



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
INSTITUTO DE ESTUDIOS DE RÉGIMEN SECCIONAL DEL ECUADOR (IERSE)

MAESTRÍA EN GEOMÁTICA CON MENCIÓN EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL

**DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL GÉNERO *POLYLEPIS* DENTRO DE LA CUENCA
DEL RÍO PAUTE EN UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO.**

por:

Danilo Mejía Coronel

Tesis de Posgrado de Magister
Geomática con Mención en Ordenamiento Territorial

Cuenca, Ecuador 2013





DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo que me han brindado.....



AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Ing. Sebastián Izquierdo Abad por su guía y dirección.

Al director del posgrado Ing. Omar delgado por su apoyo.

A todos mis profesores nacionales y extranjeros de la maestría que también son parte de este trabajo.

A los técnicos del IERSE por su ayuda, amabilidad y amistad.

Al Blgo. Vinicio Santillán R. por su acompañamiento, cooperación y apoyo en estos dos años de maestría y en la realización de la investigación.

A todos mis compañeros de la primera promoción de la maestría en Geomática con Mención en Ordenamiento Territorial, de los cuales aprendí tanto y que son parte de esta meta.

Finalmente, a todos los autores e investigadores que generaron la información básica para la construcción de los modelos de esta tesis.



RESUMEN

En la región andina, la investigación es escasa en todos los ámbitos de conocimiento, más aún cuando se relaciona con aquellos temas que son muy importantes para la vida; modelar la distribución de especies vegetales y animales proporciona la medida de ocupación potencial de una especie en las áreas no prospectadas por motivos económicos o de accesibilidad y, por lo tanto, se torna imprescindibles para modelos de gestión en la conservación de *Polylepis*. La cuenca del Río Paute fue el escenario para el estudio del modelamiento dada por la importancia hídrica que tiene esta cuenca a nivel nacional. Se utilizó la información proporcionada por la agencia *WorldClim - General Circulation Models*, ésta proporciona datos de modelos climáticos, métodos, escenarios y variables climáticas que sirven para el análisis de predicción a futuro de los bosques de *Polylepis*. Al final, los resultados que se obtuvieron sirven para la toma de decisiones para la conservación de los recursos naturales.

PALABRAS CALVE: Polylepis, Modelamiento Actual, Modelamiento Futuro, cuenca del Río Paute, Cambio Climático.



ABSTRACT

In the Andean region, research is scarce in all areas of knowledge, even more so when it relates to those issues that are very important for life. Modeling the distribution of plant and animal species provides the measure of potential occupation of species in non-prospected areas, due to economic reasons or for accessibility and; therefore, it becomes essential for Polylepis conservation management models.

The *Paute* river basin was the setting for the modeling study because of the hydric importance that this basin has nationwide. The information provided by WorldClim-General Circulation Models agency was used. This provides data for climate models, methods, scenarios, and climatic variables used for Polylepis forest future prediction analysis. In the end, the results obtained are used for the conservation of natural resources decision-making.

Key Words: Polylepis, Current modeling, Future modeling, *Paute* river basin, Climate Change.



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. PROBLEMÁTICA.....	10
3. OBJETIVOS	10
3.1 Objetivo General	10
3.2 Objetivos Específicos	10
4. METODOLOGÍA	11
4.1 Área de Estudio.....	11
4.2 Selección de Parches	12
4.3 Selección de Modelo Climático Global.....	12
4.4 Modelación y análisis de distribución de especies.....	14
4.5 Modelación del impacto del cambio climático en la distribución de las especies.	14
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	16
5.1 Preparación de información.	16
5.2 Análisis de distribución actual de <i>Polylepis sp.</i>	17
5.3 Análisis de distribución en los años 2020's y 2050's de <i>Polylepis sp.</i>	18
5.4 Evaluación de los Parámetros utilizados para el Modelamiento de <i>Polylepis</i> Actual y Futura bajo el escenario de cambio climático HadCM3-A2.	23
5.5 Análisis del impacto del cambio climático en la distribución de <i>Polylepis</i>	27
6. CONCLUSIONES	31
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
8. ANEXOS.....	34
8.1 Anexo 1. Tabla de Familias de los Escenarios Climáticos Futuros.....	34
8.2 Anexo 2. Tabla de Ocurrencias con la fuente de la base de datos.....	35
8.3 Anexo 3. Modelo Generado por Maxent, actual.	41
8.4 Anexo 4. Modelo Generado por Maxent, 2020's.....	42
8.5 Anexo 5. Modelo Generado por Maxent, 2050's.....	43
8.6 Anexo 6. Tabla y figura de Aporte de las Variables Bioclimáticas al Modelo Actual.....	44
8.7 Anexo 7. Tabla y figura de Aporte de las Variables Bioclimáticas al Modelo 2020's.....	45
8.8 Anexo 8. Tabla y figura de Aporte de las Variables Bioclimáticas al Modelo 2050's.....	47
8.9 Anexo 9. Figura de Ocurrencias de <i>Polylepis</i> en la cuenca del Río Paute.....	49
8.10 Anexo 10. Figura de Distribución Actual de <i>Polylepis</i> en la cuenca del Río Paute.	50



8.11	Anexo 11. Figura de Distribución Futura 2020's de <i>Polylepis</i> en la cuenca del Río Paute...	51
8.12	Anexo 12. Figura de Distribución Futura 2050's de <i>Polylepis</i> en la cuenca del Río Paute...	52
8.13	Anexo 13. Figura Áreas de Impacto por el Cambio Climático de <i>Polylepis</i> Actual (1952 - 2000) 2020's en la cuenca del Río Paute.....	53
8.14	Anexo 14. Figura Áreas de Impacto por el Cambio Climático de <i>Polylepis</i> Actual (1952 - 2000) 2050's en la cuenca del Río Paute.....	54

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Significado de las Variables Bioclimáticas.	13
Tabla 2. Resta de Rasters	15
Tabla 3. Reclass de la resta de Rasters para obtención del impacto del cambio climático en la distribución de las especies.	16
Tabla 4. Áreas en hectáreas y porcentajes en relación a la cuenca del Río Paute de los escenarios modelados actual y futuro.	19
Tabla 5. Áreas de Impacto por el Cambio Climático.	28

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Área de Estudio.....	12
Figura 2. Ocurrencia de los Bosques de <i>Polylepis</i> en la cuenca del Río Paute.....	17
Figura 3. Modelación de <i>Polylepis</i> en la cuenca del Río Paute: a) Distribución Potencial Actual de <i>Polylepis</i> , b) Distribución Potencial de <i>Polylepis</i> en los años 2020's bajo el escenario de cambio climático HadCM3-A2 y c) Distribución Potencial de <i>Polylepis</i> en los años 2050's bajo el escenario de cambio climático HadCM3-A2.	20
Figura 4. Análisis del rendimiento del modelo <i>Omission and Predicted Area</i> de los modelos de distribución actual y futuro de <i>Polylepis</i> en la cuenca del Río Paute, a) <i>Omission and Predicted Area</i> actual, b) <i>Omission and Predicted Area</i> futuro 2020's y c) <i>Omission and Predicted Area</i> futuro 2050's.	25
Figura 5. Análisis AUC de los modelos de distribución actual y futuro de <i>Polylepis</i> en la cuenca del Río Paute, a) AUC=0.969 del modelo actual , b) AUC=0.970 del modelo futuro 2020's y c) AUC=0.969 del modelo futuro 2050's.....	27
Figura 6. Impacto del cambio climático en la distribución de <i>Polylepis</i> en la cuenca del Río Paute, a) Probabilidad que <i>Polylepis</i> ocurra en los años 2020's y b) Probabilidad que <i>Polylepis</i> ocurra en los años 2050's con relación al clima actual.	29



1. INTRODUCCIÓN

En toda la región andina, la investigación es escasa en todos los ámbitos del conocimiento, más aún cuando se relaciona con aquellos temas que son muy importantes para la vida (Cáceres L. 2007).

Los bosques formados por árboles del género *Polylepis* son la vegetación natural de los Andes entre los 3500 a 5000 m.s.n.m. (Kessler 1995) y se encuentran formando parches entre los pajonales. Estos parches constituyen verdaderos oasis biológicos en los páramos al favorecer el desarrollo de mamíferos, aves, insectos, plantas medicinales, alimenticias (Kessler & Herzog 1998). Los árboles de *Polylepis* también favorecen las precipitaciones y aumentan la humedad del aire. Los bosques de montaña en los Andes tienen la capacidad de captación de agua, la liberan gradualmente, lo cual permite que el agua sea filtrada a través de la vegetación y se prevenga la erosión (Bucher & Schofield 1981)

En Ecuador a altitudes por encima de los 3000 a 3500 m.s.n.m, la vegetación es dominada por especies del género *Polylepis*, aunque en muchos lugares otras especies leñosas como *Buddleja*, *Clethra*, *Gynoxys*, *Podocarpus* o *Prumnopitys* también están presentes. Estos bosques representan uno de los ecosistemas más amenazados del mundo, y cumplen un rol central en la ecología altoandina, como hábitat de muchas especies de plantas y animales, y como importante fuente de recursos para los habitantes locales.

Los páramos se formaron en lo alto de las cordilleras, como islas en un mar de bosque, cuando la cordillera de Los Andes alcanzó grandes altitudes. Esto sucedió entre 5 y 3 millones de años atrás. Luego, en algún momento hace 1 millón de años, durante las glaciaciones, la temperatura del planeta bajó y los páramos extendieron sus límites hacia abajo. Algunos se conectaron entre sí, lo que permitió que se diera un mayor movimiento e intercambio de animales y semillas entre las cimas de montañas antes desconectadas. Otras cimas permanecieron aisladas y allí evolucionaron especies que no se encuentran en ninguna otra parte del planeta, es decir, especies endémicas de estos lugares (Vásquez A., Buitrago A. 2011).

Desde la última década del siglo pasado, la Biósfera está experimentando variaciones significantes en el clima, el cual, de acuerdo al informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (McCarthy *et al.* 2001) continuará en el futuro. El calentamiento previsto de 1,4 a 5,8 °C para el período 1990-2100 (IPCC 2006) podría alterar drásticamente los patrones conocidos de la biota en la Tierra. Estudios recientes sobre esta temática concuerdan en el hecho de que el incremento en el calentamiento global afecta a la biodiversidad en diferentes escalas y de diversas formas tales como variaciones en los rangos de especies y en la composición de las comunidades, desplazamientos altimétricos y/o latitudinales de comunidades vegetales o ecosistemas, y cambios en el funcionamiento de los ecosistemas (Cuesta *et. al.* 2009).



El auge del modelado ecológico ha sido posible fundamentalmente gracias al desarrollo que en los últimos años han experimentado los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Mediante estas herramientas es posible procesar gran cantidad de información procedente de diferentes fuentes (datos de herbarios, museos, trabajo de campo, inventarios florísticos, etc.) para elaborar modelos de idoneidad o mapas de distribución potencial en función de factores ambientales. Los SIG son herramientas poderosas y ofrecen mucha flexibilidad en el análisis, manipulación, presentación y síntesis de datos espaciales (Peterson, et al., 2002; Delgado T. 2008).

2. PROBLEMÁTICA

Modelar la distribución de especies puede proporcionar la medida de ocupación potencial de una especie en las áreas no prospectadas por motivos económicos o de accesibilidad y, por lo tanto, se han tornado imprescindibles para modelos gestión en la conservación.

En los últimos tiempos el uso de modelos predictivos para estudios de áreas de distribución potencial de especies se han incrementado considerablemente, ya que se han convertido en una herramienta utilizada para estudios muy diversos: epidemiológicos, especies amenazadas, localización de nuevas localidades de especies raras, priorización de zonas para la conservación de la biodiversidad, comprensión de los patrones espaciales de la biodiversidad o los impactos potenciales del cambio climático en patrones de distribución de especies.

En este último aspecto se enmarca el presente estudio, puesto que las estrategias de conservación deberían considerar los posibles cambios del clima en el futuro para identificar cómo y hacia dónde podrían ocurrir los movimientos espaciales de los parches de *Polylepis*.

Los resultados de esta investigación pueden servir para realizar modelos hidrológicos con las potenciales coberturas vegetales de las zonas de páramo, información útil para predecir los cambios en los caudales de los ríos; además de que se podrá predecir la distribución de especies de animales que tienen como hábitat a los bosques de *Polylepis sp.*

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Identificar los parches de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute y analizar su estabilidad, variabilidad temporal y espacial en un escenario de cambio climático global.

3.2 Objetivos Específicos

Generar modelos potenciales que permitan conocer la distribución de bosques de *Polylepis* con un clima estimado para los años 2020 y 2050.

Definir las zonas de cambio de cobertura vegetal por comparación entre los modelos actuales y futuros para la determinación de áreas prioritarias para la conservación.



4. METODOLOGÍA

Los puntos de ocurrencia de las especies de *Polylepis sp.* fueron obtenidos de la base de datos interoperables, que contienen datos primarios sobre especímenes de museo del Global Biodiversity Information Facility (GBIF, <http://www.gbif.org>) y de la base de datos proporcionada por la Escuela de Biología Ecología y Gestión de la Universidad del Azuay.

Para los modelos de distribución potencial actual se utilizó la metodología propuesta por Scheldeman y Zonneveld (2011) con el programa DIVA-GIS Versión 7.5.0 que incluye la opción Maxent que calcula la distribución potencial de la especie y la probabilidad de ocurrencia usando un algoritmo de máxima entropía (Philips *et al.* 2006). Empleando capas ambientales a una resolución de 30 arcosegundos que resumen las medias anuales y las variaciones climáticas, incluyendo la estacionalidad de la temperatura media anual, la temperatura media del trimestre más frío, la temperatura media del trimestre más cálido, la precipitación anual, la precipitación estacional, la precipitación del trimestre más húmedo las precipitaciones del trimestre más seco y la humedad relativa media (WorldClim, <http://www.worldclim.org/>).

4.1 Área de Estudio

El área de estudio seleccionada dentro de la cuenca del Río Paute y desarrollar los modelos predictivos de cambio climático son los Bosques de *Polylepis* los mismos que tienen un rango de altitudinal que va desde los 2.800 hasta 4.500 m.s.n.m. (Sierra 1999). Para el desarrollo de la investigación, como área de estudio se tomará a la cuenca del río Paute por la importancia hídrica que tiene esta cuenca a nivel nacional.

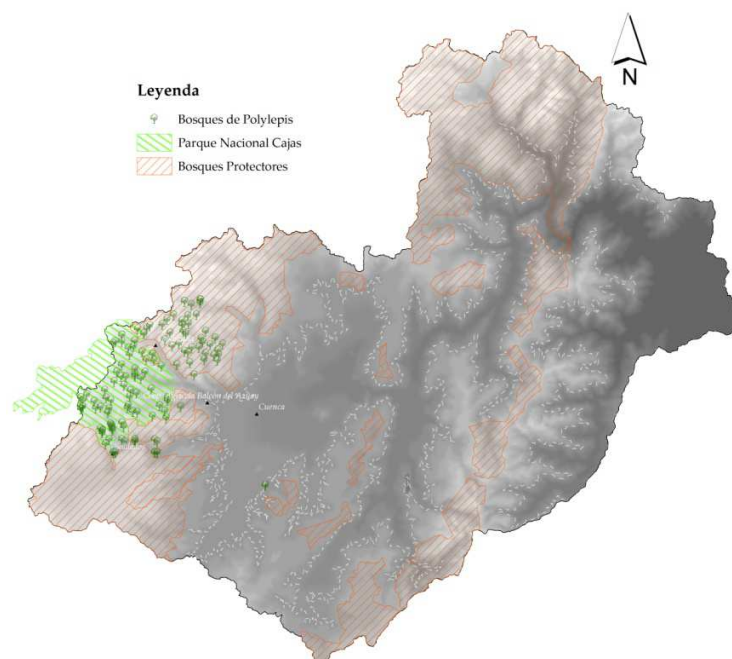


Figura 1. Área de Estudio.

