

Investigación Original**Evaluación de hábitat del colibrí esmeralda hondureño *Amazilia luciae* (Trochilidae) mediante modelos de distribución de especies**Marco Osorto-Núñez marco.osorto.nunez@est.una.ac.crInstituto Internacional de Conservación y Manejo de Vida Silvestre
Universidad Nacional, Costa Rica

Historial del artículo:

Recibido enero 16, 2021. Aceptado febrero 26, 2021. Publicado junio 30, 2023

Cómo citar: Osorto-Núñez, M. 2023. Evaluación de hábitat del colibrí esmeralda hondureño *Amazilia luciae* (Trochilidae) mediante modelos de distribución de especies. *Ceiba*, 56(1), p. 3–15. doi: 10.5377/ceiba.v56i1.16283

Resumen. Los modelos de distribución de especies son fundamentales para la planificación y conservación, debido a que su capacidad predictiva permite llenar vacíos sobre la presencia-ausencia de una especie en un área determinada. *Amazilia luciae* es la única especie de colibrí endémica en Honduras y según la UICN se encuentra en peligro de extinción, por lo que es importante describir su hábitat y su distribución potencial para su conservación. El objetivo de esta investigación fue realizar una evaluación de hábitat del colibrí esmeralda hondureña *A. luciae* mediante modelos de distribución de especies. Se utilizaron 19 variables bioclimáticas en combinación con la variable elevación y la variable ecosistemas de Honduras. Los datos de ocurrencia de la especie se obtuvieron de Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Se generaron cinco modelos y la selección del mejor modelo se determinó mediante las métricas: *Area Under the Curve* (AUC) y *True Skill Statistic* (TSS). Se utilizaron los paquetes raster, rdismo, SDMtune, y java mediante el lenguaje estadístico RStudio 4.0.2 y ArcGis 10.5. Los resultados indican que *Random Forest* es el mejor modelo, encontrándose que: Lempira, Cortés, Santa Bárbara, Olancho, y Yoro son las zonas predichas con idoneidad muy alta donde ya se ha registrado la especie. Comayagua indicada con idoneidad muy alta y Copán e Intibucá con idoneidad alta son zonas donde no se ha registrado *A. luciae*. Se encontró que la variable bioclimática más importante fue la precipitación del trimestre más cálido.

Palabras Clave: Ambiente Idóneo, Ave endémica, Bosque Seco Tropical, Random Forest.

Habitat evaluation of the Honduran emerald hummingbird *Amazilia luciae* (Trochilidae) using species distribution models

Abstract. Species distribution models are fundamental for planning and conservation, due to their predictive capacity to fill knowledge deficient. *Amazilia luciae* is the only endemic species of hummingbird in Honduras and according to the IUCN it is in danger of extinction, so it is important to describe its habitat and potential distribution for its conservation. The objective of this analysis was to conduct a habitat assessment of the Honduran emerald hummingbird *A. luciae* using species distribution models. Nineteen bioclimatic variables were used in combination with the elevation variable and the ecosystem variable of Honduras. Species occurrence data were obtained from the Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Five models were generated, and the selection of the best model was determined by the Area Under the Curve (AUC) and True Skill Statistic (TSS) metrics. The raster,

rdismo, SDMtune, and java packages were used using the statistical language RStudio 4.0.2 and ArcGis 10.5. The results indicate that Random Forest is the best model, finding that Lempira, Cortés, Santa Bárbara, Olancho, and Yoro are the predicted areas with very high suitability where the species has already been recorded. Comayagua indicated with very high suitability and Copán and Intibucá with high suitability are areas where *A. luciae* has not been recorded. The most important variable was precipitation in the warmest quarter.

Keywords: Endemic Bird, Random Forest, Suitable Environment, Tropical Dry Forest.

Introducción

El conocimiento detallado de la distribución ecológica y geográfica de las especies es fundamental para la planificación y evaluación de la conservación de la biodiversidad (Elith et al. 2006). Sin embargo, los datos de presencia de la gran mayoría de estas son escasos, lo que da como resultado información incompleta sobre su distribución (Mac-Nally y Fleishman 2004). Los modelos de distribución se han convertido en una de las áreas de investigación con mayor desarrollo, debido a su capacidad para proyectar el espacio geográfico-ecológico de las especies en diferentes escalas (Plisoff y Fuentes-Castillo 2011).

Se prevé que el cambio climático global tendrá impactos críticos en la biodiversidad, con efectos sinérgicos que producirán cambios significativos en la distribución, la historia natural, y el comportamiento de muchos organismos (Costa et al. 2014). Esto indica que la variación en el clima produce alteraciones en la distribución y abundancia de las especies por lo que se requiere realizar análisis de los efectos de dichas variables en los patrones de ocurrencia y desarrollar estimaciones de distribuciones geográficas potenciales en respuesta al cambio climático (Costa et al. 2014, Mota-Vargas et al. 2013, Vásquez et al. 2014)

El colibrí esmeralda hondureño, *Amazilia luciae* (Lawrence), es la única especie de ave endémica de Honduras y actualmente se encuentra en peligro de extinción según la lista roja de la UICN (BirdLife International 2016).

