

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



“MODELADO DE NICHU ECOLÓGICO DE *Polylepis canoi* Y *Polylepis rodolfo-vasquezii* PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES DE RESTAURACIÓN”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

KATHERINE LUCERO LAGONES POMA

LIMA – PERÚ














2023

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

Document Information

Analyzed document	Presentación_Tesis_Lagones_19Enero.pdf (D157023111)
Submitted	1/26/2023 4:45:00 PM
Submitted by	Rubin de Celis Llanos
Submitter email	erubin@lamolina.edu.pe
Similarity	4%
Analysis address	erubin.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: http://www.recibio.net/wp-content/uploads/2014/01/Intro-Modelado-de-nichos_EMM.pdf Fetched: 1/26/2023 5:10:00 PM		1
SA	Proyecto Evelyn Hernandez.docx Document Proyecto Evelyn Hernandez.docx (D110497385)		1
W	URL: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332005000100009&lng=es&tlng=es Fetched: 1/26/2023 5:10:00 PM		1
W	URL: https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2012-092.pdf Fetched: 1/26/2023 5:11:00 PM		1
W	URL: https://www.bonnchallenge.org/sites/default/files/resources/files/%255Bnode%253Anid%255D/Bonn%... Fetched: 1/26/2023 5:11:00 PM		1
W	URL: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2022.803822/full Fetched: 10/28/2022 7:03:56 AM		4
W	URL: http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfJM042.pdf Fetched: 10/31/2022 2:30:42 AM		4
W	URL: https://medwinpublishers.com/IZAB/potential-effects-of-climate-change-on-the-distribution-of-e... Fetched: 10/31/2022 2:30:37 AM		1
SA	575-2221-1-SM.docx Document 575-2221-1-SM.docx (D29475983)		2
SA	Modelamiento de Nicho.docx Document Modelamiento de Nicho.docx (D110497546)		1
SA	TESIS_GALLO.pdf Document TESIS_GALLO.pdf (D68781477)		7
W	URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7914640/ Fetched: 12/29/2021 10:57:28 PM		8
W	URL: https://www.mdpi.com/2076-2615/3/2/327/pdf Fetched: 6/6/2021 6:00:53 AM		2

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS DE *Polylepis canoi* Y
Polylepis rodolfo-vasquezii PARA LA IDENTIFICACIÓN DE
ÁREAS POTENCIALES DE RESTAURACIÓN”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL
KATHERINE LUCERO LAGONES POMA**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

*Ing. José Eloy Cuellar Bautista, Dr.
Presidente*

*Ing. Thomas Holger Valqui Haase, Ph.D.
Miembro*

*Ing. Sheena Yuliana Sangay Tucto, Dra.
Miembro*

*Ing. Ethel Rubin de Celis Llanos, Dra.
Asesora*

*Ing. Harold Rusbelth Quispe Melgar
Co Asesor*

DEDICATORIA

A Dios, por mantener sanos a las personas que amo. A mi madre y a mi padre, ejemplos de superación, y a toda mi familia.

A mis amigos(as) de noble corazón que me acompañan hasta hoy. A todos(as) los(as) voluntarios(as) entusiastas que unen esfuerzos para promover el manejo sostenible de nuestros recursos naturales.

A todos los que leerán el presente trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos:

Al proyecto 382-2019-FONDECYT del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), ahora PROCENCIA.

A los ingenieros Harold Quispe y Fressia Ames, investigadores de la Asociación ANDINUS, quienes además de orientarme y aportar en el desarrollo del presente estudio, me inspiran a generar más investigaciones en ecosistemas Andinos.

A mis profesores de la Facultad de Ciencias Forestales-UNALM, en especial a la Dra. Ethel Rubin de Celis, por su asesoramiento en la presente tesis y sobre todo por su acompañamiento desde mis primeros años en la universidad.

*Al Dr. Daniel Renison, Dra. Erica Cuyckens y Dra Tatiana E. Boza, por compartir parte de sus investigaciones y experiencias en restauración de bosques de *Polylepis* para el presente proyecto.*

A Luis David Huayta por su gran colaboración y compañía en todas las etapas del desarrollo de la presente tesis. A mis colegas: Yashira, Leidy, David, Blanca, Luis y Corina; por su apoyo incondicional.

A los pobladores de las comunidades visitadas durante el desarrollo del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1	CONCEPTOS PARA LA MODELACIÓN DEL NICHOS ECOLÓGICO	5
2.1.1	Concepto de nicho ecológico	5
2.1.2	La dualidad de Hutchinson	6
2.1.3	Diagrama BAM.....	7
2.1.4	Diferencias entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución....	8
2.2	APLICACIONES DE LOS MODELADOS DE NICHOS ECOLÓGICO	8
2.3	DATOS DE ENTRADA PARA GENERAR EL MODELAMIENTO	9
2.3.1	Datos ambientales	10
2.3.2	Datos biológicos.....	16
2.4	PROCESO DEL MODELADO DE NICHOS	17
2.4.1	Calibración del modelo	17
2.4.2	Métodos o algoritmos de modelación	18
2.4.3	Evaluación del modelo.....	20
2.4.4	Predicción y proyección espacial.....	24
2.5	FORTALEZAS Y LIMITACIONES DEL MODELADO DE NICHOS	24
2.6	ANTECEDENTES SOBRE ESTUDIOS DE MNE Y MDE EN EL GÉNERO <i>Polylepis</i>	25
2.7	DISTRIBUCIONES DE LAS ESPECIES DE <i>Polylepis</i>	26
2.8	ESPECIES ENFOCADAS	28
2.8.1	<i>Polylepis canoi</i> W. Mendoza	28
2.8.2	<i>Polylepis rodolfo-vasquezii</i> L. Valenz. & Villalba.....	30
2.9	CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LOS BOSQUES DE QUEÑUALES	31
2.9.1	Contexto actual para la restauración de bosques de <i>Polylepis</i>	31
2.9.2	Marco normativo para la restauración de ecosistemas andinos	33
2.9.3	Criterios para identificar las áreas de restauración	34
2.9.4	Oportunidades de restauración para el control de la erosión	36
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1	ÁREA DE ESTUDIO	38
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS	43
3.3	REGISTROS DE PRESENCIAS	44

3.4	VARIABLES PREDICTORAS	45
3.5	PROCESAMIENTO DE DATOS	46
3.6	METODOLOGÍA	47
3.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
3.7.1	Variables de medición.....	55
3.7.2	Muestreo	56
3.7.3	Correlación de las variables predictoras y análisis de multicolinealidad	56
3.7.4	Proceso de calibración y evaluación del modelo	56
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1	DATOS DE PRESENCIAS Y SELECCIÓN DE LOS SETS DE VARIABLES AMBIENTALES	58
4.1.1	Datos de presencias de las especies	58
4.1.2	Sets de variables seleccionados	61
4.1.2.1	Obtención de sets de variables	61
4.1.2.2	Selección de sets de variables de <i>Polylepis rodolfo-vasquezii</i>	67
4.1.2.3	Selección de sets de variables de <i>Polylepis canoi</i>	68
4.2	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS MODELOS Y DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES FACTORES AMBIENTALES	70
4.2.1	Modelos de distribución potencial de <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	70
4.2.2	Modelos de distribución potencial de <i>P. canoi</i>	74
4.2.3	Registros nuevos de bosques de <i>Polylepis</i> en los Andes Centrales	78
4.2.3.1.	Provincia de Huancayo, Junín.....	79
a.	Bosques identificados, modelo de <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	82
b.	Bosques identificados, modelo de <i>P. canoi</i>	83
4.2.3.2.	Provincia de Tayacaja, Huancavelica	84
a.	Bosques identificados, modelo de <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	87
b.	Bosques identificados, modelo de <i>P. canoi</i>	88
4.2.4	Análisis de nicho ecológico de las especies identificadas en los modelos	89
4.2.4.1	Análisis del nicho ecológico en el espacio ambiental.....	89
4.2.4.2	Similaridad de nichos ecológicos en el espacio ambiental	93
4.3	IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA RESTAURACIÓN	94
4.3.1	Cuantificación de las áreas de distribución potencial	94
4.3.1.1	<i>Polylepis rodolfo-vasquezii</i>	94
4.3.1.2	<i>Polylepis canoi</i>	96

4.3.2	Áreas potenciales de restauración	98
4.3.2.1	Áreas potenciales de restauración para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	98
4.3.2.2	Áreas potenciales de restauración para <i>P. canoi</i>	102
V.	CONCLUSIONES	105
VI.	RECOMENDACIONES	106
VII.	BIBLIOGRAFÍA	107
VIII.	ANEXOS	116

Índice de tablas

Tabla 1: Extensión de cuadrícula de los productos globales de CHELSA.....	12
Tabla 2: Algunos algoritmos usados para el MNE y los MDE	18
Tabla 3: Matriz de confusión.....	21
Tabla 4: <i>Confusion matrix derived measures of classification accuracy</i>	22
Tabla 5: Colectas de <i>P. canoi</i> y <i>P. rodolfo vasquezii</i>	44
Tabla 6: Variables utilizadas en el modelamiento.....	46
Tabla 7: Clasificación de valores de idoneidad de hábitat	52
Tabla 8: Variables seleccionadas por corSelect para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	61
Tabla 9: Variables seleccionadas por corSelect para <i>P. canoi</i>	61
Tabla 10: Sets de variables para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	67
Tabla 11: Sets de variables para <i>P. canoi</i>	69
Tabla 12: Parámetros de los modelos candidatos de <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	71
Tabla 13: Evaluadores de rendimiento para los modelos de <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	71
Tabla 14: Parámetros de los modelos candidatos de <i>P. canoi</i>	75
Tabla 15: Evaluadores de rendimiento para <i>P. canoi</i>	75
Tabla 16: Ubicación de bosques identificados en el sector de Jaramachay	80
Tabla 17: Ubicación de bosques identificados en la provincia de Tayacaja, Huancavelica	85
Tabla 18: ANOVA de las variables temperatura y precipitación en las especies identificadas.....	90
Tabla 19: Prueba Post Hoc	90
Tabla 20: Subconjuntos para la variable precipitación.....	91
Tabla 21: Subconjuntos para la variable temperatura	92
Tabla 22: Área de distribución potencial de la especie <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	95
Tabla 23: Área de distribución potencial de la especie <i>P. canoi</i>	97
Tabla 24: Superficie potencial de restauración de la especie <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	99
Tabla 25: Áreas prioritarias de restauración para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	100
Tabla 26: Superficie potencial de restauración de la especie <i>P. canoi</i>	103
Tabla 27: Áreas prioritarias de restauración para <i>P. canoi</i>	104

Índice de figuras

Figura 1: Dualidad de Hutchinson.....	6
Figura 2: Diagrama BAM.....	7
Figura 3: Representación gráfica de la construcción de MNE	10
Figura 4: Ejemplo esquemático de la influencia de las variables en distintas escalas	11
Figura 5: The five main modelling steps in the species distribution modelling cycle.	17
Figura 6: Calibración de los modelos a los datos	18
Figura 7: Mean AUC vs mean correlation (COR) for modelling methods, summarised across all species.....	19
Figura 8: Species-climate envelope modelling framework- data splitting	21
Figura 9: ROC plot in which an arrow shows the ‘most north-western’ point	23
Figura 10: Matriz ROC del modelo de distribución	24
Figura 11: Distribuciones naturales supuestas de especies de <i>Polylepis</i> evolutivamente antiguas.....	27
Figura 12: <i>Polylepis canoi</i> W. Mendoza	29
Figura 13: <i>Polylepis rodolfo-vasquezii</i> L. Valenz. & Villalba.....	30
Figura 14: Puntos de presencia de las especies <i>Polylepis canoi</i> y <i>Polylepis rodolfo- vasquezii</i>	38
Figura 15: Mapa de ecosistemas de los bosques de <i>Polylepis</i> estudiados.....	40
Figura 16: Recorte de las variables con la herramienta Extract by Mask.	45
Figura 17: Proceso de modelado de distribución potencial para <i>P. canoi</i> y <i>P. rodolfo- vasquezii</i>	47
Figura 18: Distanciamiento mínimo de 1 Km entre coordenadas.	48
Figura 20: Parámetros de MaxEnt	50
Figura 21: Opciones de curvas de respuestas, análisis Jackknife y gráficos.	50
Figura 22: Archivos organizados en la carpeta de trabajo de cada especie.....	51
Figura 23: Análisis estadístico.....	55
Figura 24: Matriz ROC del modelo de distribución	57
Figura 25: Bosque de <i>P. rodolfo-vasquezii</i> . Localidad de Pomamanta, Concepción. Junín.	59
Figura 26: Acceso al bosque de <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	59
Figura 27: Bosque de <i>P. canoi</i> . Localidad de Curimarca, Jauja. Junín.	60

Figura 28: Regeneración natural de <i>P. canoi</i>	60
Figura 29: Análisis Jackknife en <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	62
Figura 30: Análisis Jackknife en <i>P. canoi</i>	63
Figura 31: Procedimiento para la selección de variables menos correlacionadas con BIO_06 para el modelo de <i>P. rodolfo vasquezii</i>	64
Figura 32: Procedimiento para la selección de variables menos correlacionadas con BIO_06 para el modelo de <i>P. canoi</i>	65
Figura 33: Procedimiento para la selección de variables menos correlacionadas con BIO_01 y BIO_12 para el modelo de <i>P. rodolfo vasquezii</i>	66
Figura 34: Procedimiento para la selección de variables menos correlacionadas con BIO_01 y BIO_12 para el modelo de <i>P. canoi</i>	66
Figura 35: Puntos de evaluación y calibración para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	70
Figura 36: Curva ROC del modelo final para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	72
Figura 37: Contribución de las variables al modelo de <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	72
Figura 38: Modelamiento de distribución potencial de <i>P. rodolfo-vasquezii</i> generado con los parámetros seleccionados.....	73
Figura 39: Puntos de evaluación y calibración para <i>P. canoi</i>	74
Figura 40: Curva ROC del modelo final para <i>P. canoi</i>	76
Figura 41: Contribución de las variables al modelo de <i>P. canoi</i>	76
Figura 42: Modelamiento de distribución potencial de <i>P. canoi</i> generado con los parámetros seleccionados.	77
Figura 43: Registros de bosques de <i>Polylepis</i> en Perú	78
Figura 44: Fisiografía del sector de Jaramachay, Distrito de Pariahuanca, Huancayo..	79
Figura 45: Bosque de <i>Polylepis rodolfo-vasquezii</i> , sector de Jaramachay.....	80
Figura 46: Bosque de <i>Polylepis argentea</i> , sector de Jaramachay.....	81
Figura 47: Bosques identificados en el sector de Jaramachay sobre el modelo generado para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	82
Figura 48: Bosques identificados en el sector de Jaramachay sobre el modelo generado para <i>P. canoi</i>	83
Figura 49: Fisiografía de la localidad de Huichccana (Quinsaccocha), camino al sector de Saywa, Huancavelica.....	84
Figura 50: Bosque de <i>Polylepis albicans</i> , sector de Sune.	86
Figura 51: Bosque de <i>Polylepis argentea</i> , sector de Saywa.....	86

Figura 52: Bosques identificados en la provincia de Tayacaja, sobre el modelo generado para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	87
Figura 53: Bosques identificados en la provincia de Tayacaja, sobre el modelo generado para <i>P. canoi</i>	88
Figura 54: Valores de temperatura y precipitación media anual de las especies <i>P. albicans</i> , <i>P. argentea</i> , <i>P. canoi</i> y <i>P. rodolfo vasquezii</i>	89
Figura 55: Gráfico de cajas de los valores de la variable precipitación media anual en las especies <i>P. albicans</i> , <i>P. argentea</i> , <i>P. canoi</i> y <i>P. rodolfo vasquezii</i>	92
Figura 56: Gráfico de cajas de los valores de la variable temperatura media anual en las especies <i>P. albicans</i> , <i>P. argentea</i> , <i>P. canoi</i> y <i>P. rodolfo vasquezii</i>	93
Figura 57: Distribución potencial de la especie <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	94
Figura 58: Distribución potencial de la especie <i>P. canoi</i>	96
Figura 59: Áreas identificadas como idóneas de restauración para <i>P. rodolfo-vasquezii</i> ...	98
Figura 60: Áreas identificadas como idóneas para restauración para la <i>P. canoi</i>	102

Índice de anexos

ANEXO 1: Resolución de Dirección General N° D000008-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS (11/01/2021).....	116
ANEXO 2: Registros de presencias de las especies	123
ANEXO 3: Constancia de Depósito	128
ANEXO 4: Correlación de variables	130
ANEXO 5: Matriz de correlación de variables	132
ANEXO 6: Dendrograma de variables altamente correlacionadas	133
ANEXO 7: Tabla de contribución de las variables obtenidos en MaxEnt	134
ANEXO 8: Mapas de idoneidad y análisis Jackknife generados con los sets de variables de mayor AUC.....	135
ANEXO 9: Modelos de distribución en el sector de Jaramachay, Distrito de Pariahuanca, Huancayo.....	139
ANEXO 10: Modelos de distribución en el sector de Milagro Pampa, Sune y Quinsaccocha, Huancavelica.....	141
ANEXO 11: Áreas potenciales de restauración para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	143
ANEXO 12: Áreas potenciales de restauración para <i>P. canoi</i>	146
ANEXO 13: Localidades identificadas en las áreas potenciales de restauración para <i>P. rodolfo-vasquezii</i>	149
ANEXO 14: Localidades identificadas en las áreas potenciales de restauración para <i>P. canoi</i>	154

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es contribuir al conocimiento de los nichos ecológicos de *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii* generando modelos para la identificación de áreas potenciales de restauración de estas especies en nuestro país. Se utilizó el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt) para generar los modelos predictivos de distribución para cada especie, basados en registros actuales de presencias. En el modelamiento se evaluaron diferentes sets de variables bioclimáticas y topográficas, con la configuración de otros parámetros para generar los modelos candidatos. Más de un criterio estadístico permitió seleccionar el mejor modelo predictivo de distribución de cada especie. La validación de estos modelos pudo complementarse con salidas a campo, hacia los departamentos de Junín y Huancavelica, en áreas donde no se encuentran registros de las especies en estudio. Los resultados muestran que la variable de mayor contribución a los modelos de ambas especies fue la temperatura del mes más frío. El área que representa el nicho ecológico adecuado para *P. canoi* fue de 12 526 Km² y para *P. rodolfo-vasquezii* fue de 13 405 Km², comprendidas en el paso de los bosques premontanos de las Yungas peruanas hacia la Puna Húmeda. Sobre estos modelos generados, se incluyeron otros criterios importantes para la identificación de áreas potenciales de restauración, los que permitieron distinguir algunos sitios potenciales para restaurar en el departamento de Junín, principalmente para la especie *P. rodolfo-vasquezii*, y en los distritos del departamento de Cusco, principalmente para la especie *P. canoi*. Huánuco también presentó áreas potenciales importantes para la conservación y restauración de ambas especies, siendo recomendable generar mayores registros de presencia de los bosques de *Polylepis* situados en las localidades de este departamento.

Palabras claves: Bosques altoandinos relictos, MaxEnt, distribución espacial, conservación, restauración de tierras degradadas.

ABSTRACT

The purpose of this study is to contribute to the knowledge of the ecological niches of *P. canoi* and *P. rodolfo-vasquezii*, generating models for the identification of potential restoration areas for these species in our country. The maximum entropy algorithm (MaxEnt) was used to predict distribution models for each species based on current presence records. In the modeling, different sets of bioclimatic and topographic variables were evaluated, with the configuration of other parameters to generate the candidate models. More than one statistical criterion made it possible to select the best predictive model for the distribution of each species. The validation of these models was also complemented with trips to the departments of Junín and Huancavelica, in areas where there are no records of the species under study. The results show that temperature of the coldest month is important factor that determine *Polylepis* distribution. The area that represents the suitable ecological niche for *P. canoi* was 12 526 Km² and for *P. rodolfo-vasquezii* was 13 405 Km², these areas were included between premontane forests of the Peruvian Yungas and Puna Húmeda. Within these models, other important criteria were included for the identification of potential restoration areas, which made it possible to distinguish some potential restoration sites in the department of Junín, mainly for the species *P. rodolfo-vasquezii*, and in the districts of the department of Cusco, mainly for the species *P. canoi*. Huánuco also presented important potential areas for the conservation and restoration of both species, and it is advisable to generate more records of the presence of *Polylepis* forests located in the localities of this department.

Key words: Relict high-Andean Forest, MaxEnt, spatial distribution, conservation, restoration of degraded lands.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los ecosistemas más amenazados del mundo son los bosques de altas montañas de los Andes Tropicales, donde dominan las especies del género *Polylepis* Ruiz & Pav. (Navarro, Molina y De la Barra, 2005; Kessler, 2006), que pueden superar los 5000 m.s.n.m (Cuyckens *et al.*, 2016). Este género tiene su centro de diversidad en un área que va desde el centro de Perú hasta el sur de Bolivia (Navarro, Molina y De la Barra, 2005). Los bosques de *Polylepis*, conocidos comúnmente como “queñuales”, están considerados dentro de los bosques relictos altoandinos, los cuales abarcan una superficie aproximada del 0.12% del territorio peruano (Ministerio del Ambiente, 2019); en este espacio relativamente reducido están incluidas cerca de la mitad de las especies de todo el género *Polylepis* (Boza y Kessler, 2022). Se conoce que la distribución de estos bosques representa menos del 5% de su distribución original en Perú (Fjeldså y Kessler, 2004) y, son cada vez más vulnerables debido a la presión antropogénica que acentúa el proceso de fragmentación y degradación de estos bosques, así como los efectos del cambio climático (Kessler, 2002; Renison *et al.*, 2013; Cuyckens *et al.*, 2016).

Los bosques de *Polylepis*, habitan desde ecosistemas con ambientes secos (Puna seca, Matorral andino) hasta ambientes húmedos (Puna húmeda, Bosque altimontano (Pluvial) de yunga) (MINAM, 2019). En estos ambientes húmedos, los bosques son densos o semiabiertos, donde es posible distinguir varios estratos de sotobosque, con presencia de epífitas y con suelos rocosos cubiertos de musgo (Josse *et al.*, 2009). En este tipo de hábitats, se encuentran los bosques de *Polylepis canoi* W. Mend. y *Polylepis rodolfo-vasquezii* L. Valenz. & Villalba, constituyendo formaciones vegetales que protegen las cabeceras de cuencas en la cordillera oriental de los Andes Centrales por encima de los 3400 m.s.n.m. (Mendoza, 2005; Valenzuela y Villalba, 2015; Boza, Quispe-Melgar y Kessler, 2019). *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii* son especies muy poco usadas para fines de restauración, cuentan con un reducido porcentaje de registros de su distribución en la zona Andina, y además se desconocen sus estados de conservación (Ames *et al.*, 2019). En la región central

del Perú, se vienen realizando trabajos de investigación que buscan promover la conservación de estos bosques que, a pesar de ser recientemente registrados, se han encontrado en constante amenaza (Ames *et al.*, 2019).

Si bien se promueve la reforestación y conservación de “queñuales”, durante las últimas décadas algunas acciones de reforestación se han dado de manera empírica, concentrándose esfuerzos en un número limitado de especies que se propagan de forma asexual (Fuatealba y Sevillano, 2016), siendo la causa principal de que cada vez más los proyectos de restauración introduzcan especies de *Polylepis* no locales, generando un riesgo para la diversidad genética de las poblaciones naturales (Fuatealba y Sevillano, 2016; Morales *et al.*, 2018).

Por estos motivos, para proporcionar una guía científica que apoye a enfocar los esfuerzos de la restauración de estos bosques, como en la identificación de sitios y requerimientos ambientales adecuados para la supervivencia de las poblaciones (Soberón y Nakamura, 2009), se pueden generar criterios adecuados que resultan al comprender el nicho ecológico de las diversas especies de *Polylepis* (Morales *et al.*, 2018). Los modelos de nicho son herramientas que relacionan los sitios conocidos de una especie con las características ambientales de estas ubicaciones, con el fin de estimar las funciones de respuesta y la contribución de las variables ambientales, prediciendo la probabilidad de presencia de la especie en regiones donde no se dispone de estudios sistemáticos (Elith y Leathwick, 2009). En el campo de la conservación, estos modelos se han ido perfeccionando para ayudar a definir las áreas de biodiversidad y mejorar las estrategias de conservación para *Polylepis* y otras especies andinas (Zutta *et al.*, 2012).

Hasta la actualidad, se cuenta con estudios sobre la modelación de áreas de distribución (MDE) y modelación de nichos (MNE) en muchas de las especies del género *Polylepis*, utilizándose generalmente el algoritmo MaxEnt. Se desarrolló y analizó modelos de distribución para mejorar las estrategias de conservación en las especies *Polylepis sericea* (Wedd.) y *Polylepis weberbaueri* (Pilg) desde Venezuela hasta Bolivia, donde los resultados reflejaron el uso de *Polylepis* no nativos para la reforestación en diferentes regiones de los Andes, y que las áreas naturales protegidas no incluían la mayoría de hábitats de estos bosques (Zutta *et al.*, 2012). En las montañas de Argentina, se confeccionó modelos

potenciales de distribución de cinco especies: *Polylepis tarapacana* Phil, *Polylepis tomentella* Weddell, *Polylepis australis* Bitter, *Polylepis crista-galli* Bitter, y *Polylepis hieronymi* Pilger; donde se predijo la presencia de algunas especies en sitios alejados de la distribución conocida, y su validación en campo (Renison *et al.*, 2013). En Colombia, se modeló la distribución potencial en *Polylepis quadrijuga* Bitter, *Polylepis sericea* Wedd. y *Polylepis incana* Kunth, identificándose oportunidades de conservación en áreas protegidas a escala nacional, regional y local, recomendando tenerlos en cuenta para futuras actividades de restauración (Fajardo, Infante y Cabrera, 2018).

En los Andes peruanos, se desarrolló una propuesta metodológica para la cartografía de bosques del género *Polylepis*, utilizándose diferentes algoritmos de modelamiento (Bioclim, Domain, Garp y MaxEnt) y la interpretación de imágenes satelitales, donde los mejores modelos se obtuvieron con el algoritmo *maxent* (Mejía, 2014). En la especie *P. racemosa*, se obtuvo un modelo considerado como de alta predictibilidad, obtenido con distintos parámetros de configuración a los que el algoritmo *maxent* otorga por defecto (Navarrete, 2019). Recientemente, se ha desarrollado el modelamiento de nicho para entender los requerimientos ecológicos y estimar las coberturas actuales de *Polylepis albicans* (Pilg.) y *Polylepis weberbaueri* (Pilg), especies nativas de este género halladas en simpatría dentro del Parque Nacional Huascarán, donde los modelos muestran que poseen nichos ambientales diferentes y cuya extensión es significativamente mayor a lo que se conoce actualmente (Sevillano-Ríos y Morales, 2021).

En la actualidad, existen muy pocas investigaciones sobre la aplicación del modelamiento del nicho ecológico para identificar potenciales áreas de restauración para especies nativas andinas de Perú. La poca información actual existente del área de distribución en *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii*, para definir estrategias de conservación y restauración, hace que exista interés por generar estudios en este ámbito. Así, el objetivo del presente estudio fue contribuir al conocimiento de los nichos ecológicos de *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii* generando modelos para la identificación de áreas prioritarias de restauración en ambas especies. Para ello, se plantearon como objetivos específicos: determinar los principales factores ambientales que predicen la distribución potencial actual de *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii*, evaluar la capacidad predictiva de los modelos de distribución potencial de ambas especies generados en MaxEnt, e identificar las áreas prioritarias para la restauración de los

bosques de *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii*, basados en criterios y variables para el modelamiento espacial. Los resultados de esta investigación apoyan a la toma de mejores decisiones en la restauración de estos ecosistemas andinos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CONCEPTOS PARA LA MODELACIÓN DEL NICHOS ECOLÓGICO

2.1.1 Concepto de nicho ecológico

El concepto de nicho ecológico tiene su origen a inicios del siglo XX, mencionado por los ecólogos R. H Johnson, J. Grinnell y C. Elton, para identificar la subdivisión del ambiente que era ocupado por una especie y, establecer el rol de las especies (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). El nicho ecológico fue definido por Grinnell como “la unidad de distribución más pequeña, dentro de la cual, cada especie se mantiene debido a sus limitaciones instintivas y estructurales”, esta distribución tiene una organización escalar con determinantes ambientales distintos en cada nivel (Martínez-Meyer, 2014), enfatizando no solo el suministro de alimentos, sino la dependencia a la cobertura y adaptación a la misma. Posteriormente, Elton propuso como nicho ecológico “el lugar que ocupa la especie en su comunidad”, este concepto se refiere al papel funcional de las especies en las redes tróficas (Martínez-Meyer, 2014).

Entre los elementos conceptuales más importantes para el enfoque de la modelación de nichos, es el desarrollado por Hutchinson, quien realizó la formalización matemática del concepto de nicho como “una serie de variables ambientales independientes, con rangos simples de condiciones adecuadas, que definen un hipervolumen n-dimensional dentro del cual las especies pueden sobrevivir y reproducirse” (Mota *et al.*, 2019). Este autor distinguió dos tipos de nicho: (1) el nicho potencial o fundamental, representado por todas las condiciones abióticas en el que una especie potencialmente podría vivir, y (2) el nicho realizado, efectivo u observado, definido como aquella fracción del hipervolumen en la cual las especies realmente se restringen debido a la presencia de interacciones bióticas con otras especies (Mota *et al.*, 2019).

2.1.2 La dualidad de Hutchinson

La dualidad de Hutchinson es una hipótesis, propuesta por este autor, sobre la correspondencia existente entre el espacio geográfico y el espacio de nicho, abstracto y multidimensional (Soberón *et al.*, 2017). Es necesario conocer que los modelos de nicho ecológico se desarrollan en dos espacios: el espacio geográfico “G” (bidimensional) y el espacio ecológico o ambiental “E” (multidimensional) (Figura 1) (Mota *et al.*, 2019). El espacio geográfico determina la posición geográfica (latitud y longitud) en la que se registra la presencia de las especies (Mota *et al.*, 2019), de aquí se obtienen las variables para el espacio ecológico mediante el uso de coberturas ambientales (Soberón *et al.*, 2017).

En este espacio ambiental “n” dimensional se establece la correlación con los registros de presencia de las especies para la reconstrucción del nicho ecológico (Mota *et al.*, 2019). Si bien a cada punto del espacio geográfico (G) corresponde un único punto del espacio ambiental (E), por cada punto en el espacio ambiental (E) puede haber más de un punto en el espacio geográfico (G), ya que puede existir dos regiones del planeta con variables ambientales iguales o similares (Soberón *et al.*, 2017). Esto permite a los modelos generar objetos en el espacio E, que luego son proyectados al espacio G como consecuencia de la dualidad de Hutchinson.

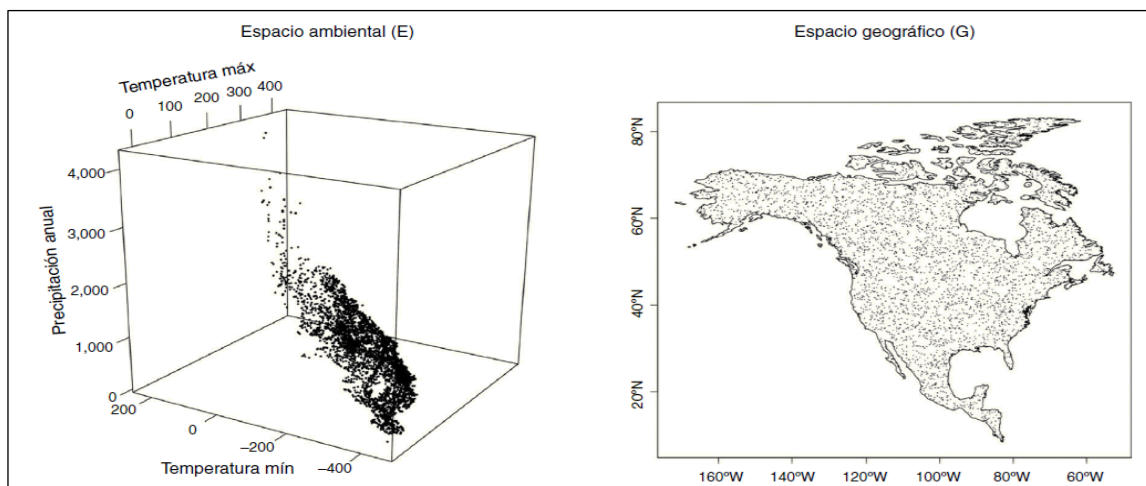


Figura 1: Dualidad de Hutchinson. Sobre el mapa (espacio geográfico G) se colocaron 4000 puntos con coordenadas al azar y, se extrajeron los valores de 3 variables bioclimáticas correspondientes a cada punto para la elaboración del dispersograma en 3 dimensiones (espacio ambiental E). En este caso existe una correspondencia 1 a 1 entre puntos de E y de G.

FUENTE: Soberón *et al.* (2017).

2.1.3 Diagrama BAM

Soberón y Peterson (2005) desarrollaron un esquema conocido como el “diagrama BAM” para la representación del nicho ecológico y su expresión en el espacio geográfico. Se fundamenta en la intersección de tres subconjuntos o factores en la geografía, que determinan la distribución de las especies (Figura 2). El factor “A” corresponde a las condiciones abióticas; es decir, las variables ambientales; el factor “B” se refiere a la presencia de las condiciones bióticas necesarias para la especie, por ejemplo, interacciones con otras especies o la disponibilidad de recursos; y finalmente, el tercer factor “M” representa el área o espacio geográfico que ha sido accesible para la especie y sobre el cual ha tenido tiempo de explorar de acuerdo a sus capacidades de dispersión y movilidad en un período temporal dado (Mota *et al.*, 2019).

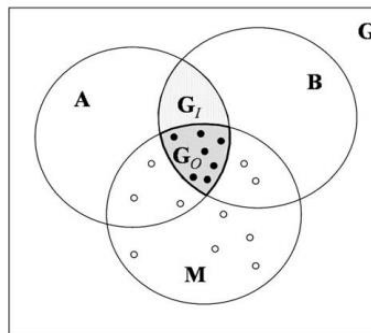


Figura 2: Diagrama BAM. La región G representa toda la región geográfica considerada. El círculo B representa las condiciones bióticas, el círculo A las condiciones abióticas y el círculo M el área de accesibilidad geográfica para la especie. La intersección de los tres conjuntos G_o representa el área ocupada por la especie, mientras que G_i representa al área de potencial invasión.

FUENTE: Soberón (2010).

La zona denotada por G_o , representa el área real de distribución de la especie (Soberón, 2010), ya que es la zona donde se intersectan la favorabilidad biótica y abiótica, y la accesibilidad histórica; por tanto, la especie puede ser observada y/o recolectada en esa región (Soberón *et al.*, 2017). Por definición, las variables ambientales en G_o constituyen el nicho realizado (N_R) (Soberón *et al.*, 2017). Por otro lado, la zona G_i es una región con condiciones favorables, pero no accesible para la especie, esta corresponde a un área de potencial invasión (Soberón, 2010); donde la suma de G_o y G_i corresponde con la geografía potencial o G_p (Mota *et al.*, 2019). El nicho fundamental existente (N^*_F), específicamente hace referencia a la parte del nicho fundamental que existe en una región dada, en un período dado (Soberón *et al.*, 2017).

2.1.4 Diferencias entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución

La primera razón por la cual la modelación de áreas de distribución (MDE) y modelación de nichos (MNE) son diferentes, es que las áreas de distribución son subconjuntos del espacio geográfico “G”, mientras que los nichos son objetos en el espacio ambiental “E” (Soberón *et al.*, 2017). Cuando se utilizan algoritmos correlativos para modelar distribuciones de especies, el investigador a menudo no incluye explícitamente las capas B (interacciones) y M (factores históricos y de dispersión), en este caso se modelan los ambientes A (factores abióticos) (Barve *et al.*, 2011), y la proyección a G será la distribución potencial. Entonces la MDE se refiere a modelar objetos en G, estos pueden ser considerados áreas potenciales (A o G_i), si se ignoran los efectos de B y M, o áreas ocupadas (G_o), si se cuenta con información sobre B y M (Soberón *et al.*, 2017). Por otro lado, la MNE se refiere a modelar condiciones ambientales, que se aproximan más o menos a N^*_F o a N_R dependiendo del algoritmo, de la configuración del BAM y de la calidad de las observaciones (Soberón *et al.*, 2017).

Los MNE podrían predecir condiciones ambientalmente óptimas, incluyendo sitios donde se encuentra la especie, así como las regiones donde históricamente no han sido accesibles pero que potencialmente podría ocupar la especie (Mota *et al.*, 2019). Pero, si el interés es delimitar el área de distribución geográfica de una especie; es decir, aproximarse a G_o , como lo pretenden hacer los MDE, es necesario que en el producto de salida del modelo se contextualice considerando el área de accesibilidad y, otros factores, como el tipo de uso de suelo o la modificación de la cobertura vegetal (Ríos y Navarro, 2009).

2.2 APLICACIONES DE LOS MODELADOS DE NICHOS ECOLÓGICO

Las primeras aplicaciones exploraron los posibles usos de los modelados de nicho ecológico en la biogeografía de conservación (Booth *et al.*, 2013). Una de estas primeras aplicaciones fue la delimitación de las áreas potenciales de distribución de las especies de flora y fauna (Mota *et al.*, 2019). Entre otros usos más comunes, se tienen: el reconocimiento de patrones biogeográficos; la evaluación del riesgo potencial de invasión de especies exóticas y su efecto sobre las comunidades nativas (PNUD, 2017); análisis de predicción de la distribución de distintas especies de fauna (Peterson *et al.*, 2002) y flora (Quesada *et al.*, 2017) en un

escenario de cambio climático global. En estos estudios de predicción futura se vienen incluyendo a especies amenazadas (Navarro-Guzmán, Jove-Chipana y Apaza, 2020), como algunas del género *Polylepis* (Cuyckens *et al.*, 2016; Mejía *et al.*, 2018).

Además, el modelado de nicho ecológico ha permitido la búsqueda de nuevas especies (Raxworthy *et al.*, 2003), generar modelos de especies amenazadas e identificar las áreas prioritarias para su conservación (Benito y Peñas, 2007; Zutta *et al.*, 2012); entender patrones de diferenciación a través del análisis de conservadurismo y evolución de nichos ecológicos, realizando proyecciones de nicho hasta el presente de especies que ya se extinguieron (Martínez-Meyer, Peterson y Hargrove, 2004); la incorporación de caracteres ecológicos en las filogenias; el estudio de interacciones ecológicas; el análisis de la abundancia de las especies; la descripción y el mapeo de patrones epidémicos; el entendimiento de las distribuciones de tipo estacional y la migración; la identificación de áreas para reforestación o reintroducción de poblaciones, entre muchas otras (Mota *et al.*, 2019).

2.3 DATOS DE ENTRADA PARA GENERAR EL MODELAMIENTO

Los modelos de nicho son un conjunto de técnicas de análisis de datos biológicos y del paisaje apoyadas en un cuerpo teórico, cada vez más robusto, que permiten inferir las características del ambiente que definen la presencia de las especies y mapearlas (Martínez-Meyer, 2014). Estos modelos se generan usando dos tipos de datos: los registros georreferenciados de la presencia de las especies, y las coberturas ambientales en capas raster (Martínez-Meyer, 2005). Un proceso adecuado de reconstrucción del nicho en el espacio ecológico depende directa y sustancialmente de la calidad y veracidad de los registros utilizados a través de las localidades de presencia, así como de la adecuada selección de variables para la caracterización del nicho ecológico (Mota *et al.*, 2019).

Asimismo, se debe seleccionar el o los algoritmos (regresión logística, análisis de clúster, GARP, redes neuronales, MaxEnt, etc.) para el proceso de modelado de nicho ecológico y distribuciones (Martínez-Meyer, 2014). Una vez obtenidos los modelos, estos pueden ser proyectados y visualizados nuevamente en el espacio geográfico, utilizando alguno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG); los cuales permiten tanto la visualización de los

sitios de presencias y ausencias, o la distribución potencial de una especie (Mota *et al.*, 2019) (Figura 3).

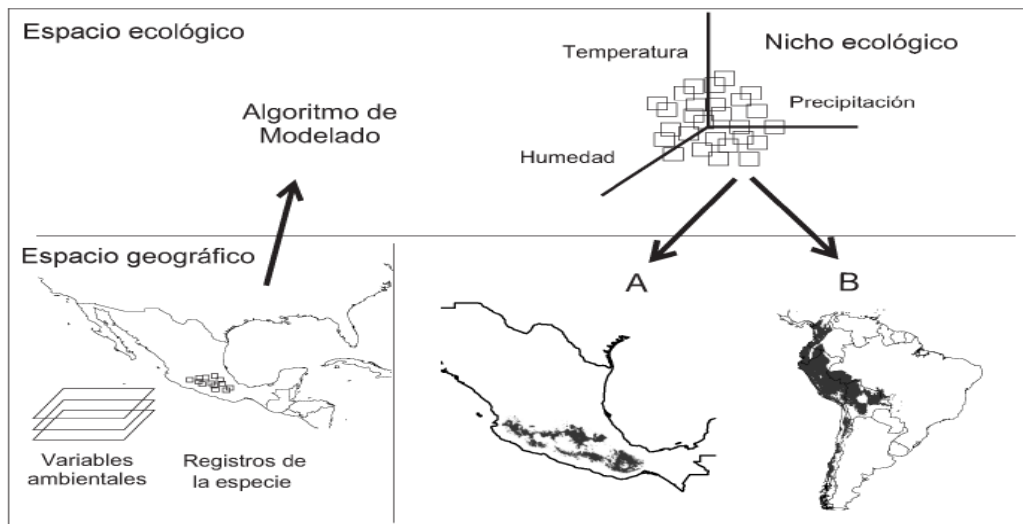


Figura 3: Representación gráfica de la construcción de MNE. Dos fuentes de información en el espacio geográfico (registros de la especie y variables ambientales), se combinan mediante algoritmos matemáticos en un espacio ecológico o ambiental y posteriormente se proyectan nuevamente al espacio geográfico A, o bien, pueden ser proyectados en otro tiempo o espacio geográfico B.

FUENTE: Martínez-Meyer (2005).

2.3.1 Datos ambientales

Para realizar el modelado, se debe conocer las variables del ambiente más importantes que determinan la presencia de la especie en un sitio. Estas variables pueden ser: indirectas, aquellas que no tienen un impacto fisiológico en los individuos (ej. altitud); directas, que tienen un efecto sobre la fisiología de los organismos (ej. temperatura del aire); y las variables recursos, aquellas que tienen una interacción dinámica con otros organismos (ej. densidad de presas) (Austin, 2002). En la mayoría de las especies se desconocen los limitantes ambientales; sin embargo, la definición sobre nicho ecológico, donde se menciona la influencia de las variables en distintas escalas, permitió generar los modelos informativos para la mayor parte de las especies a ciertas escalas. La relación entre el medio ambiente y la biota es la de una jerarquía de factores que operan en diferentes escalas (Figura 4). Así, a escala continental, el clima puede considerarse el factor dominante; mientras que, a escalas más locales las variables topográficas y el tipo de cobertura del suelo se vuelven factores cada vez más importantes (Pearson y Dawson, 2003).

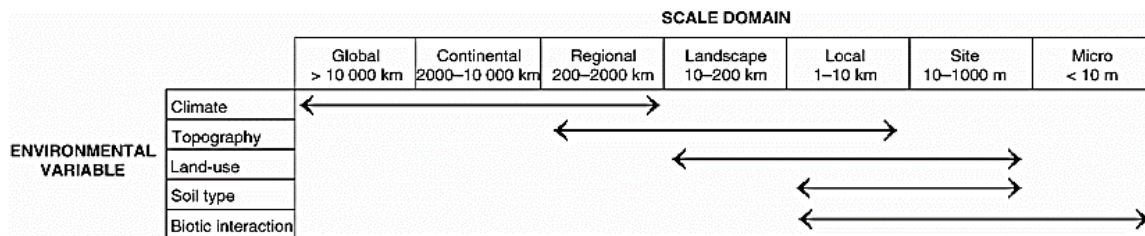


Figura 4: Ejemplo esquemático de la influencia de las variables en distintas escalas. Las variables climáticas tienen influencia en las escalas más amplias (de globales a regionales), las variables topográficas y cobertura del suelo en escalas más finas (de regionales a locales). Se han asignado extensiones espaciales aproximadas a categorías de escala basadas en Willis y Whittaker (2002).

FUENTE: Pearson y Dawson (2003).

Tomar en cuenta que debe existir un empate temporal entre los puntos de presencia de la especie y las capas que se utilizan, así como, definir el área de análisis para aproximar M, debido a que tiene una enorme influencia en la calibración y en la validación de los modelos (Martínez-Meyer, 2014).

Existen dos tipos de variables que se utilizan comúnmente para la modelación: las variables climáticas (bioclimáticas) y las variables topo-edáficas (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Las variables bioclimáticas son variables derivadas de los valores mensuales de media, máxima, media de temperatura y media de precipitación. Están desarrollados para modelar la distribución de especies y aplicaciones ecológicas relacionadas. Representan tendencias anuales (Temperatura media anual, precipitación anual), estacionalidad (Rango anual de temperatura y precipitación) y factores ambientales extremos o limitantes (Temperatura del mes más frío y más cálido, y precipitación de los trimestres húmedo y seco). Existen bases de datos globales a alta resolución (~1 km) de libre acceso y uso que brindan un set de variables bioclimáticas predefinidas, por lo que son las más utilizadas como las del proyecto WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005) o las recientemente publicadas del proyecto CHELSEA (Karger *et al.*, 2016).

2.3.1.1 CHELSA: Bioclim

CHELSEA (Climatologías en alta resolución para las áreas de la superficie terrestre) es un conjunto de datos climáticos globales de muy alta resolución (30 segundos de arco, ~ 1 km) que actualmente alberga el Instituto Federal Suizo de Investigación Forestal, de Nieve y Paisajismo WSL. Está diseñado para proporcionar acceso gratuito a datos climáticos de alta

resolución para investigación y aplicación. Incluye capas climáticas para varios períodos de tiempo y variables, que van desde el último máximo glacial, a los tiempos actuales, a varios escenarios futuros.

El algoritmo de temperatura se basa en la reducción estadística de las temperaturas atmosféricas. El algoritmo de precipitación incorpora predictores orográficos que incluyen campos de viento, exposición del valle y altura de la capa límite, con una corrección de sesgo posterior. Los datos resultantes consisten en una climatología mensual de temperatura y precipitación para los años 1979-2013. Los datos climatológicos de CHELSA tienen una precisión similar a la de otros productos para la temperatura, pero que sus predicciones de los patrones de precipitación son mejores (Karger *et al.*, 2017).

La extensión de cuadrícula de las capas de CHELSA presenta las siguientes características:

Tabla 1: Extensión de cuadrícula de los productos globales de CHELSA

Resolution	0.0083333333
West extent (minimum X-coordinate, longitude):	-180.0001388888
South extent (minimum Y-coordinate, latitude)	-90.0001388888
East extent (maximum X-coordinate, longitude)	179.9998611111
North extent (maximum Y-coordinate, latitude)	83.9998611111
Rows	20,800
Columns	43,200

FUENTE: Karger *et al.*, 2017

2.3.1.2 Reducción y selección de variables

El elegir qué variables y cuántas se deben usar en la modelación, es quizás el paso más crítico en el proceso de los modelos de distribución (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Actualmente, no existe una respuesta contundente para estas preguntas, pero es importante tomar en cuenta que al usar muy pocas variables, se producirá una sobrepredicción de las áreas potenciales de distribución; por el contrario, el uso de muchas variables puede ocasionar el sobreajuste de los modelos, subestimándose la distribución (Mota *et al.*, 2019).

Entre los criterios para la selección de variables, se recomienda considerar: 1) la relevancia de la variable para la biología de la especie, historia natural de las especies de interés; 2) la contribución de cada variable al modelo; y 3) la correlación de cada variable, ya que niveles altos de correlación duplican la información de las variables e innecesariamente aumentan la complejidad (Mota *et al.*, 2019); además, se debe tener en cuenta la pregunta a la cual queremos responder con el modelo realizado. La correlación depende de la resolución de las variables y del área de estudio.

Entre las variables a elegir se sugiere que estas no sean variables indirectas (altitud, latitud), variables categóricas (tipo de vegetación), variables interactivas, aquellas que son modificadas por la presencia de nuestra especie de interés (bióticas), y variables que combinan información diferente, como: la temperatura del trimestre más húmedo (BIO 8) y más seco (BIO 9), precipitación del trimestre más cálido (BIO 18) y más frío (BIO 19) (Escobar *et al.*, 2014). Asimismo, existe una serie de funciones en los paquetes R *fuzzySim* y *USDM* que permiten analizar y elegir las variables para la construcción de modelos de distribución de especies (Barbosa, 2015):

a. Análisis del error de tipo I (*False Discovery Rate FDR*)

Es común en ecología buscar relaciones estadísticas entre la ocurrencia de especies y un conjunto de variables predictoras. Sin embargo, cuando se analiza una gran cantidad de variables (en comparación con la cantidad de observaciones), pueden surgir hallazgos falsos debido a pruebas repetidas. Las variables mantienen su significación frente a la especie incluso cuando tenemos muchas variables y se puede aceptar una por efecto del azar. La función "FDR" realiza regresiones repetidas (ya sea logística lineal o binaria) o utiliza valores p ya obtenidos para un conjunto de variables; calcula el FDR con "p.adjust"; y muestra qué variables deben ser retenidas o excluidas de un análisis multivariado adicional de acuerdo con sus valores de p corregidos.

Uso:

- *FDR(data = NULL, sp.cols = NULL, var.cols = NULL, pvalues = NULL, model.type = NULL, family = "auto", correction = "fdr", q = 0.05, verbose = TRUE, simplif = FALSE)*

b. Análisis de multicolinealidad

No se debe utilizar variables muy correlacionadas ya que el modelo no podrá distinguir el efecto de cada una de ellas. La función “multicol” calcula el grado de multicolinealidad en un conjunto de variables numéricas, usando tres medidas estrechamente relacionadas: R cuadrado (el coeficiente de determinación de una regresión lineal de cada variable predictora en todas las demás variables predictoras, es decir, la cantidad de variación en cada variable que es contabilizada por otras variables en el conjunto de datos); tolerancia (1 - R cuadrado), es decir, la cantidad de variación en cada variable que no se incluye en las variables restantes; y el factor de inflación de la varianza: $VIF = 1 / (1 - R \text{ cuadrado})$, que, en un modelo lineal con estas variables como predictores, refleja el grado en que la varianza de un coeficiente de regresión estimado aumenta debido solo a las correlaciones entre las covariables. Además, puede calcular la multicolinealidad entre las variables ya incluidas en un modelo, a través del cálculo del factor de inflación de varianzas (VIF).

La función “VIF” del paquete R usdm también calcula el factor de inflación de la varianza (VIF) para un conjunto de variables y excluye las variables altamente correlacionadas.

Uso:

- `multicol(vars = NULL, model = NULL, reorder = TRUE)`
- `vifstep(x, th=10, ...)`

c. Análisis de correlación entre pares de variables

El análisis más común para las correlaciones de las variables, es a través de una matriz de correlación, que permite visualizar las variables estrechamente relacionadas. Se recomienda un nivel de correlación menor a 0.7 (Navarrete, 2019).

Uso:

- `cor(x, y, use="everything", method=c("pearson", "kendall", "spearman"))`

d. Criterio de información Bayesiana (BIC) y de Akaike (AIC)

Una de las herramientas estadísticas que más se usan en ecología son los indicadores de información. Estos permiten elegir (formalmente) entre una serie de modelos estadísticos que difieren en complejidad y en calidad de ajuste (o capacidad de explicar nuestros datos). Generalmente, cuanto más complejo es un modelo (porque tiene muchas variables, interacciones, etc.) mejor describirá el proceso que estamos analizando, pero si es demasiado complejo perderá generalidad (será muy bueno prediciendo los datos para los que está entrenado, pero nada más allá de eso).

La función “corSect” brinda los valores de estos indicadores. Esta función selecciona entre variables correlacionadas de dos en dos, basándose en su factor de inflación de la varianza (VIF) dentro del conjunto de datos de variables (obtenido con la función “multicol” y recalculado iterativamente después de cada exclusión de variable); o en su relación con la respuesta, construyendo un modelo bivariado de cada variable individual contra la respuesta y excluyendo, entre cada una de las dos variables correlacionadas, la que tiene el mayor (peor) valor p, AIC (Criterio de información de Akaike) o BIC (criterio de información bayesiano, también conocido como criterio de Schwarz), que calcula con la función FDR.

Uso:

- *corSelect(data, sp.cols = NULL, var.cols, cor.thresh = 0.7, select = "p.value", ...). Si el criterio "seleccionar" requiere evaluar relaciones bivariadas y se proporciona "sp.cols", la función usa solo las filas del conjunto de datos donde esta columna (usada como variable de respuesta) contiene valores finitos contra los cuales se pueden modelar las variables predictoras. Si no se proporciona "sp.cols", la función devuelve solo los pares de variables que están correlacionadas por encima del umbral dado.*

2.3.2 Datos biológicos

Una forma básica de obtener los registros de las especies; es decir, los datos de latitud y longitud en donde se ha registrado la presencia o ausencia de las especies, es generar información en terreno mediante GPS u otros tipos de herramienta de adquisición de datos, o recurriendo a las fuentes directas de información de especies, como son los museos o herbarios (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). También se puede consultar fuentes de información, como: la literatura especializada, las colecciones científicas, o poder obtener esta información de forma indirecta mediante el uso de bases de datos compiladas y disponibles en internet, entre las que destaca la base de datos de especies GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) (Mota *et al.*, 2019).