4.2 Selección de Parches

Las ocurrencias del género *Polylepis* dentro del área de estudio se las obtuvo de dos fuentes importantes como es la Base de Datos de la Escuela de Biología Ecología y Gestión de la Universidad del Azuay puesto que esta institución lleva varios años estudiando la cuenca del Río Paute, además se investigó y descargo información de la base de Datos de la Global Biodiversity Information Facility (GBIF), la misma que recopila ocurrencias de varios museos a nivel mundial.

4.3 Selección de Modelo Climático Global

Para la modelación climática de *Polylepis* se obtuvo de la base de datos generada por la WorldClim - Global Climate Data, la misma que proporcionó la información de las condiciones actuales y las condiciones futuras que fueron generadas cada 30 arcosegundos (Hijmans *et al* 2005).

Para la selección de los datos climáticos futuros se utilizó la información proporcionada por WorldClim - General Circulation Models, la cual facilita información climática que contiene datos del modelo, método, escenario, variables climáticas y período que servirán para el análisis de predicción.

Se trabajó con el método “Delta” que es el más utilizado para determinar los cambios futuros en el clima con respecto al modelo del clima actual (CCSP 2008).

El modelo de Circulación General (*General Circulation Models*, o GCM) utilizado es el HadCM3, éste con simulaciones numéricas computacionalmente intensivas basadas en ecuaciones de dinámica de fluidos, química y biología intentan explicar y predecir el clima, así como su



cambio en función de las emisiones de gases previstas (Delgado 2008), que es acoplada a la atmósfera-océano y desarrollado por el *Hadley Centre for Climate Prediction and Research* (HadCM3) del Reino Unido, el componente atmosférico que cubre un espacio de $2,5^{\circ}$ latitud $\times$ $3,75^{\circ}$ longitud, lo que representa una grid de 72×96 celdas y una resolución espacial de $\sim 278 \times 417$ km en el ecuador y 278×295 km a 45° de latitud. El componente oceánico del modelo tiene un área de $1,25^{\circ} \times 1,25^{\circ}$ (Pope *et al* 2000; Delgado 2008).

Los escenarios Special Report on Emissions Scenarios (SRES) generados por la agencia IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change son importantes para el análisis del cambio climático a futuro, puesto que abarcan un mundo enfocado a combinaciones de cambios demográficos y de evoluciones sociales y económicas, así como de grandes corrientes de desarrollo tecnológico y ambiental, están conformadas por cuatro familias (A1, A2, B1, B2) (Anexo) (Cuesta *et al* 2009; IPCC 2000), para este estudio la familia elegida fue el A2, sus características son: mayores emisiones de gases de efecto invernadero, describe un mundo muy heterogéneo caracterizado por la autosuficiencia, la conservación de las identidades locales y una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente de forma regional y los cambios tecnológicos están más fragmentados (IPCC, 2000, 2007; Arnell *et al.*, 2004).

Se trabajó con las 19 variables climáticas, (Tabla 1) las mismas que contienen información de las tendencias anuales de las temperaturas y precipitaciones mensuales.

Tabla 1. Significado de las Variables Bioclimáticas.

Código	Descripción
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango medio diurno (Media de la (maxtemp - min temp) mensual)
BIO3	
BIO4	Isotermicidad (BIO2/BIO7) (x 100)
BIO5	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100)
BIO6	
BIO7	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO8	Temperatura mínima del mes más frío
BIO9	Rango anual de temperaturas (BIO5-BIO6)
BIO10	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO11	Temperatura media del trimestre más seco
BIO12	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO13	Temperatura media del trimestre más frío
BIO14	Precipitación anual
BIO15	Precipitación del mes más húmedo
BIO16	Precipitación del mes más seco
BIO17	Estacionalidad de la precipitación (como coeficiente de variación)
BIO18	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO19	Precipitación del trimestre más seco
	Precipitación del trimestre más cálido
	Precipitación del trimestre más frío

Fuente: WorldClim - Global Climate Data



4.4 Modelación y análisis de distribución de especies.

El modelamiento ecológico es una técnica estadística relativamente nueva muy útil en estudios de ecología, evolución, biogeografía, conservación y cambio climático (Araújo & Williams, 2000; Graham *et al.*, 2004; Guisan & Thuiller, 2005; Guisan *et al.*, 2006; Martínez-Meyer, 2005; Thuilleret *al.*, 2005b; Elithet *al.*, 2006; Hijmans & Graham, 2006; Pearson, 2006; Thuilleret *al.*, 2008)

Maxent es una herramienta SIG que realiza un algoritmo de predicciones utilizando solamente datos de ocurrencia y la información ambiental del área de estudio (Phillips *et al.*, 2006). De acuerdo con Maxent, la distribución potencial de una especie deberá tener máxima entropía y es aquella más cercana a la uniforme; es decir, la más cercana a tener iguales probabilidades de ocurrencia a lo largo de toda el área de estudio (Phillips *et al.*, 2006). De esta manera, MaxEnt estima la probabilidad de distribución de acuerdo a la máxima entropía o la más cercana a la uniforme, ya que la entropía según Jaynes (1957) es una medida de la cantidad de opciones que existen en la selección de un evento.

Los insumos que Maxent requiere son: a) localidades de ocurrencia de la especie; b) mapas de variables ambientales; y c) la región geográfica de interés que es el espacio en el cual la distribución está definida (Phillips *et al.* 2004).

Las localidades que no tienen datos de presencia de la especie Maxent las interpreta como datos de fondo o ausencias (Phillips 2008). El resultado de Maxent es una función exponencial que describe la probabilidad de distribución definida sobre una región geográfica basada en la información de los datos utilizados (Phillips 2008), dando como resultado un mapa continuo en un rango de probabilidades que coincide con el nicho fundamental de la especie.

Los resultados del análisis de modelación de distribución de especies se pueden usar para diferentes análisis espaciales combinados, como para evaluar el impacto del cambio climático en la distribución de las especies (Scheldeman y Zonneveld 2011).

Los modelos finales fueron reclasificados en base al umbral de clasificación escogido para obtener el mapa de distribución potencial (presencia/ausencia) de cada especie, donde se representa la presencia de la especie en los hábitats más idóneos según sus preferencias climáticas.

4.5 Modelación del impacto del cambio climático en la distribución de las especies.

El cambio climático global es cada vez más evidente (IPCC 2007). Consecuentemente, las áreas geográficas que corresponden a biomas, ecosistemas y nichos ecológicos de las especies están cambiando, lo que muy probablemente afectará la distribución natural de muchas especies.

La modelación de la distribución de especies se puede usar para generar una evaluación rápida del impacto potencial del cambio climático en la distribución de los ecosistemas y las especies que los habitan. El proceso consiste en detectar cambios en la distribución de especies comparando las áreas de distribución potencial en las condiciones climáticas actuales, es por ese motivo que para



determinar el cambio que existirá entre los años evaluados se utilizará el software DIVA-GIS 7.5.0, con la información generada de presencia y ausencia del software Maxent.

De tal manera que las imágenes raster generadas con la modelación de la distribución potencial de *Polylepis* en los años actual que es una recopilación de las variables climáticas desde el año 1950 al 2000 -2020's que es un análisis de las variables climáticas futuras para los de 2020 a 2029 y actual - 2050's de igual manera es un análisis de las variables futuras para los años 2050 a 2059 que luego de generar los rasters de modelación en formato binario se obtendrán cuatro situaciones posibles en cada celda:

- Áreas de alto impacto*: áreas en las que la especie probablemente ocurra en las condiciones climáticas actuales, pero que dejarán de ser adecuadas en el futuro.
- Áreas por fuera del nicho realizado*: áreas que no son adecuadas, ni con las condiciones actuales ni con las condiciones futuras (de acuerdo con la modelación).
- Áreas de bajo impacto*: áreas en las que la especie probablemente ocurra tanto en las condiciones climáticas actuales, como en las condiciones climáticas futuras.
- Nuevas áreas adecuadas*: áreas en las que una especie *Polylepis* tendría probabilidad es de ocurrencia, pero que no son idóneas para la ocurrencia natural en las condiciones actuales.

Para la determinación de impacto se utilizó DIVA-GIS 7.5.0, donde cada raster binario tiene dos valores: presencia (1) y ausencia (0). Cuando ambos valores se suman o restan, los únicos resultados posibles para las celdas son menos uno (-1), cero (0) y uno (1). Pero hay un problema ya que se requiere un cuarto valor para representar las cuatro situaciones posibles descritas arriba.

La siguiente tabla ilustra el problema: al restar los rasters se obtienen celdas con el mismo valor para la segunda y tercera situaciones (b –áreas por fuera del nicho realizado y c –áreas de bajo impacto), pues ninguna experimenta cambio alguno (de ahí el valor de cero [0] al combinarlas).

Tabla 2. Resta de Rasters .

Situación	Raster áreas de distribución potencial futura (valor de la celda)	Raster áreas de distribución potencial actual (valor de la celda)	Resultado después de restar los rasters (valor de la celda)
a) <i>Áreas de alto impacto</i>	0	1	-1
b) <i>Áreas por fuera del nicho</i>	0	0	0
c) <i>Áreas de bajo impacto</i>	1	1	0
d) <i>Nuevas áreas adecuadas</i>	1	0	1

Para resolver este problema en DIVA-GIS, se realizó un *Reclass* donde se cambió el valor de la celda correspondiente a áreas de distribución potencial de uno (1) a dos (2) en uno de los dos rasters. A continuación se muestra cómo este cambio en el valor de la celda resulta en valores diferentes de celda para las cuatro situaciones.



Tabla 3. Reclass de la resta de Rasters para obtención del impacto del cambio climático en la distribución de las especies.

Situación	Raster áreas de distribución potencial futura (valor de la celda)	Raster áreas de distribución potencial actual (valor de la celda)	Resultado después de restar los rasters (valor de la celda)
e) Áreas de alto impacto	0	1	-1
f) Áreas por fuera del nicho	0	0	0
g) Áreas de bajo impacto	2	1	1
h) Nuevas áreas adecuadas	2	0	2

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Preparación de información.

Los resultados obtenidos en este estudio se resumen en: a) la recolección de la información de *Polylepis* de las bases de datos de herbarios y colecciones de especímenes del museo Global Biodiversity Information Facility (GBIF, <http://www.gbif.org>) y de la base de datos de la Escuela de Biología y Gestión de la Universidad del Azuay, b) la depuración de la información climática obtenida de la base de datos de WorldClim de los años 2020's y 2050's, c) la generación de los modelos predictivos de la distribución potencial de estas dos series de años, d) análisis raster de las dos imágenes para la determinación de las áreas de impacto por el Cambio Climático y e) la determinación de áreas potenciales para la conservación.

La selección del género *Polylepis* para la investigación se debe a la importancia de estos bosques de altura, ubicados en los páramos del Ecuador y Sudamérica; ya sea por ser hábitat exclusivo de varias especies de aves, mamíferos, anfibios, reptiles e insectos, además que algunas de sus especies se encuentran dentro de alguna categoría de amenaza, el cambio de uso de suelo que esta especie a tolerado durante años ha dado como resultado un cambio en su estructura y distribución en el espacio.

Luego de la investigación y depuración de la base de datos de *Polylepis* se llegó a obtener 134 ocurrencias dentro de la cuenca del Río Paute (Anexo). No existe un estándar para la cantidad mínima de puntos requerida, pues generalmente esto se relaciona con la naturaleza de la especie. Para las especies raras o especies con nichos estrechos, puede haber pocos puntos de presencia. Sin embargo, en estos casos, aún una pequeña cantidad de puntos puede ser altamente representativa del nicho (Scheldeman X. y Zonneveld M. 2011).

Es por ese motivo que no se pueden establecer o indicar cuál es la cantidad exacta sobre la cantidad mínima de puntos de presencia necesaria para hacer modelaciones confiables de la distribución de las especies.



Los registros u ocurrencias obtenidas fueron georeferenciados en el Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum WGS84, Meridiano Principal de Greenwich, Unidad Angular Grados Decimales; ya que todos los programas SIG utilizados trabajan en este formato (ESRI 2006).

5.2 Análisis de distribución actual de *Polylepis* sp.

Luego del análisis de *Polylepis* con su distribución actual más las ocurrencias obtenidas se observó que esta especie se encuentra distribuida hacia el Oeste de la Cuenca del Río Paute, esta información se corrobora con lo investigado en las diferentes bases de datos. Los modelos usados para proyectar la distribución actual de las especies, reflejan su credibilidad en función de las variables explicativas utilizadas, además que estos modelos permiten conocer ciertos patrones generales de distribución (Aguirre C. y Chamba C. 2010).

La distribución actual de *Polylepis* tiene un patrón norte-sur se observó que el área de distribución potencial actual de tiene un área 38720 ha (Tabla 2), y en relación al área total de la cuenca (644200 ha) equivale al 6.01% siendo exclusivo este género de la parte alta de la cuenca del Río Paute, debido que en ninguna base de datos investigada se logró encontrar registros de Bosques de *Polylepis* (Figura 3).

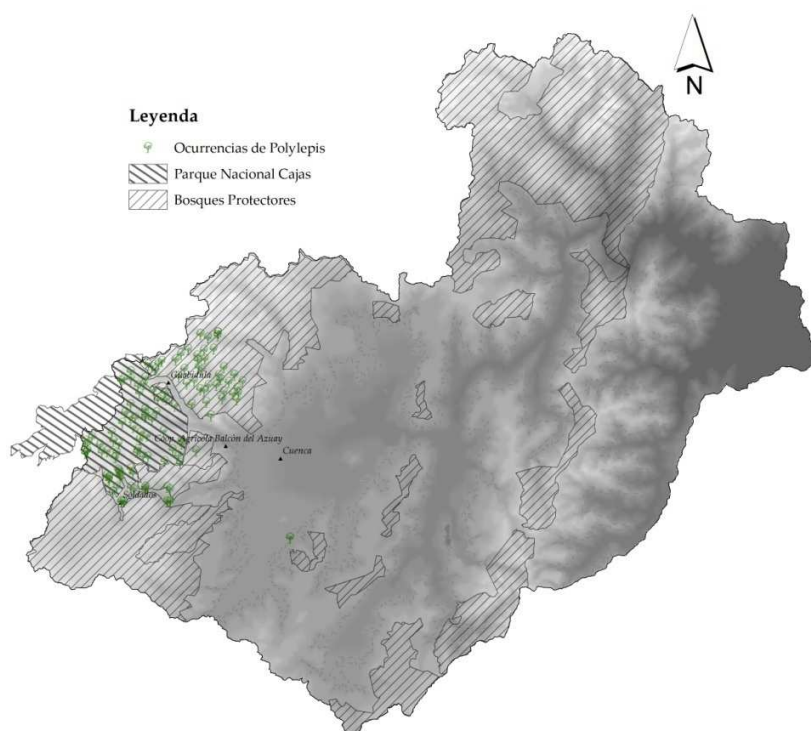


Figura 2. Ocurrencia de los Bosques de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute.

Se observa en la figura 2 que los parches o bosques de *Polylepis* se encuentran distribuidos en su mayoría en las Áreas Protegidas (Parque Nacional Cajas - PNC) y Bosque Protector (Irquis



Yanucay), mientras que en el Este de la cuenca es menos o casi nula la ocurrencia de *Polylepis*; ésto se debe a que si bien existen Áreas Protegidas y Bosques Protectores en esa zona el impacto antrópica ha sido más agresivo, por la presencia de centros poblados, mientras que en la zona Oeste de la cuenca sucede lo contrario, no existe poblaciones dentro de las Áreas Protegidas como es el PNC y por ende el impacto que sufre este género es menor.

5.3 Análisis de distribución en los años 2020's y 2050's de *Polylepis* sp.

Luego del análisis de modelación basado en el escenario HadCM3-A2se determinó que la distribución potencial de *Polylepis* para los años 2020's es de 44100 ha que equivale al 6.85% del área de la cuenca, observándose un aumento del 12% del área actual. No se puede hacer ninguna proyección realista sobre el estado futuro de los ecosistemas de la Tierra sin tener en cuenta las pautas de uso de los suelos y de agua por parte del hombre en el pasado, presente y en el futuro. Dicho uso humano pondrá en peligro algunos ecosistemas terrestres y acuáticos o mejorará la supervivencia de otros (IPCC 2002). Si bien algunas especies como *Polylepis* al ser árboles grandes y probablemente más tolerantes al cambio climático, pero algunos organismos más pequeños que habiten estos ecosistemas podrían sufrir para adaptarse al cambio climático. La familia de líneas evolutivas y escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante, así como los cambios tecnológicos están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas (IPCC 2000).

