



REV. INVESTIG. ALTOANDIN.

<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.605>

Journal of High Andean Research, 2020; 22(2): 170 - 181 VOL 22 N° 2

Revista de Investigaciones Altoandinas

Abril - Junio ISSN: 2306-8582 (V. impresa) - ISSN: 2313-2957 (V. digital)



Distribución potencial de *puya raimondii* harms en futuros escenarios del cambio climático

Potential distribution of *puya raimondii* harms in future climate change scenarios

Wilder Rolando Quispe Rojas ^{1,*}, Eduardo Elias Nuñez ²

¹ Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Junín, Perú.

² Programa de Investigación de Ecología y Biodiversidad, Asociación ANDINUS Huancayo, Junín, Perú.

*Autor para correspondencia: wilderquispe163@gmail.com

Wilder Rolando Quispe Rojas  <https://orcid.org/0000-0003-2755-1470>

Eduardo Elias Nuñez  <https://orcid.org/0000-0002-4608-5674>

ARTÍCULO BREVE

INFORMACIÓN DE ARTÍCULO

Artículo recibido: 03/01/2020
Artículo aceptado: 20/03/2020
En línea: 30/05/2020

PALABRAS CLAVE:

Modelamiento de distribución potencial,
MaxEnt,
Andes,
Cambio climático.

BRIEF ARTICLE

ARTICLE INFORMATION

Article received: 03/01/2020
Article accepted: 20/03/2020
On line: 30/05/2020

KEYWORDS:

Modeling of species distribution,
MaxEnt,
Andes,
Climate change.

RESUMEN

El cambio climático antropogénico es una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad. En este contexto, existe la necesidad de estudios basados en los futuros impactos del cambio climático de gran escala para proponer estrategias de conservación de especies en peligro de extinción como es el caso de *Puya raimondii* Harms, una especie de bromelia endémica de los Andes de Perú y Bolivia. En este artículo, nosotros modelamos la distribución potencial actual y futura de *P. raimondii* con la finalidad de identificar áreas prioritarias para la futura conservación de esta especie endémica. Nuestros resultados revelaron que 1) los espacios actuales potencialmente apropiados están centrados para los andes de Perú y Bolivia con una extensión de 154268.40 km², y 2) en escenarios futuros de cambio climático para la década de 2070, hay una pérdida de áreas potenciales, viéndose una reducción de promedio de área a -34326.53 km² y -8193.22 km² para los dos escenarios climáticos de las vías de concentración representativas (RCP) 4.5 y RCP 8.5 respectivamente. Estos resultados sugieren que a escenarios de cambio climático solo cinco parches de hábitat serán idóneos para albergar a *P. raimondii*, por tanto, proponemos que las medidas de conservación deben ser priorizadas a dichas áreas.

ABSTRACT

The anthropogenic climate change is a major cause of biodiversity loss. In this context, there is a need for studies based on the future impacts of large-scale climate change to propose conservation strategies for endangered species such as *Puya raimondii* Harms, a species of bromeliad endemic to the Andes of Peru and Bolivia. In this article, we model the current and future potential distribution of *P. raimondii* in order to identify priority areas for the future conservation of this endemic species. Our results revealed that 1) the current potentially suitable areas are centered in the Andes of Peru and Bolivia with an extension of 154268.40 km², and 2) in future climate change scenarios for the 2070s, there is a loss of potential areas, with an average reduction of area to -34326.53 km² and -8193.22 km² for the two climate scenarios of Representative Concentration Pathways (RCP) 4.5 and RCP 8.5 respectively. These results suggest that under climate change scenarios only five habitat patches will be suitable to host *P. raimondii*, therefore we propose that conservation measures should be prioritized to these areas.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático antropogénico es una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad en el planeta y muestra una creciente preocupación por el futuro de las especies a nivel mundial (Bellard, Bertelsmeier, Leadley, Thuiller, & Courchamp, 2012). Se ha sugerido que muchas especies no podrán migrar o adaptarse lo suficientemente rápido al ritmo acelerado del cambio climático, por lo que estarán cada vez más vulnerables a la extinción (Evangelista et al., 2016; Harrison & Noss, 2017). Los efectos de las fluctuaciones climáticas son más severos en ecosistemas que albergan la mayor biodiversidad como en el caso de los Andes; considerada una de las regiones más importantes a nivel mundial, debido a su alta riqueza específica y porcentaje de endemismo (Myers, Mittermeier, Mittermeier, Fonseca, & Kent, 2000).

Entre las metodologías más utilizadas para estudios de impactos de cambio climático están los modelos de distribución potencial de especies que son herramientas poderosas para predecir los efectos del cambio de clima global en las distribuciones de especies y los riesgos de extinción (Feeley & Silman, 2010). La idea básica detrás de estos modelos se centra en modelar los espacios geográficos que presenten condiciones ambientales adecuadas para su desarrollo (Dolgener, Freudenberger, Schneeweiss, Ibisch, & Tiedemann, 2014). Además, es una de las herramientas más útiles para generar decisiones en políticas y prácticas de conservación (Villero, Pla, Camps, Ruiz-Olmo, & Brotons, 2017).

