



## ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO DEL BOSQUE SIEMPREVERDE DEL PÁRAMO RESERVA DE PRODUCCIÓN DE FAUNA CHIMBORAZO-ECUADOR †

[CLIMATE CHANGE SCENARIO OF EVERGREEN FOREST OF THE MOORLAND CHIMBORAZO FAUNA PRODUCTION RESERVE-ECUADOR]

Daniel Adrian Vistin Guamantaqui\*, Eduardo Antonio Muñoz Jácome and Guicela Margoth Ati Cutiupala

Facultad de Recursos Naturales, Instituto de Investigaciones, Proyecto MARERUS, Escuela Superior politécnica de Chimborazo, Panamericana sur Km 1 ½, Chimborazo, Riobamba, Ecuador, CP: 060155, Tel: +(593) 0962934394, email: \*[daniel.vistin@esPOCH.edu.ec](mailto:daniel.vistin@esPOCH.edu.ec); [adrianvistin@yahoo.com](mailto:adrianvistin@yahoo.com); [emunoz@esPOCH.edu.ec](mailto:emunoz@esPOCH.edu.ec); [guicela.ati@esPOCH.edu.ec](mailto:guicela.ati@esPOCH.edu.ec)

\*Corresponding author

### SUMMARY

**Background.** Despite a large number of scientific disclosures on climate change issues, few studies show the effects on vegetation in high Andean ecosystems and especially within Protected Areas. **Objective.** Determine a predictive model using a radical scenario to establish the behavior of four species that make up the arboreal component of the forest remnants and their potential distribution for the year 2100. **Methodology.** By using 19 bioclimatic variables and the orography obtained from WorldClim, the QGIS software, MaxEnt and 221 occurrences of the four tree species, the current ecological niche was modeled and projected to 2100 based on the General Circulation Model (HadCM3) and the emissions of CO<sub>2</sub> under the RCP 6.0 scenario. **Results.** In general, the result of the research envisions a highly negative outlook regarding the occupation area for 2100, determining that 125 ha will decrease due to the differentiation of temperature and precipitation (Bio7, Bio 14), however, 3734.63 ha will be created as new Proper sites to host these species due to the change that is specifically expected to the southeast of the reserve as a result of the increase in the planet's temperature. **Implications.** Results allow elaborating recommendations for adaptation to climate change and reducing future vulnerability. **Conclusions.** Due to the global importance that it represents for humanity and the complexity of the factors that influence the problem, a greater number of studies are necessary that contribute to a better understanding and contribute to the identification of risks and threats to generate timely adaptation strategies, mitigation and slowdown to the potential impacts of climate change.

**Keywords:** Climate change; MaxEnt; distribution models; ecological niche; bioclimatic variables; WorldClim.

### RESUMEN

**Antecedentes.** A pesar de un gran número de divulgaciones científicas en temáticas de cambio climático son pocos los estudios que demuestran las afectaciones sobre la vegetación en ecosistemas altoandinos y de manera especial dentro de las Áreas Protegidas. **Objetivo.** Determinar un modelo predictivo usando un escenario radical para establecer el comportamiento de cuatro especies que conforman el componente arbóreo de los relictos de bosque y su potencial distribución para el año 2100. **Metodología.** Mediante la utilización de 19 variables bioclimáticas y la orografía obtenidas de WorldClim el software QGIS, MaxEnt y 221 ocurrencias de las cuatro especies arbóreas se modelo el nicho ecológico actual y proyectado al 2100 en base al Modelo de Circulación General (HadCM3) y las emisiones de CO<sub>2</sub> bajo el escenario RCP 6.0. **Resultados.** De manera general el resultado de la investigación vislumbra un panorama altamente negativo con respecto al área de ocupación para el 2100 determinándose que decrecerán 125 ha debido a la diferenciación de temperatura y precipitación (Bio7, Bio 14) no obstante, se crearán 3734.63 ha como nuevos sitios propicios para albergar a estas especies debido al cambio que se espera específicamente al sureste de la reserva como consecuencia del aumento de la temperatura del planeta. **Implicaciones.** Los resultados permiten elaborar recomendaciones para la adaptación al cambio climático y reducir la vulnerabilidad futura. **Conclusiones.** Debido a la importancia mundial que representa para la humanidad y a la complejidad de los factores que influyen en la

† Submitted August 5, 2020 – Accepted February 17, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License. ISSN: 1870-0462.

problemática es necesaria un mayor número de estudios que contribuyan a entender de mejor manera y coadyuve en la identificación de riesgos y amenazas para generar estrategias oportunas de adaptación, mitigación y ralentización a los impactos potenciales del cambio climático.

**Palabras clave:** Cambio climático; MaxEnt, modelos de distribución; nicho ecológico; variables bioclimáticas; WorldClim.

## INTRODUCCIÓN

La Reserva de Producción de Fauna de Chimborazo (RPFCH) se crea con Acuerdo Ministerial No. 437 del 26 de octubre de 1987 publicado en el Registro Oficial No. 806 del 9 de noviembre del mismo año, cuyo objetivo de su declaratoria como Reserva Faunística es apoyar el desarrollo de las 41 comunidades que habitan en su interior además de ensayar la reintroducción de camélidos, protección de los páramos y apoyar a la investigación científica. La reserva es parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) del Ecuador desde 1987 se encuentra localizada políticamente en las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Bolívar posee una extensión de 58 560 hectáreas y goza de la presencia de dos volcanes el Carihuairazo y Chimborazo con 5 020 y 6 310 msnm respectivamente (MAE, 2014).

En cuanto a la temperatura esta varían entre 0 y 11°C en la cumbre del Chimborazo y un promedio máximo de 8,81°C en las estribaciones oriental y occidental de la reserva. La temperatura mínima registrada en la RPFCH es de -4,80°C en el mes de diciembre y la máxima de 11,40°C en el mes de noviembre (Fick, 2017). Los extremos registrados se explican por la amplia variación altitudinal al interior de la RPFCH determinada por la presencia del volcán Chimborazo y Carihuairazo en su interior. En la zona es frecuente en los días más fríos y húmedos que ocurra precipitación en forma de nieve o escarcha en las zonas más altas (MAE, 2014).

Florísticamente, la RPFCH alberga ocho formaciones vegetales estas presentan un mosaico de vegetación correspondiente en su mayor parte a ecosistema de páramo y relictos de bosque con formaciones de vegetación andina achaparrada tanto arbórea como arbustiva típica de climas rigurosos caracterizados por fuertes vientos y heladas, los relictos de bosque que son el objeto de estudio geográficamente se ubican únicamente en los sitios escarpados en las faldas del volcán Carihuairazo. En cuanto a la fauna se ha registrado 19 especies de mamíferos 62 de aves, 4 de reptiles y 10 de anfibios, la importancia faunística radica en que en ella habitan especies clave para la mantención del ecosistema como la vicuña (*Vicugna vicugna*), y especies endémicas como el colibrí estrella de Chimborazo (*Oreotrochilus chimborazo*) (MAE, 2014).

Dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMUNCC) y el Protocolo de Kyoto, Ecuador y 193 países asumieron varios compromisos en materia de cambio climático. Entre estos compromisos están: la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, adopción de medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático, y la elaboración de comunicaciones nacionales periódicas que incluyan, entre otros elementos, el inventario de gases de efecto invernadero, la descripción de las medidas adoptadas o previstas a adoptar y los programas y medidas de adaptación y mitigación al cambio climático (CMUNCC, 2004). Bajo este último compromiso es necesario generar diversos estudios sobre las afectaciones que producirán el cambio de los patrones climáticos globales que muestren las diferentes variaciones que podrían presentarse en todos los componentes que conforman los ecosistemas del Ecuador bajo diferentes escenarios teniendo en cuenta además factores que van de la mano como la infraestructura económica y social, la salud y el bienestar de las poblaciones (MINAM, 2015).

Con el objetivo de contribuir a los requerimientos de CMUNCC es necesario el estudio de ambientes boscosos altoandinos como una herramienta de medición del cambio climático, ya que en estos se evidencia claramente los efectos negativos que provoca a la composición, estructura, dinámica y función de estos biomas principalmente por las variaciones de la temperatura y precipitación en el planeta (Vistin y Barrero, 2017). En la actualidad gracias a los avances en el ámbito de la climatología y con la ayuda de los Modelos de Circulación General (GCM) que son una representación numérica multidimensional de la dinámica atmosférica y circulación general alrededor del planeta se busca representar procesos físicos en la atmósfera y en la superficie terrestre que ayuden a predecir los cambios futuros debido al aumento de los gases efecto invernadero y sus posibles consecuencias para los seres vivos (IPCC, 2013).

Bajo este esquema y en base a lo antes mencionado surge la necesidad de establecer estudios predictivos con variables climáticas (temperatura y precipitación) que ayuden a tener un panorama claro a futuro del aumento o disminución de los bosques altoandinos y sustentados en estudios científicos se establezca medidas para garantizar su permanencia a través del

tiempo y estos puedan seguir generando servicios ecosistémicos en beneficio de las comunidades. Estos ambientes de gran altitud son cada vez más vulnerables debido a la presión antropogénica como la fragmentación, deforestación y el incremento de la ganadería a escala industrial. Por esta razón nace la necesidad de desarrollar estudios de modelos predictivos para tomar decisiones en favor de la conservación biológica especialmente dentro de las áreas protegidas como un mecanismo de prevención y adaptación frente al calentamiento global (Zutta *et al.*, 2012).

Mendoza y Cano (2012) indica que los bosques altoandinos se sitúan en cotas desde los 3 500 hasta los 4 500 msnm en los andes tropicales y son poseedores de una gran biodiversidad, en el Ecuador son reconocidos como centros de alta diversidad biológica ya que no solo cuentan con un alto porcentaje de endemismo de especies de flora y fauna sino que también cumplen funciones específicas como la regulación hídrica y el almacenamiento de carbono (Griet *et al.*, 2018; Poca *et al.*, 2018; Vistin *et al.*, 2020) no obstante debido a las actividades antropogénicas estos han venido fragmentándose en los últimos 50 años y de manera especial el bosque siempreverde del páramo.

Debido a las condiciones climáticas crecen de forma encorvada y ramificada, confiriéndoles un aspecto muy particular, este tipo de ecosistema se encuentran formando relictos de bosques aislados en una matriz de vegetación herbácea o arbustiva (Beltrán *et al.*, 2009). Estos relictos boscosos se ubican en sitios menos expuestos al viento y a la desecación como laderas abruptas, fondo de los valles glaciares o en la base de grandes bloques de rocas de los circos glaciares (Castro y Flores, 2015). El estrato arbóreo está dominado por pocas especies, debido a limitaciones fisiológicas que impiden el crecimiento leñoso, el dosel está generalmente compuesto por especies del género *Polylepis* junto con *Gynoxys* y *Buddleja* aunque la dominancia de estos bosques varía mucho, llegando en algunos casos a formar unidades monotípicas de especies de *Polylepis* y *Gynoxys* (MAE, 2014; Montalvo *et al.*, 2018).

El objetivo de este trabajo es modelar el comportamiento del Bosque siempreverde del páramo de la RPFCH tomando las cuatro especies arbóreas representativas para el 2100 en base a 19 variables bioclimáticas además de la orografía tomadas de la base de datos de *WorldClim*. Se propone que existe un grupo limitado de factores ambientales que definen el nicho ecológico responsable en gran medida de la distribución de estos bosques, en consecuencia, este estudio plantea responder ¿Qué variables ambientales definen la distribución potencial de los relictos de bosque de la RPFCH frente a escenarios de cambio climático?

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se desarrolló en los relictos del Bosques siempreverde del páramo en la Parroquia Pilahuín provincia de Tungurahua dentro de la RPFCH cuya extensión es de 58 560 ha de las cuales el Bosques siempreverde del páramo está presente en 362 ha que representan el 0.8% del área protegida, este se distribuye en un rango altitudinal que va desde los 3 200 y 4 200 msnm (MAE, 2014) este ecosistema se lo encuentra en la parte noreste en una zona de ecotono con el ecosistema Arbustal siempreverde y herbazal del páramo y en el suroeste por el ecosistema Herbazal y arbustal siempreverde subnival del páramo.

La zona de estudio se localizan en las coordenadas 78° 45' 1.36" W y 1° 22' 38.43" S a una altitud 4 200 msnm (Figura 1), en cuanto a los factores diagnóstico de la zona presenta una fisonomía arbustiva, un bioclima pluvial ombrotipo húmedo y una fenología siempreverde y por la característica geográfica es una zona de no inundabilidad debido a la pendiente, en cuanto a la temperatura el promedio máximo es de 8.81 °C en las estribaciones oriental y occidental de la reserva mientras que la temperatura mínima registrada es de -4.8 °C en el mes de diciembre y la máxima de 11.4 °C en el mes de junio (Fick, 2017; INAMHI, 2019).