Existen tres enfoques básicos para el montaje y uso de datos para la modelización: (1) utilizar solo datos de presencia, (2) usar datos de presencia y ausencia cuando estén disponibles, (3) utilizar datos de presencia y pseudoausencia (4) usar datos de presencia y una muestra de background (entorno) (Graham *et al.*, 2004; Martínez-Meyer, 2005). Es común trabajar solo con datos presencias, debido a que existen programas con técnicas especialmente adaptadas para la utilización de pocos registros de presencia (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). En relación al número ideal de puntos de ocurrencia que se debería tener para generar modelos robustos, no existe una respuesta fácil a esta pregunta, ya que depende de la especie en cuestión, el número de variables geográficas, y de las técnicas que se quiere utilizar (Martínez-Meyer, 2005).

El buen desempeño de los modelos dependerá en gran medida de la calidad de los registros, siendo necesario hacer una revisión detallada y evitar el uso de aquellos datos erróneos o dudosos, producidos por errores geográficos (georreferenciación deficiente) o taxonómicos (identificación equivocada de la especie) (Mota *et al.*, 2019). Se sugiere revisar los registros originales, si es posible corregir los registros o eliminarlos, reubicar algunos registros válidos, eliminar todos aquellos registros duplicados o presentes en un mismo pixel (Martínez-Meyer, 2014). Puede existir un error contenido en los datos de presencia (E) que pueden confundir al modelo y producir errores de omisión. E es un importante componente para la calibración y evaluación de los modelos, pero su estimación es algo arbitraria (Martínez-Meyer, 2014).

2.4 PROCESO DEL MODELADO DE NICHOS

Actualmente, se ha propuesto un protocolo estándar que permite reportar la modelación de los nichos ecológicos y la distribución potencial de las especies. Así, se podrá contar con la información necesaria para replicar el ejercicio de modelación. Este protocolo estándar sigue los cinco pasos básicos de modelado (Figura 5): conceptualización (objetivo del modelado), datos (registros de las especies y las variables ambientales), calibración del modelo, evaluación del modelo, y predicción (Zurell *et al.*, 2020).

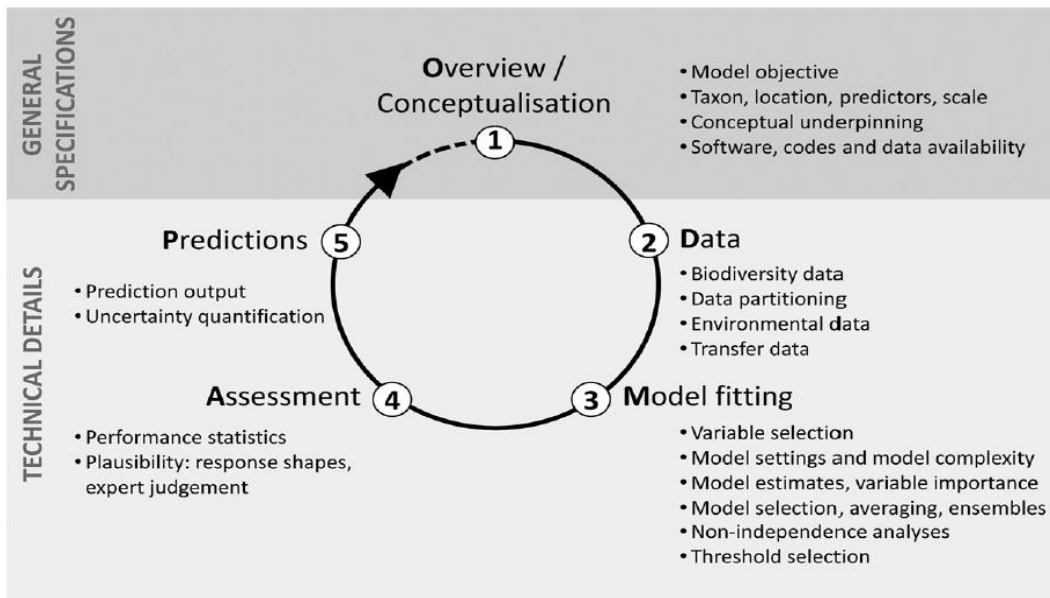


Figura 5: The five main modelling steps in the species distribution modelling cycle.

FUENTE: Zurell *et al.* (2020).

2.4.1 Calibración del modelo

La calibración del modelo se refiere a los análisis estadísticos asociados a buscar el ajuste del modelo que posteriormente se proyectará en el espacio (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Permite realizar la mejor representación posible del nicho ecológico de las especies, es decir, inferir las condiciones ambientales bajo las cuales la especie podría mantener sus poblaciones (Figura 6) (Martínez-Meyer, 2020). Una de las herramientas para analizar los resultados de los modelos son las superficies de respuestas, que son gráficos que muestran cómo se distribuyen las presencias sobre los valores de las variables descriptoras seleccionadas geográfico (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

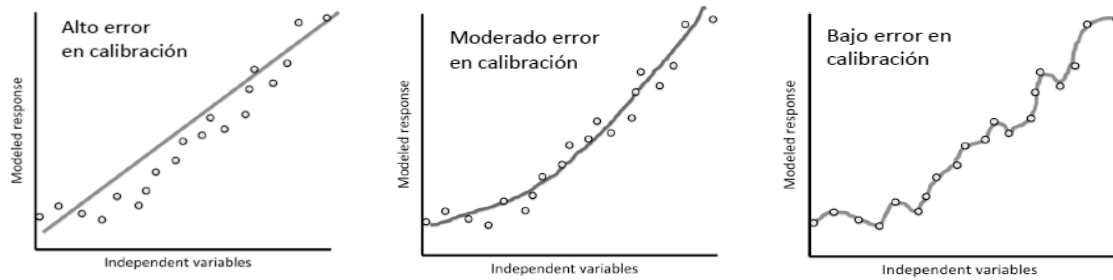


Figura 6: Calibración de los modelos a los datos. Alto error de calibración (A), moderado error en calibración (B), bajo error de calibración (C) pero sin valor predictivo.

FUENTE: Martínez-Meyer (2020).

2.4.2 Métodos o algoritmos de modelación

Los algoritmos de modelación son utilizados para reconstruir el nicho ecológico y/o las distribuciones geográficas de las especies, mediante la correlación de los registros de la especie con las condiciones ambientales. Se debe considerar que los algoritmos tienen diferentes aproximaciones matemáticas y estadísticas que les hace tener requerimientos específicos de entrada y de operación (Mota *et al.*, 2019). Cada algoritmo, utiliza un tipo de dato biológico para crear el modelo, ya sean datos de solo presencia, registros de presencia/ausencia, datos de presencia/pseudo-ausencias, o presencia/entorno (background).

A continuación, se presentan algunos algoritmos y el tipo de dato biológico que utilizan:

Tabla 2: Algunos algoritmos usados para el MNE y los MDE

Nombre	Algoritmo	Fuente	Datos Biológicos
BIOCLIM	Envolturas bioclimáticas	Busby (1991)	Presencias
ENFA	Análisis factorial del nicho ecológico	Hirzel <i>et al.</i> (2002)	Presencias
CONVEXHULL	Elipsoides de volumen	Guisan y Zimmermann, (2000)	Presencias
MVE	Elipsoides de volumen mínimo	Van Aelst y Rousseeuw (2009); Qiao <i>et al.</i> (2016)	Presencias
KDE	Estimación de la densidad de Kernell	Blonder <i>et al.</i> (2014)	Presencias
MA	Marble	Qiao <i>et al.</i> (2015b)	Presencias
DOMAIN	Distancia de Gower (disimilitud entre ambientes)	Carpenter <i>et al.</i> (1993)	Presencias
GARP	Algoritmos Genéticos	Stockwell y Peters (1999)	Presencias/Entorno
MAXENT	Máxima Entropía	Phillips <i>et al.</i> (2006)	Presencias/Entorno
BRT	Árboles de regresión impulsado	Elith <i>et al.</i> (2008)	Presencias/Pseudoausencias
GLM	Modelos lineales generalizados	McCullag y Nelder (1989); Guisan <i>et al.</i> (2002)	Presencias/Pseudoausencias
GAM	Modelos Aditivos Generalizados	Hastie y Tibshirani (1990); Guisan <i>et al.</i> (2002)	Presencias/ Pseudoausencias

FUENTE: Qiao *et al.* (2018).

Actualmente, el método de modelación más establecido en el mundo es MaxEnt (Phillips et al., 2006) que, usando un algoritmo de máxima entropía, logra resultados robustos en términos de la proyección espacial de la distribución, especialmente cuando se cuenta con pocos datos de presencias. Al comparar múltiples métodos de modelación a través de la curva ROC, se demostró que el mejor posicionado fue MaxEnt, cuya interfaz es sencilla y útil para la interpretación (Figura 7).

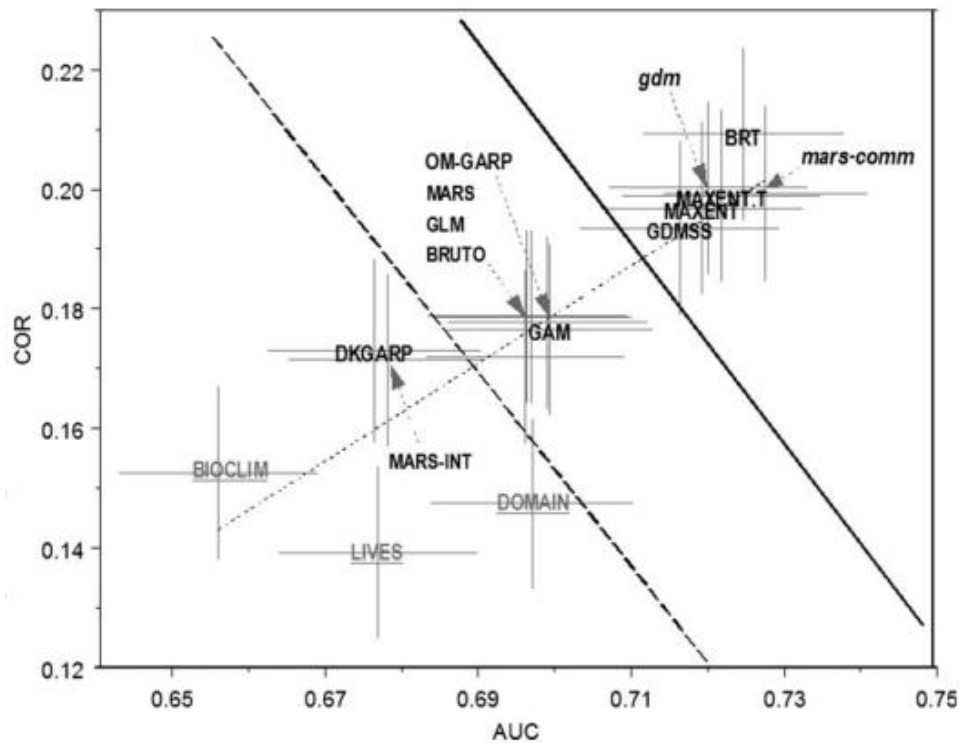


Figura 7: Mean AUC vs mean correlation (COR) for modelling methods, summarised across all species.

FUENTE: Elith *et al.* (2006).

Es importante considerar que no se ha encontrado evidencia de un solo mejor algoritmo para el desarrollo de modelos de nicho ecológico. Por ello, se recomienda comenzar estos estudios probando un conjunto de algoritmos para determinar la capacidad predictiva, en las circunstancias particulares del estudio, y elegir un algoritmo en función de los resultados de esas pruebas (Qiao *et al.*, 2015).

2.4.2.1 Algoritmo de modelamiento MaxEnt

MaxEnt como técnica de aprendizaje de máquina supervisado que combina estadística, máxima entropía y métodos bayesianos, estima las distribuciones de probabilidad de máxima entropía sujeto a restricciones dadas por la información ambiental (Phillips, Anderson y Schapire, 2006). La distribución de probabilidad desconocida, que se denota como π , está sobre un conjunto finito X (que luego se interpreta como el conjunto de píxeles en el área de estudio). Asimismo, se hace referencia a los elementos individuales de X como puntos. La distribución π asigna una probabilidad no negativa $\pi(x)$ a cada punto x , y estas probabilidades suman 1. La aproximación de π también es una distribución de probabilidad, y se denota como $\hat{\pi}$ (Phillips, Anderson y Schapire, 2006). La entropía de $\hat{\pi}$ se define como:

$$H(\hat{\pi}) = - \sum_{x \in X} \hat{\pi}(x) \ln \hat{\pi}(x)$$

Donde \ln es el logaritmo natural. La entropía no es negativa y es, como máximo, el logaritmo natural del número de elementos en X .

2.4.3 Evaluación del modelo

Una vez que se obtiene un modelo, es necesario evaluarlo, ya sea a través de su significancia estadística o bien a través de su desempeño, esto con la finalidad de determinar su confiabilidad, más que en la definición de uno como correcto o incorrecto (Mota *et al.*, 2019). Debido a que los objetivos de los proyectos de modelización varían, no existe un único mejor enfoque de evaluación (Peterson *et al.*, 2011).

La forma adecuada de evaluar el modelo sería comparándolo con un conjunto de presencias independientes al que se está usando (Mota *et al.*, 2019), por ello, se requiere dividir el conjunto de datos en dos sets: uno de calibración y otro de evaluación (Figura 8) (Araújo *et al.*, 2005). Se sugiere que, para esta validación, los datos sean independientes tanto espacial como temporalmente de aquellos que se usan para la calibración del modelo, o que al menos del conjunto total de datos de presencia, se use un porcentaje con una partición aleatoria simple, aunque ésta puede ser estructurada geográficamente o dirigida (Mota *et al.*, 2019).

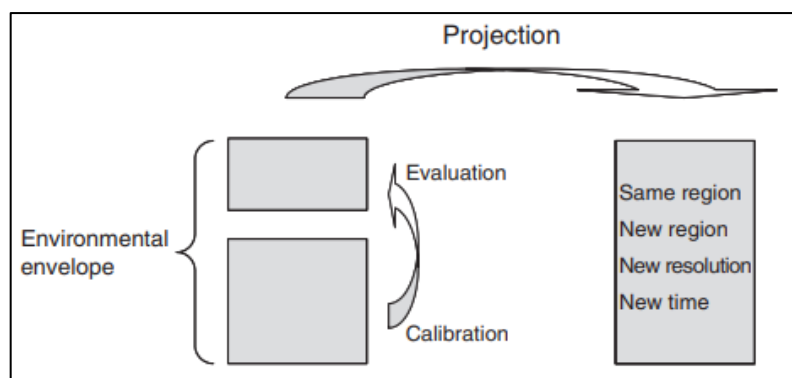


Figura 8: Species-climate envelope modelling framework- data splitting.

FUENTE: Araújo *et al.* (2005)

Existen dos estrategias para evaluar los modelos, una de estas evalúa el desempeño mediante pruebas que nos dicen el grado de ajuste del modelo a los datos de validación, como: la Sensibilidad (fracción de presencias predichas correctamente), la Especificidad (fracción de ausencias predichas correctamente), la Prevalencia (porcentaje del área predicha como presente), la Tasa de Clasificación Correcta (TCC), el índice de Kappa, las Estadísticas de Habilidades Verdaderas (TSS), entre otras (Mota *et al.*, 2019).

Estas métricas surgen de la matriz de confusión (Tabla 3 y 4), que mide las presencias y ausencias reales, así como los errores de comisión (fracción de ausencias predichas como presencias o falsos positivos) y omisión (fracción de presencias predichas como ausencia o falsos negativos) (Fielding y Bell, 1997. Mencionado por Mota *et al.*, 2019).

Tabla 3: Matriz de confusión

		Estado Actual	
		Presencia (+)	Ausencia (-)
Estado Predicho	Presencia (+)	a	b
	Ausencia (-)	c	d

FUENTE: Adaptado de Fielding y Bell (1997).

Tabla 4: Confusion matrix derived measures of classification accuracy

<i>Measure</i>	<i>Calculation</i>
<i>Prevalence</i>	$(a + c)/N$
<i>Overall diagnostic power</i>	$(b + d)/N$
<i>Correct classification rate</i>	$(a + d)/N$
<i>Sensitivity</i>	$a/(a + c)$
<i>Specificity</i>	$d/(b + d)$
<i>False positive rate</i>	$b/(b + d)$
<i>False negative rate</i>	$c/(a + c)$
<i>Positive predictive power (PPP)</i>	$a/(a + b)$
<i>Negative predictive power (NPP)</i>	$d/(c + d)$
<i>Misclassification rate</i>	$(b + c)/N$
<i>Odds-ratio</i>	$(ad)/(cb)$
<i>Kappa</i>	$[(a + d) - (((a + c)(a + b) + (b + d)(c + d))/N)] / [N - (((a + c)(a + b) + (b + d)(c + d))/N)]$
<i>NMI n(s)</i>	$[-a \cdot \ln(a) - b \cdot \ln(b) - c \cdot \ln(c) - d \cdot \ln(d) + (a + b) \cdot \ln(a + b) + (c + d) \cdot \ln(c + d)] / [N \cdot \ln N - ((a + c) \cdot \ln(a + c) + (b + d) \cdot \ln(b + d))]$

FUENTE: Fielding y Bell (1997).

Una segunda estrategia de evaluación consiste en obtener la significancia estadística de los modelos, donde se busca usar una prueba que nos diga cómo son los resultados de un modelo, con base en qué tanto se alejan de lo esperado al azar (Mota *et al.*, 2019). Las pruebas que corresponden a este tipo de evaluación son: la prueba binomial; la prueba de Jackknife (para muestras pequeñas, menores a 20 presencias) (Pearson *et al.*, 2007); la curva ROC (por las siglas en inglés del término *Receiver Operating Characteristic*), cuya área bajo la curva corresponde a la medida del AUC; la ROC parcial, entre otras (Mota *et al.*, 2019).

En cualquiera de los casos anteriores, dependiendo del tipo de salida del algoritmo utilizado, será necesario emplear técnicas de validación dependientes de un umbral o bien técnicas para evaluar modelos con salidas continuas (Mota *et al.*, 2019). En las técnicas diseñadas para su uso con predicciones binarias (mapas binarios /dependiente del umbral), un modelo de mapa de valores continuos de probabilidad de presencia debe ser reclasificado en forma binaria basado en un valor de corte o umbral (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011); valores sobre el umbral determinado, se estiman como presencia; y valores bajos, como ausencia de la entidad en estudio. La mayoría de las medidas de rendimiento para estos modelos se derivan de elementos de una matriz de confusión.

Por otro lado, en las técnicas diseñadas para predicciones no binarias (mapas continuos/independiente del umbral), no es necesario calcular un valor de corte o umbral, evaluándose la precisión del modelo sobre el mapa de valores continuos a través de todo el rango de posibles umbrales (Fielding y Bell, 1997. Mencionado por Lobo *et al.*, 2008). Esto se consigue con el AUC (Area under the curve ROC) (Hanley y McNeil, 1982. Mencionado por Lobo *et al.*, 2008).

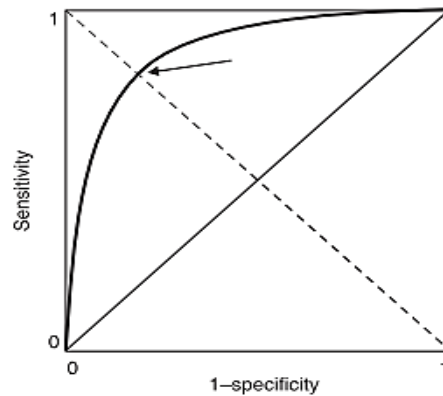


Figura 9: ROC plot in which an arrow shows the ‘most north-western’ point.

FUENTE: Lobo *et al.* (2008)

2.4.3.1 Desempeño predictivo de los modelos

Las curvas ROC (característica operativa del receptor, por sus siglas en inglés) grafican la relación entre la proporción de sensibilidad del modelo (presencias correctamente clasificadas de acuerdo a las ocurrencias de comprobación) en el eje “y”, con la proporción de errores de comisión (ausencias erróneamente predichas como presencias) en el eje “x”. El resultado es el estadístico AUC (Area Under the Curve) (Figura 10), es decir, la probabilidad de que, escogiendo aleatoriamente una presencia o una ausencia, el modelo otorgue al positivo un mayor valor. Un valor de AUC de 0,5 indica que el modelo no tiene capacidad discriminante, mientras que un valor de 1 indica que el modelo tiene máxima capacidad discriminante. En general, se asume que un modelo con buena capacidad discriminante tiene un AUC por encima de 0,80, si bien debemos calibrar el verdadero significado de este parámetro, pues también depende de la representatividad del dominio ambiental (Jiménez-Valverde *et al.*, 2013).

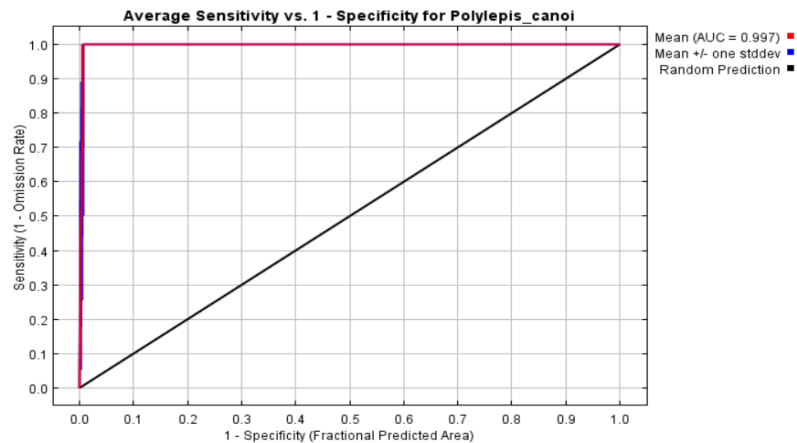


Figura 10: Matriz ROC del modelo de distribución

2.4.4 Predicción y proyección espacial

El paso final en la generación de un modelo de distribución, es la proyección en el espacio geográfico del modelo que ha sido calibrado y evaluado. En este paso los valores continuos de probabilidad, o los valores binarios obtenidos de un umbral, son transferidos al espacio geográfico, por lo que se pueden representar en forma cartográfica (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). El modelado de distribución también puede desarrollar proyecciones a escenarios futuros o pasados (Martínez-Meyer, 2005), utilizando variables ambientales que correspondan a los tiempos que se quieran analizar.

2.5 FORTALEZAS Y LIMITACIONES DEL MODELADO DE NICHOS

Se define como fortalezas del MNE: (1) caracteriza los requisitos ambientales de especies por medio de asociar la distribución geográfica conocida con los datos de su ambiente, (2) potencializa el uso de registros geográficos de especies modelando distribuciones potenciales con pocos registros de presencia, (3) genera hipótesis geográficas sobre la distribución presente, pasada y futura de las especies. Como limitaciones se señala: (1) la cantidad y la calidad de los datos biológicos (2) variables ambientales deficientes para ciertas regiones del planeta o para otras escalas (Mota *et al.*, 2019), (3) no incorporar otros procesos importantes como barreras geográficas, capacidad de dispersión, interacciones bióticas, procesos históricos (Londoño, 2012). En cada uno de los procesos del modelado de nicho, se requiere tomar decisiones que van a repercutir en el modelo resultante.

2.6 ANTECEDENTES SOBRE ESTUDIOS DE MNE Y MDE EN EL GÉNERO

Polylepis

Hasta la actualidad, se cuenta con estudios sobre la aplicación de los MNE y MDE en el género *Polylepis*, los cuales servirán como base metodológica para futuras investigaciones.

Se desarrollaron modelos de distribución para mejorar las estrategias de conservación en las especies *P. sericea* y *P. weberbaueri*, desde Venezuela hasta Bolivia (Zutta *et al.*, 2012); mediante el uso del programa MaxEnt y de las imágenes satelitales, se determinó que los factores más importantes para su distribución fueron los metros de elevación y la temperatura (Zutta *et al.*, 2012). En las montañas de Argentina, se realizó la distribución de cinco especies del género *Polylepis*: *P. tarapacana*, *P. tomentella*, *P. australis*, *P. crista-galli*, y *P. hieronymi*; lo cual permitió estudiar sus estados de conservación y amenazas; se usó el programa MaxEnt y, además de utilizar las variables climáticas, se utilizaron variables topográficas, índices de aridez y evapotranspiración (Renison *et al.*, 2013). En Colombia, también se modeló la distribución potencial en *P. quadrijuga*, *P. sericea* y *P. incana*, identificándose oportunidades de conservación en áreas protegidas a escala nacional, regional y local (Fajardo, Infante y Cabrera, 2018).

En los Andes peruanos, se desarrolló una propuesta metodológica para la cartografía de bosques del género *Polylepis*, utilizándose diferentes algoritmos de modelamiento (Bioclim, Domain, Garp y MaxEnt) y la interpretación de imágenes satelitales, donde se obtuvieron mejores resultados con el algoritmo *maxent* (Mejía, 2014). Se realizaron modelamientos futuro en las especies *P. weberbaueri*, *P. sericea*, *P. incana* y *P. racemosa* (Flores, 2017). Para la especie *P. racemosa*, se obtuvo un modelo considerado como de alta predictibilidad, utilizándose MaxEnt, con parámetros de configuración distintos a los que el algoritmo otorga por defecto, donde la precipitación en el periodo más seco y la isothermalidad fueron las variables que tuvieron mayor aporte al modelo (Navarrete, 2019). Recientemente, se ha desarrollado el modelamiento de nicho para entender los requerimientos ecológicos y estimar las coberturas actuales de *P. albicans* y *P. weberbaueri*, especies nativas de este género halladas en simpatría dentro del Parque Nacional Huascarán (Sevillano-Ríos y Morales, 2021).

Además de realizar estudios sobre la distribución actual de estas especies, se empezaron a incluir escenarios de cambio climático, como es el caso de *P. tarapacana*; los resultados sugieren que a finales del siglo XXI, habrá una reducción significativa (56%) en la hábitat potencial para esta especie debido a las condiciones más áridas (Cuyckens *et al.*, 2016). Este tipo de estudio también fue realizado dentro de una Cuenca del río Paute, Ecuador, para la toma de decisiones relacionadas con la conservación de los recursos (Mejía *et al.*, 2018).

2.7 DISTRIBUCIONES DE LAS ESPECIES DE *Polylepis*

2.7.1 Distribuciones naturales supuestas según su edad evolutiva

Se estableció una distribución de las especies de acuerdo a su edad evolutiva, propuesta por Fjeldså y Kessler (2004), donde señalan que la evolución de estas especies se encuentran en función a su desarrollo. Así, las especies más primitivas de *Polylepis* que se encuentran hoy, son elementos de los bosques húmedos de Ceja de Selva (Yungas), con una distribución disyunta a lo largo de las laderas húmedas andinas, por lo cual no se determina el origen geográfico de los *Polylepis*, excepto que fue en los bosques montanos húmedos más que en la zona de la puna. Estas especies se caracterizan por poseer una corteza bastante delgada, hojas grandes con varios folíolos y una larga inflorescencia con numerosas flores.

Por otro lado, las especies más evolutivas de *Polylepis* redujeron el número de folíolos y flores, las hojas se tornaron más gruesas y a menudo con una densa cubierta protectora de resina o pelos lanosos, y el tamaño de estos árboles disminuyó. Estas adaptaciones permitirían la colonización de hábitats andinos con ambientes rigurosos y fríos de altas elevaciones, donde las hojas más pequeñas y más gruesas son menos afectadas por las heladas y donde las inflorescencias pequeñas están mejor protegidas. Especies de mediana edad son encontradas principalmente en las cordilleras de Ecuador y Perú. Las especies más jóvenes (especializadas) están mejor representadas en Perú y Bolivia, en las cordilleras altas y dentro de la zona de la puna, incluyendo las partes muy secas (Figura 11). Por medio de estos cambios evolutivos, diferentes especies de *Polylepis* se adaptaron a diferentes zonas ecológicas, algo que debe considerarse al planificar programas de reforestación.

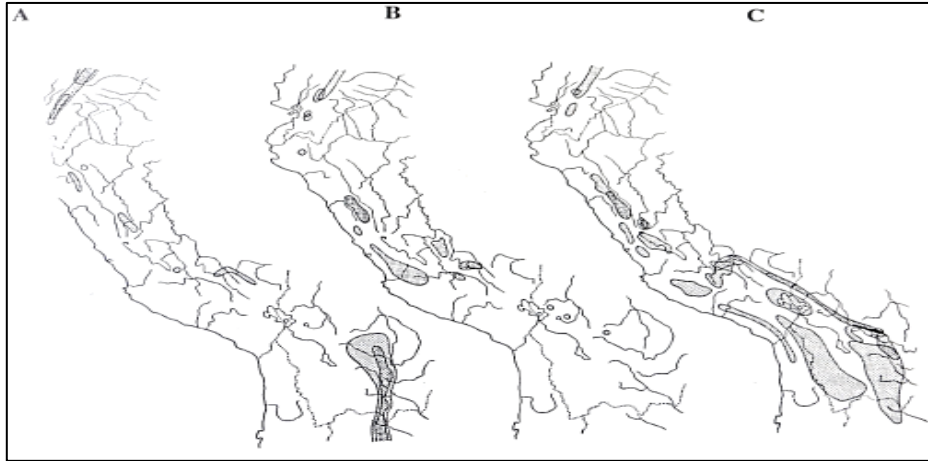


Figura 11: Distribuciones naturales supuestas de especies de *Polylepis* evolutivamente antiguas (“primitivas”) (A), de mediana edad (B) y jóvenes (especializados) (C).

FUENTE: Fjeldså y Kessler (2004)

Pocas especies de *Polylepis* son únicas a un área particular (endémicos), y es más típico que especies de *Polylepis* ocurran en dos o tres áreas separadas (distribuciones disyuntivas), indicando que alguna vez estuvieron distribuidas continuamente y sobreviven solamente en ciertos lugares bajo las condiciones actuales. El área muy rica en especies cerca de Cusco tiene algunos paisajes muy complejos, con muchas zonas ecológicas diferentes dentro de un área pequeña. Sin embargo, muchas áreas en el centro este de Perú y en los Yungas de Bolivia, son también complejas, pero tienen pocas especies. Es difícil explicar estos patrones en términos de climas y paisajes actuales.

2.7.2 Límites ecológicos naturales para la distribución

Especies “primitivas” de *Polylepis* están usualmente mezcladas en la parte superior del hábitat de “Ceja de Selva”, adyacente al páramo y zonas de jalca (páramo húmedo). En la zona de la puna, por otro lado, especies más especializadas de *Polylepis* pueden formar manchones bien definidos alejados de otros hábitats de bosques. Los bosques de *Polylepis* tienen límites ecológicos donde son reemplazados por matorrales o tipos de vegetación de pastos, pero estos límites son difícilmente visibles debido al efecto de las actividades humanas. El límite altitudinal superior de los bosques de *Polylepis* varía grandemente desde los 3900 m.s.n.m. en las pendientes orientales andinas húmedas y en el sudeste de Bolivia a más de 5000 m.s.n.m. en la cordillera occidental. La altitud de estos límites está

determinada por una combinación de temperaturas bajas, probablemente sobre todo del suelo, y por la insolación solar. En áreas áridas con menos nubes y más sol, los suelos reciben más radiación directa y los árboles pueden hacer más fotosíntesis y fijar más energía. Como resultado, las líneas de árboles más bajas son encontradas en lugares húmedos y con neblina, y las más altas sobre el altiplano soleado (hasta que este se vuelve tan seco que los árboles no pueden sobrevivir).

Por debajo de este límite superior y por encima del límite de otros tipos de bosques, los bosques de *Polylepis* pueden crecer casi en cualquier pendiente de montaña. Los valles inclinados angostos y los barrancos son sitios preferidos debido a que brindan refugio a los árboles y no tiene agua estancada o aire frío.

2.8 ESPECIES ENFOCADAS

Según la clasificación taxonómica de Boza y Kessler (2022), *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii* pertenecen a la sección *Sericea*, sub secciones *Sericea* y *Pepei*, respectivamente. Ambas especies pueden conformar bosques simpátricos (Ames *et al.*, 2019), identificándose fácilmente debido a sus notables diferencias morfológicas.

En el análisis de los nichos climáticos de las especies que conforman la sección *Sericea*, donde se evaluó la temperatura y precipitación media anual, se observó que muchas de estas especies difieren notablemente de sus nichos climáticos. *P. rodolfo-vasquezii* crece en condiciones más frías (alrededor de 5.5 °C de temperatura media anual), mientras que *P. canoi* es una de las especies que crece en condiciones más húmedas (1572 mm) (Boza y Kessler, 2022).

2.8.1 *Polylepis canoi* W. Mendoza

Esta especie fue descrita inicialmente para Perú, con un rango de distribución altitudinal que va entre los 3350 a 3400 msnm, en la cordillera Vilcabamba, de las provincias de Satipo (Junín) y La Convención (Cusco) (Mendoza, 2005). Posteriormente, en la región Junín, se encontró a la especie en las comunidades de Curimarca (Jauja), Nahuin (Tarma), Santa Rosa de Toldopampa (Satipo) y en Callanca (Huancayo), con rangos de elevación que van desde

los 3400 a 4000 msnm (Ames *et al.*, 2019). Asimismo, se tienen registros en el departamento de Ayacucho en los distritos del Tambo y Santa Rosa entre los 3500 a 4000 msnm (ECOAN, 2007), y en el departamento de Puno, distrito de Limbani (Boza y Kessler, 2022). En la actualidad, se sabe que no es una especie endémica, sino que se distribuye hasta Cochabamba, Bolivia (Boza, Quispe-Melgar y Kessler, 2019).

Son árboles de 4-15 m de alto; tallo retorcido con ritidomas marrones rojizos, que se desprenden en pedazos largos (Figura 12). Hojas congestionadas en el extremo de las ramas; pecíolo 2.5-2.9 cm de longitud con pubescencia lanosa densa; hojas 8-9 x 5.5-7 cm, con (2) - 3 - (4) pares de folíolos, lanceolados, 3-4 x 0.8-1.2 cm, base desigualmente cordada a ligeramente truncada, ápice ligeramente emarginado, margen entero o ligeramente aserrado, envés con pubescencia seríceo densa blanca o marrón, haz con tricomas dispersos. Inflorescencia racimo simple, de 9 cm de longitud, con 6-7 flores. Hipantio en fruto 0.5- 0.6 x 0.3-0.4 cm incluyendo espinas, ligeramente romboide, seríceos con espinas pequeñas planas (Mendoza, 2005).



Figura 12: *Polylepis canoi* W. Mendoza. Hojas compuestas e inflorescencias (A). Fuste con ritidoma papiráceo (B)

FUENTE: Ames *et al.* (2019)

Estos bosques presentan en promedio niveles altos de precipitación media anual (1474 mm) y temperatura media anual (7.3 ° C). Las áreas se caracterizan por una vegetación abierta y arbustiva compuesta por *Buddleja*, *Gynoxys*, *Miconia* y rodales dispersos de *Polylepis* rodeados de pastos de Puna. Se evidencian actividades humanas que impactan negativamente a estos bosques, como la quema, sobrepastoreo, extracción de turba y técnicas agrícolas inapropiadas (Camel *et al.*, 2019).

2.8.2 *Polylepis rodolfo-vasquezii* L. Valenz. & Villalba

P. rodolfo-vasquezii es una especie endémica del Perú, descrita inicialmente en la comunidad de Santa Rosa de Toldopamba, en el Bosque Protector de Pui-Pui, Junín (Valenzuela y Villalba, 2015). Son árboles de hasta 10 m. de altura, con troncos retorcidos y ritidoma corto de color marrón blanquecino a marrón rojizo (Figura 13). Hojas compuestas alternas e imparipinnadas, agrupadas hacia los extremos de las ramas dispuestas en grupos de tres, trifoliadas, de 20 mm de largo; folíolos sésiles y articulados al pecíolo, elípticos, 11-12 x 4.8-5 mm, ápice emarginado. Inflorescencias axilares, una para cada hoja, de 1 flor. Flores de 17 mm de largo. Frutos en aquenios 6 x 3 mm, indehiscente, con una sola semilla (Valenzuela y Villalba, 2015).

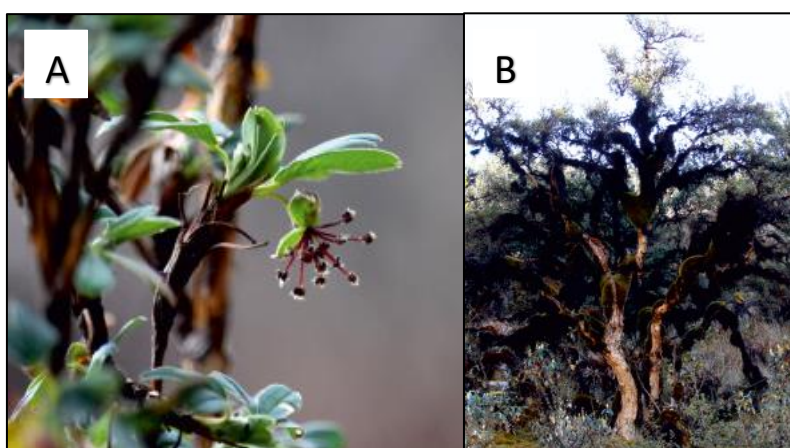


Figura 13: *Polylepis rodolfo-vasquezii* L. Valenz. & Villalba. Hojas trifoliadas, flor axilar (A). Fuste con ritidoma papiráceo (B)

FUENTE: Ames *et al.* (2019)

En la región Junín, estos bosques también se localizan en las comunidades de Pomamanta (Comas - Concepción), Alhuanya (Andamarca - Concepción) y Callanca (Santo Domingo de Acobamba - Huancayo), desde los 3800 a 4500 m.s.n.m (Ames *et al.*, 2019). En la comunidad de Pomamanta, se tienen registros de una precipitación media anual de 1260 mm y una temperatura media anual de 5.3 °C. Esta área se caracteriza por tener muchos afloramientos rocosos y pastizales (Camel *et al.*, 2019). Conforman bosques simpátricos con *Polylepis canoi* en Curimarca (Jauja) (Ames *et al.*, 2019). *P. rodolfo-vasquezii* también fue registrada en los departamentos de San Martín, Huancavelica, Cusco y Puno (Boza y Kessler, 2022).

2.9 CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LOS BOSQUES DE QUEÑUALES

2.9.1 Contexto actual para la restauración de bosques de *Polylepis*

Actualmente, los bosques por encima de los 3 000 m.s.n.m son muy escasos en los Andes y entre ellos predominan eucaliptos, pinos y cipreses. Los bosques de *Polylepis* se presentan raramente y están restringidos a ciertos lugares, como laderas rocosas o quebradas de difícil acceso, en parches de distintos tamaños y densidades (Zapata, Dourojeanni y Gagliardi, 2012). Estos ecosistemas son cada vez más vulnerables debido a la presión antropogénica que acentúa el proceso de fragmentación y degradación de estos bosques, a causa de actividades, como: tala y extracción de leña, el reemplazo o la invasión por especies exóticas, cambio de uso de la tierra, extracción inapropiada de recursos no maderables, la actividad minera, la expansión de carreteras y las prácticas ganaderas (Cuyckens y Renison, 2018; Ames *et al.*, 2019). Entre las prácticas ganaderas se encuentran la quema para estimular el rebrote de los pastos, el ramoneo directo y el pisoteo por el ganado doméstico (Cuyckens y Renison, 2018).

Asimismo, el cambio climático se está convirtiendo en una amenaza creciente para la biodiversidad de los bosques de *Polylepis*. Esta preocupación es común entre los sectores académicos y practicantes, quienes buscan conocer el posible impacto que tendrá el cambio climático sobre la distribución y la conservación de los bosques de *Polylepis*, así como sus efectos sobre las áreas ya reforestadas (Morales *et al.*, 2018). Los métodos para la delimitación, establecimiento y manejo de áreas protegidas deben considerar la distribución futura de la especie en respuesta a las condiciones climáticas futuras (Cuyckens *et al.*, 2016).

Los bosques de las especies *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii*, se encuentran localizados en los pajonales de puna húmeda o jalca (norte de Perú), muy cercanos a los bosques altimontanos pluviales de las yungas; se cuenta con un estudio que aborda las principales implicaciones del cambio climático sobre estos Bosques Montanos de los Andes, pero hasta el momento no ha sido posible contar con datos comparables a escala andina que permitan analizar integralmente su diversidad, su estado de conservación y su vulnerabilidad a los cambios globales (Cuesta, Peralvo y Valarezo, 2009). Se realizó un análisis de la vulnerabilidad de estos bosques de montaña a los efectos del cambio climático, utilizando

modelos de nicho para los años 2020 y 2050, donde los rangos del porcentaje de pérdida entre el escenario más tenue y el más drástico oscilan entre 13% (CCCMA B2) y 21% (HADCM3 A2) para los bosques pluviales (Cuesta, Peralvo y Valarezo, 2009).

Los principales sectores que pudieran tener importantes pérdidas potenciales de bosques montanos, se concentran en las áreas protegidas de la vertiente amazónica de la Cordillera Oriental. Los bosques montanos de los Andes tienen una importancia global por ser reservorios de biodiversidad y por sus excepcionales funciones de regulación hídrica y mantenimiento de una alta calidad del agua (Bubb *et al.*, 2004. Mencionado por Cuesta, Peralvo y Valarezo, 2009). Específicamente, los bosques montanos pluviales (subandinos, andinos y altoandinos) presentan una dinámica hídrica poco convencional (Bruijnzeel, 2001. Mencionado por Cuesta, Peralvo y Valarezo, 2009), donde la niebla y la lluvia, que es transportada por el viento, se convierten en un aporte adicional de agua al sistema (Tobón y Arroyave, 2007. Mencionado por Cuesta, Peralvo y Valarezo, 2009).

Dentro del marco de oportunidades de restauración en la región Sierra del Perú, se identificaron el uso de los sistemas agroforestales en tierras agrícolas, la instalación de sistemas silvopastoriles en la restauración de pastizales, el enriquecimiento con especies nativas y la regeneración natural en tierras que tenían cobertura forestal nativa originalmente o en tierras altoandinas de escasa vegetación (Mamani *et al.*, 2019). Asimismo, se encuentra el establecimiento y restauración de bosques en tierras muy empinadas para la protección de cuencas hidrográficas y control de la erosión (Sabogal, Besacier y McGuire, 2015).

Los proyectos de restauración varían en costos y financiamiento desde pequeños proyectos con bajo presupuesto, que dependen del apoyo de comunidades locales o voluntarios hasta grandes proyectos, financiados por compañías privadas que implementan propagación y manejo tecnificado de las plantaciones (Morales *et al.*, 2018).

2.9.2 Marco normativo para la restauración de ecosistemas andinos

El concepto de restauración de bosques y paisajes se basa en enfoques intersectoriales exhaustivos referidos a múltiples áreas de acción: evaluación de la degradación de los paisajes y oportunidades para su restauración; tecnologías y métodos para el uso sostenible de la tierra; inversiones del sector privado; aplicar mecanismos de financiación nacionales y locales; desarrollo de capacidades, extensión y diseminación de las buenas prácticas de restauración, y necesidades en materia de investigación. También se incluyen la importancia de un entorno normativo propicio (políticas, reglamentación y leyes promulgadas por diferentes sectores), el marco institucional (identificar los sectores del uso de la tierra y las partes interesadas en la restauración de paisajes forestales degradados), y gobernanza (evaluar las cuestiones relacionadas con la tenencia, el derecho al uso de los recursos naturales, la comunidad rural y su involucramiento) (Sabogal, Besacier y McGuire, 2015). El objetivo es asegurar que las diferentes áreas de acción estén concatenadas y asegurar la sostenibilidad y duración de un proyecto de restauración de paisajes forestales.

La restauración es definida como la acción intencional de asistir en la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, relativo a un estado de referencia que contiene los grupos funcionales y la estructura necesarios para persistir a largo plazo (Murcia *et al.*, 2017). Debido a lo que la restauración representa en términos de mecanismo de mitigación de cambio climático y pérdida de biodiversidad, este ha trascendido muy rápidamente hacia las esferas de los tomadores de decisiones. En los Objetivos para el Desarrollo Sostenible y en las Conferencias de las Partes (COP), los bosques andinos han cobrado interés como objeto de esfuerzos mancomunados para su conservación y recuperación, debido a los servicios ecosistémicos que proporciona (Programa Bosques Andinos, 2021).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) plantea la propuesta llamada el Desafío de Bonn, que se dio inicio junto con el Gobierno de Alemania en el año 2011. Esta iniciativa estableció como meta global la restauración de 150 millones de hectáreas para el año 2020 y de 350 millones de hectáreas para el año 2030 (Murcia *et al.*, 2017). Esto permitiría mejorar la seguridad alimentaria e hídrica de millones de personas, además de contribuir a cumplir los compromisos internacionales en materia de cambio

climático, biodiversidad, degradación del suelo y; como consecuencia lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (UICN, 2022).

En el 2011, Perú aprobó una nueva Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ley N°29763), según el artículo 73 el Estado reconoce la vulnerabilidad de los ecosistemas de bosques andinos frente a los efectos del cambio climático, por lo que se promueve las actividades de investigación y reforestación con fines de restauración ecológica, o forestación en dichas zonas, orientadas a restaurar el ecosistema natural empleando especies nativas del lugar (El Peruano, 2011). Acorde a la legislación forestal, se promueven iniciativas que contribuyen en el cumplimiento de los compromisos y acuerdos internacionales, tales como: Iniciativa 20x20, Convención sobre Diversidad Biológica, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; en el actual contexto global del Decenio de la Restauración.

El Ministerio de Desarrollo Agrario (MIDAGRI) en colaboración con el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) han propuesto la Estrategia Nacional de Restauración de Ecosistemas y Tierras Forestales Degradadas (ProREST). El ProREST propone un horizonte de implementación de 10 años, con una visión al 2030. Que involucrando tres niveles de gobierno: sociedad civil, y empresas públicas y privadas, se cuente con ecosistemas de tierras forestales en proceso de restauración para que generen bienes y servicios ecosistémicos con enfoque de paisajes de tal forma que se reduzcan los riesgos ante los efectos del cambio climático. Como meta general, al año 2030, se deberá alcanzar al menos el 15% de la reducción de la brecha nacional; tal como lo plantea la meta 15 de Aichi (Gavilán *et al.*, 2011). Esto significa la restauración de más de 330 mil hectáreas de ecosistemas y tierras forestales con inversión pública, privada y financiamiento de cooperación internacional (MIDAGRI y SERFOR, 2021).

2.9.3 Criterios para identificar las áreas de restauración

Durante los años 2017 y 2018 el SERFOR, a través de la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal, lideró el proceso de Mapeo de áreas prioritarias para la restauración aplicando la metodología ROAM en cada uno de los departamentos de Perú. La Metodología de Evaluación de oportunidades de restauración (ROAM por sus siglas en inglés) es una

herramienta para planificar la restauración del paisaje, ayuda a las regiones a conducir evaluaciones del potencial de restauración, canalizar inversiones para restauración y desarrollo de estrategias de restauración del Paisaje (MIDAGRI y SERFOR, 2021). Según este estudio, la superficie total prioritaria para restauración a nivel nacional es de 8.2 millones de hectáreas aproximadamente, de los cuales más de la mitad se concentran en la Sierra, con algo más de 5 millones de hectáreas (Mamani *et al.*, 2019).

Para la identificación de estos sitios prioritarios y evaluación de oportunidades para la restauración de paisajes en el Perú (Mamani *et al.*, 2019), se utilizaron algunos criterios que presentan disponibilidad de información espacial, siendo las variables que más se repitieron: la susceptibilidad a deslizamientos asociado a la fisiografía (pendientes), esta variable apareció en 23 de los 24 departamentos (96%); la cercanía a objetos estratégicos como las áreas protegidas, los centros poblados y cuerpos de agua, aparecieron entre el 83 y 88% de las 24 regiones analizadas. Asimismo, entre los resultados negativos asociados al mal uso del paisaje se encuentra la erosión de las tierras debido al establecimiento de sistemas agropecuarios en laderas, la degradación de los suelos por minería, y la disminución en la calidad y cantidad del agua (Mamani *et al.*, 2019).

Evaluar e identificar el estado de conservación de los bosques de *Polylepis*, también tienen implicancia en los trabajos de conservación y restauración (Ames, Quispe-Melgar y Renison, 2021). En Bolivia, se desarrolló un método para clasificar el estado de conservación de las poblaciones de estas especies a una escala menor que el enfoque de la UICN, donde se utilizaron criterios biogeográficos, bioclimáticos, ecológicos y florísticos, e incluyeron una caracterización de la avifauna y una estimación del estado general de conservación (Ames, Quispe-Melgar y Renison, 2021; Navarro *et al.*, 2010). Entre estos criterios se estableció que los bosques con deforestación de baja a media, son los que se encuentran accesibles por carreteras, muy utilizados y situados en zonas con alta a muy alta densidad poblacional, ganadería extensiva de media a alta carga, extracción alta a intensa de leña, y quemadas habituales (Navarro *et al.*, 2010). Evaluando la proximidad de los bosques a las vías de acceso principales y secundarias, así como la distancia a las poblaciones humanas, se consideró como distancias muy cortas hasta los 5 km (Ames, Quispe-Melgar y Renison, 2021).

2.9.4 Oportunidades de restauración para el control de la erosión

Dentro de los objetivos de los proyectos de restauración de los bosques de *Polylepis* se incluye la reducción de la erosión y la compactación para la conservación de suelos (Morales *et al.*, 2018). La erosión, es entendida como la remoción, transporte y deposición de partículas de suelo, materia orgánica y nutrientes soluble, presentándose con diversos grados de intensidad (Sabino, Felipe y Lavado, 2017).

Los principales agentes que intervienen en el proceso de la erosión son: el agua y el viento, cuando el agente causal es el agua, la erosión se denomina hídrica, mientras que cuando el agente causal es el viento, se denomina eólica. La erosión hídrica es un proceso complejo de preparación y separación del material en partículas individuales (arcilla, limo y arena) y pequeños agregados por acción del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo. Las partículas desprendidas son arrastradas pendientes abajo por el escurrimiento superficial, lo cual produce, a su vez, el desprendimiento de nuevo material (Gaitán *et al.*, 2017).

La erosión hídrica es un proceso de pérdida de suelo que afecta a toda la sierra peruana, debido a sus condiciones semiáridas, las elevadas pendientes, uso de prácticas agrícolas inadecuadas, la escasa cobertura vegetal debido a la deforestación, creciente presión demográfica por el uso del suelo, sobrepastoreo, y presencia de lluvias esporádicas de alta intensidad (Vásquez y Tapia, 2011). La erosión de los suelos es uno de los procesos más dinámicos en el desarrollo del paisaje. Es el proceso responsable de la degradación de suelos, de la reducción del nivel de fertilidad y de la productividad (Sabino, Felipe y Lavado, 2017). De acuerdo a la clase de erosión hídrica potencial, según la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), un grado de erosión leve comprende hasta las 10 ton/ha/año, la erosión moderada entre 10 a 50 ton/ha/año, alta de 50 a 200 ton/ha/año, y el grado de erosión muy alta tiene valores mayores a 200 ton/ha/año (FAO, 1980. Mencionado por Gaitán *et al.*, 2017).

La pérdida promedio del suelo por erosión hídrica en las laderas de la sierra peruana es sumamente alta, del orden de los 45 ton/ha/año, que representa una lámina de pérdida suelo de 3.20 mm/año, para pendientes de ladera entre los 18 al 40 % (Vásquez y Tapia, 2011). Esta problemática también puede visualizarse en el atlas de erosión de suelos por regiones

hidrológicas del Perú, donde se cuantifica la tasa de pérdidas de suelos por erosión hídrica a nivel nacional con énfasis en las regiones hidrológicas, teniendo en cuenta que la deposición de los materiales erosionados puede obstruir los caminos o colmatar los cursos de agua y en consecuencia el sedimento puede dañar hábitats acuáticos y degradar la calidad del agua en corrientes, los ríos, y los lagos (Sabino, Felipe y Lavado, 2017).

La metodología utilizada en la elaboración del atlas de erosión para estimar la pérdida de suelo está basada en el modelo de la “Universal Soil Loss Equation”, USLE, la cual considera en su análisis que el proceso erosivo de un área es el resultado de la interacción de factores naturales (lluvia, suelo y topografía) y del impacto de factores influenciados por el hombre directamente (uso y manejo de la tierra) (Gaitán *et al.*, 2017).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El modelado de distribución para ambas especies se desarrolló en todo el territorio continental del Perú. La extensión de las capas ambientales en coordenadas geográficas es de: Latitud 0°00'S hasta 20°00'S, y longitud 65°00'O hasta 85°00'O. Estos límites, incluyeron todas las localidades donde se tienen registros de las presencias para ambas especies. En la Figura 14, se observa que *P. rodolfo-vasquezii* posee registros solo en el territorio peruano, mientras que *P. canoi* se distribuye hasta los Andes de Bolivia.