Con la finalidad de demostrar la aplicabilidad del modelo y por la necesidad de cuantificar las áreas potenciales actuales y futuras (Chen, Hill, Ohlemüller, Roy, & Thomas, 2011), seleccionamos a una especie en peligro de extinción, como es el caso de *Puya raimondii*, una bromelia endémica de los Andes de Perú y Bolivia, categorizada En Peligro (EN) según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Lambe, 2009).

Especie que presenta una enorme inflorescencia (4 - 6 m de alto), que florece una sola vez en su vida a los 100 años en promedio (Sgorbati et al., 2004; Williams, 2009). Lamentablemente *P. raimondii*, es considerada como amenaza para la pastura de ovinos y otros mamíferos menores, ya que estos al hacer contacto con sus hojas espinosas; en los extremos de las hojas, quedan atrapados en ellas (Chase, Christenhusz, Sanders, & Fay, 2009), por ello los pobladores andinos queman la especie en las áreas de pastoreo, alterando su desarrollo y regeneración natural (Williams, 2009).

Los objetivos de la investigación fueron (1) modelar la distribución potencial actual y para los escenarios futuros de cambio climático de *P. raimondii*; y (2) cuantificar sus áreas adecuadas de distribución actuales y futuras. Nuestros resultados ayudarán a identificar áreas prioritarias para la futura conservación de la especie endémica *P. raimondii*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y puntos de presencia

Este estudio comprende los rodales de *P. raimondii*, distribuidos naturalmente en los Andes desde los 3500 a 4800 msnm de Perú y Bolivia (Aquino, Condo, Romero, & Yllaconza, 2018). Las coordenadas geográficas o puntos de presencia (longitud y latitud) de *P. raimondii* se extrajeron de bases de datos de artículos científicos, datos en línea de GBIF (<http://www.gbif.org>), Inaturalist (<https://www.inaturalist.org/>), herbarios virtuales como: Atrium Biodiversity Information System (<http://atrium.andesamazon.org/>), The Field Museum (<https://www.fieldmuseum.org/>), Tropicos (<https://www.tropicos.org/>) y salidas al campo, obteniendo un total de 72 puntos de presencia para *P. raimondii*. Para reducir los posibles errores en las ubicaciones de los especímenes, donde se eliminaron los datos duplicados, es decir los registros de ocurrencia que tenían el mismo valor de longitud y latitud (Chandra, Phinn, Butt, & McAlpine, 2017). Asimismo, se eliminaron los puntos

de ocurrencia geográficas erróneas en su ubicación que fueron corroborados mediante la observación de los rodales mediante Google maps y Big maps del complemento QuickMapServices 0.19.11.1 (https://plugins.qgis.org/plugins/quick_map_services/) del software QGIS versión 3.10. También se verificó que estos puntos de presencia estuvieran separados a una distancia > 1 km entre ellos, esto con la finalidad de reducir los errores de autocorrelación espacial. Obteniendo un total de 29 puntos de presencia para Perú y 3 para Bolivia, que fueron parte del modelado de distribución actual y futura.

Variables bioclimáticas

Los datos climáticos actuales y futuros constan de 19 capas ambientales, que son una combinación de datos de precipitación y temperatura, que se descargó de la base de datos de Worldclim versión 1.4 (<http://www.worldclim.org/version1>) a una resolución de 30 segundos de arco (~ 1 km), donde los datos son el promedio de temperatura y precipitación de 1960-1990 para capas actuales y para las proyecciones futuras utilizamos tres modelos climáticos globales (GCM) del Proyecto de Intercomparación del Modelo Acoplado Fase 5 (CMIP5), que son muy utilizados en estudios similares: ACCESS 1.0, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR (Bosso, Di Febraro, Cristinzio, Zoina, & Russo, 2016; Chandra et al., 2017; Cuyckens, Christie, Domic, Malizia, & Renison, 2016; López-Tirado, Vessella, Schirone, & Hidalgo, 2018; Manish, Telwala, Nautiyal, & Pandit, 2016; Molloy, Davis, & Van Etten, 2016; Ramírez-Amezcuca, Steinmann, Ruiz-Sanchez, & Rojas-Soto, 2016; Wróblewska & Mirski, 2017). Con dos vías de concentración representativas de CO₂ para el año 2070 (RCP 4.5 y RCP 8.5) de acuerdo al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014). Las capas se recortaron para límites de Perú y Bolivia utilizando QGIS con la extensión de archivo ASC (.asc), proyectadas al sistema coordenadas WGS84. Posteriormente se verificó que el número de columnas y filas de todas las capas ambientales

fueran iguales para el procesamiento en Maxent y se seleccionó las capas con correlaciones < |±0.8| para el mejor rendimiento del modelo (Ma & Sun, 2018), suprimiendo 10 y se conservó 9 capas bioclimáticas (Tabla 1) para el proceso de modelamiento.