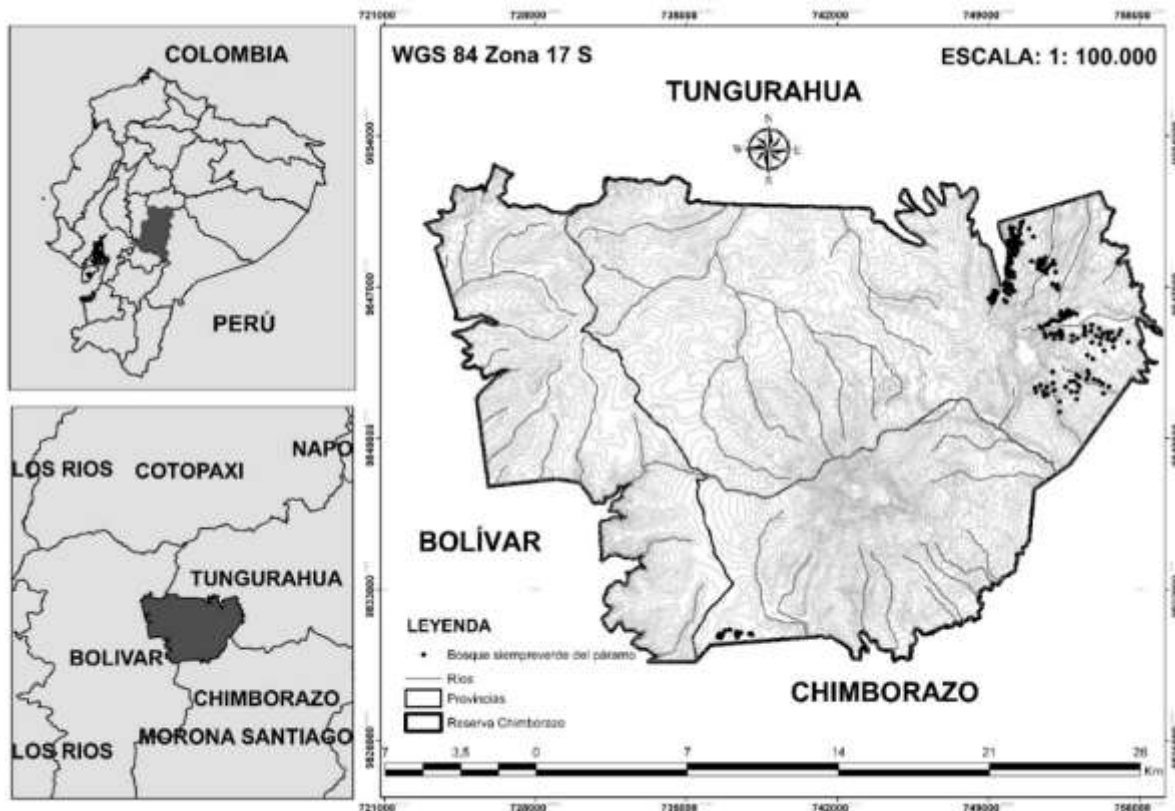
En cuanto al suelo dentro de esta formación vegetal son de origen volcánico con formaciones de rocas y sedimentos de material volcánico, morrenas y tovas volcánicas pliocénicas que corresponden al tipo Histosol ya que son suelos gruesos con un alto contenido de materia orgánica, almacena grandes cantidades de carbono con un pH ligeramente ácido y carecen de nutrientes minerales (MAG, 2017), la precipitación es frecuente en los días más fríos y húmedos que ocurra en forma de nieve o escarcha en las zonas más altas, se registra un promedio anual de 998 mm que varía entre 809 mm en las zonas menos lluviosas y los 1 300 mm en las zonas más húmedas (MAE, 2013).

### Datos de la distribución de las especies

Debido a que el número de registros de ocurrencias de las especies es crucial para obtener resultados aceptables en el modelo de predicción se tomó en consideración varios aspectos, dentro de los cuales destaca que se levantó un total de 221 registros de las cuatro especies en todos los relictos de bosque (Tabla 1), los cuales posteriormente fueron procesados y convertidos en un archivo shapefile de tipo puntos, de igual manera se establece los usos y la importancia medicinal que se les atribuye a cada una de estas ya que precisamente estos usos son los que de cierta

manera han contribuido a que su territorio disminuya paulatinamente en los últimos 50 años, a esto sumado el aumento de la temperatura del planeta y una sobreexplotación de productos forestales no

maderables ha dado paso a que los servicios ecosistémicos que brinda esta formación vegetal se vean comprometidos.



**Figura 1.** Localización del área de estudio y ubicación del bosque siempreverde del páramo (RPFCH).  
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 1.** Nombre científico, usos e importancia y número de ocurrencias de cada una de las cuatro especies arbóreas de los relictos de bosque en la RPFCH.

Nombre científico	Importancia y usos	Ocurrencias
<i>Gynoxys acostae</i> Cuatrec	Se la utiliza en la farmacéutica para la extracción de alcaloides y conductos laticíferos, ornamentales, rehabilitación ecológica.	43
<i>Buddleja incana</i> Ruiz & Pavón	El follaje se lo utiliza para infusiones para solucionar problemas de riñón, ovarios, gastritis y úlceras y se lo aplica en la piel para cicatrizar heridas.	55
<i>Polylepis incana</i> Kunth	Leña, madera, protección de fuentes de agua, la corteza se utiliza para curar enfermedades renales respiratorias y para teñir tejidos.	75
<i>Polylepis reticulata</i> Hieron	Carbón, leña, cercos, Carpintería, agroforestería, instrumentos de labranza, vigas para techos, protección de cultivos contra las heladas, protección y cobijo del ganado.	48

### Selección de modelo climático

Para la modelación de los relictos de bosque se obtuvo la información de la base de datos de *WorldClim Global Climate Data*, con una resolución de 30 segundos para los años 2020 y 2100 con las 19 variables bioclimáticas (Tabla 2) y la elevación ya que es importante tener los valores mensuales de temperatura y precipitación para generar variables biológicamente más significativas (Fick, 2017). Para este estudio se tomó en consideración el Modelo de Circulación General (*General Circulation Models, o GCM*) HadCM3 adoptándose el escenario A2 ya que este presenta las mayores emisiones de gases de efecto invernadero el cual permite saber el comportamiento de esta formación vegetal bajo un ambiente extremo.

**Tabla 2. Listado y significado de las variables bioclimáticas utilizadas.**

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango medio diario (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

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> para el escenario RCP6.0 utilizado corresponden a 720 ppm es decir tres veces los valores que hubo en la era preindustrial (Johnson *et al.*, 2001; Delgado, 2011; Titeux *et al.* 2016) de igual manera la temperatura promedio se espera que suba

3.9°C lo que ocasionará efectos directos sobre la fisiología de estas cuatro especies arbóreas lo que conducirá a una mayor evapotranspiración relativa en estas áreas lo cual contribuirá a una acelerada disminución en el área de ocupación como consecuencia del cambio climático (IPCC, 2013; IPCC, 2014; IPCC, 2019).

### Modelación y análisis estadístico

Para esta investigación se utilizó el software MaxEnt (versión 3.4.1) el cual utiliza el algoritmo de máxima entropía para modelar la distribución de las especies que conforman los relictos de bosque, para esto utilizó tres tipos de información a) una colección de ocurrencias donde se ha registrado la especie, b) la superficie de interés del estudio y c) variables ambientales o climáticas de la superficie de interés (Phillips *et al.*, 2006). MaxEnt proporciona un rango continuo de probabilidad a través del área geográfica con valores que van de 0 a 1 así mientras más cercanos los valores estén a uno indicaron una mayor posibilidad de encontrar las especies que se están analizando y mientras más se alejaron de uno tuvieron una menor posibilidad de encontrarlas.

Con los datos del modelo global ya establecido se realizó una evaluación de las variables (precipitación y temperatura) a través de un análisis de correlación para determinar la fuerza, dirección de la relación lineal y de proporcionalidad entre las 19 Bios (Armenta *et al.*, 2016).

