

INFLUENCIA DE FACTORES DETERMINANTES EN LA DISTRIBUCIÓN Y NICHO ECOLÓGICO DE ABEJAS MELÍFERAS (HYMENOPTERA: APIDAE) EN IBARRA, ECUADOR

INFLUENCE OF DETERMINING FACTORS ON THE DISTRIBUTION AND ECOLOGICAL NICHE OF HONEYBEES (HYMENOPTERA: APIDAE) IN IBARRA, ECUADOR

Recibido: 01/06/2024 - **Aceptado:** 15/01/2025

Gabriel Alexis Jácome Aguirre

Docente en la Universidad Técnica del Norte
Ibarra – Ecuador

Máster en Ingeniería Ambiental
Kyung Hee University

gajacomea@utn.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8305-6226>

Jenifer Dayana Huera Ipial

Investigadora de la Universidad Técnica del Norte
Ibarra – Ecuador

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
Universidad Técnica del Norte

jdhuerai@utn.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-9205-933X>

Andrea Luciana López Gómez

Investigadora de la Universidad Técnica del Norte
Ibarra – Ecuador

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
Universidad Técnica del Norte

allopezg@utn.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-5622-5039>

Darío Paúl Arias Muñoz

Docente de la Universidad Técnica del Norte
Ibarra – Ecuador

Doctor en Ordenación del Territorio y Medio Ambiente
Universidad de Zaragoza

dparias@utn.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1263-2748>

Ritha Alexandra del Pilar Aguirre Caicedo

Docente de la Unidad Educativa “Ibarra”
Ibarra – Ecuador

Magíster en Ciencias de la Educación
Pontificia Universidad Católica del Ecuador

alexandraaguirre85@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-5700-1104>

Oscar Rosales Enríquez

Docente de la Universidad Técnica del Norte
Ibarra – Ecuador

Máster en Sistemas de Información Geográfica
University of Salzburg

oarosales@utn.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7131-6203>

Jácome, G., Huera, D., López, L., Arias, D., Del Pilar, R., & Rosales, O. (Enero – junio de 2025). Influencia de factores determinantes en la distribución y nicho ecológico de abejas melíferas (Hymenoptera: Apidae) en Ibarra, Ecuador. *Sathiri*, 20 (1), 165-184. <https://doi.org/10.32645/13906925.1337>



Resumen

Apis mellifera L. es una especie de vital importancia como principal polinizador, su presencia resulta fundamental para el adecuado desarrollo de los ecosistemas. Sin embargo, diversos factores causan alteraciones en su nicho ecológico. En ese sentido, la presente investigación analiza la presencia de *Apis mellifera* junto con variables bioclimáticas, ambientales y agrícolas utilizando el modelo de máxima entropía (MaxEnt) con el objetivo de determinar el nicho y la distribución potencial de la especie dentro del área de estudio. Como resultado, se evidenció que el nicho ecológico de las abejas melíferas está principalmente determinado por factores como el tipo de cobertura vegetal, la producción de miel y el rango anual de temperatura (Bio7); identificando áreas con alta idoneidad que cubren un total de 645.99 ha y que corresponden a zonas de pastizales y cultivos, especialmente en la parroquia de San Antonio de Ibarra. El modelo fue validado mediante los valores AUC (0.904) y TSS (0.618). En definitiva, se evidencia que *Apis mellifera* encuentra su hábitat idóneo en áreas reducidas y específicas donde sería factible incentivar el desarrollo de la apicultura.

Palabras clave: *Apis mellifera*; máxima entropía; nicho ecológico; polinizadores; Ibarra.

Abstract

Apis mellifera L. is a species of vital importance as pollinator, whose presence is fundamental for the proper development of ecosystems. However, various anthropogenic factors cause alterations in its ecological niche. This research analyzes the presence of *Apis mellifera* along with bioclimatic, environmental, and agricultural variables using the maximum entropy model (MaxEnt) to determine the niche and potential distribution of the species within the study area. As a result, it was determined that the ecological niche of honeybees is mainly determined by factors such as the type of vegetation cover, honey production, and the annual range of temperature (Bio7), identifying areas with high suitability covering a total of 645.99 hectares corresponding to grasslands and crops, especially in the San Antonio de Ibarra parish. The model was validated using the AUC (0.904) and TSS (0.618) values. Certainly, it is evident that *Apis mellifera* finds its ideal habitat in small and specific areas where it would be feasible to promote the development of beekeeping.