Modelo de distribución de especies

Utilizamos el software MaxEnt (Versión 3.4.1) para desarrollar los modelos de distribución actual y futura de *P. raimondii*. Maxent es un software que funciona según el principio de máxima entropía para el modelado de distribución de especies en función a registros de solo presencia de la especie y capas bioclimáticas (Jaynes, 1957; Phillips, Anderson, & Schapire, 2006). Se utilizó la configuración predeterminada de Maxent a excepción de *create response curves* para hacer un mejor análisis de las variables bioclimáticas, para el proceso de modelado en escenarios futuros se realizó el mismo procedimiento, pero cargando las capas bioclimáticas futuras en *Projection layers directory/file* de MaxEnt. El análisis del rendimiento del modelo se realizó mediante el área debajo de la curva (AUC) que es una relación entre la sensibilidad y la especificidad del modelo, donde los valores menores a 0.5 indican un bajo rendimiento y los cercanos a 1 indican un alto rendimiento del modelo (Dolgener et al., 2014).

Post Análisis del Modelado

La probabilidad de presencia de la especie está representada con valores entre 0 y 1, donde valores cercanos a 0 indican baja probabilidad de presencia y 1 alta probabilidad de presencia; donde la alta probabilidad de presencia son espacios ambientalmente adecuados para el desarrollo de especie (Yan et al., 2017). Para un mejor representación del mapa de resultados los valores de probabilidad de presencia de la especie se clasificó en cuatro categorías: (a) < 0.25, que incluyó áreas de probabilidad de presencia nula que codificamos con el color blanco; (b) 0.25 – 0.50, áreas de probabilidad de presencia baja que codificamos con el color naranja;

(c) 0.50 -0.75, áreas de probabilidad de presencia media que codificamos con el color verde claro; (d) > 0.75 , áreas de alta probabilidad de presencia que codificamos con el color verde (Merow, Smith, & Silander, 2013; Yan et al., 2017). Para convertir los modelos con valores de probabilidades de presencias binarias (ausencia / presencia), se utilizó el umbral del décimo percentil de la presencia de entrenamiento, comúnmente utilizada en estudios de conservación (Abba, Tognelli, Viviana, Benjam, & Vizca, 2012; Escalante, Rodríguez-Tapia, Linaje, Illoldi-Rangel, & González-López, 2013)). Para el presente estudio, este valor fue 0.4868, que incluye bien la presencia de *P. raimondii*. El mapa de alta probabilidad de hábitat que en futuro se hizo mediante el promedio de todas las proyecciones RCP 8.5, delimitando prioridad alta y baja de acuerdo al umbral del modelo.

RESULTADOS

La evaluación estadística mostró un alto poder predictivo del modelado de distribución actual y futura de *P. raimondii*, en donde el AUC fue de 0.893. Del subconjunto de nueve variables bioclimáticas incluidas en el modelo, la temperatura mínima en el periodo más frío (Bio6) y la temperatura máxima en el periodo más caliente (Bio5) explican más del 58% del patrón de distribución de *P. raimondii* (35% y 23.4% respectivamente; Tabla 1). La probabilidad de presencia es más óptima 0 ± 2.5 °C en invierno (junio a agosto) y menores a 20 °C en verano (diciembre a marzo) (Fig. 1).

Predicción de distribuciones actuales y futuras de *P. raimondii*

El modelo MaxEnt, predijo la distribución actual adecuada para *P. raimondii* y están centradas en los andes de Perú y Bolivia con una extensión total de 154268.4 km² (Fig. 2), en escenarios futuros de cambio climático para la década de 2070 (Fig. 3) de acuerdo a varios GCMs, las regiones extremas norte y sur de la distribución actual pierden sus áreas potenciales, así como las distribuciones se restringe

más al oeste de la distribución actual, viéndose una reducción de promedio de área considerable a -34326.53 km² (-22.25%) y -68193.22 km² (-44.20%) para RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente (Tabla 2).

DISCUSIONES

El modelo de la distribución potencial de *P. raimondii* presentó un alto rendimiento predictivo, según el AUC de 0.890, lo que indica una predicción confiable (Jiang et al., 2016; Phillips et al., 2006). En el modelado se utilizó 9 variables bioclimáticas, de las cuales la temperatura mínima en el periodo más frío (Bio6) presentó un alto porcentaje de contribución en el proceso de modelado con 35%, dando a conocer que la probabilidad de presencia está restringida por la temperatura mínima de 0 ± 2.5 °C de los meses más fríos que en caso de los andes corresponden a los meses de junio a agosto, a valores menores a este rango de temperatura es probable que la especie no se adapte y la otra variable también con un porcentaje de contribución alto que corrobora la probabilidad de presencia fue la temperatura máxima en el periodo más caliente (Bio5) con 23.4%, dando a conocer que, a temperaturas menores a 20°C en los meses de verano austral de diciembre a marzo la probabilidad de presencia es alta.