## RESULTADOS

### Análisis de distribución actual de los relictos de bosque siempreverde del páramo de la RPFCH

El Análisis de distribución actual de los relictos de bosque en base a las ocurrencias levantadas en campo determinan que en la mayoría se encuentran distribuidas al noreste de la reserva, el modelo utilizado para proyectar refleja una alta confiabilidad en función de las 19 variables utilizadas permitiendo conocer patrones de distribución veraces para este estudio, por tal motivo se determina que el área de distribución potencial actual tiene una superficie de 380 ha en la parte noreste, mientras que al suroeste de la reserva su ocurrencia es menor con una extensión de 4.30 ha.

A través del procesamiento de los datos en el modelado basado en el escenario HadCM3-A2 se ha obtenido el área de distribución potencial actual para todos los relictos dentro de la reserva en él se muestra la idoneidad del nicho ecológico potencial mediante un código de colores, comprendido entre 0 y 1 según la probabilidad de hábitat potencial, considerándose como alta a aquellos valores comprendidos entre 0.55

y 1. Se puede observar que las regiones con alta probabilidad de hábitat potencial se encuentran restringidas a las estribaciones del volcán Carihuirazo (Figura 3), además en la zona suroeste pero en una mínima área.

A través del coeficiente de correlación de Pearson se determinó el porcentaje de contribución de cada variable al modelo (Tabla 3). Las variables que más han contribuido han sido Rango anual de temperatura (Bio 7) con el 38.4% y precipitación del mes más seco (Bio 14) con el 27.9% lo que indica que estas dos son las que limitan la distribución normal de estas especies, de igual manera 11 variables (Bio 15, 18, 17, 12, 2, 3, 4, 5, 6, 13, 16) contribuyen con el 41.7% y seis que no presentaron una contribución para este estudio. No obstante, en la permutación la precipitación del trimestre más cálido alcanza una significancia de 42.6 mientras que el rango anual de temperaturas 15.9 y la temperatura mínima del mes más frío 17.5 en relación con el orden establecido de las variables.

Para la validación del modelo se indica el comportamiento de la curva ROC (Figura 2) la misma que cuenta con un valor AUC de 0.946 lo que indica que el modelo es aceptable. El valor umbral logístico ETSS fue de 0.224 y la sensibilidad obtenida mediante el uso de este valor fue de 0.81 mientras que la prueba de omisión binomial mostró valores con una significancia de  $p < 0.01$  lo que quiere decir que la predicción del modelo es muy aceptable.

En la figura 2 se puede observar que las ocurrencias son independientes entre cada una de ellas debido a la disposición entre la línea que indica la Omisión de muestras de formación y la línea de Omisión prevista. El acercamiento al valor de la unidad en el AUC indica que el modelo se encuentra bien generado. Por lo tanto, el modelo construido tiene una alta probabilidad que una ocurrencia seleccionada de forma aleatoria esté ubicada en una celda de cualquier raster de los 19 Bios. Se trabajó con un análisis de umbral de 10 percentiles que es el valor de probabilidad en el que el 90% de los puntos de presencia estarán dentro del área potencial modelada. El 10 % restante de los puntos que caen por fuera del área potencial se determinó como puntos con ambiente atípico los cuales se descartaron con el objetivo de dar una mayor solidez al resultado del modelo.

#### **Análisis de distribución para el 2100 de los relictos de bosque siempreverde del páramo de la RPFCH**

Los resultados obtenidos del modelamiento en los relictos de bosque en base al modelo HadCM3-A2 donde se toma en consideración el valor exponencial de 82.73 giga toneladas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera para el 2100 provoca un aumento de la temperatura en la zona de estudio incrementando paulatinamente el nicho

ecológico para las 4 especies arbóreas que conforman el bosque especialmente hacia el noreste y sureste de la reserva (Figura 3) con un aumento en la distribución de 3 734.63 ha mientras que para el relicto ubicado al suroeste no se registra ninguna alteración en su distribución por lo que se establece que es altamente vulnerable a cualquier cambio en las variables que permiten su existencia o que lo rigen, sin embargo estas 4 especies no son entes aislados más bien forman una asociación compleja con otras especies arbustivas y herbáceas donde es difícil describir las interacciones biológicas que ahí se dan, por lo que estos organismos más pequeños que habitan este ecosistema no podrían adaptarse rápidamente siendo condenados a desaparecer de esta zona.

La predicción del modelado para los relictos de bosque en la RPFCH para el año 2100 utilizando un escenario drástico innegablemente se observa una disminución del área de ocupación de este bosque (Tabla 4), esto gracias a la variabilidad e inestabilidad climática registrada en los últimos 30 años (Anderson *et al.*, 2011) lo que ha provocado numerosos cambios y transformaciones en la distribución de las especies que se encuentran por encima de la cota de los 3 500 msnm (Vásquez y Butriago, 2011). Las cuatro especies representativas que conforman el componente arbóreo de los relictos de bosque de la reserva si bien es cierto disminuirá en un 32.53% del área total con este escenario se espera una expansión del nicho ecológico al sureste de la reserva en 3 734.63 ha (Figura 3) específicamente al sur del volcán Carihuirazo donde actualmente se encuentra el ecosistema Herbazal húmedo subnival del páramo y el Herbazal húmedo montano alto superior del páramo.

Mediante el análisis de la distribución de los relictos de bosque se establece que con los valores de las variables bioclimáticas (Bios) pronosticadas en la reserva para el 2100 (Figura 3) se formarían nuevos escenarios con condiciones idóneas para una expansión de estas especies, no obstante también dependerá de la dinámica, antropización, estado de conservación y decisiones que tomen los responsables de la reserva en políticas de conservación además de otros factores como los biológicos, ecológicos y biogeográficos (Maciel *et al.*, 2015), el relicto ubicado al suroeste conocido como “El bosque de *Polylepis*” no presenta cambios en su distribución determinándose como un área vulnerable muy dependiente de las variables que estriba su presencia debido al espacio geográfico donde se asienta, por otro lado se espera una disminución de 125 ha como consecuencia del aumento de temperatura en el planeta no obstante este valor podrá ser mayor dependiendo del grado de afectación por parte de las comunidades aledañas que habitan estas zonas coincidiendo con lo que manifiesta Herzog *et al.* (2011) donde asevera que en los modelos de simulación para el año 2080 en los Andes tropicales

de Ecuador Colombia, Venezuela y Perú con cotas superiores a los 4 000 msnm se extinguirán 125 especies nativas debido al aumento de la temperatura media nocturna.