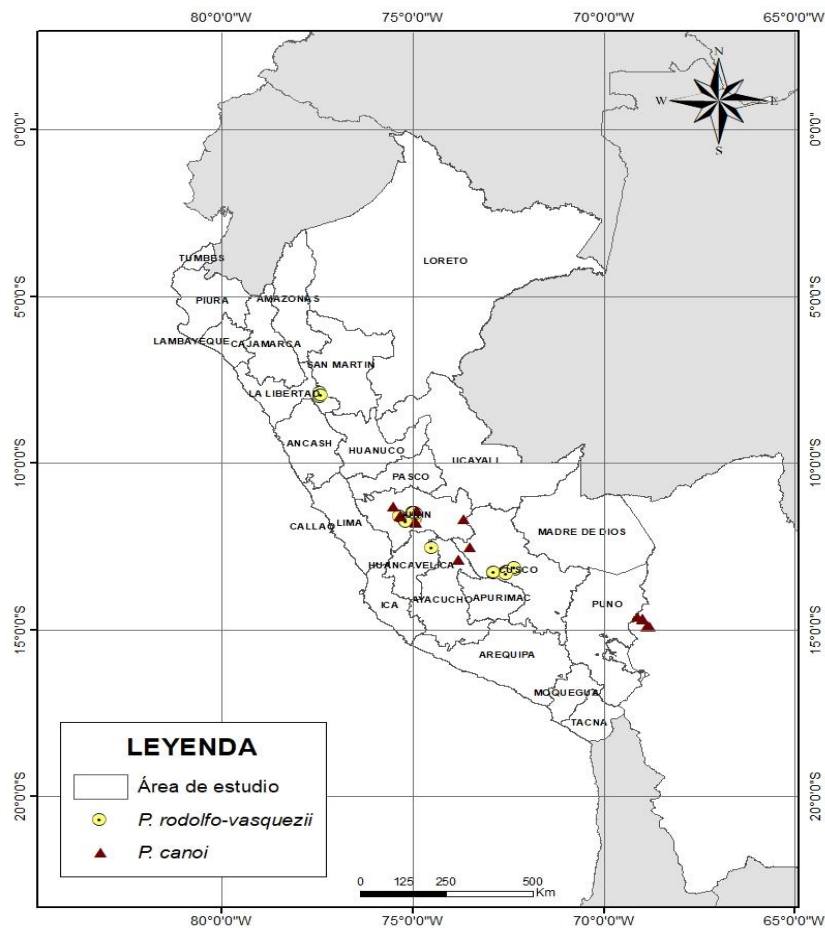


Figura 14: Puntos de presencia de las especies *Polylepis canoi* y *Polylepis rodolfo-vasquezii*.

Por otra parte, en la identificación de los sitios de restauración, el área de estudio abarcó principalmente la región altoandina del Perú, tomando como base los mapas de distribución potencial obtenidos en el modelamiento. Esta área se encuentra definida desde los 3300 hasta los 4500 m.s.n.m. Se eligió trabajar con este rango altitudinal ya que considera los límites mínimos y máximos aproximados de distribución de las especies, para *P. rodolfo-vasquezii* entre los 3800 a 4500 m.s.n.m. (Valenzuela y Villalba, 2015; Ames *et al.*, 2019), y para *P. canoi* entre los 3350 a 4000 m.s.n.m. (Mendoza, 2005; Ames *et al.*, 2019).

3.1.1 Descripción del área de estudio

a. Tipos de ecosistemas

Según el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú, los bosques de las especies *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii*, se encuentran en los pajonales de puna húmeda o jalca (norte de Perú), muy cercanos a los bosques altimontanos pluviales de las yungas (Figura 15). Se tienen registros que estas dos especies conforman bosques simpátricos en la localidad de Curimarca, *P. canoi* y *P. argentea* en Callanca y, *P. rodolfo vasquezii* y *P. argentea* en la localidad de Alhuanya (Ames *et al.*, 2019; Boza, Quispe-Melgar y Kessler, 2019).

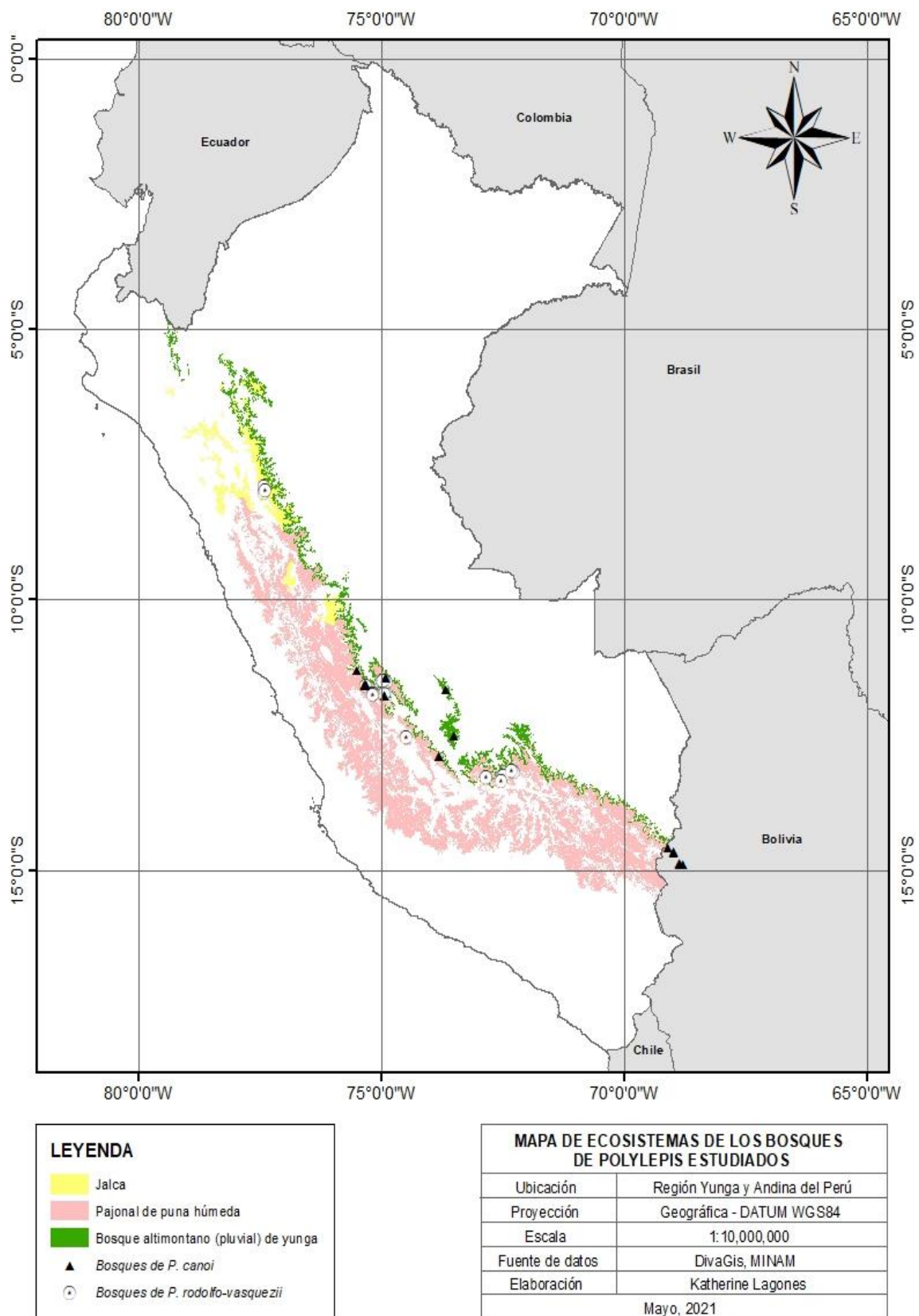


Figura 15: Mapa de ecosistemas de los bosques de *Polylepis* estudiados.

b. Bosques altimontanos y altoandinos húmedos de Yungas

Los Andes peruanos abarcan tres regiones fitogeográficas: Yungas, Puna Húmeda y la Puna Xerófita (Josse *et al.*, 2009). Las Yungas se extienden por las laderas montañosas y cordilleras de las vertientes orientales de los Andes tropicales, desde el norte de Perú hasta el centro de Bolivia, entre la Puna Húmeda que la limita por el oeste y las llanuras de la Amazonía, con las cuales contacta hacia el este (Josse *et al.*, 2009). La fitorregión Yunga registra 22 tipos de ecosistemas distribuidos en 11 macrogrupos. El macrogrupo Bosque Altimontano y Altoandino Húmedo de Yungas está conformado por los bosques dominados por *Polylepis* y aquellos bosques diversos de los pisos altoandino y altimontano de las Yungas en el contacto o transición hacia la Puna Húmeda (Josse *et al.*, 2009). Aquí se localizan los hábitats de las especies *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii*. Se desarrollan en áreas con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo, hasta pluviestacional húmedo.

Los bosques de *Polylepis* son densos o semiabiertos, tienen de 6 a 12 m. de alto y en el caso de los árboles más antiguos, pueden alcanzar circunferencias de casi 2 m. El dosel está entre 10 m. y 20 m., presentando varios niveles o estratos de sotobosque, gran biomasa de epífitas y lianas leñosas. Se distribuyen a lo largo de la provincia biogeográfica, entre 2900 - 3100 m. a 4000 - 4.200 m. de elevación y ocurren en suelos pedregosos o rocosos sobre los que puede formarse una capa de musgo que guarda la humedad (Josse *et al.*, 2009). Los bosques altimontanos se caracterizan por especies de árboles y arbustos siempre verdes y de hojas subescleromorfas. Entre estas especies, son importantes las de los géneros *Gynoxis*, *Weinmannia*, *Oreopanax*, *Hesperomeles*, *Clethra*, *Ilex* y *Miconia*. Este sistema se encuentra afectado por la tala de árboles, la extracción de leña, la ganadería y cultivos principalmente de papa y ají (Josse *et al.*, 2009).

c. Clima

Los bosques montanos de los Andes Tropicales (Josse *et al.*, 2009) se agruparon en tres grandes categorías, de acuerdo con su régimen climático: 1) pluviales, 2) pluviestacionales y 3) xerofíticos (Cuesta, Peralvo y Valarezo, 2009). Los tres tipos de bosques se diferencian por la presencia de variaciones regionales en los ritmos de precipitación y temperatura, lo que muchas veces está determinado por condiciones orográficas locales. Tales condiciones

determinan diferentes frentes de exposición a neblina y altura del banco de nubes, lluvia y radiación. La composición de estos bosques varía mucho de acuerdo con los pisos climáticos. En general, los bosques pluviales pueden ser agrupados en tres grandes unidades: a) los bosques que ocupan el piso altoandino y la parte superior del piso altimontano, b) los bosques del piso montano y c) los bosques subandinos. Los bosques del piso altoandino y altimontano incluyen a los bosques de *Polylepis* (Cuesta, Peralvo y Valarezo, 2009).

En promedio, la temperatura desciende 0.66°C por cada 100 m. de ascenso, pero la topografía produce otros cambios climáticos que localmente, y en diferentes horas del día, ocasionan marcadas diferencias en pocos cientos de metros de distancia. La temperatura media varía solamente en 1-3°C en el transcurso del año. A grandes altitudes, la temperatura cambia mucho más en el curso del día que entre los meses (Fjeldså y Kessler, 2004). Contrariamente a la temperatura, la precipitación en los Andes no sigue un patrón lineal, sino que está determinada por la orografía andina y la influencia de los vientos prevalecientes localmente, lo que determina su alta variabilidad temporal y espacial (Killeen *et al.*, 2007). Registros climáticos reportan valores desde áreas menores a 200 mm al año hasta los 3000 mm, y con algunos extremos en áreas limitadas, sobre los 3000 mm (Cuesta *et al.*, 2012).

La precipitación en el Altiplano está asociada con un verano dominado por fuertes convecciones térmicas diarias y flujos de humedad provenientes de la cuenca amazónica (Garreaud, 1999; Vuille, 1999. Mencionado por Cuesta *et al.*, 2012), pues los enormes bosques de la cuenca amazónica pierden humedad por la evapotranspiración. Más del 80% de la precipitación anual (350–400 mm) ocurre durante los meses de verano, comúnmente durante la tarde y noches, por efectos de convección térmica, debido a la alta radiación solar del Altiplano (Vuille, 1999. Mencionado por Cuesta *et al.*, 2012). Esto crea ciclos diarios de enfriamiento, con formación de neblina y lluvias por la tarde a medida que el aire asciende por la ladera andina. Mientras que las sierras montañosas del este son húmedas la mayor parte del año, la caída de lluvia es estrictamente estacional (noviembre a abril) en el Altiplano (Fjeldså y Kessler, 2004). Varios factores, incluidos datos climáticos insuficientes y no homogéneos, alta variabilidad de precipitaciones naturales en la topografía compleja de los Andes y marcados gradientes ambientales altitudinales (Cuesta *et al.*, 2012; Buytaert *et al.*, 2010), dificultan la validación de patrones y tendencias climáticas. a través de los Andes tropicales.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 Materiales

- Registros de presencias de las especies de interés (coordenadas), que incluyeron: herbario de procedencia de la colecta, nombre del colector, número de colección asignado, localidad, elevación, fecha de colecta, y nombre del identificador de la especie (Anexo 2).
- Base de datos climática *CHELSA - Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas* (<https://chelsa-climate.org/bioclim/>) y *CGIAR - Consultative Group for International Agricultural Research* (https://figshare.com/articles/dataset/Global_Aridity_Index_and_Potential_Evapotranspiration_ET0_Climate_Database_v2/7504448/3), resolución 1km.
- Base de datos espaciales DIVA-GIS (recurso geográfico de sistemas de información) para altitud y límites de países (<http://www.diva-gis.org/gdata>).
- Shapefile de límites administrativos, centros poblados, vías de acceso, áreas de conservación, niveles promedios de erosión (Tn/ha/año) y de las concesiones mineras (MINAM, SERNARP, INGEMMET, MTC)
- Materiales para colecta y montaje: 1 prensa botánica con soguilla de amarre, cartones y periódicos reciclados, bolsas de plástico (60x60 cm.), 1L de alcohol, cartulinas para montaje (43x32 cm.), camisetas, sobres de papel, fichas, pegamento, hilo (Marcelo-Peña, Reynel y Zevallos, 2011).

3.2.2 Equipos

- Computadora portátil, Ryzen 7, memoria RAM de 16 GB y, 1TB de almacenamiento.
- GPS. Cámara fotográfica.

3.2.3 Softwares

- RStudio Desktop 1.3.959 (<https://rstudio.com/products/rstudio/download/>)
- MaxEnt (https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)
- Google earth. SIG: QGis y ArcMap. Microsoft Office

3.3 REGISTROS DE PRESENCIAS

Los registros de presencias se obtuvieron del estudio taxonómico generado por (Boza y Kessler, 2022) y de la información proporcionada por los investigadores de la ASOCIACIÓN ANDINUS en base a sus estudios realizados en la Región Central. Además, se revisaron otras colecciones existentes y/o disponibles virtualmente, como:

- Herbario MOL UNALM.
- Museo de Historia Natural de Chicago (<https://plantidtools.fieldmuseum.org/es/rrc/5581>).
- Jardín Botánico de New York (<https://sciweb.nybg.org/science2/VirtualHerbarium2.asp.html>).
- Jardín Botánico de Missouri (<https://www.tropicos.org/home>).
- Plataforma de datos GBIF (<https://www.gbif.org/>).

A continuación, la Tabla 5 muestra el número de colectas registradas para cada especie, sin considerar los registros duplicados:

Tabla 5: Colectas de *P. canoi* y *P. rodolfo vasquezii*

Especie	Número de colectas	Países con registros de colectas	Departamentos
<i>P. canoi</i> W. Mend.	37	Bolivia	Cochabamba, La Paz
		Perú	Cusco, Junín, Puno, Ayacucho
<i>P. rodolfo-vasquezii</i> L. Valenz. & Villalba	61	Perú	San Martín, Junín, Huancavelica, Cusco, Puno

La cantidad de colectas observadas en la Tabla 5, no son los registros que fueron ingresados al modelo, debido a que pasaron por una etapa de preparación de datos, detallada en la metodología. Se visitaron algunos de estos bosques para realizar el reconocimiento de las especies, así como identificar las condiciones de los bosques, como: accesibilidad, cercanía a centros poblados, e impacto de actividades antrópicas.

3.4 VARIABLES PREDICTORAS

Los predictores son las variables ambientales que se evalúan para explicar el nicho ecológico de una especie. Estas variables deben poseer la misma escala espacial (extensión y resolución) para sean ingresadas al programa MaxEnt. Las variables bioclimáticas se obtuvieron de la base climática CHELSA, la cual comprende 19 variables con valores promedios para el periodo de 1979 al 2013. El conjunto de datos del índice de aridez global y de evapotranspiración para el periodo de 1970 al 2000, fueron descargados del CGIAR. Además, se utilizó la variable de altitud obtenida de la base de datos espaciales DIVA-GIS.

Todas las variables que fueron descargadas poseen una resolución espacial de 30 segundos de arco (~ 1 km), y sistema de coordenadas geográficas referenciado al Datum horizontal WGS 84, porque se trabajó con una extensión que abarca los países de Perú y Bolivia. Las capas fueron recortadas en el programa ArcGis, se utilizó la herramienta extract by mask (Spatial Analyst) (Figura 16).

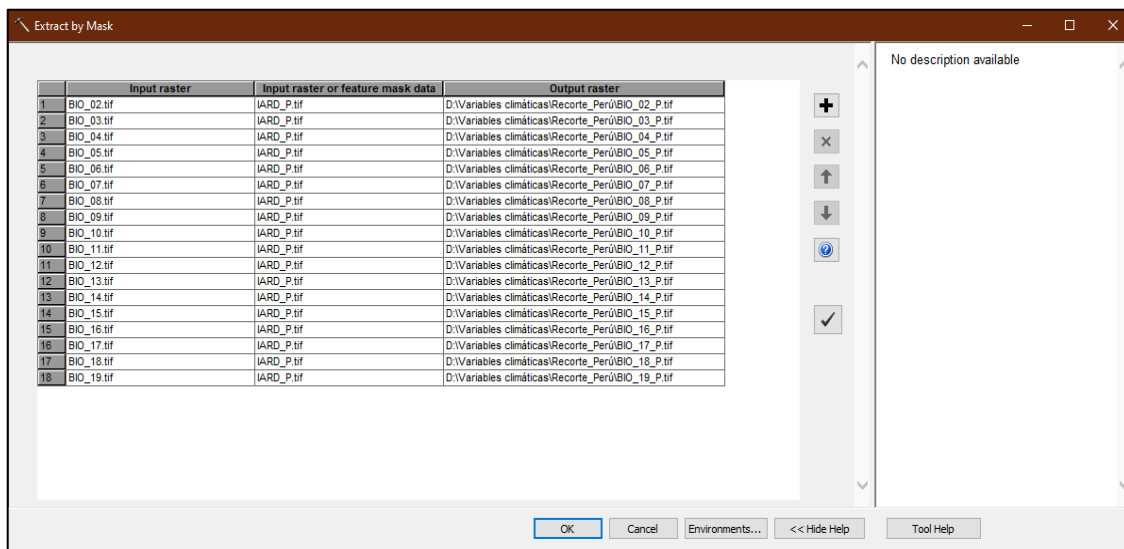


Figura 16: Recorte de las variables con la herramienta Extract by Mask.

Cada variable está descrita en la tabla siguiente:

Tabla 6: Variables utilizadas en el modelamiento

Tipo de datos	Variable	Descripción	Unidades
Bioclimático	BIO_01	Temperatura media anual	°C
Bioclimático	BIO_02	Rango diurno medio	°C
Bioclimático	BIO_03	Isotermalidad	Sin unidad
Bioclimático	BIO_04	Temperatura estacional	Sin unidad
Bioclimático	BIO_05	Temperatura máxima del mes más cálido	°C
Bioclimático	BIO_06	Temperatura mínima del mes más frío	°C
Bioclimático	BIO_07	Rango anual de temperatura	°C
Bioclimático	BIO_08	Temperatura media del trimestre más lluvioso	°C
Bioclimático	BIO_09	Temperatura media del trimestre más seco	°C
Bioclimático	BIO_10	Temperatura media del trimestre más cálido	°C
Bioclimático	BIO_11	Temperatura media del trimestre más frío	°C
Bioclimático	BIO_12	Precipitación anual	mm
Bioclimático	BIO_13	Precipitación del mes más lluvioso	mm
Bioclimático	BIO_14	Precipitación del mes más seco	mm
Bioclimático	BIO_15	Estacionalidad de precipitación	Sin unidad
Bioclimático	BIO_16	Precipitación del trimestre más lluvioso	mm
Bioclimático	BIO_17	Precipitación del trimestre más seco	mm
Bioclimático	BIO_18	Precipitación del trimestre más cálido	mm
Bioclimático	BIO_19	Precipitación del trimestre más frío	mm
Bioclimático	ET	Evapotranspiración anual	
Bioclimático	IA	Índice de aridez	
Topográfico	Alt	Altitud	m

FUENTE: Adaptado de O'Donnell, M.S; Ignizio, D.A. (2012)

3.5 PROCESAMIENTO DE DATOS

El algoritmo utilizado para la predicción de la distribución actual fue MaxEnt. Se buscó evaluar la mayor cantidad de modelos predictivos posibles, a partir de ellos seleccionar los mejores utilizando el software MaxEnt y el paquete R “kuenm”. En el análisis estadístico y elaboración de gráficos de los resultados se utilizó el software R y, para la presentación de los mapas, los programas de SIG.

3.6 METODOLOGÍA

3.6.1 Flujograma

Se presenta un flujo de trabajo (Figura 17) que muestra un panorama general del procedimiento realizado en la presente investigación. Este proceso se aplicó para cada especie:

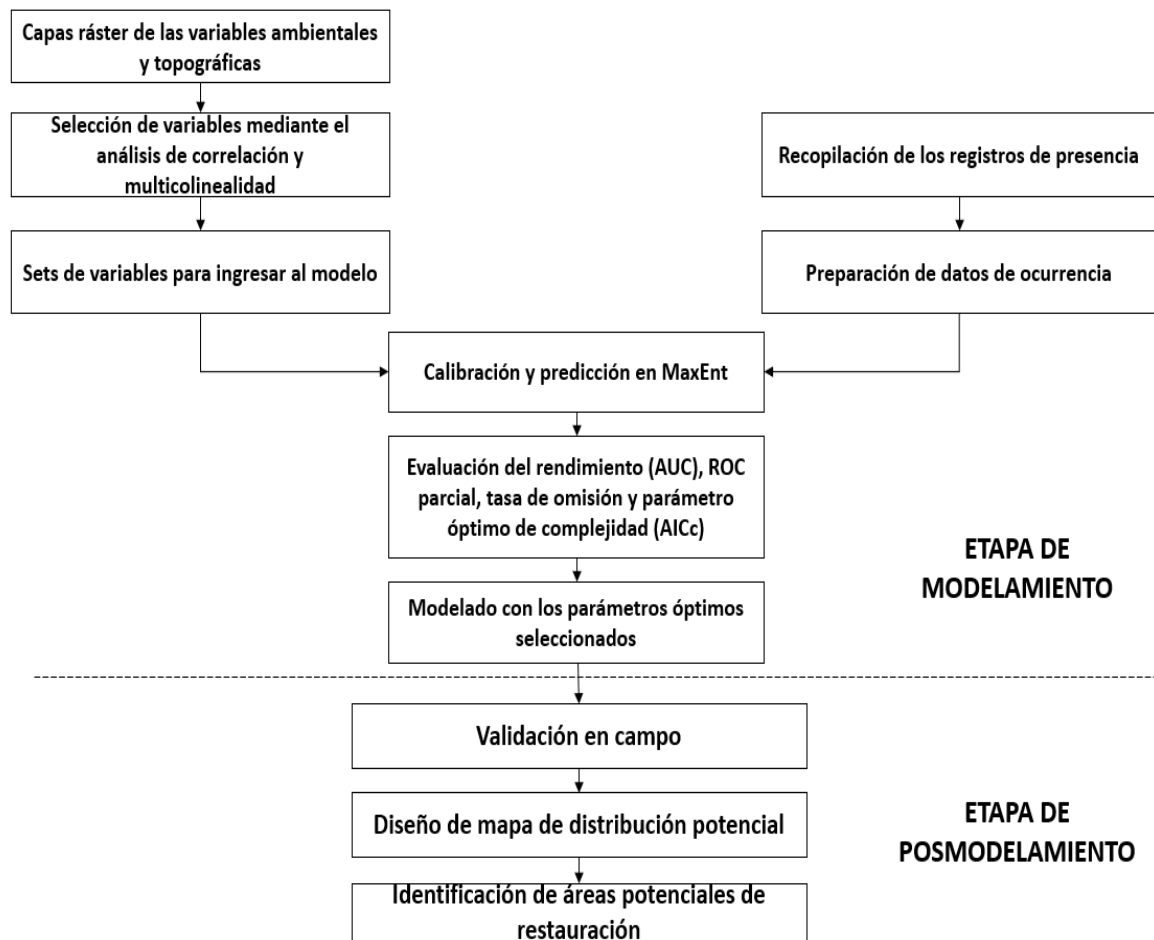


Figura 17: Proceso de modelado de distribución potencial para *P. canoi* y *P. rodolfo-vasquezii*

3.6.2 Preparación de los datos de presencia

Se eliminaron aquellos registros duplicados de presencia de las especies, así como aquellos que se encontraban a menos de un kilómetro de distancia a otra coordenada, para evitar que estos puntos estén en un mismo pixel y se extraiga la misma información de las variables climáticas.

Para realizar este procedimiento se insertaron las coordenadas en Google Earth Pro. Se verificó la distancia mínima de separación entre puntos de 1 Km, algunos puntos fueron modificados para cumplir esta condición y otros eliminados (Figura 18).

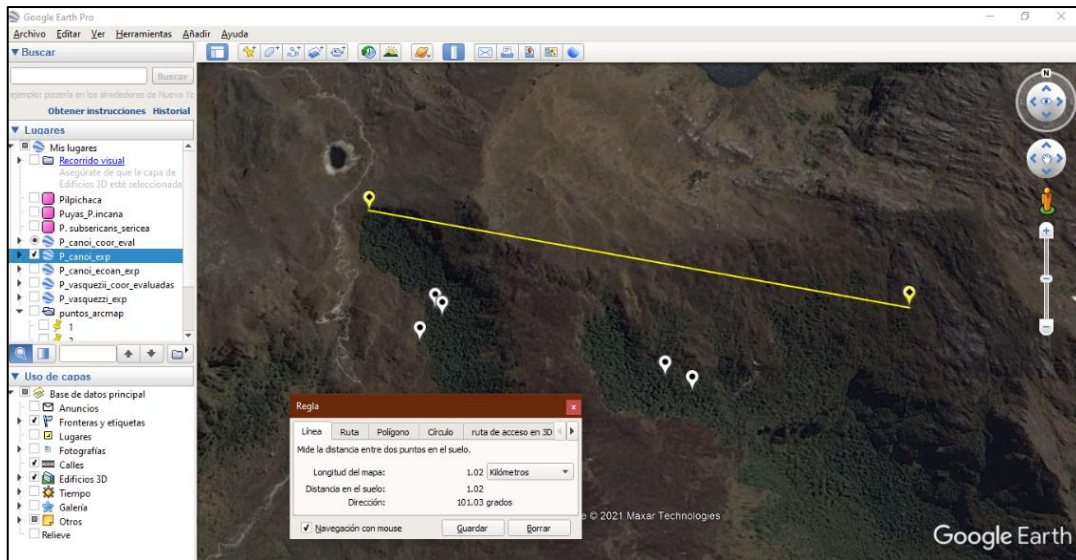


Figura 18: Distanciamiento mínimo de 1 Km entre coordenadas.

Además, se verificó que las coordenadas se encuentren en las localidades mencionadas en las etiquetas del montaje (por ejemplo: país, departamento, distrito, proximidad a puntos de referencia, etc.) (Figura 19). Finalmente, se verificó que las coordenadas se localicen en bosques y no en áreas de cultivo o en áreas sin vegetación, con la ayuda de Google Earth Pro.

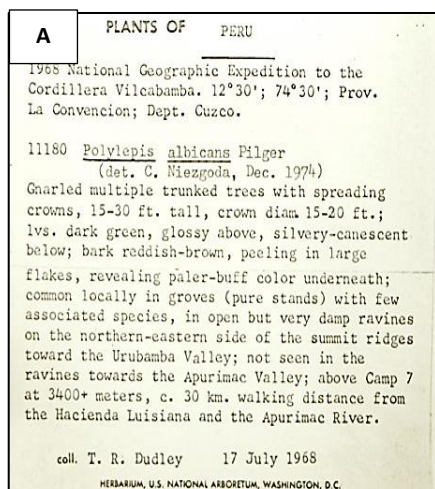


Figura 19: Ficha de descripción de una muestra colectada en Cusco (A). La coordenada mencionada (12° 30'; 74°30') corresponde al departamento de Huancavelica (B)

Las coordenadas corregidas KML fueron exportadas al ArcMap. Se configuró la proyección a geográfica WGS 84, se usó la herramienta KML to Layer y, se exportó la información a formato Shapefile. Para obtener estas coordenadas se utilizó la herramienta Add XY Coordinates. Los datos de la tabla de atributos fueron copiados a un libro de Excel. De acuerdo al número de registros, se utilizaron el 75% de registros para la calibración y el 25% para evaluación.

3.6.3 Selección de variables predictoras

Luego de extraer los valores de las variables predictoras de cada coordenada de *P. rodolfovasquezii* se generaron diferentes sets de variables, seleccionándose a través de un análisis de correlación y multicolinealidad, proceso que se detalla en los análisis estadísticos. Además, se consideraron otros criterios, como: la contribución de las variables al modelo generado en MaxEnt, el test de Jackknife, y la elección de aquellas variables que podrían tener mayor influencia en la distribución de las especies basado en el conocimiento ecológico de estas. No todas las variables predictoras fueron ingresadas en la etapa de modelamiento.

Para este procedimiento se utilizaron el paquete R “Básico” donde se obtuvieron los valores de correlación entre cada par de variable, el paquete R “ggplot2” permitió la elaboración de la matriz de correlación, el paquete R “fuzzySim” filtró un set de variables con la función corSelect y, el paquete R “usdm” ayudó a obtener el factor de inflación de la varianza (VIF) de las variables que conforman los sets.

3.6.4 Calibración y predicción

3.6.4.1 Parámetros establecidos en el software MaxEnt

Se realizó un primer modelamiento con todas las variables predictoras configurando los siguientes parámetros en el software MaxEnt (Figura 20 y 21): *multiplicador de regularización* (valor de 1), *Bootstrap* (100 réplicas), *random test percentage* (valor de 30), *background* (valor de 10 000), *auto features*, y un formato de salida *Logistic* (Navarrete, 2019; Cuyckens *et al.*, 2016), el cual permitió analizar la contribución de cada una de ellas al modelo.

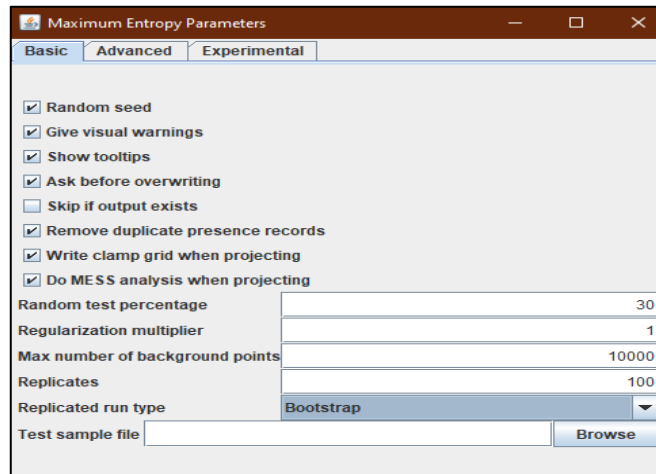


Figura 19: Parámetros de MaxEnt

Habilitar la opción del análisis Jackknife, implementado en el programa MaxEnt (Figura 21), permitió la selección de algunas variables ambientales de importancia que contribuyen a los modelos.

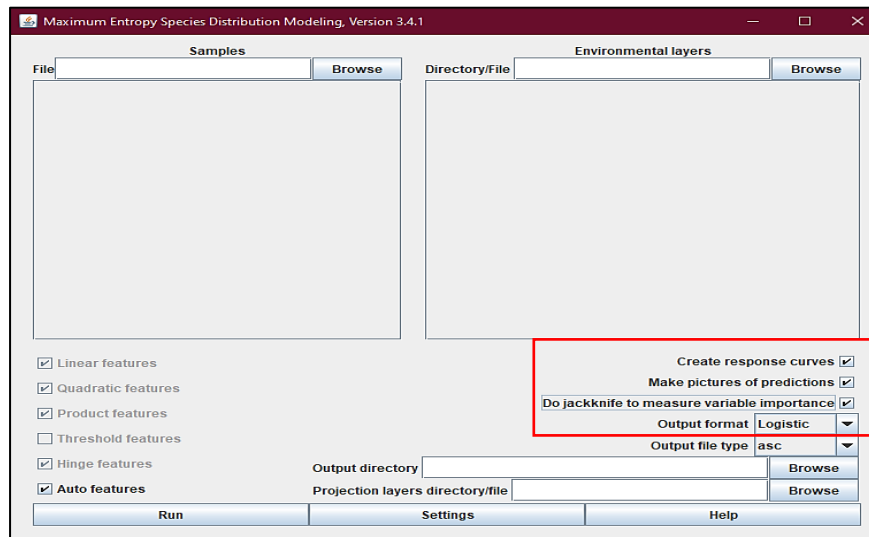


Figura 20: Opciones de curvas de respuestas, análisis Jackknife y gráficos.

Al culminar la ejecución de MaxEnt, se generó un archivo html que contiene la tabla de contribución de las variables y, la prueba “Jackknife”, donde se muestra la ganancia o contribución de cada una de estas. Los gráficos ayudan a identificar cuáles son las variables que influyen y determinan la distribución de la especie (Ávila, Villavicencio y Ruiz, 2014), pudiendo prescindir de las que no son tan importantes para realizar otro análisis más preciso.

Se obtuvo otros sets seleccionando solo las variables con mayor contribución al modelo. Se generaron 19 sets de variables para *P. rodolfo-vasquezii* y 21 sets de variables para *P. canoi*.

3.6.4.2 Parámetros establecidos en KUENM

Para generar los modelos y evaluar el mejor modelo candidato en el paquete R “Kuenm”, se debe contar con los sets de variables y, los registros que serán usados para calibración y evaluación (Cobos *et al.*, 2019). Estos sets fueron elegidos luego de analizar las predicciones que generaron en el primer modelamiento realizado en MaxEnt. Los datos seleccionados deben encontrarse organizados en la carpeta de trabajo de cada especie (Figura 22). Se usó el paquete R “spThin” para la división de los registros: calibración (*train*) y evaluación (*test*).

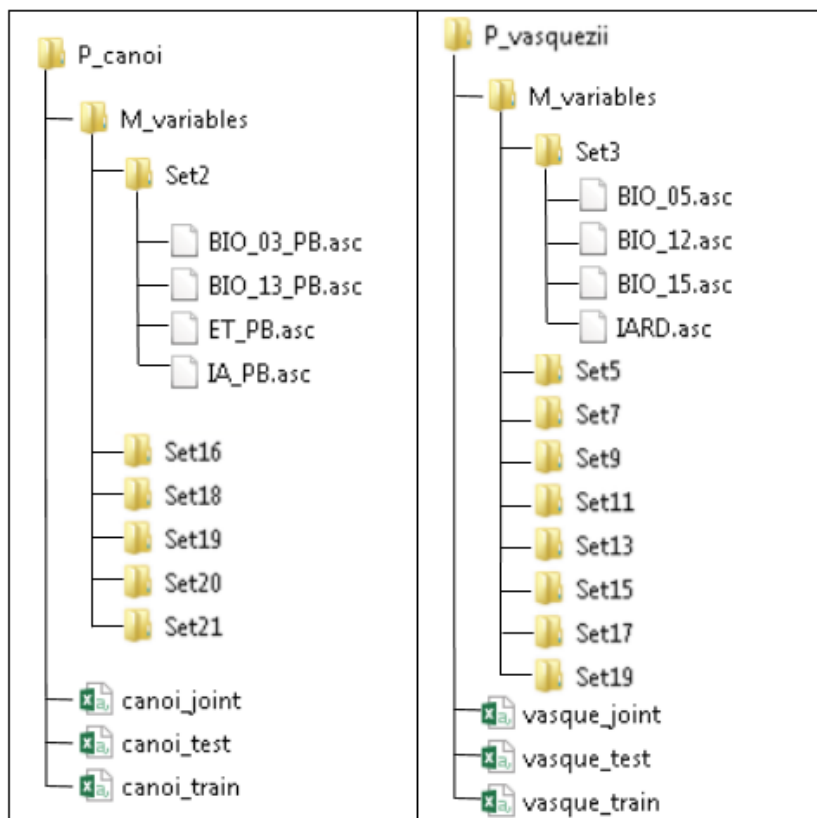


Figura 21: Archivos organizados en la carpeta de trabajo de cada especie

Además de los distintos grupos de variables para cada especie, se ajustaron otros parámetros importantes, detallados en el análisis estadístico.

3.6.5 Evaluación de significancia del modelo

Para los modelos generados se obtuvieron los indicadores promedios de evaluación del rendimiento (AUC), ROC Parcial, tasa de omisión y, el parámetro óptimo de complejidad (AIC-Criterio de Información de Akaike) (Gutiérrez *et al.*, 2018). El AUC (Area Under the Curve) es un estadístico que fue proporcionado por el software MaxEnt. El paquete R Kuenm brinda los valores de AUC, ROC Parcial, tasa de omisión y el AICc.

3.6.6 Modelado de parámetros óptimos y clasificación de valores de idoneidad de hábitat

Luego de haber obtenido los modelos de cada especie, con los parámetros óptimos seleccionados en el paquete Kuenm, el archivo ráster generado fue clasificado según los valores de idoneidad de hábitat que van de 0 a 1, donde 0 indicó baja idoneidad y 1 alta idoneidad.

Tabla 7: Clasificación de valores de idoneidad de hábitat

Clasificación de valores de idoneidad de hábitat	
Ausencia	0
Bajo	<0.25
Medio	0.25 – 0.50
Alto	0.50 – 0.75
Muy alto	>0.75

3.6.7 Validación en campo

Luego de realizar la validación computacional y seleccionar los mejores modelos para obtener los mapas clasificados según los valores de idoneidad de hábitat, estos resultados se complementaron con la validación en campo. Estas visitas en campo también permitieron determinar qué criterios deberían ser considerados para identificar las áreas potenciales de restauración. Se identificó las localidades que presentaban una idoneidad de hábitat de media a muy alta generados por los modelos de ambas especies y donde aún existe escasa

información de registros de los bosques de *Polylepis*. Estas localidades permitieron la validación *in situ* de los modelos de distribución para obtener registros de presencias confirmados predichos por los modelos. Se verificó que las zonas de presencias se encuentren en los rangos óptimos de altitud para cada especie.

Se realizaron dos viajes hacia dos departamentos diferentes del país, con una duración de 3 días en campo. Se elaboraron los mapas de acceso a cada localidad, donde se localizaron posibles parches de bosques de *Polylepis* en Google Earth Pro. En cada localidad visitada, se realizaron unas breves preguntas a los pobladores para constatar la presencia de los bosques naturales y su ubicación, algunos de ellos quechua hablantes, siendo necesario contar con una persona que ayude a su traducción, además de entregarles algunas muestras de ramas y hojas para que puedan identificarlas.

En estas salidas se verificó la presencia de las especies, realizando colectas para su identificación y montaje en las áreas autorizadas por la RDG N° D000008-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS, de fecha 11 de enero del 2021 (Anexo 1) y, su modificatoria RDG N° D000590-2021- MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS, de fecha 26 de octubre del 2021, mediante las cuales se otorga la autorización con fines de investigación científica fuera de Áreas Naturales Protegidas, con colecta de semillas y material vegetativo de las especies de interés. Asimismo, para la visita a estos bosques se contó con la autorización de las autoridades comunales correspondientes.

En cada bosque se tomaron muestras de tres individuos diferentes. Se describió el lugar de colección: región, provincia, distrito y sector; altura, posición geográfica mediante un GPS; asimismo se consignó las características del hábitat, los datos de colector o colectores, la fecha y, la toma de fotografías. Se tomaron datos de altura y diámetro de los individuos. Se colectaron tres muestras de un mismo individuo, con un plumón indeleble se colocó el número de colección en una parte visible y externa en cada uno de los periódicos de las muestras. Se añadió una solución de agua y alcohol 1:1 a las muestras al finalizar la colecta del día, y fueron colocadas en una bolsa plástica. Finalmente se realizó el secado y montaje de las muestras y fueron depositadas en el Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales (MOL) (Anexo 3).

3.6.8 Diseño del mapa de distribución potencial

Con la validación realizada en campo, se establecieron los umbrales de corte para obtener los mapas de ausencias y presencias de las especies. Estos valores permitieron representar la distribución potencial final en un mapa. Los diseños de cada mapa se elaboraron en un SIG.

3.6.9 Determinación de las áreas idóneas de restauración

Se identificaron como áreas potenciales de restauración, aquellas que se encuentran dentro de los modelos generados. Para ello se evaluó dicha superficie incluyendo los siguientes elementos del paisaje: distanciamiento a los centros poblados, vías de acceso (hasta 5 km de distancia), presencia de concesiones mineras, áreas de conservación y, zonas cuyos niveles promedio de erosión superan las 50 Tn/ha/año (grado de erosión Alto según la FAO); con el fin de identificar las áreas con mayores oportunidades de restauración y conservación.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el siguiente análisis estadístico (Figura 23) con los valores obtenidos en MaxEnt y RStudio:

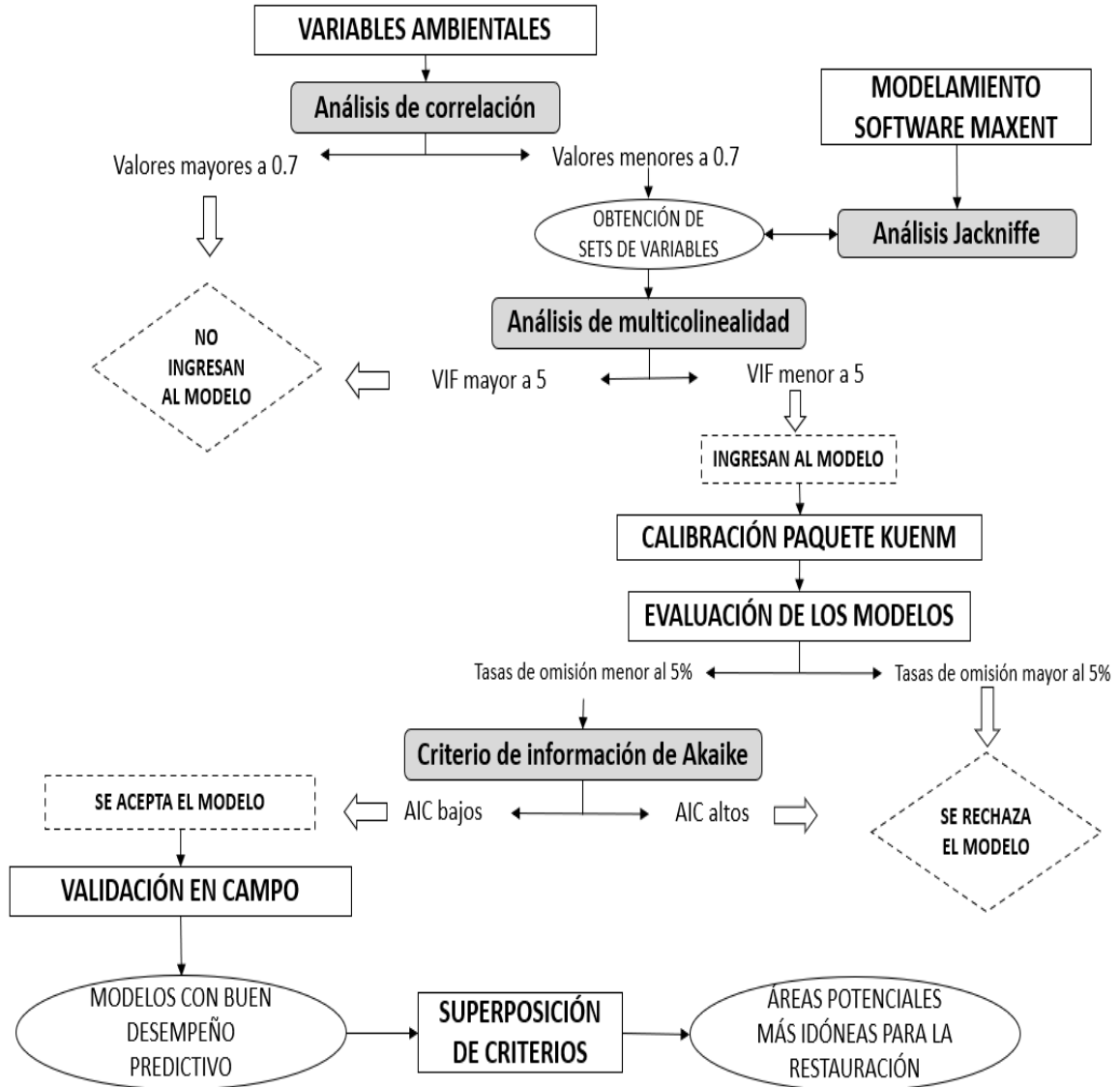


Figura 22: Análisis estadístico

3.7.1 Variables de medición

Las variables dependientes que se emplearon corresponden a las ocurrencias de las especies a modelar. Las variables independientes corresponden a la base de datos de variables bioclimáticas (CHELSA).

3.7.2 Muestreo

Cuando se aplica MaxEnt al modelado de distribución de especies de solo presencia, los píxeles del área de estudio forman el espacio en el que se define la distribución de probabilidad de MaxEnt, los píxeles con registros de presencia de especies conocidas constituyen los puntos de muestreo, y las características son variables climáticas, elevación, categoría de suelo, tipo de vegetación u otras variables ambientales y funciones de las mismas (Phillips, Anderson y Schapire, 2006).

3.7.3 Correlación de las variables predictoras y análisis de multicolinealidad

Para la selección de las variables, utilizadas en el modelamiento de cada especie, se realizó un análisis de correlación de Pearson para evitar un sobreajuste de los modelos, seleccionando aquellas que obtuvieron un nivel de correlación menor a $r=0.7$ (Navarrete, 2019); asimismo, se detectó la multicolinealidad entre las variables, a través del cálculo del factor de inflación de varianzas (VIF). Los sets de variables con VIF menor a 5 fueron seleccionados como parámetros para generar los modelos candidatos.

3.7.4 Proceso de calibración y evaluación del modelo

Además de los sets de variables, se seleccionaron otros parámetros de importancia, como: los multiplicadores de regularización (valores de 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5) y los tipos de respuesta (l, q, h, lq, lh, qh y lqh). Con estas combinaciones, se generaron 210 modelos candidatos para *P. canoi* y, 315 modelos candidatos para *P. rodolfo vasquezii*.

Se obtuvo un primer estadístico AUC (Area Under the Curve) para cada modelo. Un valor de AUC de 0,5 indica que el modelo no tiene capacidad discriminante, mientras que un valor de 1 indica que el modelo tiene máxima capacidad discriminante. En general, se asume que un modelo con buena capacidad discriminante tiene un AUC por encima de 0,80 (Jiménez-Valverde *et al.*, 2013).

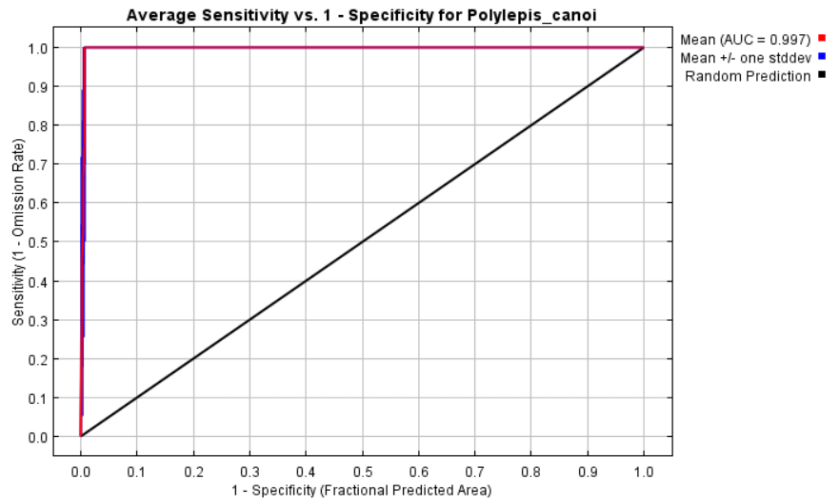


Figura 23: Matriz ROC del modelo de distribución

Debido a que los AUC's de los modelos fueron mayor a 0.8, se decidió evaluar otros criterios para la selección del modelo final: que sean estadísticamente significativos, que cumplan con la tasa de omisión mínima de 5% y, los criterios de AICc.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DATOS DE PRESENCIAS Y SELECCIÓN DE LOS SETS DE VARIABLES AMBIENTALES

4.1.1 Datos de presencias de las especies

Se obtuvieron 21 coordenadas para *P. canoi* y 26 coordenadas para *P. rodolfo-vasquezii*. El Anexo 2 muestra estos registros con la siguiente información:

- Las coordenadas de la fuente de datos
- Las coordenadas corregidas – georreferenciadas
- La elevación
- La fecha de colecta
- Localidad, provincia, departamento y país de procedencia de la colecta
- El herbario de procedencia de la colecta
- El número de colección asignado y proveedores de la colecta
- Identificadores de la muestra
- Observaciones
- Cita del registro

Se realizaron visitas previas hacia algunas de estas localidades que registran la presencia de estas especies, lo cual permitió reconocer las especies en campo, identificar sus principales amenazas, y establecer criterios importantes para su restauración. Se realizó la primera visita a la localidad de Pomamanta, Comas (enero - 2021), provincia de Concepción, departamento de Junín, donde se localiza la especie *P. rodolfo-vasquezii*. Para acceder a este bosque se debe realizar una caminata de aproximadamente a 5 km. Este es un bosque semiabierto con presencia de abundante neblina, suelo rocoso cubierto de musgo y pajonales (Figura 25).



Figura 24: Bosque de *P. rodolfo-vasquezii*. Localidad de Pomamanta, Concepción. Junín.

Este bosque posee individuos de hasta 10 m. de altura (Figura 26), algunos con frutos durante esta época del año. Las comunidades aledañas acceden a este bosque para la extracción de leña, así como el ingreso del ganado para su alimentación. Existen otros bosques relictos cercanos a este bosque, a 2 km de distancia, también situados en laderas rocosas.

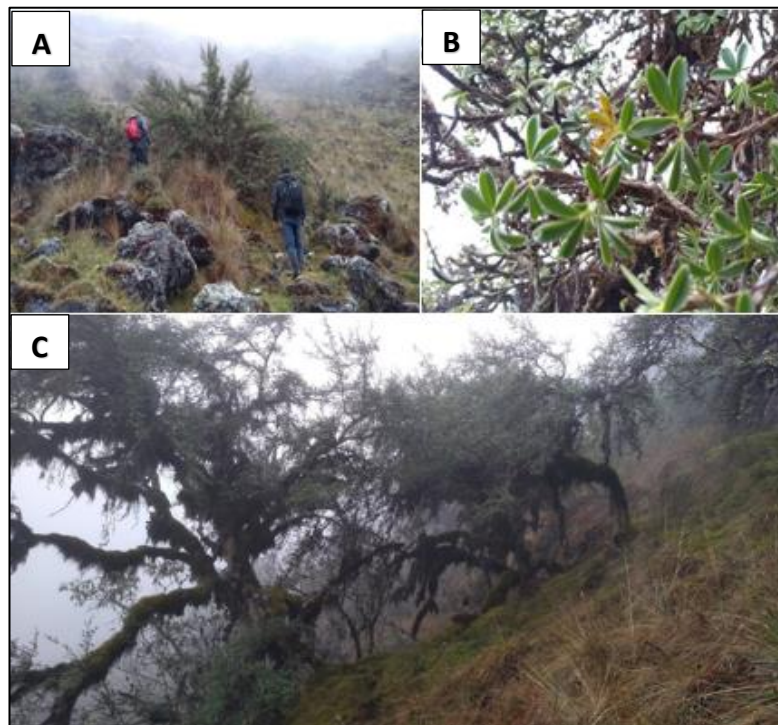


Figura 25: Acceso al bosque de *P. rodolfo-vasquezii* (A). Hojas trifoliadas (B). Fuste retorcido cubierto de líquenes y musgo (C).

Se realizó la segunda visita hacia la localidad de Curimarca (marzo – 2021), provincia de Jauja, departamento de Junín, donde se localiza la especie *P. canoi*. En esta localidad, se encuentran hasta tres sectores con la presencia de estos bosques. Como se observa en la Figura 27, este es un bosque denso, con una gran biodiversidad de arbustos, musgo, líquenes, y otras especies arbóreas como *Gynoxys*. A otros 50 m. más de altitud, se pudieron observar individuos de *P. rodolfo.vasquezii*, por lo que este bosque es considerado simpátrico. Existen individuos inaccesibles por las zonas en pendiente, suelo rocoso e inundado, por la presencia de una laguna que aumenta su volumen de agua durante esta época del año.