La influencia de estas dos variables estaría relacionada con los requisitos de hábitat actuales de *P. raimondii*, en donde el clima condiciona la permanencia de rodales, marcando una clara fecha para que los individuos florezcan, fructifiquen y que dejen una regeneración en una fecha marcada (Aquino et al., 2018; Kelly & Goulden, 2008). Además, las dos variables están relacionadas con la germinación de las semillas de *P. raimondii*, que de acuerdo a estudios de laboratorio estas semillas presentan un alto poder germinativo a temperaturas menores a 21°C (Suni, Cano, & Vadillo, 2001; Vadillo, Suni, & Cano, 2004).

Además esta especie se desarrolla en lugares con mayor radiación solar y tiene preferencia por los

terrenos rocosos que al estar en contacto con el suelo mantiene homogénea la temperatura (Salazar, J., Cacéres, F., Poma, I., Raimondo, 2010), esto hace que las semillas con embriones pequeños muy esporádicos, necesitan extensos períodos de tiempo y condiciones ambientales homogéneas para el crecimiento del embrión antes de la germinación por lo que hay una escasa regeneración en su hábitat natural (Lima et al., 2018; Vandeloos, Janssens, & Probert, 2012).

El modelo de distribución actual para *P. raimondii* nos indica que el hábitat altamente adecuado cubre 154268.40 km² de los Andes del Perú que abarcando las regiones (nombradas de norte a sur) de Cajamarca, La Libertad, Ancash, Huánuco, Lima, Pasco, Junín, Huancavelica, Ica, Ayacucho, Apurímac, Cusco, Arequipa, Puno, Moquegua y Tacna coincidiendo con todos los sitios conocidos para presencia de rodales de *P. raimondii* (Aquino et al., 2018; Salazar, J., Cacéres, F., Poma, I., Raimondo, 2010; Vadillo, Suni, & Roca, 2007) y para los Andes de Bolivia que comprendiendo regiones o departamentos de La Paz, Cochabamba, Oruro, Potosí y Chuquisaca, coinciden con todos los sitios conocidos para presencia de rodales de *P. raimondii* en Bolivia (Salazar Castillo, Caceres De Baldarrago, & Poma, 2014).

En escenarios futuros de cambio climático para la década de 2070, hay una pérdida de áreas potenciales, viéndose una reducción de promedio de área a -34326.53 km² (-22.25%) y -68193.22 km² (-44.20%) para RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente (Tabla 2). Las regiones extremas norte y sur de la distribución actual perdieron sus áreas potenciales en el futuro, esto a causa de que el cambio climático traerá consigo alteraciones de las condiciones de temperatura y precipitación, que de acuerdo a las proyecciones de cambio climático para los Andes se sugieren que se producirá un calentamiento significativo de al menos 2 °C y la precipitación disminuirá en un 10-20% como resultado del cambio climático en 2100 (Beaumont, Pitman, Perkins, Zimmermann, & Yoccoz, 2011; Urrutia & Vuille, 2009), esto conducirán a cambios en

la distribución de organismos que habitan en bosques templados y montañas (Colwell, Brehm, Cardelús, Gilman, & Longino, 2008), lo que resultaría una migración ascendente de plantas tropicales andinas, se menciona que las especies vegetales poseen una capacidad limitada para responder al aumento de las temperaturas, y si no hay mudanza a otros hábitats, aumentarían sus riesgos de extinción (Colwell et al., 2008; Feeley et al., 2011).

Además, se observa que, en las distribuciones futuras, *P. raimondii* se restringen más al oeste de la distribución actual, prefiriendo zonas más altas cercanas a los nevados y volcanes. Es probable que los microrefugios en el futuro sean zonas próximas a las corrientes oceánicas, ya que estas desempeñan un papel importante en la generación de estabilidad climática regional y en la creación de centros terrestres de endemismo, que a menudo son espacios muy cercanos a las costas que coinciden con las cadenas montañosas (Harrison & Noss, 2017).

Conocer los refugios en el futuro ayudaría a la toma de acciones para la conservación, en este estudio se identificó cinco zonas de alta probabilidad de hábitat que en futuro pueden albergar bien a *P. raimondii*, estas zonas son: (1) la cordillera negra en la región Ancash, (2) las partes altas de los límites de Huancavelica y Ayacucho, (3) la cordillera Ampato en Arequipa, (4) la parte alta de las regiones Moquegua, Tacna y sur de Puno en Perú y (5) el sur de La Paz en Bolivia (Fig. 4). Estas cinco zonas tienen que estar conectados por corredores biológicos, con la finalidad de esto aseguraría el flujo de genes entre poblaciones (Thomas et al., 2014).

Sin embargo, es importante señalar que este estudio tuvo limitaciones. Primero, en este estudio no se consideró el factor antrópico, ya que es uno de los factores más importantes en el cambio, fragmentación y pérdida de ecosistema, se recomienda que para los próximos estudios se considere este factor importante. Segundo, nuestro estudio no consideró completamente la capacidad de dispersión de las

especies. La evolución de las comunidades de plantas es compleja, particularmente bajo el cambio climático.