**Tabla 3. Porcentaje de contribución de todas las variables empleadas por MaxEnt en la elaboración del modelo predictivo.**

Variable	Contribución (%)
Bio 7	38.4
Bio 14	27.9
Bio 15	8.9
Bio 18	8.3
Bio 17	3.3
Bio 12	2.4
Bio 2	2.2
Bio 3	2.1
Bio 4	1.9
Elev 30	1.6
Bio 5	1.3
Bio 6	0.8
Bio 13	0.5
Bio 16	0.4

El bosque de *Polylepis* se convierte en una zona que puede desaparecer muy fácilmente debido al cambio climático global, tomando en cuenta lo que afirma Thomas *et al.* (2004) y Urban (2015) que un cambio mínimo en la temperatura provocaría la extinción del 18% de las especies conocidas en el planeta y un máximo el 35%, de igual manera el IPCC menciona que un 35% de especies de flora y fauna entrarían en un grado de amenaza y por consiguiente de peligro de extinción si la temperatura global media se excede en 1.5 – 2.5 °C, estas proyecciones son desfavorables especialmente cuando se trata de ecosistemas biodiversos y con altos grados de endemismo como es el caso de los Andes tropicales y en especial el bosque siempre verde del páramo el cual actualmente tiene una extensión de 8 787 ha en el Ecuador (MAE, 2014) y 384.30 ha en la reserva según este estudio el cual representa el 4.37% del total de esta formación vegetal en el país.

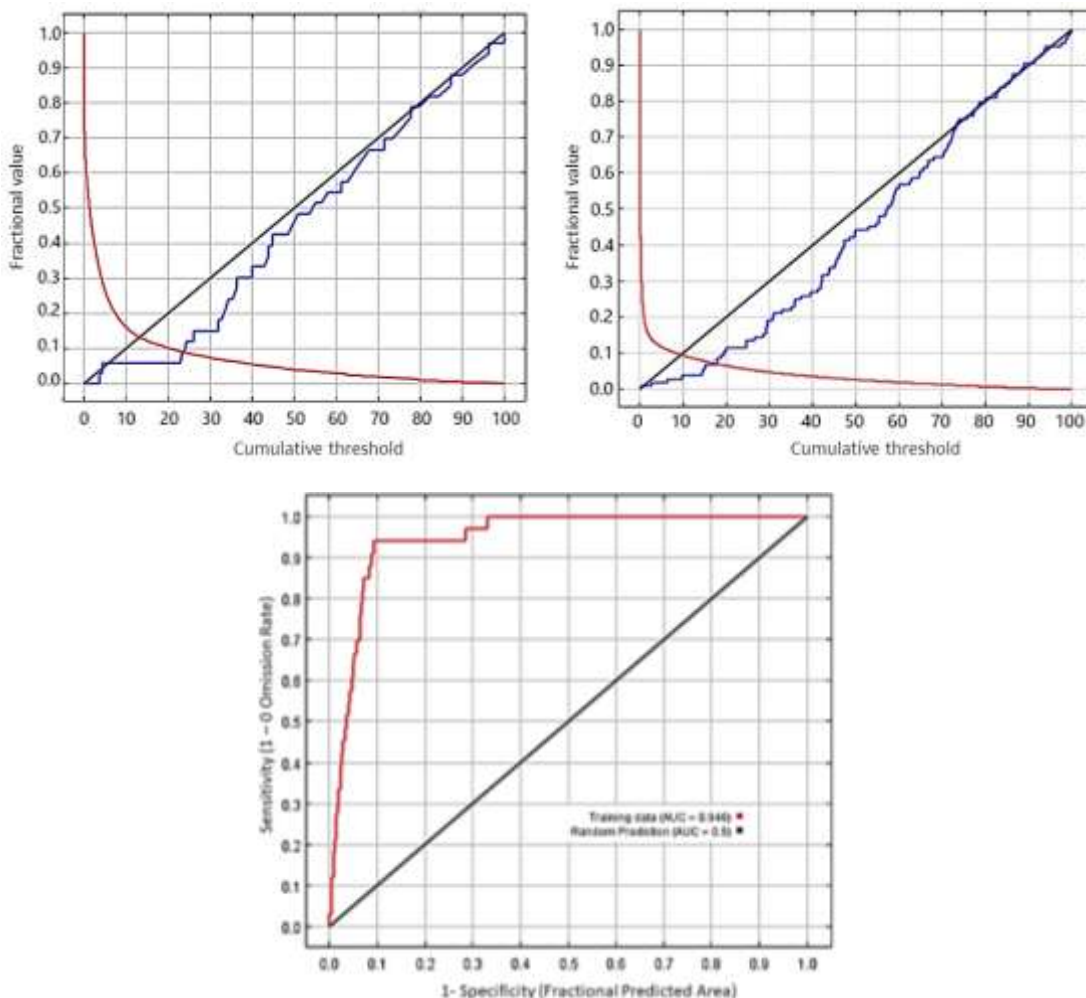
### DISCUSIÓN

Predecir los cambios de adaptación de las especies vegetales en respuesta al cambio climático presenta un desafío para los científicos ya que hasta el día de hoy son pocos los modelos que se presentan sobre temáticas donde se mide la influencia del clima en la vegetación altoandina (Fuentes-Lillo y Pauchard, 2019), debido a la complejidad con las que están asociadas las especies vegetales y de las cuales

depende su ocurrencia, para las especies de *Polylepis* existe una complejidad adaptativa que requiere estudios más profundos debido a la escasa información sobre las variables edáficas y climáticas óptimas que requieren para su normal desarrollo (Mendoza y Cano, 2012) además de su plasticidad fenotípica (Toivonen *et al.*, 2014) así como factores topográficos que influyen en su distribución geográfica (Cuyckens *et al.*, 2016; Sevillano-Ríos y Rodewald, 2017; Griet *et al.*, 2018). Sin embargo, la vulnerabilidad de estos relictos de bosques radica en que puede ser diferencial lo que indica que son más sensibles a las de cotas bajas lo que significa que la capacidad de migración ascendente es inferior en comparación a la de otras especies asociadas en estos bosques.

En virtud del creciente interés en el desarrollo de nuevos métodos que permitan predecir la distribución de las especies surge una expectativa interesante en su aplicación a la conservación de la diversidad biológica de estos relictos de bosque ante la crisis por la pérdida de los mismos donde se pone de manifiesto un creciente interés en identificar áreas prioritarias para su conservación, bajo esta premisa para esta área de estudio se determina que las variables que más influyen son el Rango anual de temperatura (Bio 7) y la precipitación del mes más seco (Bio 14) determinándose que cuando estas dos variables se vean alteradas se acelerará el proceso de extinción de los relictos de bosque, concordando con lo expuesto por Timaná y Cuentas (2015) donde además asevera que la vegetación altimontana se extingue principalmente debido a que no cuentan con nuevos espacios hacia donde migrar ya que esta vegetación está limitada en la actualidad a sitios escarpados con características particulares, este es el caso del relicto conocido como “bosque de *Polylepis*” dentro de la reserva pues este se encuentra dentro una tendencia global que muestra una reducción y extinción en las regiones montañosas en años futuros.

Los resultados obtenidos indican un área de 384.30 ha en la actualidad sumando todos los relictos de bosque, para el año 2100 se crearán un área de 3 734.63 ha en zonas aledañas al volcán Carihuairazo como propicias para albergar a estas especies tomando en consideración los resultados del modelo en base a las variables ambientales analizadas; los resultados obtenidos en este estudio se convierten en una herramienta que sirve para implementar futuros planes de rehabilitación forestal en estos nuevos lugares a mediano y largo plazo basados en la dinámica climática que rigen a nuestro planeta como una alternativa de ralentización, adaptación y mitigación del cambio climático (Lhumeau y Cordero 2012).