Keywords: *Apis mellifera*; Maximum entropy; ecological niche; pollinators; Ibarra.

Introducción

Los himenópteros, un orden de insectos con alrededor de 150 000 especies conocidas, considerados un grupo polinizador importante (Gayubo & Pijade, 2015), abarcan dos familias o subórdenes, siendo Apidae la familia más cuantiosa con más de 5000 especies identificadas, incluyendo las abejas melíferas (Farouk *et al.*, 2014, Díaz, 2015). En la actualidad, *Apis mellifera* L. Linnæus (1758) se destaca como uno de los insectos más valiosos debido a su función como polinizador y a su producción de miel abundante (Sánchez, 2013). Esta especie ha sido objeto de numerosos estudios relacionados con su distribución geográfica y como fuente productiva (Johnson *et al.*, 2010, Hinojosa *et al.*, 2016, Kenefic, 2017, Kim *et al.*, 2017, Duarte & López, 2019, Masaquiza-Moposita *et al.*, 2019, Hennessy *et al.*, 2020, Kim *et al.*, 2020), muchos de ellos desarrollados en regiones específicas y con especies particulares, dejando de lado aquellas especies que habitan en latitudes más altas, cuyos datos de distribución son limitados (Potts *et al.*, 2016).

A pesar de la resistencia natural de las abejas a ciertos factores ambientales, las actividades humanas han tenido efectos dramáticos en sus poblaciones, creando amenazas ecológicas de alcance global (Requier *et al.*, 2017). La implementación de agroquímicos en la actividad agrícola impacta significativamente a las abejas, causando inestabilidad en su ciclo de vida y aumentando los índices de mortalidad (Martín-Culma & Arenas-Suárez, 2018). A esto, se puede sumar los riesgos en la nutrición humana, debido a la presencia de químicos en los productos procedentes de las abejas (Karahán *et al.*, 2018). Por lo tanto, se vuelve imprescindible generar información que permita tomar medidas adecuadas para preservar el hábitat y la salud de estas especies fundamentales para la sostenibilidad del ecosistema.

Una forma de delimitar el hábitat de una especie es mediante la aplicación de modelos de distribución potencial y nicho ecológico, los cuales surgen de la necesidad de conocer la distribución de la biodiversidad y la implementación de técnicas que permitan generar datos precisos e información aproximada (Franklin, 2010; Mateo *et al.*, 2012). Algunos de los algoritmos más utilizados son: BIOCLIM, ENFA, MA, MaxEnt, entre otros (Qiao *et al.*, 2018). Estos permiten establecer áreas factibles para conservación y comprender la posible diferenciación ecológica en las distribuciones (Hinojosa *et al.*, 2016). Además, se consideran herramientas importantes para predecir el hábitat adecuado de una especie en particular, ya que han sido utilizados ampliamente con datos de presencia o presencia/ausencia, juntamente con variables ambientales y físicas (Kim *et al.*, 2017; Jácome *et al.*, 2019a; Kim *et al.*, 2020), de las cuales se obtiene el rango de tolerancia adaptativa que permite determinar su nicho ecológico (López 2007; Duarte & López, 2019).

En este contexto, la presente investigación se centra en identificar los factores más significativos en el nicho ecológico de la especie *A. mellifera*, incluyendo variables bioclimáticas, ambientales y agrícolas. Donde el objetivo fue generar un modelo de distribución geográfica e identificar el hábitat idóneo de la especie. Esta información permitió identificar zonas adecuadas para su conservación e identificar espacios apícolas idóneos dentro del cantón Ibarra en Ecuador.