Por lo tanto, los estudios futuros deben integrar las interacciones bióticas con otras especies de plantas, planta - polinizador, dispersores de semillas o hasta puede haber sitios en las que el hombre haya introducido y que estén bien adaptados. En tercer lugar, a pesar de la gran importancia ecológica, económica (atractivos turísticos) de *P. raimondii*, en los países de Perú y Bolivia no es valorada, hay mucha quema y tala de esta especie y son muy pocos los estudios para su conservación, ya que hay pocas publicaciones de la ecología de *P. raimondii*, habiendo poca información en revistas confiables.

En el presente estudio, realizamos un estudio más detallado sobre la probabilidad de presencia adecuado de *P. raimondii* que funcionará como un primer paso importante en el desarrollo de estrategias y políticas para la conservación, reintroducción de esta importante especie alto andina. En cuarto lugar, la perturbación humana, cambio de clima, las interacciones bióticas, las condiciones del suelo y otros factores también influyen en la presencia de especies en el futuro. A pesar de estas limitaciones, el modelo de distribución de especies es considerada como una de las herramientas más poderosas para la conservación de la diversidad biológica bajo el cambio climático (Aguilar-Soto, Melgoza-Castillo, Villarreal-Guerrero, Wehenkel, & Pinedo-Alvarez, 2015; Dolgener et al., 2014; Yan et al., 2017; Zhang, Cao, Bai, Li, & Mao, 2016).

CONCLUSIÓN

El modelo de distribución actual para *P. raimondii* tiene una extensión de 154268.40 km² de los Andes de Perú y Bolivia. En escenarios futuros de cambio climático para la década de 2070, hay una pérdida de áreas potenciales, viéndose una reducción de promedio de área a -34326.53 km² (-22.25%) y -68193.22 km² (-44.20%) para RCP 4.5 y RCP 8.5

Rev. Investig. Altoandín. 2020; Vol 22 Nro 2 170 - 181

respectivamente. En este estudio se identificó cinco zonas de alta probabilidad de hábitat que en futuro pueden albergar a *P. raimondii*, estas zonas son: (1) la cordillera negra en la región Ancash, (2) las partes altas de los límites de Huancavelica y Ayacucho, (3) la cordillera Ampato en Arequipa, (4) la parte alta de las regiones Moquegua, Tacna y sur de Puno en Perú y (5) el sur de La Paz en Bolivia. Nuestros resultados servirán como base de información para las organizaciones e instituciones conservacionistas que ayudara a la toma de decisiones para la protección de esta especie endémica de los andes que actualmente está camino a la extinción.

Expresiones de gratitud

Al estudiante PhD. Vladimir Camel, de Ciencias e Ingeniería Biológicas en la Universidad Nacional Agraria La Molina y al Ing. Italo Castañeda, por los conocimientos compartidos de los softwares libres orientados a la conservación de la biodiversidad, también a la Ing. Gladis Zúñiga, curadora del herbario HCEN-Forestales por sus observaciones y recomendaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abba, M., Tognelli, M. F., Viviana, P., Benjam, J., & Vizca, S. F. (2012). Distribution of extant xenarthrans (Mammalia: Xenarthra) in Argentina using species distribution models. *Mammalia*, 76(May), 123–136. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2011-0089>
- Aguilar-Soto, V., Melgoza-Castillo, A., Villarreal-Guerrero, F., Wehenkel, C., & Pinedo-Alvarez, C. (2015). Modeling the potential distribution of *Picea chihuahuana* Martínez, an endangered species at the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Forests*, 6(3), 692–707. <https://doi.org/10.3390/f6030692>
- Aquino, W., Condo, F., Romero, J., & Yllaconza, R. (2018). Distribución geográfica y poblacional de *Puya raimondii* Harms en el distrito de Huarochirí, Lima, Perú. *The Biologist (Lima)*,