**Figura 2.** Análisis AUC de los modelos de distribución actual y futuro de los relictos de bosque de la RPFCH **a)** AUC = 0.946 del modelo actual 2020, **b)** AUC = 0.957 del modelo futuro 2100, **c)** Curva ROC para validación del muestreo

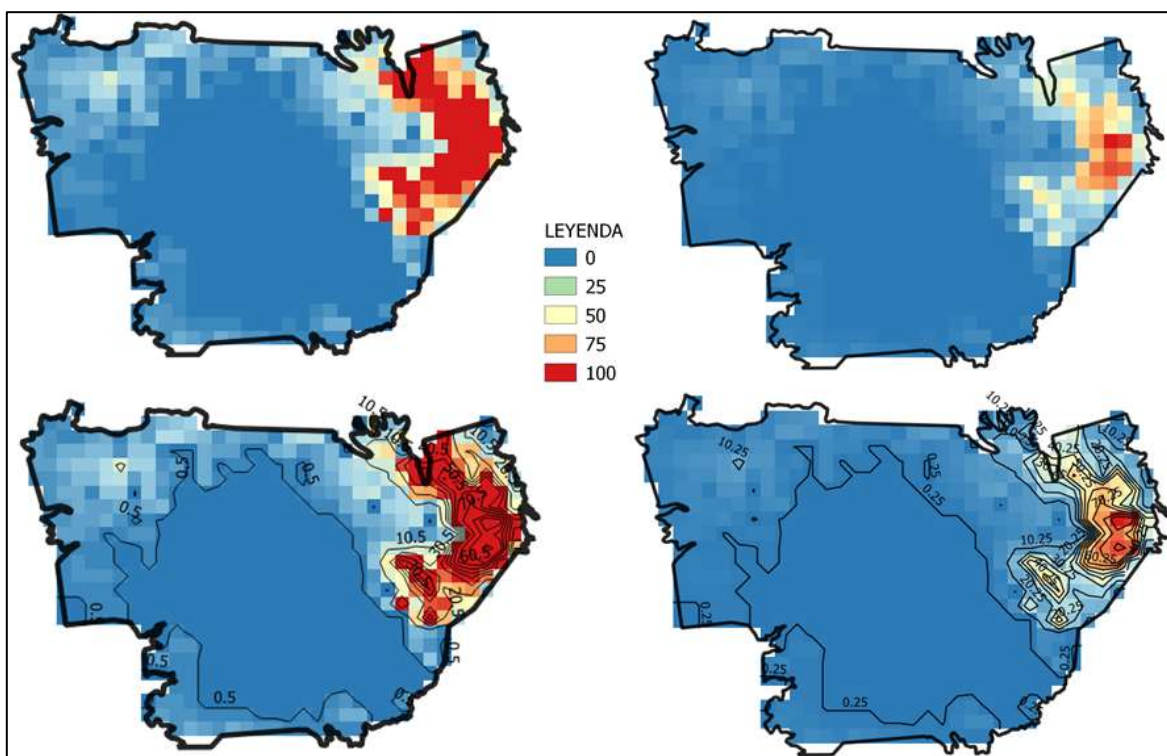
**Tabla 4. Áreas de los relictos de bosque bajo escenarios de modelación actual y futura.**

Escenarios		Relictos de bosque (ha)
Escenario 2020		384.30
Escenario 2100	Disminución	125.00
<b>Total</b>		<b>259.30</b>
Escenario 2100	Expansión	3 734.63

Sin embargo, hay que tener en cuenta lo que manifiesta Marengo *et al.* (2014) donde asevera que para los Andes tropicales se han documentado aumentos de temperatura entre rangos de 0.66 y 1.3°C por década,

muy superiores a los pronosticados por los modelos climáticos actuales, además de acrecentamientos de hasta un 15% en los patrones de precipitación anual, mientras que para los Andes centrales los patrones climáticos muestran aumentos significativos de temperatura y disminución en la precipitación, donde los parámetros indican aumentos de + 0.23 – 0.40°C y de igual manera la precipitación entre un 5 a 10% por década (Rangecroft *et al.*, 2013), si comparamos los valores pronosticados de temperatura y precipitación para estas zonas del planeta y relacionamos con los resultados de este estudio se puede constatar lo manifestado por Anderson *et al.* (2011) donde debido al desequilibrio del rango anual de temperatura y la precipitación del mes más seco los relictos de bosque de la RPFCH estarían destinados a desaparecer especialmente los que se encuentran por encima de los 4 000 msnm.





**Figura 3.** Modelamiento del nicho ecológico y la distribución potencial de los relictos de bosque de la RPFCH, 2020 (izquierda) 2100 (derecha).

El principal problema de los relictos de bosque en la reserva es el tamaño que poseen ya que en mediciones efectuadas utilizando los SIG se establece que varían desde 0.21 a 2.3 ha, si tomamos en consideración el criterio de Noss (2001) donde manifiesta que los ecosistemas saludables intactos y de manera especial los de mayor extensión son más capaces de soportar el cambio climático nos enfrentamos a un panorama desalentador debido a que este tipo de bosque es muy escaso dentro de la reserva y en el Ecuador con 364.30 y 8 787 ha respectivamente (MAE, 2014). A esto Thompson y Solomon (2009) acrecienta manifestando que los ambientes altamente diversos son más resilientes ante los cambios ambientales rápidos por lo que nuevamente este ecosistema se encuentra en desventaja al poseer muy pocas especies arbóreas en su composición florística.

En relación con lo que manifiesta Dudley *et al.* (2009) donde menciona que el mantenimiento de estos lugares implica el fortalecimiento y expansión de las áreas protegidas para que se enfoquen en el mantenimiento de grandes bloques de hábitats intactos, con especial énfasis en los refugios climáticos. Esta investigación sugiere que, en comparación con otros enfoques las áreas protegidas son herramientas eficaces para mantener los ecosistemas y pueden desempeñar un papel fundamental en la protección de la vida silvestre ante el cambio climático. Además, estas áreas ayudan con el secuestro de carbono al conservar la vegetación

natural y ofrecen muchos de los servicios ecosistémicos que las comunidades humanas necesitan para resistir un clima rápidamente cambiante especialmente la provisión de agua y el mantenimiento de los suelos.

Es importante que se integren nuevos modelamientos especialmente de las otras 7 formaciones vegetales en base al comportamiento del clima en este espacio natural para de esta manera asegurarse de que esta área será capaz de proteger las especies a largo plazo (Felicísimo *et al.*, 2012). No cabe duda que la mejor estrategia de protección de los bosques y la biodiversidad ya probadas son las reservas naturales ya que son particularmente importantes a la hora de salvaguardar especies que son altamente sensibles al cambio climático, por tal motivo muchos autores han recomendado que se aumente el número y tamaño de las reservas, como un medio para garantizar una mayor diversidad de hábitats y una mayor probabilidad de persistencia de las especies ante un clima cambiante (Yepes y Silveira, 2011).