Figura 26: Bosque de *P. canoi*. Localidad de Curimarca, sector de Jucha. Jauja. Junín.

Este bosque posee individuos de hasta 15 m. de altura (Figura 28), algunos con frutos durante esta época del año. Las comunidades aledañas acceden a este bosque no sola para la extracción de leña, también de musgo, así como el ingreso del ganado para su alimentación.

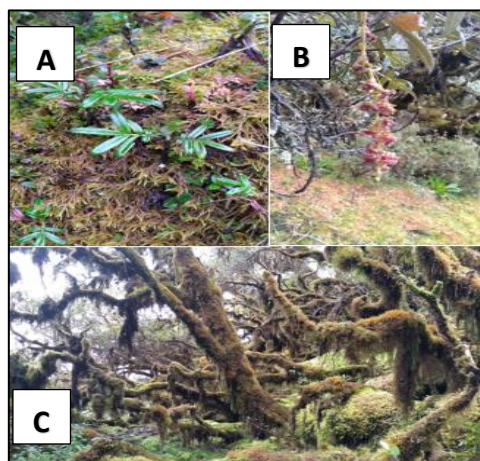


Figura 27: Regeneración natural de *P. canoi* (A). Inflorescencia (B). Fustes retorcidos cubiertos de líquenes y musgo (C).

4.1.2 Sets de variables seleccionados

Se realizó el análisis de correlación de Pearson y, se agruparon aquellas variables que presentaron un valor de correlación mayor a 0.7, con la ayuda de la función `corSelect` del paquete “fuzzySim” (Anexo 4). Estos valores de correlación se representaron mediante una matriz (Anexo 5) y dendrograma (Anexo 6).

4.1.2.1 Obtención de sets de variables

Se obtuvieron distintos sets de variables de acuerdo con los siguientes criterios: variables con valores de VIF, AIC y BIC bajos (paquete R “fuzzySim”); variables con alta contribución al modelo (prueba “Jackknife”) y, sets con las variables que ecológicamente serían importantes para la especie.

a. Sets de variables obtenidos con el paquete R “fuzzySim”

En la Tabla 8 y 9 se observan los primeros sets de variables obtenidos para cada especie con la función `corSelect`. Se seleccionaron las variables calculándose el *false discovery rate* *FDR*, el grado de multicolinealidad (coeficiente de determinación de una regresión lineal, la tolerancia y, el factor de inflación de la varianza VIF), el criterio de información Bayesiana (BIC) y el criterio de Akaike (AIC).

Tabla 8: Variables seleccionadas por `corSelect` para *P. rodolfo-vasquezii*

<i>Variables</i>	<i>Rsquared</i>	<i>Tolerance</i>	<i>VIF</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>
BIO_07	0.9396	0.0604	16.5555	171.6772	174.1934
BIO_15	0.9209	0.0791	12.6351	185.1231	187.6393
IARD	0.8703	0.1297	7.7126	232.5019	235.0181
BIO_05	0.8049	0.1951	5.1265	231.4521	233.9683
BIO_12	0.2166	0.7834	1.2765	227.3926	229.9088

Tabla 9: Variables seleccionadas por `corSelect` para *P. canoi*

<i>Variables</i>	<i>Rsquared</i>	<i>Tolerance</i>	<i>VIF</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>
BIO_13_PB	0.3743	0.6257	1.5982	155.5246	157.6136
BIO_03_PB	0.3740	0.6260	1.5973	152.4696	154.5587
ET_PB	0.2436	0.7564	1.3221	167.8224	169.9114
IA_PB	0.1960	0.8040	1.2437	166.9914	169.0804

b. Sets obtenidos con variables de mayor contribución a los modelos

Se realizó un primer modelamiento en el software MaxEnt, estableciéndose los parámetros que se detallaron en la metodología. Se ingresaron todas las variables predictoras para analizar la contribución de cada una de ellas.

Al culminar la ejecución de MaxEnt, se generó un archivo html que contiene la tabla de contribución de las variables (ANEXO 7), y la prueba “Jackknife” (Figura 29 y 30), donde se muestra la ganancia o contribución de cada una de estas. En los gráficos mostrados, la barra en color azul corresponde a la opción cuando solo se utiliza la variable de manera aislada o por si sola; las barras en color azul claro señalan la disminución de la ganancia cuando se excluye o se omite y, finalmente la barra roja crea un modelo en el que se usan todas las variables. Los gráficos ayudan a identificar cuáles son las variables que influyen y determinan la distribución de la especie (Ávila, Villavicencio y Ruiz, 2014), pudiendo prescindir de las que no son tan importantes para realizar otro análisis más preciso.

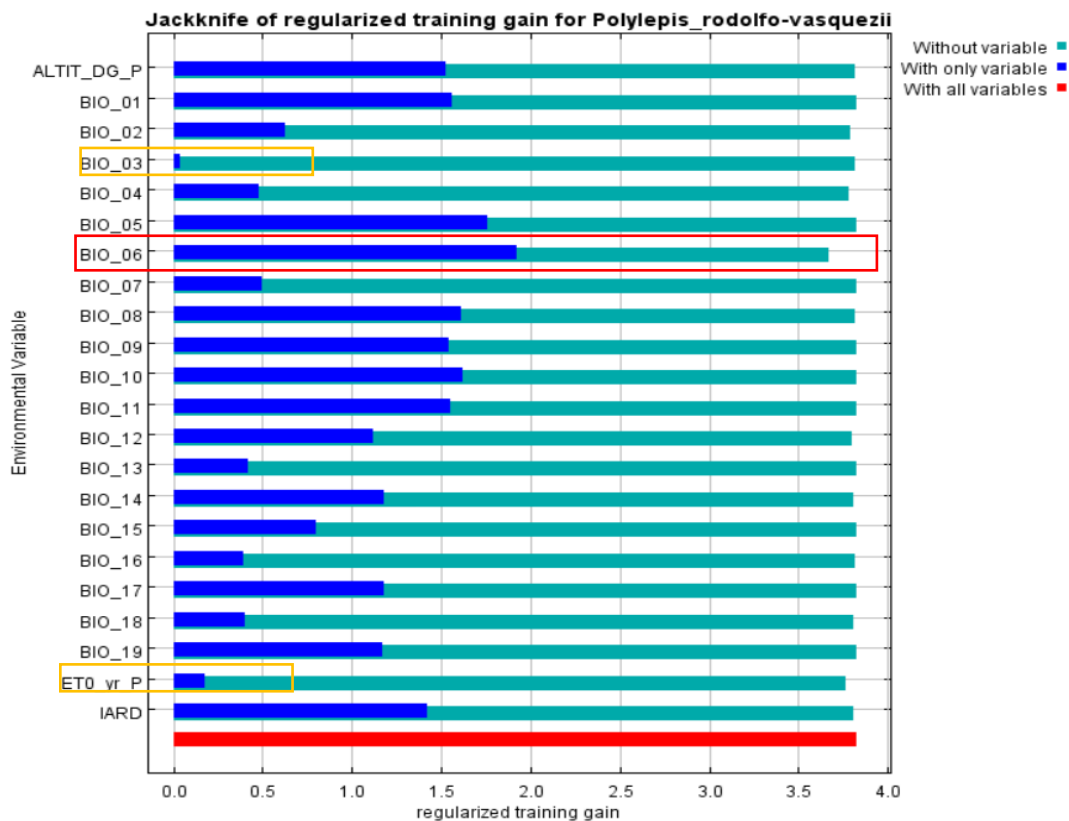


Figura 28: Análisis Jackknife en *P. rodolfo-vasquezii*

En la prueba “Jackknife” (Figura 29) se observa que la altitud (ALTIT_DG_P), la temperatura mínima del mes más frío (BIO_06) y temperatura máxima del mes más cálido (BIO_05) son las variables que contribuyeron más al modelo de *P. rodolfo-vasquezii*, pero estas se encuentran altamente correlacionadas (Anexo 4); mientras que, las variables que contribuyeron menos al modelo fueron la isothermalidad (BIO_03) y evapotranspiración anual (ET0). Es así como se optó por seleccionar las variables BIO_06 o BIO_05 para elaborar diferentes sets de variables en esta especie, y excluir a BIO_03 y ET0.

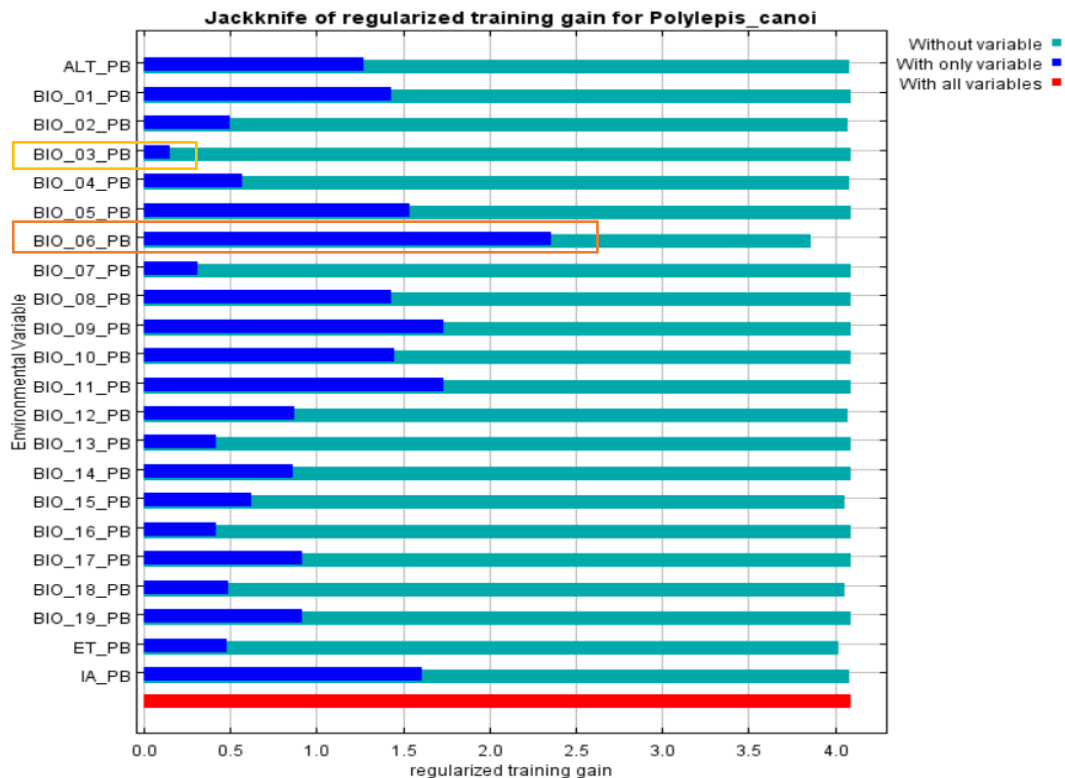


Figura 29: Análisis Jackknife en *P. canoi*

En la prueba “Jackknife” de *P. canoi* (Figura 30) se observa que la temperatura mínima del mes más frío (BIO_06) es la variable que contribuyó más al modelo, y la que contribuyó menos fue la isothermalidad (BIO_03). Se decidió seleccionar la BIO_06 y excluir a la BIO_03 para elaborar los diferentes sets de variables en los modelos de *P. canoi*.

En los sets de variables de ambas especies se excluyeron las variables BIO_8, BIO_9, BIO_18 y BIO_19, como lo sugiere la bibliografía, ya que son variables que combinan información diferente, y pueden ser reemplazadas por otras variables que se encuentran muy correlacionadas con estas (Escobar *et al.*, 2014).

A continuación, en la Figura 31 se muestra el procedimiento realizado para obtener un set con las variables (BIO 6 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 14 - IARD) que contribuyen más al modelo de *P. rodolfo-vasquezii* y que no se encuentran correlacionadas:

- a) Selección de BIO_6: temperatura mínima del mes más frío (*puede ser reemplazada por BIO_05*)
BIO 6, correlacionada con: BIO 1 – BIO 3 – BIO 4 – BIO 5 – BIO 8 – BIO 9 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
- b) Excluir las variables altamente correlacionadas con BIO_06. También excluir las variables BIO 8, BIO 9, BIO 18, BIO 19, BIO 3, y Et.
- c) Selección de IARD: índice de aridez (*variable que más contribuye*)
IARD, correlacionada con: BIO 2 – BIO 4 - ET
- d) Selección de Bio_12: precipitación anual (*variable que más contribuye*)
BIO 12, correlacionada con: BIO 13 – BIO 16 – BIO 18
- e) Selección de Bio_14: precipitación del mes más seco (*puede ser reemplazada por BIO_17 o BIO_15*)
BIO 14, correlacionada con: BIO 15 – BIO 17 – BIO 19
- f) Selección de la variable menos correlacionadas con BIO_06, IARD, BIO_12 y BIO_14:
BIO 7

Figura 30: Procedimiento para la selección de variables menos correlacionadas con BIO_06 para el modelo de *P. rodolfo vasquezii*.

En la Figura 32, se muestra el procedimiento realizado para obtener un set con las variables (BIO 2 - BIO 5 - BIO 06 - BIO 12 - BIO 14 - IA – ET) que más contribuyen al modelo de *P. canoi* y que no se encuentran correlacionadas:

- a) Selección de BIO_6: temperatura mínima del mes más frío (*variable que más contribuye*)
BIO 06, correlacionada con: BIO 01 – BIO 08 – BIO 09 – BIO 11 – ALT
- b) Excluir las variables altamente correlacionadas con BIO_06. También excluir las variables BIO 8, 9, 18, 19, y 3.
- g) Selección de BIO_5: temperatura máxima del mes más cálido (*puede ser reemplazada por BIO_10*)
BIO 05, correlacionada con: BIO 01 – BIO 03 – BIO 04 – BIO 07 – BIO 08 – BIO 09 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
- c) Selección de Bio_12: precipitación anual
BIO 12, correlacionada con: BIO 13 – BIO 16 – BIO 18
- h) Selección de Bio_14: precipitación del mes más seco (*puede ser reemplazada por BIO_15 o BIO_17*)
BIO 14, correlacionada con BIO 15 – BIO 17 – BIO 19
- d) Selección de la variable menos correlacionadas con BIO_06, BIO_05, BIO_12 y BIO_14:
BIO_02, IA, ET.

Figura 31: Procedimiento para la selección de variables menos correlacionadas con BIO_06 para el modelo de *P. canoi*.

c. Sets obtenidos con variables ecológicamente importantes para las especies

Si bien la temperatura mínima del mes más frío (BIO_06) muestra una elevada contribución al modelo de *P. rodolfo-vasquezii*, es necesario considerar algunas variables de importancia ecológica para la especie. BIO_01 (temperatura media anual) y BIO_07 (rango anual de temperatura) son variables también importantes para *P. rodolfo-vasquezii*, ya que crece en condiciones frías (alrededor de 5.5 °C de temperatura media anual). Además, se conoce que *P. rodolfo-vasquezii* habita lugares con épocas secas y lluviosas, siendo importante la BIO_15 (estacionalidad de precipitación) y BIO_12 (precipitación media anual). En la Figura 33 se muestra el procedimiento realizado considerando a la temperatura media anual (BIO_01) y la precipitación anual (BIO_12) como variables de importancia ecológica para la especie.

- a) Selección de BIO_1: temperatura media anual (*importancia ecológica*)
BIO 1, correlacionada con: BIO 5 – BIO 6 – BIO 8 – BIO 9 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
- b) Excluir las variables altamente correlacionadas con BIO_1. También excluir las variables BIO 8, 9, 18, 19, 3, Et.
- c) Selección de Bio_12: precipitación anual (*importancia ecológica*)
BIO 12, correlacionada con: BIO 13 – BIO 16 – BIO 18
- i) Selección de Bio_15: estacionalidad de la precipitación (*puede ser reemplazada por BIO_14 o BIO_17*)
BIO 15, correlacionada con: BIO 3 – BIO 4 – BIO 14 - BIO 17 – BIO 19
- d) Selección de BIO_07: rango anual de temperatura
BIO 7, correlacionada con: BIO 2 – ET
- e) Selección de la variable menos correlacionadas con BIO_01, BIO_15, BIO_12 y BIO_07:
IARD, correlacionada con: BIO 2 – BIO 4 - ET

Figura 32: Procedimiento para la selección de variables menos correlacionadas con BIO_01 y BIO_12 para el modelo de *P. rodolfo vasquezii*.

P. canoi es una de las especies que crece en condiciones húmedas (1572 mm). BIO_14 (precipitación del mes más seco) y BIO_17 (precipitación del trimestre más seco) son variables importantes ya que podrían limitar la presencia de la especie. *P. canoi* habita lugares con épocas secas y lluviosas, siendo importante la BIO_15 (estacionalidad de precipitación). En la Figura 34 se muestra el procedimiento realizado considerando a alguna de estas variables:

- a) Selección de BIO_1: temperatura media anual (*importancia ecológica*)
BIO 01 – BIO 05 – BIO 06 – BIO 08 – BIO 09 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
- b) Excluir las variables altamente correlacionadas con BIO_1. También excluir las variables BIO 8, 9, 18, 19 y 3.
- c) Selección de Bio_12: precipitación anual (*importancia ecológica*)
BIO 12 – BIO 13 – BIO 16 – BIO 18
- j) Selección de Bio_14: precipitación del mes más seco (*puede ser reemplazada por BIO_15 o BIO_17*)
BIO 14 – BIO 07 – BIO 15 – BIO 17 – BIO 19
- e) Selección de Bio_02: rango diurno medio
BIO 02 – BIO 04 – BIO 07 – BIO 15
- d) Selección de la variable menos correlacionadas con BIO_01, BIO_12, BIO_14 y BIO_02:
IA y ET.

Figura 33: Procedimiento para la selección de variables menos correlacionadas con BIO_01 y BIO_12 para el modelo de *P. canoi*.

4.1.2.2 Selección de sets de variables de *Polylepis rodolfo-vasquezii*

Se generaron 19 sets de variables para *P. rodolfo-vasquezii* (Tabla 10), conformadas por variables con correlación menor a 0.7. El SET_01_V incluyó a todas las variables predictoras para el análisis de contribución. El SET_02_V fue generado con la función corSelect, el cual considera valores de AIC y BIC bajos. El SET_03_V excluye a la variable que menos contribuyó al modelo del SET_02_V. Del SET_04_V al SET_13_V se incluyen a las variables que contribuyeron más modelo generado en MaxEnt. En estos sets se reemplazó la BIO_06 por BIO_05, también se reemplazó la BIO_14_V por BIO_15_V o por BIO_17_V. Se generaron otros sets que excluyeron a las variables que contribuyeron menos a los modelos generados en los sets anteriores. Del SET_14_V al SET_19_V se incluyen a las variables BIO_1 y BIO_12, importantes de acuerdo con el conocimiento ecológico de la especie. En estos sets se reemplazó la BIO_14_V por BIO_15_V o por BIO_17_V.

Tabla 10: Sets de variables para *P. rodolfo-vasquezii*

CRITERIOS	SET	VARIABLES	VIF	AUC	LUGARES PREDICHOS
	SET 01 V	Todas las variables	mayor a 5	0.996	AMAZ, LL, SM, HC, J, H, A, C
Sets de variables obtenidos con el paquete R "fuzzySim"	SET 02 V	BIO 5 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 15 - IARD	mayor a 5	0.991	AMAZ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 03 V	BIO 5 - BIO 12 - BIO 15 - IARD	menor a 5	0.989	AMAZ, LL, SM, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 04 V	BIO 6 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 14 - IARD	mayor a 5	0.994	LL, AN, HC, J, H, A, C, PU
Sets obtenidos con variables de mayor contribución a los modelos	SET 05 V	BIO 6 - BIO 12 - BIO 14 - IARD	menor a 5	0.993	CJ, SM, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 06 V	BIO 5 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 14 - IARD	mayor a 5	0.992	LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 07 V	BIO 5 - BIO 12 - BIO 14 - IARD	menor a 5	0.993	LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 08 V	BIO 5 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 17 - IARD	mayor a 5	0.990	LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 09 V	BIO 5 - BIO 12 - BIO 17 - IARD	menor a 5	0.992	LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 10 V	BIO 6 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 17 - IARD	mayor a 5	0.993	LL, AN, HC, J, H, A, C, PU
	SET 11 V	BIO 6 - BIO 12 - BIO 17 - IARD	menor a 5	0.993	CJ, LL, SM, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 12 V	BIO 6 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 15 - IARD	mayor a 5	0.992	LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 13 V	BIO 6 - BIO 12 - BIO 15 - IARD	menor a 5	0.992	CJ, LL, SM, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	Sets obtenidos con variables ecológicamente importantes para las especies	SET 14 V	BIO 1 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 15 - IARD	mayor a 5	0.991
SET 15 V		BIO 1 - BIO 12 - BIO 15 - IARD	menor a 5	0.992	CJ, SM, AMAZ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
SET 16 V		BIO 1 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 14 - IARD	mayor a 5	0.992	LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
SET 17 V		BIO 1 - BIO 12 - BIO 14 - IARD	menor a 5	0.994	CJ, LL, SM, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
SET 18 V		BIO 1 - BIO 7 - BIO 12 - BIO 17 - IARD	mayor a 5	0.991	AMAZ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
SET 19 V		BIO 1 - BIO 12 - BIO 17 - IARD	menor a 5	0.993	CJ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU

CJ: Cajamarca; AMAZ: Amazonas; LL: La Libertad; SM: San Martín; AN: Ancash; HC: Huánuco; J: Junín; C: Cusco; H: Huancavelica; P: Pasco; A: Ayacucho; PU: Puno.

La tabla 10 también incluye los valores AUC de cada set de variable. Los valores de AUC se encuentran sobre 0.98, lo que indica que los modelos generados presentan un buen rendimiento con los parámetros configurados en MaxEnt. En el Anexo 8 se presentan los mapas con los valores de AUC más altos (SET_01_V, SET_04_V, SET_17_V).

Asimismo, se observa que cada set de variable predice un número distinto de lugares con niveles altos y muy altos de idoneidad para la especie; sin embargo, algunos de estos sitios se repiten en cada modelo. Esto indica que es importante incluir como un parámetro importante a los conjuntos de predictores para generar los modelos candidatos. Los resultados del VIF permitieron seleccionar los siguientes sets de variables: SET_03_V, SET_05_V, SET_07_V, SET_09_V, SET_11_V, SET_13_V, SET_15_V, SET_17_V y, SET_19_V.

4.1.2.3 Selección de sets de variables de *Polylepis canoi*

Se obtuvieron 21 sets de variables para *P. canoi* (Tabla 11), conformadas por variables con correlación menor a 0.7. El SET_01_C incluyó a todas las variables predictoras para el análisis de contribución. El SET_02_C fue generado con la función corSelect, el cual considera valores de AIC y BIC bajos. Del SET_03_C al SET_16_C se incluye a las variables que contribuyeron más modelo. En estos sets se reemplazó la BIO_05 por BIO_10, también se reemplazó la BIO_14_V por BIO_15_V o por BIO_17_V. Se generaron otros sets sin las variables que contribuyeron menos a los modelos generados en los sets anteriores.

Del SET_17_C al SET_21_C se incluyen a las variables BIO_1 y BIO_12, importantes de acuerdo al conocimiento ecológico de la especie. En estos sets se reemplazó la BIO_14_V por BIO_15_V o por BIO_17_V. Se generaron otros sets sin las variables que contribuyeron menos a los modelos generados en los sets anteriores.

La tabla 11 también incluye los valores AUC de cada set de variable. Los valores de AUC se encuentran sobre 0.99, lo que indica que los modelos generados presentan un buen rendimiento con los parámetros configurados en MaxEnt. En el Anexo 8 se presentan los mapas con los valores de AUC más altos (SET_01_C, SET_07_C, SET_09_C, SET_13_C, SET_17_C).

Tabla 11: Sets de variables para *P. canoi*

CRITERIOS	SET	VARIABLES	VIF	AUC	LUGARES PREDICHOS
	SET 01 C	TODOS	mayor a 5	0.998	J, H, A, C, P
Sets de variables obtenidos con el paquete R "fuzzySim"		BIO 3 - BIO 13 - IA - ET	menor a 5	0.991	AMZ, LL, SM, AN, HC, P, J, L, H, A, AP, PU
	SET 02 C				
	SET 03 C	BIO 2 - BIO 5 - BIO 06 - BIO 12 - BIO 14 - IA - ET	mayor a 5	0.997	J, H, A, C, PU
	SET 04 C	BIO 05 - BIO 06 - BIO 12 - BIO 14 - IA	mayor a 5	0.996	LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 05 C	BIO 02 - BIO 5 - BIO 06 - BIO 12 - BIO 17 - IA - ET	mayor a 5	0.997	J, H, A, C, PU
	SET 06 C	BIO 05 - BIO 06 - BIO 12 - BIO 17 - IA	mayor a 5	0.996	CJ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 07 C	BIO 05 - BIO 06 - BIO 12 - BIO 15 - IA - ET	mayor a 5	0.998	CJ, J, H, A, C, PU
	SET 08 C	BIO 05 - BIO 06 - BIO 12 - BIO 15 - IA	mayor a 5	0.996	LL, SM, HC, AN, P, J, H, A, C, PU
	SET 09 C	BIO 02 - BIO 06 - BIO 10 - BIO 12 - BIO 14 - ET - IA	mayor a 5	0.998	J, H, A, C, PU
	SET 10 C	BIO 06 - BIO 10 - BIO 12 - BIO 14 - IA	mayor a 5	0.996	CJ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 11 C	BIO 02 - BIO 06 - BIO 10 - BIO 12 - BIO 17 - ET - IA	mayor a 5	0.997	J, H, A, C, PU
	SET 12 C	BIO 06 - BIO 10 - BIO 12 - BIO 17 - IA	mayor a 5	0.996	CJ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 13 C	BIO 06 - BIO 10 - BIO 12 - BIO 15 - ET - IA	mayor a 5	0.998	CJ, J, H, A, C, PU
Sets obtenidos con variables de mayor contribución a los modelos	SET 14 C	BIO 06 - BIO 10 - BIO 12 - BIO 15 - IA	mayor a 5	0.997	CJ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 15 C	BIO 05 - BIO 06 - BIO 12 - IA	menor a 5	0.997	LL, AN, HC, P, J, H, A, C, P
	SET 16 C	BIO 06 - BIO 10 - BIO 12 - IA	menor a 5	0.996	CJ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, AP, P
Sets obtenidos con variables ecológicamente importantes para las especies	SET 17 C	BIO 01 - BIO 2 - BIO 12 - BIO 14 - IA - ET	mayor a 5	0.998	J, H, A, C, PU
	SET 18 C	BIO 01 - BIO 12 - BIO 14 - IA	menor a 5	0.996	CJ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 19 C	BIO 01 - BIO 2 - BIO 12 - BIO 17 - IA - ET	mayor a 5	0.997	J, H, A, C, PU
	SET 20 C	BIO 01 - BIO 12 - BIO 17 - IA	menor a 5	0.996	CJ, LL, AN, HC, P, J, H, A, C, PU
	SET 21 C	BIO 01 - BIO 12 - BIO 15 - IA - ET	menor a 5	0.997	CJ, AMAZ, SM, HC, P, J, H, A, C, PU

CJ: Cajamarca; AMAZ: Amazonas; LL: La Libertad; SM: San Martín; AN: Ancash; HC: Huánuco; J: Junín; L: Lima; C: Cusco; H: Huancavelica; P: Pasco; A: Ayacucho; AP: Apurímac; PU: Puno.

Asimismo, se observa que cada set de variable predice un número distinto de lugares con niveles altos y muy altos de idoneidad para la especie; sin embargo, algunos de estos sitios se repiten en cada modelo. Los resultados del VIF permitieron seleccionar los siguientes sets de variables para generar los modelos candidatos: SET_02_C, SET_15_C, SET_16_C, SET_18_C, SET_20_C y, SET_21_C.

4.2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS MODELOS Y DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES FACTORES AMBIENTALES

4.2.1 Modelos de distribución potencial de *P. rodolfo-vasquezii*

De las 26 coordenadas obtenidas para *P. rodolfo-vasquezii*, se utilizó el 75% de los datos para la calibración y el 25% para la evaluación final (Figura 35).

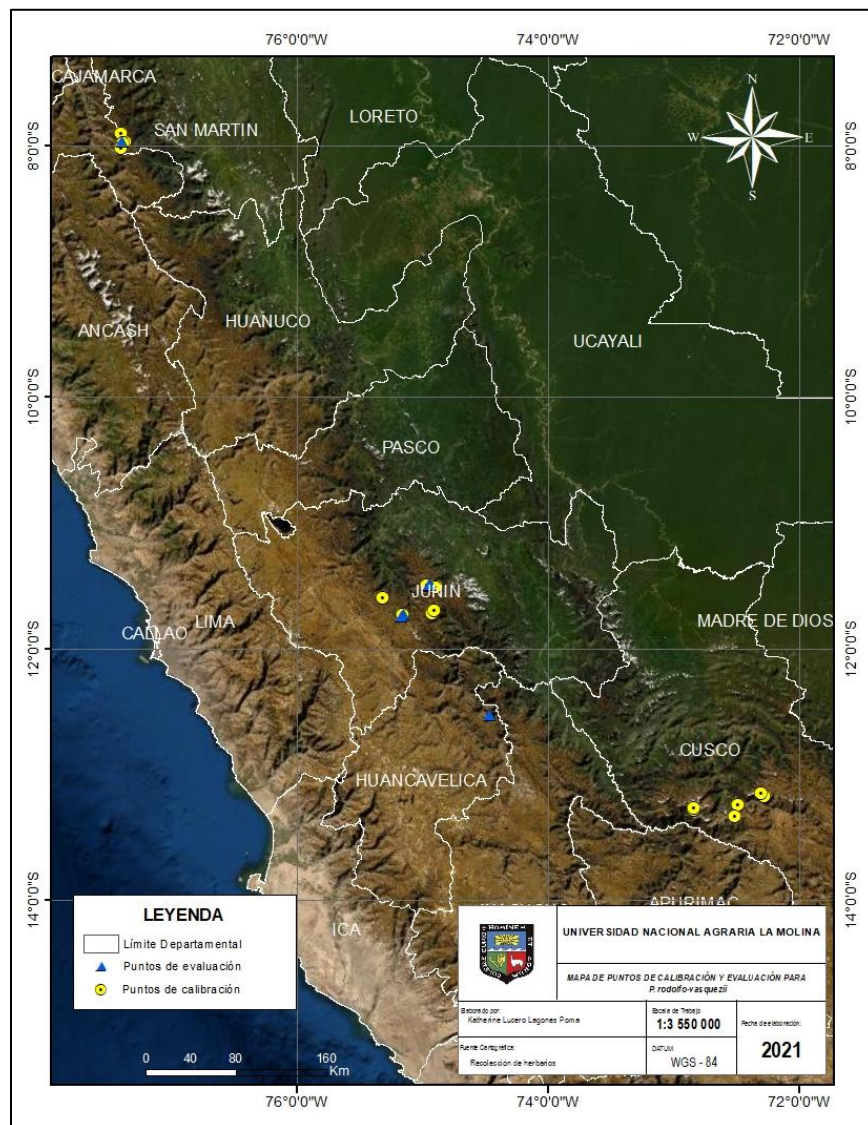


Figura 34: Puntos de evaluación y calibración para *P. rodolfo-vasquezii*

Se generaron 315 modelos candidatos, con parámetros que reflejan todas las combinaciones de 5 configuraciones de multiplicadores de regularización, 7 combinaciones de tipos de respuestas y 9 conjuntos distintos de variables ambientales (Tabla 12).

Tabla 12: Parámetros de los modelos candidatos de *P. rodolfo-vasquezii*

	Parámetros
Multiplicadores de regularización	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5
Clases de características	l, q, h, lq, lh, qh, lqh
Conjuntos de predictores	Set3, Set5, Set7, Set9, Set11, Set13, Set15, Set17, Set19

En la tabla 13 se muestra los tres mejores modelos seleccionados de acuerdo con los criterios predefinidos. Primero se seleccionaron los modelos por debajo de la tasa de omisión y, solo entre los modelos que cumplieron ese criterio, se calcularon los valores de delta_AICc.

Tabla 13: Evaluadores de rendimiento para los modelos de *P. rodolfo-vasquezii*

Modelos	Parámetros de configuración	Mean_AUC_ratio	Partial_ROC	Omission_rate_at_5%	AICc	delta_AICc	W_AICc
M_1_F_lqh_Set13	Features: Linear, quadratic, hinge Multiplicador de regularización: 1 Set de variables: 13	1.98272	0.00000	0.00000	566.53457	0.00000	0.00084
M_0.5_F_lqh_Set3	Features: Linear, quadratic, hinge Multiplicador de regularización: 0.5 Set de variables: 3	1.98291	0.00000	0.00000	569.39553	2.86096	0.00016
M_0.5_F_qh_Set3	Features: Quadratic, hinge Multiplicador de regularización: 0.5 Set de variables: 3	1.98198	0.00000	0.00000	569.47669	2.94211	0.00014

El mejor modelo posee un delta_AICc de 0 y parámetros linear – quadratic – hinge, multiplicador de regularización igual a 1, y con las variables del set 13, que incluyeron a las variables: BIO 6 (temperatura mínima del mes más frío, -3 – 2.1°C), BIO 12 (precipitación anual, 910 – 1732 mm), BIO 15 (estacionalidad de precipitación, 49 – 79 mm) y, IARD (índice de aridez). Los siguientes mejores modelos contienen a las variables del set 3, que incluyeron a las variables mencionadas anteriormente, excepto la BIO 6, la cual fue reemplazada por la BIO 5 (temperatura máxima del mes más cálido).

Se obtuvo un nuevo modelo con las 26 coordenadas, realizando la configuración en el software MaxEnt con el mejor parámetro obtenido. La Figura 36 muestra la curva ROC y el AUC de entrenamiento promedio para las ejecuciones replicadas, con un valor de 0.992.

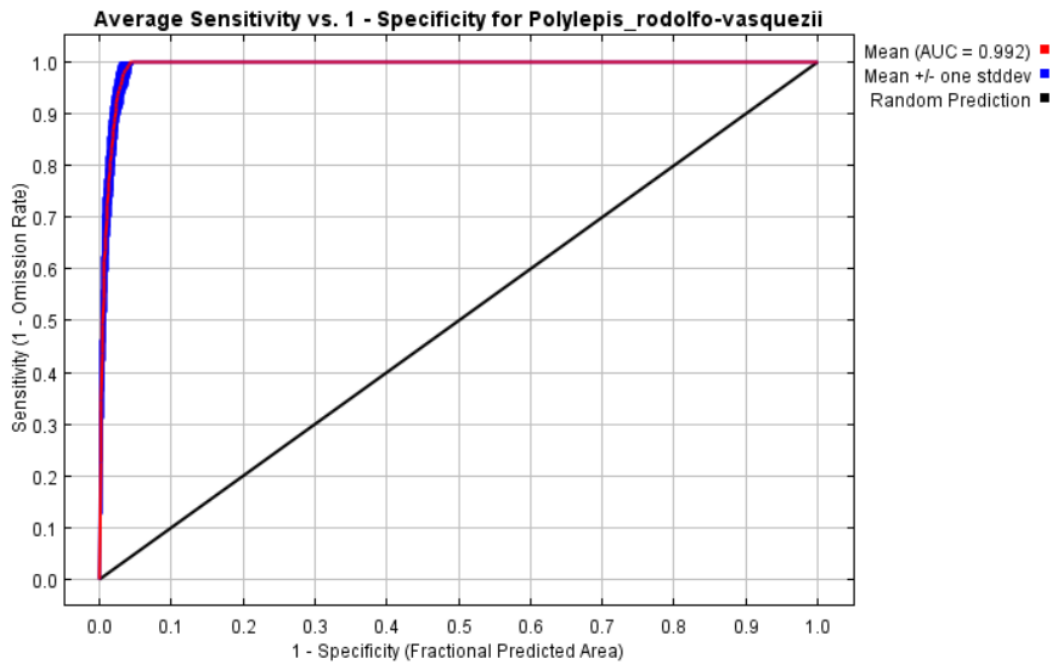


Figura 35: Curva ROC del modelo final para *P. rodolfo-vasquezii*

La figura 37 muestra la contribución de las variables al modelo generado. La variable ambiental que más disminuye la ganancia cuando se omite es BIO_06, que por lo tanto parece tener la mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables. Los valores mostrados son promedios sobre ejecuciones replicadas.

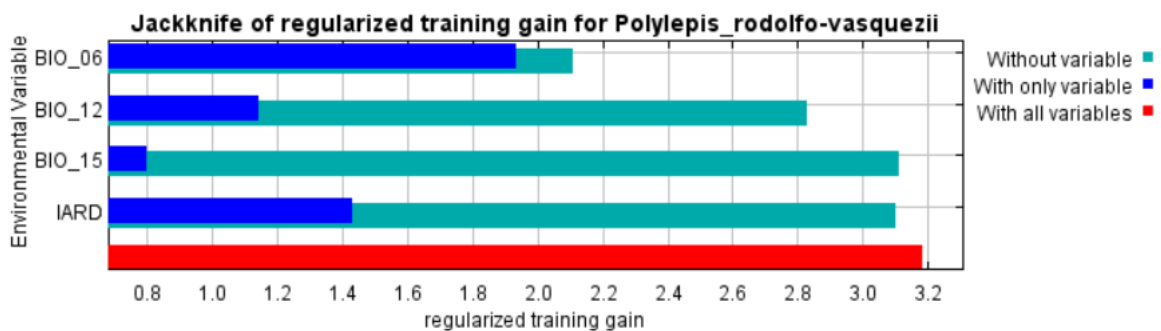


Figura 36: Contribución de las variables al modelo de *P. rodolfo-vasquezii*

A continuación, en la Figura 38 se muestra el mapa generado con los parámetros establecidos del mejor modelo. Se observa que el departamento de Junín presenta una idoneidad de hábitat muy alta para la especie *P. rodolfo-vasquezii*, la cual se extiende desde la provincia de Junín hasta la provincia de Huancayo. Sin embargo, se debe considerar que se tienen registros de presencia de la especie en los departamentos de San Martín, Huancavelica, Cusco y Puno, sitios que se encuentran en los valores de idoneidad superiores a 0.5 (idoneidad alta).

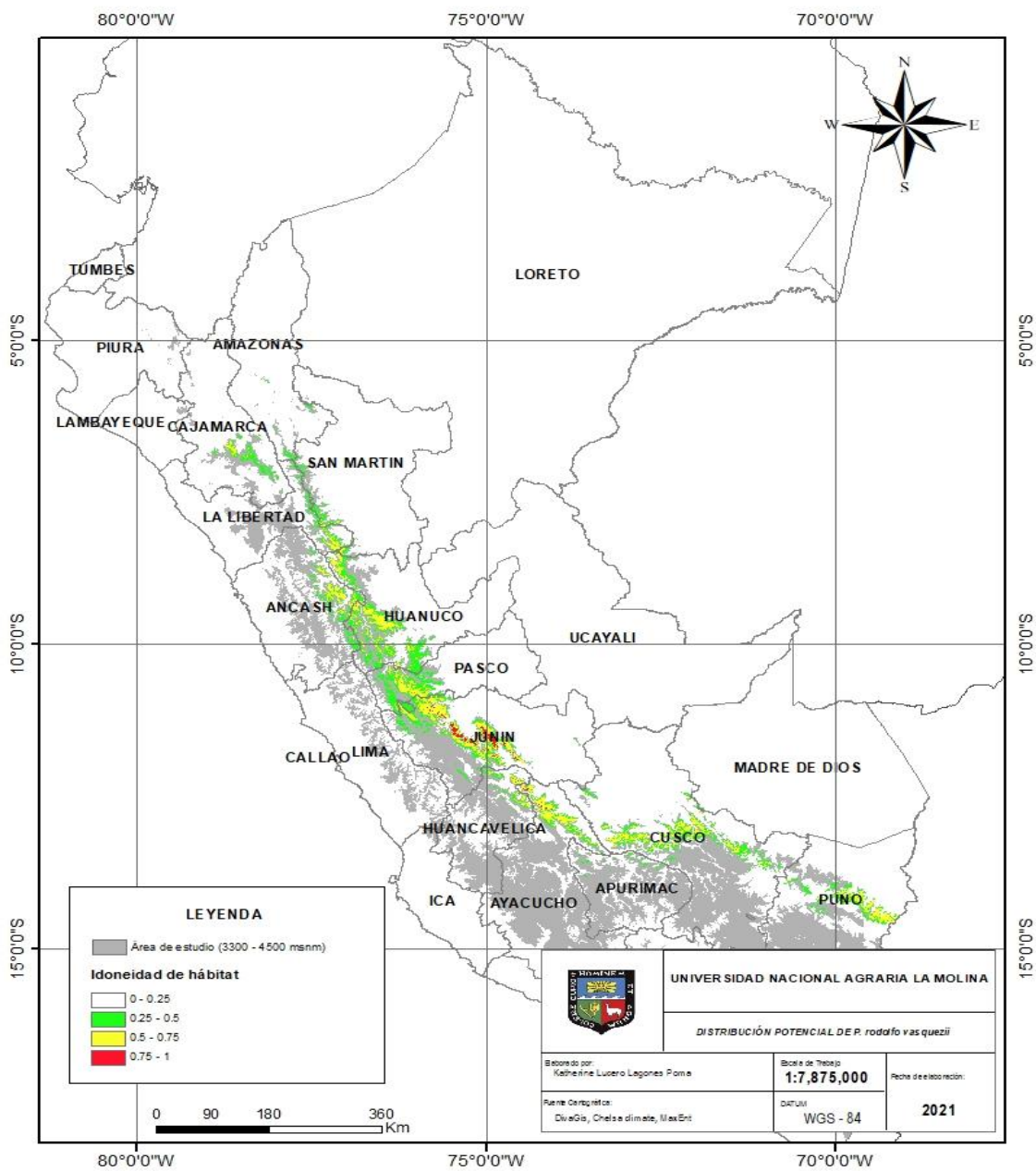


Figura 37: Modelamiento de distribución potencial de *P. rodolfo-vasquezii* generado con los parámetros seleccionados.

4.2.2 Modelos de distribución potencial de *P. canoi*

De las 21 coordenadas obtenidas para *P. canoi*, se utilizó el 75% de los datos para la calibración y el 25% para la evaluación final (Figura 39).



Figura 38: Puntos de evaluación y calibración para *P. canoi*

Se generaron 210 modelos candidatos, con parámetros que reflejan todas las combinaciones de 5 configuraciones de multiplicadores de regularización, 7 combinaciones de tipos de respuestas y 6 conjuntos distintos de variables ambientales (Tabla 14).

Tabla 14: Parámetros de los modelos candidatos de *P. canoi*

	Parámetros
Multiplicadores de regularización	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5
Clases de características	l, q, h, lq, lh, qh, lqh
Conjuntos de predictores	Set2, Set15, Set16, Set18, Set20, Set21

En la tabla 15 se muestra los tres mejores modelos seleccionados de acuerdo con los criterios predefinidos. Primero se seleccionaron los modelos por debajo de la tasa de omisión y, solo entre los modelos que cumplieron ese criterio, se calcularon los valores de delta_AICc.

Tabla 15: Evaluadores de rendimiento para *P. canoi*

Modelos	Parámetros de configuración	Mean_AUC_ratio	Partial_ROC	Omission_rate_at_5%	AICc	delta_AICc	W_AICc
M_1_F_lq_Set16	Features: Linear, quadratic Multiplicador de regularización: 1 Set de variables: 16	1.97927	0.00000	0.00000	469.70431	23.87599	0.00000
M_2.5_F_lq_Set16	Features: Linear, quadratic Multiplicador de regularización: 2.5 Set de variables: 16	1.97590	0.00000	0.00000	485.65052	39.82220	0.00000
M_2_F_h_Set16	Features: Hinge Multiplicador de regularización: 2 Set de variables: 16	1.96990	0.00000	0.00000	499.62598	53.79766	0.00000

El mejor modelo posee un delta_AICc de 23.875 y parámetros linear–quadratic, multiplicador de regularización igual a 1, y con las variables del set 16, que incluyeron a las variables: BIO 6 (temperatura mínima del mes más frío, -0.9 - 2.6°C), BIO 10 (temperatura media del trimestre más cálido, 6.7 – 10.7°C), BIO 12 (precipitación anual, 1108 - 1893 mm) y, IARD (índice de aridez).

Se obtuvo un nuevo modelo con las 21 coordenadas, realizando la configuración en el software MaxEnt con el mejor parámetro obtenido. La Figura 40 muestra la curva ROC y el AUC de entrenamiento promedio para las ejecuciones replicadas, con un valor de 0.993.

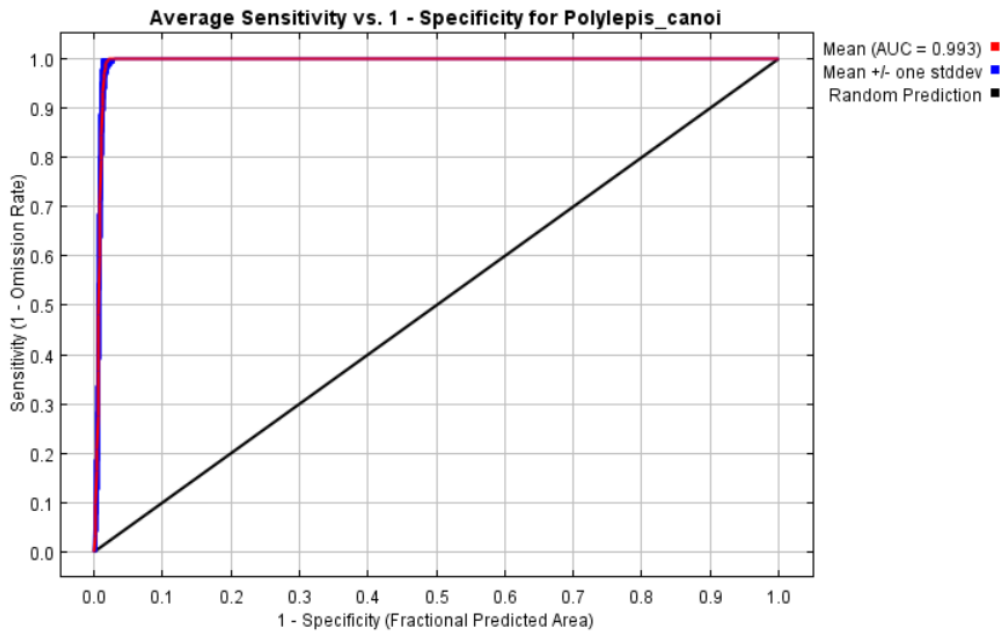


Figura 39: Curva ROC del modelo final para *P. canoi*

La Figura 41 muestra la contribución de las variables al modelo generado. La variable ambiental que más disminuye la ganancia cuando se omite es BIO_06, que por lo tanto parece tener la mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables. Los valores mostrados son promedios sobre ejecuciones replicadas.

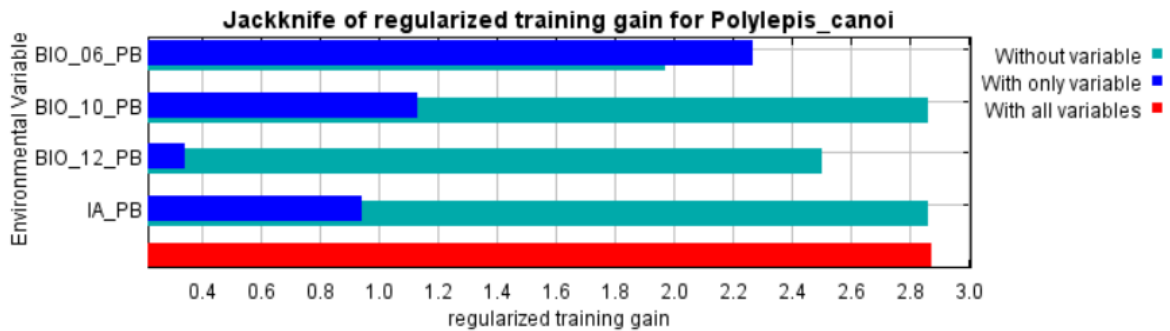


Figura 40: Contribución de las variables al modelo de *P. canoi*

A continuación, en la Figura 42 se muestra el mapa generado con los parámetros establecidos del mejor modelo. Se observa que los departamentos con áreas de mayor idoneidad de hábitat para la especie *P. canoi* son Huánuco, Áncash, Pasco, Junín, Ayacucho, Cusco y Puno. Actualmente no se tienen registros de presencia de la especie *P. canoi* en Huánuco, Áncash y Pasco.

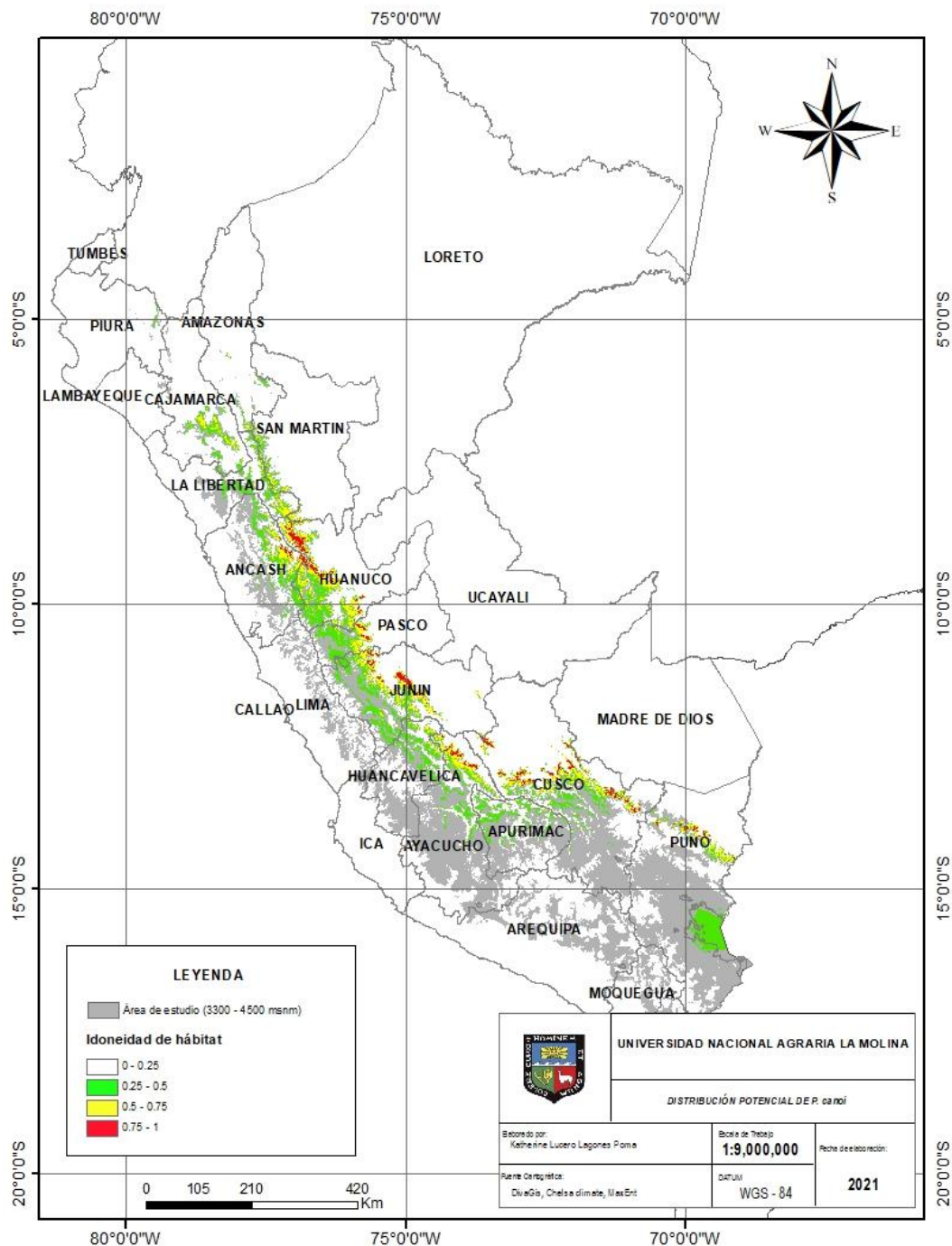


Figura 41: Modelamiento de distribución potencial de *P. canoi* generado con los parámetros seleccionados.

4.2.3 Registros nuevos de bosques de *Polylepis* en los Andes Centrales

Para cada mapa de distribución potencial, se determinaron las localidades que serían visitadas para complementar la validación *in situ*. Se consideraron como posibles lugares de visita aquellos con valores de idoneidad de hábitat sobre el 0.5. Además, se incluyeron los registros de las diferentes especies de *Polylepis* que se conocen hasta la actualidad y se superpusieron sobre los modelos obtenidos (Figura 43). Esto permitió identificar aquellas áreas que no poseen ningún registro hasta la actualidad.