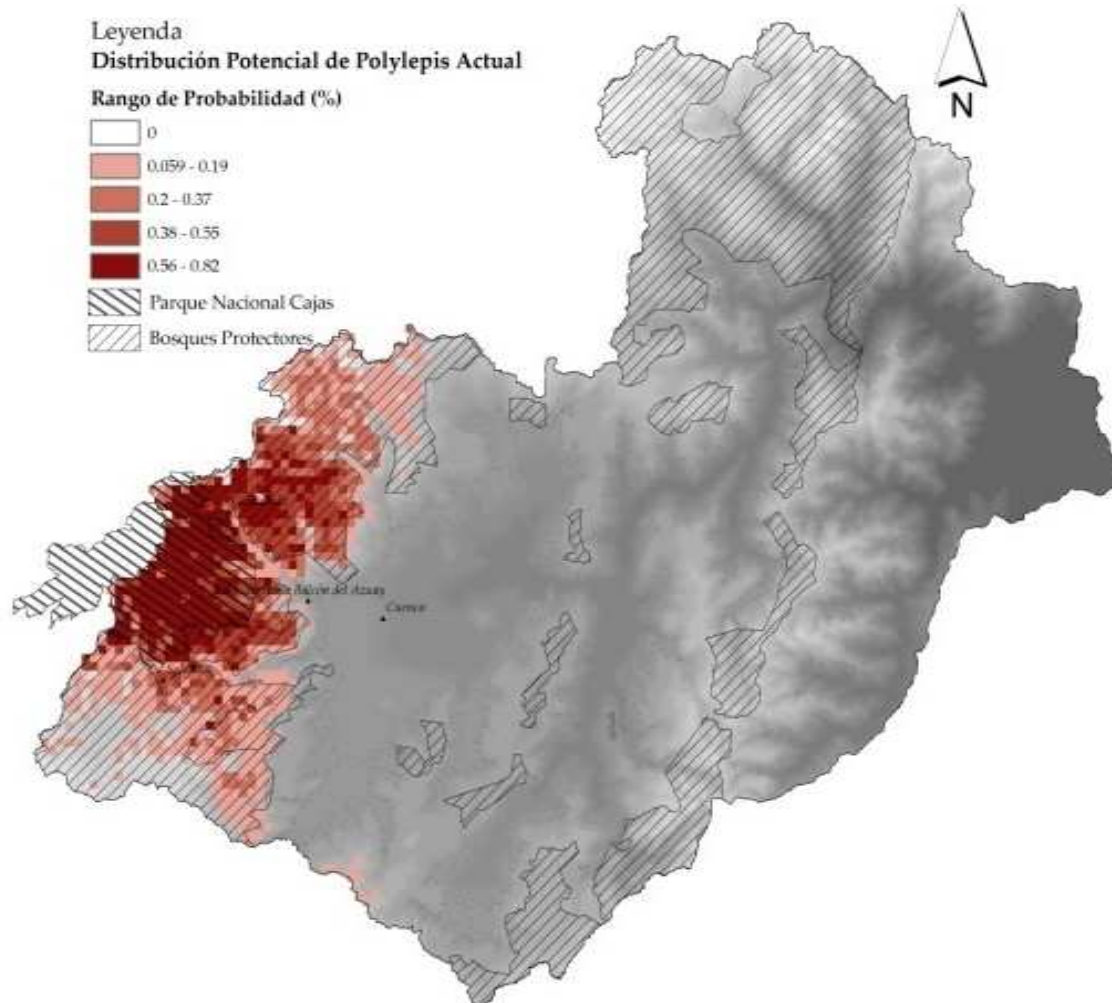
Por último la distribución potencial de *Polylepis* para los años 2050's es de 42910 ha, que en comparación con los años 2020's existe una disminución del 3% del área en un lapso 30 años (Figura 3). Los rápidos cambios climáticos que se han registrado durante los últimos 30 años a nivel mundial han provocado numerosas transformaciones en la distribución y abundancia de las especies, causando ya alteraciones en gran variedad de ecosistemas (Chapin *et al.* 2000; Walther *et al.*, 2002; Parmesan & Yohe, 2003; Root *et al.*, 2003). En los modelos propuestos de escenarios de cambio global para el Ecuador se estima que el cambio climático podría causar importantes modificaciones a los actuales ecosistemas (Cuesta- Camacho *et al.* 2006; Delgado 2008). Por ejemplo las especies vegetales van a aumentar o disminuir su área de distribución potencial en distinta proporción, provocando diferentes respuestas como: desplazamientos, adaptación y/o extinción (Delgado 2008).



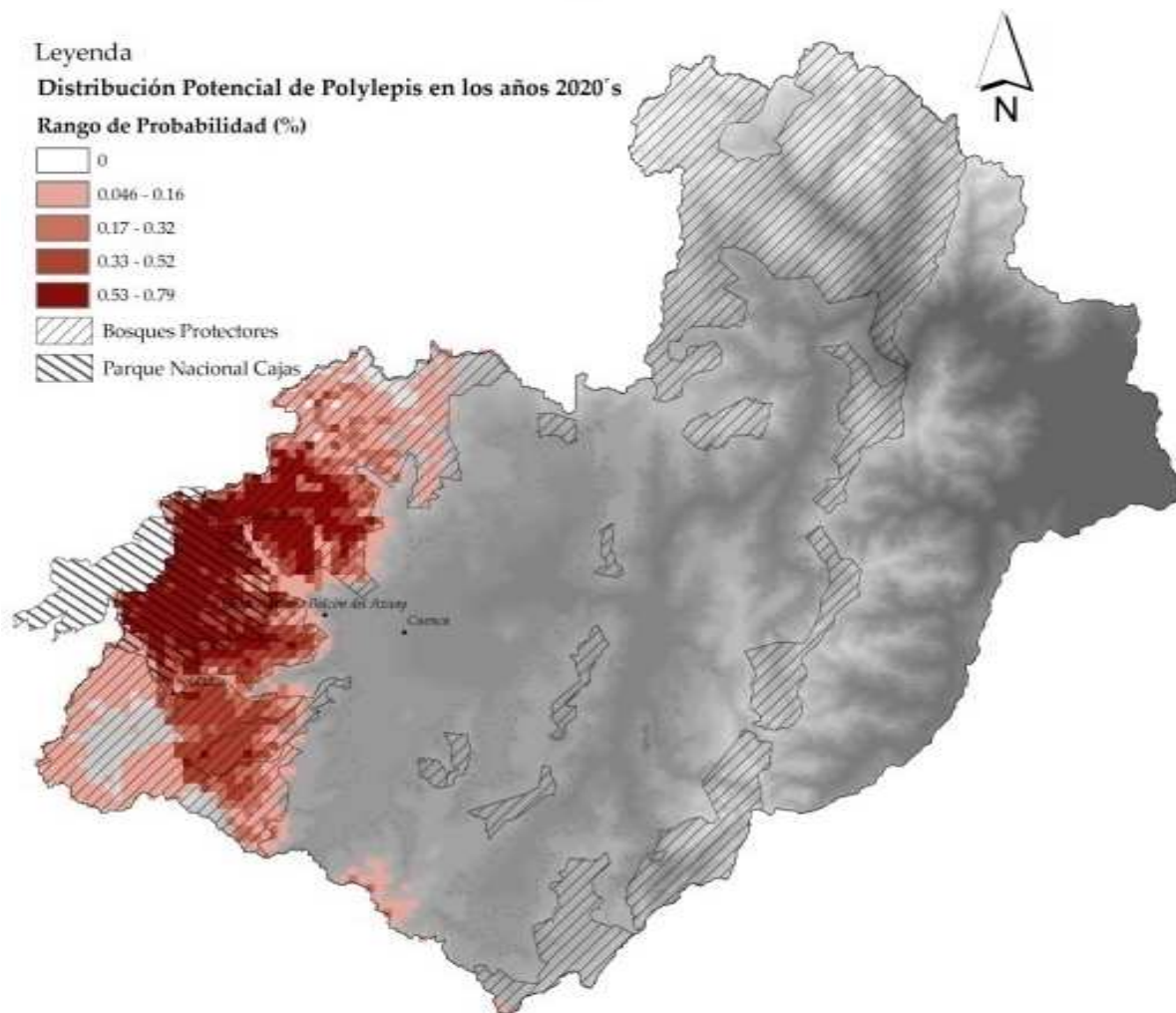
Tabla 4. Áreas en hectáreas y porcentajes en relación a la cuenca del Río Paute de los escenarios modelados actual y futuro.

Escenario	Hectáreas	* Porcentaje
Actual (1950-2000)	38720	6.01%
2020's	44100	6.85%
2050's	42910	6.66%

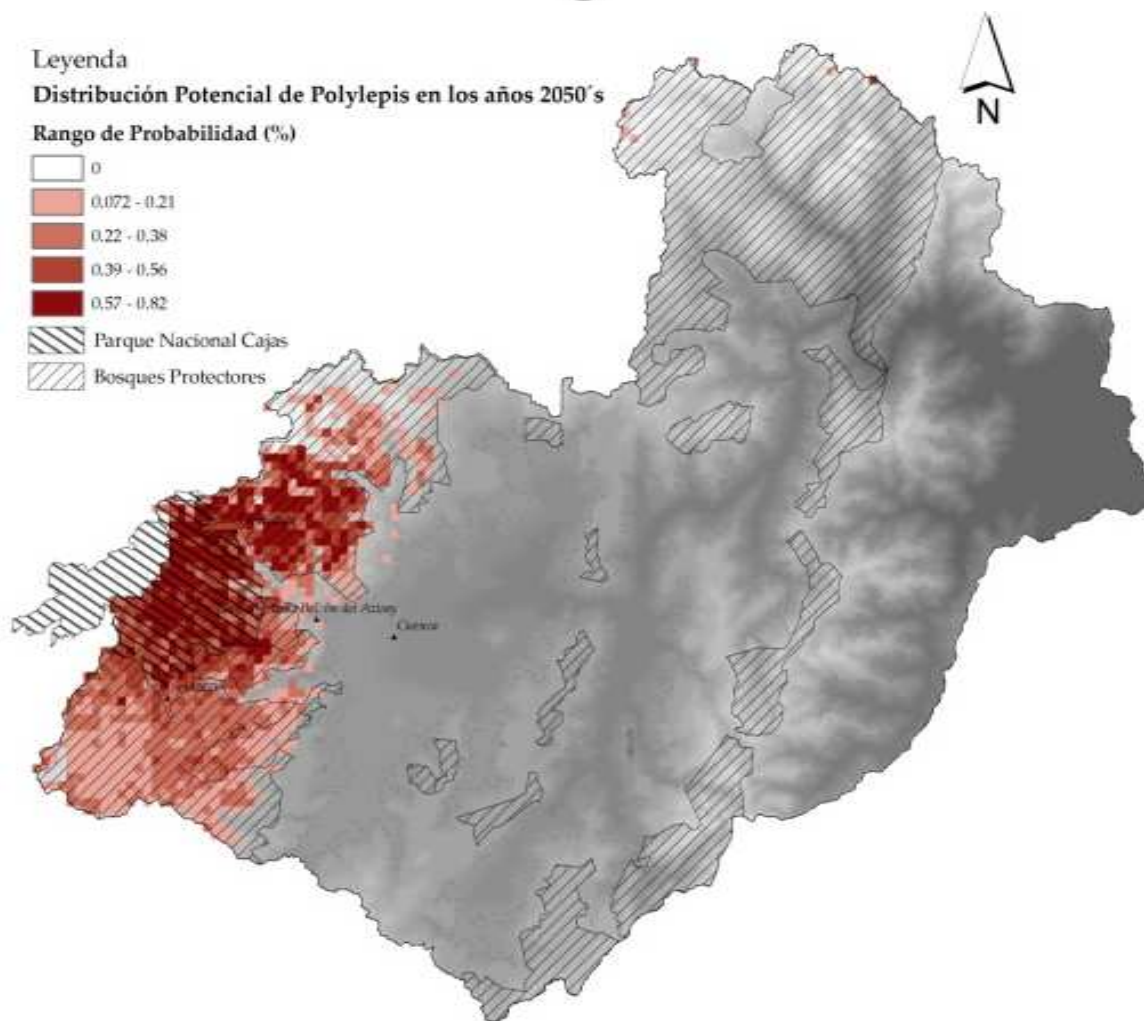
**En relación al área total de la cuenca del Río Paute*



a) *Distribución Actual*



b) Distribución 2020's



c) Distribución 2050's

Figura 3. Modelación de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute: a) Distribución Potencial Actual de *Polylepis*, b) Distribución Potencial de *Polylepis* en los años 2020's bajo el escenario de cambio climático HadCM3-A2 y c) Distribución Potencial de *Polylepis* en los años 2050's bajo el escenario de cambio climático HadCM3-A2.

Según Thomas *et al.* (2004) un cambio climático mínimo produciría la extinción del 18% de las especies conocidas, mientras que un cambio máximo del 35% de especies. De acuerdo al IV Informe del IPCC, aproximadamente del 20 a 30% de las especies de plantas y animales posiblemente se encontrarán en un aumento de peligro de extinción si la temperatura global media se excede en 1.5 - 2.5° C (IPCC, 2007). Estas proyecciones son preocupantes especialmente en áreas que se caracterizan por poseer una alta riqueza de biodiversidad, con alto índice poblacional y elevadas tasas de destrucción de hábitats naturales como es el caso de los Andes Tropicales.



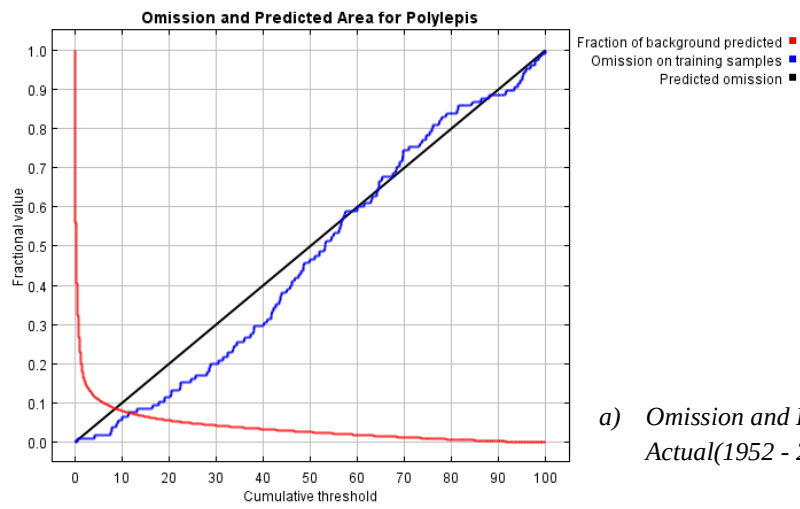
Predecir los cambios de adaptación de las especies, en respuesta al cambio climático presenta un enorme desafío para los modelistas de vegetación ya que hasta la fecha han sido contabilizadas las modelizaciones bioclimática para la flora. Por tanto, es evidente que las aplicaciones bioclimáticas sobre los modelos de distribución para predecir cambios durante el próximo siglo son más apropiadas para las especies que no se espera que sean capaces de experimentar un cambio evolutivo rápido durante este lapso de tiempo (Pearson y Dawson 2003).

5.4 Evaluación de los Parámetros utilizados para el Modelamiento de *Polylepis* Actual y Futura bajo el escenario de cambio climático HadCM3-A2.