Vasados en los análisis efectuados en este estudio citados anteriormente con respecto al Bosque siempreverde del páramo y esperando a futuros estudios sobre el comportamiento de las otras siete formaciones vegetales presentes dentro de la reserva para el 2100 se espera la creación de nuevos lineamientos donde se pueda plantear el cambio o

aumento de la reserva basados en los múltiples estudios que manifiesta la Elbers (2011) hasta la actualidad donde manifiesta que si se crea una reserva para proteger un cierto hábitat y ese se mueve en respuesta a condiciones cambiantes podría ser necesario que se extiendan los límites del área protegida en alguna dirección y liberar las áreas que ya no albergan al hábitat en cuestión.

Los investigadores responsables de este estudio coinciden con lo que menciona Melo-Cevallos (2014) donde plantea que el cambio climático ya empezó, aunque de manera pausada, ya que muchas sociedades todavía no están preparadas para adaptarse a los cambios y enfrentar eventos climáticos extremos (Magrin, 2015). Dado que el uso de la tierra y el cambio climático contribuyen a los principales cambios ambientales que ya estamos viviendo (Hidalgo y Pisano, 2010), la mejor forma de adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes y de mitigar sus efectos es por medio de un enfoque preventivo que integre los efectos ambientales del clima cambiante a la planificación del uso de la tierra (CMNUCC, 2016) tales enfoques son particularmente útiles para enfrentar los eventos que afectan a los ecosistemas además de una planificación adecuada del uso de los recursos naturales lo cual debe ser una parte importante de este proceso (Palacios-Estrada *et al.*, 2018).

## CONCLUSIONES

En la actualidad, el área de entorno idóneo para las cuatro especies arbóreas de los relictos de Bosque siempreverde del páramo en la RPFCH cubre una superficie de 384.30 ha de la cual según el escenario HadCM3-A2 disminuirá 125 ha para el 2100 lo que representa una pérdida de hábitat del 32.53% en relación con el escenario presente, la tendencia general de este escenario para el 2100 es una disminución, sin embargo, el modelo predice un aumento en la superficie de hábitat idóneo al sureste de la reserva específicamente al sur del volcán Carihuairazo en una área de 3 734.63 ha.

Con los resultados obtenidos en este estudio se sienta una base sólida para futuros planes de rehabilitación con estas cuatro especies en estos lugares determinados a futuro como idóneos según el escenario 2100 como una medida de adaptación, mitigación y ralentización del cambio climático a medida que el aumento de la temperatura global comience a provocar estragos en estos ecosistemas altimontanos y que como consecuencia de esto los relictos vayan desapareciendo gradualmente especialmente en el sector de Pucara siendo estos los más afectados debido a que no tienen nuevos lugares para colonizar debido a la topografía y a la cercanía del glaciar del volcán Carihuairazo.

Dentro del modelamiento de la distribución futura de los relictos de bosque de la RPFCH un factor contribuyente que se debe tener muy en consideración es el causado por las actividades humanas las cuales originan desequilibrios ecológicos lo que conlleva a un acelerado proceso de fragmentación y eliminación total de este tipo de bosque por consiguiente a su total deterioro y extinción, pese a que los resultados muestran un incremento del área para que se desarrolle estas especies al sureste de la reserva también dependerá mucho del grado de intervención por parte de las comunidades aledañas además que a estos nuevos sitios denominados como idóneos por el modelo se los incorpore dentro de los sitios denominados como de estricta conservación dentro de la reserva.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Escuela Superior politécnica de Chimborazo (ESPOCH) al Instituto de Investigaciones (IDI) que a través del proyecto de investigación “Medidas ante los riesgos que afrontan los ecosistemas de la reserva de producción de fauna Chimborazo frente al cambio de uso de suelo” (MARERUS) permite a investigadores desarrollar estudios que contribuyan a entender de mejor manera los cambios provocados por el calentamiento global y de manera particular la incidencia sobre el Bosque siempreverde del páramo.

**Financiamiento.** Escuela Superior politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Instituto de Investigaciones (IDI), proyecto de investigación “Medidas ante los riesgos que afrontan los ecosistemas de la reserva de producción de fauna Chimborazo frente al cambio de uso de suelo” (MARERUS).

**Conflicto de intereses.** Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

**Cumplimiento de estándares de ética.** Los autores declaran que el artículo es original, no ha sido publicado previamente, ni se ha sometido a otra revista.

**Disponibilidad de datos.** Los datos están disponibles con el autor por correspondencia (daniel.vistin@epoch.edu.ec), con solicitud previa.

## REFERENCIAS

- Anderson, P., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., Gast, F., Jaimes, E., and Ruiz, D. 2011. Consequences of Climate Change for ecosystems and ecosystem services in the Tropical Andes. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*, 2 (1), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.13140/2.1.3718.4969>

- Armenta, G., Villa, J., and Jácome, P. 2016. Proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de cambio climático INAMHI Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 1ra ed. Quito: Ecuador.
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., Cárdenas, A., and Velástegui, A. 2009. Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. EcoCiencia. 1era ed. Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. Quito: Ecuador.
- Castro, A., and Flores, M. 2015. Caracterización de un bosque de Queñual *Polylepis sp* ubicado en el distrito de Huasca, Provincia de Bolognesi, ANCASH, PERÚ. *Ecología Aplicada*, 14 (1), 1-9.
- Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Calentamiento Global. 2004. Informando sobre cambio climático. Bonn: Alemania.
- Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Calentamiento Global. 2016. El Perú y el Cambio Climático Tercera Comunicación Nacional del Perú. Lima: Perú.
- Cuyckens, G., Christie, D., Domic, A., Malizia, L., and Renison, D. 2016. Climate change and the distribution and conservation of the world's highest elevation woodlands in the South American Altiplano. *Global and Planetary Change*. 137 (2016), 79–87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.12.010>
- Delgado, T. 2011. Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio global. Tesis Doctoral. Madrid: España.
- Dudley, N., Stolton, S., Belokurov, À., Krueger, L., Lopoukhine, N., MacKinnon, K., Sandwith, T., and Sekhran, N. 2009. Soluciones Naturales. Las áreas protegidas ayudando a la gente a enfrentar el cambio climático. IUCN-WCPA, TNC, PNUD, WCS, El Banco Mundial y WWF, Gland, Suiza, Washington DC y Nueva York, EE.UU.
- Felicísimo, A., Muñoz, J., Mateo, R., and Villalba, C. 2012. Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático. *Ecosistemas*. 21 (3), 1–6. DOI: [tps://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.01](https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.01)
- Fick, S., and Hijmans, R. 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 37 (12), 4302-4315. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fuentes-Lillo, E., and Pauchard, A. 2019. Invasiones en montañas: ¿Cuánto hemos avanzado en los últimos 10 años y cuáles son los desafíos para los ecosistemas de los Andes? *Gayana Botánica*. 76(2), 141–155. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-66432019000200141>
- Griet, A., Cuyckens, E., and Renison, D. 2018. Ecology and conservation of polylepis montane forests. An introduction to the special issue. *Ecologia Austral*. 28 (1), 157–162. DOI: <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.766>
- Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P., and Tiessen, H. 2011. Physical Geography and Ecosystems in the Tropical Andes. In *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes* Ed. Fundación MacArthur, IAI, SCOPE. 152–169
- Hidalgo, M., and Pisano, I. 2010. Determinants of risk perception and willingness to tackle climate change. A pilot study. *Psychology*. 1 (1), 39–46. DOI: <https://doi.org/10.1174/217119710790709577>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 2019. Boletín meteorológico 534 [en línea] disponible en <https://www.serviciometeorologico.gob.ec/boletines-meteorologicos/> [consulta: 20 enero 2021].
- IPCC. 2013. Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas frecuentes En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra Suiza.
- IPCC. 2014. Cambio Climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza.
- IPCC. 2019. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, Geneva: Switzerland.
- Johnson, C., Stevenson, D., Collins, W. J., and Derwent, R. 2001. Role of climate feedback on methane and ozone studied with a coupled ocean-atmosphere-chemistry model. *Geophysical Research Letters*, 28 (9), 1723–

