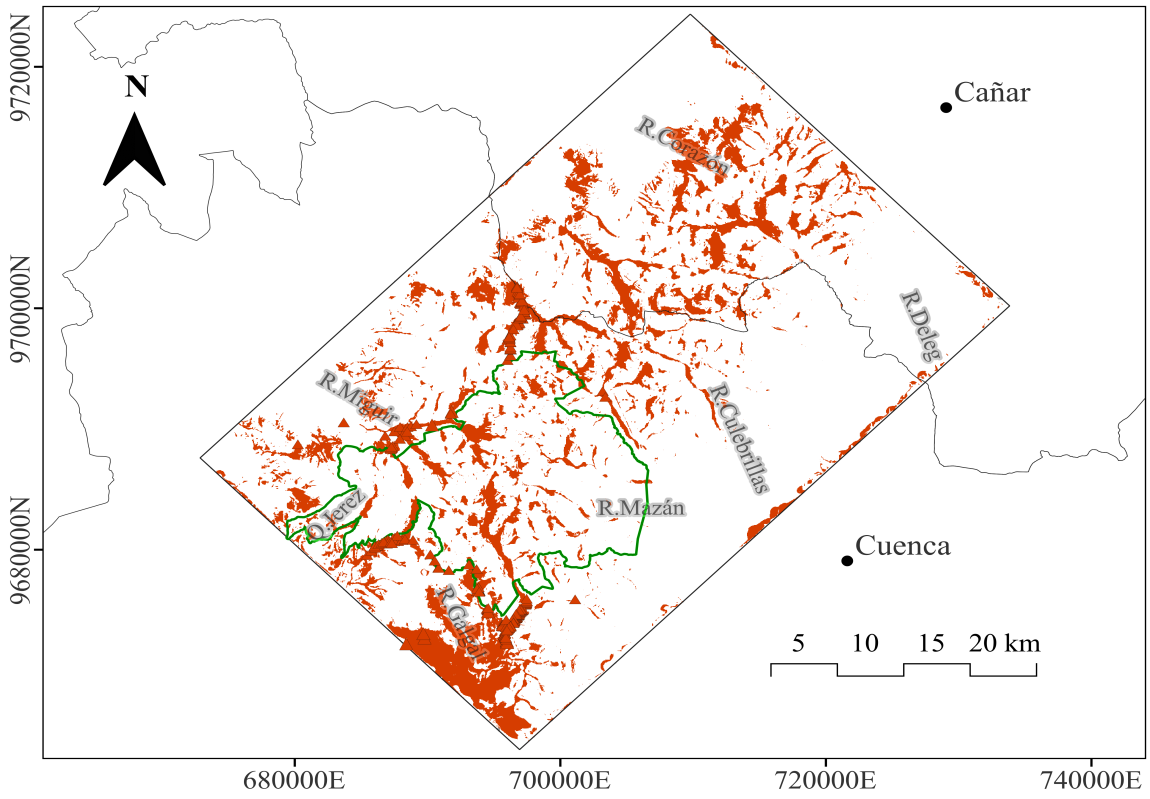

Figura 3. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis incana* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del décimo percentil (0.302). Cada triángulo representa un registro de presencia de la especie.

3. Distribución potencial de *P. lanuginosa*

El modelo presentó un buen desempeño (AUC= 0.879), en consecuencia, valores superiores al umbral de sensibilidad y especificidad equivalentes (0.284), del *raster* de idoneidad de hábitat, fueron seleccionado para depurar el mapa de distribución (Figura 4). El predictor ambiental que más aporta al modelo es la precipitación del cuarto más seco (38.1%), seguido de la isotermalidad (25.4%) y la radiación directa (24%;Tabla 2).

La distribución potencial cubre un área de 254.91 km^2 y se extiende al norte en las estribaciones de los ríos Corazón y Chacayacu (17S 710229, 9719747; 2800 msnm), al suroccidente en las estribaciones de las microcuencas del río Narcay en la parroquia Molleturo (17S 675953, 9690325; 2800 msnm) y al suroriente en las microcuencas de los ríos Matadero Bajo y Pinchisana (17S 713150, 9682336; 2800 msnm; Figura 4).

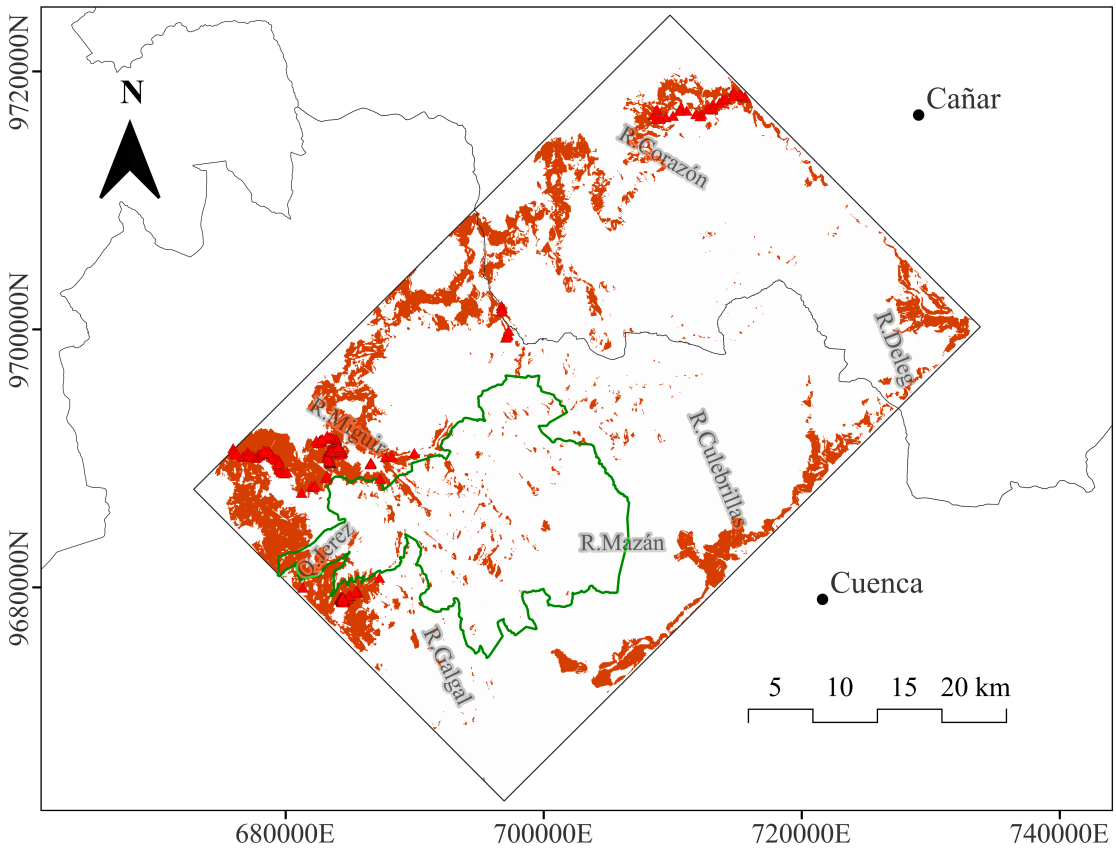

Figura 4. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis lanuginosa* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del umbral de sensibilidad y especificidad equivalentes (0.284). Cada triángulo representa un registro de presencia de la especie.

