

Modeling the distribution of *Vasconcellea candicans* for conservation purposes in the face of environmental change drivers in Lima, Peru

Rebeca Mariela Cruz Zegarra¹; Jhade Rubí Gutierrez Gutierrez² and Samuel Astete³
^{1,2,3}Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U202010181@upc.edu.pe, U202013070@upc.edu.pe,
pcigsast@upc.edu.pe

Abstract– Drivers of environmental change are putting the biodiversity of the coastal hills of Lima, Peru, at risk, with significant impacts on *Vasconcellea candicans*, an endemic and critically endangered tree species. This study modeled its current distribution to identify priority conservation areas and propose strategies to address threats such as urban expansion and climate change occurrence records from the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) and environmental variables from WorldClim, The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) and SoilGrids were used, eliminating collinearity using the Variance Inflation Factor (VIF). Through the MaxEnt model, validated with an average AUC of 0.989, it was determined that 1.60% of the territory of Lima (556.55 km²) presents high suitability for the species. At the same time, the analysis of Landsat images (1990-2023) showed accelerated urban growth, restricting the available habitat. Urban expansion, land use change and unregulated tourism emerge as the main threats, compromising a species that plays an essential ecological role by capturing atmospheric water and sustaining biodiversity, in addition to having a high cultural and historical value. These results highlight the importance of adopting conservation measures based on scientific evidence, aimed at mitigating human and climatic pressures, ensuring the preservation of *Vasconcellea candicans* and the essential ecosystem services that maintain environmental balance and benefit local communities.

Keywords– *Vasconcellea candicans*, conservation, coastal hills, drivers of change, urban expansion.

Modelado de la distribución de *Vasconcellea candicans* con fines de conservación frente a impulsores de cambio ambiental en Lima, Perú

Rebeca Mariela Cruz Zegarra¹; Jhade Rubí Gutierrez Gutierrez² and Samuel Astete³
^{1,2,3}Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U202010181@upc.edu.pe, U202013070@upc.edu.pe,
pcigsast@upc.edu.pe

Resumen— Los impulsores de cambio ambiental están poniendo en riesgo la biodiversidad de las lomas costeras de Lima, Perú, con impactos significativos sobre *Vasconcellea candicans*, una especie arbórea endémica y críticamente amenazada. Este estudio modeló su distribución actual para identificar áreas prioritarias de conservación y proponer estrategias frente a amenazas como la expansión urbana y el cambio climático. Se utilizaron registros de ocurrencia de Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y variables ambientales de WorldClim, The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y SoilGrids, eliminando colinealidad mediante el Factor de Inflación de la Varianza (VIF). A través del modelo MaxEnt, validado con un AUC promedio de 0.989, se determinó que el 1.60% del territorio de Lima (556.55 km²) presenta alta idoneidad para la especie. Paralelamente, el análisis de imágenes Landsat (1990-2023) evidenció un crecimiento urbano acelerado, restringiendo el hábitat disponible. La expansión urbana, el cambio de uso del suelo y el turismo desordenado emergen como principales amenazas, comprometiendo una especie que desempeña un rol ecológico esencial al capturar agua atmosférica y sostener la biodiversidad, además de poseer un alto valor cultural e histórico. Estos resultados resaltan la importancia de adoptar medidas de conservación fundamentadas en evidencia científica, orientadas a mitigar las presiones humanas y climáticas, asegurando la preservación de *Vasconcellea candicans* y los servicios ecosistémicos esenciales que mantienen el equilibrio ambiental y benefician a las comunidades locales.

Palabras clave—*Vasconcellea candicans*, conservación, lomas costeras, impulsores de cambio, expansión urbana.

I. INTRODUCCIÓN

El estado de amenaza de una especie requiere un análisis dinámico de diversos factores, los cuales no deben ser considerados como estáticos, ya que pueden cambiar con el tiempo [1]. La identificación de subespecies y su clasificación depende en gran medida de la información disponible, particularmente sobre su distribución geográfica y el tamaño poblacional [2]. Estos datos son esenciales para evaluar posibles tendencias de aumento o disminución en las tasas de declive de la especie, las cuales suelen estar relacionadas con el grado de fragmentación y pérdida de su hábitat [3].

En este contexto, las lomas costeras son hábitats únicos que albergan una biodiversidad significativa, adaptada a condiciones climáticas extremas y suelos poco profundos [4]. Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan presiones constantes debido a la expansión urbana, el cambio de uso del suelo y las actividades humanas, lo que está poniendo en riesgo su biodiversidad, así como sus funciones ecológicas esenciales [5]. En particular, los

impulsores de cambio directos (IC), como el incremento de la infraestructura urbana y la explotación de canteras, y los indirectos, como el turismo desordenado y el cambio climático, han alterado profundamente la dinámica de estos ambientes [6]. Las lomas costeras, que son hábitats únicos con una biodiversidad significativa adaptada a condiciones climáticas extremas y suelos poco profundos, están bajo una presión creciente debido a la expansión urbana y el cambio de uso del suelo [7].