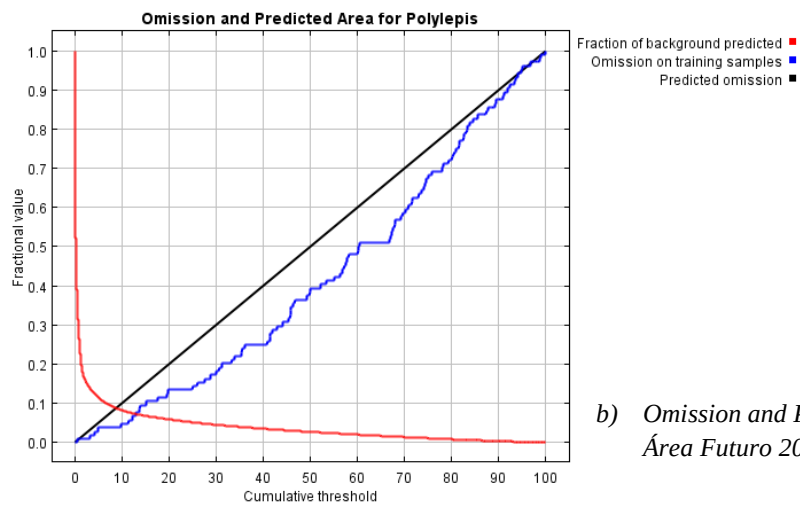
Para comprobar que las ocurrencias de *Polylepis* utilizadas en el modelamiento de distribución actual y futuro de estudio fueron las necesarias, se evaluó esta información y a su vez se corroboró la fortaleza del modelo.

A partir de la generación de los modelos de distribución actual y futura como primer paso se analizó el rendimiento del modelo *Omission and PredictedArea* (Figura 4), el cual se describe de la siguiente manera (Scheldeman X. y Zonneveld M. 2011):

- *Omission on training samples* (línea azul) muestra las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial con base en el modelo de Maxent (*Fraction value*) por los valores del umbral de probabilidad (de bajo a alto) que limita el área predicha. (*Cumulative threshold*). *Training samples* (muestras de entrenamiento) se usa como sinónimo de “puntos de presencia”.
- *Fraction of background predicted* (línea roja) muestra las fracciones de los puntos de fondo (aleatorios) del área de estudio incluidos en el área predicha, usando diferentes umbrales acumulativos (*Cumulative thresholds*).
- *Predicted omission* (línea negra) es una línea de referencia.



a) *Omission and Predicted Área Actual(1952 - 2000)*



b) *Omission and Predicted Área Futuro 2020's*

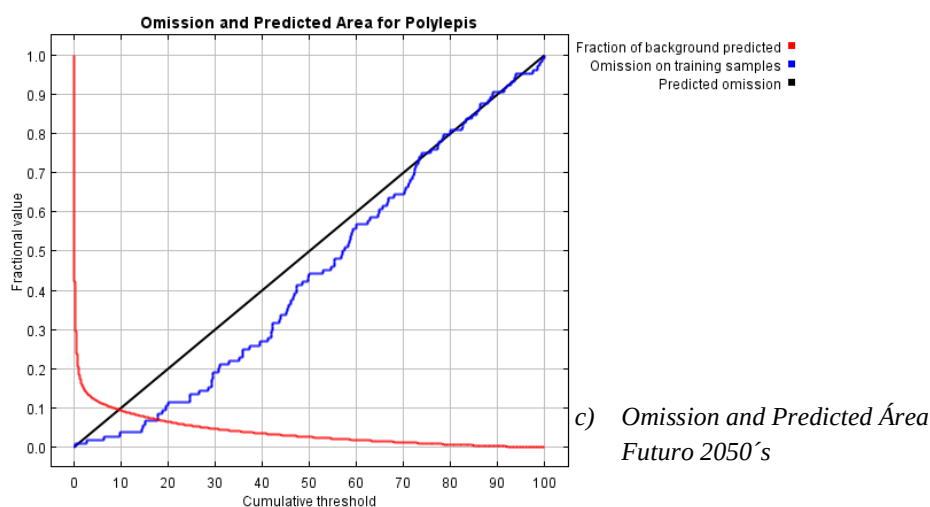
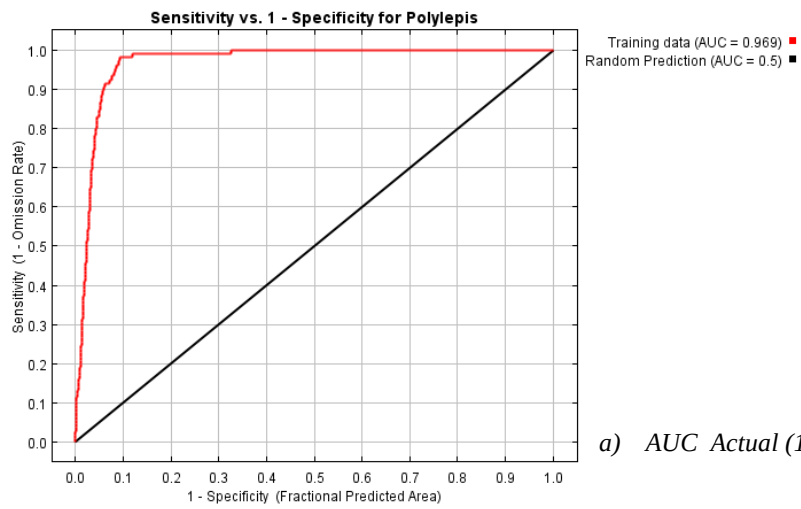


Figura 4. Análisis del rendimiento del modelo *Omission and Predicted Area* de los modelos de distribución actual y futuro de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute, a) *Omission and Predicted Area* actual, b) *Omission and Predicted Area* futuro 2020's y c) *Omission and Predicted Area* futuro 2050's.

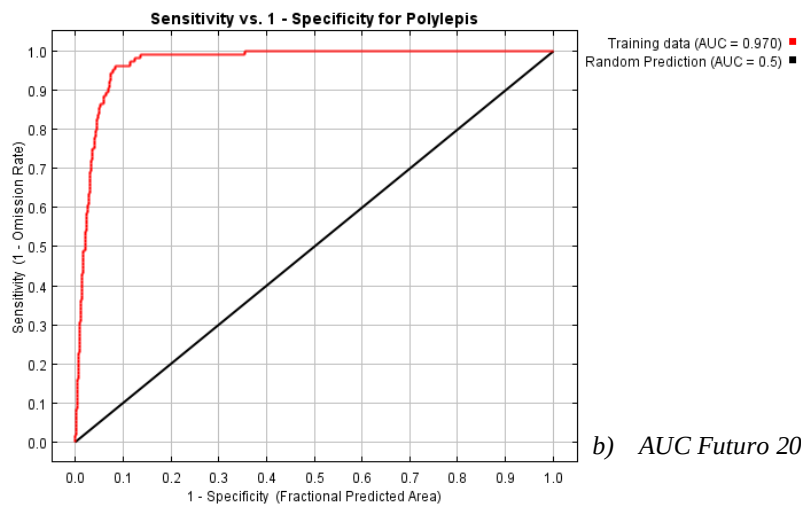
Luego de observar la figura 4 se de *Omission and Predicted Área* actual y futuras, da como resultado que la línea azul (*Omission on training samples*) está junto a la línea negra por lo tanto se considera que las ocurrencias son independientes entre cada una de ellas. Si la línea azul (*Omission on training samples*) aparece bien abajo de la línea de referencia (*Predicted omission*), es posible que el modelo se haya sobre ajustado (*overfitting*) esto se debe a la dependencia entre los puntos (Phillips 2009).

El análisis de Área por Debajo de la Curva (AUC, de su nombre en inglés) de la curva de Característica Operativa Relativa (ROC, de su nombre en inglés) es de los parámetros más utilizados para evaluar la capacidad de predecir de los modelos generados por Maxent (Scheldeman X. y Zonneveld M. 2011) (Figura 5).

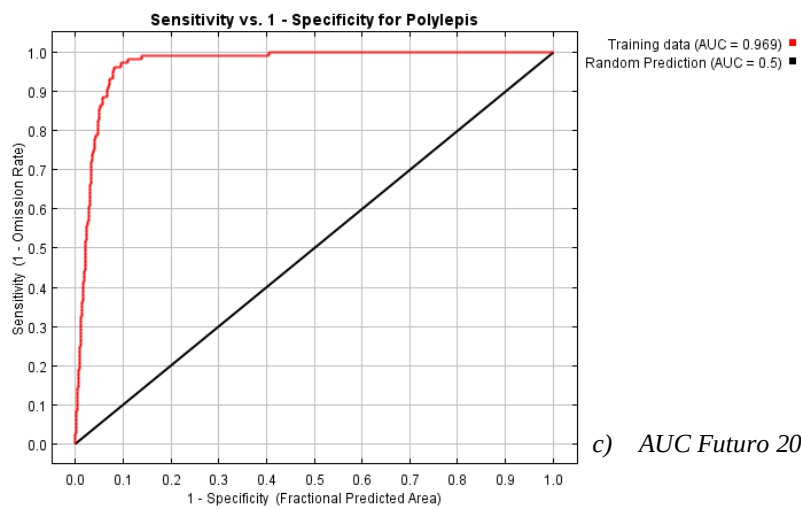
La fracción del área predicha (*Fractional predicted area*) en el eje X se refiere a la fracción del área total de estudio donde se está modelando la especie, mientras que la sensibilidad (*Sensitivity*) en el eje Y se refiere a la proporción de puntos de presencia dentro del área de ocurrencia predicha en relación con el número total de puntos de presencia (Phillips 2009).



a) AUC Actual (1952 - 2000)



b) AUC Futuro 2020's



c) AUC Futuro 2050's



Figura 5. Análisis AUC de los modelos de distribución actual y futuro de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute, a) AUC=0.969 del modelo actual, b) AUC=0.970 del modelo futuro 2020's y c) AUC=0.969 del modelo futuro 2050's.

Como resultado tenemos que AUC en el modelo actual es 0.969, para el modelo futuro 2020's es 0.970 y finalmente para el modelo futuro 2050's es igual a 0.969, esto quiere decir que el modelos se encuentran bien generados, puesto que Araújo *et al.* (2005) recomiendan la siguiente interpretación del AUC para los modelos generados: Excelente si el $AUC > 0.90$; Buena si $0.80 > AUC < 0.90$; Aceptable si $0.70 > AUC < 0.80$; Mala si $0.60 > AUC < 0.70$; No válida si $0.50 > AUC < 0.60$.

Por lo tanto, el AUC de los modelos tienen la mayor probabilidad de que un punto de presencia seleccionado aleatoriamente esté ubicado en una celda del raster con un alto valor de probabilidad para la presencia de la especie que un punto generado aleatoriamente esto según Phillips *et al.* (2006) y Fawcett (2006).

Además se trabajó con un análisis del umbral con *10 percentile training presence*: que es el valor de probabilidad en el que el 90% de los puntos de presencia estarán dentro del área potencial. El 10% restante de los puntos que caen por fuera del área potencial son aquellos con un ambiente atípico, no incluido dentro de los límites del nicho realizado, dando como resultado una mayor solidez al modelo.

Además se evaluó las Variables Bioclimáticas para saber cuál de éstas es la que aporta con mayor información a los modelos, por lo tanto y con lo antes expuesto se observa que las variables con mayor aporte en orden de importancia son (Anexo 6-8): BIO9 *Temperatura media del trimestre más seco*, BIO 3 *Isotermicidad (BIO2/BIO7) ($\times 100$)*, BIO 16 *Precipitación del trimestre más húmedo*, BIO 7 *Rango anual de temperaturas (BIO5-BIO6)*, BIO 11 *Temperatura media del trimestre más frío*, BIO 19 *Precipitación del trimestre más frío*, BIO 14 *Precipitación del mes más seco*, BIO 4 *Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$)*, BIO 17 *Precipitación del trimestre más seco*, BIO 12 *Precipitación anual*, BIO 8 *Temperatura media del trimestre más húmedo*, BIO 2 *Rango medio diurno (Media de la (maxtemp - min temp) mensual)*, BIO 5 *Temperatura máxima del mes más cálido*, BIO 15 *Estacionalidad de la precipitación (como coeficiente de variación)*, BIO 10 *Temperatura media del trimestre más cálido*, BIO 6 *Temperatura mínima del mes más frío*, BIO 18 *Precipitación del trimestre más cálido* y BIO 13 *Precipitación del mes más húmedo*. Por eso es importante analizar las variables a utilizar en los modelos, tomando en cuenta siempre, que cada grupo o taxón característico propio y que las variables bioclimáticas pueden ser únicas incluso para cada especie (Santillan 2013).

5.5 Análisis del impacto del cambio climático en la distribución de *Polylepis*.

Luego de evaluar el impacto del cambio climático sobre *Polylepis* entre el clima actual y futuro, se observó que este género tiene alta probabilidad de un impacto bajo, puesto que luego del análisis entre el escenario actual y futuro (2020's), se obtuvo que este impacto cubre la mayor área (Tabla 3), indicando que *Polylepis* probablemente en los años 2020's se mantenga en los



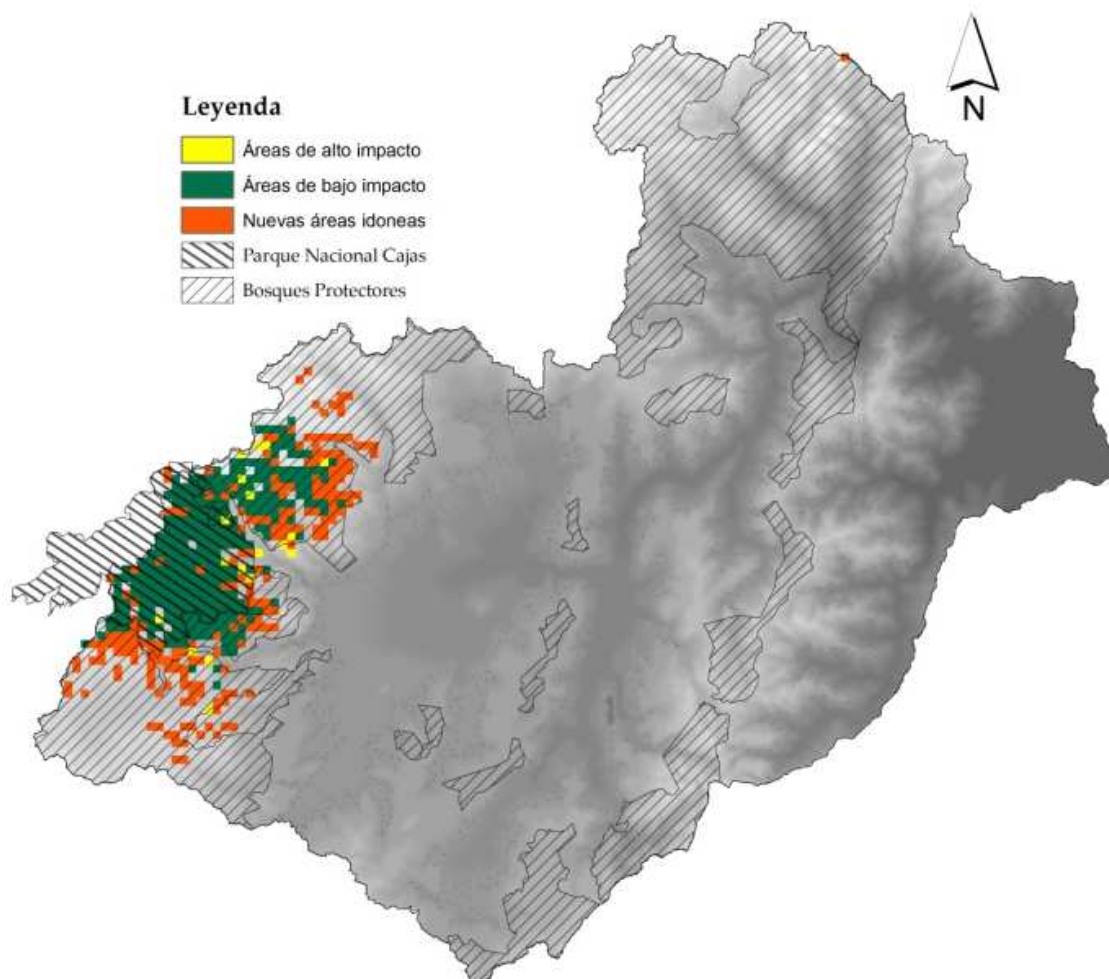
misimos sitios pero con un rango de distribución menor (Figura 6), mientras que las áreas de alto impacto es menor porque la especie probablemente ocurra en las condiciones climáticas actuales pero dejará de ser adecuadas en el futuro, esto quiere decir que las condiciones climáticas para *Polylepis* no serían limitantes para su distribución, pero la fragmentación de los bosques por actividades antrópicas impacta negativamente a las poblaciones ocasionando una reducción de la variación genética y un incremento de las distancias genéticas entre poblaciones, conduciéndolas a un aislamiento geográfico y genético de una a otra población (Culley *et al.* 2007).