4. Distribución potencial de *P. reticulata*

El modelo presentó un buen desempeño (AUC= 0.766), en consecuencia, valores superiores al umbral de sensibilidad y especificidad equivalentes (0.496), del *raster* de idoneidad de hábitat, fueron seleccionado para depurar el mapa de distribución (Figura 5). El predictor ambiental que más aporta al modelo es precipitación anual (35.5%) seguido de la estacionalidad de la temperatura (27.3%;Tabla 2).

La distribución potencial cubre un área de 344.84 km^2 y se extiende predominantemente al norte desde las microcuencas de los ríos Tisay, Machángara y Chulco (17S 704361, 9701784; 4000 msnm), al suroccidente hasta las estribaciones de la microcuenca del río Migüir (17S 691802, 9691604; 4000 msnm) y al suroriente hasta las estribaciones de las microcuencas de los ríos Mazán y Yunguilla (17S 708908, 9678672; 3600 msnm; Figura 5).

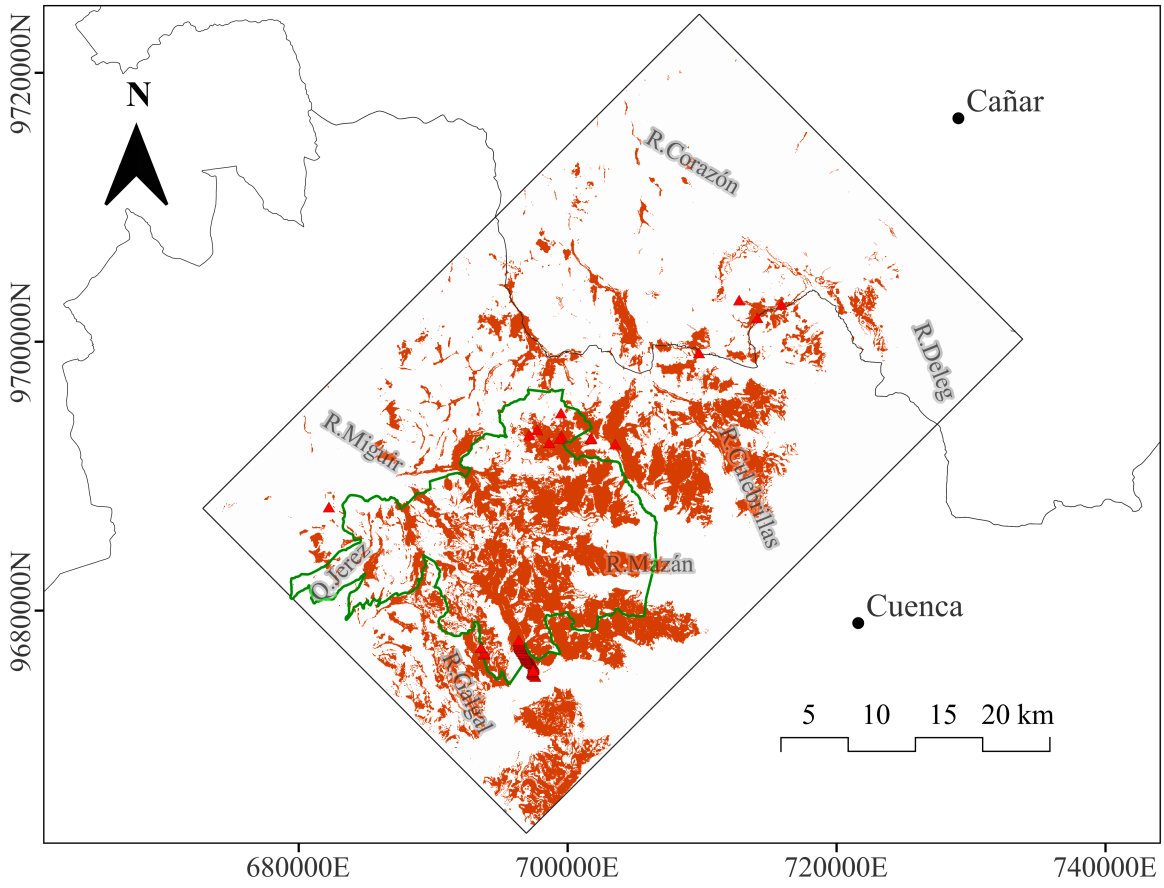

Figura 5. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis reticulata* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del umbral de sensibilidad y especificidad equivalentes (0.496). Cada triángulo representa un registro de presencia de la especie.

5. Distribución potencial de *P. weberbaueri*

El modelo presentó un buen desempeño (AUC= 0.936), en consecuencia, valores superiores al décimo percentil (0.435), del *raster* de idoneidad de hábitat, fueron seleccionado para depurar el mapa de distribución (Figura 6). El predictor ambiental que más aporta al modelo es radiación directa (36.9%), seguido de la precipitación anual (25.5%) y la temperatura mínima del mes más frio (19.4%;Tabla 2).

La distribución potencial cubre un área de 86.78 km^2 y se extiende al norte desde las estribaciones de la microcuenca del río Patul en la parroquia Molleturo (17S 692757, 9700716; 3600 msnm), al suroccidente hasta las estribaciones de las microcuencas de los ríos Siricay, Chacayacu y Canoas (17S 676992, 9689487; 3600 msnm) y al suroriente hasta las estribaciones de las microcuencas de los ríos Mazán, Yunguilla y drenajes menores (17S 701946, 9676675; 3600 msnm; Figura 6).

