

# Distribución potencial del género *Polylepis* en la Cuenca del río Paute bajo un escenario de cambio climático

## *Potential distribution of the genus Polylepis in the Paute river basin under a climate change scenario*

Danilo Mejía \*, María Tonón<sup>1</sup>, Lorena Abad<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

\*[danilo.mejia@ucuenca.edu.ec](mailto:danilo.mejia@ucuenca.edu.ec)

Recibido: 28-02-2018. Aceptado después de revisión: 13-06-2018.

---

**Resumen:** En la región andina la investigación es escasa en todos los ámbitos del conocimiento, especialmente aquellos relacionados con la biodiversidad. Modelar la distribución de especies vegetales y animales brinda una medida de ocupación potencial de especies en áreas no exploradas, ya sea por motivos económicos o de accesibilidad, siendo una herramienta útil para la gestión de conservación. La cuenca del Río Paute, dada la importancia hídrica que tiene a nivel nacional, fue el escenario para el estudio del modelamiento de la distribución potencial del árbol perteneciente al género botánico *Polylepis*, de los Andes Tropicales. Para esto, se utilizaron datos de la agencia WorldClim - General Circulation Models, que proporcionan información sobre modelos climáticos, métodos, escenarios y variables climáticas para el análisis de predicción a futuro de bosques de *Polylepis*. La información se complementó con ocurrencias de la especie en el área de estudio. Una vez obtenidos los datos climáticos y las observaciones de *Polylepis* se utilizó un método de Máxima entropía (Maxent), para construir modelos de distribución actual y futura de la especie. Los resultados obtenidos indican el comportamiento de la especie en la cuenca de Río Paute contribuyendo datos preliminares que servirán para la toma de decisiones relacionadas con la conservación de recursos naturales. Los mapas de distribución resultantes ayudan a conocer más sobre el comportamiento de ciertas especies del género *Polylepis* bajo escenarios de cambio climático.

**Palabras claves:** *Polylepis*, Modelamiento Actual, Modelamiento Futuro, cuenca del Río Paute, Cambio Climático

**Abstract:** In the Andean region, research is scarce in all areas of knowledge, especially those related to biodiversity. Modeling the distribution of plant and animal species provides a measure of the potential occupation of species in unexplored areas, either for economic or accessibility reasons, becoming a useful tool for conservation management. The Paute River Basin, given its national water importance, was the scenario chosen for modeling the potential distribution of the tree species of the botanical genus *Polylepis*, from the Tropical Andes. For this, data from the agency WorldClim - General Circulation Models was used, which contains necessary information on climate models, methods, scenarios and climatic variables that feeds the analysis of future prediction of *Polylepis* forests; data that was complemented with occurrences of the species in the study area. Once the climatic data and *Polylepis* observations were obtained, a Maxent method was used, to build current and future prediction models of the species. The results obtained indicate the behavior of the species in the Rio Paute basin and are preliminary data for a species of great importance, as they will be used to make decisions related to the conservation of natural resources. The resulting distribution maps help to learn more about the behaviour of certain species of the genus *Polylepis* under climate change scenario.

**Keywords:** *Polylepis*, Current Modeling, Future Modeling, Paute River basin, Climate Change.

## 1. Introducción

En la región andina, la investigación es escasa en todos los ámbitos del conocimiento, más aún cuando se relaciona con aquellos temas importantes para la vida [7]. Por otro lado, en los Andes se encuentran los bosques formados por árboles del género *Polylepis*, que son formaciones vegetales naturales nativas que se distribuyen en un rango altitudinal alturas entre los 3,500 a 5,000 m.s.n.m. [32]. Estos parches constituyen verdaderos oasis biológicos en los páramos pues son el hábitat de mamíferos, aves, e insectos, y albergan plantas medicinales y alimenticias [31]. Además, los bosques de montaña en los Andes captan agua que es liberada gradualmente, lo cual permite que el agua sea filtrada a través de la vegetación y se prevenga así la erosión.

Desde el siglo pasado la biósfera ha experimentado cambios significativos en el clima, los cuales, según el informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático [35] continuarán en este nuevo siglo. El incremento previsto en la temperatura es de 1.4 a 5.8°C para el período 1990-2100 [5]. Esta variación podría alterar drásticamente los patrones conocidos de la biota en la Tierra. Investigaciones realizadas sobre la variabilidad en el clima coinciden en que el incremento de la temperatura incide directamente en la biodiversidad a diferentes escalas y de diversas formas; tales como modificaciones en los rangos de distribución de especies y en la composición de las comunidades, desplazamientos altitudinales, latitudinales de comunidades vegetales, y finalmente en cambios de la funcionalidad de los ecosistemas [13].

El actual apogeo del modelado ecológico ha sido posible 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 [43], [18].

Modelar la distribución de especies puede proporcionar la medida de ocupación potencial de una especie en áreas no exploradas por motivos económicos o de accesibilidad. En ese sentido, se ha introducido conceptos como el de Vegetación Natural Potencial (PNV por sus siglas en inglés), que indica la probabilidad de generar nuevas áreas de vegetación en función de patrones espaciales como el clima y la ocupación del suelo modificada por efecto antrópico [10], [34].

En los últimos años se ha desarrollado ampliamente el uso de modelos predictivos para determinar la distribución potencial de las especies, convirtiéndose en una herramienta utilizada para estudios muy diversos: epidemiológicos, especies amenazadas, descubrimiento de nuevos sitios de especies poco comunes, identificando nuevas zonas de conservación para la biodiversidad, comprensión de los patrones espaciales de las especies biológicas o los impactos potenciales del cambio climático sobre los patrones de distribución.