- 16(1), 25–33. <https://doi.org/10.24039/rtb2018161219.CITATIONS>
- Beaumont, L. J., Pitman, A., Perkins, S., Zimmermann, N. E., & Yoccoz, N. G. (2011). Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(6), 2306–2311. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1007217108
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Bosso, L., Di Febbraro, M., Cristinzio, G., Zoina, A., & Russo, D. (2016). Shedding light on the effects of climate change on the potential distribution of *Xylella fastidiosa* in the Mediterranean basin. *Biological Invasions*, 18(6), 1759–1768. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1118-1>
- Chandra, J., Phinn, S., Butt, N., & McAlpine, C. A. (2017). Climatic-Induced Shifts in the Distribution of Teak (*Tectona grandis*) in Tropical Asia: Implications for Forest Management and Planning. *Environmental Management*, 60(3), 422–435. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0884-6>
- Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Sanders, D., & Fay, M. F. (2009). Murderous plants: Victorian Gothic, Darwin and modern insights into vegetable carnivory. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(4), 329–356. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.01014.x>
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., & Thomas, C. D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333(6045), 1024–1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432>
- Colwell, R. K., Brehm, G., Cardelús, C. L., Gilman, A. C., & Longino, J. T. (2008). Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science*, 322(5899), 258–261. <https://doi.org/10.1126/science.1162547>
- Cuyckens, G. A. E., Christie, D. A., Domic, A. I., Malizia, L. R., & Renison, D. (2016). Climate change and the distribution and conservation of the world's highest elevation woodlands in the South American Altiplano. *Global and Planetary Change*, 137, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.12.010>
- Dolgener, N., Freudenberger, L., Schneeweiss, N., Ibsch, P. L., & Tiedemann, R. (2014). Projecting current and potential future distribution of the Fire-bellied toad *Bombina bombina* under climate change in north-eastern Germany. *Regional Environmental Change*, 14, 1063–1072. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0468-9>
- Escalante, T., Rodríguez-Tapia, G., Linaje, M., Illoldi-Rangel, P., & González-López, R. (2013). Identification of areas of endemism from species distribution models: threshold selection and Nearctic mammals. *Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 16(1), 5–17. [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(13\)72073-4](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(13)72073-4)
- Evangelista, A., Frate, L., Carranza, M. L., Attorre, F., Pelino, G., & Stanisci, A. (2016). Changes in composition, ecology and structure of high-mountain vegetation: A re-visitation study over 42 years. *AOB PLANTS*, 8(August), 1–11. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw004>
- Feeley, K. J., & Silman, M. R. (2010). Modelling the responses of Andean and Amazonian plant species to climate change: The effects of georeferencing errors and the importance of data filtering. *Journal of Biogeography*, 37(4), 733–740. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02240.x>
- Feeley, K. J., Silman, M. R., Bush, M. B., Farfan, W., Cabrera, K. G., Malhi, Y., ... Saatchi, S. (2011). Upslope migration of Andean trees. *Journal of Biogeography*, 38(4), 783–791. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02444.x>
- Harrison, S., & Noss, R. (2017). Endemism hotspots are linked to stable climatic refugia. *Annals of Botany*, 119(2), 207–214. <https://doi.org/10.1093/aob/mbx004>

- [org/10.1093/aob/mcw248](https://doi.org/10.1093/aob/mcw248)
- 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*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Jaynes, E. T. (1957). Information theory and statistical mechanics. *Physical Review*, 106(4), 620–630. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.106.620>
- Jiang, H., Liu, T., Li, L., Zhao, Y., Pei, L., & Zhao, J. (2016). Predicting the potential distribution of *Polygala tenuifolia* Willd. under climate change in China. *PLoS ONE*, 11(9), 3–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163718>
- Kelly, A. E., & Goulden, M. L. (2008). Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(33), 11823–11826. <https://doi.org/10.1073/pnas.0802891105>
- Lambe, A. (2009). *Puya raimondii*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T168358A6482345.en>
- Lima, N. R., Moreno, J. A., Eras, V. H., Patiño, J. M., González, D., Yaguana, M., & Valarezo, C. (2018). Propagación in vitro de *Cinchona officinalis* L a partir de semillas In vitro propagation of *Cinchona officinalis* L from seeds. *Journal of High Andean Research*, 20(2), 169–178. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.361>
- López-Tirado, J., Vessella, F., Schirone, B., & Hidalgo, P. J. (2018). Trends in evergreen oak suitability from assembled species distribution models: assessing climate change in south-western Europe. *New Forests*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9629-5>
- Ma, B., & Sun, J. (2018). Predicting the distribution of *Stipa purpurea* across the Tibetan Plateau via the MaxEnt model. *BMC Ecology*, 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12898-018-0165-0>
- Manish, K., Telwala, Y., Nautiyal, D. C., & Pandit, M. K. (2016). Modelling the impacts of future climate change on plant communities in the Himalaya: a case study from Eastern Himalaya, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2), 92. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0163-1>
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Molloy, S. W., Davis, R. A., & Van Etten, E. J. B. (2016). Incorporating field studies into species distribution and climate change modelling: A case study of the koomal trichosurus vulpecula hypoleucus (phalangeridae). *PLoS ONE*, 11(4), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154161>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(February), 853–858. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/35002501>
- Phillips, S. J., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Ramírez-Amezcuca, Y., Steinmann, V. W., Ruiz-Sanchez, E., & Rojas-Soto, O. R. (2016). Mexican alpine plants in the face of global warming: potential extinction within a specialized assemblage of narrow endemics. *Biodiversity and Conservation*, 25(5), 865–885. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1094-x>
- Salazar, J., Cacéres, F., Poma, I., Raimondo, F. (2010). Diagnostico del estado actual de conservación de *Puya raimondii* en Arequipa (Perú). *Quad. Bot. Amb. Appl.*, 21(2010), 85–93.
- Salazar Castillo, J., Caceres De Baldarrago, F., & Poma, I. (2014). *Puya raimondii* the queen of Andes. *Puya raimondii* la regina delle Ande. *Focus*, 25. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/262676713>

[Puya raimondii the queen of de Andes](#)
[Puya raimondii la regina delle Ande](#)