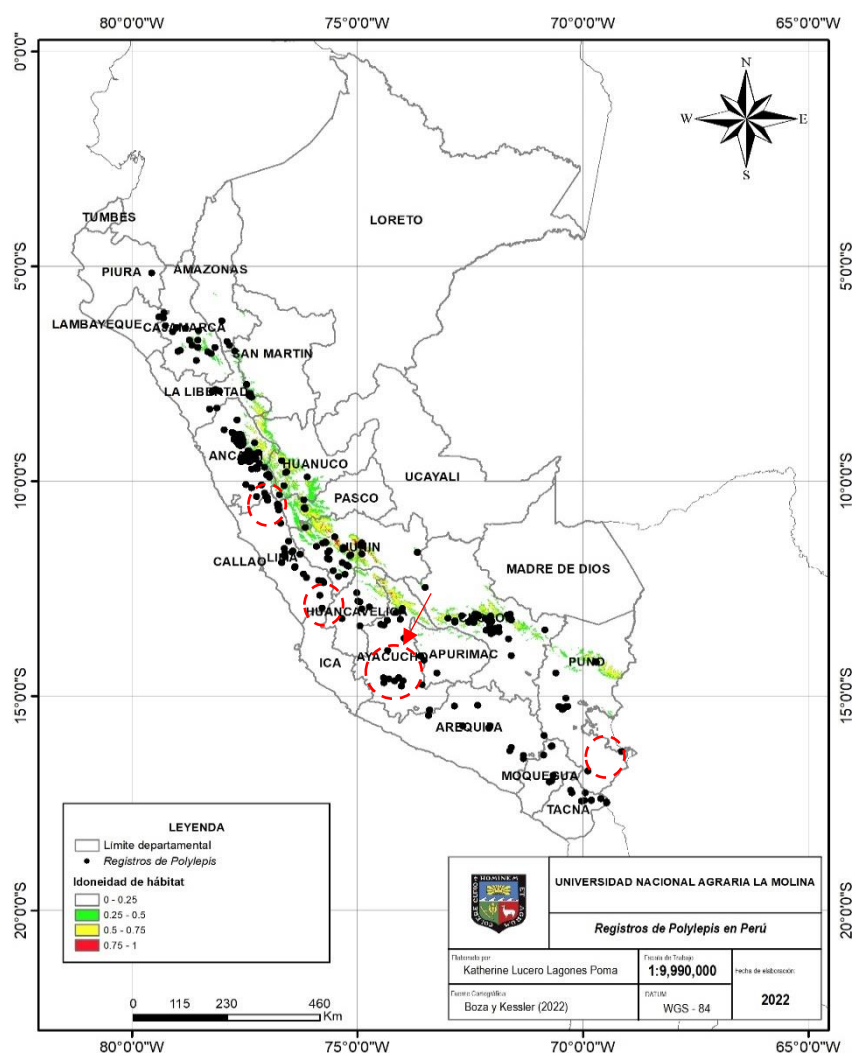


Figura 42: Registros de bosques de *Polylepis* en Perú

Se observa que los departamentos de Huánuco, Pasco, Huancavelica, Ayacucho y Puno, presentan mayores superficies idóneas para las especies en estudio; sin embargo, actualmente cuentan con pocos registros de especies del género *Polylepis*.

4.2.3.1. Provincia de Huancayo, Junín

Se programó una primera salida de campo a la región Junín (10 de agosto del 2021), ya que es un departamento que, si bien posee registros de presencias en algunos distritos, aún no se tienen registros en otros lugares de alta idoneidad.

Para *P. rodolfo-vasquezii*, se tiene un mayor número de registros en la provincia de Concepción, en los distritos de Comas y Andamarca, también existen registros en el distrito de Santo Domingo de Acobamba, provincia de Huancayo. En el caso de *P. canoi*, se tienen registros en la provincia de Jauja y Tarma. Los modelos obtenidos para ambas especies indican una alta idoneidad de hábitat hacia las zonas sur del departamento de Junín donde se localiza el sector de Jaramachay (Anexo 9), ubicado en el distrito de Pariahuanca, provincia de Huancayo. Esta área se encuentra al este del ACR Huaytapallana, limitando con los distritos de Andamarca y Santo Domingo de Acobamba. Se identificaron posibles bosques dentro del área de estudio, para su posterior validación en campo. Se delimitó el área de exploración de acuerdo con el modelo generado, el cual incluyó áreas con valores de idoneidad de 0.25 a 1, donde actualmente no se cuenta con ningún registro de las especies del género *Polylepis*.

En el sector de Jaramachay se encuentran altitudes entre los 3700 m.s.n.m hasta los 5100 m.s.n.m, observándose algunos picos nevados (Figura 44). Es una zona que corresponde a un pajonal de puna húmeda.



Figura 43: Fisiografía del sector de Jaramachay, Distrito de Pariahuanca, Huancayo. Ver mapa de ubicación Anexo 9.

Se lograron identificar dos bosques de *Polylepis* en este sector, el primero corresponde a la especie *P. argentea* y, el segundo corresponde a *P. rodolfo-vasquezii*.

Tabla 16: Ubicación de bosques identificados en el sector de Jaramachay

Especie	Coordenadas UTM			Altitud (m.s.n.m)
	Zona	Este (m)	Norte (m)	
<i>P. argentea</i>	18 L	510684	8686584	3882
<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	18 L	511676	8690519	4300

El bosque de *Polylepis rodolfo-vasquezii* cuenta con un área aproximada de dos hectáreas, con evidencias de ser fuertemente impactado por la ganadería y extracción de leña.

Algunos de los individuos de este bosque presentaron flores, en el mes de agosto del presente año.



Figura 44: Bosque de *Polylepis rodolfo-vasquezii*, sector de Jaramachay

P. argentea fue localizada en una ladera rocosa, con presencia de deslizamientos. Hay pocos individuos que conforman este bosque, la mayoría de ellos resultan inaccesibles.

Algunos individuos presentaron flores y frutos, en el mes de agosto del presente año.



Figura 45: Bosque de *Polylepis argentea*, sector de Jaramachay

a. Bosques identificados, modelo de *P. rodolfo-vasquezii*

En la Figura 47, se observa que el bosque de *P. rodolfo-vasquezii* se localizó dentro del área pronosticada como idoneidad muy alta (0.75 – 1.00), a una altitud de 4300 m.s.n.m. En las zonas de idoneidad alta, se observaron bosques de *Gynoxys*. En las zonas de idoneidad media, a una altitud de 4047 m.s.n.m, se localizó un bosque de *P. argentea*.

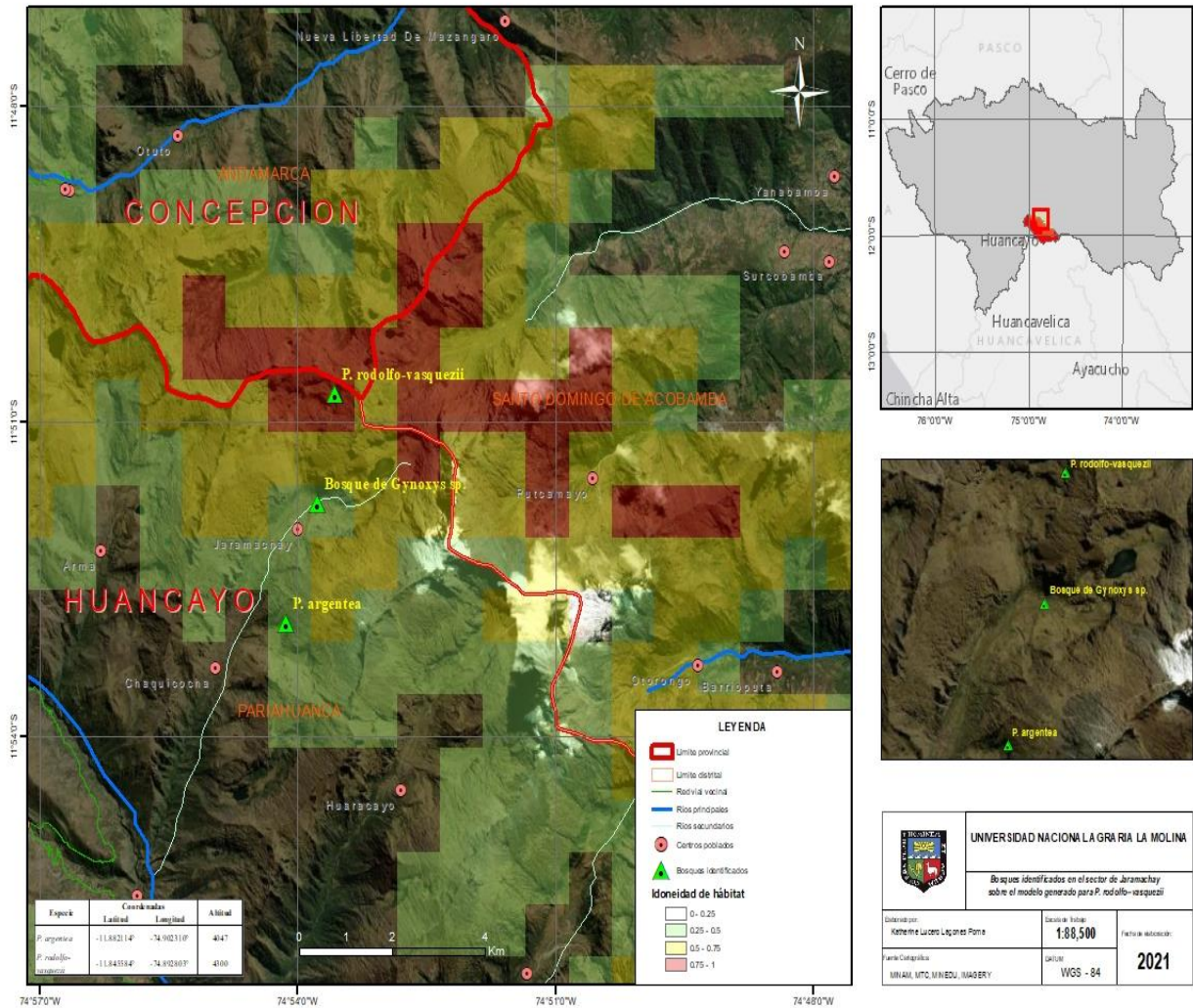


Figura 46: Bosques identificados en el sector de Jaramachay sobre el modelo generado para *P. rodolfo-vasquezii*

b. Bosques identificados, modelo de *P. canoi*

En la Figura 48 se observa que, en las áreas con idoneidad alta, se localizaron los bosques de *P. rodolfo-vasquezii* y de *Gynoxys*. En las zonas de idoneidad media se localiza el bosque de *P. argentea*. En este sector, el modelo no nos brinda áreas de muy alta idoneidad.

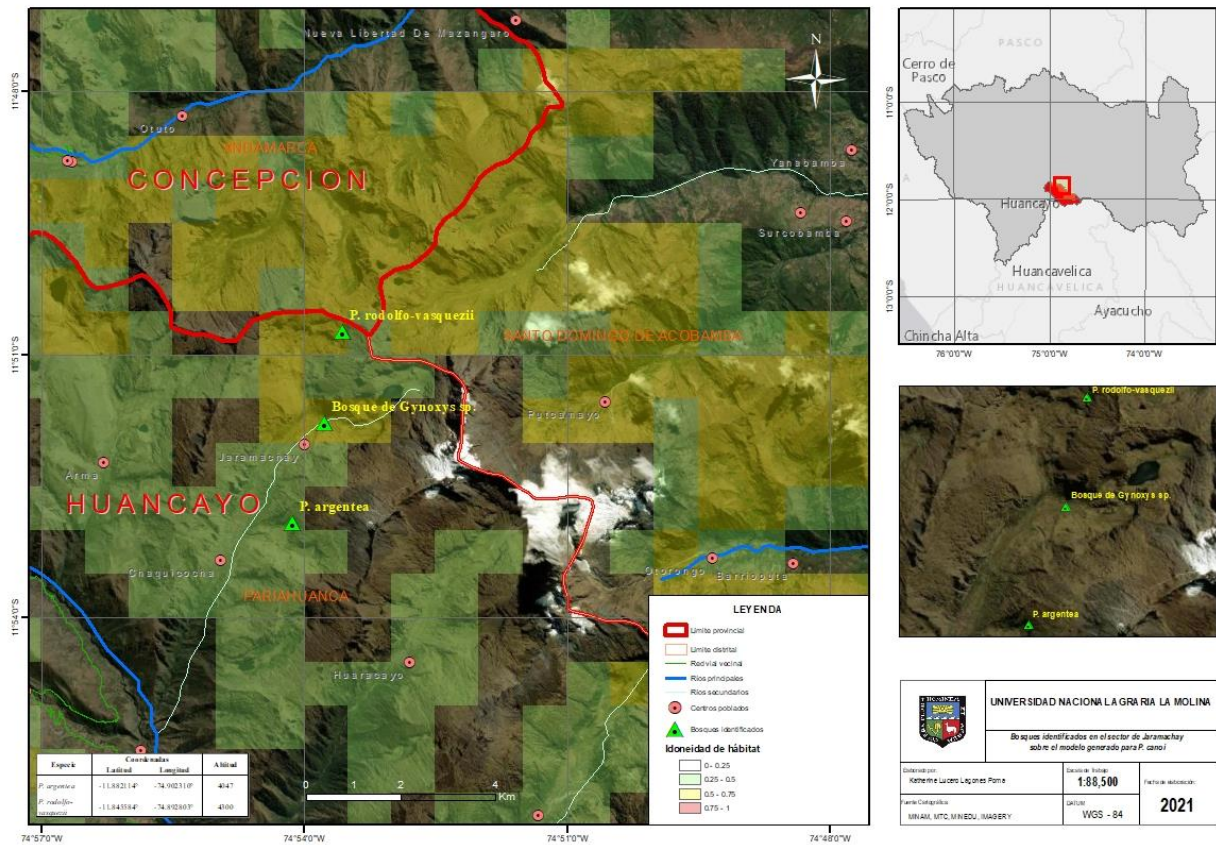


Figura 47: Bosques identificados en el sector de Jaramachay sobre el modelo generado para *P. canoi*

4.2.3.2. Provincia de Tayacaja, Huancavelica

Se programó una segunda salida de campo hacia la provincia de Tayacaja (29 de agosto del 2021), en los sectores de Milagro Pampa, Sune y Quinsaccocha. Estos sectores identificados se localizan al norte del departamento de Huancavelica, hasta llegar al límite con Ayacucho (Anexo 10). Se seleccionó estos sitios de exploración por los escasos registros de estos bosques y su relativa corta distancia al departamento de Junín, esperando tener mejores probabilidades de encontrar a las especies. El área de estudio no solo abarca la región de Huancavelica, también existe una amplia superficie en el departamento de Ayacucho; sin embargo, se determinó un mayor número de bosques accesibles en los sectores mencionados.

Para el ingreso hacia estos tres sectores, se toma la carretera hacia la localidad de Surcubamba, donde la actividad principal de la mayoría de los centros poblados es la agricultura. Existen vías de acceso hacia cada sector, observándose un fuerte contraste entre las zonas que se encuentran a 3000 m.s.n.m, correspondientes a un bosque húmedo con una amplia diversidad de especies y, las zonas que se encuentran sobre los 3800 m.s.n.m, correspondientes a zonas de pajonales de puna húmeda (Figura 49).



Figura 48: Fisiografía de la localidad de Huichcana (Quinsaccocha), camino al sector de Saywa, Huancavelica. Ver mapa de ubicación Anexo 10.

Se lograron identificar dos bosques, el primero correspondiente a la especie *Polylepis albicans* Pilg., sector de Sune y, el segundo correspondiente a *P. argentea* T.Boza & H.R. Quispe, sector Saywa (Huichccana).

Tabla 17: Ubicación de bosques identificados en la provincia de Tayacaja, Huancavelica

Especie	Localidad	Distrito	Coordenadas UTM			Altitud (m.s.n.m)
			Zona	Este (m)	Norte (m)	
<i>P. albicans</i>	Sune	Andaymarca	18 L	541060	8644503	3887
<i>P. argentea</i>	Huichccana	Tintay Puncu	18 L	550418	8646158	3953

De acuerdo con los registros que se tienen de la especie *P. albicans*, esta se encuentra en el noroeste de Perú en la Cordillera Blanca en Ancash y en los altos Andes adyacentes de La Libertad (Boza y Kessler, 2022). En el presente estudio se obtuvo un primer registro en el departamento de Huancavelica. Este bosque cuenta con una superficie aproximada de 20 hectáreas, es un área accesible, con individuos de hasta de 15 metros de altura. La mayoría de los individuos presentaron botones, flores y, algunos frutos (Figura 50). Se encuentran otras especies de interés como orquídeas, una de ellas descrita recientemente como nueva y endémica, *Epidendrum alejandrinae* (Quispe-Melgar *et al.*, 2022).



Figura 49: Bosque de *Polylepis albicans*, sector de Sune.

El bosque de *P. argentea* se encuentra en una ladera pedregosa de pendiente pronunciada, ubicada en el sector conocido como Saywa, cercana a la localidad de Huichccana. Tiene una superficie aproximada de tres hectáreas. Algunos individuos presentaron inflorescencias (Figura 51).



Figura 50: Bosque de *Polylepis argentea*, sector de Saywa.

a. Bosques identificados, modelo de *P. rodolfo-vasquezii*

En la Figura 52 se observa que, en las áreas con idoneidad muy alta, se localizó el bosque de *P. argentea*. En las zonas de idoneidad alta y media no se identificó ningún bosque.

En las áreas de baja idoneidad se identificó un bosque de *P. albicans*.

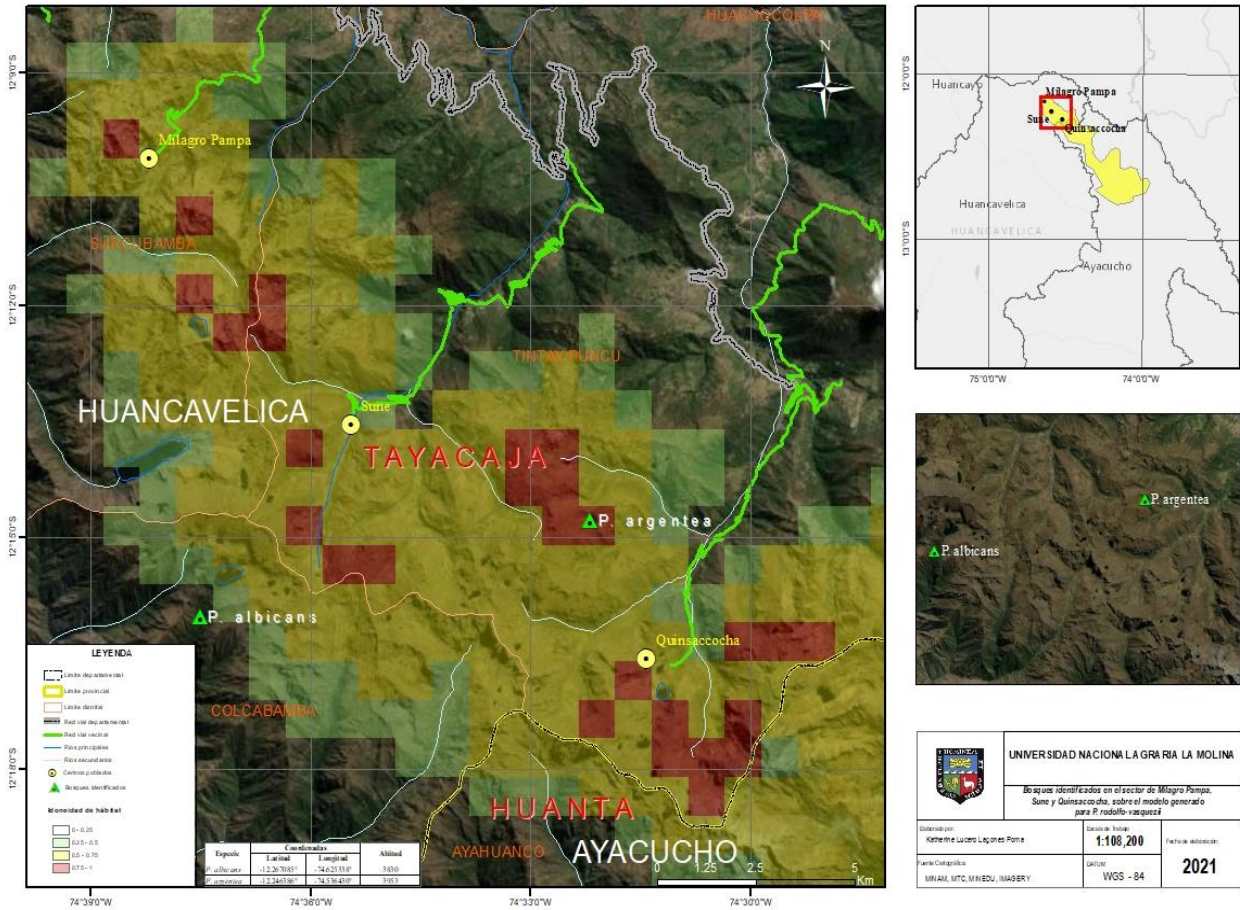


Figura 51: Bosques identificados en la provincia de Tayacaja, sobre el modelo generado para *P. rodolfo-vasquezii*

b. Bosques identificados, modelo de *P. canoi*

En la Figura 53 se observa que, en las áreas con idoneidad alta, se localizó el bosque de *P. argentea*. En las zonas de idoneidad media se identificó al bosque de *P. albicans*.

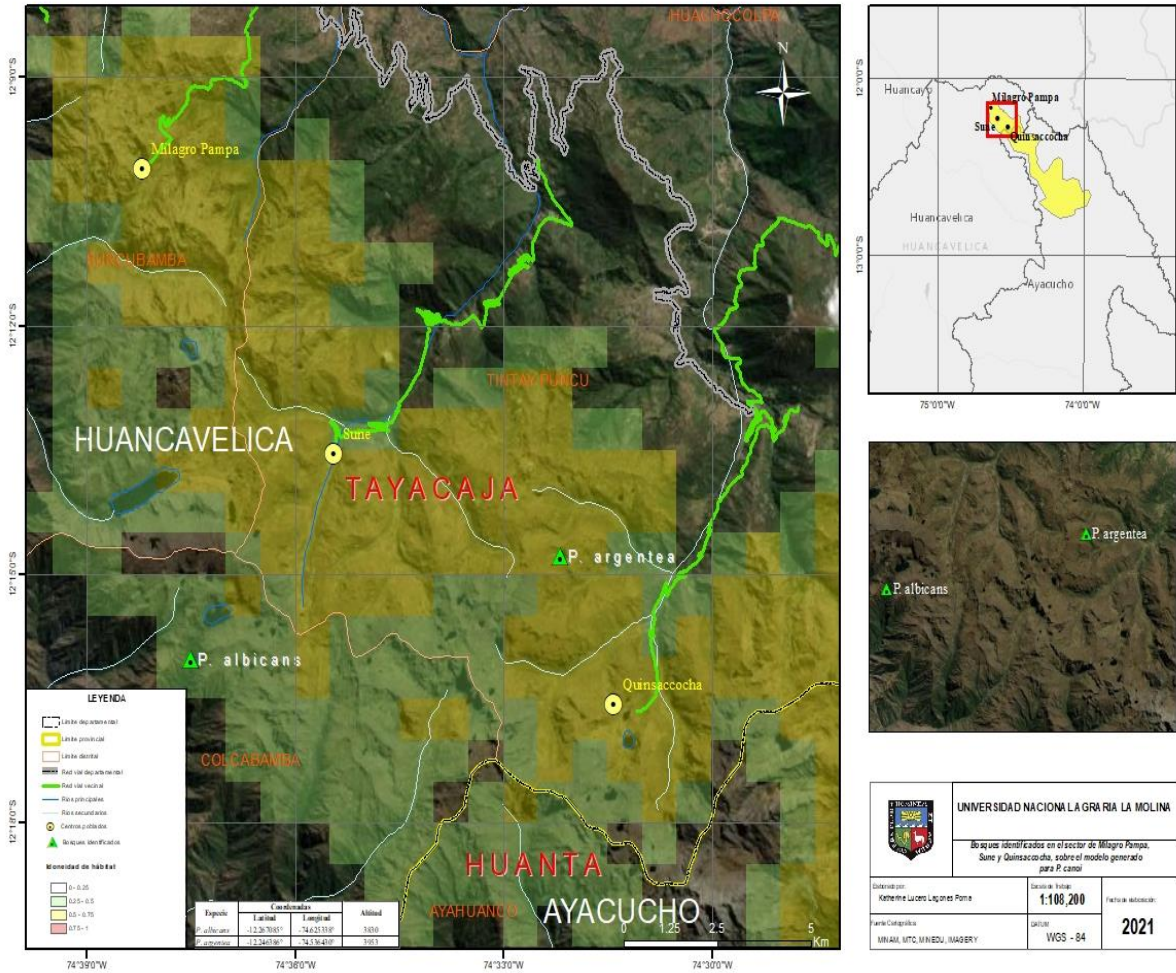


Figura 52: Bosques identificados en la provincia de Tayacaja, sobre el modelo generado para *P. canoi*.

4.2.4 Análisis de nicho ecológico de las especies identificadas en los modelos

4.2.4.1 Análisis del nicho ecológico en el espacio ambiental

Posteriormente a la verificación de puntos y registro de nuevos bosques, se realizó el análisis del nicho ecológico para las especies identificadas: *P. canoi*, *P. rodolfo-vasquezii*, *P. argentea* y *P. albicans*. Para ello, se elaboró un gráfico de dispersión de las variables de precipitación y temperatura anual, con los valores extraídos de las coordenadas de cada especie, con registros conocidos anteriormente incluyendo los nuevos registros obtenidos (Figura 54).

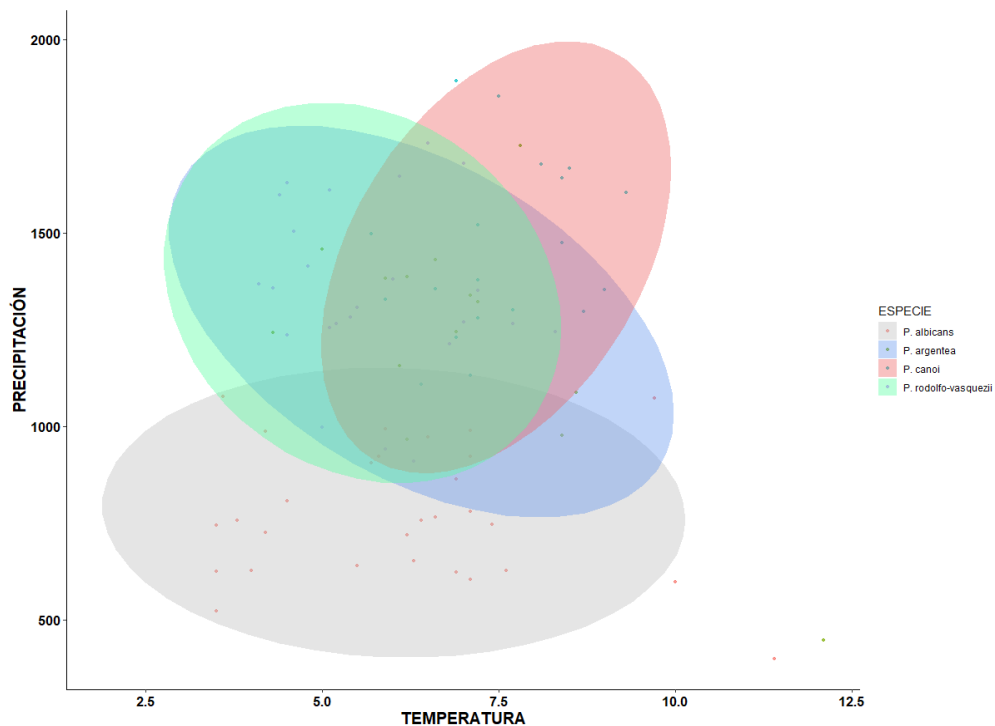


Figura 53: Valores de temperatura y precipitación media anual de las especies *P. albicans*, *P. argentea*, *P. canoi* y *P. rodolfo vasquezii*.

Como se observa en la Figura 54, *P. canoi*, *P. rodolfo-vasquezii*, *P. argentea* y *P. albicans* se interceptan en una nube de puntos, compartiendo algunos de los valores de estas variables. La mayoría de los valores de *P. rodolfo-vasquezii* se encuentra dentro del rango de valores de *P. argentea*. La especie que se desarrolla a menores rangos de precipitaciones es *P. albicans* y, la que se desarrolla a mayores precipitaciones es *P. canoi*. Debido a las observaciones anteriores, se decidió realizar un análisis de varianza en las diferentes especies identificadas para las variables de precipitación y temperatura media anual.

Tabla 18: ANOVA de las variables temperatura y precipitación en las especies identificadas

ANOVA						
		SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
PRECIPITACIÓN	Entre grupos	7126947,451	3	2375649,150	49,271	0,000
	Dentro de grupos	4339448,294	90	48216,092		
	Total	11466395,745	93			
TEMPERATURA	Entre grupos	40,440	3	13,480	5,366	0,002
	Dentro de grupos	226,068	90	2,512		
	Total	266,507	93			

Los resultados que se muestran en la Tabla 18, evidencian que existen diferencias significativas entre los grupos evaluados. A continuación, se realizó una prueba Post Hoc para identificar subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí (Tabla 19).

Tabla 19: Prueba Post Hoc

Comparaciones múltiples							
HSD Tukey							
Variable dependiente	(I) Especie	(J) Especie	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Limite inferior	Limite superior
Precipitación	<i>P. canoi</i>	<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	107,349	63,889	0,340	-59,892	274,590
		<i>P. albicans</i>	678,445*	62,918	0,000	513,746	843,144
		<i>P. argentea</i>	215,003*	71,640	0,018	27,473	402,533
	<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	<i>P. canoi</i>	-107,349	63,889	0,340	-274,590	59,892
		<i>P. albicans</i>	571,096*	58,723	0,000	417,377	724,815
		<i>P. argentea</i>	107,654	67,985	0,393	-70,311	285,618
	<i>P. albicans</i>	<i>P. canoi</i>	-678,445*	62,918	0,000	-843,144	-513,746
		<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	-571,096*	58,723	0,000	-724,815	-417,377
		<i>P. argentea</i>	-463,442*	67,074	0,000	-639,020	-287,865
	<i>P. argentea</i>	<i>P. canoi</i>	-215,003*	71,640	0,018	-402,533	-27,473
		<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	-107,654	67,985	0,393	-285,618	70,311
		<i>P. albicans</i>	463,442*	67,074	0,000	287,865	639,020
Temperatura	<i>P. canoi</i>	<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	1,765*	0,461	0,001	0,557	2,972
		<i>P. albicans</i>	1,319*	0,454	0,024	0,131	2,508
		<i>P. argentea</i>	0,763	0,517	0,456	-0,591	2,117
	<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	<i>P. canoi</i>	-1,765*	0,461	0,001	-2,972	-0,557
		<i>P. albicans</i>	-0,445	0,424	0,720	-1,555	0,664
		<i>P. argentea</i>	-1,002	0,491	0,181	-2,286	0,283
	<i>P. albicans</i>	<i>P. canoi</i>	-1,319*	0,454	0,024	-2,508	-0,131
		<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	0,445	0,424	0,720	-0,664	1,555
		<i>P. argentea</i>	-0,556	0,484	0,660	-1,824	0,711
	<i>P. argentea</i>	<i>P. canoi</i>	-0,763	0,517	0,456	-2,117	0,591
		<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	1,002	0,491	0,181	-0,283	2,286
		<i>P. albicans</i>	0,556	0,484	0,660	-0,711	1,824

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Al analizar los subconjuntos para la variable precipitación (Tabla 20), se observa que la especie *P. albicans* presenta diferencias significativas con las demás especies. Boza y Kessler (2022). señala que entre las especies de la sub sección *Sericea*, donde están incluidas *P. canoi* y *P. argentea*, la especie *P. albicans* es ecológicamente más diferenciada, ya que crece en hábitats más secos (382.6 – 1097.2 mm). Además, en este primer registro en la zona central del país, se tiene un valor de precipitación media anual de 863 mm, el cual se encuentra en el rango mencionado.

Tabla 20: Subconjuntos para la variable precipitación

PRECIPITACIÓN				
HSD Tukey ^{a,b}				
Especie	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
<i>P. albicans</i>	29	772,793		
<i>P. argentea</i>	17		1236,235	
<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	27		1343,889	1343,889
<i>P. canoi</i>	21			1451,238
Sig.		1,000	0,360	0,362

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 22,477.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

P. argentea y *P. canoi* difieren significativamente, lo cual se puede explicar por la preferencia de *P. canoi* creciendo en hábitats sustancialmente más húmedos (Boza y Kessler, 2022). Para *P. argentea* se tiene registros de precipitación media anual entre 447 mm hasta 1725 mm, y para *P. canoi* valores entre 1108 mm hasta 1893 mm.

P. argentea y *P. rodolfo-vasquezii* no presentaron diferencias significativas. Las dos son especies que se desarrollan en lugares con valores de precipitación media anual similares. Para *P. rodolfo-vasquezii* se tiene registros de precipitación media anual entre 910 mm hasta 1732 mm. *P. rodolfo-vasquezii* y *P. canoi* no presentaron diferencias significativas (Figura 55).

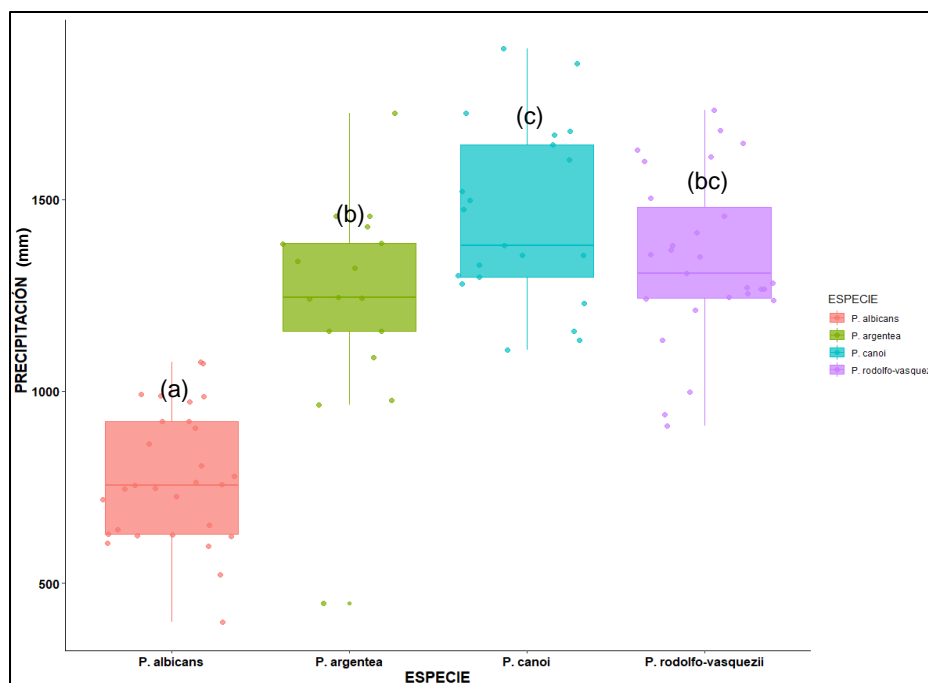


Figura 54: Gráfico de cajas de los valores de la variable precipitación media anual en las especies *P. albicans*, *P. argentea*, *P. canoi* y *P. rodolfo vasquezii*.

Al analizar los subconjuntos para la variable temperatura (Tabla 21), las especies *P. albicans*, *P. rodolfo-vasquezii* y *P. argentea* no presentan diferencias significativas. Boza (2020) indica que *P. albicans* y *P. rodolfo-vasquezii* crecen en condiciones frías alrededor de 5.5 °C de temperatura media anual.

Tabla 21: Subconjuntos para la variable temperatura

TEMPERATURA			
HSD Tukey ^{a,b}		Subconjunto para alfa = 0.05	
Especie	N	1	2
<i>P. rodolfo-vasquezii</i>	27	5,693	
<i>P. albicans</i>	29	6,138	
<i>P. argentea</i>	17	6,694	6,694
<i>P. canoi</i>	21		7,457
Sig.		0,155	0,376

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 22,477.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

P. canoi presenta diferencias significativas con las especies *P. albicans* y *P. rodolfo-vasquezii*, ya que es una especie que crece en lugares con temperaturas más altas (Figura 56). *P. argentea* y *P. canoi* no difieren significativamente; sin embargo, se menciona que *P. argentea* crece en lugares más fríos y secos; por otra parte, *P. canoi* crece en lugares más cálidos y húmedos (Boza y Kessler, 2022).

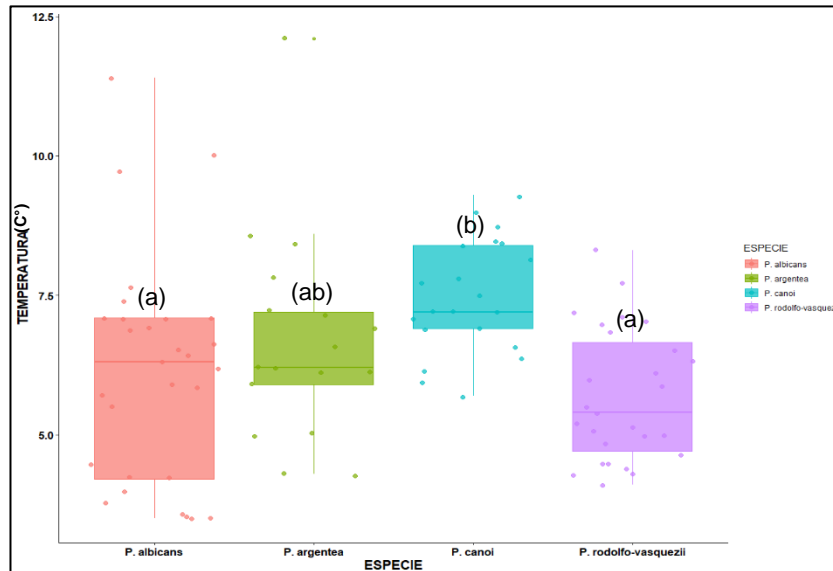


Figura 55: Gráfico de cajas de los valores de la variable temperatura media anual en las especies *P. albicans*, *P. argentea*, *P. canoi* y *P. rodolfo vasquezii*.

4.2.4.2 Similaridad de nichos ecológicos en el espacio ambiental

En el modelo de *P. rodolfo vasquezii*, con un nivel de idoneidad de hábitat media y muy alta, se encontró a la especie *P. argentea*. Luego de los análisis realizados, estas dos especies compartirían nichos ecológicos similares, ya que no presentan diferencias significativas en los valores de precipitación y temperatura media anual. Actualmente, también existen herramientas que nos permite realizar el cálculo de superposición de nicho ecológico en especies que comparten esta similaridad de nicho. En las zonas de baja idoneidad, se localizó la especie *P. albicans*, la cual se localiza en zonas menos húmedas que *P. rodolfo vasquezii*.

En el modelo de *P. canoi*, con un nivel de idoneidad media y alta, se localizó la especie *P. argentea*. Sin embargo, los análisis realizados demuestran la preferencia de sitios con niveles de precipitación más elevados para *P. canoi*. En las zonas de idoneidad media se identificó al bosque de *P. albicans*, pero ambas especies poseen nichos notablemente diferentes. Asimismo, en áreas con idoneidad alta, se localizaron los bosques de *P. rodolfo vasquezii*; sin embargo, *P. canoi* se desarrolla en áreas de temperaturas más altas que *P. rodolfo vasquezii*. En base a estos resultados, se realizó la reclasificación del mapa de idoneidad de hábitat para el modelo de *P. canoi*.

4.3 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA RESTAURACIÓN

4.3.1 Cuantificación de las áreas de distribución potencial

4.3.1.1 *Polylepis rodolfo-vasquezii*

Se realizó la reclasificación del mapa de idoneidad de hábitat para obtener un mapa de ausencias y presencias, considerando el valor de umbral de corte de 0.5 (Figura 57). Este valor fue determinado luego de evaluar la presencia de las especies encontradas en campo y su similitud de nicho ecológico.

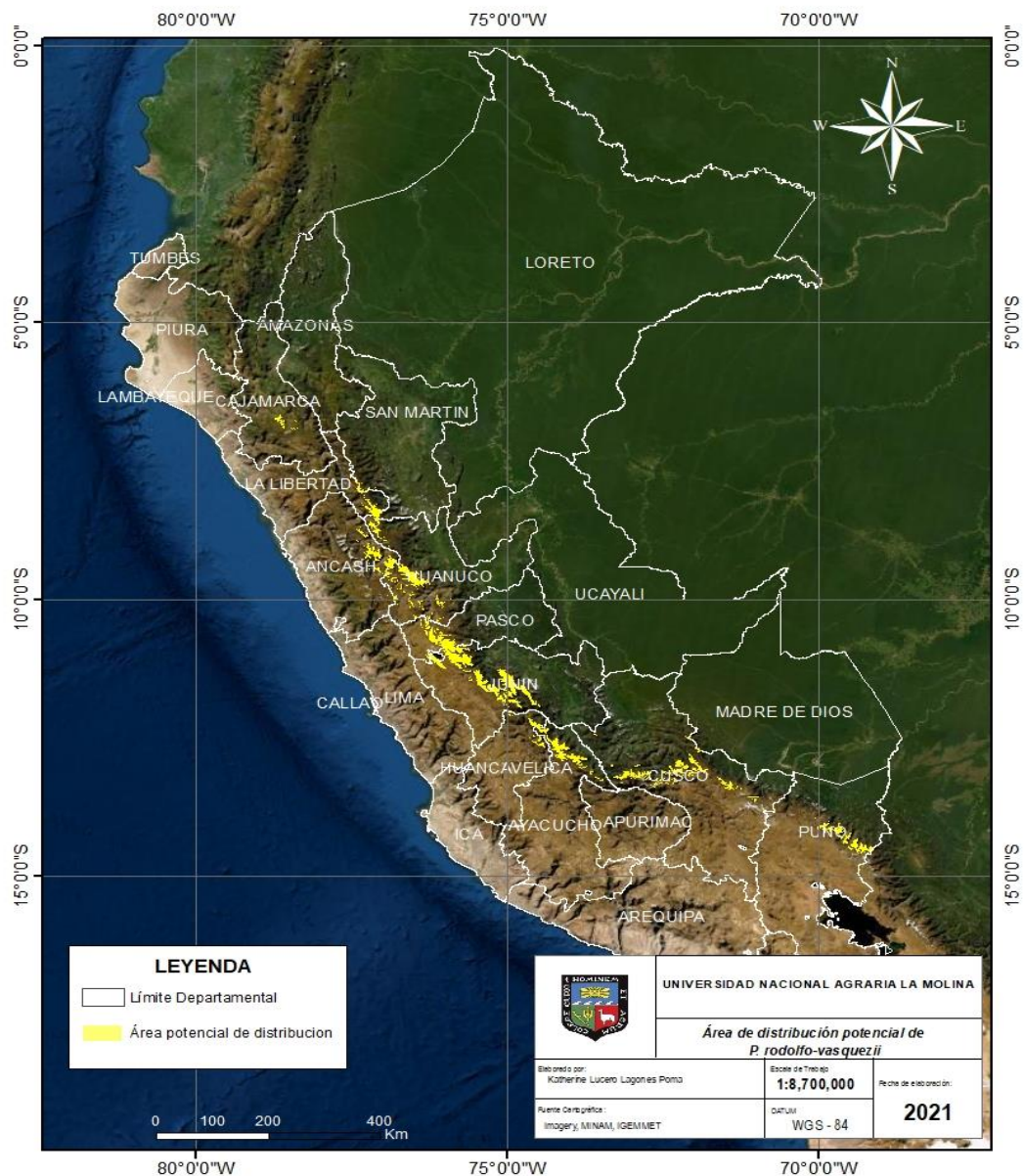


Figura 56: Distribución potencial de la especie *P. rodolfo-vasquezii*

El área de distribución potencial de la especie *P. rodolfo-vasquezii* comprende los siguientes departamentos:

Tabla 22: Área de distribución potencial de la especie *P. rodolfo-vasquezii*

Departamento	Área (Km²)
Junín	3785.39
Huánuco	2189.07
Cusco	2017.52
Ayacucho	1323.14
Puno	1114.10
Pasco	976.49
Ancash	827.21
La Libertad	388.37
Huancavelica	350.04
San Martín	220.04
Cajamarca	213.93
TOTAL	13 405.29

De los departamentos que figuran en la Tabla 22, no se tienen registros de la especie en 6 de estos departamentos: Huánuco, Pasco, Ayacucho, Ancash, La Libertad y Cajamarca. Sin embargo, existe una alta probabilidad de encontrar a la especie *P. rodolfo-vasquezii* en el departamento de Huánuco, ya que presenta un 16% de la superficie total de distribución potencial de la especie, además que se tiene registro de su distribución actual hasta el departamento de San Martín (Boza, 2020). Los departamentos de Junín, Huánuco y Cusco comprenderían cerca del 60% de la distribución potencial de esta especie, siendo Junín el departamento que cuenta con la mayor área potencial de distribución.

4.3.1.2 *Polylepis canoi*

Se realizó la reclasificación del mapa de idoneidad de hábitat para obtener un mapa de ausencias y presencias, considerando el valor de umbral de corte de 0.6 (Figura 58). Este valor fue determinado luego de evaluar la presencia de las especies encontradas en campo y su similitud de nicho ecológico.

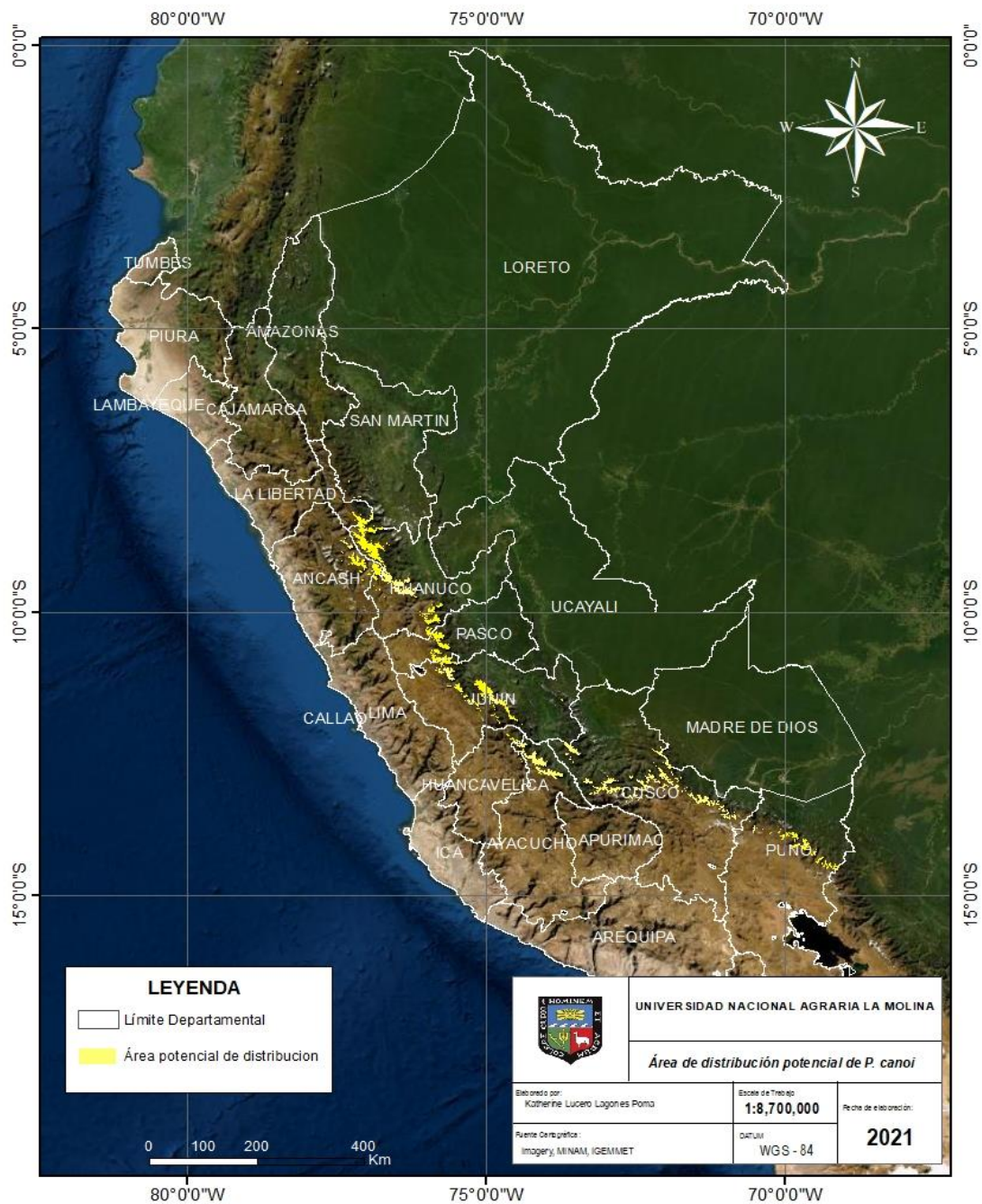


Figura 57: Distribución potencial de la especie *P. canoi*

El área de distribución potencial de la especie *P. canoi* comprende los siguientes departamentos:

Tabla 23: Área de distribución potencial de la especie *P. canoi*

Departamento	Área (Km²)
Huánuco	3145.56
Cusco	2992.41
Junín	2157.23
Ayacucho	1007.27
Puno	920.83
Ancash	873.79
Pasco	770.01
San Martín	329.11
La Libertad	214.04
<u>Huancavelica</u>	<u>116.16</u>
TOTAL	12 526.41

De los departamentos que figuran en la Tabla 23, no se tienen registros de la especie en 6 de estos departamentos: Huánuco, Ancash, Pasco, San Martín, La Libertad y Huancavelica. Sin embargo, existe una alta probabilidad de encontrar a la especie *P. canoi* en el departamento de Huánuco, ya que presenta un 25% de la superficie total de distribución potencial de la especie. Los departamentos de Huánuco, Cusco y Junín comprenderían cerca del 67% de la distribución potencial de esta especie, siendo Huánuco el departamento que cuenta con la mayor área potencial de distribución.

4.3.2 Áreas potenciales de restauración

4.3.2.1 Áreas potenciales de restauración para *P. rodolfo-vasquezii*

Se identificaron como áreas potenciales de restauración, aquellas que se encuentran dentro de los modelos generados. Para ello se evaluó dicha superficie incluyendo los siguientes elementos del paisaje: distanciamiento a los centros poblados, vías de acceso (hasta 5 km de distancia), presencia de concesiones mineras, áreas naturales protegidas y, cuyos niveles promedio de erosión superan las 50 Tn/ha/año (grado de erosión Alto según la FAO); con el fin de identificar las áreas con mayores oportunidades de restauración y conservación (Figura 59).

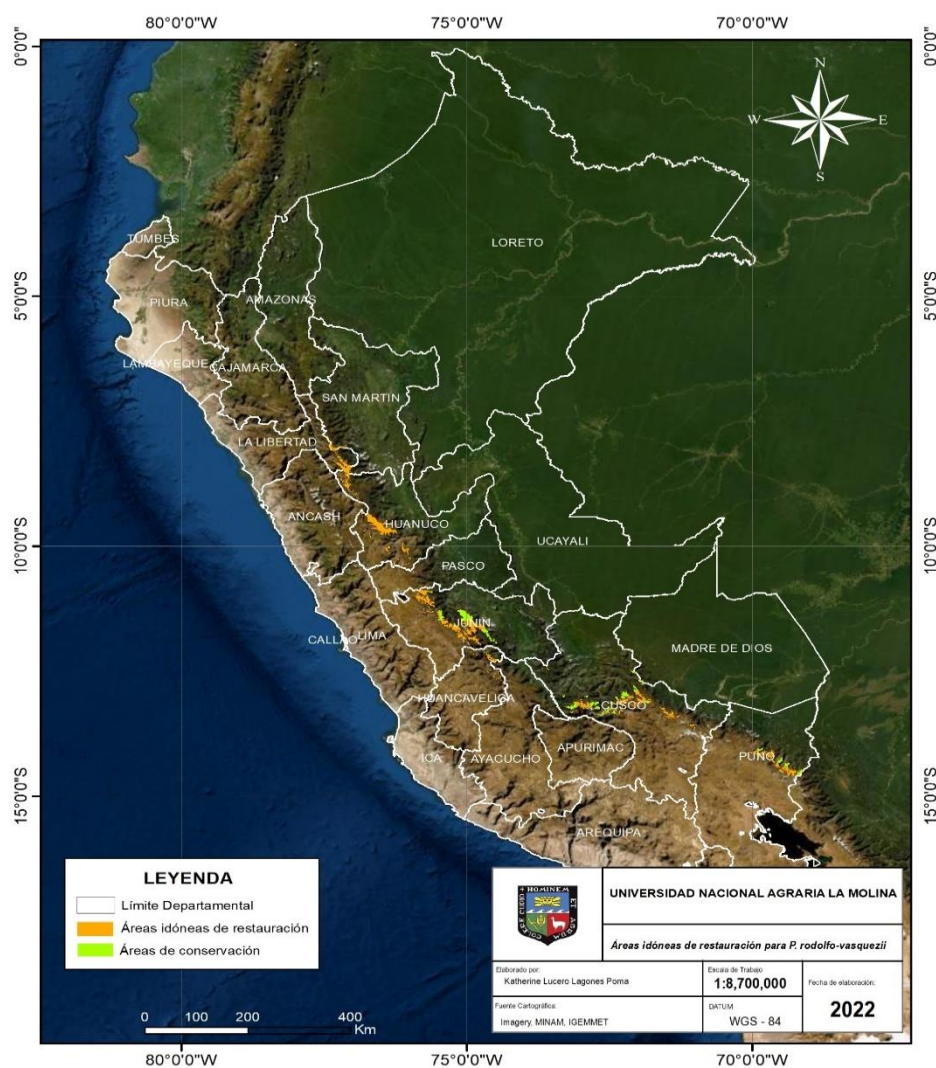


Figura 58: Áreas identificadas como idóneas de restauración para *P. rodolfo-vasquezii*

La Tabla 24 muestra la superficie potencial de restauración de la especie *P. rodolfo-vasquezii* en los departamentos donde actualmente se tienen registros de presencia de esta especie, incluyendo a Huánuco. Si bien hasta la actualidad no se posee registro de presencia de esta especie en el departamento de Huánuco, se sabe que su distribución se extiende hasta el departamento de San Martín, lo cual permite considerar aquellas áreas comprendidas en el departamento de Huánuco como potenciales áreas para restauración.