Mientras que en comparación del modelo actual y 2050's la tendencia de la distribución de los impactos es la misma variando en el tamaño de sus áreas como lo indica la tabla 3, así mismo en los dos modelos de impacto se puede determinar que las *Nuevas áreas idóneas*, ocupan un segundo lugar en tamaño, interpretándose que *Polylepis* tendría probabilidades de ocurrir en estas áreas en el futuro, pero que no son idóneas para la ocurrencia natural en las condiciones actuales (Scheldeman. y Zonneveld. 2011).

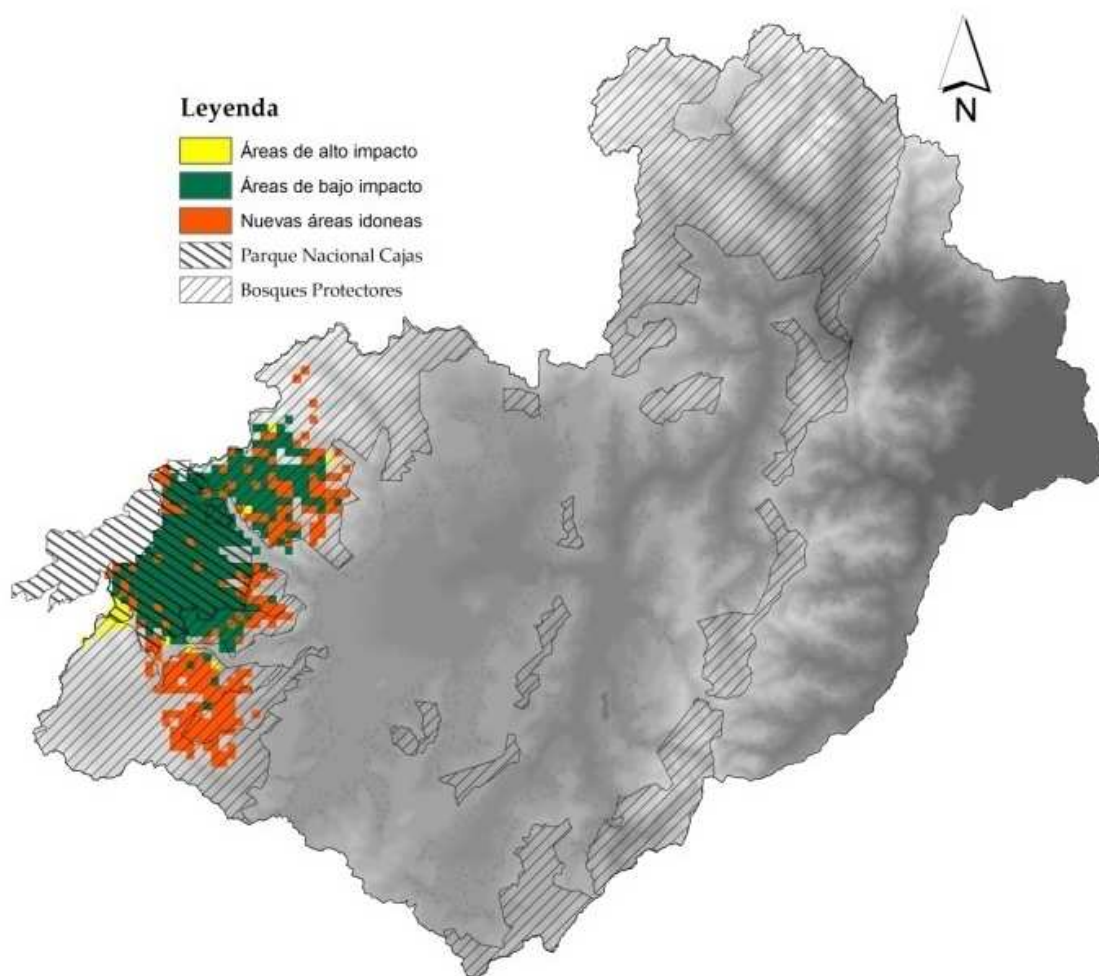
Si bien en ambos casos los impactos producidos por el cambio climático en el futuro son de importancia por la pérdida de hábitat que esta tendría cabe indicar que lamentablemente, los bosques de *Polylepis* se están perdiendo debido a actividades antropogénicas, esto sucede porque los campesinos no comprenden el valor indirecto de estos bosques. Los habitantes de las zonas andinas utilizan la madera de *Polylepis* para la elaboración de carbón y como postes para cercas (Ochoa V., Proaño K. y Segovia C. 2010).

Tabla 5. Áreas de Impacto por el Cambio Climático.

Descripción	Área (ha) 2020's	Área (ha) 2050's
Áreas de Bajo Impacto	26260	26180
Nuevas Áreas Idóneas	17050	15940
Áreas de Alto Impacto	1452	1391
Áreas de Probabilidad Nula	599100	600500



a) Impacto del CC entre Actual – 2020's



b) Impacto del CC entre Actual – 2050's

Figura 6. Impacto del cambio climático en la distribución de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute, a) Probabilidad que *Polylepis* ocurra en los años 2020's y b) Probabilidad que *Polylepis* ocurra en los años 2050's con relación al clima actual.

La adaptación genética de las especies rara vez se considera en la literatura sobre todo en los efectos bióticos que producirá el futuro cambio climático. Se espera que el cambio evolutivo se produzca sólo en escalas de tiempo largas y que el rango de tolerancia de una especie siga siendo el mismo, ya que cambiaría su gama geográfica. Sin embargo, los estudios han demostrado que los cambios de rango inducidos por el clima pueden implicar no sólo la migración en áreas recién adecuadas, sino también la selección contra fenotipos que son dispersores pobres o estarían adaptadas a las condiciones locales (Davis y Shaw, 2001).



6. CONCLUSIONES

A pesar de haber tenido 134 ocurrencias en la cuenca del Río Paute la probabilidad de que este género este en otras partes del área de estudio es casi nula, porque las condiciones climáticas que necesita para desarrollarse solo son aptas en la parte alta de la cuenca Paute.

Luego de generar los modelos potenciales de *Polylepis* a partir de un escenario actual y escenarios futuros, se evidencia que no hay una pérdida de área en la distribución de *Polylepis*, sino más bien hay un incremento en el tamaño de la distribución, esto se debe a que la información utilizada para generar el clima actual es una recopilación de climatología histórica del año 1950 hasta el 2000; es ahí donde este es un factor que puede ocasionar el error y también, que al momento de generar estos datos la influencia antrópica en estos sitios era más fuerte. Cabe indicar que este tipo de modelamiento con la especie *Polylepis* no se lo ha realizado antes debido a la complejidad de factores que pueden intervenir en su distribución, como lo indican varios investigadores la complejidad de las especies de lento crecimiento según este modelo en un futuro no se vean tan amenazadas por el cambio climático.

Mientras que a partir de los años 2020's y 2050's, se evidencia que si existe un cambio significativo en el área y forma de distribución de *Polylepis* en la Cuenca del Río Paute esto se deberá a que habrá trimestres secos y la isothermicidad en los páramos serán más fuertes es por eso que estos hábitats se distribuirán en menor tamaño.

En conclusión, al momento de generar la modelación de los impactos que causaría el cambio climático en estos bosques se evidenció que áreas consideradas debajo impacto es donde la especie probablemente ocurra, tanto en las condiciones climáticas actuales como en las condiciones climáticas futuras, esto nos demuestra que *Polylepis* en teoría no se verá muy afectado por el cambio climático y como lo explican algunos investigadores que la fragmentación inducida por el hombre es la que impacta negativamente a las poblaciones de plantas al ocasionar una reducción de la variación genética.

Independientemente del cambio climático, se espera que la biodiversidad disminuya en el futuro debido a presiones múltiples, en particular al aumento del uso intenso de los suelos y la destrucción asociada de hábitats naturales o seminaturales, además de la introducción de especies exóticas en espacios naturales.

Dentro de la modelación del impacto del cambio climático se obtuvo como resultado unas zonas que se las denomina nuevas áreas idóneas, las mismas que cubren áreas importantes en los escenarios climáticos futuros, puesto que estas son áreas en las que *Polylepis* tendría probabilidades de ocurrir en el futuro, pero que no son idóneas para la ocurrencia natural en las condiciones actuales, además existirán zonas donde *Polylepis* no tendrá las condiciones adecuadas para su presencia como son las áreas de alto impacto; si bien no son de superficie extensa, esto no



quiere decir que estos sitios dejan de ser importantes para su investigación, de ahí la importancia de que estos sitios se los considere como potenciales para la conservación debido al impacto que éstas soportarían en un futuro no solo *Polylepis* sino todas las especies que habitan estos ecosistemas.

Si bien se ha generado modelos de predicción tanto actuales como futuros, es importante mencionar que se debería trabajar a la par con el resto de especies que habitan estos ecosistemas, porque como se indica en los resultados estas bosques albergan a muchas especies de animales y plantas que influyen mucho en la distribución de estos bosques.

Los modelos SIG que ayudan a la predicción de nuevas áreas de distribución de especies, son buenas herramientas para la conservación que se deberían trabajar de manera técnico-científica para así establecer áreas prioritarias de conservación y de fuentes hídricas las cuales podrían ayudar como uno de los criterios para la delimitación de áreas protegidas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUCHER, E., & SCHOFIELD, C. 1981. Economic assault on chagas disease. *New Scientist* 81: 321-32

BIODIVERSITY OCCURRENCE DATA PUBLISHED. 2012. Field Museum of Natural History, Museum of Vertebrate Zoology, University of Washington Burke Museum, and University of Turku (Accessed through GBIFData Portal, data.gbif.org, 2012-08-29)

CÁCERES L. 2007. Segunda comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Coordinador Nacional del Proyecto GEF/PNUD/MAE. Coordinado por EcoCiencia, Ediciones AbyaYala. Quito, Ecuador.

CCSP, 2008: Climate Models: An Assessment of Strengths and Limitations. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research [Bader D.C., C. Covey, W.J. Gutowski Jr., I.M. Held, K.E. Kunkel, R.L. Miller, R.T. Tokmakian and M.H. Zhang (Authors)]. Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, D.C., USA, 124 pp.

CUESTA F., PERALVO M. Y N. VALAREZO. 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., PERALVO M. Y N. VALAREZO. 2009. Posibles efectos del calentamiento global sobre el nicho climático de algunas especies en los andes tropicales.



- CULLEY, T., SBITA, S., & WICK, A. 2007. Population genetic effects of urban habitat fragmentation in the Perennial Herb *Viola pubescens* (Violaceae) using ISSR markers. *Annals of Botany* 27: 83-93
- DAVIS, M.B. Y R.G. SHAW, 2001: Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change [Review]. *Science*, 292, 673–679.
- DELGADO C., T. 2008. Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio global. Universidad Complutense de Madrid facultad de ciencias biológicas departamento de biología vegetal I. Madrid, España.
- EASTMAN RONALD J. 2006. IDRISI Andes Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes, Manual versión 15.00. Clark Labs, Clark University, 950 Main Street, Worcester, MA, 01610-1477 USA. Idrisi Production ©1987-2006. Clark University.
- FAWCETT T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters* 27: 861– 874.
- GARCÍA J., CÁRDENAS R., SIMÓN M. 2004. Aplicación de un sistema de evaluación multicriterio a la conservación de la fauna silvestre mediante un SIG. *Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica*. Editado por Grupo de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección (Asociación de Geógrafos Españoles) y departamento de Geografía, Universidad de Murcia.
- IPCC. 2000. Informe especial del IPCC. Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de políticas. Grupo de Trabajo III.
- IPCC. 2002. Cambio Climático y Biodiversidad. Documento técnico V. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- ITURRALDE-PÓLIT P. 2010. Evaluación del posible impacto del Cambio Climático en el área de distribución de especies de mamíferos del Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.
- HIJMAN, R.J., S.E. CAMERON, J.L. PARRA, P.G. JONES AND A. JARVIS, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. [International Journal of Climatology](#) 25: 1965-1978.
- KESSLER, M. 1995. The genus *Polylepis* (Rosaceae) in Bolivia. *Candollea* 50: 131-171.
- KESSLER, M., & HERZOG, S. 1998. Conservation status in Bolivia of timberline habitats, elfin forest and their birds. *Cotinga* 10: 50-54.
- OCHOA V., PROAÑO K. Y SEGOVIA C. 2010. Genética poblacional de *Polylepis* en los páramos del norte del Ecuador mediante ISSRs. Carrera de Ing. En Biotecnología, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador, Universidad de Florida, Gainesville, USA.
- PEARSON R. Y DAWSON T. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. Environmental Change Institute, School of



Geography and the Environment, University of Oxford, 1 A Mansfield Road, Oxford OX1 3SZ, U.K.

PHILLIPS, J. S., ANDERSON, P. R. Y SCHAPIRE, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190: 231–259.

REPÚBLICA DEL ECUADOR. MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2012. Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025

SANTILLAN V. 2013. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la Elaboración de Modelos Zoogeográficos: un Estudio de Caso. Universidad del Azuay. Cuenca.

SCHELDEMAN, X. Y ZONNEVELD M. 2011. Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas. Bioversity International, Roma, Italia. 186 pp.

VÁSQUEZ, A., BUITRAGO, A. C. 2011. El gran libro de los páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Proyecto Páramo Andino. Bogotá, D. C. Colombia. 208 pp.

8. ANEXOS

8.1 Anexo 1. Tabla de Familias de los Escenarios Climáticos Futuros.

Familias de los Escenarios Climáticos Futuros
A1: Emisiones Media-Alta. Rápido crecimiento económico regional con la introducción de tecnologías nuevas y eficientes. Existe un balance entre el uso de fuentes de energía fósil y no fósil.
A2: sus características son: mayores emisiones de gases de efecto invernadero, describe un mundo muy heterogéneo caracterizado por la autosuficiencia, la conservación de las identidades locales y una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente de forma regional y los cambios tecnológicos están más fragmentados
B1: Emisiones Media-Baja. Misma población global que en A2 y cambio en las estructuras económicas. Uso de fuentes de energía eficientes y soluciones globales hacia la economía, la sociedad y el ambiente sustentable.
B2: Emisiones bajas. Soluciones locales para la economía, la sociedad y el ambiente sustentable. Está orientado hacia la protección ambiental y la igualdad social que se enfoca en niveles locales y regionales.