Para abordar esta problemática, los modelos de distribución de especies (SDM, por sus siglas en inglés, *Species Distribution Models*), pueden ser utilizados con un enfoque biogeográfico, ya que analizan cómo se distribuyen las especies, abarcando tanto factores históricos, antropogénicos y de dinámica poblacional, como los factores ambientales que influyen en dicha distribución [8]. Los SDM emplean datos de ocurrencia de la especie junto con variables ambientales para crear un modelo que correlaciona las condiciones ambientales con los requisitos ecológicos de la especie, permitiendo predecir la adecuación relativa del hábitat [9].

II. JUSTIFICACIÓN

La especie arbórea *Vasconcellea candicans* (mito), nativa y amenazada dentro del departamento de Lima, enfrenta múltiples presiones que comprometen su supervivencia [10], [11]. Entre los factores más significativos se encuentran amenazas comunes dentro de las lomas como la fragmentación de hábitats, la pérdida de ecosistemas asociada al cambio de uso del suelo con fines agrícolas, la extracción de material de piedras en canteras, el sobrepastoreo, y el crecimiento desordenado del urbanismo [11].

Disponer de información precisa y actualizada acerca de la distribución de *Vasconcellea candicans* resulta esencial para comprender su estado de conservación y los patrones de cambio que están incidiendo negativamente en sus poblaciones. Este conocimiento no solo permitirá diagnosticar su situación actual, sino que también ayudará a identificar los impulsores clave del deterioro de su hábitat y a desarrollar estrategias de manejo y conservación basadas en evidencia.

A. Objetivos de investigación

1) Objetivo general:

- Desarrollar un modelo de distribución para *Vasconcellea candicans* en Lima, Perú, con el propósito de contribuir a su conservación frente a los impulsores de cambio.

2) Objetivos específicos:

- Determinar la distribución actual de la especie *Vasconcellea candicans* empleando datos de ocurrencia y variables ambientales correspondientes al periodo 1970-2000.
- Identificar los principales impulsores de cambio que representan una amenaza para la supervivencia de *Vasconcellea candicans* dentro de ecosistemas de lomas.

III. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende todo el territorio peruano, utilizado como base para modelar la distribución actual de *Vasconcellea candicans*. No obstante, el análisis detallado de las áreas actuales en términos de superficie: kilómetros cuadrados (km²) se enfocó exclusivamente en el departamento de Lima, situado en la costa central del país. Esta región presenta una variedad de ecosistemas, entre las cuales destacan las lomas costeras, formaciones vegetales estacionales que emergen gracias a la condensación de la neblina durante los meses de invierno [12].

Lima tiene una superficie de 34,948.57 km² y se caracteriza por su clima árido y semicálido, con precipitaciones mínimas concentradas en las partes altas y temperaturas moderadas por la influencia del océano Pacífico [13]. A lo largo de su territorio, las lomas costeras desempeñan un papel crucial en la regulación del microclima local y la conservación de biodiversidad endémica [14], [6]. Estos ecosistemas brindan múltiples servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación hídrica a través de la captación de agua de neblina, la conservación del suelo mediante la estabilización de pendientes y la captura de carbono, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático [6], [15]. No obstante, su extensión y funcionalidad están siendo amenazadas por el avance del crecimiento urbano y el cambio climático, lo que pone en riesgo su equilibrio ecológico y la viabilidad de especies clave como *Vasconcellea candicans* [16], [7].

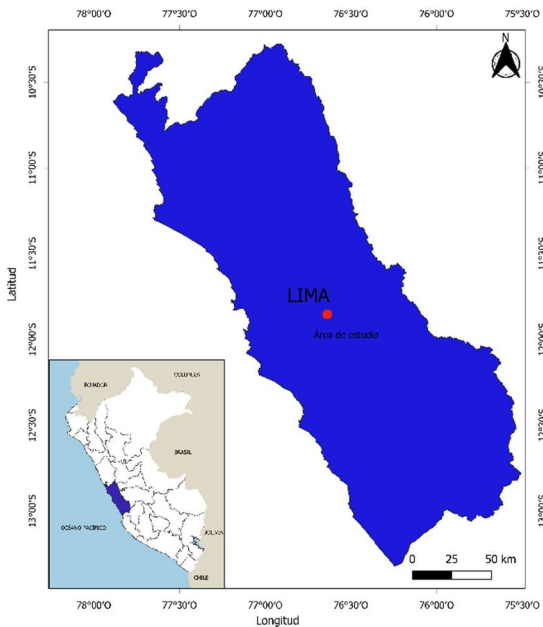


Fig. 1. Mapa del área de estudio, departamento de Lima - Perú.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se fundamentó en registros disponibles de la especie dentro del territorio peruano, obtenidos de la base de datos del Global Biodiversity Information Facility (GBIF) [5]. Para garantizar la calidad de los datos, se llevó a cabo un proceso de filtrado que excluyó registros cuya procedencia no pudiera ser verificada [17]. Adicionalmente, se validaron registros mediante la verificación cruzada de metadatos y fuentes originales disponibles a través de GBIF Perú.