Tabla 24: Superficie potencial de restauración de la especie *P. rodolfo-vasquezii*

Departamento	Áreas accesibles (Km²)	Áreas no accesibles para fines de conservación (Km²)	Área total de restauración (Km²)
Junín	1 887.80	737.78	2 625.58
Huánuco	1 507.56	0.00	1 507.56
Cusco	1 085.66	842.53	1 928.19
Puno	688.87	251.58	940.45
Huancavelica	205.89	0.00	205.89
San Martín	184.64	10.69	195.32
TOTAL	5 560.42	1 842.58	7 403.00

De acuerdo con los resultados de la distribución potencial de la especie *P. rodolfo-vasquezii*, donde los departamentos de Junín, Huánuco y Cusco comprenderían cerca del 60% de distribución potencial de la especie, se espera que estos departamentos posean la mayor superficie potencial para realizar actividades de restauración con la especie *P. rodolfo-vasquezii* (Anexo 11), identificándose las localidades que potencialmente podrían involucrarse en las actividades de restauración (Anexo 13). Algunas de estas áreas se localizaron aledañas o dentro de distintas áreas de conservación. En el departamento de Junín, se identificaron áreas aledañas al Santuario Nacional Pampa Hermosa, áreas dentro del Bosque de Protección de Pui Pui y el ACR Huaytapallana. En el departamento de Huánuco, algunas áreas de restauración se encontraron aledañas al ACP de San Marcos y del ACR Bosques de Shunté y Mishollo. Y en Cusco, se localizaron algunas áreas aledañas al ACR Chuyapi Urusayhua, ACP Qosqocahuarina y ACP Wayqecha, mientras que, se identificaron áreas dentro del ACR de Choquequirao, Santuario Histórico de Machu Picchu, ACP San Luis, ACP Abra Málaga Thastayoc – Royal Cinclodes, ACP Sele Tecse-Lares Ayllu, ACP Hatun Queuña Quishuarani Ccollana, ACP Siete Cataratas – Qanchis Paccha y, ACP Pillco Grande – Bosque de Pumataki.

Se buscó información de los ecosistemas amenazados en cada sector, con el fin de identificar las áreas con mayores oportunidades de restauración y conservación (Tabla 25):

Tabla 25: Áreas prioritarias de restauración para *P. rodolfo-vasquezii*

REGIÓN	PROVINCIAS	DISTRITOS	ACTIVIDADES ECONÓMICAS	ECOSISTEMAS AMENAZADOS
HUÁNUCO	MARAÑÓN	-HUACRACHUCO - SAN BUENAVENTURA	Actividad agropecuaria, turismo. Energía hidroeléctrica.	Bosques de Shunté y Mishollo (BOSHUMI)
	HUACAYBAMBA	- CANCHABAMBA - PINRA		
	HUAMALÍES	-SINGA -PUNCHAO -MIRAFLORES - LLATA - TANTAMAYO - CHAVIN DE PARIARCA - JACAS GRANDE		
	DOS DE MAYO	- QUIVILLA - MARIAS - CHUQUIS		
	YAROWILCA	- APARICIO POMARES - CHAVINILLO - JACAS CHICO - CHORAS - PAMPAMARCA OBAS		
	HUÁNUCO	- CHURUBAMBA - SANTA MARIA DEL VALLE - SAN PEDRO DE CHAULAN		
	AMBO	- SAN RAFAEL - SAN FRANCISCO		
	PACHITEA	- PANAÑO - MOLINO		
JUNÍN	JUNÍN	-ULCUMAYO	Actividad minera, agropecuaria, comercio. Energía hidroeléctrica.	Presencia de humedales y lagunas altoandinas
	TARMA	-SAN PEDRO DE CAJAS -HUASAHUASI -PALCAMAYO -ACOBAMBA -PALCA -TAPO		
	CHANCHAMAYO	- CHANCHAMAYO - SAN RAMÓN		
	JAUJA	- RICRAN - MOLINOS - APATA - MONOBAMBA		
	CONCEPCIÓN	- COCHAS - COMAS		

		- ANDAMARCA		
	HUANCAYO	-PARIHUANCA		
	SATIPO	-PAMPA HERMOSA		
HUANCAVELICA	TAYACAJA	TINTAY PUNCU	Actividad minera y agrícola	Bosques de <i>Polylepis</i>
	CHURCAMPA	CHINCHIHUASI PACHAMARCA PAUCARBAMBA SAN PEDRO DE CORIS		
CUSCO	LA CONVENCION	- INKAWASI - VILCABAMBA - SANTA TERESA - HUAYOPATA - OCOBAMBA	Actividad minera, agropecuaria, comercio, turismo.	Bosques de <i>Polylepis</i>
	URUBAMBA	-OLLANTAYTAMBO - MACHUPICCHU		
	CALCA	- LARES - YANATILE		
	PAUCARTAMBO	- CHALLABAMBA - PAUCARTAMBO		
	QUISPICANCHI	- MARCAPATA		

4.3.2.2 Áreas potenciales de restauración para *P. canoi*

Se identificaron como áreas potenciales de restauración, aquellas que se encuentran dentro de los modelos generados. Para ello se evaluó dicha superficie incluyendo los siguientes elementos del paisaje: distanciamiento a los centros poblados, vías de acceso (hasta 5 km de distancia), a las concesiones mineras, áreas de conservación y, cuyos niveles promedio de erosión superan las 50 Tn/ha/año (grado de erosión Alto según la FAO); con el fin de identificar las áreas con mayores oportunidades de restauración y conservación (Figura 60).



Figura 59: Áreas identificadas como idóneas para restauración para la *P. canoi*

La Tabla 26 muestra la superficie potencial de restauración de la especie *P. canoi*, en los departamentos donde actualmente se tienen registros de presencia de esta especie, incluyendo a Huánuco. Si bien hasta la actualidad no se posee registro de presencia de esta especie en el departamento de Huánuco, cuenta con la mayor área potencial de distribución. La información actual disponible de bosques de *Polylepis* para el departamento de Huánuco aún es escasa, y posee áreas importantes para el estudio de estos bosques.

Tabla 26: Superficie potencial de restauración de la especie *P. canoi*

Departamento	Áreas accesibles (Km²)	Áreas no accesibles para fines de conservación (Km²)	Área total de restauración (Km²)
Huánuco	1 972.71	592.24	2 564.95
Cusco	966.58	1 789.73	2 756.31
Junín	679.33	1 107.60	1 786.93
Ayacucho	202.49	168.46	370.95
Puno	467.71	121.38	589.08
TOTAL	4 288.82	3 779.40	8 068.23

De acuerdo con los resultados de la distribución potencial de la especie *P. canoi*, donde los departamentos de Huánuco, Cusco y Junín comprenderían cerca del 67% de la distribución potencial de esta especie, se espera que estos departamentos posean la mayor superficie potencial para realizar actividades de restauración con esta especie; sin embargo, la mayoría de estas áreas no se encuentran accesibles, principalmente para los departamentos de Cusco y Junín (Anexo 12). Se identificó las localidades que potencialmente podrían involucrarse en las actividades de restauración en estos departamentos (Anexo 14). Algunas de estas áreas se localizaron aledañas o dentro de distintas áreas de conservación. En el departamento de Junín, se identificaron áreas aledañas al Santuario Nacional Pampa Hermosa y áreas dentro del Bosque de Protección de Pui Pui. En el departamento de Huánuco, algunas áreas de restauración se encontraron aledañas al ACP de San Marcos y del ACR Bosques de Shunté y Mishollo, y algunas áreas dentro del ACR Bosque Montano de Carpish. Y en Cusco, se localizaron algunas áreas aledañas al Santuario Nacional Megantoni, Parque Nacional del Manu, ACR Choquequirao, ACP Abra Málaga Thastayoc – Royal Cinclodes y ACP Wayqecha, mientras que se identificaron áreas dentro del ACR Chuyapi Urusayhua, Santuario Histórico de Machu Picchu, ACP San Luis y, ACP Pillco Grande – Bosque de Pumataki y del ACP Japu-Bosque Ukumari Llaqta.

Se buscó información de los ecosistemas amenazados en cada sector, con el fin de identificar las áreas con mayores oportunidades de restauración y conservación (Tabla 27):

Tabla 27: Áreas prioritarias de restauración para *P. canoi*

REGIÓN	PROVINCIAS	DISTRITOS	ACTIVIDADES ECONÓMICAS	ECOSISTEMAS AMENAZADOS
HUÁNUCO	MARAÑÓN	-HUACRACHUCO - CHOLÓN - SAN BUENAVENTURA	Actividad agropecuaria y minera.	Bosques de Shunté y Mishollo (BOSHUMI)
	HUACAYBAMBA	- CANCHABAMBA - PINRA - HUACAYBAMBA - COCHABAMBA		
	HUAMALÍES	- ARANCAY - JIRCAN - TANTAMAYO - MONZON		
	DOS DE MAYO	- MARIAS		
	HUÁNUCO	- CHURUBAMBA		
	PACHITEA	- PANAÑO - MOLINO		
JUNÍN	JUNÍN	-ULCUMAYO	Actividad minera, agricultura	Presencia de humedales y lagunas altoandinas
	TARMA	-SAN PEDRO DE CAJAS -PALCA		
	CONCEPCIÓN	- COCHAS - ANDAMARCA		
	HUANCAYO	-PARIHUANCA		
	SATIPO	-PAMPA HERMOSA		
CUSCO	LA CONVENCION	- VILCABAMBA - HUAYOPATA - OCOBAMBA	Actividad minera, agricultura, ganadería, turismo.	Bosques de <i>Polylepis</i>
	URUBAMBA	- MACHUPICCHU		
	CALCA	- LARES - YANATILE		
	PAUCARTAMBO	- CHALLABAMBA - PAUCARTAMBO		
	QUISPICANCHI	- MARCAPATA - CAMANTI		
PUNO	Carabaya	Coasa Usicayos	Actividad agropecuaria y minera.	Bosques de <i>Polylepis</i>
	Sandía	Limbani Phara Sandia Quiaca		
	San Antonio de Putina	Sina		

V.CONCLUSIONES

1. Las variables de mayor contribución a los modelos de *P. rodolfo-vasquezii* fueron la temperatura mínima del mes más frío y el índice de aridez; y para *P. canoi*, la temperatura mínima del mes más frío y la temperatura media del trimestre más cálido.
2. Los modelos obtenidos para ambas especies presentaron los mejores resultados de rendimiento de acuerdo con los criterios de evaluación estadísticos, estos se obtuvieron con diferentes curvas de respuesta, y con multiplicador de regularización igual a 1. La evaluación complementaria *in situ*, demuestra que en estas áreas es posible encontrar otras especies con las cuales pueden compartir un nicho ecológico similar, como el caso de *P. rodolfo-vasquezii* y *P. argentea*.
3. Se identificaron como áreas potenciales de restauración, aquellas que se encuentran dentro de los modelos de distribución potencial generados, situadas cerca a los centros poblados, fuera de las áreas de conservación, cercanos a las concesiones mineras, y cuyos niveles promedio de erosión superan las 50 Tn/ha/año.
4. Los distritos de la provincia de Concepción, Junín, cuentan con mayor área potencial de restauración con la especie *P. rodolfo-vasquezii*; mientras que, los distritos de la provincia de La Convención, Cusco, cuentan con mayor área potencial para la especie *P. canoi*. Huánuco también presenta sitios importantes para realizar intervenciones de restauración con ambas especies, siendo recomendable generar mayores registros de presencia de estas especies en las localidades mencionadas.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda complementar la validación *in situ* de los modelos generados en el departamento de Huánuco, principalmente hacia los bosques de la localidad de Huacrachuco, provincia de Marañón, donde aún se tienen escasos registros de estas especies. Como se evidencia en la presente investigación, existe una importancia trascendental en el estudio de la distribución de las especies del género *Polylepis*, ya que hay un impacto directo en el estudio de numerosas plantas endémicas.
2. Se sugiere realizar la evaluación del efecto del cambio climático en las áreas identificadas para restauración, utilizando los modelos de distribución de especies bajo distintos escenarios climáticos. Esto sería una evidencia adicional para determinar si estos sitios identificados son suficientemente estables climáticamente. El área de estudio podría comprender otros bosques de “queñuales” situados entre los pajonales de puna húmeda o jalca (norte de Perú) y los bosques altimontanos pluviales de las yungas, para conocer el efecto del cambio climático en estos ecosistemas.
3. Se recomienda realizar el modelamiento de nicho para estas especies a una escala más fina en los departamentos identificados con mayores áreas idóneas de restauración para estas especies, para incluir a las variables edáficas y de cobertura del suelo, y continuar aportando al conocimiento del nicho ecológico de las especies.
4. Los lugares identificados como prioritarios de restauración y de conservación se encuentran dentro de algunas áreas de conservación nacional, regional y privada, donde se puede realizar la restauración de sitios con estas especies o identificar sitios de referencia para la restauración de estas especies.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Ames, F; Quispe, H; Zuñiga, D; Segovia, M; Kessler, M. (2019). Bosques de *Polylepis*: Biodiversidad en la Región Central del Perú [versión Dx. Reader]. Recuperado de <https://fondoeditorial.continental.edu.pe/bosques-de-polylepis/#1493319513172-5f65925c-207a>
- Ames, F; Quispe-Melgar, H; Renison, D. (2021). Conservation status assessment of the highest forests in the world: *Polylepis flavipila* forests as a case study. *Neotropical Biodiversity*, 7:1, 160-169. doi:10.1080/23766808.2021.1920295
- Araújo, M; Pearson, R; Thuiller, W; Erhard, M. (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11: 1-10. doi:10.1111/j.1365-2486.2005.001000.x
- Arce, J. (2018). Programa Bosques Manejados de la Región Apurímac – Sacha Tarpuy. Sistematización de la experiencia [versión Dx. Reader]. Recuperado de <http://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2018/01/Apurimac-2-Bosques-Andinos-Final.pdf>
- Asociación Ecosistemas Andinos (ECOAN). (2007). Evaluación de la biodiversidad de los bosques de *Polylepis* en la zona sur oeste del Parque Nacional Otishi. Proyecto: Caracterización para el monitoreo de los bosques de *Polylepis* en la zona Sur oeste del Parque Nacional Otishi. Informe presentado a Conservación Internacional-Perú. Recuperado de <http://infobosques.com/descargas/biblioteca/432.pdf>
- Austin, M. (2002). Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157 (2-3): 101-118. doi:10.1016/S0304-3800(02)00205-3
- Ávila, R; Villavicencio, R; Ruiz, J. (2014). Distribución potencial de *Pinus herrerae* Martínez en el occidente del estado de Jalisco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(24), 92-109. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000400009&lng=es&tlng=es.
- Barbosa, A. (2015). FuzzySim: applying fuzzy logic to binary similarity indices in ecology. *Methods in Ecology and Evolution* 6,853–858. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12372>

- Barve, N; Barve, V; Jiménez-Valverde, A; Lira-Noriega, A; Maher, S; Peterson, A; Soberón, J; Villalobos, F. (2011). The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*, 222: 1810-1819. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.02.011
- Benito de Pando, B; Peñas de Giles, J. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus*, 7, 100-119. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/28186522_Aplicacion_de_modelos_de_distribucion_de_especies_a_la_conservacion_de_la_biodiversidad_en_el_sureste_de_la_Peninsula_Iberica
- Booth, T; Nix, H; Busby, J; Hutchinson, M. (2013). BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MaxEnt studies. *Diversity and Distributions*, 20, 1-9. doi:10.1111/ddi.12144
- Boza, T; Kessler, M. (2022). A monograph of the genus *Polylepis* (Rosaceae). *PhytoKeys* 203: 1-274. Recuperado de <https://doi.org/10.3897/phytokeys.203.83529>
- Boza, T; Quispe, H; Kessler, M. (2019). Taxonomic Reevaluation of the *Polylepis sericea* Complex (Rosaceae), with Description of a New Species. *Systematic Botany*, 44(2): 324-334.
- Buytaert, W; Vuille, M; Dewulf, A; Urrutia, R; Karmalkar, A; Céleri, R. (2010). Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: implications for water resources management. *Hydrol. earth Syst. Sci.* 14, 1247–1258. doi:10.5194/hess-14-1247-2010
- Camel, V; Quispe, H; Ames, F; Navarro, W; Segovia, M; Kessler, M. (2019). Forest structure of three endemic species of the genus *Polylepis* (Rosaceae) in central Perú. *Ecología Austral*, 29: 285-295. Recuperado de <https://doi.org/10.25260/EA.19.29.3.0.812>
- Cobos, M; Peterson, AT; Barve, N; Osorio-Olvera, L. (2019). Kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *Peer J*, 7, 1 – 15. Recuperado de <https://doi.org/10.7717/peerj.6281>
- Cuadros, J. (2015). Servicios ecosistémicos de los bosques de *Polylepis* del Área de Conservación Privada Uchumiri, marzo a mayo 2015 (Tesis de pregrado, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/428>
- Cuesta, F; Peralvo, M; Valarezo, N. (2009). Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático. Serie Investigación y Sistematización #5. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION, Quito.

- Cuesta, F; Muriel, P; Beck, S; Meneses, R; Halloy, S; Salgado, S; . . . Becerra, M. (2012). Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales - Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación. Red Gloria-Andes, Lima-Quito.
- Cuyckens, G; Renison, D. (2018). Ecología y conservación de los bosques montanos de *Polylepis*. Una introducción al número especial. *Ecología Austral* 28:157-162.
- Cuyckens, G; Christie, D; Domic, A; Malizia, L; Renison, D. (2016). Climate change and the distribution and conservation of the world's highest elevation woodlands in the South American Altiplano. *Global and Planetary Change*, 137: 79-87. doi:10.1016/j.gloplacha.2015.12.010
- El Peruano. (2011). Ley Forestal y de Fauna Silvestre. Ley 29763.
- Elith, J; Graham, C; Anderson, R; Dudik, M; Ferrier, S; Guisan, A; Hijmans, R. J;. . . Zimmermann, N. E (2006). Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129–151. doi:10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x
- Elith, J, Leathwick, J. (2009). Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 40 (1), 677–697.
- Ellenberg, H. (1979). Man's influence on tropical mountain ecosystems in South America. *Journal of Ecology*, 67: 401-416.
- FAO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma.
- Fajardo, F., Infante, J., & Cabrera, D. (2018). Modelización de la distribución potencial del género *Polylepis* en Colombia y consideraciones para su conservación. *Ecología Austral*, 28:202-215. doi:10.25260/EA.18.28.1.1.585
- Fielding, A; Bell, J. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24 (1): 38–49. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/ee4e/7a9902511e531fb259412597461e84a137cb.pdf>
- Fjeldså, J. & Kessler, M. (2004). Conservación de la biodiversidad de los bosques de *Polylepis* de las tierras altas de Bolivia. Una contribución al manejo sustentable en los Andes. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: DIVA Technical Report 11. Editorial FAN.
- Flores, G. (2017). Biogeografía de un bosque alto andino: historia e impactos del cambio climático en los queñuales peruanos (Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9057>
- Fuentealba, B; Sevillano, S. (2016). Experiencias de rehabilitación comunitaria con queñual (*Polylepis sp.*) en el Departamento de Ancash, Perú. En E. Ceccon, & D. Pérez, Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales en América Latina y el Caribe. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Vázquez Mazzini Editores.

- Gaitán, J; Navarro, M; Tenti, L; Pizarro, M; Carfagno, P; Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Buenos Aires: Ediciones INTA. Recuperado de https://inta.gov.ar/sites/default/files/libro_erosion_hidrica_rep_argentina.pdf
- Gavilán, LP; Grau, J; Oberhuber, T. (2011) Cómo cumplir con las Metas de Aichi: Manual de Aplicación del Convenio de Diversidad Biológica. Recuperado de https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/adjuntos-spip/pdf/manual_cdb.pdf
- Graham, C; Ferrier, S; Huettman, F; Moritz, C; Peterson, A. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 19(9): 497-503. doi:10.1016/j.tree.2004.07.006
- Gutiérrez, O; Cámara, R; Senciales, J; García, L. (2018). Modelos predictivos en Biogeografía: aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 88–126. doi:<https://doi.org/10.21138/bage.2395>
- Hanley, J; McNeil, B. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 143(1): 29-36. doi:10.1148/radiology.143.1.7063747
- Hijmans, R; Cameron, S; Parra, J; Jones, P; Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal Of Climatology*, 25: 1965–1978. doi:10.1002/joc.1276
- Jiménez-Valverde, A; Acevedo, P; Barbosa, A; Lobo, J; Real, R. (2013). Discrimination capacity in species distribution models depends on the representativeness of the environmental domain. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 508–516. doi:10.1111/geb.12007
- Josse, C.; Cuesta, F.; Navarro, G.; Barrena, V.; Cabrera, E.; Chácon-Moreno, E.; . . . Tovar, M. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro*. Lima, Perú: Secretaría General de la Comunidad Andina.
- Karger, D; Conrad, O; Böhrner, J; Kawohl, T; Kreft, H; Soria-Auza, R; Zimmermann, N; . . . Kessler, M. (2016). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4: 1-18. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/304759736_Climatologies_at_high_resolution_for_the_Earth_land_surface_areas
- Kessler, M. (2002). The “*Polylepis* problem”: Where do we stand? *Ecotropica*, 8: 97-110.
- Kessler, M. (2006). Bosques de *Polylepis*. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, pp. 110-120.
- Kessler, M. & Driesch, P. (1993). Causas e historia de la destrucción de Bosques Altoandinos en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 21: 1-18. Recuperado de <https://ecologiaenbolivia.com/documents/KesslerDriesch21.pdf>

- Killeen, T; Douglas, M; Consiglio, T; Jørgensen, P; Mejía, J. (2007). Dry spots and wet spots in the Andean hotspot. *Journal of Biogeography* 34: 1357–1373.
- Lobo, J; Jiménez-Valverde, A; Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 145–151. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285698707_AUC_A_misleading_measure_of_the_performance_of_predictive_distribution_models
- Londoño, M. (2012). Nociones de modelización de nicho ecológico (En línea). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado de <http://www.recibio.net/wp-content/uploads/2012/02/ModelosDistribucionEspecies-MCL.pdf>
- Mamani, A; Benavides, J; González, F; Mendoza, R; Calderón, A; Saavedra, L. (2019). Restauración de Paisajes en el Perú. Sitios prioritarios y evaluación de oportunidades. Lima: MIDAGRI, SERFOR. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/serfor/informes-publicaciones/1651019-restauracion-de-paisajes-en-el-peru-sitios-prioritarios-y-evaluacion-de-oportunidades?fbclid=IwAR32wrV0W6N3aVFfYMURlg0txziNxIqzO-5WjZY1qOGsohGQsowknjJqCVA>
- Marcelo-Peña, J., Reynel, C., & Zevallos, P. (2011). *Manual de Dendrología*. Lima: CONCYTEC.
- Martínez-Meyer, E.; Peterson, A. y Hargrove, W. (2004). Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 13: 305–314. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/227730054>
- Martínez-Mayer, E. (2005). Climate change and biodiversity: some considerations in forecasting shifts in species' potential distributions. *Biodiversity Informatics*, 2, 42–55. Recuperado de <https://journals.ku.edu/jbi/article/view/8/6>
- Martínez-Mayer, E. (2014). *Introducción al Modelado de Nichos Ecológicos y Distribuciones de Especies*. Instituto de Biología. UNAM. Obtenido de http://www.recibio.net/wp-content/uploads/2014/01/Intro-Modelado-de-nichos_EMM.pdf
- Martínez-Mayer, E. (2020). *Modelamiento de Nichos Ecológicos*. Presentado en Cursos Virtuales 2020. IBP.
- Mejía, A. (2014). *Metodología para la cartografía de bosques del género Polylepis, aplicando Geomática* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2359>
- Mejía, D; Tonón, M; Abad, L. (2018). Distribución potencial del género *Polylepis* en la Cuenca del río Paute bajo un escenario de cambio climático. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 19: 21-37. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/330542640_Distribucion_potencial_del_g

enero_Polylepis_en_la_Cuenca_del_río_Paute_bajo_un_escenario_de_cambio_climatico_Potential_distribution_of_the_genus_Polylepis_in_the_Paute_river_basin_under_a_climate_chan

- Mendoza, W. (2005). Especie nueva de *Polylepis* (Rosaceae) de la cordillera Vilcabamba (Cusco, Perú). *Revista Peruana de Biología*, 12(1): 103-106. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332005000100009&lng=es&tlng=es.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI); Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2021) Estrategia Nacional de Restauración de Ecosistemas y Tierras Forestales Degradadas. (ProREST) PERIODO 2021 – 2030.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Morales, L; Fuentealba, B; Sevillano, C; Gómez, M; Segovia, M; Renison, D; . . . Hensen, I. (2018). Oportunidades para acercar la ciencia a la práctica de la restauración de bosques y arbustales de *Polylepis*. *Ecología Austral*, 28(1): 291-300. Recuperado de <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.529>
- Mota, C; Encarnación , A; Ortega, H; Prieto, D; Peña , A; Rojas, O. (2019). Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. En: Moreno CE (Ed) *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/339181920_Una_breve_introduccion_a_los_modelos_de_nicho_ecologico
- Navarrete, C. (2019). Distribución potencial de especies forestales amenazadas y endémicas raras mediante modelos de nicho ecológico (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4038>
- Navarro, G., Arrázola, S., Balderrama, J., Ferreira, W., De La Barra, N., Antezana, C., . . . Mercado, M. (2010). Diagnóstico del estado de conservación y caracterización de bosques de *Polylepis* y su avifauna. *Rev boliv de ecología y conservación ambiental*. 28(1):1–35.
- Navarro, G; Molina, J; De la Barra, N. (2005). Classification of the high-Andean *Polylepis* forests in Bolivia. *Plant Ecology* 176:113-130. doi:10.1007/s11258-004-0025-1
- Navarro-Guzmán, M; Jove-Chipana, C; Apaza, J. (2020). Modelamiento de nichos ecológicos de flora amenazada para escenarios de cambio climático en el departamento de Tacna – Perú. *Colombia forestal*, 23(1): 51-67. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v23n1/0120-0739-cofo-23-01-51.pdf>
- O'Donnell, M; Ignizio, D. (2012). Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous. United States: U.S. Geological Survey Data Series 691, 10p.

- Peterson, A.; Ortega-Huerta, M.; Bartley, J.; Sánchez-Cordero, V., Soberón, J.; Buddemeier, R. y Stockwell, D. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, 416: 626-629. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/11418982>
- Pearson, R; Raxworthy, C; Nakamura, M; Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34: 102–117. doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x
- Peterson, A; Soberón, J; Pearson, R; Anderson, R; Martínez-Meyer, E; Nakamura, M; Araújo, M. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Nueva Jersey, US, Princeton University Press. doi:10.1515/9781400840670
- Phillips, S; Anderson, R; Schapire, R. (2006). Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190, 231-259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Plissock, P; Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48, 61-79. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2017). Modelación de la distribución potencial actual y futura de las especies invasoras de mayor riesgo para México. Elaborado en el marco del proyecto GEF-PNUD 089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. Martínez-Meyer, E., A.P. Cuervo-Robayo, G.A. Ortíz-Haro y L.A. Osorio-Olvera. Instituto de Biología, UNAM. 39 pp. Recuperado de https://biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/comp1/Modelacion_de_distrib_actual_y_futura_EEI.pdf
- Poca, M; Cingolani, A; Gurvich, D; Whitworth, J; Saur, V. (2018). La degradación de los bosques de altura del centro de Argentina reduce su capacidad de almacenamiento de agua. *Ecología Austral*, 28 (1): 235-248. doi:10.25260/EA.18.28.1.1.497
- Programa Bosques Andinos. (2021). *Nuestros bosques andinos. Construyendo bienestar y sostenibilidad en comunidad*. Consorcio HELVETAS Swiss Intercooperation Perú, CONDESAN.
- Qiao, H; Feng, X; Escobar, L; Peterson, A; Soberón, J; Zhu, G; Papeş, M. (2018). An evaluation of transferability of ecological niche models. *Ecography*, 42: 521-534. doi:10.1111/ecog.03986
- Qiao, H; Soberón, J; Peterson, A. (2015). No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution*, 6:1126-1136. doi:10.1111/2041-210X.12397

- Quesada, M; Acosta , L; Arias, D; Rodríguez, A. (2017). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14 (34), 01-12. doi:10.18845/rfmk.v14i34.2991
- Quispe-Melgar, H; Llacua-Tineo, Y; Ames, F; Huayta, D; Lagones, K; Hágsater, E. (2022). *Epidendrum alejandrinae* (Orchidaceae: Laeliinae), a new species from the high Andean forests of central Peru. *Phytotaxa* 541 (3): 217–224. doi:https://doi.org/10.11646/phytotaxa.541.3.1
- Raxworthy, C; Martínez, E; Horning, N; Nussbaum, R; Schneider, G; Ortega, M; Peterson, A. (2003). Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*, 426: 837-841. doi:10.1038/nature02205
- Renison, D; Cuyckens , G; Pacheco, S; Guzmán, G; Grau, H; Marcora, P; Robledo, G; . . . Hensen, I. (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. doi: 10.25260/EA.13.23.1.0.1189
- Renison, D; Hensen, R; Suárez, R; Cingolani, A. (2006). Cover and growth habit of *Polylepis* woodlands and shrublands in the mountains of central Argentina: human or environmental influence? *Journal of Biogeography*, 33: 876-887. doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01455.x
- Ríos, C; Navarro, A. (2009). Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. *Ornitología Neotropical*, 20: 491–509. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/233785968_Efectos_del_cambio_de_uso_de_suelo_en_la_disponibilidad_hipotetica_de_habitat_para_los_psitacidos_de_Mexico
- Sabogal, C; Besacier, C; McGuire, D. (2015). Restauración de bosques y paisajes: conceptos, enfoques y desafíos que plantea su ejecución. *Unasyuva*. 66 (3): 3-10.
- Sabino, E; Felipe, O; Lavado, W. (2017). Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi).
- Sevillano-Ríos, C. & Morales, L V. (2021). La temperatura y radiación solar explican diferencias en la distribución de dos árboles altoandinos (*Polylepis* spp.) localmente simpátricos en la Cordillera Blanca, Perú. *Neotropical Biodiversity*, 7(1): 327-340. doi:10.1080/23766808.2021.1938887
- Soberón, J. (2010). Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*, 33: 159–167. doi: 10.1111/j.1600-0587.2009.06074.x
- Soberón, J; Peterson, A. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2: 1–10.
- Soberón, J; Osorio-Olvera, L; Peterson, T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88 (2): 437-441. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista->

- Soberón, J. & Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. *Proc Natl Acad Sci USA* 106:19644-19650. doi:10.1073/pnas.0901637106
- Sylvester, S; Heitkamp, F; Sylvester, M; Jungkunst, H; Sipman, H; Toivonen, J; . . Kessler, M. (2017). Relict high-Andean ecosystems challenge our concepts of naturalness and human impact. *Scientific Reports*, 7(1): 1–13. doi:10.1038/s41598-017-03500-7
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2022). Recuperar nuestro futuro. El desafío de Bonn. Recuperado de <https://www.bonnchallenge.org/sites/default/files/resources/files/%5Bnode%3Anid%5D/Bonn%20Challenge%20Report%20-%20Spanish.pdf>
- Valencia, B; Bush, M; Coe, A; Orren, E; Gosling, W. (2018). *Polylepis* woodland dynamics during the last 20,000 years. *Journal of Biogeography*, 45: 1019–1030. . doi:10.1111/jbi.13209
- Valenzuela, L.; Villalba, M. (2015). A new species of *Polylepis* (Rosaceae) from Peru. *Arnaldoa*, 22(2): 329–338. Recuperado de https://www.academia.edu/34568795/A_new_species_of_Polylepis_Rosaceae_from_Peru_Una_nueva_especie_de_Polylepis_Rosaceae_para_Per%C3%BA
- Vásquez, A; Tapia, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista INGENIERÍA UC* 18(3).
- Vásquez, E; Ladd, B; Borchard, N. (2014). Carbon storage in a high-altitude *Polylepis* woodland in the Peruvian Andes. *Alpine Botany*, 124(1): 71-75. doi:10.1007/s00035-014-0126-y
- Yauri, L. (2019). Valoración de los servicios ecosistémicos culturales del Bosque Dorado mediante costo de viaje, Paccha, El Tambo – Huancayo (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCNP/5219/Yauri%20Asto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zapata, F; Dourojeanni, P; Gagliardi, G. (2012). El clima cambia, cambia tú también. Adaptación al cambio climático en comunidades locales del Perú [versión Dx. Reader]. Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2012-092.pdf>
- Zurell, D; Franklin, J; König, C; Bouchet, P; Dormann, C; Elith, J; Fandos, G; . . Merow, C. (2020). Review and synthesis: A standard protocol for reporting species distribution models. *Ecography*, 43: 1261–1277. doi:10.1111/ecog.04960
- Zutta, B; Rundel, P; Saatchi, S; Casana, J; Gauthier, P; Soto, A; Velazco, Y; Buermann, W. (2012). Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques Andinos vulnerables y cada vez más importantes. *Revista Peruana de Biología*, 19(2): 205-212. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332012000200013&lng=es&tlng=es.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Resolución de Dirección General N° D000008-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS (11/01/2021)



SERFOR

Firmado digitalmente por CERDAN
QUILIANO Nínam Mercedes PAU
2056283627 soft
Cargo: Directora General
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 11.01.2021 20:07:17 -05:00

RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN GENERAL

Magdalena Del Mar, 11 de Enero del 2021

RDG N° D000008-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS

VISTOS:

La solicitud s/n, registrada con número de expediente 2020-0019914 de fecha 9 de diciembre de 2020, conteniendo la solicitud de autorización con fines de investigación científica, fuera de Áreas Naturales Protegidas, con colecta de flora silvestre, presentada por el señor **HAROLD RUSBELTH QUISPE MELGAR** (en adelante, el administrado), investigador de la Asociación Andinus¹ e identificado con DNI N° 46997459 y el Informe Técnico N° D000005-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF de fecha 11 de enero de 2021, y;

CONSIDERANDO:

I. ANTECEDENTES

1. Mediante solicitud s/n, registrada con número de expediente 2020-0019914 de fecha 9 de diciembre de 2020, el administrado solicitó a la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre, la autorización con fines de investigación científica de flora silvestre, fuera de Áreas Naturales Protegidas, como parte del proyecto de investigación titulado: *"Estandarización de técnicas de propagación de especies arbóreas altoandinas nativas con énfasis en el género Polyilepis con fines de reforestación y restauración de ecosistemas de montaña"*, a realizarse en los departamentos de Junín y Huancavelica.
2. Mediante Carta N° D000236-2020-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF notificada el 15 de diciembre de 2020 a la dirección electrónica del administrado (rusbeltharold@gmail.com), la Dirección de Gestión Sostenible de Patrimonio Forestal envió al administrado observaciones relacionadas a la solicitud y aspectos técnicos sobre el plan de investigación, siendo estas: 1) Presentar el documento de la institución, en donde se señale que tiene conocimiento de los ensayos que realizarán en sus instalaciones para la presente investigación; 2) Verificar si las coordenadas referenciales de las localidades propuestas para su evaluación corresponden a la ubicación política citada; 3) Aclarar el ámbito de estudio donde se desarrollará la investigación; 4) Aclarar a qué se refiere cuando expresa que en la fase de vivero realizarán réplicas en zonas cercanas a los bosques (comunidades); 5) Incorporar los criterios establecidos en los "Lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre" aprobado mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N° 083-2018-MINAGRI-SERFOR-DE, en caso corresponda; 6) Incluir la información sobre los objetivos y métodos de los proyectos de tesis que se desarrollarán en el marco de la presente investigación; 7) Señalar si es parte del proyecto realizar las actividades de restauración y reforestación con las especies estudiadas; 8) Sustentar si la colecta de estas especies de *Polyilepis* no afectará a las poblaciones silvestres; así como, señalar de qué forma se asegurará de la identidad taxonómica de las especies que estudiará y si la colecta de ejemplares está contemplada en su estudio; 9) Corregir el periodo de estudio, considerando que la

¹ Consulta R.U.C. N° 20604547343 online en la SUNAT. Consultado el 7 enero de 2021. Disponible en: <https://e-consultaruc.sunat.gob.pe/di-itrnrcnstruc/jcrS00Alias>. Registrada en la Zona Registra N° VIII-Sede Huancayo, Oficina Registral Huancayo, N° de Partida 11273904.



RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN GENERAL

autorización se hace efectiva cuando se ha notificado la resolución; así como, incluir en el cronograma de trabajo la actividad de entrega del informe final al SERFOR y un ítem sobre la propagación en los bosques (de ser el caso); 5) Implementar las medidas establecidas en la normativa vigente que aprueba el protocolo sanitario ante el COVID-19 en la actividad forestal, otorgándole un plazo de diez (10) días hábiles para subsanar las observaciones emitidas.

3. Mediante carta s/n, registrada con número de expediente 2020-0021663 de fecha 21 de diciembre de 2020, el administrado remitió a la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal, el levantamiento de observaciones para su evaluación correspondiente.
4. Mediante correo electrónico de fecha 7 de enero de 2021 se consultó al administrado si los profesionales señalados en la carta de presentación y compromiso de la entidad asociada representada por la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Sierra Central del SERFOR, serán incluidos en la presente solicitud de autorización presentada. Siendo respondida la consulta por el administrado mediante comunicación electrónica, en la misma fecha solicitada, manifestando que los profesionales de dicha ATFFS serán incluidos en la presente solicitud, para lo cual remitió los datos correspondientes a dichos profesionales.

II. MARCO LEGAL GENERAL

1. Constitución Política del Perú.
2. Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos.
3. Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre y su modificatoria².
4. Reglamento de Organización y Funciones del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aprobado por Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI y su modificatoria³.
5. Decreto Supremo N° 043-2006-AG⁴. Aprueban categorización de especies amenazadas de flora silvestre.
6. Artículo 154° y el Numeral 9 del ANEXO N° 1 del Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado por Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI.
7. Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE, de fecha 01 de abril de 2016, aprobó los "Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre", lineamientos emitidos por el SERFOR.
8. Decreto Supremo N° 004-2019-JUS que aprueba el Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General.
9. Resolución Ministerial N° 0152-2020-MINAGRI, aprueba los "Protocolos Sanitarios ante el COVID-19, para las actividades del Sector Agricultura y Riego", los que en Anexo forma parte el "Protocolo Sanitario Sectorial ante el COVID-19 en la Actividad Forestal".

III. COMPETENCIA

1. El artículo 66° de la Constitución Política del Perú de 1993 establece que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación; y el Estado es soberano en su aprovechamiento.

² Decreto Legislativo N° 1220, establece medidas para la lucha contra la tala ilegal, publicado en el Diario Oficial El Peruano el 24 de setiembre de 2015.

³ Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI, menciona que SERFOR autoriza la extracción de especímenes de fauna silvestre y microorganismos con fines de investigación, publicado en el Diario Oficial El Peruano el 03 de setiembre del 2014.

⁴ Artículo 3°. De la Promoción con fines de Investigación Científica: "Promuévase e incentívese los estudios científicos para el caso de las especies categorizadas como En Peligro Crítico (CR) y En Peligro (EN)".

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: OHEEMGO



RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN GENERAL

2. El artículo 9° de la Ley N° 26821, Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los Recursos Naturales, establece que el Estado promueve la investigación científica y tecnológica sobre la diversidad, calidad, composición, potencialidad y gestión de los recursos naturales. Promueve, asimismo, la información y el conocimiento de los recursos naturales. Para estos efectos, podrán otorgarse permisos para investigación en materia de recursos naturales incluso sobre recursos materia de aprovechamiento, siempre que no perturben el ejercicio de los derechos concedidos por los títulos anteriores.
3. El artículo 13° de la Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, creó el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre-SERFOR, como organismo público técnico especializado, con personería jurídica de derecho público interno, como pliego presupuestal adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego.
4. El artículo 137° de la precitada Ley, declara de interés nacional realizar la investigación, el desarrollo tecnológico, la mejora del conocimiento y el monitoreo del estado de conservación del patrimonio forestal y de fauna silvestre de la Nación.
5. El artículo 140° de la Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, señala que el SERFOR evalúa y otorga la autorización para extracción de recursos forestales y de fauna silvestre con fines de investigación científica cuando: (i) se incluye especies amenazadas^{5,6}, (ii) especies consideradas en los Apéndices de CITES⁷, (iii) se realiza acceso a recursos genéticos sin fines de lucro; y (iv) propósitos culturales.
6. El Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI, que aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal, regula el procedimiento de otorgamiento de autorizaciones con fines de investigación científica de flora silvestre, estableciendo para tal efecto los requisitos y consideraciones para su otorgamiento, de acuerdo con los lineamientos aprobados por el SERFOR, así como las obligaciones materia de cumplimiento por parte de la titular de la autorización.
7. El artículo 154° del Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado con Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI, regula el procedimiento de otorgamiento de autorizaciones con fines de investigación científica de flora, señalando que la investigación del Patrimonio forestal se aprueba mediante autorizaciones, salvaguardando los derechos del país respecto a su patrimonio genético nativo.
8. El Numeral 9 del ANEXO N° 1 del Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado por Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI, establece para tal efecto, los requisitos para la solicitud de autorizaciones con fines de investigación de flora.
9. Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE, que aprueba los "Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre", lineamientos emitidos por el SERFOR.
10. El literal g) del artículo 53° del Reglamento de Organización y Funciones – ROF del SERFOR, señala entre otros, que la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre, tiene la función de otorgar permisos de investigación o de difusión cultural con o sin colecta de flora y fauna silvestre.

⁵ Decreto Supremo N° 043-2006-AG. Aprueban categorización de especies amenazadas de flora silvestre.

⁶ Decreto Supremo N° 004-2014-MINAGRI. Actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre.

⁷ Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres.



RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN GENERAL

IV. REQUISITOS ESTABLECIDOS PARA LA TRAMITACIÓN y OTORGAMIENTO DE LA AUTORIZACIÓN

1. De acuerdo con el artículo 154° del Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado mediante Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI, referido a la Autorización con fines de investigación de flora, establece que la investigación científica del Patrimonio se aprueba mediante autorizaciones, salvaguardando los derechos del país respecto de su patrimonio genético nativo.
2. Asimismo, la solicitud presentada por el administrado cumple con los “Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre”, aprobado mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE, el cual establece que, a efectos de otorgar la autorización, el solicitante debe cumplir con las condiciones mínimas y los requisitos previstos, tomando en cuenta los registros de información disponibles al interior del Estado así como la información de fuentes oficiales o referencias indicadas.
3. El numeral 9 del ANEXO N° 1 del Reglamento para la Gestión Forestal, establece los requisitos⁸ para la autorización con fines de investigación de flora y fauna silvestre, con o sin contrato de acceso a recursos genéticos.

V. SOBRE LA EVALUACIÓN DEL EXPEDIENTE

4. El Informe Técnico N° D000005-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF de fecha 11 de enero de 2021, emitido por la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal, concluye que, la solicitud presentada por el administrado cumple con los requisitos exigidos en el numeral 9 del Anexo N° 1 del Reglamento para la Gestión Forestal y con los “Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre”, aprobado mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE; así como, las condiciones mínimas establecidas en el artículo 41 del citado reglamento. Asimismo, esta investigación permitirá establecer la estandarización de técnicas de propagación para las especies del género *Polylepis*, a fin de brindar solución a la demanda de plántulas de calidad para estas especies del género citado, y que sean utilizadas para reforestar y restaurar los ecosistemas de montaña, lo cual promoverá la conservación y manejo de estos bosques nativos andinos, logrando así su gestión sostenible de los mismos; recomendándose, la aprobación de la referida solicitud de investigación científica, con colecta de flora silvestre, en el marco del proyecto de investigación titulado: “Estandarización de técnicas de propagación de especies arbóreas altoandinas nativas con énfasis en el género *Polylepis* con fines de reforestación y restauración de ecosistemas de montaña”, a realizarse en los departamentos de Junín y Huancavelica.
5. Asimismo, se manifiesta que en el marco del proyecto de investigación se ejecutarán dos (2) proyectos de tesis de pregrado correspondientes al:

⁸ El numeral 9 del ANEXO N° 1 del Reglamento para la Gestión Forestal, establece los requisitos para la autorización con fines de investigación de flora, con o sin contrato de acceso a recursos genéticos, conforme la siguiente documentación:

- a. Solicitud con carácter de declaración jurada dirigida a la autoridad competente, según formato, que contenga hoja de vida del investigador principal, relación de investigadores y el Plan de Investigación.
- b. Carta de presentación de los investigadores participantes expedida por la institución científica de procedencia.
- c. Documento que acredite el consentimiento informado previo, expedido por la respectiva organización comunal representativa, de corresponder.
- d. Documento que acredite el acuerdo entre las instituciones que respaldan a los investigadores nacionales



RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN GENERAL

Proyecto de tesis titulado: "Modelado de nicho ecológico de las especies *Polylepis canoi* y *Polylepis rodolfo-vasquezii* para la identificación de áreas potenciales de restauración", será ejecutado por la señorita Katherine Lucero Lagones Poma.

Proyecto de tesis titulado: "Estandarización de métodos de propagación sexual de *Polylepis flavipila* (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb. con fines de reforestación y restauración de ecosistemas de montaña", será ejecutado por el señor Luis David Huayta Hinojosa.

VI. OBLIGACIONES DEL ADMINISTRADO

1. Conforme los artículos: 158° del Reglamento para la Gestión Forestal y 100° del Reglamento para la Gestión Forestal y de Fauna Silvestre en Comunidades Nativas y Campesinas, aprobados mediante los Decretos Supremos N° 018 y 021-2015-MINAGRI, respectivamente, el administrado se encuentra sujeto al cumplimiento de las obligaciones contenidas en dicha normatividad.

De conformidad con la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, aprobada por Ley N° 29763; el Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado mediante Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI; el Decreto Supremo N° 004-2019-JUS que aprueba el Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444 Ley del Procedimiento Administrativo General; el literal g) del Artículo 53° del Reglamento de Organización y Funciones aprobado por Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI y la Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE.

SE RESUELVE:

Artículo 1.- OTORGAR la Autorización con fines de investigación científica fuera de Áreas Naturales Protegidas, con colecta de semillas, esquejes y acodos de las especies *Polylepis incana*, *Polylepis flavipila*, *Polylepis canoi*, *Polylepis rodolfo-vasquezii* y *Polylepis argentea*, para desarrollar la estandarización de técnicas de propagación, principalmente de estas especies, con fines para la reforestación y restauración de ecosistemas de montaña, al señor **HAROLD RUSBELTH QUISPE MELGAR**, identificado con DNI N° 46997459, correspondiéndole el Código de Autorización N° **AUT-IFL-2021-001**, por el periodo de veinticuatro (24) meses, en virtud de las consideraciones expuestas en la presente resolución.

Artículo 2.- El administrado deberá realizar la investigación científica de flora silvestre fuera de Áreas Naturales Protegidas del proyecto de investigación titulado: "**Estandarización de técnicas de propagación de especies arbóreas altoandinas nativas con énfasis en el género *Polylepis* con fines de reforestación y restauración de ecosistemas de montaña**", a realizarse en los departamentos de Junín y Huancavelica, conforme a las coordenadas correspondientes al **ANEXO 1** de la presente resolución. Así como, a la ejecución de los dos proyectos de tesis citados en el numeral 28 de la presente resolución.

Artículo 3.- Autorizar la participación de los investigadores señalados por el administrado, conforme al **Anexo 2** de la presente resolución.

Artículo 4.- El administrado se encuentra sujeto al cumplimiento de lo presentado en el plan de investigación y al plazo correspondiente a veinticuatro (24) meses a partir del día siguiente de la notificación de la presente resolución; así como, a la colecta de semillas, esquejes y acodos de las *Polylepis incana*, *Polylepis flavipila*, *Polylepis canoi*, *Polylepis rodolfo-vasquezii* y *Polylepis argentea*, tal como se señala en el **Anexo 3** de la presente resolución.

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: OHEEMGO



RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN GENERAL

Artículo 5.- De acuerdo con las consideraciones expuestas en la presente resolución el administrado tiene las siguientes obligaciones:

- a) No contactar ni ingresar a los territorios comunales sin contar con la autorización de las autoridades comunales correspondientes. En caso requiera el ingreso a predios privados, solicitar el consentimiento escrito del propietario.
- b) No extraer muestras biológicas de flora silvestre no autorizadas; no ceder los mismos a terceras personas, ni utilizarlos para fines distintos a lo autorizado.
- c) Depositar el material colectado de flora silvestre en una institución científica nacional depositaria de material biológico, así como, entregar al SERFOR la constancia de dicho depósito, de ser el caso. En casos debidamente justificados, y siempre que el material colectado no constituya holotipos ni ejemplares únicos, el depósito se podrá realizar en una institución distinta a la mencionada; para ello se requiere la autorización del SERFOR.
- d) Entregar a la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR, una (1) copia del Informe Final en versión digital como resultado de la autorización otorgada, copias del material fotográfico y/o slides que puedan ser utilizadas para difusión. El Informe Final (al término del estudio) deberá contener los resultados según cada objetivo y las coordenadas de las áreas de evaluación de las localidades donde se recolectará el material biológico y las áreas donde se ejecutará la fase de ensayo de campo. Esta lista deberá contar con sus respectivas coordenadas en formato UTM (Datum WGS84), incluyendo la zona (17, 18 ó 19). El formato de Informe Final que debe ser usado se encuentra en el **Anexo 4** de la presente resolución.
- e) Presentar los resultados obtenidos de las tesis que serán ejecutadas en el marco del proyecto de investigación, las cuales se encuentran a cargo de la señorita Katherine Lucero Lagones Poma y el señor Luis David Huayta Hinojosa.
- f) El cumplimiento de lo señalado en el literal c) y d) no deberá ser mayor a los seis (6) meses al vencimiento de la presente autorización.
- g) El administrado y el equipo de investigación deberán implementar las medidas dispuestas en el "Protocolo Sanitario Sectorial ante el COVID-19 en la Actividad Forestal" establecida en la Resolución Ministerial N° 152-2020-MINAGRI, de fecha 28 de junio de 2020, en lo que resulte aplicable.

Artículo 6.- El administrado se compromete a:

- a) Comunicar a la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Sierra Central del SERFOR, el inicio del trabajo de campo con la debida anticipación. Asimismo, el personal de dicha ATFFS podrá acompañarlos durante la toma de datos o verificar, en caso lo considere necesario, para lo cual el investigador deberá brindar las facilidades del caso.
- b) Solicitar anticipadamente a la DGGSPFFS del SERFOR y dentro del plazo de vigencia de la resolución, cualquier cambio en las características de la investigación con fines científicos aprobada, que demanden la actualización de la presente resolución.
- c) Indicar el número de la Resolución en las publicaciones generadas a partir de la autorización concedida.

Artículo 7.- Con la finalidad de exportar muestras botánicas, el administrado o miembros del equipo identificados en la presente resolución, podrán gestionar el correspondiente Permiso de Exportación ante la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR, así como pasar el control respectivo. Los ejemplares únicos de los grupos taxonómicos colectados y holotipos sólo podrán ser exportados en calidad de préstamo.

Artículo 8.- El administrado del mencionado estudio deberá implementar todas las medidas de seguridad y eliminación de impactos que se puedan producir por las actividades propias de las actividades de las fases de campo, como toma de datos, tratamiento y

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: OHEEMGO



RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN GENERAL

transporte de muestras, transporte de equipos, personal, etc.

Artículo 9.- La Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR, no se responsabiliza por accidentes o daños sufridos por el administrado durante la ejecución del Proyecto de investigación.

Artículo 10.- La contravención a las obligaciones y/o condiciones establecidas en la presente resolución conllevará a la comisión de la infracción tipificada en los literales f) y g) del artículo 207.2 del Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado mediante Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI.

Artículo 11.- Notificar la presente resolución al señor **HAROLD RUSBELTH QUISPE MELGAR** y transcribirla a la Dirección General de Información y Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre y a la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Sierra Central del SERFOR, para su conocimiento y fines pertinentes.

Artículo 12.- Disponer la publicación de la presente Resolución en el Portal Web del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre: www.serfor.gob.pe.