La especie fue descrita en 1867 por Lawrence a partir de especímenes colectados sin localidad definida y desde ese año no se volvió a registrar sino hasta 1933 (Peters 1945). Históricamente, ha sido reportada en cinco departamentos de Honduras: Olancho, Lempira, Yoro, Santa Bárbara, y Cortés (Herrera y Rodríguez 2016). Actualmente, su distribución se limita a los valles inter montanos, generalmente en bosques áridos espinosos, bosques semidecíduos, o áreas abiertas con arbustos dispersos. No obstante, se ha detectado preferencia en otros tipos de cobertura como bosques de galería y en ecotonos de pino-encino adyacentes a zonas de bosque seco (Rodríguez et al. 2016).

Amazilia luciae ocupa una distribución altitudinal que va desde 140 a 845 msnm (Germer et al. 2012) y temperaturas que oscilan entre 24.5 °C–31.8° C aproximadamente (INTELSIG 2013). No obstante, en la actualidad existe muy poca información sobre su ecología, biología reproductiva, y distribución en otros departamentos de Honduras. La información existente incluye algunos registros incidentales y una descripción de nido (Espinal y Marineros 2013).

Aunque el hábitat del colibrí esmeralda ya ha sido descrito y es la única ave endémica de Honduras, fue solo hasta 1980 que hubo investigación sobre su biología a partir de la paralización de un proyecto carretero a lo largo de la parte superior del Valle de Aguán (Germer et al. 2013, Mora et al. 2016). Por esto, el objetivo principal de esta investigación fue realizar una evaluación de hábitat del colibrí

esmeralda endémica hondureña *Amazilia luciae* mediante modelos de distribución de especies con el propósito de divulgar los nuevos sitios de ambiente idóneo con necesidades de investigación e identificación de estrategias de gestión para su conservación.

Métodos

Área de estudio

La república de Honduras se encuentra ubicada en el centro del istmo centroamericano. Limita al norte con el mar caribe, al sur con la república de El Salvador y el Golfo de Fonseca, al este con Nicaragua, y al oeste con Guatemala. El territorio continental está comprendido entre 12°58' N y 83°10' O. Al tomar en cuenta el aspecto insular y su plataforma continental especialmente en el norte, la latitud alcanza hasta los 18° 56' N. Con relación a la longitud, especialmente en la parte oeste, se extiende desde los 78° O, es decir 12 millas náuticas más allá de los Cayos Bajos o Bajo Nuevo (Garay-Romero 2009).

Obtención de datos

Las coberturas utilizadas para modelización de la distribución de la especie consistieron en 19 variables bioclimáticas, la variable elevación del proyecto WorldClim, que es una base de datos meteorológicos y climáticos globales de alta resolución espacial, y la variable ecosistemas vegetales de Honduras, obtenida de la base de datos del geoportal del Instituto de Conservación Forestal (ICF) de Honduras. Estas variables contienen información global en formato ráster con una resolución espacial de 30s (1 km²) y representan condiciones climáticas relacionadas con temperatura y precipitación (Cuadro 1).

Las capas ambientales fueron procesadas para generar variables explicativas que son importantes para definir la distribución de la especie. Todas las variables bioclimáticas y de

elevación fueron procesadas en el programa R Studio. El procesamiento de la capa adicional de ecosistemas vegetales se realizó utilizando el Software ArcGIS 10.5. La capa vectorial fue rasterizada, posteriormente, e incorporada junto a las otras variables ambientales, para después servir juntas como predictores dentro de los algoritmos de modelado.

Modelaje del hábitat idóneo

La preparación y el procesamiento de los modelos de distribución se llevaron a cabo con el software RStudio mediante los paquetes raster, rdismo, SDMtune, y java. Para la extracción de los datos específicamente de Honduras, se logró a través de las funciones *crop* y *mask*, donde se obtuvo un nuevo objeto ráster del país por cada variable. Así mismo, se utilizó la función *stack* para apilar en un solo grupo las capas de Honduras que se originaron de cada variable.

Los datos de presencia de la especie se obtuvieron del Global Biodiversity Information Facility (GBIF) mediante la función *rgbif*, encontrándose 500 registros de presencia. Los datos de ausencia se obtuvieron a partir de la función *random points*. Esta función permite generar puntos aleatorios que se pueden utilizar para extraer valores de ausencia, generándose 4998 registros. La agrupación de los datos de presencia-ausencia y variables bioclimáticas se realizó mediante la función *prepareSWD*.

El proceso de modelización de mapas de distribución se realizó a través de algoritmos para modelaje mediante cinco métodos. Los modelos seleccionados fueron Máxima entropía (MaxEnt), Maxnet, Random Forest (RF), *Artificial Neural Network* (ANN) y *Boosted Regression Trees* (BRT) con el fin de evaluar cuál de ellos tenía el mejor desempeño predictivo según las métricas utilizadas. La conexión del modelo con los datos se realizó mediante la función *train*, donde está ajusta cada modelo y calcula una medida del

rendimiento basada en el remuestreo. La conexión del modelo con las variables bioclimáticas se realizó mediante la función *predict*, la cual predice un modelo ajustado a datos ráster. La visualización del mapa se realizó mediante la función *plotPred*.