Las variables bioclimáticas empeladas en el modelo se obtuvieron de la base de datos de WorldClim 2.1. [18], [19] mientras que las variables topográficas se derivaron del modelo digital de elevación generado por The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Por otro lado, las variables edáficas provinieron de SoilGrids 0.5.3 [20]. Para minimizar la multicolinealidad entre las variables ambientales, se utilizó el método del Factor de Inflación de la Varianza (VIF, por sus siglas en inglés), implementado en el software RStudio 4.4.0. [21], [22].

Con la información de ocurrencia basada en registros de solo presencia, se procedió a realizar el proceso de selección o filtrado de la información eliminando los sitios que no tenían sustento [23]. Posteriormente, se generó un modelo de distribución utilizando el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt), que estima la probabilidad de ocurrencia de la especie en función de la distribución geográfica más uniforme [24], [25]. Este análisis se realizó empleando el software MaxEnt 3.4.4.

En el modelamiento se empelaron un total de 13 variables ambientales, que incluyeron variables topográficas, edáficas y cuatro variables bioclimáticas seleccionadas de las 19 disponibles en WordClim. Estas variables, obtenidas a partir de datos mensuales de temperatura y precipitación, permiten generar otras variables con mayor significado biológico. Representan el promedio del periodo 1970-2000 [26], [27] (Tabla 1).

TABLA 1
VARIABLES AMBIENTALES UTILIZADAS EN EL MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE VASCONCELLEA CANDICANS

Variable	Descripción
BIO7	Rango de temperatura anual
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO15	Estacionalidad de las precipitaciones
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
nitrogen	Nitrógeno total
aspect	Orientación cardinal de la pendiente
cec	Capacidad de intercambio catiónico
bdod	Densidad aparente de la fracción fina del suelo
clay	Contenido de arcilla
cfvo	Fracción volumétrica de fragmentos gruesos
rhm	Humedad relativa
slope	Pendiente del terreno
silt	Contenido de limo

Para evaluar la precisión del modelo de distribución, se utilizó el método basado en el área bajo la curva operativa del receptor (AUC, por sus siglas en inglés, *Area Under the Curve*).

Este indicador permite determinar la capacidad del modelo para diferenciar entre sitios con presencia y ausencia de la especie [28]. Los valores de AUC oscilan entre 0.5 y 1, donde un valor de 0.5 refleja que el modelo no tiene mejor desempeño que uno generado al azar. Valores entre 0.5 y 0.7 indican un modelo con baja precisión o escasa discriminación, mientras que valores superiores a 0.7 son representativos de un modelo con alta precisión o elevada capacidad discriminatoria. Un valor de AUC igual a 1 señala un modelo óptimo en su adecuación predictiva. Generalmente, se considera que valores de AUC mayores o iguales a 0.75 son indicativos de un buen desempeño del modelo en la discriminación de áreas con y sin presencia de la especie [29], [30].

Adicionalmente, se utilizó el lenguaje de programación R 4.4.0 [31] para calcular las áreas de distribución de la especie dentro del departamento de Lima en (km²) a partir de los datos ráster generados por MaxEnt [32]. Los resultados fueron representados gráficamente mediante el software QGIS Desktop 3.4.3.

Para identificar los impulsores de cambio, como el crecimiento urbano, se analizaron imágenes satelitales de alta resolución obtenidas de los satélites Landsat 7, 8 y 9, disponibles a través del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) [33]. Se descargaron 24 imágenes, las cuales fueron georreferenciadas para garantizar su correcta alineación geoespacial. Durante el procesamiento, se eliminaron artefactos no deseados y se seleccionaron imágenes con una cobertura de nubes inferior al 10% [34].

El procesamiento de las imágenes se realizó en QGIS Desktop 3.4.3, delimitando el área de estudio y combinando bandas 7, 6 y 4 para resaltar áreas urbanas en falso color [35]. Las áreas urbanas correspondientes a los años 1990, 2002, 2015 y 2023 fueron delineadas mediante herramientas de polilínea y polígono [36], [37]. Estos años se eligieron estratégicamente para analizar la evolución a largo plazo y las tendencias recientes del crecimiento urbano en Lima.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento del modelo obtuvo un valor de área bajo la curva (AUC) promedio de 0.989 lo que indica un buen desempeño de discriminación entre las áreas con presencia y sin presencia de *Vasconcellea candicans* dentro del territorio peruano [24], [38]. Sin embargo, es importante considerar que toda predicción de distribución conlleva un grado inherente de incertidumbre, asociado a la calidad de los datos y a las limitaciones espaciales de las variables ambientales utilizadas. En este contexto, el modelo identificó como variables ambientales más influyentes a la precipitación del trimestre más seco (BIO17) y a la temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8), ambas vinculadas con la estacionalidad hídrica característica de los ecosistemas de lomas. Se observó que la distribución presenta una idoneidad o probabilidad de presencia de 0.75 - 1.00 (Alta) dentro de los departamentos de Cajamarca, Lima, Arequipa, Moquegua, y Tacna, sin embargo, Lima presenta 83 puntos de georreferencia del total de 115 puntos de