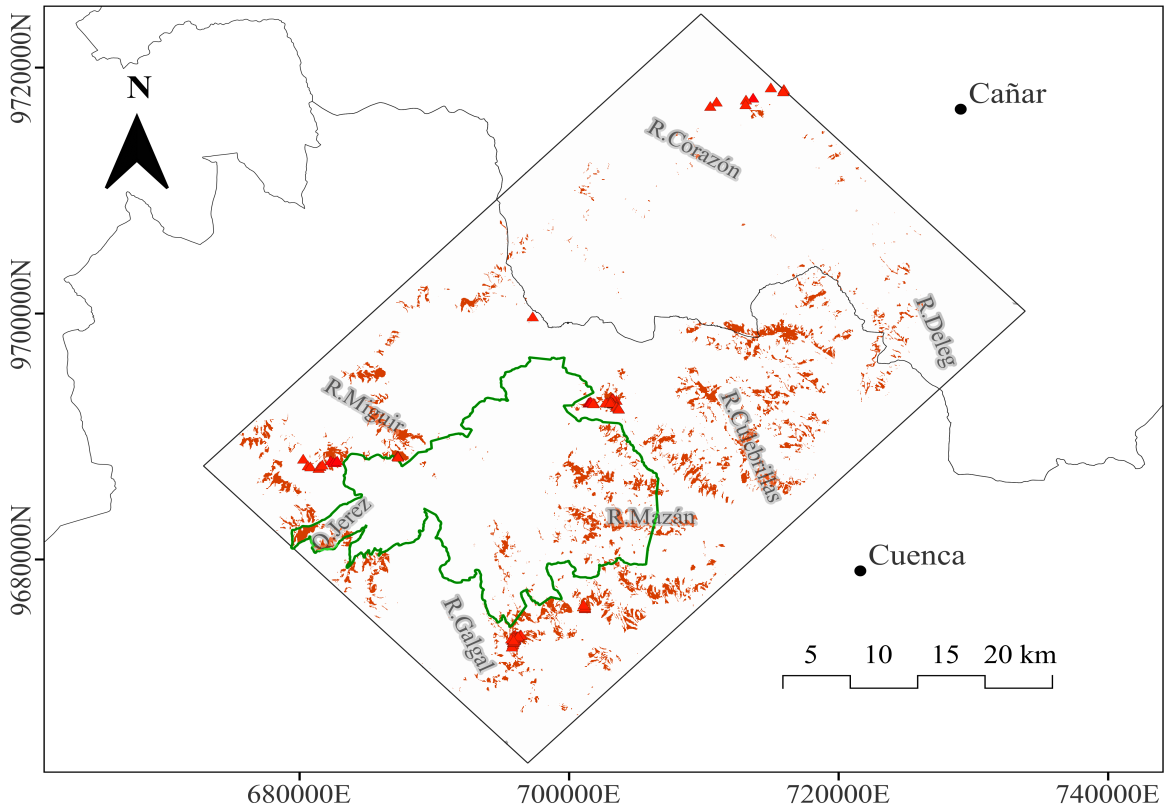

Figura 6. Resultado del modelo de distribución potencial de *Polylepis weberbaueri* en los Andes sur del Ecuador. Los valores de predicción fueron escogidos a partir del décimo percentil (0.435). Cada triángulo representa un registro de presencia de la especie.

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN

Los modelos predictivos identificaron amplias áreas de distribución en las que las condiciones ambientales son propicias para encontrar las especies de este estudio, pero los datos de observación son inferiores a las predicciones; de acuerdo a Vistín *et al.,* (2023) estas discrepancias son el resultado de la presión antropogénica histórica y moderna que resulta en fragmentación y deterioro de los bosques y consecuentemente en un cambio en los resultados obtenidos por modelización vs el uso actual del suelo. Otro aspecto que dificulta el proceso comparativo y validación son las distintas condiciones físicas, climáticas y de aislamiento marcado que condicionan la toma de datos (Romoleroux, *et al,* 2023).

Los registros previos evidencian la importancia de las zonas oriental y occidental de mayor altitud, con depósitos coluviales y deslizamiento de laderas como sitios donde se pueden encontrar a *P. incana*, *P. reticulata y P. webwerbaueri;* mientras que *P. lanuginosa* es la única especie que requiere de menor altitud (Romoleroux, *et al,* 2016). Destaca el PNC como zona central importantísima de las tres especies de este género. Esta zona coincide con las localidades identificadas por los modelos para *P. incana* y *P. reticulata.* Para *P. weberbaueri* los modelos identifican áreas específicas en las vertientes externas del PNC, información que coincide con observaciones de Kessler (2006) donde detalla que los hábitats idóneos para esta especie son ambientes húmedos con menor exposición a lluvias de las vertientes andinas; y se refuerza con el trabajo de Montalvo, *et al,* (2018) que indica que *P. weberbaueri* es muy local y se la encuentra en sectores específicos del norte y sur del Macizo. Por su parte, la especie endémica de este estudio muestra a las zonas occidentales como el hábitat idóneo para la presencia de las mismas con pocas áreas ubicadas dentro del PNC.

Se identificaron áreas de distribución no documentadas para *P. incana* en las microcuencas de los ríos Tisay y Patul; así como para *P. lanuginosa* al sureste de la provincia del Cañar, en las microcuencas de los ríos Déleg y tributarios cercanos. La distribución potencial de *P. reticulata* se centra principalmente dentro del PNC y *P. weberbaueri* incluye zonas poco exploradas fuera del PNC. Los resultados obtenidos identificaron zonas adicionales a las áreas protegidas de acuerdo al mapa de zonificación elaborado por el MAATE (actualización

2023) y de importancia para la investigación y conservación; en el caso de las especies *incana* y *reticulata* se evidencia la necesidad de ampliar la zona del sur del PNC con el Área Nacional del Recreación Quimsacocha; se reitera esta recomendación con los estudios realizados por Vistin, *et al,* 2023 para *P. incana* que propone crear nuevos bosques protectores y áreas privadas de conservación al sur y el este de la parroquia San Joaquín y el norte de la parroquia Sayausí sobre la cota de 3900 a 4300m snm. Por su parte la especie *lanuginosa* propone a las zonas occidentales del PNC y del Refugio de Vida Silvestre Machángara-Tomebamba y las estibaciones orientales de los mismos como lugares de importancia para su estudio. Finalmente, la especie *weberbaueri* requiere que se incorporen las zonas de las estribaciones orientales y occidentales del PNC a lo largo del Área Protegida Autónoma Descentralizada de Mazán al este y las zonas de Río Blanco y Molleturo al oeste.

Es importante mencionar que la distribución potencial de las cuatro especies de este estudio no se superponen drásticamente, pero sí comparten ciertas áreas dentro del PNC como las especies *incana* y *reticulata*, y en menor presencia *weberbaueri.* Por su parte la especie *lanuginosa* ocupa un área potencial independiente de las demás. Esto nos permite interpretar que las condiciones ambientales que influyen en la distribución de las tres especies son compartidas; las variables son la radiación y las precipitaciones; mientras que *P. lanuginosa* está completamente separada por la isotermalidad y las precipitaciones en los cuartos más secos.