El presente estudio se enmarca en este último aspecto, ya 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*. El objetivo es 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.

## 2. Materiales y métodos

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 [51] con el programa DIVA-GIS Versión 7.5.0 que incluye la opción Maxent para calcular la distribución potencial de la especie y la probabilidad de ocurrencia usando un algoritmo de máxima entropía [46]. Se emplearon capas ambientales a una resolución de 30 arcos segundos 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, descargadas de la base de datos de WorldClim, <http://www.worldclim.org/>.

### 2.1 Área de Estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Paute, esto debido a la importancia hídrica que tiene esta cuenca a nivel nacional. Esta cuenta con un rango altitudinal que va desde los 440 hasta 4,680 m.s.n.m., con una pendiente media de 19.19°, mientras que la dirección media de la pendiente es 178.73° y con área de 6442.03 km<sup>2</sup> [11], [45] Por otro lado, las condiciones climáticas de la cuenca cuentan con una precipitación media anual de 876 mm, una temperatura máxima anual de 17.2°C y una temperatura mínima anual de -2.4°C [45]. Los modelos predictivos bajo escenarios de cambio climático se los realizó en bosques de *Polylepis* los mismos que se desarrollan en un rango de altitudinal entre los 2,800 hasta 4,500 m.s.n.m. [51].

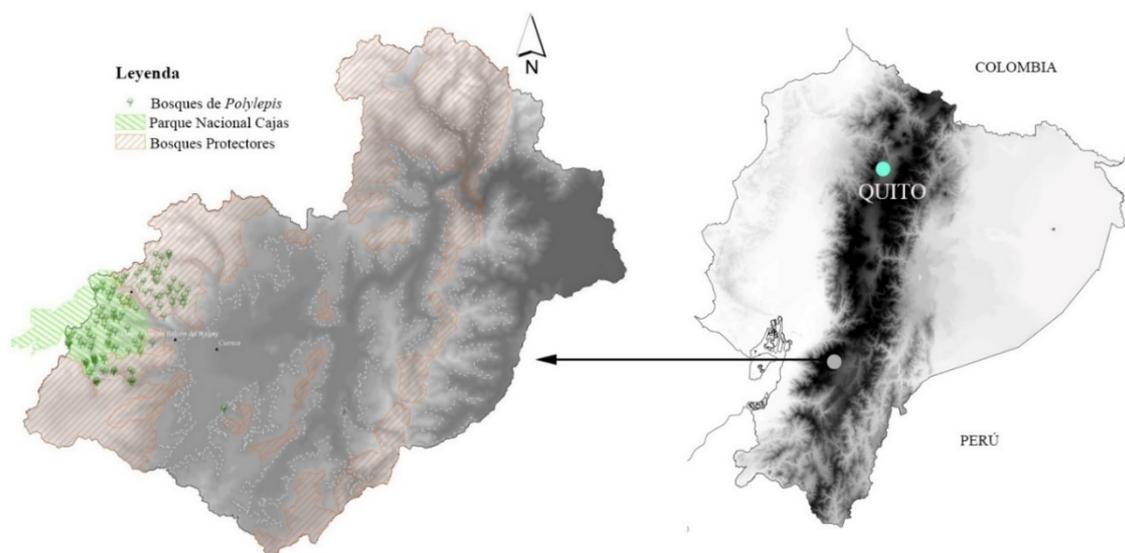


Figura 1. Localización del área de estudio y ubicación de bosques de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute (izquierda; 6,442 km<sup>2</sup>) y su ubicación con respecto a Ecuador (derecha).

## 2.2 Selección de Parches

El área de distribución del género *Polylepis* en el área de estudio se obtuvo de la Base de Datos de la Escuela de Biología Ecología y Gestión, de la Universidad del Azuay, de donde se digitalizaron los parches de *Polylepis* de la cuenca del Río Paute. Además, se utilizó la ortofoto del año 2010, de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador (SENPLADES). Paralelamente, se realizó una revisión en la base de datos del Herbario del Azuay, aportando con información georreferenciada. En este proceso se identificó la presencia de este género en la parte alta de la cuenca, sin embargo, este tipo de bosques no pudieron ser identificados o constatados en la totalidad del área de estudio. Para complementar esta investigación se descargó la base de Datos de la Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

## 2.3 Selección de Modelo Climático Global

Para la modelación climática de *Polylepis*, la información se obtuvo de la base de datos WorldClim - Global Climate Data, la misma que proporciona información de las condiciones actuales y futuras con una resolución espacial fue de 30 arcosegundos [24].

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”, el más utilizado para determinar los cambios futuros en el clima con respecto al modelo del clima actual [16].

El modelo de Circulación General (General Circulation Models, o GCM) utilizado fue el HadCM3, con simulaciones numéricas computacionalmente intensivas basadas en ecuaciones de dinámica de fluidos, química y biología, los cuales intentan explicar y predecir el clima; así como su cambio en función de las emisiones de gases previstas [18], que es acoplada a la atmósfera-océano. Este Modelo fue desarrollado por el Hadley Centre for Climate Prediction and Research (HadCM3) del Reino Unido. El componente atmosférico cubre un espacio de  $2.5^{\circ}$  latitud  $\times$   $3.75^{\circ}$  longitud, lo que representa una grilla de  $72 \times 96$  celdas y una resolución espacial de  $\sim 278 \times 417$  km con respecto a la línea ecuatorial  $278 \times 295$  km a  $45^{\circ}$  de latitud. El componente oceánico del modelo tiene un área de  $1.25 \times 1.25^{\circ}$  [5], [18].