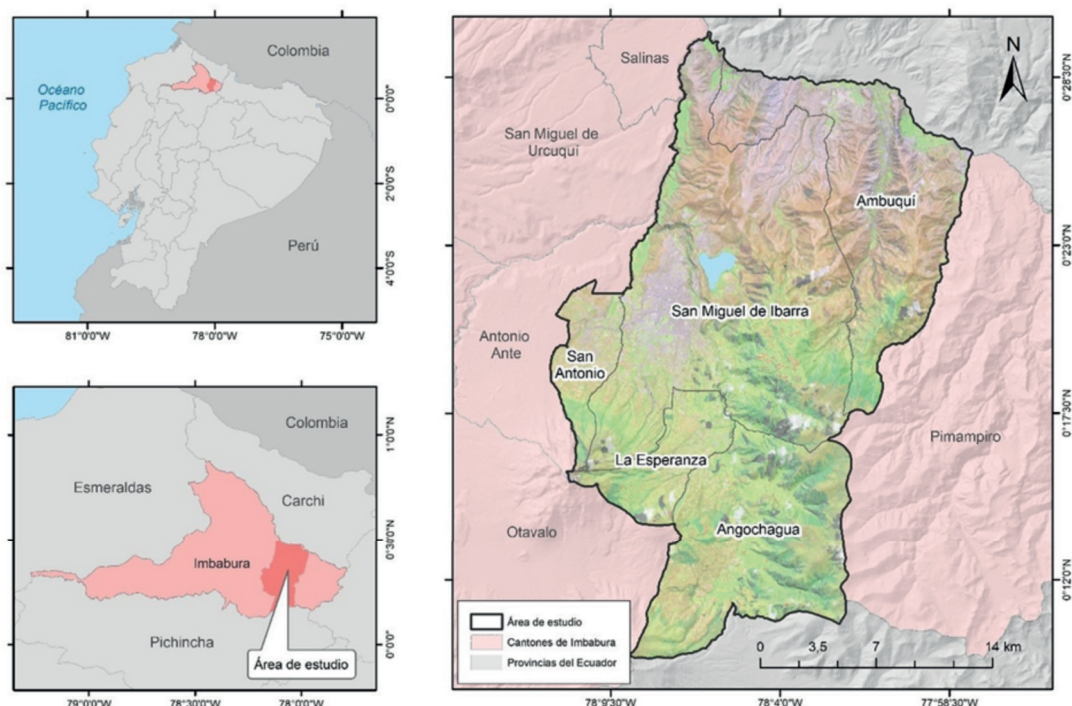
Material y métodos

Área de estudio. La investigación se realizó en el cantón Ibarra, ubicado en la provincia de Imbabura en Ecuador, específicamente en cinco parroquias o localidades: Ambuquí, La Esperanza, San Antonio de Ibarra, Angochagua y San Miguel de Ibarra; que en conjunto abarcan una extensión territorial de 551.25 km² (Figura 1). El área de estudio presenta una altitud que oscila entre los 1600 y 4500 m.s.n.m., y, en consecuencia, se encuentran diversos ecosistemas, algunos de ellos consideradas áreas de conservación prioritarias, mientras que otros son catalogados como zonas de ecosistemas frágiles. Estos entornos naturales se enfrentan a amenazas derivadas de las actividades agrícolas

que se desarrollan en todo el cantón, lo que compromete seriamente su preservación (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ibarra, 2020).

Figura 1.

Ubicación del área de estudio, Ibarra - Ecuador.



Información apícola y presencia de *Apis mellifera*. A través del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), se tuvo acceso a la base de datos de ubicación de los apicultores del cantón Ibarra, mismos que fueron usados como registros de presencia de la especie. La matriz incluyó datos relevantes, como la ubicación geográfica de cada apiario en coordenadas UTM Zona 17S Datum WGS 1984, el número de colmenas, productividad, tipo de colmenas utilizadas y la flora apícola cercana. No obstante, para asegurar la calidad y actualidad de los datos, se llevó a cabo un proceso de actualización y depuración de la base de datos a través de recorridos en campo realizados entre julio y agosto del 2021, en donde se encuestó al 100% de apicultores mediante un cuestionario analítico-exploratorio (Romo, 1998). El documento estuvo compuesto de 24 preguntas divididas en dos secciones, cada una centrada en un aspecto diferente de la actividad apícola y agrícola. La encuesta abordó temas como la distribución de apiarios y colmenas, producción de miel, la raza de abejas preferida, las especies de plantas predilectas por las abejas para su actividad, destacando las flores silvestres, frutales y dicotiledóneas, y la flora zonal determinada por la actividad agrícola cercana a los apiarios. De manera complementaria, se realizaron entrevistas semi estructuradas (Quispe & Sánchez, 2011) dirigidas a los encargados de los agro servicios que abordaron temas como los cultivos presentes en las cercanías a los apiarios, extensión y tipos de agroquímicos utilizados habitualmente, incluyendo ingredientes activos, dosis, frecuencia de aplicación, método de dispersión e impacto en las abejas. Finalmente, y con el objetivo de complementar la base de datos con información de ocurrencia natural de la especie, se obtuvieron 31 datos de presencia de *Apis mellifera* en la provincia de Imbabura desde el sitio web Global Biodiversity Information Facility (<http://www.gbif.org>), luego de haber sido depurados y delimitados para el área de estudio.