La predicción de la distribución potencial de las especies del género *Polylepis* es una herramienta clave que permite encaminar esfuerzos para su conservación (Vistin, *et al*, 2020) y la de las poblaciones que dependen de estos ecosistemas (Fjeldsa & Krabbe, 1990; Astudillo, *et al.,* 2018). Varios estudios identifican aves endémicas y especialistas de los bosques de *Polylepis* en los Andes (Fjeldsa, 2022; Sevillano-Ríos,*et al.,* 2018) y al sur del Ecuador se han encontrado alrededor de 30 especies de aves que dependen de estos bosques principalmente (Tinoco, *et al.,*2013). Es por esto que es importante recomendar exploraciones posteriores enfocados en las “nuevas” zonas idóneas.

Si consideramos el ritmo actual de transformación de nuestros ecosistemas naturales y los cambios potenciales que puedan producirse a mediano y largo plazo a partir de los cambios climáticos globales, la obtención de modelos robustos de distribución para las especies parece

un requisito fundamental (Torres y Jayat, 2010). Aunque esta contribución seguramente puede mejorarse mediante datos adicionales de distribución de las especies en zonas no prospectadas y con la adición de otras variables fisico-ambientales, esperamos que este trabajo constituya un punto de partida para futuros estudios que permitan conocer a detalle el ambiente y los requerimientos específicos de estas especies.

Este estudio es base para futuros trabajos que identifiquen específicamente las condiciones y variables ambientales que predigan con más precisión la distribución de cada una de las especies de *Polylepis* y poder encaminarlos a proyectos de conservación.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, F. (2005). *Sistemas de Información Geográfica.* Retrieved 20 de Abril de 2017, from SIG y Teledetección en la Universidad de Murcia: http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_6.pdf

Astudillo, P. S., Barros-Quito, S., Orellana, J. A., y Latta, S. C. (2016). La distribución potencial del cóndor andino (*Vultur gryphus*) revela sitios prioritarios para la conservacion en los Andes Sur del Ecuador. *Hornero*, 31(2): 89-95.

Astudillo, P., Barros, S., y Siddons, D. Z. (2018). Influence of habitat modification by livestock on paramo bird abundance in southern Andes of Ecuador. *Studies on Neotropical Fauna and Environment, 53*(1), 29-37.

Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200: 1-19.

Azuay, H. (25 de Junio de 2016). Búsqueda de especímenes. Cuenca, Azuay, Ecuador. http://web.uazuay.edu.ec/HerbarioAzuay/index.php/buscador-de-muestras

Bakker, W., Feringa, W., Gieske, A., Gorte, B., Grabmaier, K., Hecker, C., . . . Woldai, T. (2009). *Principles of Remote Sensing: An introductory textbook.* (K. Templi, N. Kerle, G. Huurneman, y L. Janssen, Edits.) Enschede.

Barnett, A. (1997). The ecology and natural history of a fishing mouse Chibchanomys spec. nov. (Ichthyomyini: Muridae) from the Andes of Southern Ecuador. *Zeitschrift fur Sauget-ierkunde*, 62(1):43-52.

Barrantes, G., Chaves, H., Vinueza, y M. (s.f.). *El Bosque en el Ecuador: Una visión transformada para el desarrollo y la conservación.* Quito: Corporación de Manejo Forestal Sustentable.

Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yánez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., . . . Velástegui, A. (2009). *Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización*

florística de los páramos en el Ecuador. Quito: EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino, Herbario QCA.

Biosfera Macizo del Cajas. (2014). Retrieved 14 de Enero de 2016, from http://www.biosferacajas.org/

Braun, G. (1997). The use of digital methods in assessing fores patterns in an Andean environment: the Polylepis example. *Mountain Research and Development*, 17: 52-63.

Ceccon, E. (2016). *Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales en América Latina y El Caribe.* Buenos Aires: Vázquez Mazzini Editores.

Chacón, G., Gagnon, D., y Pared, D. (2006). Comparison of soil properties of nativeforest, Pinus patula plantations, and their adjacent pastures, in the Andean Highlands of southern Ecuador: land use story or recent vegetation effects? 427-433.

Cierjacks, A., Rühr, N., Wesche, K., y Hensen, I. (2008). Effects of altitude livestock on the regeneratin of two tree line forming Polylepis species in Ecuador. *Plant. Ecol.*, 194: 207-221.

Cierjacks, A., Wesche, K., y Hensen, I. (2007). Potencial lateral expansion of Polylepis forest fragments in central Ecuador. *Forest Ecology and Management*, 242: 477-486.

Coblentz, D., y Keating, P. L. (2008). Topographic controls on the distribution of tree islands in the high Andes of south-western Ecuador. *Biogeography*, 35: 2026-2038.

Cuyckens, G., Christie, D., Domic, A., Malizia, L., y Reninson, D. (2016). Climate change and the distribution and conservation of the world´s highest elevation woodlands in the South American Altiplano. *Global and Planetary Change*, 137: 79-87.

Dudík, M. (2007). Maximum entropy density estimation and modeling geographic distributions of species. *A dissertation presented to the Faculty of Princeton University in candidacy for the degree of Doctor of Philosophy*, (p. 186). New Jersey.

Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., . . . al, e. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29:129-151.

Elith, J., Phillips, J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y., y Yates, C. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17, 43-57.

Ellenberg, H. (1979). Man´s influence on tropical mountain ecosystems in South America . *Journal of Ecology*, 67: 401-416.

ETAPAEP. (s.f.). Retrieved 10 de Enero de 2016, from Parque Nacional Cajas: http://www.etapa.net.ec/Parque-Nacional-Cajas/Visitar/Descripcion-General

Fajardo-Gutiérrez, F., Infante-Betancour, J., y Cabrera-Amaya, D. M. (2018). Modelización de la distribución potencial del género Polylepis en Colombia y consideraciones para su conservación. *Ecología Austral*, 28: 202-215.

FIC, F. p. (21 de febrero de 2017). Descripciónde la Metodología de Downscaling Estadístico FICLIMA.

Fjeldsa, J. (2022). Polylepis forests- vestiges of a vanishing Andean ecosystem. *Ecotropica, 8*, 111-123.

Fjeldså, J., y Kessler, M. (2004). Conservación de la biodiversidad del los bosques de Polylepis de las tierras Altas de Bolivia. Una contribución al manejo sustentable en los Andes. *DIVA*, 214.

Fjeldsa, J., y Krabbe, N. (1990). *Birds of the High Andes: a manual to the birds of the temperate zone of the Andes and Patagonia, South America.* University of Copenhagen.

Franklin, J. (2009). Mapping species distributions. Spatial inference and prediction. species distributions from occurrence data. *Ecography*, 29:129–151.

Gareca, E., Breyne, P., Vandepitte, K., Cahill, J., Fernandez, M., y Honnay, O. (2013). Genetic diversity of Andean Polylepis (Rosaceae) woodlands and inferences

regarding their fragmentation history. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 172: 544-554.