Cuadro 1. Variables usadas para el modelaje

Variable	Descripción
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango de temperaturas diurnas
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más lluvioso
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 lluvioso
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío
ECO	Ecosistemas Vegetales
ELEV	Elevación

La validez y selección del mejor modelo se evaluó mediante la comparación de dos métricas: Area Under the Curve (AUC) y True Skill Statistic (TSS). Una vez seleccionado el mejor modelo, se buscó identificar las variables de mayor importancia, es decir, las que, según el modelo, tenían mayor influencia sobre la ocurrencia de la especie, mediante *Mean Decrease Gini* (Disminución media del coeficiente de Gini). Posteriormente, se analizó el comportamiento de dicha variable. Finalmente, se procedió a la realización de un *layout* (mapa) en ArcGIS 10.5 del mejor modelo seleccionado.

Resultados y discusión

Los modelos de distribución con base en los cinco algoritmos utilizados muestran diferencias en algunas porciones de las zonas de Honduras que parece predecirse más adecuada para el colibrí esmeralda, sin embargo, aunque estas pueden derivarse de predicciones escaladas de diferentes maneras, las validaciones de las métricas utilizadas AUC y TSS (Cuadro 2.) sugieren diferencias entre los modelos utilizados para este análisis, seleccionando a Random Forest como el modelo más adecuado.

Cuadro 2. Resultados de las métricas utilizadas para la validez y selección del mejor modelo de distribución de especies.

Modelos	Métricas	
	AUC	TSS
MaxEnt	0.903632	0.8
Maxnet	0.99306	0.948
Random Forest (RF)	1	1
Artificial Neural Network (ANN)	0.73275	0.522
Boosted Regression Trees (BRT)	0.985648	0.9

Las técnicas utilizadas en este estudio son consideradas discriminantes ya que utilizan datos de presencia y ausencia (Mateo et al. 2011), excepto *MaxEnt* que genera sus propias ausencias denominadas “backgrounds”, pero estas no son válidas para su uso en la evaluación (Cruz-Cárdenas et al. 2014).

Se obtuvo una capacidad predictiva diferente entre los cinco modelos; por ejemplo, las puntuaciones de AUC fueron generalmente altas para Random Forest, Maxnet, MaxEnt, y BRT (Cuadro 2.) y en su mayoría deficiente para ANN. Estas mismas diferencias fueron validadas mediante TSS (Allouche et al. 2006). Las predicciones para el modelo ANN fueron generalmente bajas (0.73-0.52), sin embargo, para Random Forest el éxito relativo de ambas métricas no difirió mucho ya que estas predijeron como el mejor modelo con un valor de 1.

Los cinco modelos muestran la idoneidad del hábitat, la mayor variación en el rendimiento de los diferentes métodos fue evidente a nivel de especie (Figura 1). No obstante, los métodos Random Forest, Maxnet, MaxEnt y BRT tienen buena predicción en comparación con el método ANN. Tomado en cuenta las características donde *A. luciae* se ha registrado, esta especie se encuentra en espacios con una distribución altitudinal que varía desde los 140 a 845 msnm (Germer et al. 2012), con temperaturas que oscilan de 24.5-31.8° C aproximadamente

(INTELSIG 2013), con precipitación media anual entre los 300 y 2,100 mm (Asesora 2009) y con preferencia en especies de plantas donde se ha observado libar néctar como: *Pilosocereus chysacanthus* (Cactaceae), *Combretum fruticosum* (Combretaceae), *Lantana camara* (Verbenaceae), *Psittacanthus* sp. (Loranthaceae) (Mora et al. 2016), *Aechmea bracteate* (Rodríguez et al. 2019), *Piper* sp. (Herrera y Rodríguez 2016), *Helicteres guazumaefolia* (INTELSIG 2013) y *Pedilanthus camporum* (Asesora 2009). Los ecosistemas principales para esta especie son bosque seco, matorral seco (de ladera), potreros arbolados, bosques de pino y roble de bajura, matorrales de valle, bosques riparios, bosques de pino-encino, y potreros arbolados (INTELSIG 2013, Mora 2016, Rodríguez et al. 2016).

Por otro lado, la época seca comprende una parte notable para la reproducción ya que los nidos encontrados para *A. luciae* han sido entre enero y julio, pero su gran mayoría se concentran entre enero y marzo (Rodríguez et al. 2016). Se han observado nidos en *Acacia farnesiana* (Fabaceae), *Solanum dasyanthum* (Solanaceae), *Randia aculeata* (Rubiaceae), *Acacia collinsii* (Fabaceae), *Acacia pennatula* (Fabaceae), *Casearia nitida*, *Cordia curassavica* (Boraginaceae), *Opuntia hondurensis* (Cactaceae) y *Phyllostylon rhamnoides* (Ulmaceae) (Rodríguez et al. 2016).