- Sgorbati, S., Labra, M., Grugni, E., Barcaccia, G., Galasso, G., Boni, U., ... Scannerini, S. (2004). A survey of genetic diversity and reproductive biology of *Puya raimondii* (Bromeliaceae), the endangered queen of the Andes. *Plant Biology*, 6(2), 222–230. <https://doi.org/10.1055/s-2004-817802>
- Suni, M. L., Cano, A., & Vadillo, G. (2001). Ensayos preliminares de germinación en *Puya raimondii* harms (Bromeliaceae). *Revista Peruana de Biología*, 8(1), 53–59. <https://doi.org/10.15381/rpb.v8i1.6513>
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., ... Bozzano, M. (2014). Forest Ecology and Management Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, 333, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Urrutia, R., & Vuille, M. (2009). Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114(2), 1–15. <https://doi.org/10.1029/2008JD011021>
- Vadillo, G., Suni, M., & Cano, A. (2004). Viabilidad y germinación de semillas de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). *Revista Peruana de Biología*, 11(1), 71–78. <https://doi.org/10.15381/rpb.v11i1.2435>
- Vadillo, G., Suni, M., & Roca, W. (2007). Evaluación de la Diversidad Genética y morfológica de *Puya raimondii*. *Serie de Publicaciones de Flora y Fauna Silvestre. Instituto Nacional de Recursos Naturales*, 1–13.
- Vandelook, F., Janssens, S. B., & Probert, R. J. (2012). Relative embryo length as an adaptation to habitat and life cycle in Apiaceae. *New Phytologist*, 195(2), 479–487. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04172.x>
- Villero, D., Pla, M., Camps, D., Ruiz-Olmo, J., & Brotons, L. (2017). Integrating species distribution modelling into decision-making to inform conservation actions. *Biodiversity and Conservation*, 26(2), 251–271. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1243-2>
- Williams, N. (2009). Red list species update fears. *Current Biology*, 19(22), R1013–R1014. <https://doi.org/doi:10.1016/j.cub.2009.11.007>
- Wróblewska, A., & Mirski, P. (2017). From past to future: impact of climate change on range shifts and genetic diversity patterns of circumboreal plants. *Regional Environmental Change*, (2012), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1208-3>
- Yan, D., Chen, W., Liu, L., Li, J., Liu, L., & Wang, Y. (2017). Change in current and future geographic distributions of *Ulmus lamellosa* in China. *Journal of Forestry Research*, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0503-7>
- Zhang, L., Cao, B., Bai, C., Li, G., & Mao, M. (2016). Predicting suitable cultivation regions of medicinal plants with Maxent modeling and fuzzy logics: a case study of *Scutellaria baicalensis* in China. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5133-9>

Presentación de tabla

Tabla 1.

Contribución e importancia de permutación de las variables bioclimáticas seleccionadas para el modelado de distribución actual y futura de P. raimondii.

Variable	Descripción	Contribución (%)
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)	35
Bio5	Temperatura máxima del mes más caliente (°C)	23.4
Bio12	Precipitación anual (mm)	16.7
Bio17	Precipitación en el trimestre más seco(mm)	9.7
Bio3	Isotermalidad (Bio2/Bio7) *100(°C)	7.7
Bio18	Precipitación en el trimestre más caluroso(mm)	5.6
Bio2	Rango medio diario (°C)	1.5
Bio15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)	0.4
Bio16	Precipitación en el trimestre más lluvioso(mm)	0

Tabla 2.

Diferencia de áreas de las distribuciones potenciales actuales y futuras de P. raimondii para cada GCM. Los valores negativos indican la reducción del área de distribución.

GCM	RCP	Área Potencial (km ²)	Diferencia del presente	
			km ²	%
Presente	-	154268.40		
ACCESS 1.0	4.5	131271.50	-22996.90	-14.91
HadGEM2-ES	4.5	124606.40	-29662.00	-19.23
IPSL-CM5A-LR	4.5	103947.70	-50320.70	-32.62
Promedio	4.5	119941.87	-34326.53	-22.25
ACCESS 1.0	8.5	104965.70	-49302.70	-31.96
HadGEM2-ES	8.5	101310.10	-52958.30	-34.33
IPSL-CM5A-LR	8.5	51949.75	-102318.65	-66.33
Promedio	8.5	86075.18	-68193.22	-44.20

Presentación de figuras

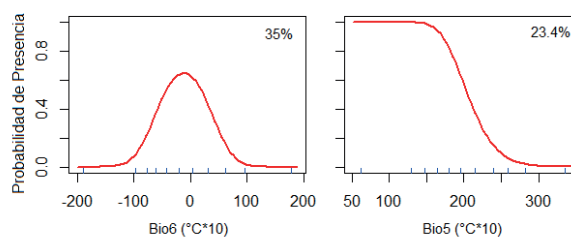


Figura 1. Curvas de respuesta de las variables más importantes del proceso de modelado de MaxEnt. El Bio6 es temperatura mínima del periodo más frío y Bio5 es temperatura máxima del mes más caliente