Los escenarios Special Report on Emissions Scenarios (SRES) generados por la agencia IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Changes 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. Los escenarios están conformados por cuatro familias (A1, A2, B1, B2) [13], [28]. Para este estudio se eligió la familia A2 y sus características son: mayores emisiones de gases de efecto invernadero, describiendo un mundo muy heterogéneo caracterizado por la autosuficiencia, la conservación de las identidades locales y una población mundial en continuo incremento; mientras que considera un desarrollo económico orientado fundamentalmente de forma regional y con cambios tecnológicos más fragmentados [28], [36], [3].

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

*Tabla 1. Listado y significado de las variables bioclimáticas.*

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

#### *2.4 Modelación y análisis de distribución de especies.*

El modelamiento ecológico es una técnica estadística relativamente nueva y muy útil en estudios de ecología, evolución, biogeografía, conservación y cambio climático [2], [26]; [28], [27]. [45], [54], [20], [25], [53]. Esta herramienta es ampliamente utilizada en la disciplina de la biología de la conservación para predecir la probabilidad de presencia/ausencia de una especie. Para este estudio se seleccionó el método Maxent, ya que su modelo de predicción es mejor en comparación a otros métodos, debido a su fuerte base estadística para discriminar vacíos en el espacio de análisis [21]. Una de las restricciones del modelo es que todavía se necesita de visitas en campo para comprobar su efectividad, sin embargo, esto sucede con todos los modelos de predicción ya que se necesita de su validación para mayor efectividad [41].

Maxent es una herramienta SIG cuyo algoritmo (ecuación 1) predicción utiliza tres tipos de información: i) una colección de ocurrencias donde se ha registrado la especie, ii) la superficie de interés del estudio y iii) variables ambientales o climáticas de la superficie de interés [47], [38]. En Maxent, la distribución potencial de una especie deberá tener máxima entropía y es aquella más cercana a la uniforme, es decir, la más próxima a tener probabilidades de ocurrencia similares en toda el área de estudio [46]. 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 [32] es una medida de la cantidad de opciones que existen en la selección de un evento. Este modelo Maxent es muy similar a Modelos de Regresión Generalizados (MRL) y Modelos Aditivos Generalizados (MAG), pues sus algoritmos son muy parecidos [43].

$$\alpha + \beta_1 f_1(x) + \gamma_1 f_1(x)^2 + \dots + \beta_n f_n(x) + \gamma_n f_n(x)^2 \quad (1)$$

Donde,  $f_j$  son las variables ambientales y de ocurrencia,  $\alpha$ ,  $\beta_j$  and  $\gamma_j$  son coeficientes de ajuste y  $x$  es el coeficiente de predicción.

Las localidades que no tienen datos de presencia de la especie, Maxent las interpreta como datos de fondo o ausencias [42]. 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 [42], dando como resultado un mapa continuo en un rango de probabilidades que coincide con el nicho fundamental de la especie, los valores estimados están entre 0 que muestra bajas probabilidades y valores cercanos a 1 que muestran una alta probabilidad de presencia de la especie [43]. Los resultados del análisis de modelación de distribución de especies se pueden usar para diferentes análisis espaciales combinados, como por ejemplo evaluar el impacto del cambio climático en la distribución de las especies [51]. 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.

### *2.5 Evaluación del modelo de distribución Maxent.*

El análisis del 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 el parámetro más utilizado para evaluar la capacidad de predicción de los modelos generados por Maxent [51]. La fracción del área predicha (Fractional predicted area) se refiere a la fracción del área total de estudio donde se está modelando la especie, mientras que la sensibilidad (Sensitivity) 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 [41]. Pues es un proceso repetitivo que es aplicado a cada umbral idoneo del modelo: el modelo estimado se reclasifica en dos categorías a partir del umbral, para luego obtener un modelo binario, donde los valores inferiores al umbral indican ausencia y valores iguales o superiores indican presencia.

Por otro lado, Araújo et al. [7] recomiendan la siguiente interpretación de la curva AUC para los modelos generados: Excelente si el valor  $AUC > 0.90$ ; Buena si  $0.80 > AUC > 0.70$ ; Aceptable si  $0.70 > AUC > 0.60$ ; Mala si  $0.60 > AUC > 0.50$  y finalmente No válida si  $0.50 > AUC > 0.40$ .

### *2.6 Modelación del impacto del cambio climático en la distribución de las especies.*

El cambio climático global es cada vez más evidente [5]. Consecuentemente, las áreas geográficas que corresponden a biomasa, 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. Para determinar el cambio que existirá entre los años evaluados se utilizó el software DIVA-GIS 7.5.0, con la información generada de presencia y ausencia del método Maxent.

En las imágenes raster generadas con la modelación de la distribución potencial de *Polylepis* en el escenario actual se utilizaron variables climáticas actuales con información climática desde el año 1950 al 2000. Mientras que en los modelos futuros se usaron variables climáticas de los años comprendidos entre 2020 y 2059. Los

resultados de los rasters de la modelación en formato binario dan cuatro situaciones posibles en cada celda: a) 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; b) 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); c) áreas de bajo impacto: áreas en las que la especie probablemente ocurra tanto en las condiciones climáticas actuales, como en las condiciones climáticas futuras; y d) 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 se requiere un cuarto valor para representar las cuatro situaciones posibles descritas anteriormente. La tabla 2 ilustra este 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 para la determinación de áreas de impacto.