GBIF.org. (08 de June de 2016). GBIF Ocurrance Download. https://doi.org/10.15468/dl.ohckiw

Gosling, W., Hanselman, J., Knox, C., Valencia, B., y Bush, M. (2009). Long-term drivers of change in Polylepis woodland distribution in the central Andes. *Journal of Vegetation Science*, 20: 1041-1052.

Graham, C., Elith, R., Hijmans, J., Guisan, A., Peterson, T., y Loisselle, B. (2008). The influence of spatial errors in species ocurrence data used un distribution model. *Journal of Applied Ecology*, 293-247.

Graham, C., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C., y Peterson, T. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecologý & Evolution*, 497-503.

Graham, C., Loiselle, B., Velásquez-Tibatá, J., y Camacho, C. (2012). Modelos de Distribución de Especies y el desafío de Pronosticar Distribuciones Futuras. En S. Herzog, R. Martínez, P. Jørguensen, y H. Tiessen, *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales* (p. 426). París: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global/ Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente.

Hansen, B., Rodbell, D., Seltzer, G., León, B., Young, K., y Abbott, M. (2003). Late-glacial and Holocene vegetational history from two sites in the western Cordillera of southwestern Ecuador. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194: 79-108.

Hijarsen, T. (1997). The effects of plantations in the Andes. *Tropical forests Update.*, 7-15.

Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P., y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* , 25: 1965-1978.

Jantz, N., y Behling, H. (2012). A Holocene environmental record reflecting vegetation, climate, and fire variability at the Páramo of Quimsacocha, southwestern Ecuadorian Andes. *Veget. Hist. Archaeotob.*, 21: 169-185.

Kessler, M. (2002). The "Polylepis Problem": Where do we stand? *ECOTROPICA*, 8:97-110.

Kessler, M. (2006). Bosques de Polylepis. (M. Moraes, B. Ollgaard, L. Kvist, F. Borchsenius, y H. Balslev, Edits.) *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 110-120.

Kessler, M., Toivonen, J., Sylvester, S., J, K., y Hertel, D. (2014). Elevational patterns of Polylepis tree height (Rosaceae) in the high Andes of Peru: role of human impact and climatic conditions. *Frontiers in Plant Science*, 5(194): 1-12.

Larsen, T., G, B., Navarrete, H., Franco, P., Gómez, H., Mena, J., . . . Canhos, V. (2012). Desplazamiento de los Rangos de Distribución y Extinciones Impulsados por el Cambio Climático en los Andes Tropicales: Síntesis y Orientacionnes. En S. Herzog, R. Martinez, Jørgensen, y H. Tiessen, *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales* (p. 426). Paris: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global; Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente.

Liu, C., Berry, P., Dawson, T., y Pearson, R. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28: 385-393.

Lloyd, H. (2008). Foragin ecology of High Andean insectivorous birds in remnant Polylepis forest patches. *BioMedSearch*, 120:1-15.

Magin, R., Pollito, P., y Silva, H. (1999). Información Preliminar de la Ecología, Dendrología y Distribución Geográfica de las especies del Género Polylepis en el Perú. 1-17.

Martínez, N. (2010). *Apuntes sobre modelación de nichos ecológicos.* México: Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental, del Instituto de Ecología de la UNAM.

Mendoza, W. (2005). Especie nueva de Polylepis (Rosaceae) de la cordillera Vilcabamba (Cusco, Perú). *Rev. peru. biol.*, 12(1): 103-106.

Mendoza, W. (2010). Taxonomía y distribución de las especies peruanas de Polylepis Ruiz & Pav. (Rosaceae, Magnoliopsida). Tesis de Magister. *UNMSM*, 125.

Mendoza, W., y Cano, A. (2011). Diversidad del género Polylepis (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Rev. peru. biol.*, 18(2): 197-200.

Merow, C., Smith, M., y Silander, J. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species´ distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36:1058-1069.

Minga, D. (2000). *Árboles y arbustos del bosque de Mazán Tomo ii.* Cuenca: ETAPA.

Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., y Ulloa Ulloa, C. (2016). *Flora del páramo del Cajas.* Cuenca: Universidad del Azuay.Imprenta Don Bosco.

Minga, D., Montalvo, J., y Zárate, E. (2016). *Informe técnico Proyecto Ecotonos.* Cuenca.

Ministerio de Turismo, M. (4 de Junio de 2013). *Ministerio de Turismo*. Retrieved 10 de Enero de 2016, from Ministerio de Turismo: http://www.turismo.gob.ec/macizo-del-cajas-quinta-reserva-de-la-biosfera/

Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía Informativa de las Áreas Naturales Protegidas del Ecuador.* Quito: Ministerio del Ambiente.

Montalvo, J., Minga, D., Verdugo, A., López, J., Guazhambo, D., Pacheco, D., Zárate, E. (2018). Características morfológico-funcionales, diversidad arbórea,tasa de crecimiento y de secuestro de carbono en especies y ecosistemas de Polylepis del sur de Ecuador. *Ecología Austral*, 28: 249-261.

Morales, N. (2012). Modelos de distribución de especies: Software Maxent y sus aplicaciones en Conservación. *Conservación Ambiental/ Notas y Comentarios*, 1-5.

Navarro, G., Molina, J., y De la Barra, N. (2005). Classification of the hihg- Andean Polylepis forests in Bolivia. *Plant Ecology.*, 113-130.

Philips, J., Anderson, R., y Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 231-259.

Phillips, S., y Dudik, M. (2008). Modeling of Species Distributions with MaxEnt: New Extensions and a Comprehensive Evaluation. *Ecography*, 31, 161-175. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x

Plasencia-Vázquez, A. H., Escalona-Segura, G., y Esparza-Olguín, L. G. (2014). DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA POTENCIAL DE DOS ESPECIES DE PSITÁCIDOS NEOTROPICALES UTILIZANDO VARIABLES CLIMÁTICAS Y TOPOGRÁFICAS. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 30(3):471-490.

Ramos, D. (10 de Junio de 2015). *MappingGIS.* Retrieved 18 de Abril de 2017, from NDVI: Qué es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS: https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/

Reninson, D., Cuyckens, G., Pacheco, S., Guzmán, G., Grau, R., Marcora, P., . . . I, H. (2013). Distribución y estado de conservación de las poblaciones de árboles y arbustos del género Polylepis (Rosaceae) en las montañas de Argentina. *Ecología Austral*, 23:27-36.

Ridbäck, U. (2008). *A floristic study of Polylepis forest fragments in the Central Andes of Ecuador.* Quito: Universidad de Gotland.

Rodríguez, S., Rodas, F., Schubert, A., y Vasco, S. (2014). *Área de Biosfera Macizo del Cajas, Experiencias de Desarrollo Sostenible para el buen Vivir.* Cuenca: ETAPA EP, Municipio de Cuenca, Ministerio del Ambiente, SENPLADES, Ministerio de Relaciones Ecteriores, Cooperación Alemana GIZ, Naturaleza y Cultura Internacional.