presencia (Fig. 2). Bajo las condiciones climáticas y ambientales actuales, las áreas con alta probabilidad de presencia de la especie *Vasconcellea candicans* se localizaron en la zona costera de Lima, abarcando solamente el 1.60% del área de estudio (556.55 km²) (Fig. 3). Esto sugiere la posible persistencia de la especie a lo largo del tiempo [39], [40].

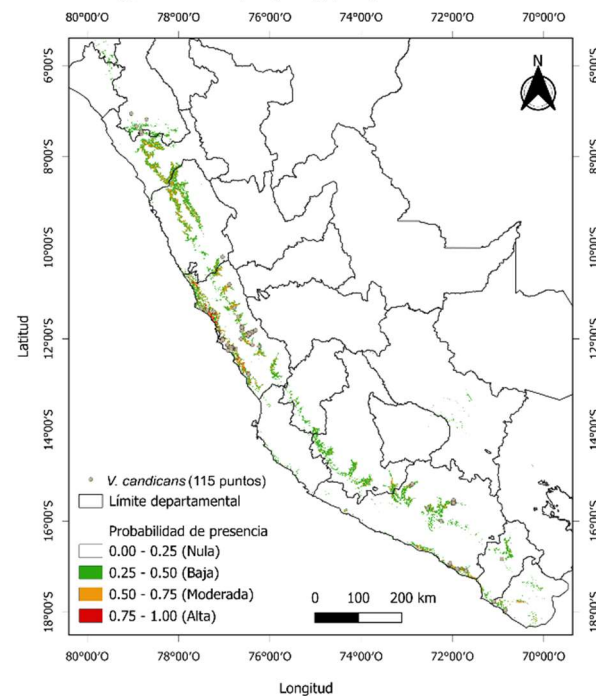


Fig. 2. Mapa de distribución actual de *Vasconcellea candicans* dentro del territorio peruano.

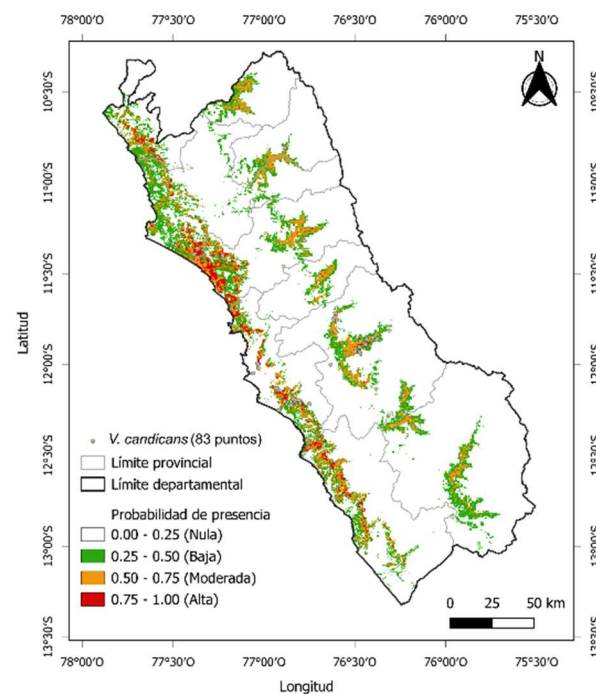


Fig. 3. Mapa de distribución actual de *Vasconcellea candicans* dentro del departamento de Lima.

La población de *Vasconcellea candicans* dentro del área de estudio se caracteriza por ser escasa, una condición atribuida a su carácter de especie arbórea endémica de los ecosistemas de lomas [41]. Esta especie desempeña un papel ecológico fundamental en dichos ecosistemas debido a los diversos servicios ambientales que ofrece, los cuales contribuyen significativamente al mantenimiento de la calidad ambiental de las lomas [41], [42]. Entre estos servicios destaca su capacidad para captar agua atmosférica, un atributo crítico en un medio xerofítico donde la disponibilidad hídrica es limitada.

Por estas razones, *Vasconcellea candicans* es considerada una especie paraguas, ya que su presencia protege y promueve el desarrollo de otras especies dentro de su hábitat y del ecosistema en su conjunto [43]. El concepto de “especies paraguas” (del inglés “umbrella species”) es un término generalmente asociado al campo de la conservación, en el cual algunas especies demandan grandes extensiones de tierra para subsistir de manera natural, y como tal son utilizadas para acciones de conservación de otras especies [44], [45], [46]. Su rol como productor primario en la cadena trófica subraya su importancia al proporcionar alimento para especies herbívoras y nichos ecológicos para diversas especies de flora y fauna silvestres, lo que en última instancia fomenta una mayor biodiversidad en las lomas [47].