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)
Áreas de alto impacto	0	1	-1
Áreas por fuera del nicho	0	0	0
Áreas de bajo impacto	1	1	0
Nuevas áreas adecuadas	1	0	1

Para resolver este problema en DIVA-GIS, se realizó una reclasificación (Reclass), cambiando el valor de la celda correspondiente a áreas de distribución potencial de uno (1) a dos (2) en uno de los dos rasters (distribución potencial futura o actual). En la Tabla 3 se muestra cómo este cambio en el valor de la celda resulta en valores diferentes de celda para las cuatro situaciones posibles.

Tabla 3. Reclasificación de la resta de Rasters para obtener el 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)
Áreas de alto impacto	0	1	-1
Áreas por fuera del nicho	0	0	0
Áreas de bajo impacto	2	1	1
Nuevas áreas adecuadas	2	0	2

### 3. Resultados y/o Discusión

#### 3.1 Preparación de información

Los resultados obtenidos en este estudio se resumen en: a) recolección de la información de *Polylepis sp.* 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) depuración de la información climática obtenida de la base

de datos de WorldClim de los años 2020's y 2050's, c) generación de los modelos predictivos de la distribución potencial de estos dos períodos, d) análisis raster de las dos imágenes para la determinación de las áreas de impacto por el Cambio Climático y e) 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 que son hábitats exclusivos de varias especies de aves, mamíferos, anfibios, reptiles e insectos; algunas de sus especies se encuentran dentro de alguna categoría de amenaza; y el cambio de uso de suelo que esta especie ha tolerado durante años ha dado como resultado un cambio en su estructura y distribución espacial.

Luego de la revisión y depuración de la base de datos de *Polylepis* se llegó a obtener 134 ocurrencias en la cuenca del Río Paute. No existe un estándar para la cantidad mínima de puntos requeridos, pues generalmente esto se relaciona con la naturaleza de la especie. Para las especies raras o con nichos estrechos, pueden existir pocos puntos de presencia. Sin embargo, en estos casos, aún una cantidad limitada de puntos puede ser altamente representativa del nicho [51]. Por lo tanto, no se pueden establecer con exactitud la cantidad mínima de puntos de presencia necesaria para hacer modelaciones confiables de la distribución de las especies.

Los registros y ocurrencias obtenidas fueron georreferenciados 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 [22].

### 3.2 Análisis de distribución actual de *Polylepis* sp.

El análisis de *Polylepis* con su distribución actual más las ocurrencias obtenidas se demostró que esta especie se encuentra distribuida hacia el Oeste de la Cuenca del Río Paute. Esta información se corrobora con los datos de las diferentes bases de datos. Los modelos usados para proyectar la distribución actual de las especies, reflejan su confiabilidad en función de las variables explicativas utilizadas; además, estos modelos permiten conocer ciertos patrones generales de distribución [1].

La distribución actual de *Polylepis* tiene un patrón norte-sur. Se observó que el área de distribución potencial actual tiene una superficie de 38,720 ha (Tabla 3), y en relación al área total de la cuenca (644,200 ha) equivale al 6.01% siendo este género exclusivo de la parte alta de la cuenca del Río Paute, ya que en ninguna base de datos investigada se logró encontrar registros de Bosques de *Polylepis* en otras zonas (Figura 2).

En la figura 1 se observa que los parches o bosques de *Polylepis* se encuentran distribuidos en su mayoría en las áreas protegidas (Parque Nacional Cajas - PNC) y bosques protectores (Irquis y Yanucay), mientras que en el Este de la cuenca su ocurrencia es menor o casi nula. Esto se debe a que, si bien existen áreas protegidas y bosques protectores en esa zona, el impacto antrópico ha sido más agresivo por la presencia de centros poblados; mientras que en la zona Oeste de la cuenca sucede lo contrario, no existen poblaciones dentro de las áreas protegidas como es el PNC y por ende el impacto que sufre este género es menor.

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

Luego del análisis de modelación basado en el escenario HadCM3-A2 se determinó que la distribución potencial de *Polylepis* para los años 2020's es de 44,100 ha que equivale al 6.85% del área de la cuenca (Figura 2), 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 del agua