Regístrese y comuníquese,

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE

Miriam Mercedes Cerdán Quiliano
Directora General

Dirección General de Gestión Sostenible del
Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre
Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: OHEEMGO

ANEXO 2: Registros de presencias de las especies

ESPECIE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	FECHA	LOCALIDAD	PROVINCIA	DEPARTAMENTO	PAIS	BASE DEL REGISTRO	HERBARIO	NÚMERO DE REGISTRO	PROVEEDOR	IDENTIFICADO POR	OBSERVACIONES	CITA BIBLIOGRÁFICA
<i>Polylepis canoi</i>	-68,78444	-14,88861	3550	28/03/2009	Área Natural de Manejo Integrado Apolobamba, bajada de Waricunca, más allá de Chaka, por el antiguo camino Sorapata-Apolo.	Bautista Saavedra	La Paz	Bolivia	Espécimen preservado	Herbario (BOLV, LPB, MA, MO, USZ)	Fuentes Claros 13589	Alfredo F. Fuentes & H. Huaylla	A. Fuentes (LPB), 2009; fide Boza et al., 2019	Arbolito 2,5 m; botones verdosos.	http://www.tropic.pecimen/100243271
<i>Polylepis canoi</i>	-68,86444	-14,88722	4182	10/04/2009	Área Natural de Manejo Integrado Madidi, Hilo Hilo. Sobre el río Tumamayu en la localidad de Laji Sorapata	Bautista Saavedra	La Paz	Bolivia	Espécimen preservado	Herbario (LPB, MO, QCA, USZ)	Loza Rivera 645	I. Loza, AT Fernández C., Iván Jiménez y R. Sonco	fide Boza et al., 2019	Árbol 4,5 m. corteza papiraceae, sustrato rocoso y húmedo	http://legacy.tropicos.org/Specimen/100218713
<i>Polylepis canoi</i>	-69,10666	-14,58277	3316	21/06/2005	Parque Nacional Madidi, Puina Viejo, ca. 3 km río abajo por camino al W del río. Matorrales y pajonales de sustitución del bosque de ceja de monte inferior pluvial.	Franz Tamayo	La Paz	Bolivia	Espécimen preservado	Herbario (LPB, MO)	Fuentes Claros 8549	Alfredo F. Fuentes y et al.	Fuentes (LPB), 2005 (P. sericea) A. Fuentes (LPB), 2019	Arbusto 2 m. Vegetativo	http://legacy.tropicos.org/Specimen/2756108
<i>Polylepis canoi</i>	-68,96500	-14,66028	3400	26/02/2008	Parque Nacional Madidi, entre Queara y Mojos, sector Mosquito.	Franz Tamayo	La Paz	Bolivia	Espécimen preservado	Herbario (BOLV, LPB, MO, QCA, USZ)	Fuentes Claros 12028	Alfredo F. Fuentes & Javier Quisbert	A. Fuentes (LPB), 2008 (P. sericea) fide Boza et al., 2019	Arbolito 4 m; inflorescencias péndulas; flores blancas con rojo claro.	http://legacy.tropicos.org/Specimen/3463731
<i>Polylepis canoi</i>	-68,85417	-14,87444	4182	11/04/2009	Parque Nacional Madidi, Hilo Hilo, arriba de la mina Kanupata en la localidad de Laji Sorapata.	Franz Tamayo	La Paz	Bolivia	Espécimen preservado	Herbario (BOLV, HSB, LPB, MA, MO, NY, QCA, USZ)	Loza Rivera 671	I. Loza, A. T. Fernández C., Iván Jiménez & R. Sonco	I. Jiménez (LPB), 2009 (P. sericea) fide Boza et al., 2019	Árbol 6 m, corteza papirosa, hojas muy pubescentes, sustrato rocoso.	http://legacy.tropicos.org/Specimen/100225039
<i>Polylepis canoi</i>	-68,97277	-14,68416	3455	1/05/2003	Senda Pelechuco-Mojo, sector Tambo Quemado, a media hora del campamento siguiendo senda Pelechuco Moxos.	Franz Tamayo	La Paz	Bolivia	Espécimen preservado	Herbario (LPB, MA, MO)	Paniagua Zambrana 5710	Narel Paniagua Zambrana y et al.	A. Fuentes (USZ), 2003 (P. sericea) fide Boza et al., 2019	Arbol 5 m de altura	http://legacy.tropicos.org/Specimen/1863844

<i>Polylepis canoi</i>	-73,50000	-12,50000	3400	19/07/1968	Usually on eastern slopes c. 30 km walking distance NE from Hacienda Luisiana and the Apurimac River	La Convención	Cusco	Perú	Espécimen preservado	Herbario (F, USM)	Dudley 11221	Theodore R. Dudley	Niezgoda 1974 T. E. Boza E. (Z) 2016	Árbol de múltiples troncos de 15 a 25 pies de altura, DAP de 3 a 8 pulgadas, copa de ramas arqueadas y deflexionadas, de irregular a copa plana	http://legacy.tropicos.org/Specimen/100890250 https://plantidtools.fieldmuseum.org/es/trc/catalogue/3113724
<i>Polylepis canoi</i>	-75,31604	-11,56469	3893	10/11/2016	Distrito Molinos. Comunidad Curimarca, Jucha	Jauja	Junín	Perú	Espécimen preservado	Herbario (Z)	Ames Martínez s.n.	Fresia N. Ames M. & Harold R. Quispe M.	T. E. Boza E. (Z) 2017		http://legacy.tropicos.org/Specimen/101011637
<i>Polylepis canoi</i>	-74,89952	-11,43543	3754	4/10/2016	Distrito de Pampa Hermosa. Comunidad de Toldopampa, Tasta	Satipo	Junín	Perú	Espécimen preservado	Herbario (Z)	Ames Martínez s.n.	Fresia N. Ames M. & Harold R. Quispe M.	T. E. Boza E. (Z) 2017		http://legacy.tropicos.org/Specimen/101011635
<i>Polylepis canoi</i>	-73,66722	-11,65833	3350	7/06/1997	Junin/Cusco Prov. Satipo/La Convencion. Cordillera Vilcabamba. Río Ene, slope near summit of divide	Satipo	Junín	Perú	Espécimen preservado	Herbario (USM)	Boyle 4151	Brad Boyle, Mónica Arakaki & Hamilton Beltrán	M. Arakaki 1997 (P. sericea) W. Mendoza 2005 (P. canoi) TE Boza E. (Z) 2017	Árbol de 4 m de altura. Hojas plateadas pubescentes por debajo, verde oscuro y glabras por arriba.	http://legacy.tropicos.org/Specimen/100956037
<i>Polylepis canoi</i>	-75,30801	-11,54982	3560	15/11/2016	Curimarca	Jauja	Junín	Perú	trabajo			H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Quebrada rocosa	
<i>Polylepis canoi</i>	-75,31564	-11,57945	3960	15/11/2016	Curimarca	Jauja	Junín	Perú	trabajo			H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Quebrada rocosa	
<i>Polylepis canoi</i>	-74,89144	-11,43486	3800	5/10/2016	Santa Rosa de Toldopampa	Satipo	Junín	Perú	trabajo			H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Quebrada rocosa	
<i>Polylepis canoi</i>	-75,50103	-11,29894	3800	20/06/2017	Nahuin	Tarma	Junín	Perú	trabajo			H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Quebrada rocosa	
<i>Polylepis canoi</i>	-74,92390	-11,76453					Junín	Perú				Harold			
<i>Polylepis canoi</i>	-75,32185	-11,58725					Junín	Perú				Harold			
<i>Polylepis canoi</i>	-75,32446	-11,57452					Junín	Perú				Harold			
<i>Polylepis canoi</i>	-73,79464	-12,89885	3806		Distrito Tambo. Queuñaacocha_Pucara	L aMar	Ayacucho	Perú	Informe Técnico			ECOAN			
<i>Polylepis canoi</i>	-75,32462	-11,56006						Perú				Harold			
<i>Polylepis canoi</i>	-74,91669	-11,77003						Perú				Harold			
<i>Polylepis canoi</i>	-73,79669	-12,88706						Perú				PANANDINO			
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-13,28639	-72,83694	4232	28/04/2012	Distrito Santa Teresa . Mountain edges on the lower Eastern portion of the	La Convención	Cusco	Perú		Herbario (Z)	Sylvester 1451	Sylvester, Steven P.	T. E. Boza E. (Z) 2017	Antes registrado como P. pepeii. Small	http://legacy.tropicos.org/Specimen/1010116867

					Phachaq valley, Yanama									tree 4 m tall DBH 37 cm	
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-13,26111	-72,83806	4268	4/05/2012	Distrito de Santa Teresa. Grazed slopes in the central Pacchac valley on the East side of the river Yanama	La Convención	Cusco	Perú		Herbario (Z)	Sylvester 1558	Sylvester, Steven P.	T. E. Boza E. (Z) 2017	Antes registrado como P. pepei. Small tree 4 m tall DBH 34 cm. Contiguo a pastizales de puna.	http://legacy.tropicos.org/SpecimenPage.aspx?specimenid=101016859&langid=66
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-13,24990	-72,48631	4290	1/05/2002	Chaupiwayco 18L 772391 UTM 8533858	Urubamba	Cusco	Perú		Herbario (CUZ)	Arce s.n.	Rodrigo Arce & Toivonen, Johanna M.	T. E. Boza E. (Z) 2018	Antes registrado como P. pepei.	http://legacy.tropicos.org/Specimen/101063109
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-13,17361	-72,27056	4414	10/03/2012	Distrito Ollantaytambo. Congunayoc 3.5 km a 75 South of the village Thastayoc, on SE facing slope facing towards Ollantaytambo	Urubamba	Cusco	Perú		Herbario (Z)	Sylvester 1398	Sylvester, Steven P.	T. E. Boza E. (Z) 2017	Antes registrado como P. pepei. Small tree, 7 m tall DBH 17.5 cm. Ladera orientada al SE hacia la ladera de la montaña Ollantaytambo.	http://legacy.tropicos.org/Specimen/101016866
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-13,24014	-72,48083	4330	13/09/2006	Machupichhu Warmiwañuska 18L 772996 UTM 8534933	Urubamba	Cusco	Perú		Herbario (CUZ)	Toivonen 80	Toivonen, Johanna M. & L. Puelles	T. E. Boza E. (Z) 2018	Antes registrado como P. pepei. Bosque montañoso en una pendiente hacia al Sur	http://legacy.tropicos.org/Specimen/101063105
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-13,14449	-72,29760	4340	10/05/2006	Ollantaytambo. Abra Malaga 18L 792980 UTM 8545313	Urubamba	Cusco	Perú		Herbario (CUZ)	Toivonen 82	Toivonen	T. E. Boza E. (Z)	Antes registrado como P. pepei. Bosque montañoso en una pendiente hacia al Sur	http://legacy.tropicos.org/Specimen/101063106
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-13,33353	-72,51232	4100	28/06/2001	Machupicchu Microcuenca Cusichaca, Sisaypampa Abra Palkay 18L 769479 E 8524630 N	Urubamba	Cusco	Perú		Herbario (CUZ)	Tupayachi 5155	Alfredo Tupayachi H., Washington L. Galiano, R. Tupayachi, Efraín Suelli, M. Moreno, Huaman, D., Jim Farfán & F. Carazas	T. E. Boza E. (Z) 2018	Arbolillo de 3 - 4 m. de foliolos menudas ramosos entre rocas parte baja del nevado Sullunku	http://legacy.tropicos.org/Specimen/101063110
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,74007	-75,16086	4400 m	23/08/2017	Distrito de Comas. Localidad de Pomamanta.	Concepcion	Junín	Perú	Espécimen preservado	Herbario (CUZ, USM, Z)	Quispe Melgar 76	Harold R. Quispe M. & Wendy Navarro	T. E. Boza E. (Z) 2018	Árbol de 3 m. Relicto ubicado en zona rocosa, con presencia de actividad minera a los alrededores.	http://legacy.tropicos.org/Specimen/101036403

<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,49264	-74,94383	4221	21/04/2015	Distrito Pampa Hermosa. Comunidad Campesina Santa Rosa de Toldopampa.	Satipo	Junín	Perú	Espécimen preservado	Herbario (HOXA, MO, USM)	Valenzuela Gamarra 28873	Luis Valenzuela G. & César Rojas	Valenzuela & Villalba (HOXA)	Árbol 10 m. Bosque primario - Puna (pajonal seco).	http://legacy.tropicos.org/SpecimenPage.aspx?specimenid=100948390&langid=66
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-7,96278	-77,38972	3925	11/06/2001	Distrito de Huicungo, Callejón de Corneadas	Mariscal Cáceres	San Martín	Perú		Herbario (USM)	León 5153	Blanca León & Kenneth Young	W. Mendoza 2004 (P. pepeii) T. E. Boza E. (Z) 2017 (P. rodolfovasquezii)	Antes registrado como P. pepeii. Musgo sobre ramas de Polylepis	http://legacy.tropicos.org/Specimen/100954099
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-8,01473	-77,39245	3924	20/06/2010	Distrito: Huicungo. En pirca, debajo del camino de abra Ventanas y Laguna Colorada. Otros individuos en alrededores de Laguna Colorada	Mariscal Cáceres	San Martín	Perú		Herbario (USM)	León 5539	Blanca León, Kenneth Young & Silva, D.	T. E. Boza E. (Z)		http://legacy.tropicos.org/Specimen/100956060
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-7,89325	-77,39484	3900	18/06/2001	Distrito de Huicungo, cerca a Laguna Colorada, camino al abra Ventanas	Mariscal Cáceres	San Martín	Perú		Herbario (USM)	León 5260	Blanca León & Kenneth Young	Laegaard (AAU) 2003 (P. pepeii) T. E. Boza E. (Z) 2017 (P. rodolfovasquezii)		http://legacy.tropicos.org/Specimen/100954096
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,69245	-74,89990	4007		Andamarca	Concepcion	Junin	Peru				Jimmy			
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,49550	-74,92482	4304		Pampa Hermosa	Satipo	Junin	Peru				Jimmy			
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-7,96603	-77,38144	3914		Pias	Pataz	San Martin	Peru				Jimmy			
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-7,96343	-77,36521	3752		Pias	Pataz	San Martin	Peru				Jimmy			
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-12,52960	-74,46077					Huancavelica	Peru				Harold			
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,71459	-74,92156					Junín	Peru				Harold			
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,58982	-75,31520			Jucha-Laria	Curimarca	Junín	Peru	campo			Harold			
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,72289	-75,14481	4325	16/01/2021	Pomamanta	Concepción	Junín	Perú				H. Quispe, D. Huayta, K. Lagones	T. Boza	Ladera rocosa.	Visita a campo

<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,72689	-75,15355	4450	21/07/2016	Pomamanta	Concepción	Junín	Perú				H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Ladera rocosa	
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,50505	-74,88933	3960	6/10/2016	Santa Rosa de Toldopampa	Satipo	Junín	Perú	trabajo			H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Quebrada rocosa	
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,50020	-74,88175	4100	5/04/2017	Santa Rosa de Toldopampa	Satipo	Junín	Perú	trabajo			H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Quebrada rocosa	
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,49110	-74,93337	4450	5/04/2017	Santa Rosa de Toldopampa	Satipo	Junín	Perú	trabajo			H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Ladera rocosa	
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,48838	-74,95209	4650	5/04/2017	Santa Rosa de Toldopampa	Satipo	Junín	Perú	trabajo			H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Ladera rocosa	
<i>Polylepis rodolfovasquezii</i>	-11,49408	-74,96263	4300	5/04/2017	Santa Rosa de Toldopampa	Satipo	Junín	Perú	trabajo			H. Quispe, F. Ames, W. Navarro	T. Boza	Ladera rocosa	

ANEXO 3: Constancia de Depósito



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
LABORATORIO DE DENDROLOGÍA Y HERBARIO



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

CONSTANCIA DE DEPÓSITO

N° 074-2022-HF-UNALM

EL DIRECTOR DEL LABORATORIO DE DENDROLOGIA Y HERBARIO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Da Constancia:

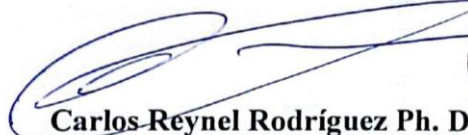
Que esta institución ha recibido de la Asociación Andinus, 14 **muestras botánicas** (según lista adjunta) en calidad de depósito.

Katherine Lucero Lagones Poma, identificada con DNI 73578747, investigadora de la Asociación Andinus, informa que los especímenes provienen del Departamento de Huancavelica y Junín; Provincia de Tayacaja y Huancayo, producto del proyecto de investigación "Estandarización de técnicas de propagación de especies arbóreas altoandinas nativas con énfasis en el género *Polylepis* con fines de reforestación y restauración de ecosistemas de montañas" y que corresponde a la autorización:

- RDG N° D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS

Se expide el presente documento a solicitud de los interesados para los fines que hubiere lugar.

Lima, 28 de Febrero del 2022


Carlos Reynel Rodríguez Ph. D.

Profesor Principal, Dpto. Académico de Manejo Forestal
Director del Laboratorio de Dendrología y
Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales (MOL).





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

CONSTANCIA

Nº 074 - 2022- HF-UNALM



Nº	Familia	Nº Colecta	Especies	Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	Muestras Deposítadas	Autorización
1	ROSACEAE	SU-003-008	<i>Polylepis albicans</i> Pilg.	Huancavelica	Tayacaja	Tayacaja	Andaymarca	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
2	ROSACEAE	SU-003-009	<i>Polylepis albicans</i> Pilg.	Huancavelica	Tayacaja	Tayacaja	Andaymarca	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
3	ROSACEAE	BJ-010-021	<i>Polylepis argentea</i> T.Boza & H.R. Quispe	Junín	Huancayo	Huancayo	Pariahuanca	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
4	ROSACEAE	BJ-010-022	<i>Polylepis argentea</i> T.Boza & H.R. Quispe	Junín	Huancayo	Huancayo	Pariahuanca	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
5	ROSACEAE	BJ-010-023	<i>Polylepis argentea</i> T.Boza & H.R. Quispe	Junín	Huancayo	Huancayo	Pariahuanca	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
6	ROSACEAE	S-001-001	<i>Polylepis argentea</i> T.Boza & H.R. Quispe	Huancavelica	Tayacaja	Tayacaja	Tinta y Punco	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
7	ROSACEAE	S-001-002	<i>Polylepis argentea</i> T.Boza & H.R. Quispe	Huancavelica	Tayacaja	Tayacaja	Tinta y Punco	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
8	ROSACEAE	S-001-003	<i>Polylepis argentea</i> T.Boza & H.R. Quispe	Huancavelica	Tayacaja	Tayacaja	Tinta y Punco	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
9	ROSACEAE	BJ-012-015	<i>Polylepis rodolfo-vasquezii</i> Valenzuela & Villalba	Junín	Huancayo	Huancayo	Pariahuanca	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
10	ROSACEAE	BJ-012-016	<i>Polylepis rodolfo-vasquezii</i> Valenzuela & Villalba	Junín	Huancayo	Huancayo	Pariahuanca	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
11	ROSACEAE	BJ-012-017	<i>Polylepis rodolfo-vasquezii</i> Valenzuela & Villalba	Junín	Huancayo	Huancayo	Pariahuanca	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
12	ROSACEAE	CU-001-027	<i>Polylepis canoi</i> W. Mendoza	Junín	Jauja	Jauja	Molinos	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
13	ROSACEAE	CU-001-028	<i>Polylepis canoi</i> W. Mendoza	Junín	Jauja	Jauja	Molinos	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
14	ROSACEAE	CU-001-029	<i>Polylepis canoi</i> W. Mendoza	Junín	Jauja	Jauja	Molinos	1	RDG-D000590-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS

*Información proporcionada por el solicitante.



ANEXO 4: Correlación de variables

Agrupamiento de variables correlacionadas para *P. rodolfo-vasquezii*

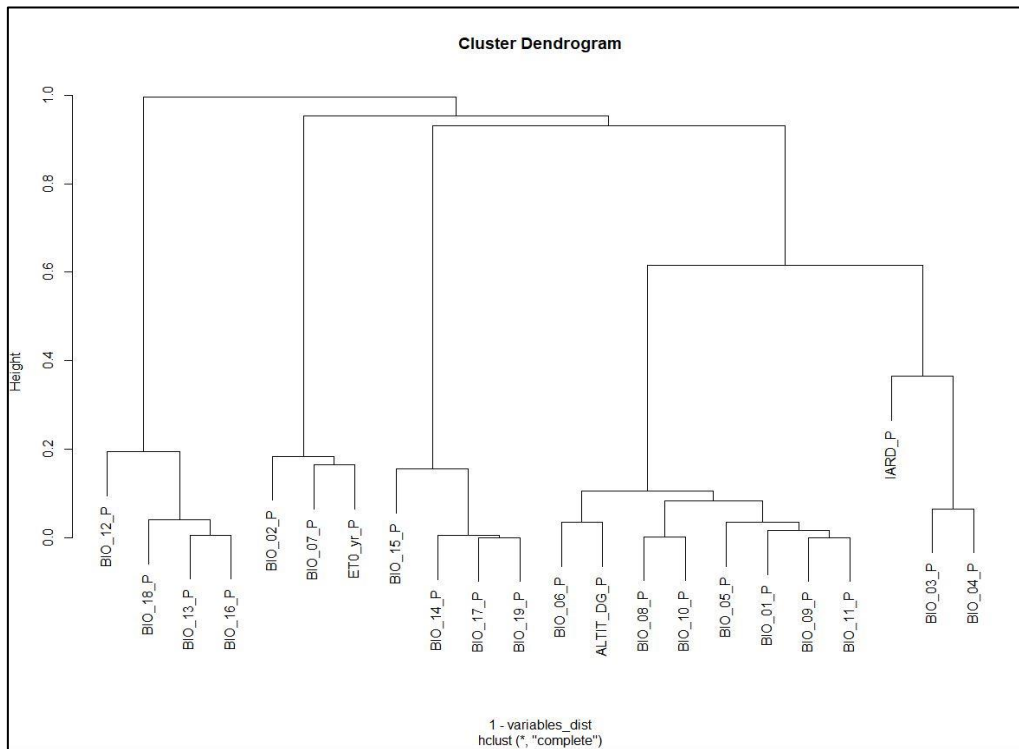
<i>Variable</i>	<i>Correlación mayor a 0.7</i>
BIO 1	BIO 5 – BIO 6 – BIO 8 – BIO 9 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
BIO 2	BIO 4 – BIO 5 – BIO 7 – BIO 9 – BIO 11 – AI – ET
BIO 3	BIO 4 – BIO 6 – BIO 15
BIO 4	BIO 2 – BIO 3 – BIO 5 – BIO 6 – BIO 9 – BIO 11 – BIO 15 – AI
BIO 5	BIO 1 – BIO 2 – BIO 4 – BIO 6 – BIO 8 – BIO 9 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
BIO 6	BIO 1 – BIO 3 – BIO 4 – BIO 5 – BIO 8 – BIO 9 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
BIO 7	BIO 2 – ET
BIO 8	BIO 1 – BIO 5 – BIO 6 – BIO 9 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
BIO 9	BIO 1 – BIO 2 – BIO 4 – BIO 5 – BIO 6 – BIO 8 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
BIO 10	BIO 1 – BIO 5 – BIO 6 – BIO 8 – BIO 9 – BIO 11 – ALT
BIO 11	BIO 1 – BIO 2 – BIO 4 – BIO 5 – BIO 6 – BIO 8 – BIO 9 – BIO 10 – ALT
BIO 12	BIO 13 – BIO 16 – BIO 18
BIO 13	BIO 12 – BIO 16 – BIO 18
BIO 14	BIO 15 – BIO 17 – BIO 19
BIO 15	BIO 3 – BIO 4 – BIO 14 – BIO 17 – BIO 19
BIO 16	BIO 12 – BIO 13 – BIO 18
BIO 17	BIO 14 – BIO 15 – BIO 19
BIO 18	BIO 12 – BIO 13 – BIO 16
BIO 19	BIO 14 – BIO 15 – BIO 17
ET	BIO 2 – BIO 7 – AI
IARD	BIO 2 – BIO 4 – ET
ALT	BIO 1 – BIO 5 – BIO 6 – BIO 8 – BIO 9 – BIO 10 – BIO 11

Agrupamiento de variables correlacionadas para *P. canoi*.

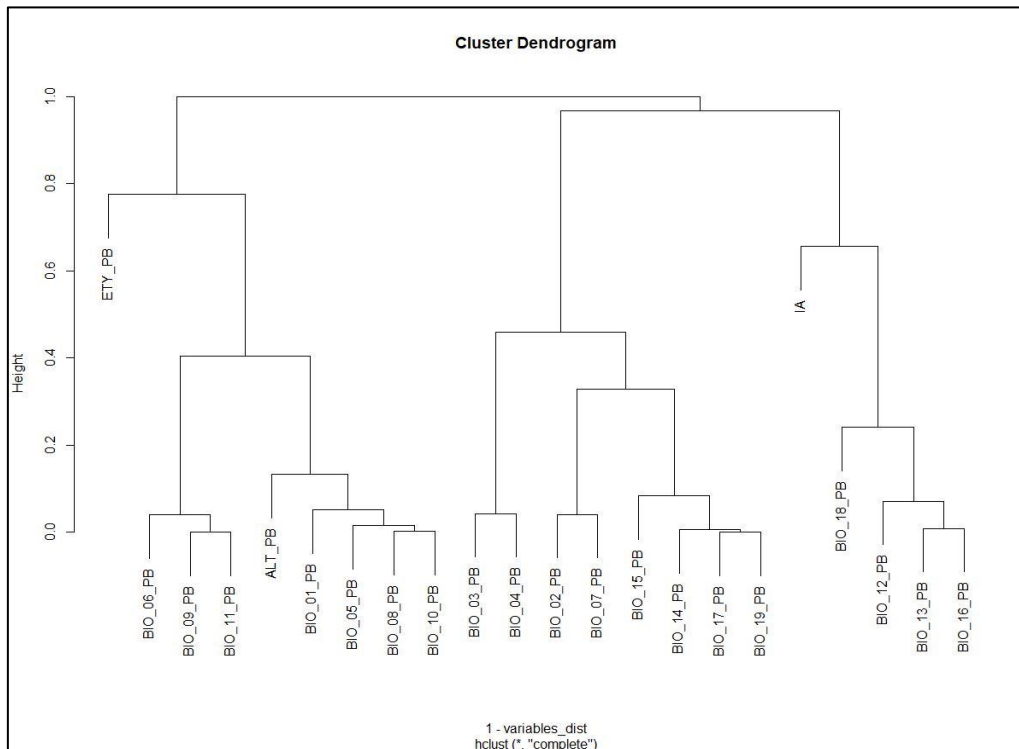
<i>Variable</i>	<i>Correlación mayor a 0.7</i>
BIO 1	BIO 05 – BIO 06 – BIO 08 – BIO 09 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
BIO 2	BIO 04 – BIO 07 – BIO 15
BIO 3	BIO 04 – BIO 05 – BIO 07 – BIO 10 – BIO 15
BIO 4	BIO 02 – BIO 03 – BIO 05 – BIO 07 – BIO 15
BIO 5	BIO 01 – BIO 03 – BIO 04 – BIO 07 – BIO 08 – BIO 09 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
BIO 6	BIO 01 – BIO 08 – BIO 09 – BIO 11 – ALT
BIO 7	BIO 02 – BIO 03 – BIO 04 – BIO 05 – BIO 14 – BIO 15 – BIO 17 – BIO 19
BIO 8	BIO 01 – BIO 05 – BIO 06 – BIO 09 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
BIO 9	BIO 01 – BIO 05 – BIO 06 – BIO 08 – BIO 10 – BIO 11 – ALT
BIO 10	BIO 01 – BIO 03 – BIO 05 – BIO 08 – BIO 09 – BIO 11 – ALT
BIO 11	BIO 01 – BIO 05 – BIO 06 – BIO 08 – BIO 09 – BIO 10 – ALT
BIO 12	BIO 13 – BIO 16 – BIO 18
BIO 13	BIO 12 – BIO 16 – BIO 18
BIO 14	BIO 07 – BIO 15 – BIO 17 – BIO 19
BIO 15	BIO 02 – BIO 03 – BIO 04 – BIO 07 – BIO 14 – BIO 17 – BIO 19
BIO 16	BIO 12 – BIO 13 – BIO 18
BIO 17	BIO 07 – BIO 14 – BIO 15 – BIO 19
BIO 18	BIO 12 – BIO 13 – BIO 16
BIO 19	BIO 07 – BIO 14 – BIO 15 – BIO 17
ET	
IA	
ALT	BIO 01 – BIO 05 – BIO 06 – BIO 08 – BIO 09 – BIO 10 – BIO 11

ANEXO 6: Dendrograma de variables altamente correlacionadas

Dendrograma de variables altamente correlacionadas, *P. rodolfo-vasquezii*.



Dendrograma de variables altamente correlacionadas, *P. canoi*.



ANEXO 7: Tabla de contribución de las variables obtenidos en MaxEnt

Tabla de contribución de las variables en *P. rodolfo-vasquezii*

Variable	Contribución porcentual	Importancia de la permutación
ALTIT_DG_P	40.6	1.9
BIO_14	25.5	3.7
BIO_06	11.4	65.6
BIO_05	2.8	0
ET0_yr_P	2.7	0.4
BIO_02	2.5	6
BIO_10	2.1	3.5
BIO_18	1.9	1.4
BIO_04	1.7	1.5
BIO_17	1.6	0.4
BIO_07	1.5	0
BIO_08	1.3	10.3
BIO_12	1.2	2
BIO_01	0.8	0
BIO_09	0.7	0.6
ADRS	0.7	1.3
BIO_11	0.6	0
BIO_03	0.2	0.5
BIO_19	0.1	0.1
BIO_16	0.1	0.8
BIO_13	0.1	0
BIO_15	0	0

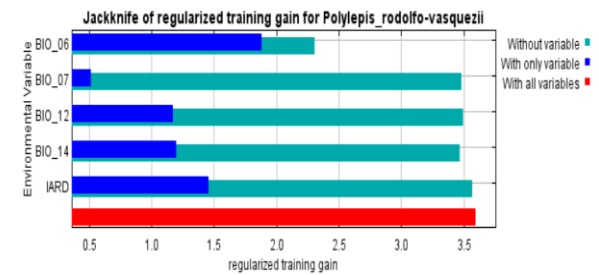
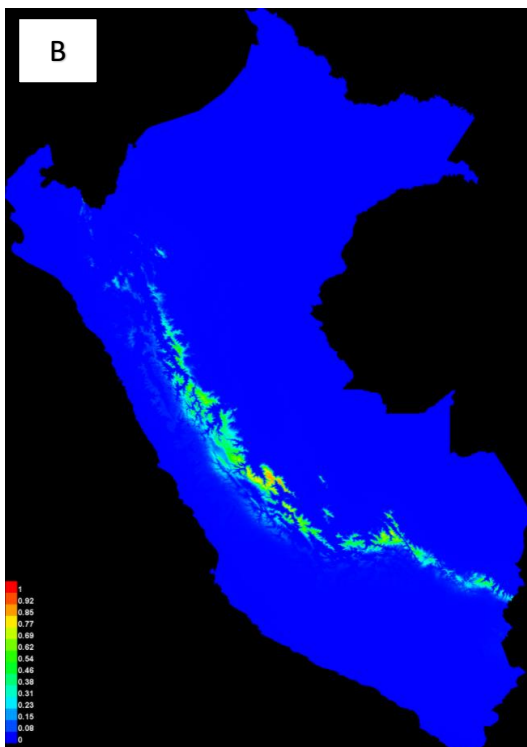
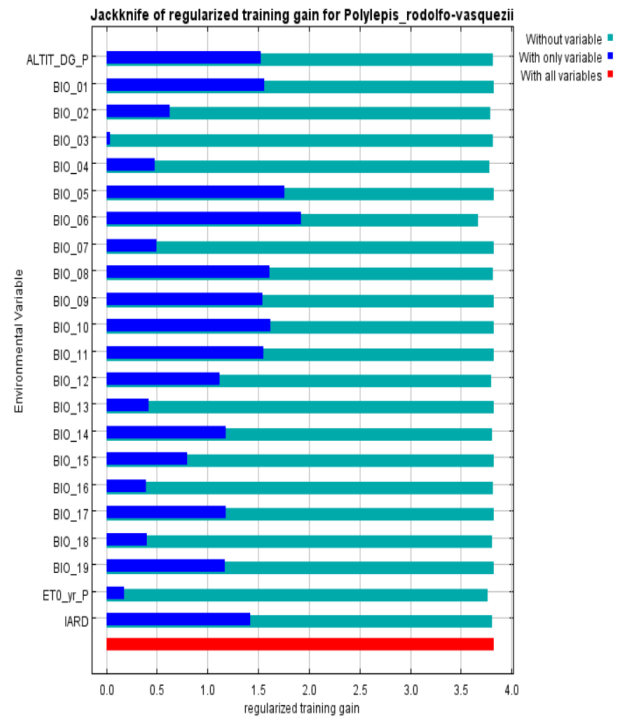
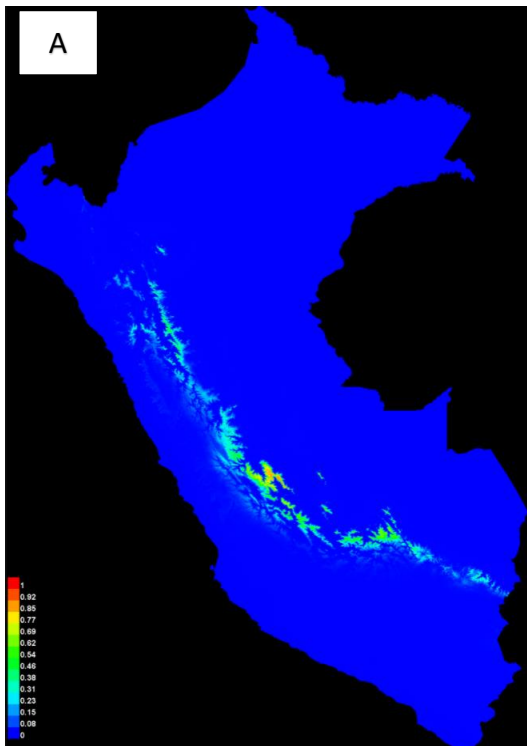
Tabla de contribución de las variables en *P. canoi*

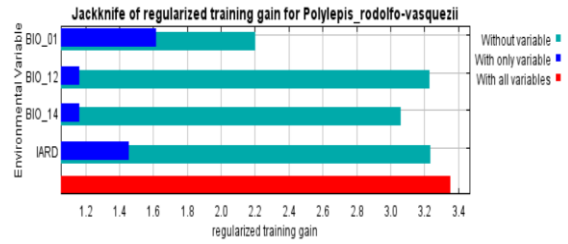
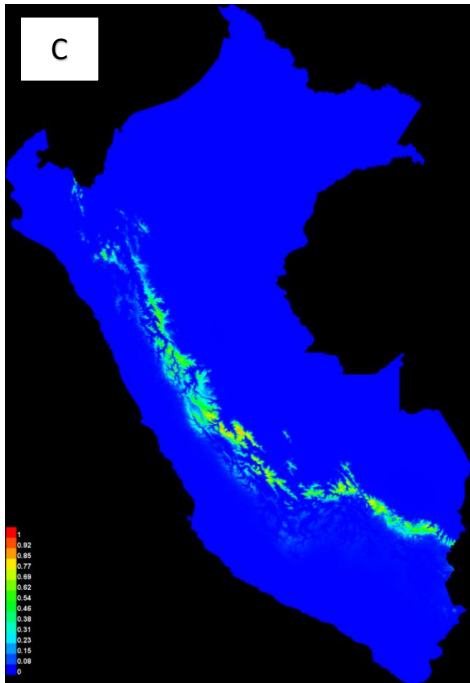
Variable	Contribución porcentual	Importancia de la permutación
BIO_06_PB	34.4	89.7
BIO_17_PB	21.4	1.2
ALT_PB	11.7	0.8
BIO_14_PB	9.6	0.3
BIO_18_PB	3.9	1.1
BIO_04_PB	3.7	0.1
BIO_01_PB	3.3	0
ET_PB	2.8	0.3
BIO_05_PB	2.5	0
BIO_07_PB	2.2	0
IA_PB	1.2	0.4
BIO_11_PB	1.1	0
BIO_12_PB	1	1.1
BIO_15_PB	0.4	4.4
BIO_02_PB	0.4	0.3
BIO_19_PB	0.2	0.1
BIO_13_PB	0.1	0
BIO_03_PB	0.1	0
BIO_16_PB	0	0
BIO_10_PB	0	0
BIO_08_PB	0	0
BIO_09_PB	0	0

ANEXO 8: Mapas de idoneidad y análisis Jackknife generados con los sets de variables de mayor AUC.

Mapas de idoneidad y análisis Jackknife de *P. rodolfo-vasquezii*.

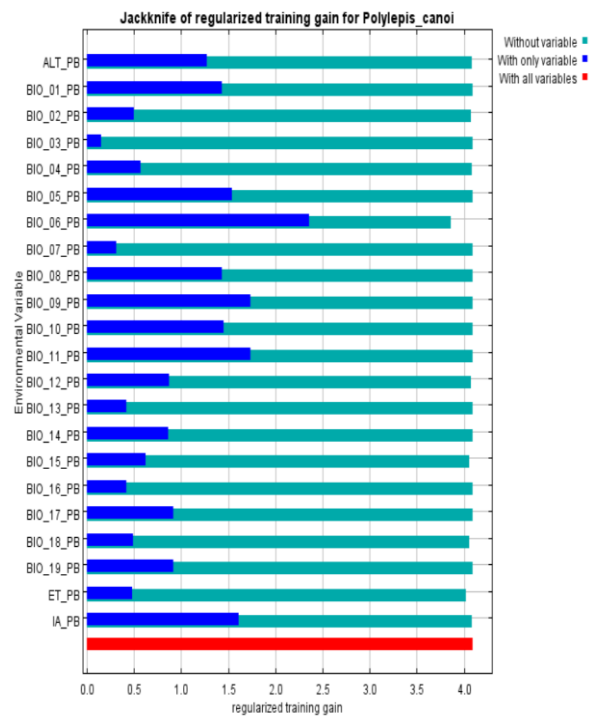
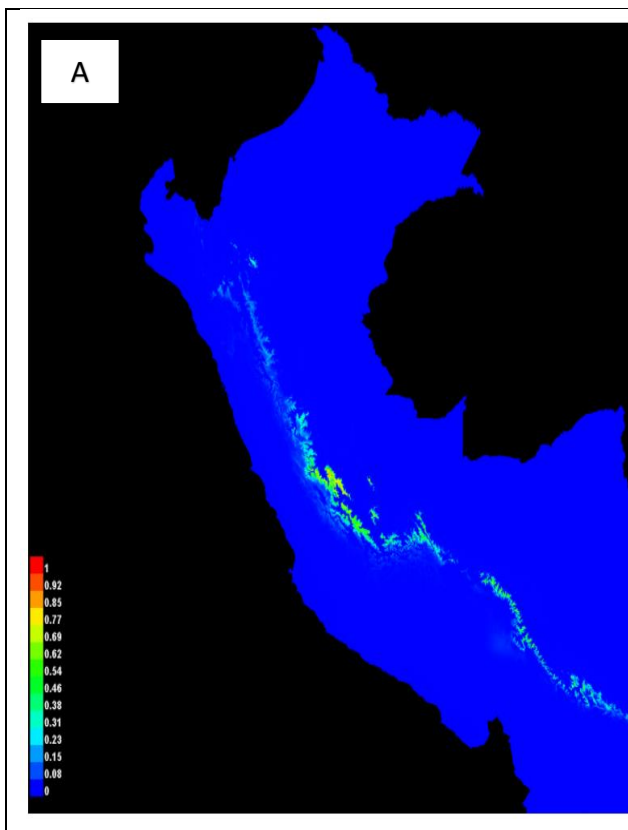
A) SET_01_V B) SET_04_V C) SET_17_V

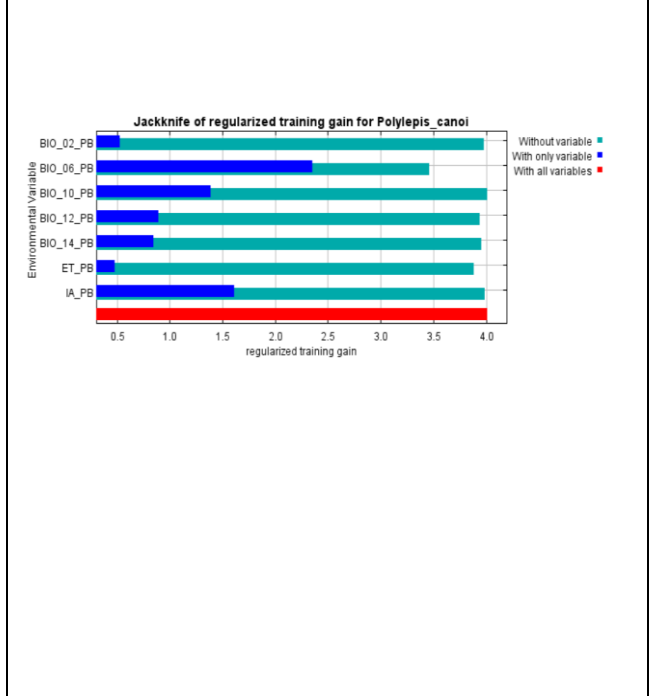
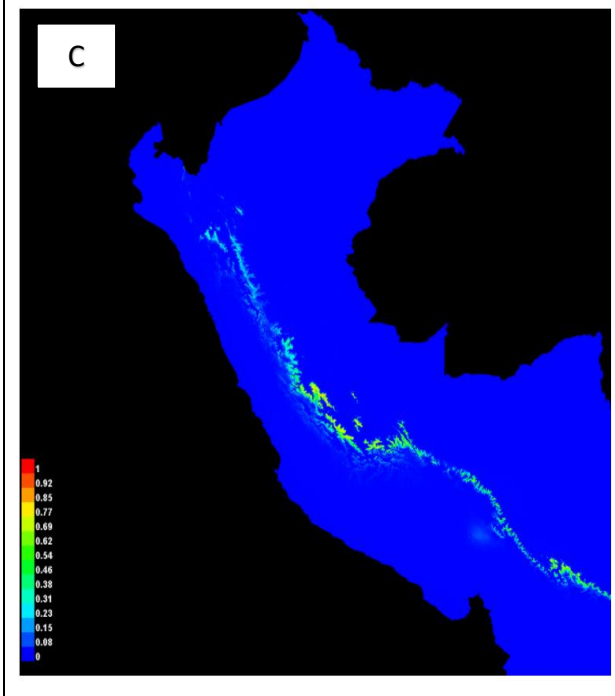
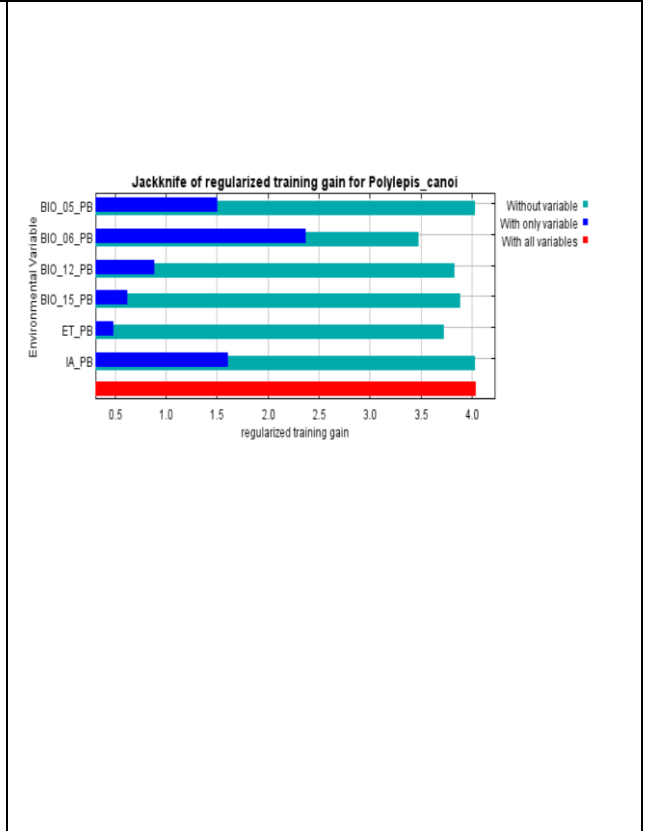
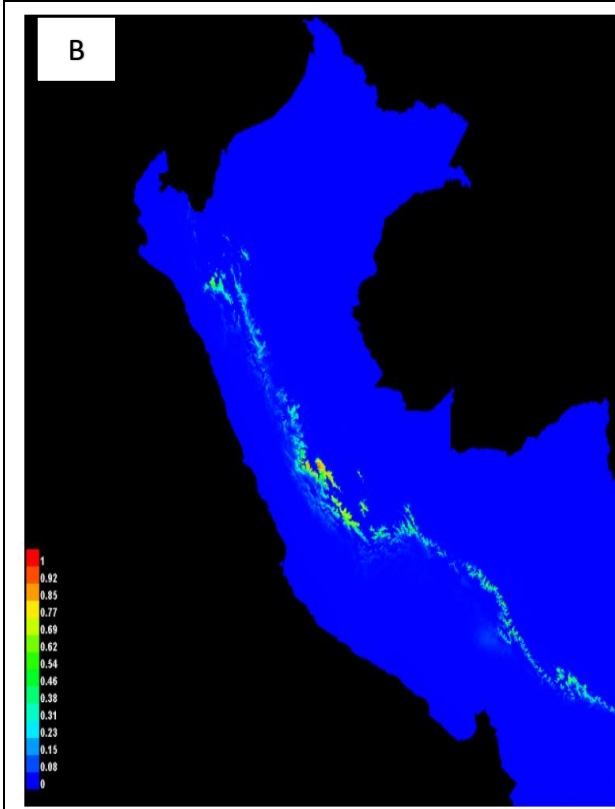


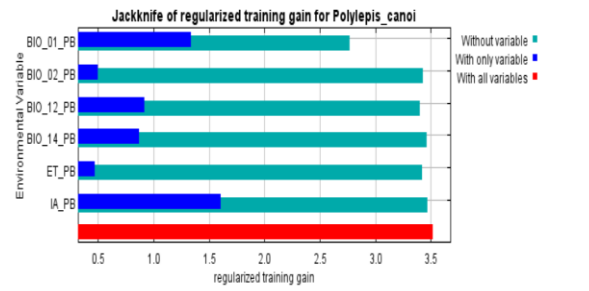
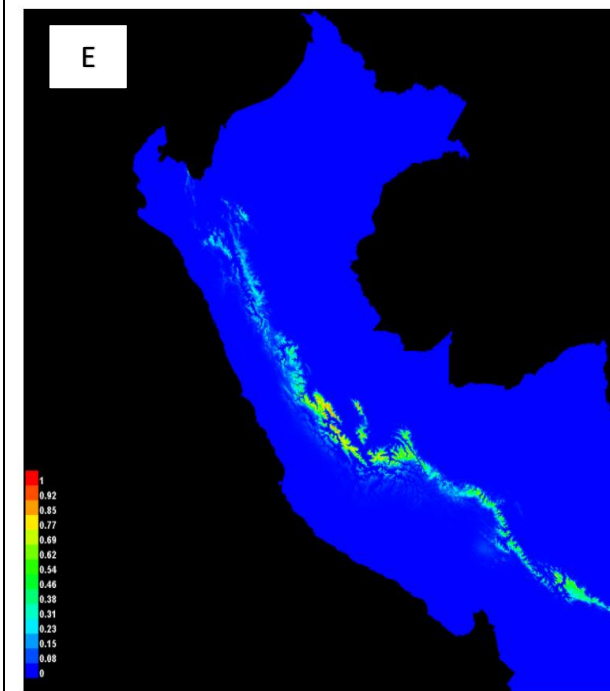
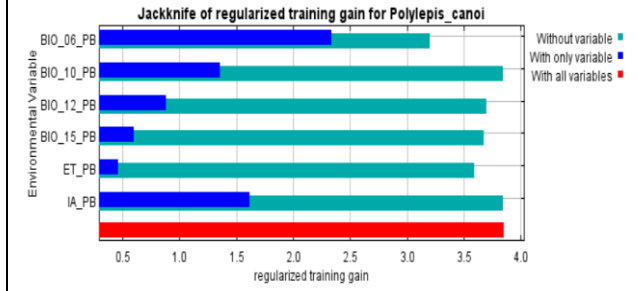
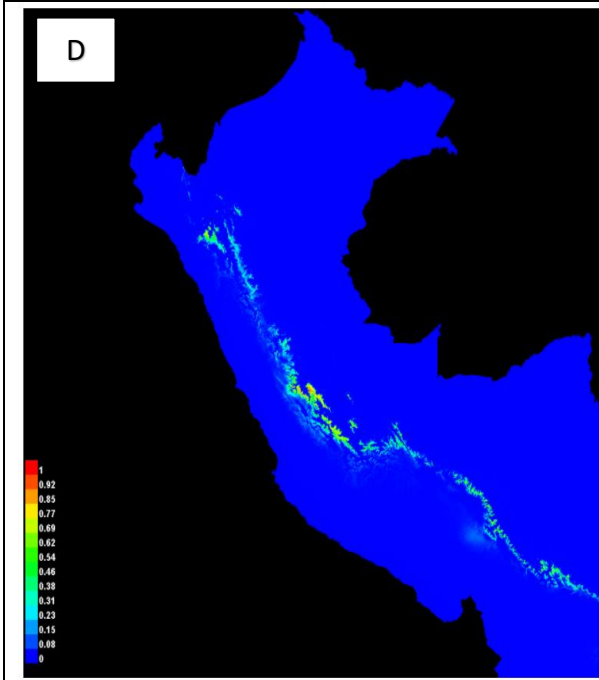


Mapas de idoneidad y análisis Jackknife de *P. canoi*.