Además de su relevancia ecológica, los frutos de *Vasconcellea candicans* tienen un valor cultural e histórico significativo. Durante la época prehispánica, estos frutos constituyeron un elemento importante en la dieta de las poblaciones andinas debido a su alto contenido nutritivo y sus propiedades medicinales, utilizadas tradicionalmente para tratar diversas enfermedades [48], [49]. Sin embargo, la especie enfrenta amenazas críticas que comprometen su conservación.

Entre los principales impulsores de cambio ambiental que la vulneran se encuentra la expansión urbana [11]. El análisis del crecimiento urbano en el departamento de Lima, basado en imágenes satelitales de alta resolución, evidenció un incremento significativo tanto en la extensión como en la densidad de las áreas urbanas a lo largo de las décadas estudiadas (Fig. 4), generando una transformación en la configuración espacial de la ciudad [50], [51]. Estas dinámicas intervienen directamente en las áreas de distribución de *Vasconcellea candicans*, restringiendo su hábitat y aumentando su vulnerabilidad.

A pesar de su importancia ecológica, cultural e histórica, *Vasconcellea candicans* está catalogada en peligro crítico, lo que pone en manifiesto la necesidad urgente de implementar estrategias efectivas de conservación [11], [52]. La protección de esta especie no solo es esencial para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas de lomas, sino también para preservar los servicios ecosistémicos y los beneficios culturales que son fundamentales para el bienestar ambiental y humano en la región.

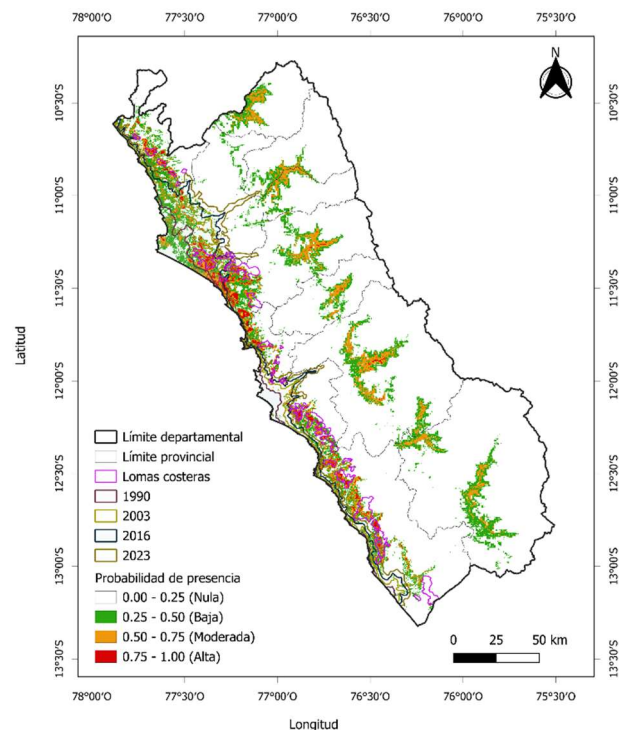


Fig. 4. Mapa del impacto del crecimiento urbano (1990-2023) en la distribución actual de *Vasconcellea candicans*.

VI. CONCLUSIONES

El modelado de distribución de *Vasconcellea candicans* ha demostrado ser una herramienta efectiva para identificar áreas prioritarias de conservación en las lomas costeras de Lima, Perú. Los resultados obtenidos mediante el algoritmo MaxEnt, con un desempeño destacado (AUC promedio: 0.989), permitieron delimitar zonas de alta idoneidad que abarcan el 1.60% del territorio regional (556.55 km²). Estas áreas están siendo gravemente amenazadas por factores como la expansión urbana, el cambio de uso del suelo y el turismo desordenado, que restringen significativamente el hábitat disponible para esta especie endémica y críticamente amenazada.

El análisis multitemporal basado en imágenes Landsat (1990-2023) evidenció un incremento continuo en las áreas urbanas, reflejando las intensas presiones antropogénicas sobre este ecosistema único. *Vasconcellea candicans* desempeña un papel fundamental en las lomas costeras, contribuyendo con servicios ecosistémicos como la captura de agua atmosférica, el soporte de biodiversidad y la regulación ambiental, además de poseer un valor histórico y cultural significativo.