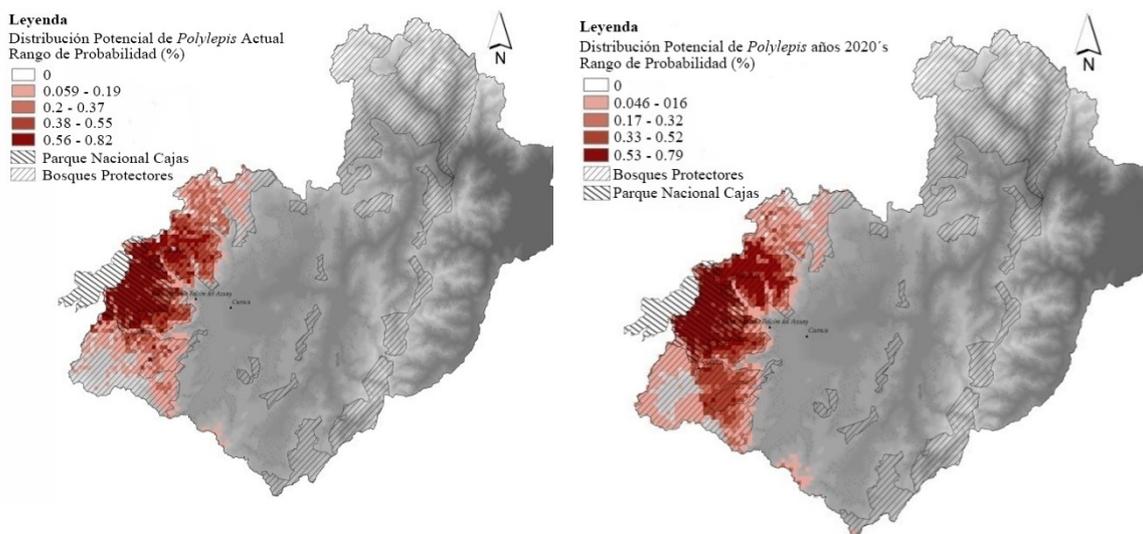
por parte del hombre en el pasado, presente y en el futuro. Dicho uso humano pondrá en peligro algunos ecosistemas terrestres y acuáticos o mejorará la supervivencia de otros [30]. Si bien algunos géneros como el *Polylepis*, al ser árboles grandes, son probablemente más tolerantes al cambio climático, pero algunos organismos más pequeños que habiten estos ecosistemas podrían sufrir para adaptarse. Los escenarios A2 describen un mundo muy diverso, sus características distintivas son: la autosuficiencia y la preservación de las identidades locales. Mientras que se asume una fertilidad en las regiones muy lenta, por lo que la población mundial mantiene un continuo crecimiento. Por otro lado, el desarrollo económico es localizado por regiones y por tal motivo conserva un crecimiento continuo por habitante, mientras que los cambios tecnológicos están más fraccionados y de lenta evolución en su avance en comparación a otros escenarios [29].

Por último, la distribución potencial de *Polylepis* para los años 2050's es de 42,910 ha, que en comparación con los años 2020's existe una disminución del 3% del área en un lapso 30 años (Figura 2). 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 [9] [57], [40], [49]. 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 [14], [18]. 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 [18].

Tabla 4. Áreas y porcentajes en relación a la cuenca del Río Paute de los escenarios modelados, i.e., situación actual y futura.

Escenario	Área en hectáreas	* Porcentaje
Actual (1950-2000)	38,720	6.01%
2020's	44,100	6.85%
2050's	42,910	6.66%

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



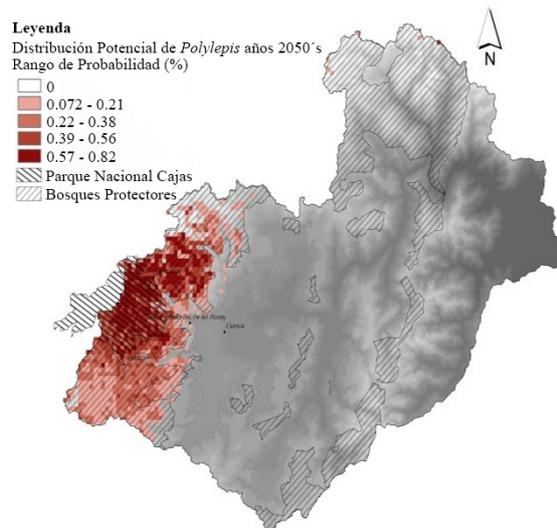


Figura 2: Modelación de distribución de *Polylepis* en la cuenca del río Paute: distribución potencial actual (arriba, izquierda), distribución potencial de acuerdo al escenario de cambio climático HadCM3-A2 para los años 2020's (arriba, derecha) y 2050's (abajo, centro).

Según Thomas et al. [56] un cambio climático mínimo produciría la extinción del 18% de las especies conocidas, mientras que un cambio máximo el 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 [5]. 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 pocas modelizaciones bioclimáticas 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 [44].

### 3.4 Evaluación de los Parámetros utilizados en los modelos Maxent para *Polylepis*.

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 se analizó como primer paso el rendimiento del modelo Omission and Predicted Area (Figura 3), el cual se describe de la siguiente manera [51]

- 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) versus 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 acumulados (Cumulative thresholds).
- Predicted omission (línea negra) es una línea de referencia.

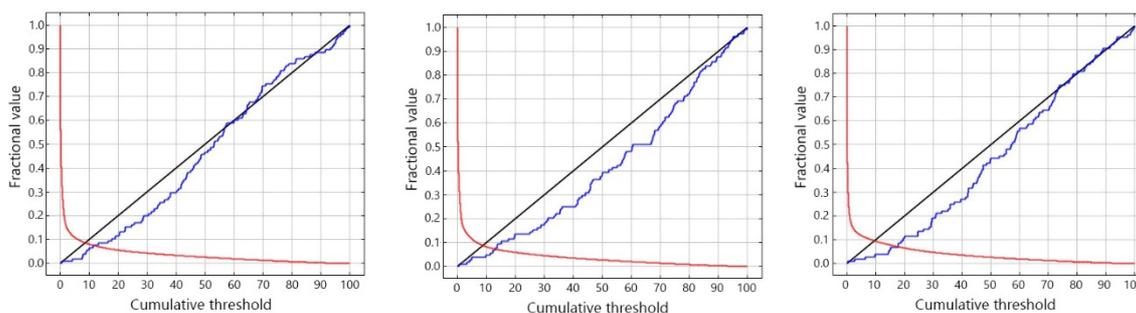


Figura 3. Análisis AUC de los modelos de distribución actual y futuro de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute, a)  $AUC=0.969$  del modelo actual, b)  $AUC=0.970$  del modelo futuro 2020's y c)  $AUC=0.969$  del modelo futuro 2050's.