Romoleroux, K. (1996). Rosaceae. En K. Romoleroux, *Flora of Ecuador* (pp. 50-95). Council for Nordic Publications in Botany.

Romoleroux, K., Muriel, P., Sklenár, P., Ulloa, C., Espinel, D., y Romoleroux, C. (2023). La flora de los páramos ecuatorianos: orígenes diversidad y endemismo. En R. Hofstede, P. Mena-Vásconez, y E. Suárez Robalino, *Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro* (pp. 104-125). Quito: Universidad San Francisco de Quito USFQ.

Retrieved 20 de octubre de 2026, from file:///C:/Users/Usuario/Downloads/paramos30-06-2023.pdf

Romoleroux, K., Tandalla, D., Erler, R., y Navarrete, H. (2016). Plantas vasculares de los bosques de Polylepis en los pàramos de Oyacachi. Ecuador. Retrieved 27 de Octubre de 2026, from file:///C:/Users/Usuario/Downloads/paramos30-06-2023.pdf

Sánchez-Nivicela, J. C., Celi-Piedra, E., Valentina, P.-S., Urgiles, V. L., Yánez-Muñoz, M., y Cisneros-Heredia, D. F. (2018). A new species of Pristimantis (Anura, Craugastoridae) from the Cajas Massif, southern Ecuador. *ZooKeys*, 751:113-128.

Segovia, M., y Quija, P. (2014). Citogeografía de cuatro especies de Polylepis (Rosaceae) en el Ecuador: Información relevante para el manejo y conservación de los bosques andinos. *Avances en Investigación para la conservación de los páramos andinos*, 467-486.

Sevillano-Rios, C., Rodewald, A., y Morales, L. (2018). Ecología y conservación de las aves asociadas con Polylepis: ¿qué sabemos de esta comunidad cada vez más vulnerable? *Ecología Austral*, 216-228. https://doi.org/https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.519

Sierra, R. (1999). Propuesta preliminar de un Sistema de Clasificación Vegetal para el Ecuado Continental.

Simpson, B. (1979). A revision of the genus Polylepis (Rosaceae: Sanguisorbae). *Smithsonian Cotributions to Botany.*, 43:1-61.

Soberón, J., y Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: Concepts, methods and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United Satates of America, 106(Supl 2)*, 19644-19650. http://doi.org/10.1073/pnas.0901637106

Sylvester, S., Sylvester, M., y Kessler, M. (2014). Inaccessible ledges as refuges for the natural vegetation of the high Andes. *Journal of Vegetation Science*, 25: 1225-1234.

Tinoco, B. A., Astudillo, P. X., Latta, S. C., y Graham, C. H. (2009). Distribution, ecology and conservation of an endangered Andean hummingbird: the Violet-throated

Metaltail (Metallura baroni). *Bird Conservation International*, 19:63-76. https://doi.org/10.1017/S0959270908007703

Tinoco, B., Astudillo, P. X., Latta, S., Strubbe, D., y Graham, C. (2013). Influence of patch factors and connectivity on the avifauna of fragmented Polylepis forest in the Ecuadorian Andes. *Biotropica, 45*(5), 602-611.

Torres, R., y Jayat, J. P. (2010). Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (cingulata, artiodactyla y rodentia) típicas del Chaco en Argentina. *Mastozoología Neotropical*, 17(2), 335-352.

Trinidad, H., y Cano, A. (2016). Composición florística de los bosques de Polylepis Yauyinaza y Chaqsii-Chaqsii, Reserva Paisajística Nor Yauyos- Cochas- Lima. *Revista Peruana de Biología*, 271-286.

Tropicos.org. (Junio de 2016). Missouri Botanical Garden. http://www.tropicos.org

Vasco-Tapia, S. R.-G., Rodas-López, F., Pesántes-Astudillo, M., Cabrera-Rodíguez, S., Romero, M., Schubert, A., . . . Vallejo-Chávez, S. (2012). *PROPUESTA PARA LA DECLARATORIA DE UNA RESERVA DE BIOSFERA EN EL MACIZO DEL CAJAS.* Cuenca: Ministerio del Ambiente, Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración, SENPLADES, Municipalidad de Cuenca, ETAPA, Deutsche gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ GmbH, Naturaleza y Cultura Internacional.

Verdugo, A., Minga, D., y Nugra, F. (2013). *Diagnóstico de Flora de la cuenca del Machángara. Plan de Manejo del Machángara.* Acotecnic, ETAPA, EP. Cuenca: Acotecnic, ETAPA, EP.

Vistin, D., Muñoz, E., y Ati, G. (2020). Monitoreo del Herbazal del páramo: una estrategia de medición del cambio climático en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. *Ciencia Digital, 4*, 32-47. https://doi.org/https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i2.1195.

Vistín, D., Salas, E., y Balseca, J. L. (abril de 2023). Distribución potencial de Polylepis incana en los Andes ecuatorianos para estudios de fisiología vegetal y planes de rehabilitación forestal. *Ecología Austral*(33), 001-012. https://doi.org/https://doi.org/10.25260/EA.23.33.1.0.1991

World Conservation Monitoring Centre. (1998). The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32990A9742243. *Polylepis incana*. Retrieved 18 de Abril de 2017, from http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32990A9742243.en

Yallico, E. (1992). *Distribución de Polylepis en el Sur de Puno.* Pomata: ARBOLANDINO.

Young, B., Young, K., y Josse, C. (2011). Vulnerabilidad de los Ecosistemas de los Andes Tropicales al Cambio Climático. En S. Herzog, R. Martinez, P. Jørgensen, y H. Tiessen, *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales* (p. 348). París: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático/ Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente.

Zutta, B., Rundel, P., Saatchi, S., Casana, J., Gauthier, P., Soto, A., . . . Buermann, W. (2012). Predicting Polylepis distribution: vulnerable and increasingly important Andean woodlands. *Revista Peruana de Biología*, 19(2): 1-8.

ANEXOS

ANEXO 1. Registros utilizados para generar los modelos de distribución potencial de *P. incana, P. lanuginosa, P. reticulata y P. weberbaueri* en los Andes sur de Ecuador. Se indican las coordenadas geográficas y la fuente específica de cada uno.