Fuente: Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2007



8.2 Anexo 2. Tabla de Ocurrencias con la fuente de la base de datos.

No. Registro	Genero	Longitud	Latitud	Base de Datos UDA	Base de Datos GBIF
1	Polylepis	-79	-3		X
2	Polylepis	-79	-3		X
3	Polylepis	-79	-3		X
4	Polylepis	-79.233	-2.95		X
5	Polylepis	-79.233	-2.95		X
6	Polylepis	-79.233	-2.95		X
7	Polylepis	-79.23	-2.95		X
8	Polylepis	-79.23	-2.95		X
9	Polylepis	-79.23	-2.95		X
10	Polylepis	-79.17	-2.95		X
11	Polylepis	-79.17	-2.95		X
12	Polylepis	-79.17	-2.95		X
13	Polylepis	-79.166	-2.95		X
14	Polylepis	-79.166	-2.95		X
15	Polylepis	-79.166	-2.95		X
16	Polylepis	-79.216	-2.933		X
17	Polylepis	-79.2	-2.933		X
18	Polylepis	-79.2	-2.933		X
19	Polylepis	-79.166	-2.933		X
20	Polylepis	-79.22	-2.93		X
21	Polylepis	-79.2	-2.93		X
22	Polylepis	-79.2	-2.93		X
23	Polylepis	-79.17	-2.93		X



No. Registro	Genero	Longitud	Latitud	Base de Datos UDA	Base de Datos GBIF
24	Polylepis	-79.25	-2.92		X
25	Polylepis	-79.25	-2.9166667		X
26	Polylepis	-79.25	-2.916		X
27	Polylepis	-79.283	-2.883		X
28	Polylepis	-79.283	-2.883		X
29	Polylepis	-79.283	-2.883		X
30	Polylepis	-79.28	-2.88		X
31	Polylepis	-79.28	-2.88		X
32	Polylepis	-79.28	-2.88		X
33	Polylepis	-79.13	-2.88		X
34	Polylepis	-79.28	-2.87		X
35	Polylepis	-79.15	-2.87		X
36	Polylepis	-79.283	-2.866		X
37	Polylepis	-79.15	-2.866		X
38	Polylepis	-79.2	-2.833		X
39	Polylepis	-79.2	-2.83		X
40	Polylepis	-79.21	-2.79		X
41	Polylepis	-79.233	-2.783		X
42	Polylepis	-79.23	-2.78		X
43	Polylepis	-79.22	-2.78		X
44	Polylepis	-79.22	-2.77		X
45	Polylepis	-79.1	-2.72		X
46	Polylepis	-79.1	-2.7166667		X
47	Polylepis	-79.1	-2.716		X



No. Registro	Genero	Longitud	Latitud	Base de Datos UDA	Base de Datos GBIF
48	Polylepis	-79.200	-2.779	X	
49	Polylepis	-79.183	-2.808	X	
50	Polylepis	-79.200	-2.822	X	
51	Polylepis	-79.207	-2.855	X	
52	Polylepis	-79.198	-2.859	X	
53	Polylepis	-79.210	-2.878	X	
54	Polylepis	-79.191	-2.836	X	
55	Polylepis	-79.171	-2.809	X	
56	Polylepis	-79.173	-2.799	X	
57	Polylepis	-79.184	-2.827	X	
58	Polylepis	-79.239	-2.882	X	
59	Polylepis	-79.242	-2.889	X	
60	Polylepis	-79.237	-2.906	X	
61	Polylepis	-79.236	-2.908	X	
62	Polylepis	-79.236	-2.910	X	
63	Polylepis	-79.234	-2.913	X	
64	Polylepis	-79.234	-2.916	X	
65	Polylepis	-79.217	-2.910	X	
66	Polylepis	-79.220	-2.905	X	
67	Polylepis	-79.239	-2.930	X	
68	Polylepis	-79.253	-2.913	X	
69	Polylepis	-79.245	-2.936	X	
70	Polylepis	-79.260	-2.882	X	
71	Polylepis	-79.262	-2.871	X	



No. Registro	Genero	Longitud	Latitud	Base de Datos UDA	Base de Datos GBIF
72	Polylepis	-79.274	-2.861	X	
73	Polylepis	-79.237	-2.870	X	
74	Polylepis	-79.244	-2.866	X	
75	Polylepis	-79.175	-2.852	X	
76	Polylepis	-79.154	-2.886	X	
77	Polylepis	-79.173	-2.894	X	
78	Polylepis	-79.203	-2.887	X	
79	Polylepis	-79.211	-2.881	X	
80	Polylepis	-79.160	-2.818	X	
81	Polylepis	-79.116	-2.813	X	
82	Polylepis	-79.102	-2.789	X	
83	Polylepis	-79.091	-2.798	X	
84	Polylepis	-79.077	-2.775	X	
85	Polylepis	-79.085	-2.785	X	
86	Polylepis	-79.073	-2.793	X	
87	Polylepis	-79.066	-2.784	X	
88	Polylepis	-79.079	-2.801	X	
89	Polylepis	-79.071	-2.800	X	
90	Polylepis	-79.074	-2.809	X	
91	Polylepis	-79.094	-2.808	X	
92	Polylepis	-79.098	-2.775	X	
93	Polylepis	-79.096	-2.781	X	
94	Polylepis	-79.091	-2.764	X	
95	Polylepis	-79.127	-2.754	X	



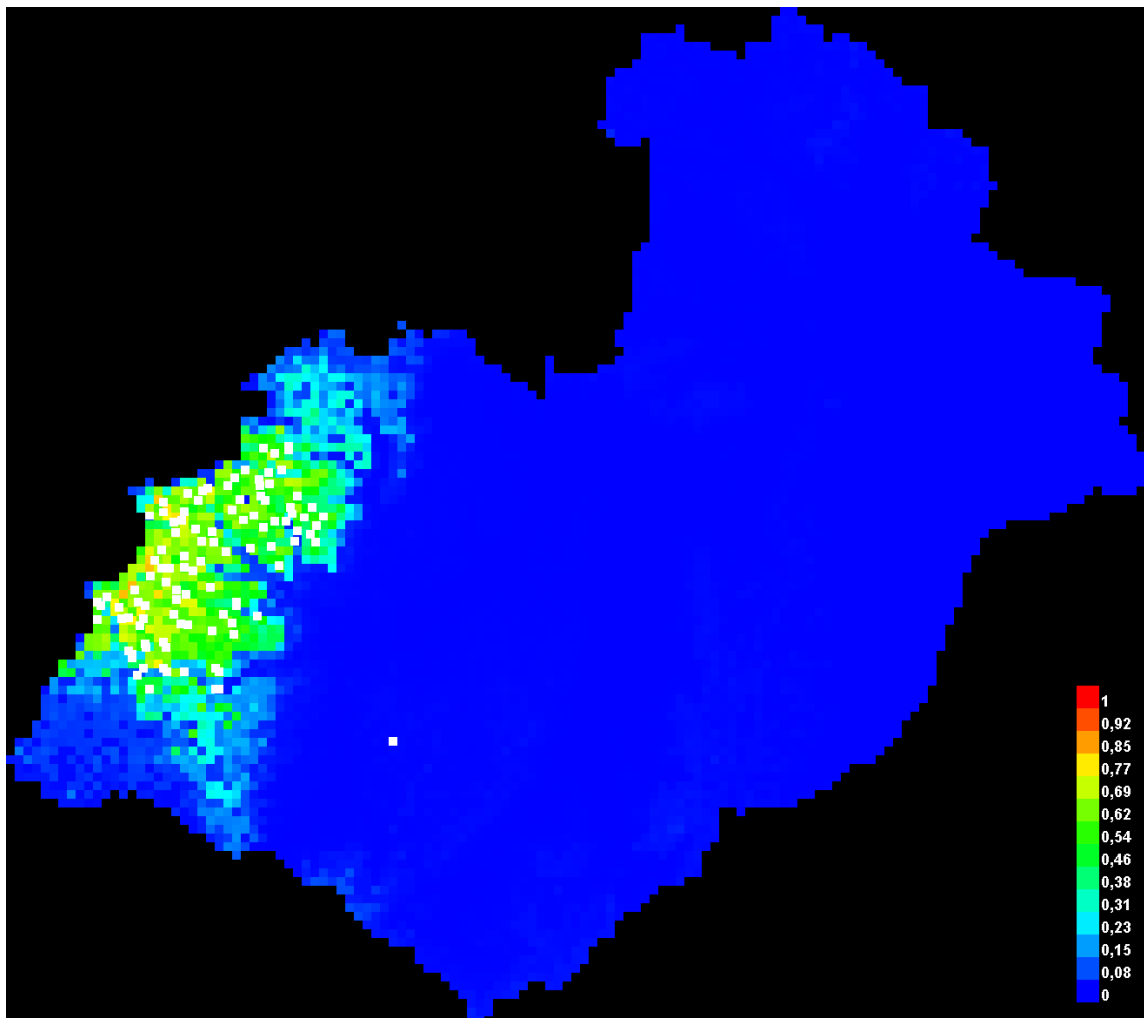
No. Registro	Genero	Longitud	Latitud	Base de Datos UDA	Base de Datos GBIF
96	Polylepis	-79.128	-2.748	X	
97	Polylepis	-79.118	-2.752	X	
98	Polylepis	-79.126	-2.764	X	
99	Polylepis	-79.186	-2.768	X	
100	Polylepis	-79.196	-2.761	X	
101	Polylepis	-79.232	-2.841	X	
102	Polylepis	-79.228	-2.826	X	
103	Polylepis	-79.221	-2.816	X	
104	Polylepis	-79.221	-2.834	X	
105	Polylepis	-79.214	-2.834	X	
106	Polylepis	-79.217	-2.847	X	
107	Polylepis	-79.247	-2.855	X	
108	Polylepis	-79.152	-2.897	X	
109	Polylepis	-79.253	-2.881	X	
110	Polylepis	-79.177	-2.756	X	
111	Polylepis	-79.182	-2.759	X	
112	Polylepis	-79.158	-2.754	X	
113	Polylepis	-79.141	-2.739	X	
114	Polylepis	-79.143	-2.787	X	
115	Polylepis	-79.136	-2.815	X	
116	Polylepis	-79.109	-2.831	X	
117	Polylepis	-79.146	-2.767	X	
118	Polylepis	-79.133	-2.783	X	
119	Polylepis	-79.124	-2.795	X	



No. Registro	Genero	Longitud	Latitud	Base de Datos UDA	Base de Datos GBIF
120	Polylepis	-79.122	-2.768	X	
121	Polylepis	-79.113	-2.789	X	
122	Polylepis	-79.119	-2.797	X	
123	Polylepis	-79.151	-2.746	X	
124	Polylepis	-79.189	-2.796	X	
125	Polylepis	-79.113	-2.723	X	
126	Polylepis	-79.124	-2.718	X	
127	Polylepis	-79.106	-2.739	X	
128	Polylepis	-79.119	-2.741	X	
129	Polylepis	-79.154	-2.777	X	
130	Polylepis	-79.208	-2.800	X	
131	Polylepis	-79.202	-2.788	X	
132	Polylepis	-79.162	-2.878	X	
133	Polylepis	-79.207	-2.864	X	
134	Polylepis	-79.196	-2.888	X	



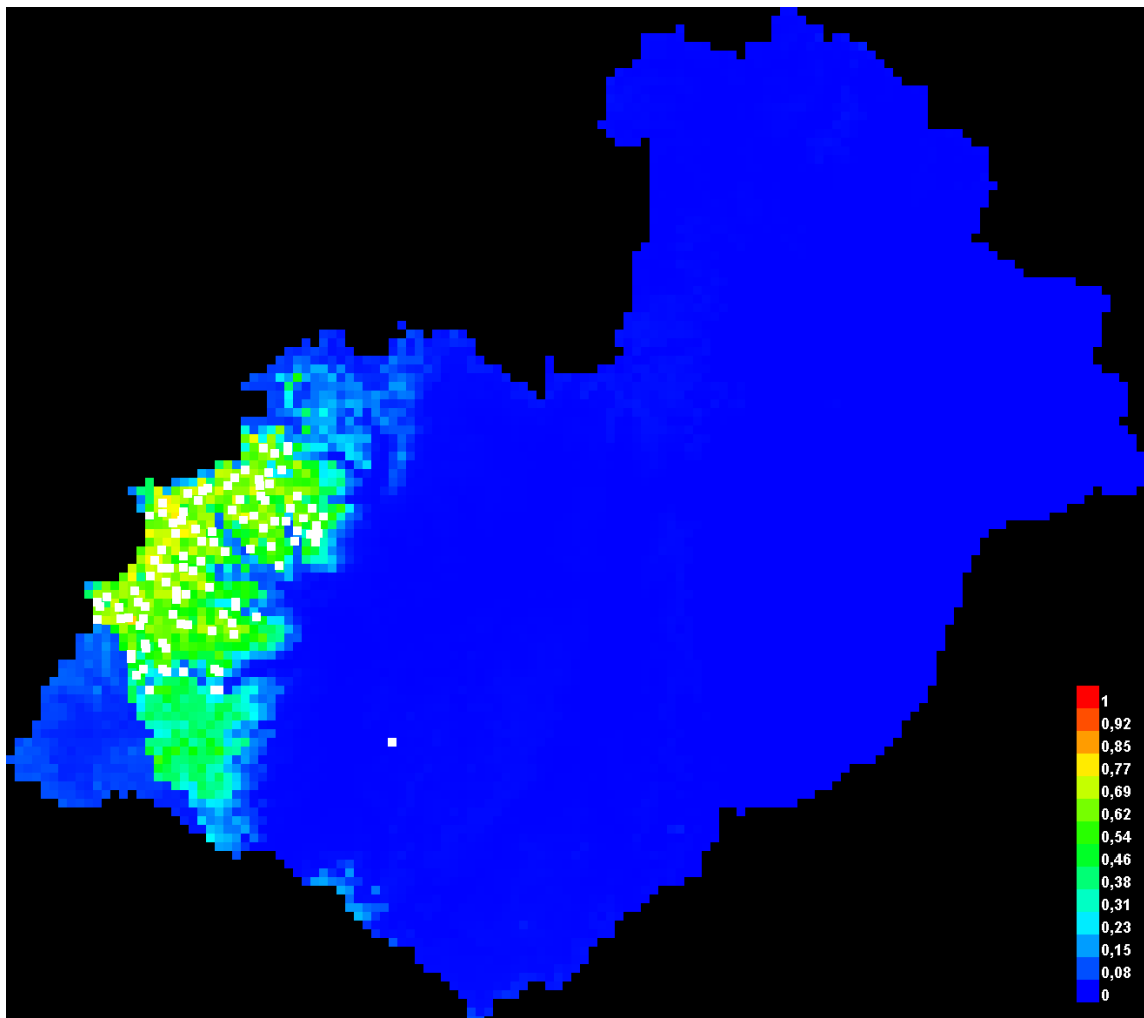
8.3 Anexo 3. Modelo Generado por Maxent, actual.



Cumulative threshold	Logistic threshold	Description	Fractional predicted area	Training omission rate
1	0.007	Fixed cumulative value 1	0.242	0.01
5	0.107	Fixed cumulative value 5	0.109	0.019
10	0.214	Fixed cumulative value 10	0.081	0.057
0.599	0.004	Minimum training presence	0.326	0
17.761	0.35	10 percentile training presence	0.06	0.095
11.349	0.24	Equal training sensitivity and specificity	0.076	0.076
7.447	0.153	Maximum training sensitivity plus specificity	0.093	0.019
		Balance training omission, predicted area and threshold value		
2.284	0.039		0.149	0.01
6.1	0.132	Equate entropy of thresholded and original distributions	0.101	0.019



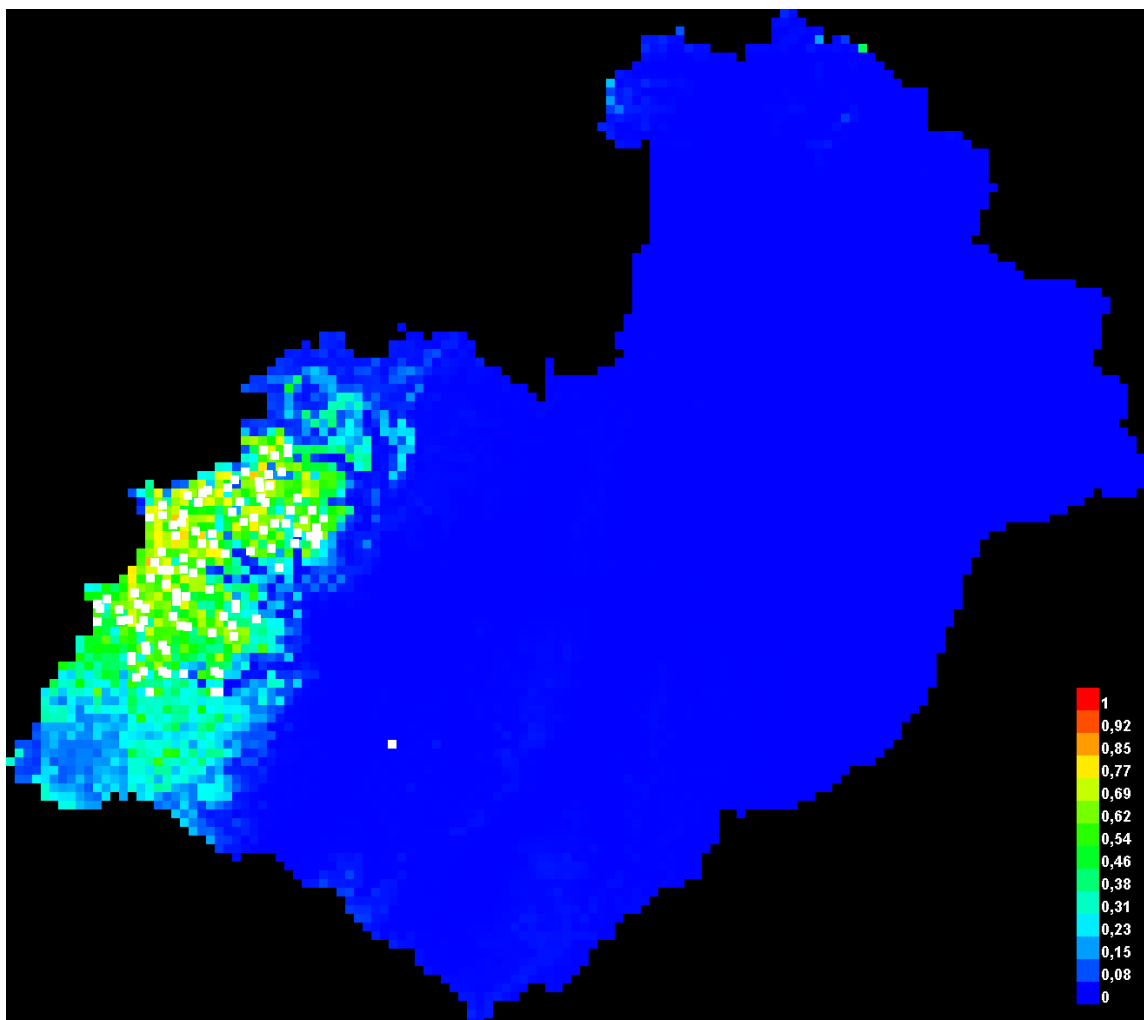
8.4 Anexo 4. Modelo Generado por Maxent, 2020's.