En la figura 3 se puede observar 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 muy por debajo 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 [41].

Como resultado tenemos que el 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 indica que los modelos se encuentran bien generados. Por lo tanto, el AUC de los modelos construidos tienen una alta probabilidad que una ocurrencia seleccionada aleatoriamente esté ubicada en una celda del raster, según Phillips et al. [41] y Fawcett [23] esto implica una elevada posibilidad de la presencia de dicha especie que un punto generado fortuitamente.

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 solides al modelo.

Además, se evaluaron las Variables Bioclimáticas para conocer cuál de éstas es la que aporta con mayor información a los modelos pues estas variables determinan la adaptación de ciertas especies a zonas de vida, como es caso de *Polylepis* [12], en este estudio se identificó que para todos los modelos estimados tanto para los considerados actuales y futuros las variables BIO 9 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), son las que mas influyen dentro de los modelos de estimación, esto se asemeja con lo estudiado por Delgado [18] la cual realiza predicciones espaciales con varias familias vegetales entre ellas la familia Rosaceae demostrando que entre las variables que más influyen los modelos están la Temperatura del trimestre más seco la Precipitación. De ahí la importancia de 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 [50].

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

Al evaluar los impactos de los escenarios de cambio climático entre los diferentes modelos de *Polylepis*, se observó que en el modelo de impacto Actual - 2020's tiene una probabilidad alta de impacto bajo, por cuanto el área de impacto es mayor según se muestra en la tabla 5, por otro lado, el modelo Maxent muestra una distribución menor de la especie en esta serie de tiempo; en cambio en áreas de impacto alto es menor.

Estos comportamientos de impacto probablemente se deban a que las condiciones climáticas para *Polylepis* no serían limitantes para su distribución, sin embargo, 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 [15], siendo este un efecto directo en su distribución en el futuro.

La comparación del modelo actual y 2050's indica que la tendencia de la distribución de los impactos es la misma variando en el tamaño de sus áreas como lo indica la tabla 3. Igualmente, en los dos modelos de impacto se puede determinar que las nuevas áreas idóneas, ocupan un segundo lugar en tamaño, interpretándose que el *Polylepis* tendría probabilidades de ocurrir en estas áreas en el futuro, pero que no son idóneas para la ocurrencia natural en las condiciones actuales [51].

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, es más importante el efecto de las actividades antropogénicas en la pérdida de los bosques de *Polylepis*. Los habitantes de las zonas andinas utilizan la madera de *Polylepis* para la elaboración de carbón y como postes para cercas [39], y no comprenden los valores indirectos que aportan estos bosques.

Tabla. Áreas de impacto por el cambio climático.

Descripción	Área (ha) 2020's	Área (ha) 2050's
Áreas de Bajo Impacto	26,260	26,180
Nuevas Áreas Idóneas	17,050	15,940
Áreas de Alto Impacto	1,452	1,391
Áreas de Probabilidad Nula	599,100	600,500

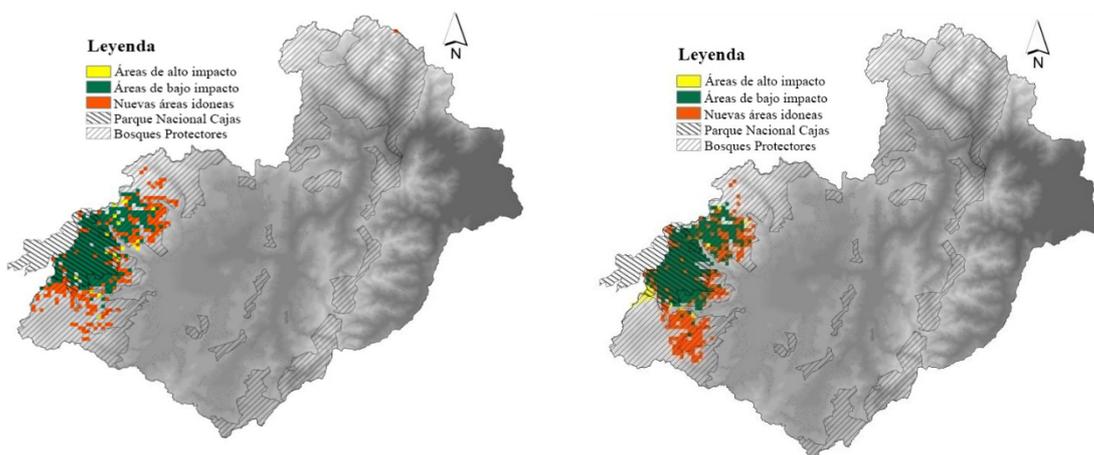


Figura 5. Impacto del cambio climático en la distribución de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute, a) Probabilidad que *Polylepis* ocurra en los años 2020's y b) Probabilidad que *Polylepis* ocurra en los años 2050's con relación al clima actual.

La adaptación genética de las especies rara vez se considera en la literatura, sobre todo en los efectos bióticos que producirá el cambio climático futuro. 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 demostraron 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 [17].