Coordenada X	Coordenada Y	Especie	Fuente [a]
693834	9676704	*Polylepis incana*	RC
691820	9691435	*Polylepis incana*	RC
695963	9672438	*Polylepis incana*	RC
693834	9676687	*Polylepis incana*	RC
693834	9676687	*Polylepis incana*	RC
697047	9700562	*Polylepis incana*	RC
696086	9697512	*Polylepis incana*	RC
690336	9690326	*Polylepis incana*	RC
686858	9680623	*Polylepis incana*	RC
693834	9676704	*Polylepis incana*	RC
695986	9672421	*Polylepis incana*	RC
693832	9676706	*Polylepis incana*	RC
693832	9676706	*Polylepis incana*	RC
687006	9680703	*Polylepis incana*	RC
696707	9698726	*Polylepis incana*	RC
696784	9698840	*Polylepis incana*	RC
696853	9698898	*Polylepis incana*	RC
697101	9700470	*Polylepis incana*	RC
697054	9700534	*Polylepis incana*	RC
697060	9700612	*Polylepis incana*	RC
696921	9700992	*Polylepis incana*	RC
695999	9672291	*Polylepis incana*	RC
693823	9676685	*Polylepis incana*	RC
693823	9676685	*Polylepis incana*	RC
693798	9676694	*Polylepis incana*	RC
693798	9676694	*Polylepis incana*	RC
697086	9699257	*Polylepis incana*	RC
688232	9689576	*Polylepis incana*	RC
687699	9680838	*Polylepis incana*	RC
687699	9680838	*Polylepis incana*	RC
697085	9699263	*Polylepis incana*	RC
697276	9699576	*Polylepis incana*	RC
697291	9699659	*Polylepis incana*	RC
696648	9698693	*Polylepis incana*	RC
687389	9680808	*Polylepis incana*	RC

683184	9659307	*Polylepis incana*	RC
683195	9658864	*Polylepis incana*	RC
686999	9655234	*Polylepis incana*	RC
689769	9672678	*Polylepis incana*	RC
679789	9666427	*Polylepis incana*	RC
694551	9674847	*Polylepis incana*	RC
680952	9667989	*Polylepis incana*	RC
679546	9667208	*Polylepis incana*	RC
680588	9665786	*Polylepis incana*	RC
683346	9660423	*Polylepis incana*	RC
683247	9659914	*Polylepis incana*	RC
688392	9672187	*Polylepis incana*	RC
689688	9673038	*Polylepis incana*	RC
691319	9690803	*Polylepis incana*	HD
701692	9687961	*Polylepis incana*	HD
696730	9674361	*Polylepis incana*	HD
688000	9681132	*Polylepis incana*	HD
688000	9681132	*Polylepis incana*	HD
683449	9718029	*Polylepis incana*	HD
688001	9681132	*Polylepis incana*	HD
683443	9689544	*Polylepis lanuginosa*	RC
683298	9690138	*Polylepis lanuginosa*	RC
686592	9689513	*Polylepis lanuginosa*	RC
684291	9690206	*Polylepis lanuginosa*	RC
683413	9689623	*Polylepis lanuginosa*	RC
686602	9689544	*Polylepis lanuginosa*	RC
684284	9690238	*Polylepis lanuginosa*	RC
684427	9678905	*Polylepis lanuginosa*	RC
683312	9690398	*Polylepis lanuginosa*	RC
684401	9678935	*Polylepis lanuginosa*	RC
684391	9678962	*Polylepis lanuginosa*	RC
684402	9679044	*Polylepis lanuginosa*	RC
684372	9679073	*Polylepis lanuginosa*	RC
684306	9679108	*Polylepis lanuginosa*	RC
683349	9690491	*Polylepis lanuginosa*	RC
684280	9679091	*Polylepis lanuginosa*	RC
684292	9679091	*Polylepis lanuginosa*	RC
684276	9679094	*Polylepis lanuginosa*	RC
684253	9679089	*Polylepis lanuginosa*	RC
684245	9679078	*Polylepis lanuginosa*	RC
684237	9679068	*Polylepis lanuginosa*	RC
684230	9679038	*Polylepis lanuginosa*	RC
684225	9679019	*Polylepis lanuginosa*	RC

684232	9678976	*Polylepis lanuginosa*	RC
675706	9692606	*Polylepis lanuginosa*	RC
684256	9679101	*Polylepis lanuginosa*	RC
684244	9678975	*Polylepis lanuginosa*	RC
684250	9678977	*Polylepis lanuginosa*	RC
684278	9679004	*Polylepis lanuginosa*	RC
684372	9678923	*Polylepis lanuginosa*	RC
684187	9678943	*Polylepis lanuginosa*	RC
679404	9689313	*Polylepis lanuginosa*	RC
684267	9678979	*Polylepis lanuginosa*	RC
684282	9678999	*Polylepis lanuginosa*	RC
683407	9689636	*Polylepis lanuginosa*	RC
684300	9690339	*Polylepis lanuginosa*	RC
683403	9689645	*Polylepis lanuginosa*	RC
684358	9690355	*Polylepis lanuginosa*	RC
684389	9678984	*Polylepis lanuginosa*	RC
683247	9689991	*Polylepis lanuginosa*	RC
684385	9690343	*Polylepis lanuginosa*	RC
684388	9679014	*Polylepis lanuginosa*	RC
683243	9690064	*Polylepis lanuginosa*	RC
684401	9690350	*Polylepis lanuginosa*	RC
684384	9679062	*Polylepis lanuginosa*	RC
683268	9690081	*Polylepis lanuginosa*	RC
683312	9690321	*Polylepis lanuginosa*	RC
683352	9690336	*Polylepis lanuginosa*	RC
678862	9690189	*Polylepis lanuginosa*	RC
689967	9690287	*Polylepis lanuginosa*	RC
697225	9699460	*Polylepis lanuginosa*	RC
697064	9699238	*Polylepis lanuginosa*	RC
697153	9699345	*Polylepis lanuginosa*	RC
697277	9699766	*Polylepis lanuginosa*	RC
715599	9717933	*Polylepis lanuginosa*	RC
720793	9716783	*Polylepis lanuginosa*	RC
720018	9715911	*Polylepis lanuginosa*	RC
713632	9717458	*Polylepis lanuginosa*	RC
710029	9716439	*Polylepis lanuginosa*	RC
709466	9716333	*Polylepis lanuginosa*	RC
720103	9715616	*Polylepis lanuginosa*	RC
720309	9715543	*Polylepis lanuginosa*	RC
720311	9715439	*Polylepis lanuginosa*	RC
708996	9716209	*Polylepis lanuginosa*	RC
708694	9716182	*Polylepis lanuginosa*	RC
717728	9717047	*Polylepis lanuginosa*	RC