Cumulative threshold	Logistic threshold	Description	Fractional predicted area	Training omission rate
1	0.007	Fixed cumulative value 1	0.239	0.01
5	0.092	Fixed cumulative value 5	0.115	0.038
10	0.213	Fixed cumulative value 10	0.082	0.048
0.467	0.003	Minimum training presence	0.355	0
15.176	0.348	10 percentile training presence	0.068	0.096
12.994	0.296	Equal training sensitivity and specificity	0.073	0.077
9.838	0.204	Maximum training sensitivity plus specificity	0.083	0.038
2.206	0.04	Balance training omission, predicted area and threshold value	0.157	0.01
6.045	0.114	Equate entropy of thresholded and original distributions	0.105	0.038



8.5 Anexo 5. Modelo Generado por Maxent, 2050's.

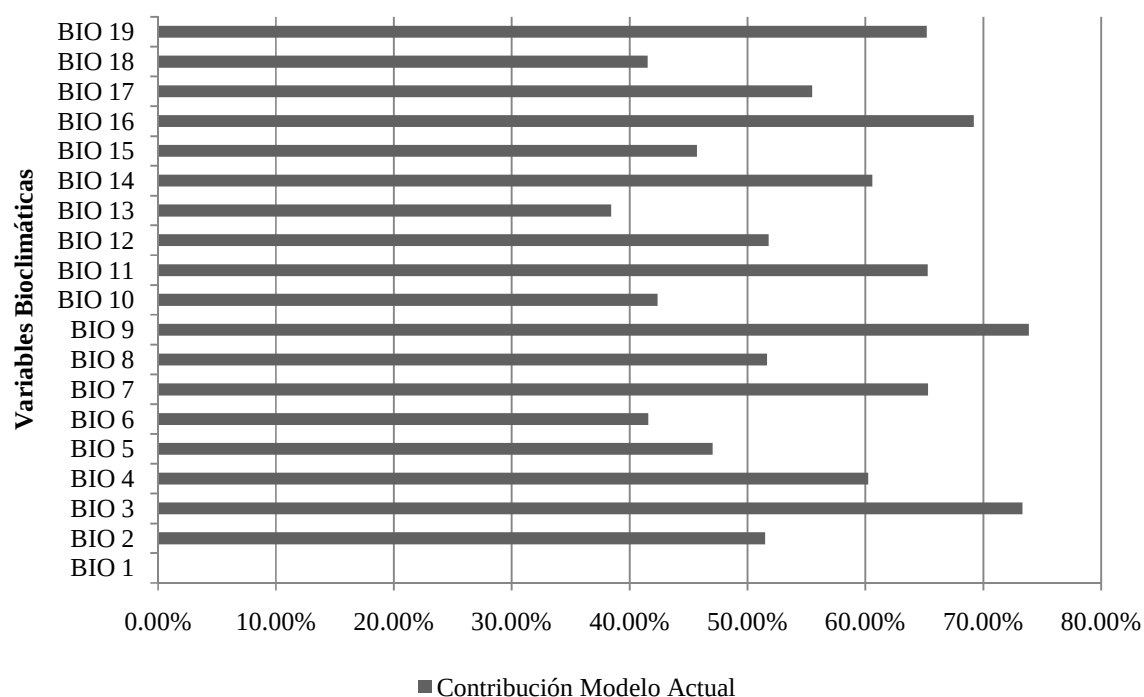


Cumulative threshold	Logistic threshold	Description	Fractional predicted area	Training omission rate
1	0.015	Fixed cumulative value 1	0.193	0.01
5	0.142	Fixed cumulative value 5	0.118	0.019
10	0.224	Fixed cumulative value 10	0.094	0.038
0.143	0.001	Minimum training presence	0.406	0
19.565	0.317	10 percentile training presence	0.067	0.096
17.689	0.301	Equal training sensitivity and specificity	0.071	0.067
14.328	0.272	Maximum training sensitivity plus specificity	0.08	0.038
1.929	0.041	Balance training omission, predicted area and threshold value	0.152	0.01
6.864	0.175	Equate entropy of thresholded and original distributions	0.108	0.029



8.6 Anexo 6. Tabla y figura de Aporte de las Variables Bioclimáticas al Modelo Actual.

Variable	Contribución Modelo Actual
BIO 1	0.000
BIO 2	0.515
BIO 3	0.733
BIO 4	0.602
BIO 5	0.470
BIO 6	0.416
BIO 7	0.653
BIO 8	0.516
BIO 9	0.739
BIO 10	0.424
BIO 11	0.653
BIO 12	0.518
BIO 13	0.384
BIO 14	0.606
BIO 15	0.457
BIO 16	0.692
BIO 17	0.555
BIO 18	0.415
BIO 19	0.652

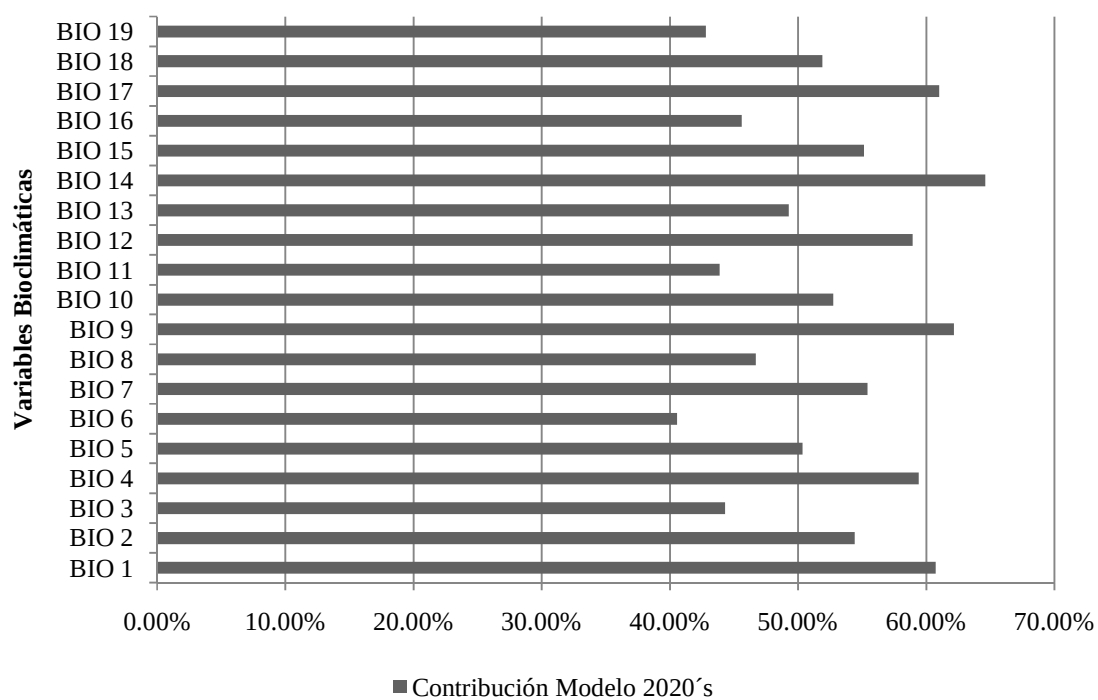


8.7 Anexo 7. Tabla y figura de Aporte de las Variables Bioclimáticas al Modelo 2020's.

Variable	Contribución Modelo 2020's
BIO 1	0.607
BIO 2	0.544
BIO 3	0.443
BIO 4	0.594
BIO 5	0.504
BIO 6	0.406
BIO 7	0.554
BIO 8	0.467
BIO 9	0.622
BIO 10	0.527



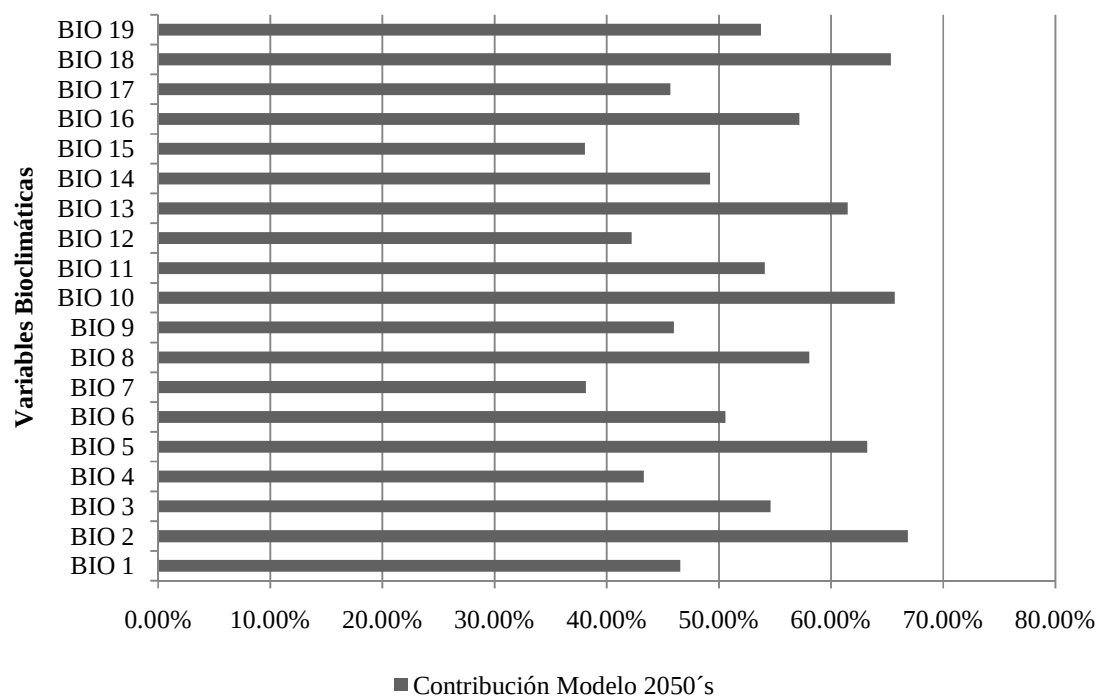
Variable	Contribución Modelo 2020's
BIO 11	0.439
BIO 12	0.589
BIO 13	0.493
BIO 14	0.646
BIO 15	0.551
BIO 16	0.456
BIO 17	0.610
BIO 18	0.519
BIO 19	0.428