#### 4. Conclusiones

A pesar de tener 134 ocurrencias de *Polylepis* en la cuenca del Río Paute, la probabilidad de que este género esté en otras partes del área de estudio es casi nula, esto se debe a las condiciones climáticas y morfológicas que necesita para desarrollarse; las cuales solo son aptas en la parte alta de la cuenca Paute.

Luego de generar los modelos potenciales de presencia de *Polylepis*, a partir de un escenario actual y escenarios futuros, se evidencia que no hay una pérdida de área en la distribución de la especie, 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, está basada en datos históricos del período 1950-2000; siendo un factor que podría ocasionar posibles errores en los resultados. También se debería evaluar si, 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 investigadores como Cuesta et al [13], Ochoa et al [39], Vásquez, A., y Buitrago, A. C. [56]. Sin embargo, el modelo a futuro no muestra una amenaza por el efecto del cambio climático, pues por su lento crecimiento y estructura compleja.

Mientras que a partir de los años 2020's y 2050's, se evidencia que existe un cambio en el área y forma de distribución de *Polylepis* en la Cuenca del Río Paute; esto se debe a que habrá trimestres secos y la isothermicidad en los páramos será más fuerte, ocasionando que estos hábitats se distribuyan en menor tamaño.

Al momento de generar la modelación de los impactos que causaría el cambio climático en estos bosques se evidenció que las áreas consideradas de bajo impacto es donde la especie probablemente ocurra, tanto en las condiciones climáticas actuales como en las condiciones climáticas futuras. Esto demuestra que el *Polylepis* en teoría no se verá muy afectado por el cambio climático y como lo explican algunos investigadores, la fragmentación inducida por el hombre es la que más 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 las múltiples presiones, en particular al aumento del uso intensivo del suelo y la destrucción asociada de hábitats naturales o seminaturales, además de la introducción de especies exóticas.

La modelación del impacto del cambio climático da como resultado zonas denominadas nuevas áreas idóneas. Estas cubren áreas importantes en los escenarios climáticos futuros, puesto que 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 el *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 el interés de que estos sitios se los considere como potenciales para la conservación debido al impacto que soportarían en un futuro, no solo esta especie sino todas las que habitan en estos ecosistemas.

Si bien, se han generado modelos de predicción tanto actuales como futuros, es importante mencionar que se debería trabajar a la par con otras especies que habitan estos ecosistemas, ya que estos bosques albergan a muchas especies de animales y plantas que influyen mucho en su distribución. Es importante considerar que el estudio es el primero que se realiza con el género *Polylepis*, siendo de gran importancia este

primer acercamiento para conocer los cambios que pudiera sufrir en su distribución espacial bajo escenarios de cambio climático.

Los modelos SIG que ayudan a la predicción de nuevas áreas de distribución de especies, son herramientas útiles para la conservación, que se deberían utilizar de forma técnico-científica para así identificar áreas prioritarias de conservación y de fuentes hídricas; las cuales podrían servir como un criterio para la delimitación de áreas protegidas.

## Referencias

- [1] Aguirre, C., y Chamba, C. (2010). Patrones de comportamiento de 10 especies vegetales del páramo del Parque Nacional Podocarpus ante escenarios de cambio climático. Universidad Nacional De Loja Área Agropecuaria Y De Recursos Naturales Renovables, Carrera De Ingeniería Forestal. Loja-Ecuador.
- [2] Araújo, M. B., y Williams, P. H. (2000). Selecting areas for species persistence using occurrence data. *Biological Conservation*, 96(3), 331-345.
- [3] Arnell, N. W., Livermore, M. J., Kovats, S., Levy, P. E., Nicholls, R., Parry, M. L., y Gaffin, S. R. (2004). Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines. *Global Environmental Change*, 14(1), 3-20.
- [4] Bader, D., Gutowski, W., Miller, R., Kunkel, K., Covey, C., Tokmakian, R. y Zhang, M. (2008). Climate models: an assessment of strengths and limitations. Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, D.C., USA, 124 pp.
- [5] Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., y Kundzewicz, Z. (2007). IPCC, 2007: climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva. < <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm>.
- [6] 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](http://data.gbif.org), 2012-08-29)
- [7] Cáceres, L., Núñez, A., Romero, R., y Viteri, S. (2011). Segunda comunicación nacional sobre cambio climático.
- [8] Cadenas, J. G., y Simón, M. A. (2004). Aplicación de un sistema de evaluación multicriterio a la conservación de fauna silvestre mediante un SIG. Territorio y medio ambiente: métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica, 289.
- [9] Chapin Iii, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., y Mack, M. C. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405(6783), 234.
- [10] Chiarucci, A., Araújo, M. B., Decocq, G., Beierkuhnlein, C., y Fernández-Palacios, J. M. (2010). The concept of potential natural vegetation: an epitaph?. *Journal of Vegetation Science*, 21(6), 1172-1178.
- [11] Cordova Mora, M. A., Carrillo Rojas, G. J., Celleri Alvear, R. E., y Crespo Sanchez, P. J. (2015). Evaluation of the Penman-Monteith (FAO 56 PM) Method for Calculating Reference Evapotranspiration Using Limited Data.
- [12] Cuesta, F., Peralvo, M., y Ganzenmüller, A. (2008). Posibles efectos del calentamiento global sobre el nicho climático de algunas especies en los Andes Tropicales. Páramo y Cambio Climático. Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador/EcoCiencia. Serie Páramo, (23).
- [13] Cuesta, F., Peralvo, M., y 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.
- [14] Cuesta-Camacho, F., Ganzenmüller, A., Peralvo, M., Novoa, J., y Riofrío, M. G. (2006). Predicting specie's niche distribution shifts and biodiversity change within