A) SET_01_C B) SET_07_V C) SET_09_C D) SET_13_C E) SET_17_C

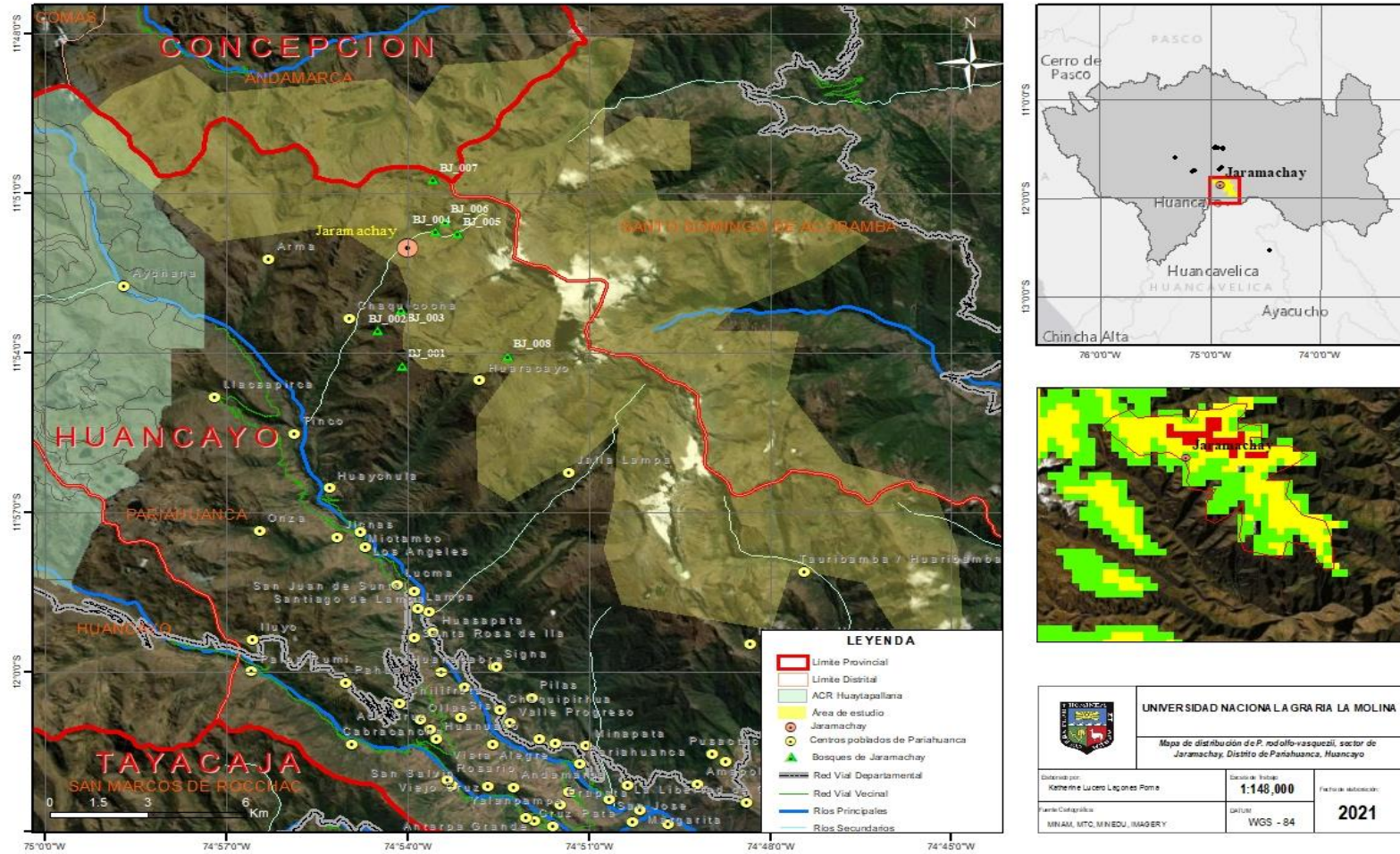




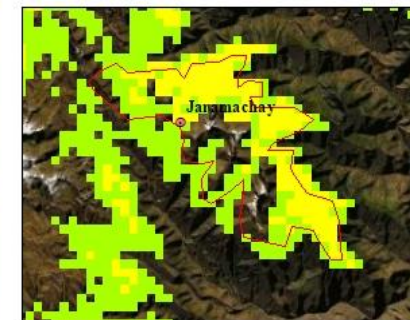
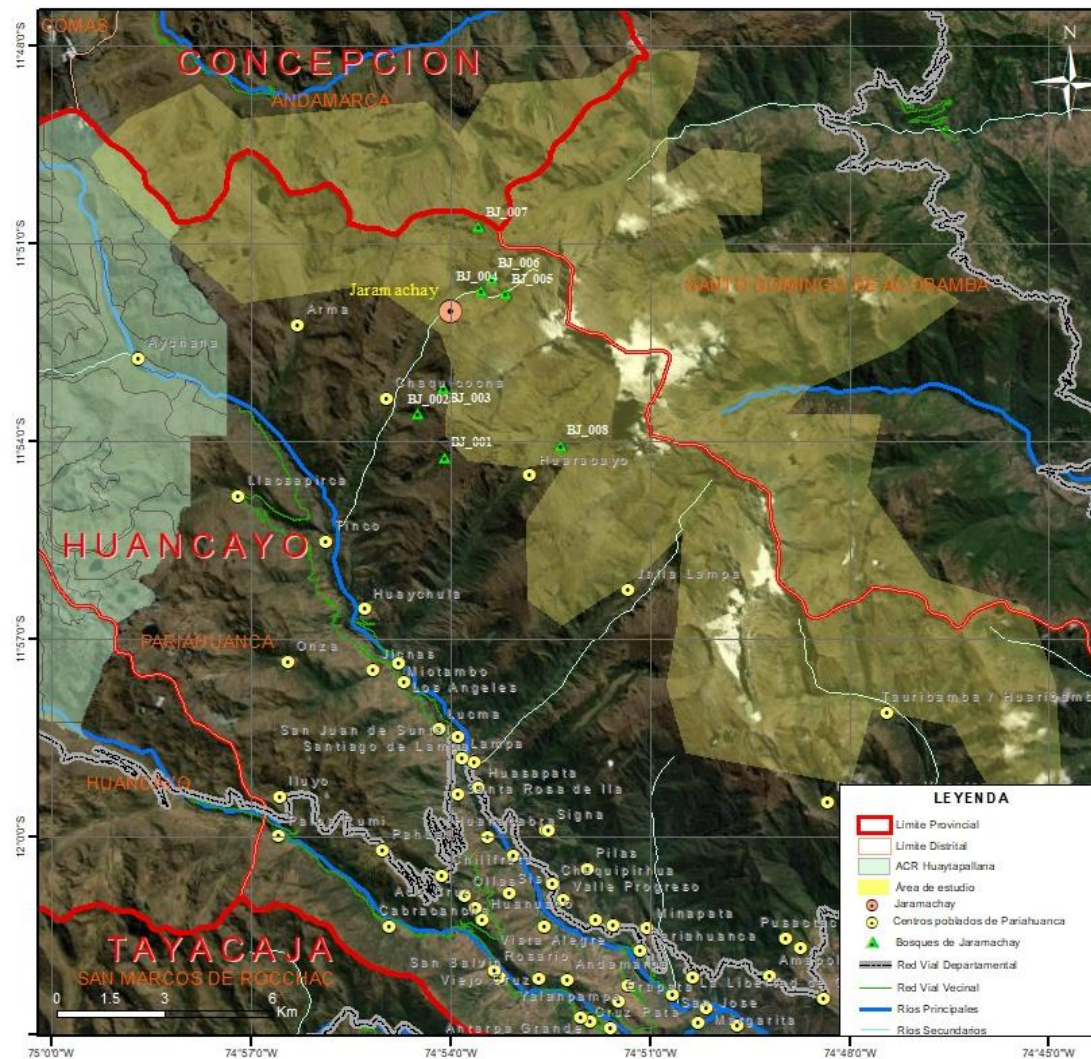


ANEXO 9: Modelos de distribución en el sector de Jaramachay, Distrito de Pariahuanca, Huancayo

Modelo de distribución de *P. rodolfo-vasquezii*, sector de Jaramachay, Distrito de Pariahuanca, Huancayo



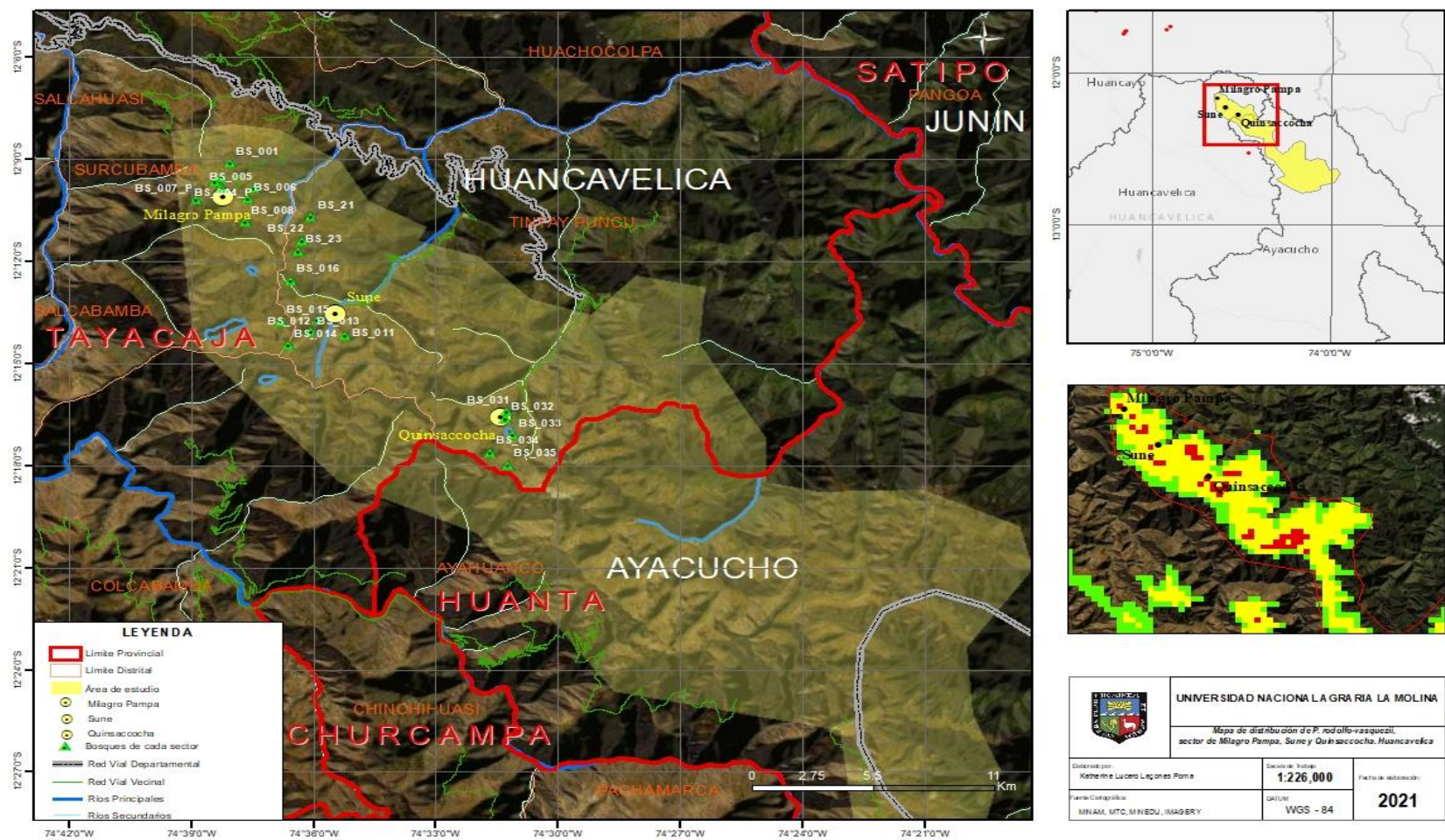
Modelo de distribución de *P. canoi*, sector de Jaramachay, Distrito de Pariahuanca, Huancayo



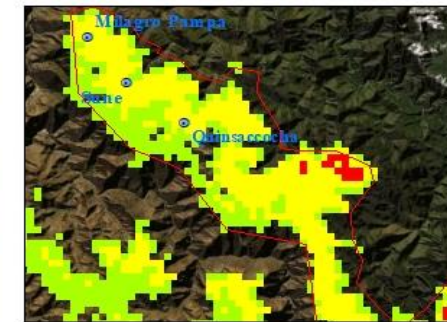
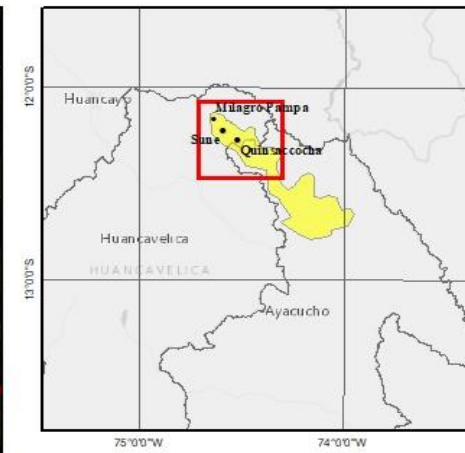
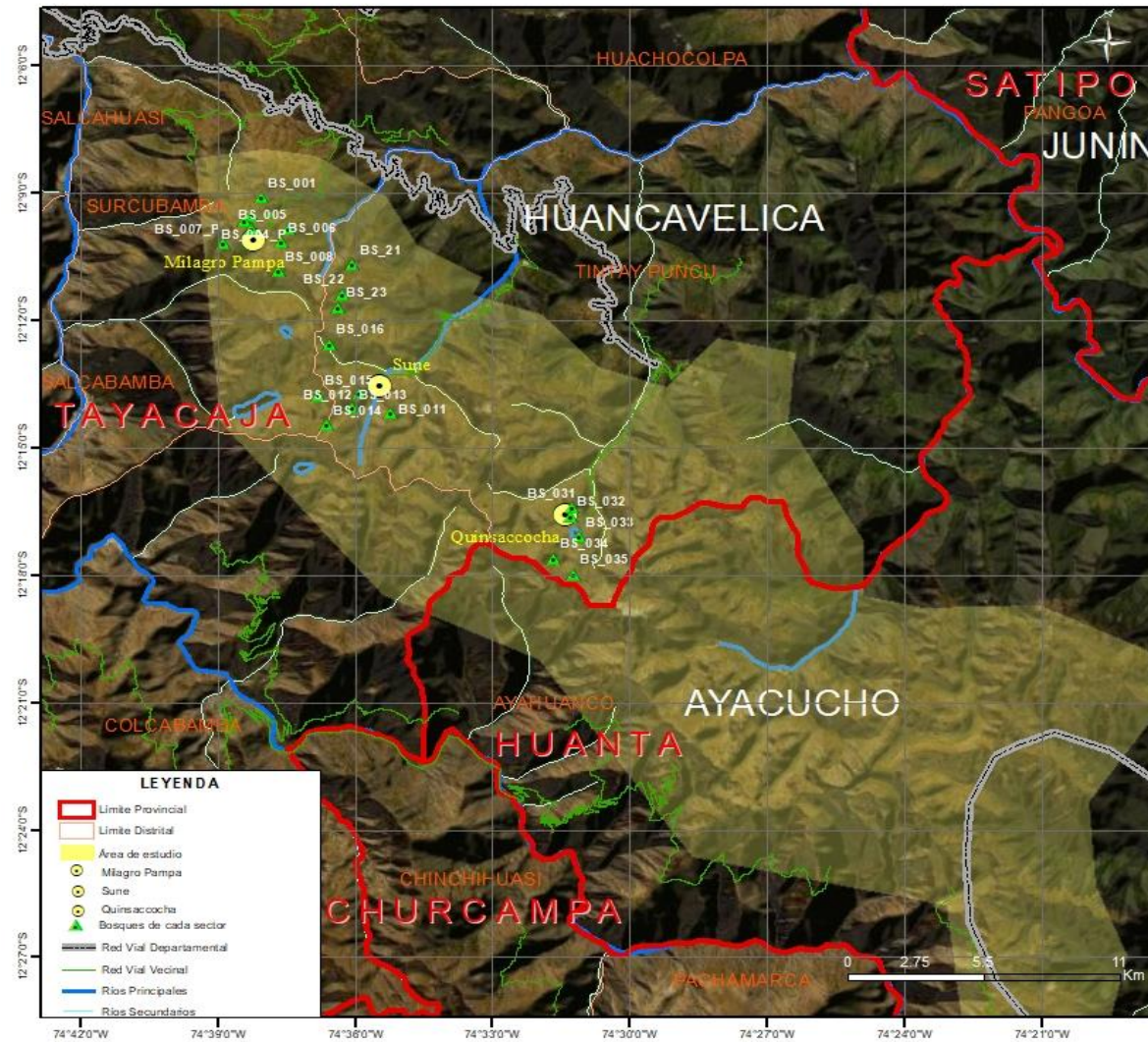
	UNIVERSIDAD NACIONAL GRACIA LA MOLINA	
	Mapa de distribución de <i>P. canoi</i> , sector de Jaramachay, Distrito de Pariahuanca, Huancayo	
Elaborado por: Katherine Lucero López Poma	Escala de Trabajo: 1:148,000	Fecha de edición: 2021
Fuente Cartográfica: MINAM, MTC, MINEDU, IMAGERY	DATUM: WGS - 84	

ANEXO 10: Modelos de distribución en el sector de Milagro Pampa, Sune y Quinsaccocha, Huancavelica.

Modelo de distribución de *P. rodolfo-vasquezii*, sector de Milagro Pampa, Sune y Quinsaccocha, Huancavelica.



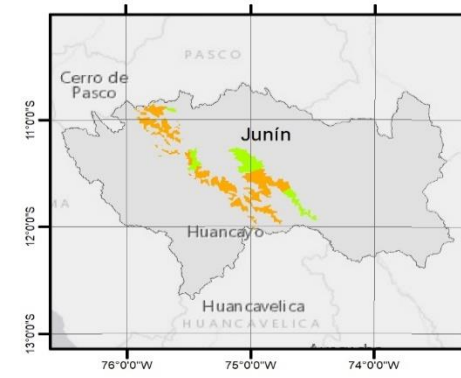
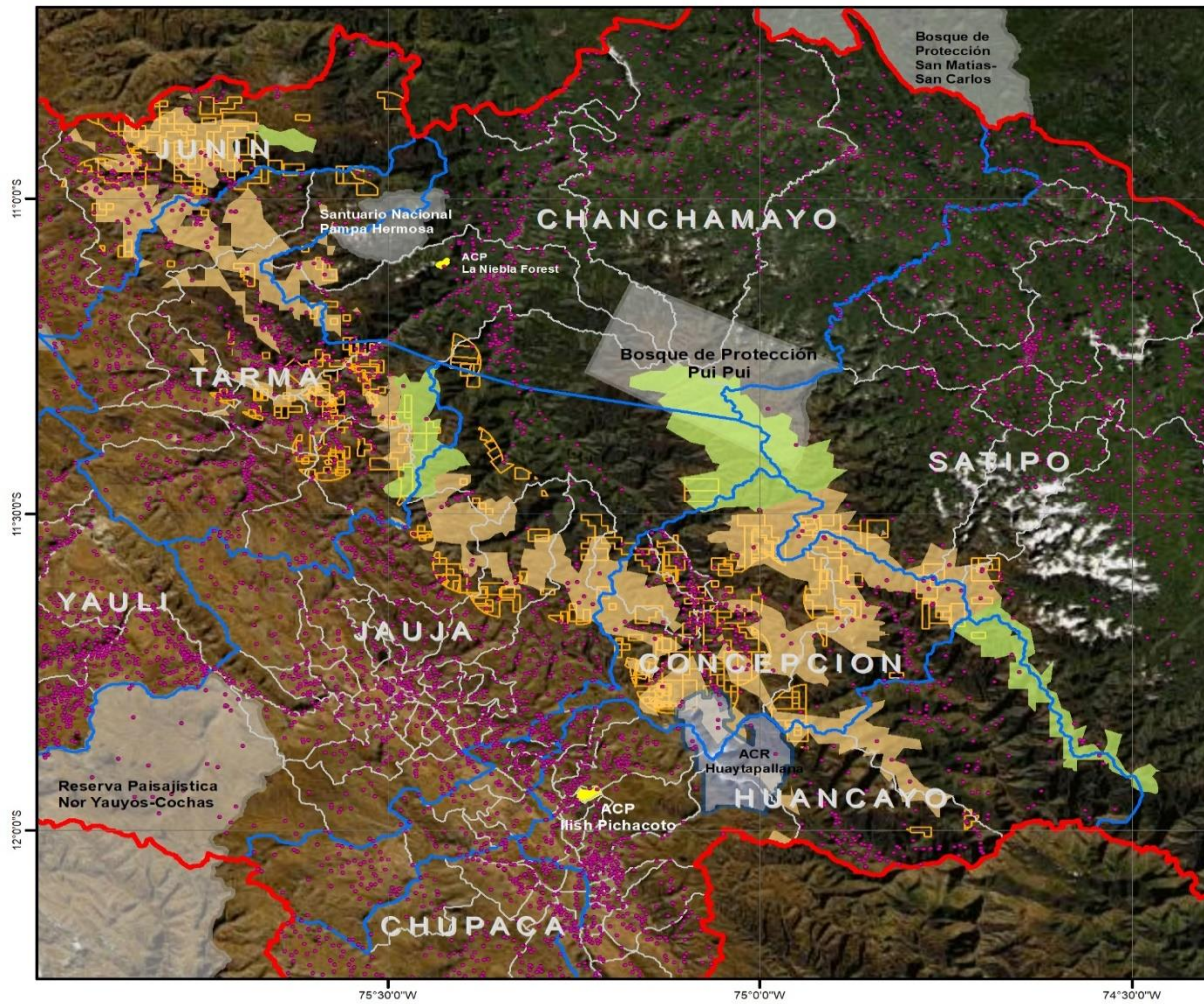
Modelo de distribución de *P. canoi*, sector de Milagro Pampa, Sune y Quinsaccocha, Huancavelica.



	UNIVERSIDAD NACIONAL LA GRACIA LA MOLINA	
	Mapa de distribución de <i>P. canoi</i> , sector de Milagro Pampa, Sune y Quinsaccocha, Huancavelica	
Elaborado por: Katherine Lucero Lagones Rome	Escala de Imagen: 1:226,000	Fecha de elaboración: 2021
Fuente Cartográfica: MINAM, MTC, MINEDU, IMAGERY	DATUM: WGS - 84	

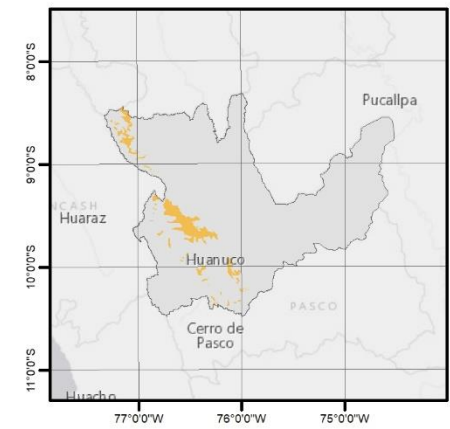
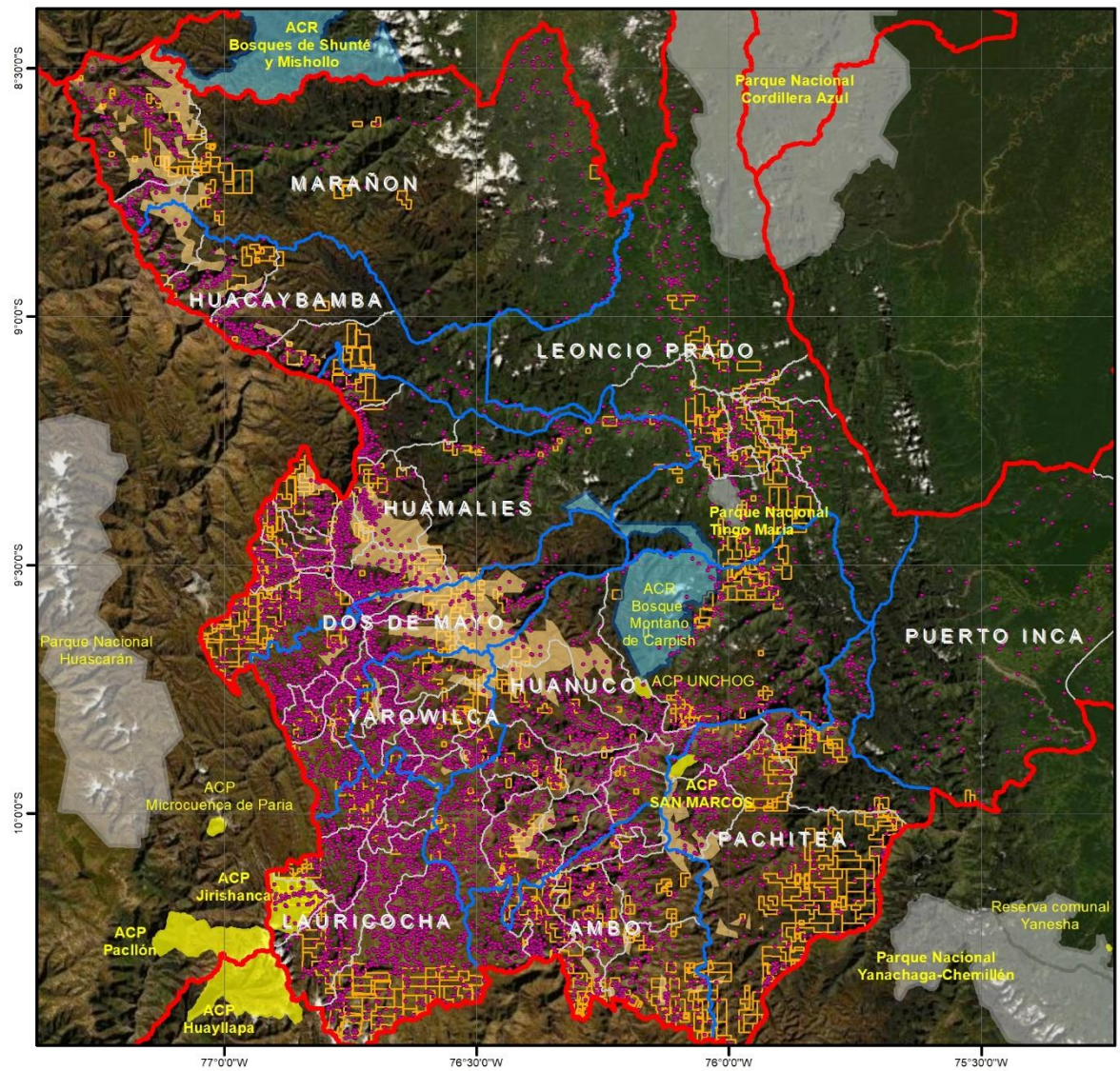
ANEXO 11: Áreas potenciales de restauración para *P. rodolfo-vasquezii*

Áreas potenciales de restauración para *P. rodolfo-vasquezii*, Departamento de Junín



	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	
	Áreas potenciales de restauración para <i>P. rodolfo-vasquezii</i> , Región Junín	
Elaborado por: Katherine Lucero Lagones Poma	Escala de Trabajo: 1: 800 000	Fecha de elaboración: 2022
Fuente Cartográfica: MINAM, MTC, MNEDU, IMAGERY	DATUM: WGS - 84	

Áreas potenciales de restauración para *P. rodolfo-vasquezii*, Departamento de Huánuco

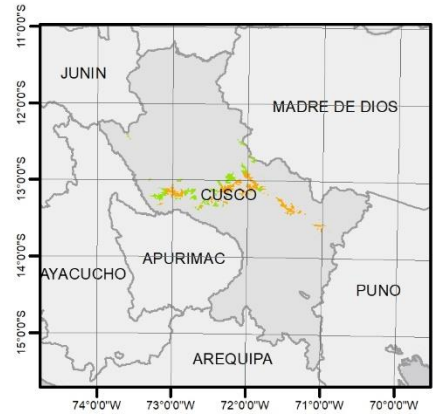
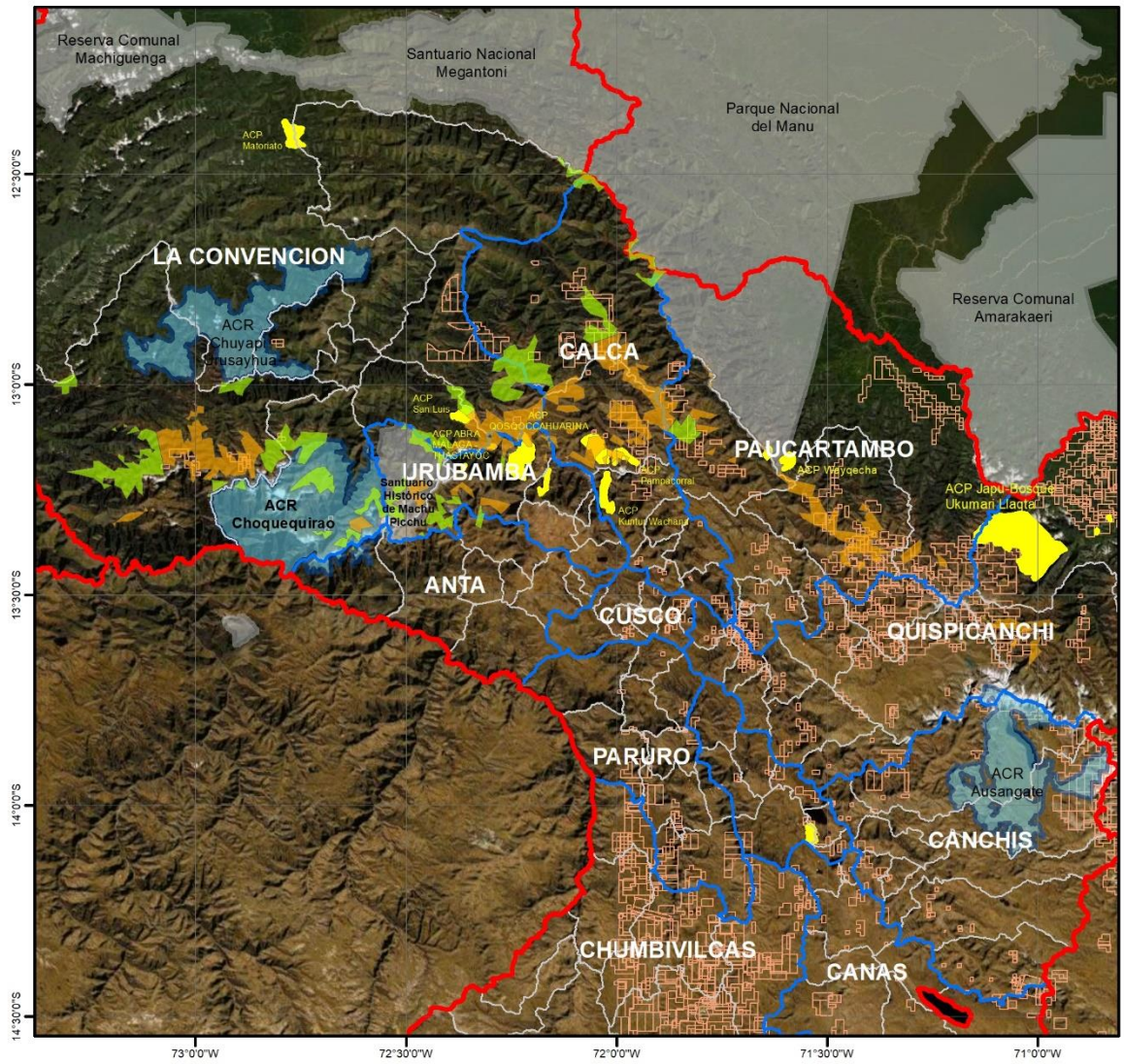


LEYENDA

- Limite Departamental
- Limite Provincial
- Limite Distrital
- Áreas Naturales Protegidas
- Áreas de Conservación Regional
- Áreas de Conservación Privada
- Centros Poblados
- Catrasto Minero
- ÁREAS PARA CONSERVACIÓN
- ÁREAS PARA RESTAURACIÓN

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	
	Áreas potenciales de restauración para <i>P. rodolfo-vasquezii</i> , Región Huánuco	
Elaborado por: Katherine Lucero Lagones Poma	Escala de Trabajo: 1:1,190,000	Fecha de elaboración:
Fuente Cartográfica: MINAM, MTC, MINEDU, IMAGERY	DATUM: WGS - 84	2022

Áreas potenciales de restauración para *P. rodolfo-vasquezii*, Departamento de Cusco



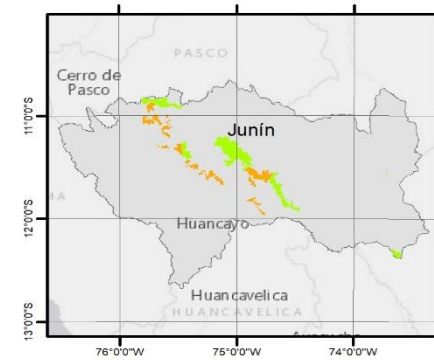
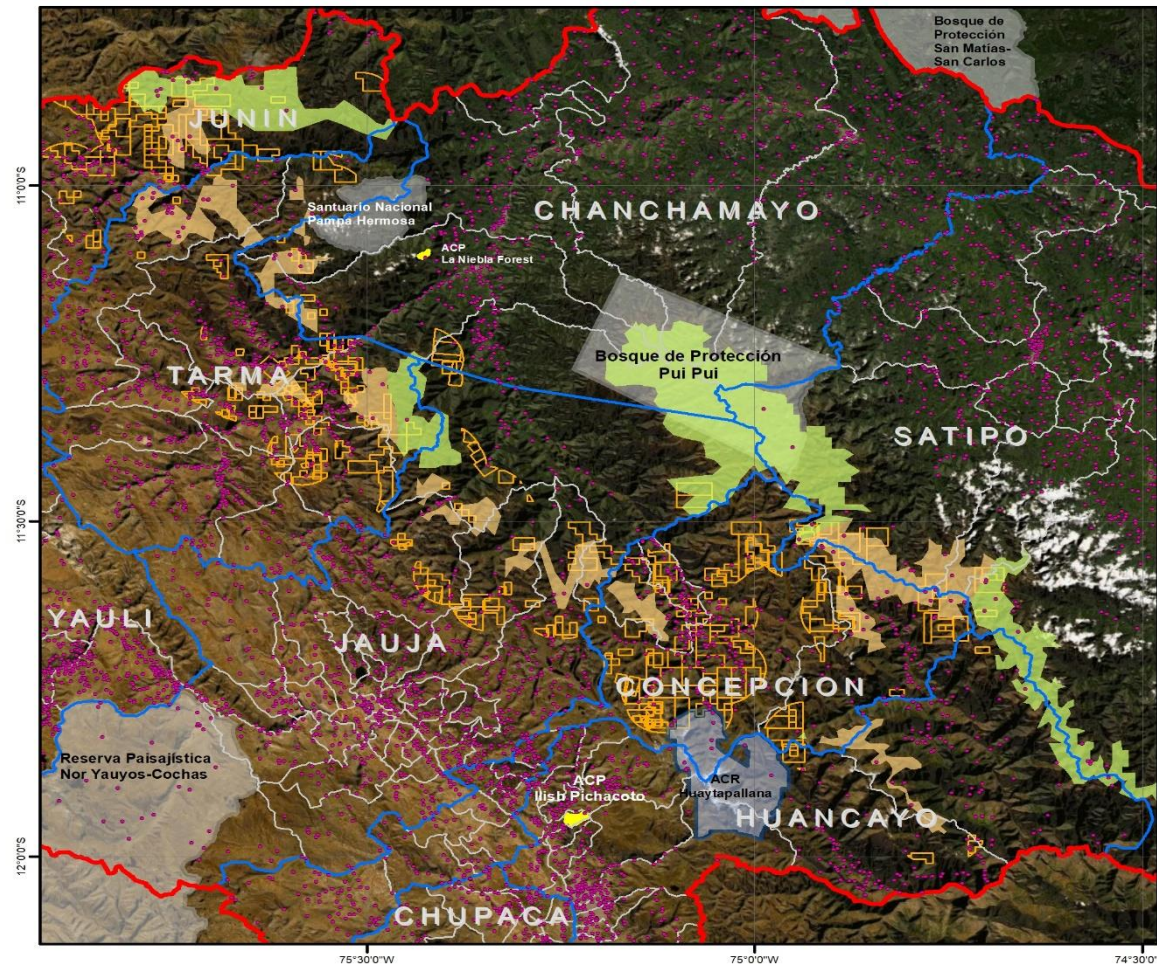
LEYENDA

- Limite Departamental
- Limite Provincial
- Limite Distrital
- Áreas Naturales Protegidas
- Áreas de Conservación Regional
- Áreas de Conservación Privada
- Centros Poblados
- Catastro Minero
- ÁREAS PARA CONSERVACIÓN
- ÁREAS PARA RESTAURACIÓN

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	
	Áreas potenciales de restauración para <i>P. rodolfo-vasquezii</i> , Región Cusco	
Elaborada por: Katherine Lucero Lagones Poma	Escala de Trabajo: 1:1,430,000	Fecha de elaboración: 2022
Fuente Cartográfica: MINAM, MTC, MINEDU, IMAGERY	DATUM: WGS - 84	

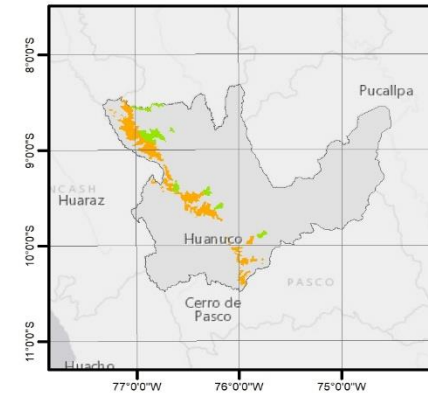
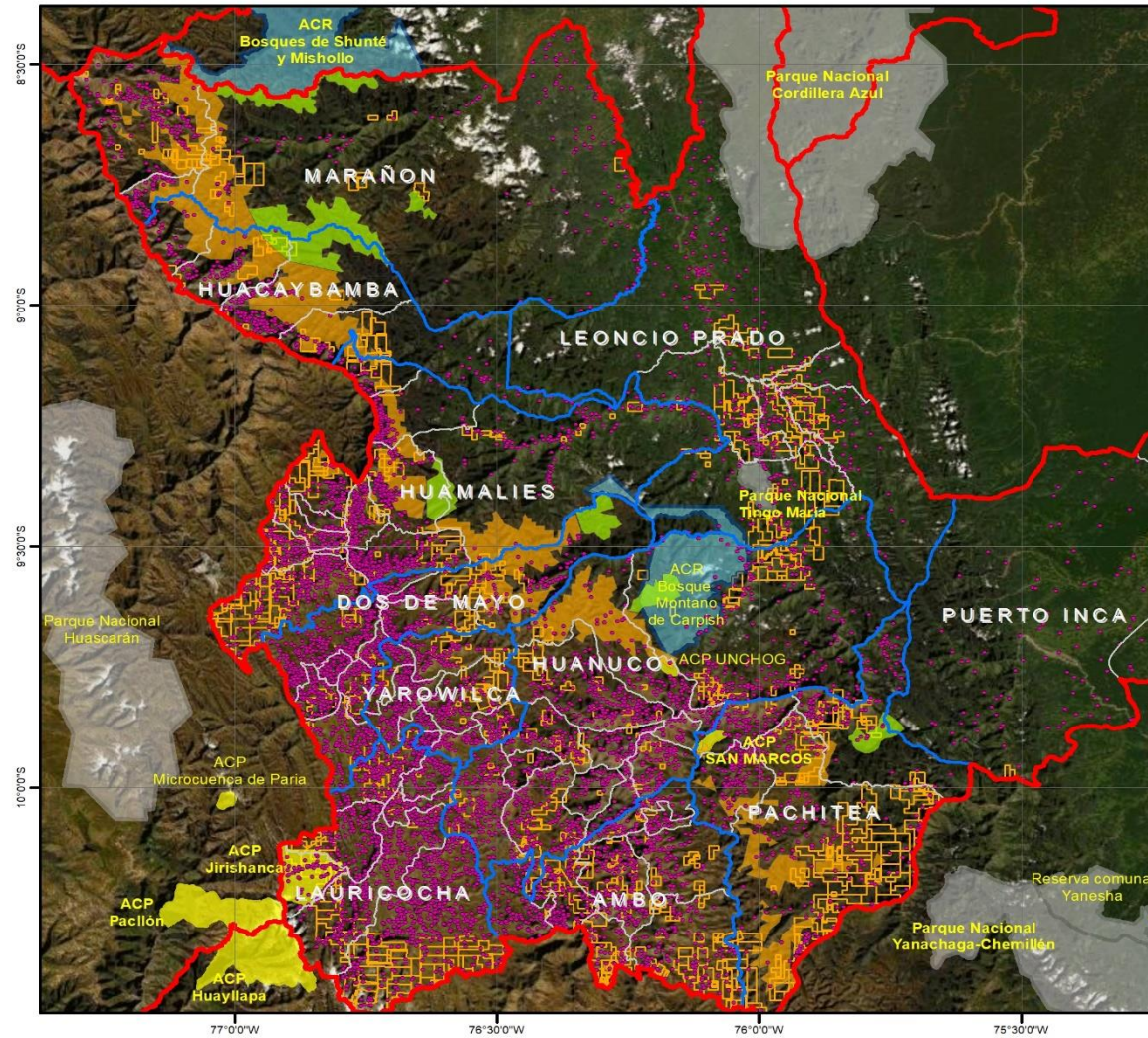
ANEXO 12: Áreas potenciales de restauración para *P. canoi*

Áreas potenciales de restauración para *P. canoi*, Departamento de Junín



	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	
	Áreas potenciales de restauración para <i>P. canoi</i> , Región Junín	
Elaborado por: Katharine Lucero Lagones Poma	Escala de Trabajo: 1: 800 000	Fecha de elaboración: 2022
Fuente Cartográfica: MINAM, MTC, MINEDU, IMAGERY	DATUM: WGS - 84	

Áreas potenciales de restauración para *P. canoi*, Departamento de Huánuco

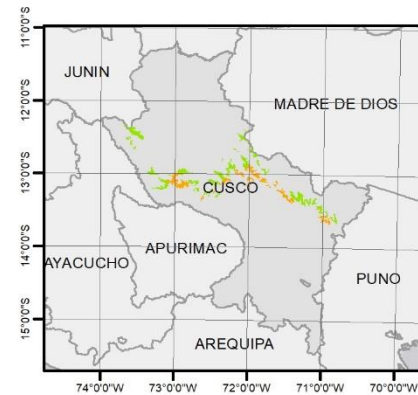
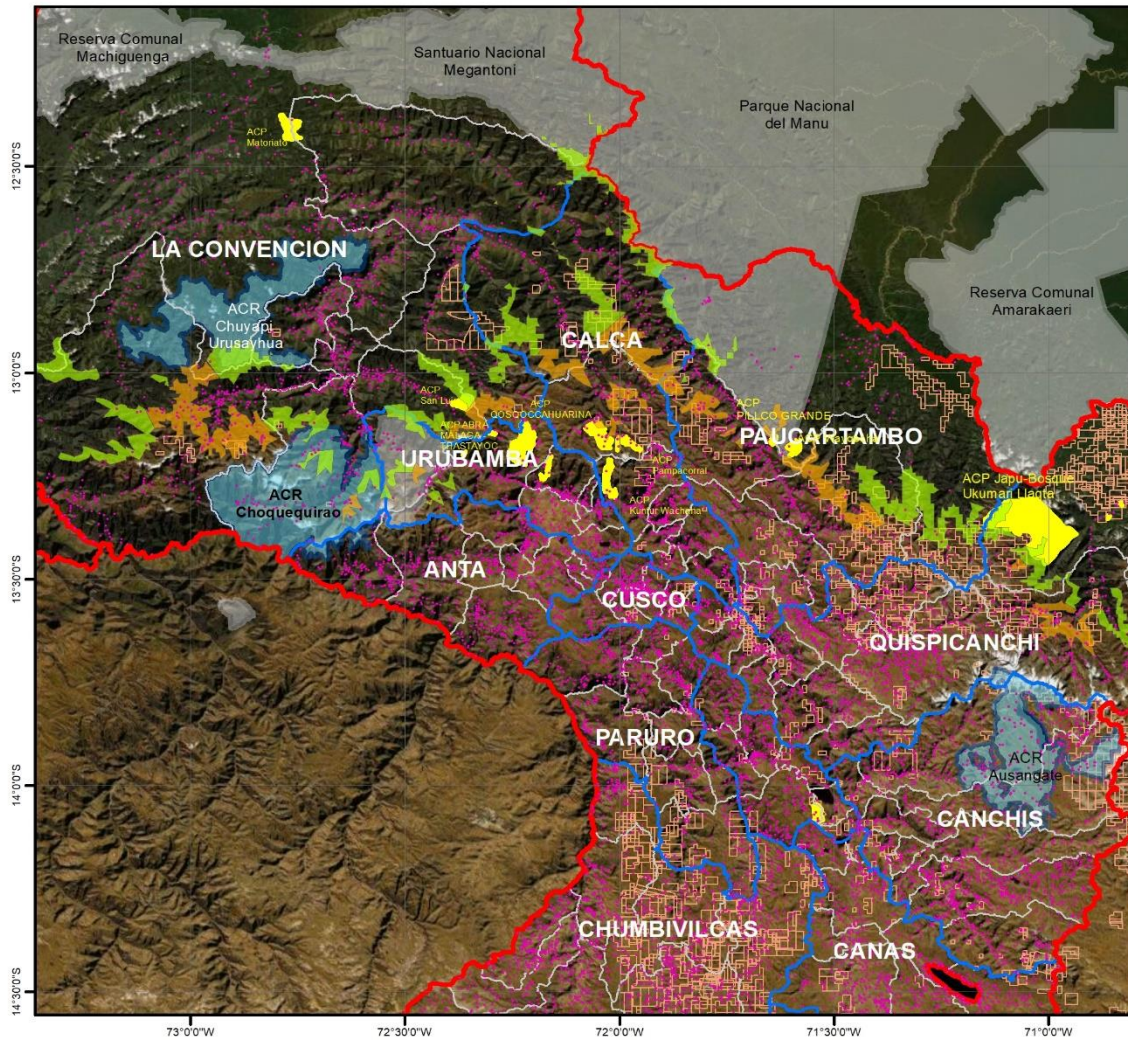


LEYENDA

- Limite Departamental
- Limite Provincial
- Limite Distrital
- Áreas Naturales Protegidas
- Áreas de Conservación Regional
- Áreas de Conservación Privada
- Centros Poblados
- Catrastro Minero
- ÁREAS PARA CONSERVACIÓN
- ÁREAS PARA RESTAURACIÓN

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	
	<i>Áreas potenciales de restauración para <i>P. canoi</i>, Región Huánuco</i>	
Elaborado por: Katherine Lucero Lagones Palma	Escala de Trabajo: 1:1,190,000	Fecha de elaboración: 2022
Fuente Cartográfica: MINAM, MTC, MNEU, IMAGERY	DATUM: WGS - 84	

Áreas potenciales de restauración para *P. canoi*, Departamento de Cusco



	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	
	Áreas potenciales de restauración para <i>P. canoi</i> , Región Cusco	
Elaborado por: Katherine Lucero Lagonés Poma	Escala de Trabajo: 1:1,430,000	Fecha de elaboración: 2022
Fuente Cartográfica: MINAM, MTC, MINEDU, IMAGERY	DATUM: WGS - 84	

**ANEXO 13: Localidades identificadas en las áreas potenciales de restauración
para *P. rodolfo-vasquezii***

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDADES
JUNÍN	JUNÍN	ULCUMAYO	QUISHUAR PANCHA MAGAMAGANGA SANTA INÉS SAN MIGUEL DE PUYAY HUANCASH RARAUCANCHA TAMBOPATA QUIPACANCHA CURIMARCA QUISHUAR PAMPALLACTA TUTAPAQUI QUIPACANCHA YAPACMARCA HUICHULAN HUALCO
	TARMA	SAN PEDRO DE CAJAS	ACANCOCHA CHUPAN VIZCACANCHA PARAHUAYIN LIBERTAD CHUNUMANA SHIRHUAY YANEC QUISHUAR PATA AUQUIMARCA HACIENDA HUAY SANTA CRUZ DE HUACAN UTUSH PATAMARCA LAMAYPAMPA
		HUASAHUASI	SAN PEDRO DE CHURCO SAN ANDRES DE COTOSH HUASAHUASI GASHUASHAN SAN ISIDRO DE OGOPASHA
		PALCAMAYO	CUROTAYOC RICRICAN
		ACOBAMBA	PICOY MURUHUAY
		PALCA	SANTA ROSA DE NAHUIN MISHI HUARCO TIRIPALANA
		TAPO	GARACANCHAYOC SAN JUAN DE RANRA

	CHANCHAMAYO	CHANCHAMAYO	SAN ANTONIO	
		SAN RAMON	LLAMASHAHUANA PUTACA RAYAMPAMPA CASCA	
	JAUJA	RICRAN	TAMBILLO	
		MOLINOS	RUMICHACA CURIMARCA TINGO	
		APATA		
		MONOBAMBA		
	CONCEPCIÓN	COCHAS	MACON TELAR CANGALAYO MACARÁ ANDAS COCHAS PARCO	
		COMAS	POMAMANTA COMAS SAYA BELLAVISTA MUCULO MARANCOCHA ARACANCHA	
		ANDAMARCA	CABRACANCHA PUCÑA GRANDE MONTEHUASI PATAHUASI LLAMAS TAMBO UYO	
	HUANCAYO	PARIAHUANCA	JARAMACHAY	
	SATIPO	PAMPA HERMOSA	HUANCAMACHAY BADOPAMPA ULLIMARCA	
	HUÁNUCO	MARAÑÓN	HUACRACHUCO	HUANCHAY HACRACHUCO
			SAN BUENAVENTURA	FRAYLE RUMY YANARRANGRA JANAPAMPA SAN BUENAVENTURA LA SOLEDAD
HUACAYBAMBA		CANCHABAMBA	SAN LUIS DE CARHUAJ	
		PINRA	JUPAY PINRA	
HUAMALIES		SINGA		

		PUNCHAO	
		MIRAFLORES	
		LLATA	
		TANTAMAYO	PIRURO PAMPA FLORIDA CAURISH HUANCARAN SHUCSHA TANTAMAYO
		CHAVIN DE PARIARCA	SAN JUAN DE PAMPAS MIRAFLORES CHAVIN DE PARIARCA
		JACAS GRANDE	RAGACHA SOGO BAMBAMBA HUACASH
	DOS DE MAYO	QUIVILLA	QUIVILLA
		MARIAS	CUSHPE ALGAY UTUTO PACHACHACA MARIAS
		CHUQUIS	SUSUPUQUIO PUCAGAGA
	YAROWILCA	APARICIO POMARES	
		CHAVINILLO	
		JACAS CHICO	
		CHORAS	
		PAMPAMARCA	
		OBAS	
	HUÁNUCO	CHURUBAMBAMBA	VIRGEN DEL CARMEN DE INCACOCHA HUARICANCHA RISCUPA

			CHOGOBAMBA
		SANTA MARIA DEL VALLE	MARAY HUAJAG San Pablo de Borunda PUQUITAMBO SANTA ISABEL PURO PURO
		SAN PEDRO DE CHAULAN	CARHUACAJA PACSAPATA CHEGYAHUARCAN TAYAPAMPA SAN JUAN DE LA LIBERTAD
	AMBO	SAN RAFAEL	SANTA ANA SAN JOAQUIN
		SAN FRANCISCO	SAN ANTONIO DE QUIRCAN JIRCAN PATA
	PACHITEA	PANAO	MARAY SAN CRISTÓBAL
		MOLINO	ANCOMARCA LINDA LINDA JIULACOCHA
CUSCO	LA CONVENCION	INKAWASI	CCARCO ACCOBAMBA OSNOPATA
		VILCABAMBA	PAMPACONAS CHILLIHUA CCOYLLUYCHO VILCABAMBA CCAYARA MACCAYOC QUEHUIÑA HUAYRAC
		SANTA TERESA	HUAYRACMACHAY
		HUAYOPATA	PANTICALLE CCOCHAYOC
		OCOBAMBA	HUILLOC SORAYOC
	URUBAMBA	OLLANTAYTAMBO	JACAS PRIMAVERA PATAPATA GRANDE KCAMICANCHA OYBISCUYOC PEROLNIYOC

		MACHUPICCHU	HUAYLLABAMBA MANZANAYOC HATUNCHACA
	CALCA	LARES	CCACHIN RAYANCANCHA CUNCANI ZONAPATA QUISHUARANI QUEYUPAY ANCALLACHI MANTO PAMPACORRAL AMPARAES
		YANATILE	SAUQUI INCACANCHA PAROBAMBA OTOCANI UMAPATA TELEVAN SOLAN
	PAUCARTAMBO	CHALLABAMBA	VENASQASA BOMBON PACHAMACHAY HUAYÑAPATA
		PAUCARTAMBO	PAUCARTAMBO KALLACANCHA CARPAPAMPA PUMACHACA LLUTHUYOC KOLLPAPATA KCACHUPATA CCOLLPAPAJA QUISACANCHA ESPINGUNI
	QUISPICANCHI	MARCAPATA	MARCAPATA COLINE FAUSI HUAYLLALLO HUAYLLABAMBA LIOPATA MAYOBAMBA

**ANEXO 14: Localidades identificadas en las áreas potenciales de restauración
para *P. canoi***

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	CCPP
JUNÍN	JUNÍN	ULCUMAYO	MAGAMAGANGAN QUISHUAR PANCHA SANTA INÉS TAMBOPATA SANTA ROSA DE TAMA
		TARMA	SAN PEDRO DE CAJAS
	PALCA		SANTA ROSA DE NAHUIN MISHI HUARCO TIRIPALANA
	CONCEPCIÓN	COCHAS	MACON TELAR CANGALAYO MACARÁ ANDAS COCHAS PARCO
		ANDAMARCA	CABRACANCHA PUCÑA GRANDE MONTEHUASI PATAHUASI LLAMAS TAMBO UYO
	HUANCAYO	PARIAHUANCA	JARAMACHAY
	SATIPO	PAMPA HERMOSA	HUANCAMACHAY BADOPAMPA ULLIMARCA
HUÁNUCO	MARAÑÓN	HUACRACHUCO	HUANCHAY HACRACHUCO
		CHOLÓN	VILLA RICA DE CHONAS PUEBLO VIEJO ANTAQUERO RINCONADA

		SAN BUENAVENTURA	FRAYLE RUMY
	HUACAYBAMBA	CANCHABAMBA	SAN LUIS DE CARHUAJ
		PINRA	PINRA
		HUACAYBAMBA	HUACAYBAMBA HUARASILLO
		COCHABAMBA	COCHABAMBA PIRUSHTO CHAPLAJ
	HUAMALIES	ARANCAY	SAN MIGUEL DE COYAS SAN FRANCISCO DE CATAS
		JIRCAN	PORTACHUELO CHAUPIJIRCA SAPACOJ SHALLAY JIRCAN
		TANTAMAYO	QUISUAR COYLLARBAMBA PIRURO SOGORAGRA PAMPA FLORIDA ICHIGALLAN CAURISH ESPERANZA YANUNA
		MONZON	TINYACPAMPA MALPOCOCHA HUCHCAPATA
	DOS DE MAYO	MARIAS	CUSHPE ALGAY POTGA PATAY RONDOS
	HUANUCO	CHURUBAMBA	MINAS JARAHUASI PAPAHUASI TINDALPAMPA VIRGEN DEL CARMEN DE INCACOCHA MARGAPUYAN CHOQUECANCHA
	PACHITEA	PANAO	RODEO YURAC MARCA YANAMACHAY NUEVA ESPERANZA YURAGMARCA ALTA LA LINDA SAN ANTONIO DE SUNEC

			EUCALIPTO PAMPA MARAY
		MOLINO	ANCOMARCA PALMA PAMPA JIULACocha LINDA LINDA
CUSCO	LA CONVENCION	VILCAMBAMBA	PAMPACONAS VILCABAMBA CCUYURA VITCOS KISHUARHUAYCCO PILLAOPATA TINCOC LUCMA HUARINA
		HUAYOPATA	PANTICALLE CCOCHAYOC
		OCOBAMBA	HUILLOC SORAYOC
	URUBAMBA	MACHUPICCHU	HUAYLLABAMBA MANZANAYOC HATUNCHACA
	CALCA	LARES	QUISHUARANI CHOQUECANCHA LLAULLIPUCIO
		YANATILE	SAUQUI INCACANCHA PAROBAMBA OTOCANI UMAPATA TELEVAN SOLAN
	PAUCARTAMBO	CHALLABAMBA	VENASQASA BOMBON PACHAMACHAY HUAYÑAPATA
		PAUCARTAMBO	LLUTHUYOC KOLLPAPATA KCACHUPATA CCOLLPAPAJA QUISACANCHA ESPINGUNI
	QUISPICANCHI	MARCAPATA	MARCAPATA LIOPATA MAYOBAMBA HUAYLLALLOC UMAPARCO QUENKO CHIQUIS CANCHAPATA TILLPA LAYAMPAMPA

		CAMANTI	INCA PATA JAPU
--	--	---------	-------------------