La implementación de estrategias de manejo y conservación basadas en evidencia científica resulta crucial para mitigar los efectos del cambio climático y las actividades humanas. Preservar esta especie y su hábitat no solo garantizará la sostenibilidad de los ecosistemas de lomas costeras, sino que también salvaguardará servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano y la resiliencia ambiental de la región frente a los desafíos globales.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda incorporar proyecciones bajo diferentes escenarios de cambio climático, lo cual permitiría estimar la distribución potencial futura de *Vasconcellea candicans* y anticipar su vulnerabilidad ecológica ante condiciones ambientales cambiantes. Asimismo, sería pertinente complementar el desempeño del modelo con métricas que cuantifiquen la incertidumbre, como análisis de sensibilidad o intervalos de confianza, con el fin de mejorar la precisión en la toma de decisiones de conservación. Finalmente, se sugiere establecer sistemas de monitoreo continuo en las zonas de alta idoneidad identificadas, lo que facilitaría la validación de las predicciones y permitiría detectar a tiempo posibles alteraciones en la cobertura vegetal o presiones antrópicas.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por su respaldo académico e institucional. Asimismo, reconocemos a Global Biodiversity Information Facility (GBIF), WorldClim, The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y SoilGrids por proporcionar datos abiertos de biodiversidad y variables ambientales esenciales para este estudio. Estas fuentes han sido fundamentales para garantizar la precisión y el acceso equitativo a información clave, facilitando el avance del conocimiento en sostenibilidad y conservación.

REFERENCIAS

- [1] “Aprueban categorización de especies amenazadas de flora silvestre. | SINIA.” Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-categorizacion-especies-amenazadas-flora-silvestre>
- [2] U. Nacional, M. De, S. Marcos, L. Maffei, and L. Romero, “Deficiencias en la categorización y necesidades de investigación en especies amenazadas: un análisis de los vertebrados y plantas del departamento de Loreto, Perú,” *Rev Peru Biol*, vol. 28, no. SPE, Dec. 2021, doi: 10.15381/RPB.V28IESPECIAL.21967.
- [3] SINIA, “Línea de base de la diversidad de la papaya peruana con fines de bioseguridad,” *Ministerio del Ambiente*, 2023, Accessed: Jun. 23, 2024. [Online]. Available: www.gob.pe/minam
- [4] MINAM, “Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva,” 2019. Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/309735/Memoria_descriptiva_mapa_Nacional_de_Ecosistemas.pdf
- [5] GBIF, “GBIF Occurrence Download.” Accessed: May 24, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.15468/dl.da2ntt>
- [6] Gamboa, “Sistema de Lomas costeras,” *Formulario de Presentación Lista Indicativa*, 2019, Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://patrimoniomundial.cultura.pe/sites/default/files/li/pdf/17.%20Sistema%20de%20Lomas%20-%20Esp.pdf>
- [7] Z. Sanchez, “Impulsores de cambio de uso de suelo en ecosistemas de lomas: el caso de las Lomas del Sur de Lima,” *South Sustainability*, vol. 3, no. 2, p. e066, 2022, doi: 10.21142/ss-0302-2022-e066.
- [8] V. Alberdi, “Modelado de distribución de especies en los bosques de los andes meridionales,” *Papeles de Geografía*, no. 66, Jan. 2021, doi: 10.6018/geografia.409051.
- [9] N. D. Charney, S. Record, B. E. Gerstner, C. Merow, P. L. Zarnetske, and B. J. Enquist, “A Test of Species Distribution Model Transferability Across Environmental and Geographic Space for 108 Western North American Tree Species,” *Front Ecol Evol*, vol. 9, Jul. 2021, doi: 10.3389/fevo.2021.689295.
- [10] H. Trinidad, E. Huamán-Melo, A. Delgado, A. Cano, A. Lomas, and E. Huber Trinidad Patricio, “Flora vascular de las lomas de Villa María y Amancaes, Lima, Perú Vascular flora from Villa María and,” *Rev. peru. biol.*, vol. 19, no. 2, pp. 149–158, 2012.