- climate change scenarios. A regional assessment for bird and plant species in the Northern Tropical Andes. Biodiversity Monitoring Program: EcoCiencia, Peru.
- [15] Culley, T. M., Sbita, S. J., y Wick, A. (2007). Population genetic effects of urban habitat fragmentation in the perennial herb *Viola pubescens* (Violaceae) using ISSR markers. *Annals of botany*, 100(1), 91-100.
- [16] CCSP (Climate Change Science Program). (2008). Impacts of climate change and variability on transportation systems and infrastructure: Gulf Coast Study, Phase I
- [17] Davis, M. B., y Shaw, R. G. (2001). Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change. *Science*, 292(5517), 673-679.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P. et al. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129–151.
- [21] Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., y Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57.
- [22] Esri, G. I. S. (2006). Mapping Software. ArcGIS: <http://www.esri.com/software/arcgis>.
- [23] Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27(8), 861-874.
- [24] Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 25(15), 1965-1978.
- [25] Hijmans, R. J., y Graham, C. H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global change biology*, 12(12), 2272-2281.
- [26] Graham, A. J., Atkinson, P. M., y Danson, F. M. (2004). Spatial analysis for epidemiology.
- [27] Guisan, A., Lehmann, A., Ferrier, S., Austin, M., OVERTON, J., Aspinall, R., y Hastie, T. (2006). Making better biogeographical predictions of species' distributions. *Journal of Applied Ecology*, 43(3), 386-392.
- [28] Guisan, A., y Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, 8(9), 993-1009.
- [29] IPCC. (2000). Informe especial del IPCC. Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de políticas. Grupo de Trabajo III.
- [30] IPCC. (2002). Cambio Climático y Biodiversidad. Documento técnico V. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- [31] Iturralde-Pólit, P. M. (2010). Evaluación del posible impacto del cambio climático en el área de distribución de especies de mamíferos del Ecuador (Bachelor's thesis, QUITO/PUCE/2010).
- [32] Jaynes, E. T. (1957). Information theory and statistical mechanics. *Physical review*, 106(4), 620.
- [33] Kessler, M. 1995. The genus *Polylepsis* (Rosaceae) in Bolivia. *Candollea* 50:131-171.
- [34] Kessler, M., y Herzog, S. 1998. Conservation status in Bolivia of timberline habitats, elfin forest and their birds. *Cotinga* 10: 50-54.
- [35] Loidi, J., y Fernández-González, F. (2012). Potential natural vegetation: reburying or reborning?. *Journal of Vegetation Science*, 23(3), 596-604.
- [36] McCarthy, J. J., Canziani O. F., Leary N. A., Dokken D. J. y White K. S. (2001). Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- [37] Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, T., Gregory, J. M., y Raper, S. C. (2007). Global climate projections.

- [38] Merow, C., Latimer, A. M., Wilson, A. M., McMahon, S. M., Rebelo, A. G., y Silander, J. A. (2014). On using integral projection models to generate demographically driven predictions of species' distributions: development and validation using sparse data. *Ecography*, 37(12), 1167-1183.
- [39] 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.
- [40] Parmesan, C., y Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37.
- [41] Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.
- [42] Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., y Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological applications*, 19(1), 181-197.
- [43] Phillips, S. J., y Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.
- [44] Phillips, S. J., Dudík, M., y Schapire, R. E. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning* (p. 83). ACM.
- [45] Pearson, R. G., y Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Global ecology and biogeography*, 12(5), 361-371.
- [46] Peterson, A. T., Martínez-Campos, C., Nakazawa, Y., y Martínez-Meyer, E. (2005). Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and human dengue cases. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 99(9), 647-655.
- [47] Pinos, J., Studholme, A., Carabajo, A., y Gracia, C. (2017). Leaf Litterfall and Decomposition of *Polylepis reticulata* in the Treeline of the Ecuadorian Andes. *Mountain Research and Development*, 37(1), 87-96.
- [48] Phillips, S. J., Anderson, R. P., y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3), 231-259.
- [49] República del Ecuador. Ministerio del Ambiente. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025*
- [50] Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., y Pounds, J. A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421(6918), 57.
- [51] Santillan, V. (2013). *Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la Elaboración de Modelos Zoogeográficos: un Estudio de Caso*. Universidad del Azuay. Cuenca.
- [52] Scheldeman, X., y van Zonneveld, M. (2011). *Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas*. Bioersivity International, Roma, Italia.
- [53] Sierra, M. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*. Proyecto Inefan/Gef-Birf y Ecociencia.
- [54] Thuiller, W., Albert, C., Araújo, M. B., Berry, P. M., Cabeza, M., Guisan, A., ... y Sykes, M. T. (2008). Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 9(3-4), 137-152.
- [55] Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M. B., Sykes, M. T., y Prentice, I. C. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(23), 8245-8250.
- [56] Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., y Hughes, L. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145.

- [57] Vásquez, A., y Buitrago, A. C. (2011). El gran libro de los páramos. Bogotá DC: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Proyecto Páramo Andino.
- [58] Walther, J. B., y Parks, M. R. (2002). Cues filtered out, cues filtered in. Handbook of interpersonal communication, 3, 529-563.
- [59] Xavier Scheldeman, X., y Maarten, V. (2011). Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas. Biodiversity International. Rome, Italy.