1726. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000GL011996>
- Lhumeau, D., and Cordero, D. 2012. Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático. UICN, Quito, Ecuador. DOI: <https://doi.org/10.1038/nm.1996>
- Maciel, C., Manríquez, N., Octavio, P., and Sánchez, G. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25 (2), 40–50. DOI: <https://doi.org/10.15174/au.201>
- MAE. (2013). Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito: Ecuador.
- MAE. (2014). Actualización del Plan de Manejo de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo Riobamba: Ecuador.
- MAG. 2017. Memoria explicativa del Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador. In SIGTIERRAS Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. Quito: Ecuador.
- Magrin, G. 2015. Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe. CEPAL, Unión Europea. Programa EUROCLIMA. Santiago de Chile: Chile.
- Marengo, J., Chou, S., Torres, R., Giarolla, A., Alves, L., and Lyra, A. 2014. Cambio climático en América Central y del Sur: Tendencias recientes, proyecciones futuras e impactos en la agricultura regional. Documento de trabajo CCAFS no. 73. Copenhague: Dinamarca. DOI: <https://hdl.handle.net/10568/41912>
- Melo-Cevallos, M. 2014. Documento descriptivo, analítico y comparativo de las políticas públicas sobre cambio climático en Colombia, Ecuador, Perú y su relación con el conocimiento tradicional. UICN, Quito: Ecuador.
- Mendoza, W., and Cano, A. (2012). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología*, 18 (2), 197–200. DOI: <https://doi.org/10.15381/rpb.v18i2.228>
- MINAM. 2015. Estrategia Nacional ante el Cambio Climático Lima: Ministerio del Ambiente. Lima: Perú.
- Montalvo, J., Minga, D., Verdugo, A., López, J., Guazhambo, D., Pacheco, D., Siddons, D., Crespo, A., and Zárate, E. 2018. Características morfológico-funcionales, diversidad arbórea, tasa de crecimiento y de secuestro de carbono en especies y ecosistemas de *Polylepis* del sur de Ecuador. *Ecología Austral*, 28 (1), 249–261. DOI: <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.1.557>
- Noss, R. 2001. Beyond kyoto Forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology*, 15 (3), 578–590. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015003578.x>
- Palacios-Estrada, M., Massa-Sánchez, P., and Martínez-Fernández, V. 2018. Cambio climático y contaminación ambiental como generadores de crisis alimentaria en la américa andina: Un análisis empírico para Ecuador. *Investigación Operacional*, 39 (2), 234–249
- Phillips, S., Aneja, V., Kang, D., and Arya, S. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6 (23), 231–252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Poca, M., Cingolani, A., Gurvich, D., Whitworth-Hulse, J., and Saur Palmieri, V. 2018. La degradación de los bosques de altura del centro de Argentina reduce su capacidad de almacenamiento de agua. *Ecología Austral*, 28 (1), 235–248. DOI: <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.1.497>
- Rangecroft, S., Harrison, S., Anderson, K., Magrath, J., Castel, A., and Pacheco, P. 2013. Climate change and water resources in arid mountains: An example from the bolivian andes. *Ambio*, 42(7), 852–863. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0430-6>
- Thomas, C., Cameron, A., Green, R., Bakkenes, B., Beaumont, L., Collingham, Y., Erasmus, B., FerrieraDe Siqueira, M., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Van Jaarsveld, A., Midgley, G., Miles, L., Ortega-Huerta, M., Peterson, A., Phillips, O., and Williams, S. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(2004), 145–148. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature02121>
- Thompson, D., and Solomon, S. 2009. Understanding recent stratospheric climate change. *Journal of Climate*, 22(8), 1934–1943. DOI: <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2482.1>
- Timaná, M., and Cuentas, M. 2015. Biogeografía predictiva: técnicas de modelamiento de distribución de especies y su aplicación en el impacto del cambio climático. *Espacio y Desarrollo*, 179(27), 159–179. DOI:

- <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201501.008>
- Titeux, N., Henle, K., Mihoub, J., Regos, A., Geijzendorffer, I., Cramer, W., Verburg, P., and Brotons, L. 2016. Biodiversity scenarios neglect future land use changes. *Global Change Biology*, 22(7), 2505–2515. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13272>
- Toivonen, J., Horna, V., Kessler, M., Ruokolainen, K., and Hertel, D. 2014. Interspecific variation in functional traits in relation to species climatic niche optima in Andean *Polylepis* Rosaceae tree species: *Evidence for climatic adaptations*. *Functional Plant Biology*, 41(3), 301–312. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP13210>
- Elbers, J. 2011. Las áreas protegidas de América Latina: Situación actual y perspectivas para el futuro. Quito: Ecuador, UICN.
- Urban, M. 2015. Acelerando el riesgo de extinción por el cambio climático: *Science*, 348 (6234), 571–573. DOI: 10.1126 / science.aaa4984
- Vásquez, A., and Butriago, A. 2011. El gran libro de los páramos, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Proyecto Páramo Andino. Bogotá: Colombia.
- Vistin, D., and Barrero, H. 2017. Floristic study of the green forest always montanoof the community of Guangras, Ecuador. *Avances*, 19, 218–226.
- Vistin, D., Muñoz, E., and Ati, G. 2020. Monitoreo del Herbazal del páramo una estrategia de medición del cambio climático en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. *Ciencia Digital*, 4(2), 32–47. DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i2.1195>
- Yepes, A., and Silveira, M. 2011. Plant responses to meteorological events related to climate change review. *Colombia Forestal*, 14(0120–0739), 213–232. DOI: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423939616005>
- Zutta, B., Rundel, P., Saatchi, S., Casana, J., Gauthier, P., Soto, A., Velazco, Y., and Buermann, W. 2012. Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques Andinos vulnerables y cada vez más importantes. *Revista Peruana de Biología*, 19(2), 205–212. DOI: <https://doi.org/10.15381/rpb.v19i2.849>