- [11] SERFOR, “Guía de Flora de las Lomas de Lima,” 2015.
- [12] M. O. Dillon, M. Nakazawa, and S. Leiva, “The Lomas formations of coastal Peru: Composition and biogeographic history,” 2003. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/288658029>
- [13] INEI, “INFRAESTRUCTURA SOCIO-ECONOMICA DISTRITAL: CARACTERISTICAS DEL DEPARTAMENTO DE LIMA.”
- [14] J. L. García, “Lecciones y desafíos para la investigación científica en la Estación Atacama UC_Oasis de niebla Alto Patache. Conversaciones sobre desierto y niebla con Horacio Larrain y Pilar Cereceda,” *Revista de Geografía Norte Grande*, vol. 68, pp. 221–227, 2020.
- [15] IPBES, *El Informe de la Evaluación Mundial sobre la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas*. 2019. [Online]. Available: www.ipbes.net
- [16] SERFOR, “Guía de Flora de las Lomas de Lima,” 2015.
- [17] J. E. Rubiano Mejía, G. A. Reina-Rodríguez, and F. A. Castro Llanos, “Distribución espacial de orquídeas y cambio climático en el Bosque Seco en Colombia y su aplicación como estrategia regional de conservación para el Valle del Cauca,” 2013. Accessed: Jun. 01, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/a7da9e9a-e9b8-423a-94c9-3d41b8089cb1/content>
- [18] W. R. Quispe and E. Elias, “Distribución potencial de puya raimondii harms en futuros escenarios del cambio climático,” *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, vol. 22, no. 2, pp. 170–181, May 2020, doi: 10.18271/ria.2020.605.
- [19] D. Yan, W. Chen, L. Liu, J. Li, L. Liu, and Y. Wang, “Change in current and future geographic distributions of *Ulmus lamellosa* in China,” *J For Res (Harbin)*, vol. 29, no. 4, pp. 1147–1156, Jul. 2018, doi: 10.1007/s11676-017-0503-7.
- [20] A. Cotrina Sánchez *et al.*, “Biogeographic distribution of *Cedrela* spp. Genus in Peru using maxent modeling: A conservation and restoration approach,” *Diversity (Basel)*, vol. 13, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.3390/d13060261.
- [21] D. Marquardt, “Generalized inverses, ridge regression, biased linear estimation, and nonlinear estimation. Technometrics,” *Tecnometria*, vol. 12, no. 3, pp. 561–612, 1970, doi: <https://doi.org/10.2307/1267205>.
- [22] C. F. Dormann *et al.*, “Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance,” *Ecography*, vol. 36, no. 1, pp. 27–46, Jan. 2013, doi: 10.1111/J.1600-0587.2012.07348.X.
- [23] S. Arenas-Castro, A. Regos, and P. González-Moreno, “Capítulo 18. Modelos de distribución de especies en ecosistemas forestales,” *Geomática, Teledetección y Modelos Espaciales Aplicados a la Gestión de Sistemas Forestales*, 2022.
- [24] S. Phillips and M. Dudík, “Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation,” *Ecography*, vol. 3, pp. 161–175, 2008.
- [25] S. Phillips, R. Anderson, and R. Schapire, “Maximum entropy modeling of species geographic distributions,” *Ecol Modell*, vol. 190, no. 3, pp. 231–259, 2006, Accessed: May 31, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- [26] “Datos climáticos históricos — Documentación de WorldClim 1.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.worldclim.org/data/worldclim1.html>
- [27] S. E. Fick and R. J. Hijmans, “WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas,” *International Journal of Climatology*, vol. 37, no. 12, pp. 4302–4315, Oct. 2017, doi: 10.1002/joc.5086.
- [28] F. Castro-Llanos, G. Hyman, J. Rubiano, J. Ramirez-Villegas, and H. Achicanoy, “Climate change favors rice production at higher elevations in Colombia,” *Springer Nature*, vol. 24, pp. 1401–1430, 2019, Accessed: May 31, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09852-x>
- [29] J. Hanley and B. McNeil, “The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve,” *Radiology*, vol. 143, no. 1, 1982, Accessed: May 31, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747>