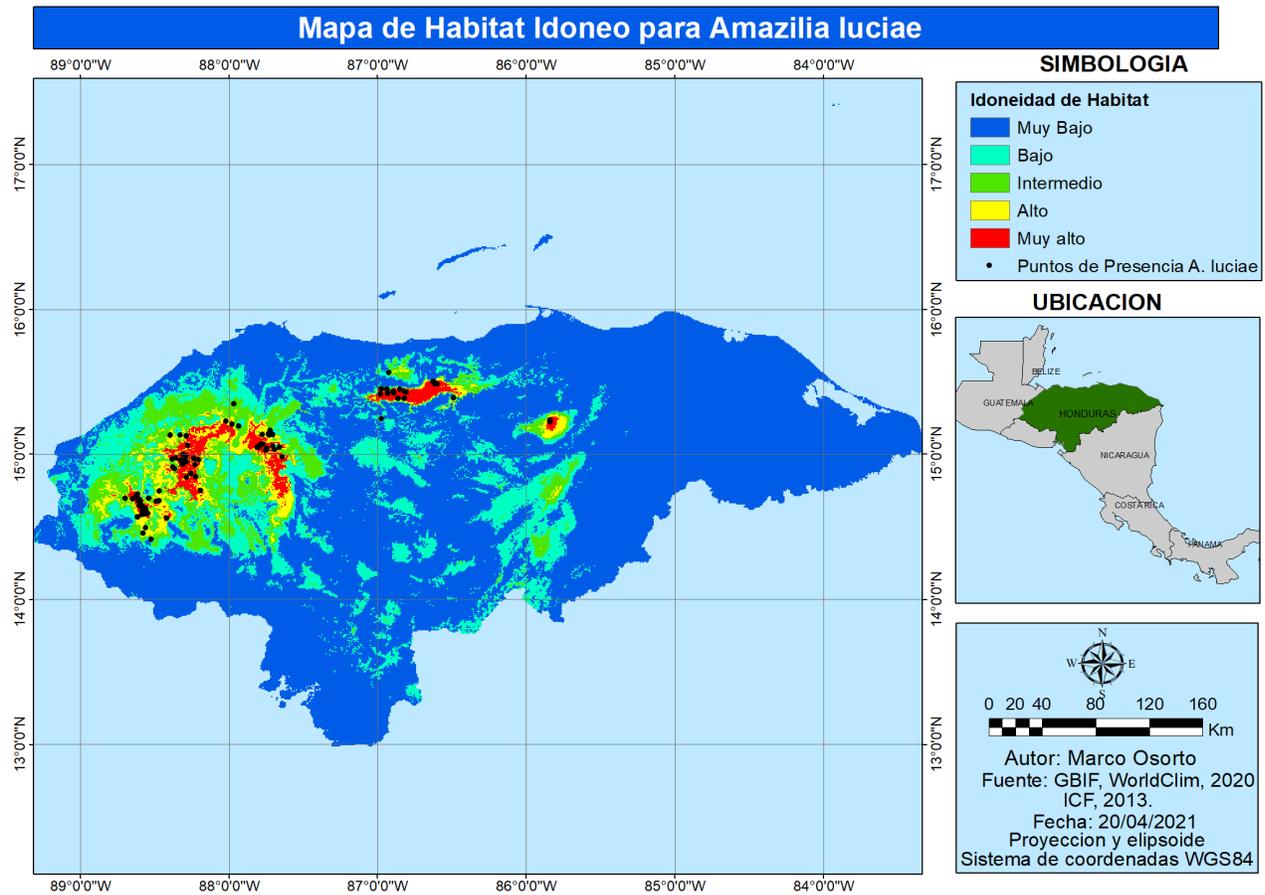


Figura 1. Distribución potencial con base en el algoritmo Random Forest, el modelo seleccionado como el mejor predictor de idoneidad de hábitat para *Amazilia luciae*.

Los resultados de Random Forest consideran que los valores cercanos a uno hacen favorable la presencia de *A. luciae* por las características bioclimáticas y biogeográficas, mientras que los valores cercanos a cero representan hábitat no apto para la especie. Esto puede estar relacionado por el cambio causado por actividades antropogénicas debido al avance de la frontera agrícola, cambios de uso de suelo, y deforestación (Carrasco et al. 2013, INTELSIG 2013, Mora 2016), o simplemente porque no cumple con las características biogeográficas y bioclimáticas necesarias para la sobrevivencia y reproducción de la especie.

Este modelo muestra que, existe una mayor idoneidad de hábitat en las zonas

correspondientes al oriente y occidente del país, en los departamentos de Lempira, Cortés, Santa Bárbara, Olancho, y Yoro, reafirmando así, las zonas identificadas donde se ha registrado y se distribuye la especie.

Sin embargo, se encontró que el departamento de Comayagua tiene un hábitat idóneo en el rango de muy alto y los departamentos de Copán e Intibucá en el rango alto, donde la especie no se ha registrado. Para Comayagua, este departamento contiene bosque semideciduo latifoliado de tierras bajas siendo este uno de los ecosistemas de las laderas de los grandes valles del noreste del país (House y Rivas 2008). En la zona protegida El Cajón, área de importancia ecológica a nivel nacional

se evidenció idoneidad, esta zona, actualmente presenta un proceso de erosión generalizado, significando pérdidas de nutrientes que son casi irrecuperables, debido al sobreuso de los recursos naturales y produciendo efectos negativos sobre la flora y fauna silvestre (OEA 1992). También se encontró idoneidad en la cordillera del Sulaco compartida con el Departamento de Yoro con altitudes que van desde los 692 a 2282 msnm (Mejía-Ordoñez y House, 2002). Estas zonas tienen temperaturas que oscilan en un promedio de 25.1°C (Mi ambiente 2019) y son áreas aptas para *A. luciae* (INTELSIG 2013, Espinal y Mora 2012).