708531	9716489	*Polylepis lanuginosa*	RC
716657	9718760	*Polylepis lanuginosa*	RC
713866	9717668	*Polylepis lanuginosa*	RC
683285	9688327	*Polylepis lanuginosa*	HD
679487	9689161	*Polylepis lanuginosa*	HD
683828	9679172	*Polylepis lanuginosa*	HD
679487	9689161	*Polylepis lanuginosa*	HD
683449	9718029	*Polylepis lanuginosa*	HD
679487	9689161	*Polylepis lanuginosa*	HD
697326	9700870	*Polylepis lanuginosa*	HD
684365	9679048	*Polylepis lanuginosa*	IBE
685470	9679185	*Polylepis lanuginosa*	IBE
686269	9691685	*Polylepis lanuginosa*	IBE
683882	9689549	*Polylepis lanuginosa*	IBE
681336	9684444	*Polylepis lanuginosa*	IBE
681130	9683986	*Polylepis lanuginosa*	IBE
681336	9684444	*Polylepis lanuginosa*	IBE
681130	9683986	*Polylepis lanuginosa*	IBE
683235	9683631	*Polylepis lanuginosa*	IBE
683470	9684217	*Polylepis lanuginosa*	IBE
693813	9676683	*Polylepis reticulata*	RC
693813	9676683	*Polylepis reticulata*	RC
696469	9677118	*Polylepis reticulata*	RC
696457	9677146	*Polylepis reticulata*	RC
693800	9676695	*Polylepis reticulata*	RC
693800	9676695	*Polylepis reticulata*	RC
699505	9694561	*Polylepis reticulata*	RC
699541	9692851	*Polylepis reticulata*	RC
699392	9692649	*Polylepis reticulata*	RC
697733	9693311	*Polylepis reticulata*	RC
698622	9692361	*Polylepis reticulata*	RC
697131	9692930	*Polylepis reticulata*	RC
682664	9663334	*Polylepis reticulata*	RC
691526	9674324	*Polylepis reticulata*	RC
700319	9690576	*Polylepis reticulata*	RC
703430	9692843	*Polylepis reticulata*	HD
704064	9683504	*Polylepis reticulata*	HD
697932	9692575	*Polylepis reticulata*	HD
697932	9692575	*Polylepis reticulata*	HD
705194	9715020	*Polylepis reticulata*	HD
705137	9678156	*Polylepis reticulata*	HD
700663	9681021	*Polylepis reticulata*	HD
699537	9691928	*Polylepis reticulata*	HD

697437	9692330	*Polylepis reticulata*	HD
697499	9692330	*Polylepis reticulata*	HD
697499	9692330	*Polylepis reticulata*	HD
685260	9686696	*Polylepis reticulata*	HD
692674	9688528	*Polylepis reticulata*	HD
690811	9681159	*Polylepis reticulata*	HD
697499	9692330	*Polylepis reticulata*	HD
697499	9692330	*Polylepis reticulata*	HD
699537	9691928	*Polylepis reticulata*	HD
697437	9692330	*Polylepis reticulata*	HD
697437	9692330	*Polylepis reticulata*	HD
699537	9691927	*Polylepis reticulata*	HD
697499	9692330	*Polylepis reticulata*	HD
697499	9692330	*Polylepis reticulata*	HD
697327	9700870	*Polylepis reticulata*	HD
689352	9683954	*Polylepis reticulata*	IBE
715930	9702662	*Polylepis reticulata*	IBE
716490	9702003	*Polylepis reticulata*	IBE
688102	9687155	*Polylepis reticulata*	IBE
709119	9679427	*Polylepis reticulata*	IBE
707096	9679894	*Polylepis reticulata*	IBE
701190	9686615	*Polylepis reticulata*	IBE
700084	9687837	*Polylepis reticulata*	IBE
709770	9699039	*Polylepis reticulata*	IBC
715916	9702638	*Polylepis reticulata*	IBC
712756	9702963	*Polylepis reticulata*	IBC
714104	9701651	*Polylepis reticulata*	IBC
695786	9673331	*Polylepis weberbaueri*	RC
695973	9673345	*Polylepis weberbaueri*	RC
682674	9687786	*Polylepis weberbaueri*	RC
687274	9688291	*Polylepis weberbaueri*	RC
695924	9673384	*Polylepis weberbaueri*	RC
696006	9673404	*Polylepis weberbaueri*	RC
687264	9688297	*Polylepis weberbaueri*	RC
682316	9687926	*Polylepis weberbaueri*	RC
682516	9687778	*Polylepis weberbaueri*	RC
682787	9687913	*Polylepis weberbaueri*	RC
724581	9715945	*Polylepis weberbaueri*	RC
721249	9717153	*Polylepis weberbaueri*	RC
721062	9717695	*Polylepis weberbaueri*	RC
721013	9718070	*Polylepis weberbaueri*	RC
721439	9717788	*Polylepis weberbaueri*	RC
721185	9717442	*Polylepis weberbaueri*	RC

721290	9717290	*Polylepis weberbaueri*	RC
721262	9717553	*Polylepis weberbaueri*	RC
721237	9717514	*Polylepis weberbaueri*	RC
721209	9717434	*Polylepis weberbaueri*	RC
721296	9717657	*Polylepis weberbaueri*	RC
720955	9718047	*Polylepis weberbaueri*	RC
724277	9715919	*Polylepis weberbaueri*	RC
721280	9717465	*Polylepis weberbaueri*	RC
721127	9717835	*Polylepis weberbaueri*	RC
720785	9717821	*Polylepis weberbaueri*	RC
720753	9717822	*Polylepis weberbaueri*	RC
713656	9717430	*Polylepis weberbaueri*	RC
724023	9719379	*Polylepis weberbaueri*	RC
722377	9720654	*Polylepis weberbaueri*	RC
721638	9718727	*Polylepis weberbaueri*	RC
721483	9717796	*Polylepis weberbaueri*	RC
721256	9719798	*Polylepis weberbaueri*	RC
721265	9719321	*Polylepis weberbaueri*	RC
721260	9719073	*Polylepis weberbaueri*	RC
701435	9692625	*Polylepis weberbaueri*	RC
701514	9692657	*Polylepis weberbaueri*	RC
701549	9692654	*Polylepis weberbaueri*	RC
701621	9692672	*Polylepis weberbaueri*	RC
703196	9693009	*Polylepis weberbaueri*	RC
703400	9692566	*Polylepis weberbaueri*	RC
703178	9692637	*Polylepis weberbaueri*	RC
703279	9692571	*Polylepis weberbaueri*	RC
679460	9667170	*Polylepis weberbaueri*	RC
679442	9667194	*Polylepis weberbaueri*	RC
679752	9666478	*Polylepis weberbaueri*	RC
738791	9703568	*Polylepis weberbaueri*	HD
697627	9674881	*Polylepis weberbaueri*	HD
698214	9675618	*Polylepis weberbaueri*	HD
727958	9730869	*Polylepis weberbaueri*	HD
742782	9725315	*Polylepis weberbaueri*	HD
698214	9675618	*Polylepis weberbaueri*	HD
727958	9730906	*Polylepis weberbaueri*	HD

[a] RC: Registro de Campo propio, HD: Herbario Digital, IBE: Inventario Botánico del proyecto “Ecotonos”, IBC: Inventario Botánico de la empresa CELEC EP.