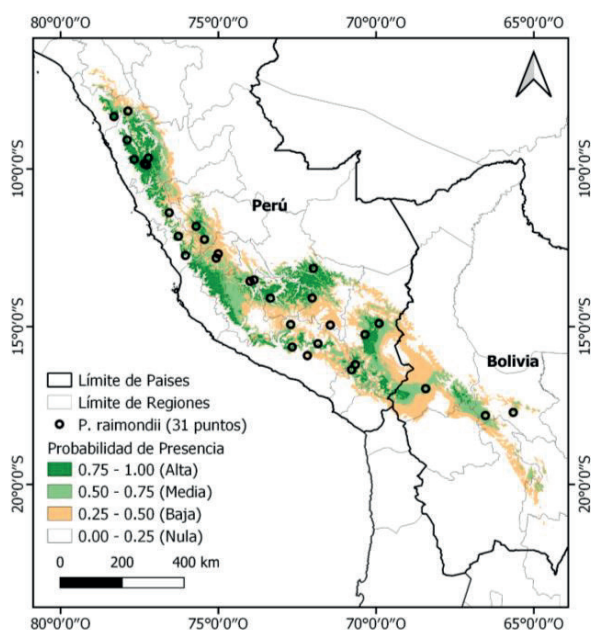


Figura 2. Distribución potencial actual de *P. raimondii*, en donde las probabilidades de presencia se indican como: nula (<0.25), baja (0.25-0.50), media (0.50-0.75) y alta (>0.75). Los puntos de presencia de la especie fue 31 lugares en donde la especie crece de manera natural.

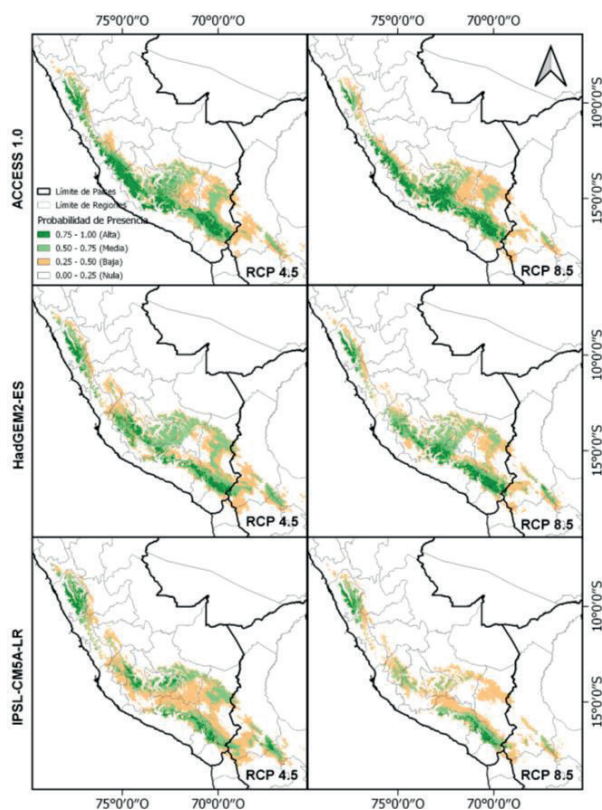


Figura 3. Distribución potencial futura de *P. raimondii* de acuerdo a tres modelos climáticos globales (ACCESS1-0, HAdGEM2-ES e IPSL-CM5A-LR) bajo dos rutas de concentración representativas de gases de efecto invernadero (RCP 4.5 y RCP 8.5) para el año 2070.

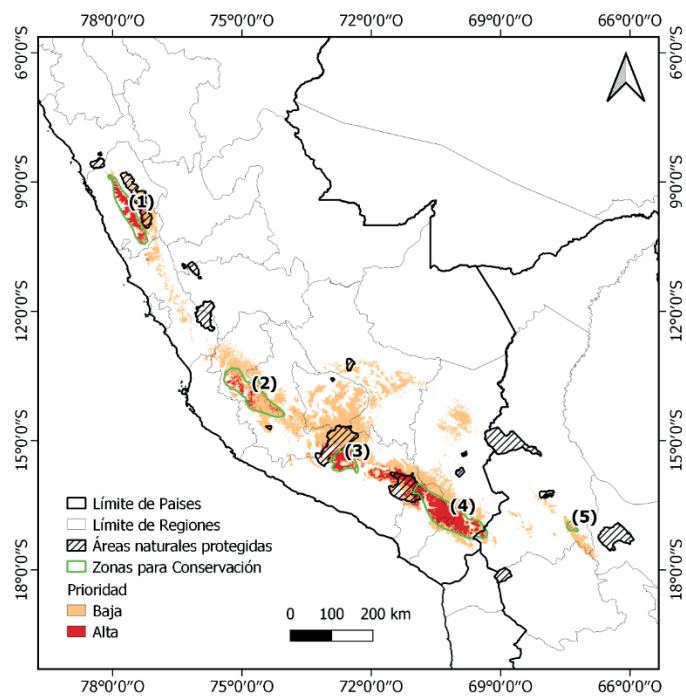


Figura 4. Áreas prioritarias para la conservación de *P. raimondii* en el futuro RCP 8.5 para el 2070. Zonas de alta probabilidad de hábitat en el futuro (1) la cordillera negra en la región Ancash, (2) las partes altas de los límites de Huancavelica y Ayacucho, (3) la cordillera Ampato en Arequipa, (4) la parte alta de las regiones Moquegua, Tacna y sur de Puno y (5) el sur de La Paz.