En Copán, el modelo predice áreas con hábitat altamente idóneo en la zona del parque arqueológico, conformada por bosque deciduo estacional mixto, y en la zona oeste, sitios en los que la ganadería y agricultura han contribuido a la deforestación (Ferrufino-Acosta et al. 2017). Las zonas aledañas al río Sesesmiles, con altitudes entre 600-1600 msnm y temperaturas que oscilan entre 16 y 26 °C perteneciendo a la zona de vida del bosque tropical seco, también cumplen con los requerimientos de hábitat de la especie. No obstante, según INTELSIG (2013) no hay registros de la especie en zonas de bosques riparios.

En Intibucá, las zonas identificadas para hábitat idóneo se encuentran aledañas al Valle de Jesús de Otoro a 600 msnm, con temperaturas superiores a 24 °C; estas zonas están cubiertas con bosque latifoliados, rodales de pino-encino y roble y cuenta con bosque seco tropical transición a subtropical (Romero-Velásquez 2009). Debido al impacto de las actividades humanas sobre el componente forestal, el bosque en su estado primitivo natural no existe en esta zona de vida. A la fecha, la cobertura vegetal del bosque seco tropical transición a subtropical está constituida por vegetación secundaria en diferentes etapas de sucesión (Mejía-Ordoñez y House 2002, Romero-Velásquez 2009).

Las áreas predichas por el modelo en donde no se ha registrado la especie, deben ser investigadas y conservadas; zonas como: en Copán, zonas aledañas al Valle de Jesús de Otoro con baja precipitación y promedio total anual es de entre 1000-1,059 mm y temperaturas superiores a 24°C (Romero-Velásquez 2009) en Intibucá con altitud 500-600 msnm, temperaturas superiores a los 18°C y precipitación anual promedio superior a los 1,000 mm (Ferrufino-Acosta 2017), y en Comayagua con elevación de 692 a 2282 m y temperaturas en promedio de 25.1°C. En estas nuevas zonas predichas existen varias plantas para alimentación de *A. luciae*, por lo cual es importante realizar investigación en estos departamentos sobre la flora utilizada por esta especie.

Al identificar las variables de mayor importancia, es decir, las que, según el modelo, tienen mayor influencia sobre la ocurrencia de la especie, mediante *Mean Decrease Gini*, se encontró que las variables que más influyen sobre la ocurrencia de la especie fueron variables bioclimáticas, dentro de ellas: BIO18 = Precipitación del cuarto o trimestre más cálido, BIO02 = temperatura rango diurno medio, BIO13 = Precipitación del mes más húmedo, y BIO07 = Rango de la temperatura anual (Figura2).

La elevación no se encontró entre las variables más importantes (MDG = 25%); no obstante, esta está directamente relacionada con las condiciones ambientales características del hábitat de *A. luciae*, ya que esta es endémica entre elevación de 140-845 msnm, y según el modelo, otras áreas con una elevación entre 200-1500 msnm podrían albergar la especie. La variable de ecosistemas tampoco tuvo una gran contribución para predecir el hábitat idóneo (MDG= < 25%).

Más allá de la interpretación de las métricas utilizadas, es importante hacer una lectura correcta del modelo y saber si este predijo

acertadamente. Random Forest se distingue de las demás por ser un clasificador más preciso, es extremadamente estable a pequeñas perturbaciones de los datos y por la serie de análisis que puede realizar (Cutler et al. 2007). No obstante, en los modelos de distribución de especies son importantes tres categorías para su uso correcto: la “explicación”; ya que investiga las relaciones estadísticas entre la distribución de las especies y el medio ambiente, proporcionando hipótesis con respecto a los factores ambientales, la “predicción”; utiliza las relaciones entre especies y el medio ambiente para mapear distribuciones potenciales y la “proyección” que amplía los modelos para estimar áreas adecuadas en el pasado o en el futuro, así como en diferentes regiones (Araújo et al. 2019).

La medida de importancia de las variables de Random Forest puede usarse para identificar subjetivamente variables ecológicamente importantes para la interpretación ya que esta no hace suposiciones de distribución sobre las variables de predicción o respuesta. Además, puede manejar situaciones en las que el número de variables de predicción excede en gran medida el número de observaciones y ofrece potentes alternativas a los métodos estadísticos paramétricos y semi paramétricos tradicionales para el análisis de datos ecológicos (Cutler et al. 2007).