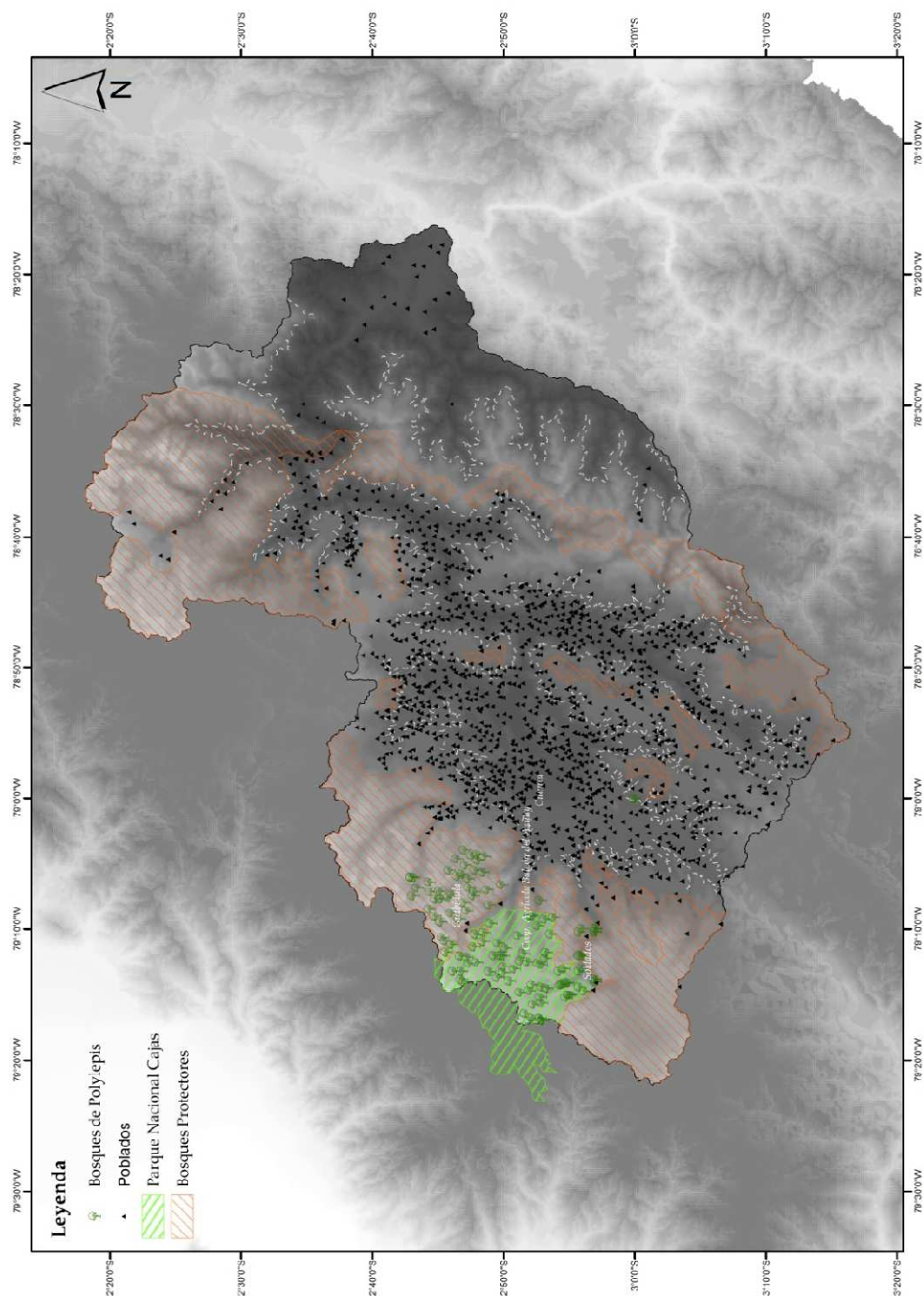


8.8 Anexo 8. Tabla y figura de Aporte de las Variables Bioclimáticas al Modelo 2050's.

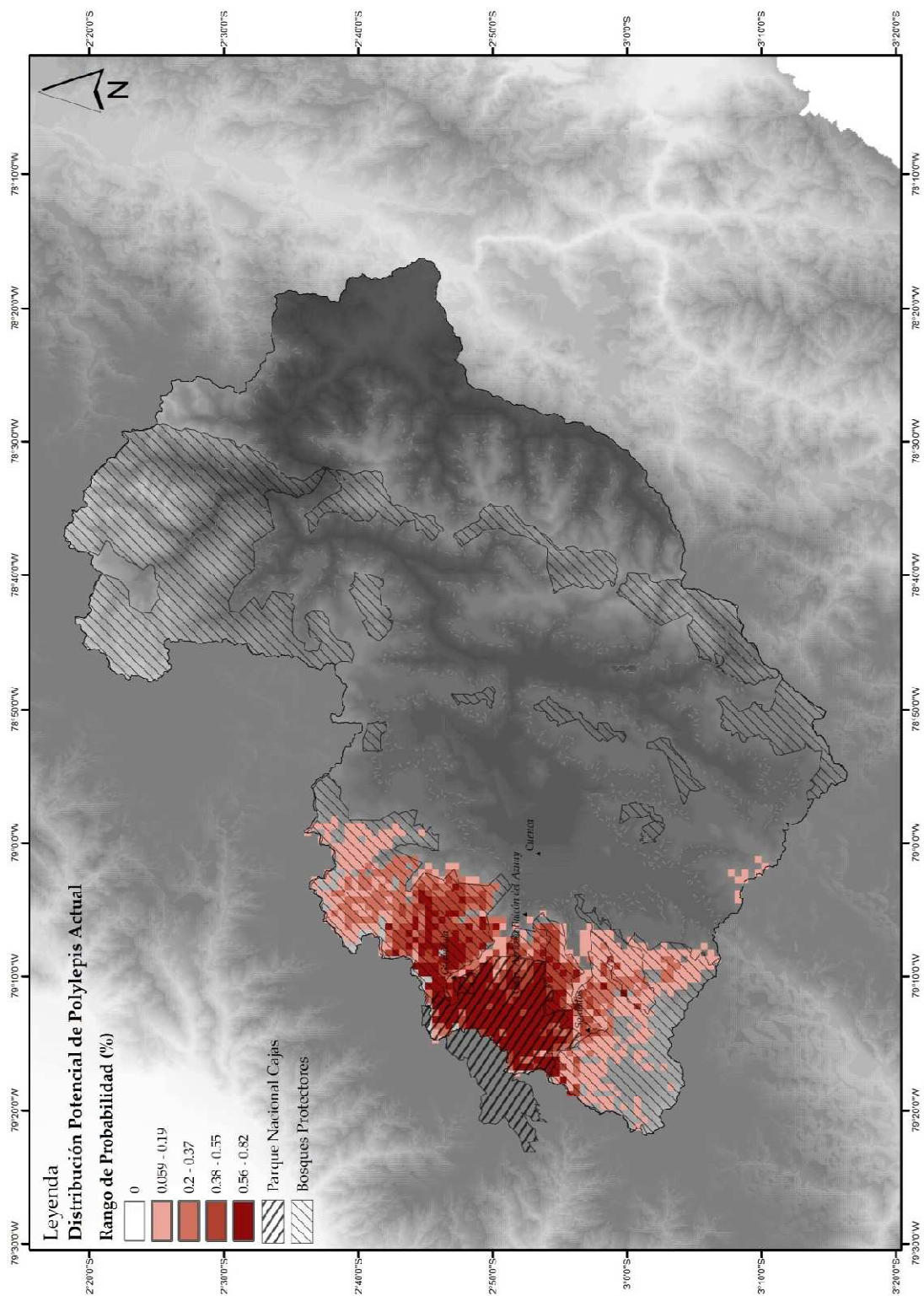
Variable	Contribución Modelo 2050's
BIO 1	0.465
BIO 2	0.668
BIO 3	0.546
BIO 4	0.433
BIO 5	0.632
BIO 6	0.506
BIO 7	0.381
BIO 8	0.581
BIO 9	0.460
BIO 10	0.657
BIO 11	0.541
BIO 12	0.422
BIO 13	0.615
BIO 14	0.492
BIO 15	0.381
BIO 16	0.572
BIO 17	0.457
BIO 18	0.653
BIO 19	0.537



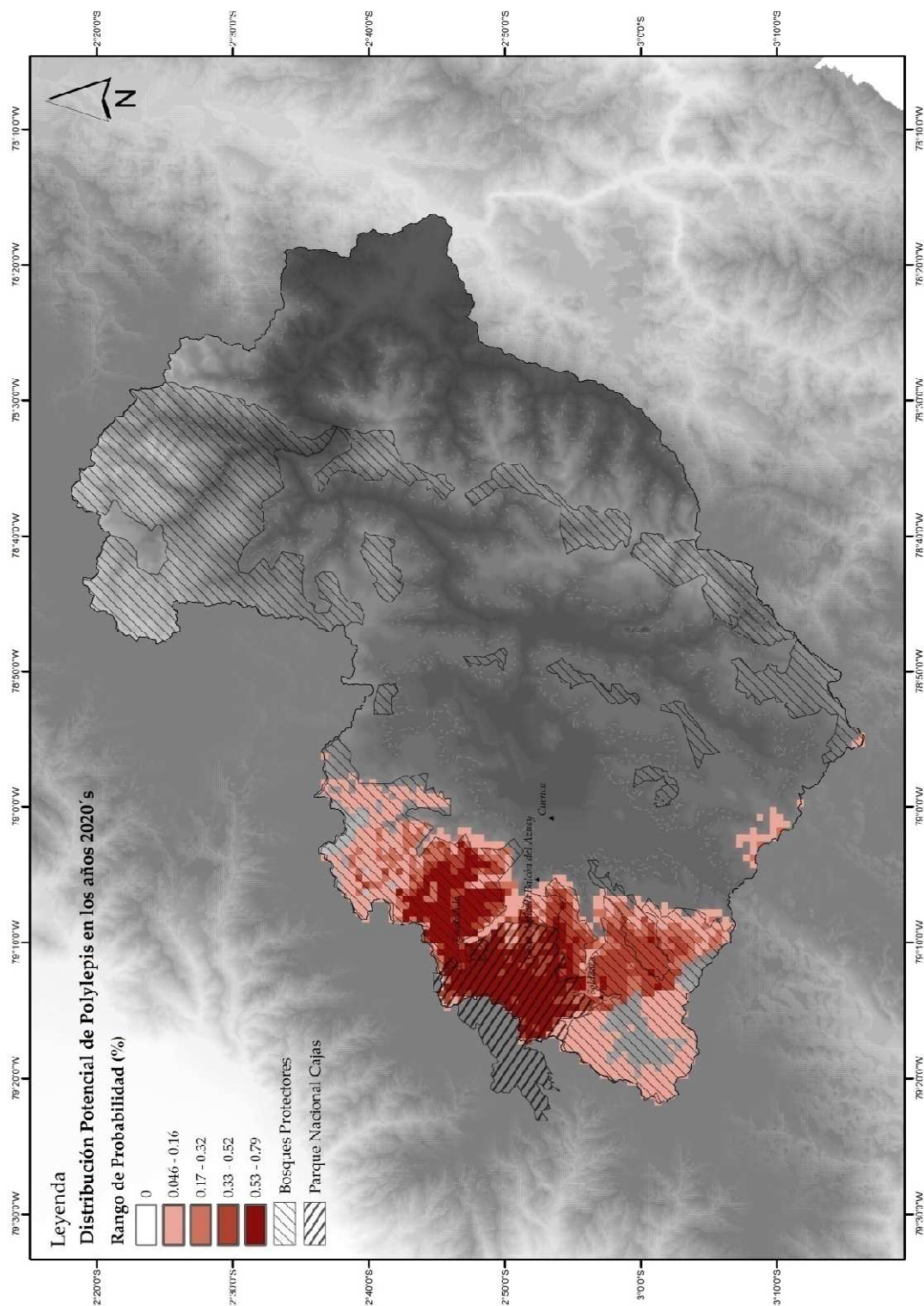
8.9 Anexo 9. Figura de Ocurrencias de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute.



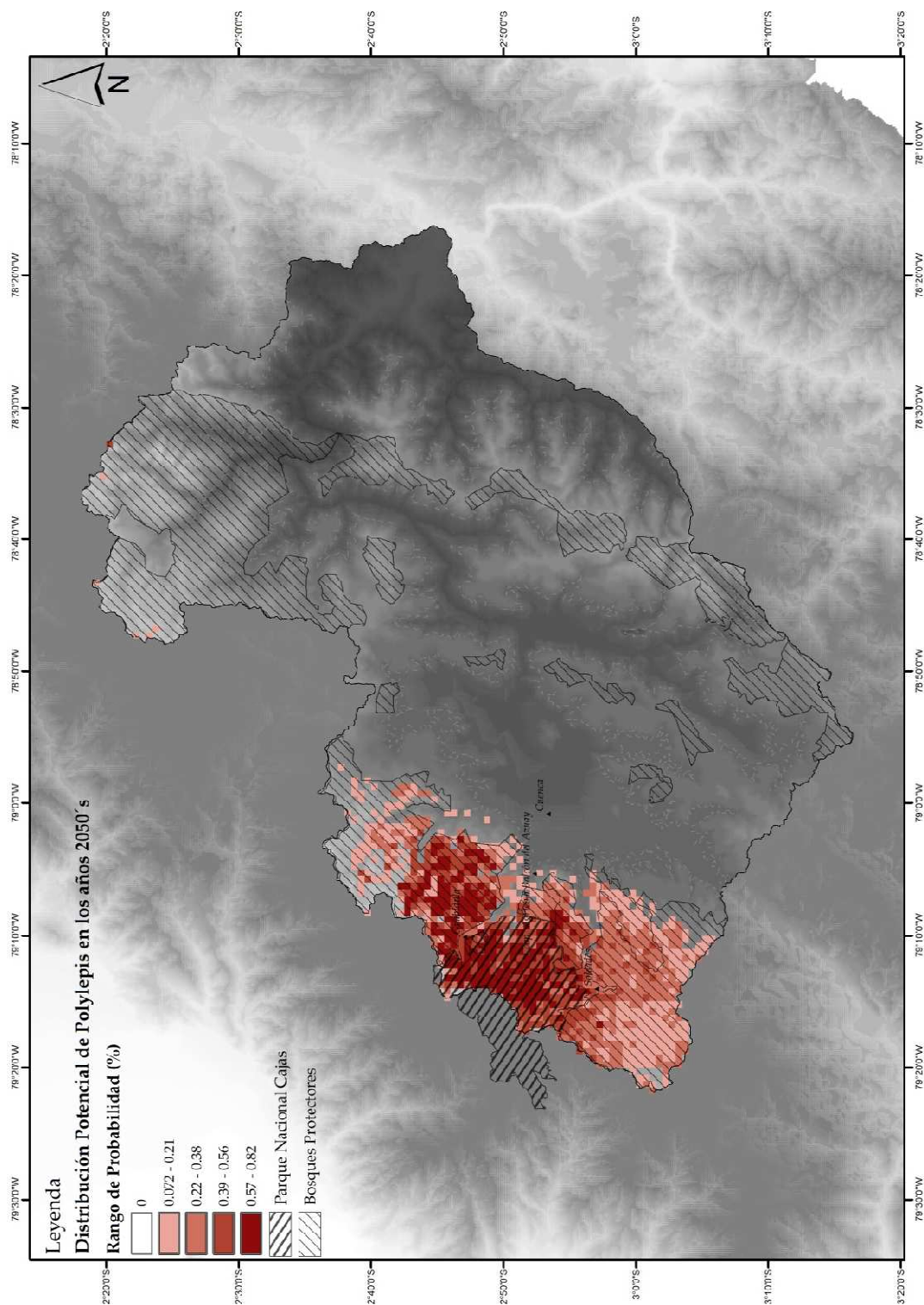
8.10 Anexo 10. Figura de Distribución Actual de Polylepis en la cuenca del Río Paute.



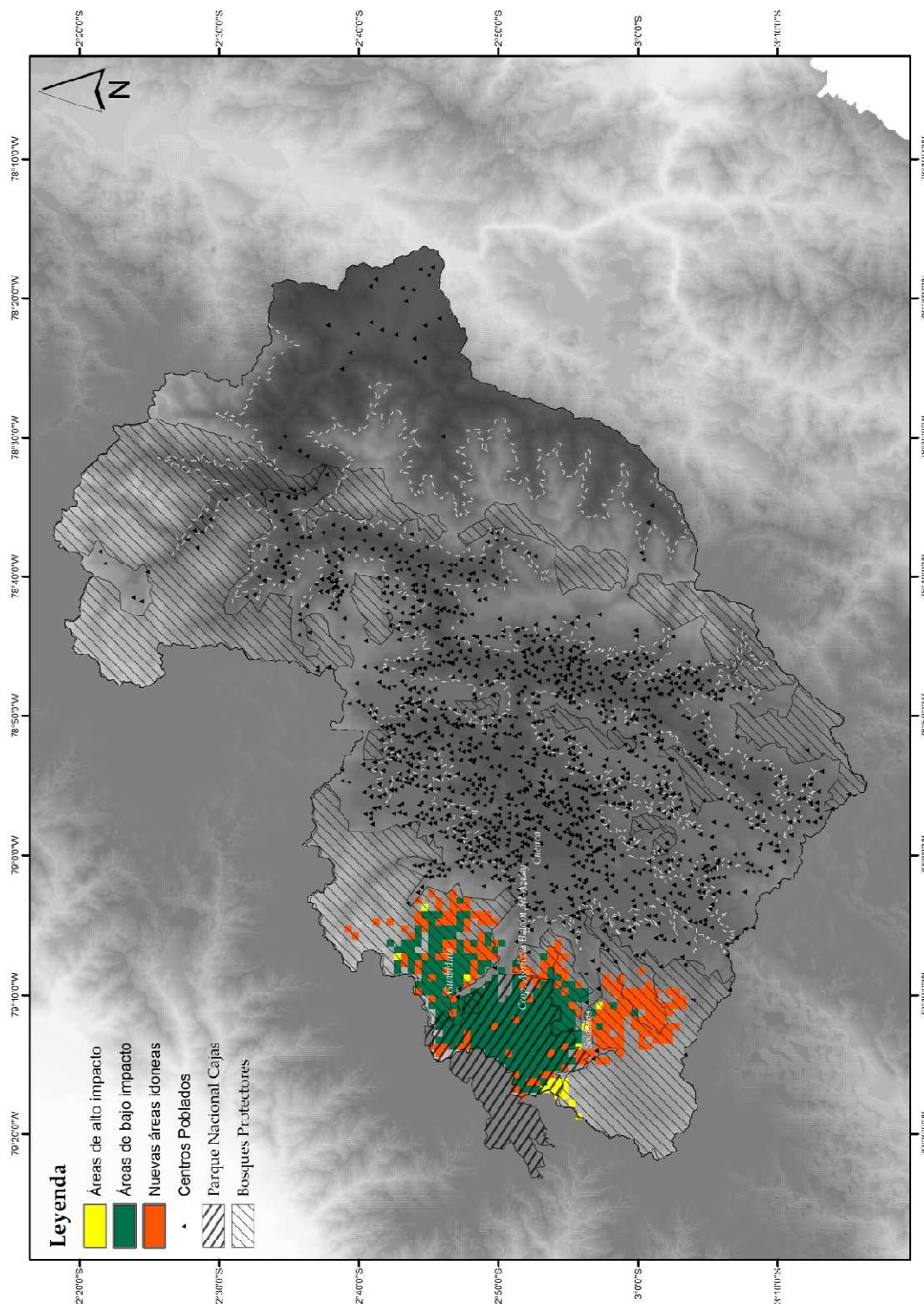
8.11 Anexo 11. Figura de Distribución Futura 2020's de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute.



8.12 Anexo 12. Figura de Distribución Futura 2050's de Polylepsis en la cuenca del Río Paute.



8.13 Anexo 13. Figura Áreas de Impacto por el Cambio Climático de Polylepis Actual (1952 - 2000) 2020's en la cuenca del Río Paute.



8.14 Anexo 14. Figura Áreas de Impacto por el Cambio Climático de Polylepis Actual (1952 - 2000) 2050's en la cuenca del Río Paute.