- [30] Yingchang Li, Mingyang Li, Chao Li, and Zhenzhen Liu, "Optimized Maxent Model Predictions of Climate Change Impacts on the Suitable Distribution of *Cunninghamia lanceolata* in China," *Forest*, vol. 11, no. 3, p. 302, 2020, Accessed: May 31, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/f11030302>
- [31] "R: The R Project for Statistical Computing." Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.r-project.org/>
- [32] G. Calvas, J. Maita, E. Angamarca, P. Eguiguren, and D. Veintimilla, "Impactos del cambio climático en la distribución potencial de especies forestales priorizadas de la Amazonía ecuatoriana," *Bosques Latitud Cero*, vol. 14, no. 1, pp. 31–46, Jan. 2024, doi: 10.54753/blc.v14i1.2115.
- [33] R. O. Sucapuca, J. D. Choquehuanca, and E. Pelinco Ruedas, "Islas de calor urbano mediante imágenes satelitales en la ciudad de Juliaca durante el año 2019," *Ciencia & Desarrollo*, vol. 21, no. 1, pp. 10–28, Aug. 2022, doi: 10.33326/26176033.2022.1.1387.
- [34] C. Cea, J. Cristobal, P. Serra, and X. Pons, "MEJORAS EN LA DETECCIÓN SEMIAUTOMÁTICA DE NUBES Y SOMBRAS EN IMÁGENES LANDSAT," 2005. Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: <https://aet.org.es/congresos/xi/ten82.pdf>
- [35] R. R. Temes and A. Moya, *QGIS aplicado al urbanismo*. 2021.
- [36] L. A. Ruiz *et al.*, "LA TELEDETECCIÓN COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO URBANO Y SU REPRESENTACIÓN EN 3D," 2007.
- [37] L. Cano, R. Rodríguez, J. Valdez, O. Acevedo, and R. Beltrán, "Detección del crecimiento urbano en el estado de Hidalgo mediante imágenes Landsat," *Investigaciones Geográficas*, vol. 2017, no. 92, pp. 1–2, Apr. 2017, doi: 10.14350/ig.52339.
- [38] S. J. Phillips, R. P. Anderson, M. Dudík, R. E. Schapire, and M. E. Blair, "Opening the black box: an open-source release of Maxent," *Ecography*, vol. 40, no. 7, pp. 887–893, Jul. 2017, doi: 10.1111/ecog.03049.
- [39] Belli, "ESTUDIO ETNOBOTÁNICO Y MORFOLÓGICO DE 'MITO' *Vasconcellea candicans* CON ÉNFASIS EN PLÁNTULAS," 2015. Accessed: Nov. 23, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3754/belli-obando-veronica.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Vasconcellea%20candicans%2C%20el%20Mito%2C%20planta%20pertenciente%20a%20los%2000%2D1000%20m%20s.n.m.%20y%20a%20las>
- [40] A. Cotrina Sánchez *et al.*, "Biogeographic distribution of *Cedrela* spp. Genus in Peru using maxent modeling: A conservation and restoration approach," *Diversity (Basel)*, vol. 13, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.3390/d13060261.
- [41] L. Eusebio and A. Mendoza, "Autoecología de *Carica candicans* (Gray) de las Lomas de Lúcumo," *The Biologist, ISSN-e 1994-9073, ISSN 1816-0719, Vol. 4, No. 2, 2006 (Ejemplar dedicado a: The Biologist)*, vol. 4, no. 2, p. 2, 2006, Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9398010>
- [42] A. Mendoza, "Biodiversidad y Sustentabilidad de las ciudades costeras Necesidad de mantener áreas naturales de vida silvestre en la ciudad," *The Biologist, ISSN-e 1994-9073, ISSN 1816-0719, Vol. 4, No. 1, 2006 (Ejemplar dedicado a: The Biologist)*, vol. 4, no. 1, p. 3, 2006, Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9398004>
- [43] E. Isasi-Catalá, "LOS CONCEPTOS DE ESPECIES INDICADORAS, PARAGUAS, BANDERAS Y CLAVES: SU USO Y ABUSO EN ECOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN," *Interciencia*, pp. 31–38, 2011, Accessed: Apr. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33917727005.pdf>
- [44] J. M. Roberge and P. Angelstam, "Usefulness of the Umbrella Species Concept as a Conservation Tool," *Conservation Biology*, vol. 18, no. 1, pp. 76–85, Feb. 2004, doi: 10.1111/J.1523-1739.2004.00450.X.
- [45] N. L. Barlow, C. P. Kirol, K. E. Doherty, and B. C. Fedy, "Evaluation of the Umbrella Species Concept at Fine Spatial Scales," *J Wildl Manage*, vol. 84, no. 2, pp. 237–248, Feb. 2020, doi: 10.1002/JWMG.21791.
- [46] J. D. Carlisle, K. T. Smith, J. L. Beck, M. A. Murphy, and A. D. Chalfoun, "Beyond overlap: considering habitat preference and fitness outcomes in the umbrella species concept," *Anim Conserv*, vol. 27, no. 2, pp. 212–225, Apr. 2024, doi: 10.1111/ACV.12899.
- [47] C. A. Espinoza Bardales and C. A. Espinoza Bardales, "Lomas costeras: nuevos sistemas urbanos para la otra Lima," *Universidad Nacional de Ingeniería*, Jun. 2015, Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/15528>
- [48] S. Leiva, G. Gayoso, and L. Chang, "CARICA CANDICANS A. GRAY (CARICACEAE), UNA FRUTA UTILIZADA EN EL PERÚ DESDE LA ÉPOCA PREHISPÁNICA," *Arnaldoa*, vol. 23, no. 2, pp. 609–626, 2016.
- [49] V. De Feo, F. De Simone, G. A. Arroyo, and F. Senatore, "Carica candicans Gray (Mito), an Alimentary Resource from Peruvian Flora," *J Agric Food Chem*, vol. 47, no. 9, pp. 3682–3684, Sep. 1999, doi: 10.1021/JF980513D.
- [50] C. Soria and P. Romo, "Rompiendo lo frágil. La experiencia del crecimiento urbano en las Lomas De Amancaes," *THEMIS Revista de Derecho*, no. 74, pp. 163–177, Oct. 2019, doi: 10.18800/THEMIS.201802.015.
- [51] G. Hernández, "Impacto del crecimiento urbano en la sostenibilidad ambiental y territorial de la campiña alta de Moche, 1997-2016," UPAO, Trujillo, 2016. Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/2916/1/REP_MA_EST.ARQ_GISELLA.HERN%C3%81NDEZ_IMPACTO.CRECIMIENTO.URBANO.SOSTENIBILIDAD.AMBIENTAL.TERRITORIAL.CAMPI%C3%91A.ALTA.MOCHE.1997.2016.pdf
- [52] S. Leiva González, G. Gayoso Bazán, and L. Chang Chávez, "Carica candicans A. Gray (Caricaceae), una fruta utilizada en el Perú desde la época prehispánica," *Arnaldoa*, vol. 23, no. 2, Dec. 2016, doi: 10.22497/ARNALDOA.232.23212.