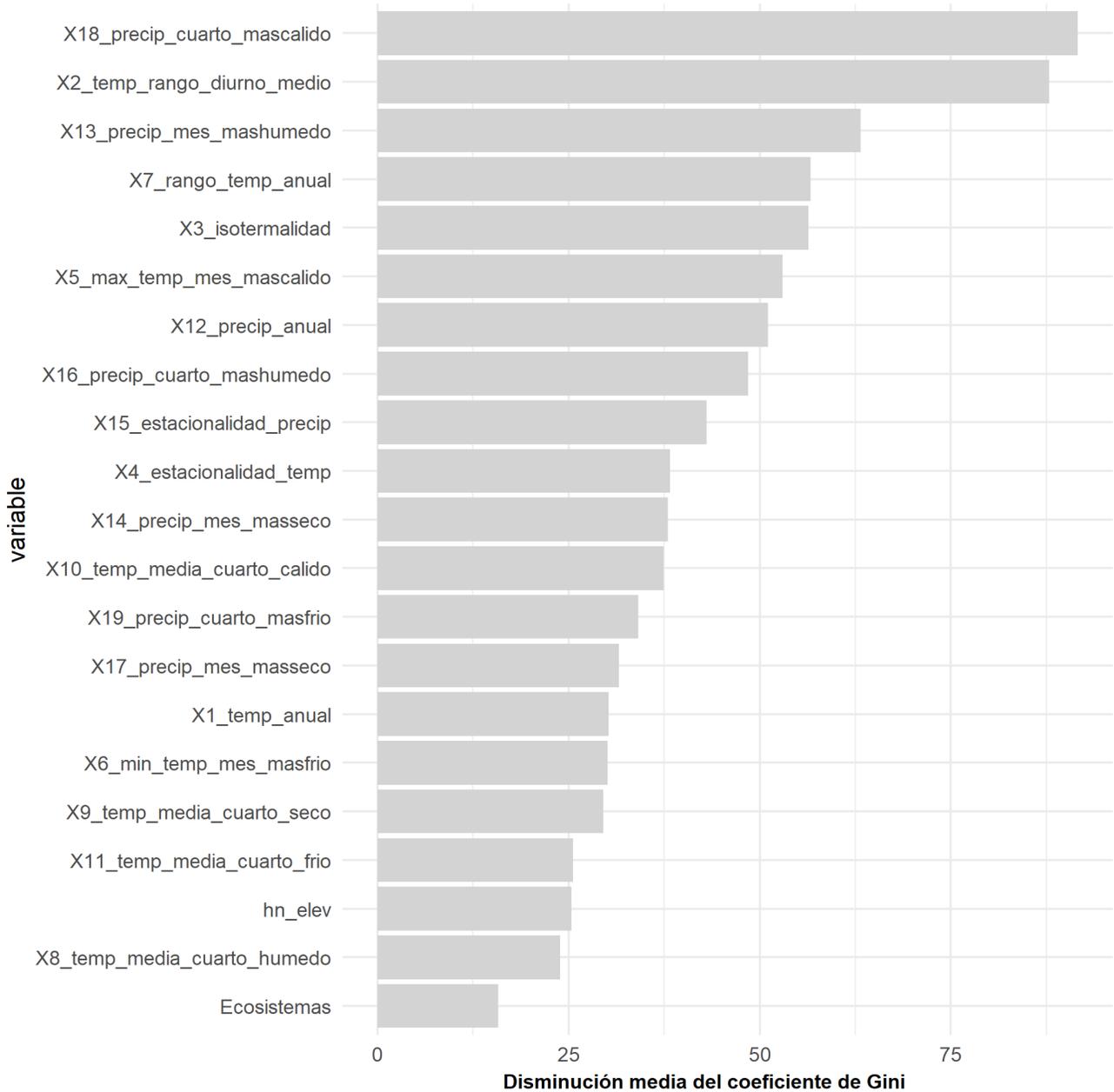


Figura 2. Variables más importantes seleccionadas sobre el mejor modelo Random Forest.

Conclusiones

El colibrí esmeralda hondureño podría encontrar las condiciones ambientales adecuadas para su ocurrencia fuera de los límites de las zonas donde ha sido avistado, lo cual podría disminuir su vulnerabilidad antes las amenazas que enfrenta. Esta información resulta relevante dada las amenazas potenciales al hábitat de la especie. Muchas especies

endémicas, como es el caso de este colibrí, están adaptadas a condiciones climáticas muy específicas, por lo que los cambios pueden significar grandes presiones para su supervivencia.

Desde la perspectiva conservacionista, los colibríes han recibido relativamente poca atención (Sierra-Morales et al. 2016). Los esfuerzos de mantener fuera de peligro al colibrí

esmeralda hondureño son importantes, debido a que, los bosques secos tropicales y subtropicales son precisamente las zonas de mayor amenaza para esta especie por actividades antropogénicas, especialmente por la agricultura (Carrasco et al. 2013, INTELSIG 2013, Mora et al. 2016, Padilla 2003). Por lo tanto, es necesario realizar estudios con un enfoque integrador más amplio tanto para la conservación y cuestiones de política (Townsend-Peterson et al. 2015b) con el fin de evaluar el potencial de distribución de la especie considerando múltiples impulsores y múltiples fuentes de incertidumbre.

Los departamentos y áreas mencionadas se deben considerar de importancia para la investigación, protección, y conservación de la especie, ya que cumplen las características en las que *A. luciae* habita y son áreas idóneas para la especie donde no se tiene evidencia de su presencia. Sin embargo, se debe considerar que las poblaciones tienden a ser más abundantes cerca del centro del rango distribución y declinan con la distancia ambiental, independientemente de dónde ocurran los ambientes geográficos (Townsend-Peterson et al. 2015a). Es importante dar prioridad a áreas donde *A. luciae* ya ha sido registrada, como los valles áridos del oriente que incluyen el valle de Agalta y Telica en el Departamento de Olancho, el Valle de Aguán en el Departamento de Yoro y en el occidente; en los departamentos de Santa Bárbara y Cortés, en los valles de Tenchoa, Quimistan, y Jicatuyo. En estas áreas las actividades antropogénicas han sido la causa de que la mayor parte del bosque seco haya sido talado y convertido en áreas agrícolas y ganaderas (Mora 2016, Rodríguez et al. 2016).

El riesgo de extinción del colibrí esmeralda en la zona del bosque muy seco tropical y el bosque seco es alto ya que se ha reducido su hábitat en más de un 98% (Asesora 2009). Como consecuencia, el estado de esta especie es frágil, se prevé que la especie se extinguirá en la próxima década a menos que se empleen

medidas de conservación en los que se apoyen los esfuerzos de gestión en el futuro (Anderson et al. 2010).

Agradecimientos

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por la beca otorgada para cursar la Maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre en el Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Nacional de Costa Rica de donde se produjo este trabajo

Referencias Bibliográficas

- Alemán-Mejía J. 2008. Caracterización de reptiles y percepción local hacia las serpientes en fincas ganaderas de la subcuenca del Río Copán, Honduras. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 125pp.
- Allouche O, Tsoar A, Kadmon R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied ecology*. 43:1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Anderson D, House P, Hyman R, Steiner R, Hawkins H, Thorn, Sh, Rey M, Espinal M, Marineras L. 2010. Rediscovery of the Honduran Esmerald Amazilia luciae in western Honduras: insights on the distribution, ecology, and conservation of a Critically Endangered hummingbird. 20(3): 255-262. doi:10.1017/S0959270910000389.
- Araújo M, Anderson R, Barbosa A, Beale C, Dormann C, Early R, Garcia R, Guisan A, Maiorano L, Naimi B, O'Hara R, Zimmermann N, Rahbek C. 2019. Standards for distribution models in biodiversity assessments. *Science Advances*. 5(1): eaat4858. doi:10.1126/sciadv.aat4858.

- Arcos I, Jiménez F, Harvey C, Casanoves F. 2008. Riqueza y abundancia de aves en bosques ribereños de diferentes anchos en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. *Revista de Biología Tropical*. 56(1), 355-369. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i1.5531>.
- ASESORA S. de R. L. 2009. Plan de Manejo del área hábitat/especie del Colibrí Esmeralda Hondureño *Amazilia luciae*. Elaborado para el Instituto de Conservación Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) y The Nature Conservancy. 347 pp.
- BirdLife International. 2016. *Amazilia luciae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22687529A93156708>. Acceso el 20 de agosto del 2020.
- Carrasco JC, Secaira E, Lara K. 2013. Plan de Conservación del Refugio de Vida Silvestre Colibrí Esmeralda Hondureño: Basado en Análisis de Amenazas, Situación y del Impacto del Cambio Climático, y Definición de Metas y Estrategias. ICF, USAID ProParque y ASIDE. 1-48. Disponible en <https://docplayer.es/82735973-Plan-de-conservacion-del-refugio-de-vida-silvestre-colibri-esmeralda-hondureno.html>
- Costa, J., Dornak, L.L., Almeida, C.E., Townsend, P. 2014. Distributional potential of the *Triatoma brasiliensis* species complex at present and under scenarios of future climate conditions. *Parasites Vectors* 7(1): 238.
- Cruz-Cárdenas G, Villaseñor J, López-Mata L, Martínez-Meyer E, Ortiz E. 2014. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 20(2):187-201. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.034>.
- Cutler D, Edwards T, Beard K, Cutler A, Hess K, Gibson J, Lawler J. 2007. Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88(11): 2783–2792. <https://doi.org/10.1890/07-0539.1>.
- Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudik M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans RJ, Huettmann F, Leathwick JR, Lehmann A, Li J, Lohmann LG, Loiselle BA, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa Y, Overton JM, Peterson AT, Zimmermann, NE. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2): 129-151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>.
- Espinal M, Marineros L. 2013. El nido de *Amazilia luciae* (Trochilidae). *Boletín de la asociación hondureña de ornitología*. 2(1):27-33. Disponible en <https://avesdehonduras.files.wordpress.com/2014/08/el-esmeralda-vol-2-no-1.pdf>.
- Ferrufino-Acosta L, Sandoval G, Oyuela O. 2017. Flora del Parque Arqueológico de Copán, Honduras. *Revista Ciencia y Tecnología*, 21: 71-89. <https://doi.org/10.5377/rct.v0i20.5923>.
- Garay-Romero IC. 2009. Gestión de los recursos renovables en la Zona sur de Honduras: Desertificación y manejo del agua. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca, España. 1-415. Disponible en <http://hdl.handle.net/10366/76266>.
- Germer L, Alvarado A, Miranda E, Miranda I, Orellana W. 2012. Descubrimiento de *Amazilia luciae* (Trochilidae) en el departamento de Lempira. *Boletín de la Asociación Hondureña de Ornitología*. 2(2): 91-93. Disponible en <https://avesdehonduras.files.wordpress.com/2014/08/el-esmeralda-vol-2-no-2-lectura.pdf>.

- Germer, L., Espinal, M., Marineros, L., Mejía, M., Quezada, B. 2013. Reseña histórica y ampliación del rango de distribución de *Amazilia luciae* en Santa Bárbara, Honduras. *Boletín de la Asociación Hondureña de Ornitología*. 2(1): 50-62.
- Herrera L. Rodríguez F. 2016. Redescubrimiento e intento de anidación del Colibrí esmeralda hondureño (*Amazilia luciae*) en el departamento de Cortés, Honduras. *Boletín de la Asociación Hondureña de Ornitología*, 4(1): 53-59. Disponible en <https://avesdehonduras.files.wordpress.com/2016/05/elesmeraldavol04no01-53-59.pdf>.
- House, P, Rivas M. 2008. Elaboración de Un Análisis de Vacíos Biofísicos del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Honduras (SINAPH): Informe Final. Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos. 102 pp.
- Ingeniería, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (INTELSIG). 2013. Abundancia, Distribución y Ecología del Colibrí Esmeralda (*Amazilia luciae*) en el Bosque Seco de Santa Bárbara, Honduras. 1-59. Disponible en <https://aprenderly.com/doc/1690928/abundancia--distribuci%C3%B3n-y-ecolog%C3%ADa-del-colibr%C3%AD-esmeralda>.
- Lawrence N. 1867. Descriptions of Five New Species of Central American Birds. Descripción de cinco nuevas especies de aves en América Central. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 19, 232-234. Disponible en https://www.jstor.org/stable/4059647?s_eq=1#metadata_info_tab_contents.
- Mejía-Ordoñez T. House P. 2002. Mapa de ecosistemas vegetales de Honduras, Manual de Consulta. Proyecto P.A.A.R. Tegucigalpa, Honduras. 60pp.
- Mora J, Espinal M, Germer L, López I. 2016. Abundancia Relativa del Colibrí Esmeralda (*Amazilia luciae*) en su Comunidad de Aves en el Valle de Agalta, Olancho, Honduras. *Ceiba*. 54(2): 127-138. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v54i2.3284>.
- Mota-Vargas C, Rojas-Soto O. R., Lara C, Castillo-Guevara C. Ballesteros-Barrera C. 2013. Geographic and ecological analysis of the Bearded Wood Partridge *Dendrortyx barbatus*: some insights on its conservation status. *Bird Conservation International*, 23: 371-385. doi:10.1017/S0959270912000329.
- Mac-Nally R, Fleishman E. 2004. A Successful Predictive Model of Species Richness Based on Indicator Species. *Conservation Biology*, 18(3): 646-654. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00328_18_3.x.
- Padilla G. 2003. Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Honduras. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. FGR/51S Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma. (Inédito).
- Peters JL. 1945. Checklist of the birds of the world. Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts, USA. 5: 1-306. Disponible en <https://www.biodiversitylibrary.org/item/50578#page/7/mode/1up>.
- Plissock, P, Fuentes-Castillo T. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista Geográfica de Norte Grande*. 48: 61-79. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>.

- Rodríguez F, Escoto D, Mejía-Ordoñez M, Ferrufino-Acosta L, Cruz S, Duchamp J, Larkin J. 2019. Influence of microhabitat on Honduran Emerald (*Amazilia luciae*) abundance in tropical dry forest remnants. *Avian Conservation and Ecology* 14(1):3. Disponible en <http://www.ace-eco.org/vol14/iss1/art3/#introduction5>.
- Rodríguez F, Escoto D, Mejía-Ordoñez T, Ferrufino-Acosta L, Cruz S, Larkin J. 2016. Notas sobre anidación y cuidado maternal del colibrí esmeralda hondureño (*Amazilia luciae*) en el valle de Agalta, Honduras. *Ornitología Neotropical*. 27: 237–246. Disponible en <https://journals.sfu.ca/ornneo/index.php/ornneo/article/view/85/ON%2027%20%281%29%20237-246.pdf>.
- Romero-Velásquez T. 2009. Cartografía y caracterización de ecosistemas de la Subcuenca del Río Cumes, Jesús de Otoro, Intibucá, Honduras. Tesis de Licenciatura. Universidad del Zamorano, Honduras. 33pp.
- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (Mi ambiente). 2019. Informe Perspectivas del ambiente urbano, Ciudad de Comayagua, Comayagua. Honduras. 96pp.
- Organización de los Estados Americanos (OEA), Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Washington, D.C, 1992. Honduras: Proyecto de Manejo de los Recursos Naturales Renovables de la Cuenca del Embalse el Cajón. Estudio de Factibilidad. 195pp.
- Sierra-Morales P, Almazán-Nuñez R, Beltrán-Sánchez E, Ríos-Muñoz C, Arizmendi M. 2016. Distribución geográfica y hábitat de la familia Trochilidae (Aves) en el estado de Guerrero, México. *Revista de Biología Tropical*. 64(1): 363-376. Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v64n1/0034-7744-rbt-64-01-00363.pdf>.
- Townsend-Peterson A, Manthey JD, Campbell LP, Saupe EE, Soberón J, Hensz C, Myers C, Owens H, Ingenloff K, Barve N, Lira-Noriega A, Barve V. 2015a. A test of niche centrality as a determinant of population trends and conservation status in threatened and endangered North American birds. *Endangered Species Research*. 26:201-208. <https://doi.org/10.3354/esr00646>.
- Townsend-Peterson A, Navarro-Sigüenza A, Martínez-Meyer E, Cuervo-Robayo A, Berlanga H, Soberón J. 2015b. Twentieth century turnover of Mexican endemic avifaunal: Landscape change versus climate drivers. *Science Advances*, 1(4), e1400071–e1400071. doi:10.1126/sciadv.1400071.