Variables ambientales y agrícolas. Se incorporaron diversas variables relevantes para el análisis, incluyendo: Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), producción de miel, cobertura vegetal, tipos de cultivos y uso de agroquímicos (Ruiz de Larramendi, 2017).

Para generar el NDVI, se adquirió una imagen Landsat 8 sensor OLI correspondiente al 22/08/2020 desde el sitio web Earth Explorer (www.earthexplorer.usgs.gov), utilizando las bandas rojo (B4) e infrarrojo cercano (B5). Para crear la variable de producción de miel, se utilizó un archivo en formato .csv que contenía la información de producción anual proporcionada por los apicultores, en donde se realizó un análisis exploratorio de los datos atípicos y una prueba de Shapiro-Wilk para verificar normalidad mediante el software IBM SPSS Statistics 25. Dicha información fue usada para generar un archivo tipo ráster a través del método de interpolación Kriging (Jácome *et al.*, 2018).

El archivo geoespacial de cobertura de suelo fue obtenido del geoportal del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (<http://geoportal.agricultura.gob.ec/>). De esta capa, se obtuvieron dos archivos diferentes, uno referente a las coberturas vegetales y otro que aborda los diferentes tipos de cultivos. Para esto, se realizó una clasificación basada en los tipos de cobertura de suelo identificados en las zonas de presencia de abejas, donde cada tipo de cobertura fue codificada con valores numéricos entre 0 y 5 (0 zonas pobladas e infraestructuras, 1 otras tierras agrícolas, 2 mosaico agropecuario, 3 plantaciones y cultivos, 4 páramo y pastizal, 5 bosque nativo, vegetación arbustiva y herbácea), lo que permitió su adecuada representación espacial. Mientras que, la capa de tipos de cultivos incluyó a aquellos que fueron identificados como próximos a los colmenares: maíz (*Zea mays*), aguacate (*Persea americana*), papa (*Solanum tuberosum*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), tomate de riñón (*Solanum lycopersicum*), frejol (*Phaseolus vulgaris*) y cebada (*Hordeum vulgare*), considerando también que poseen extensas superficies en cada una de las localidades.

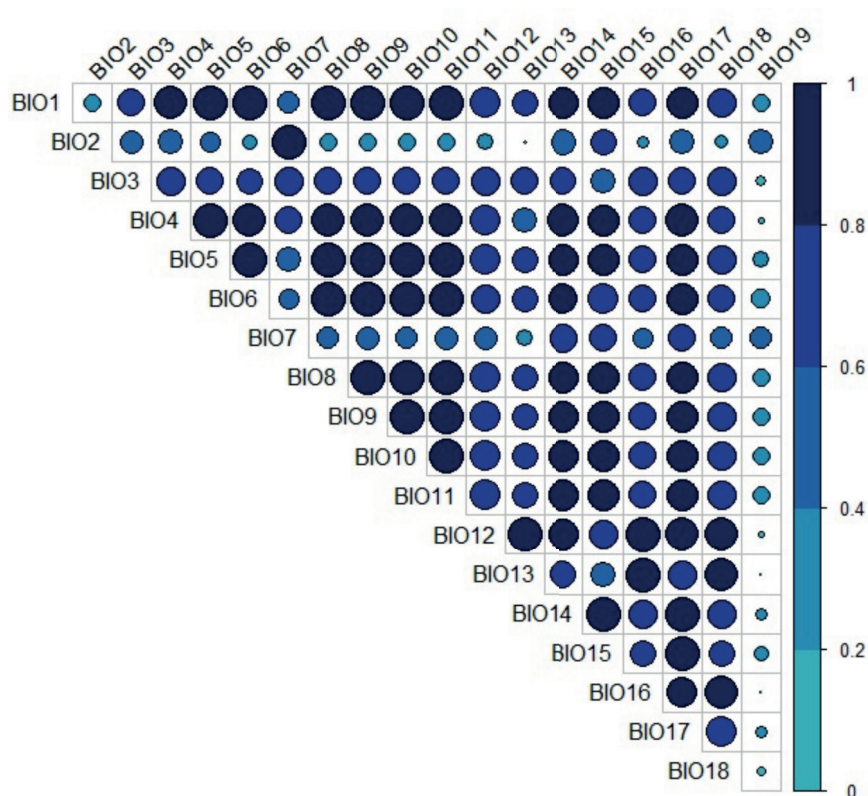
El uso de agroquímicos fue incorporado como una variable de entrada adicional. Con la información obtenida de las entrevistas antes mencionadas, se elaboró un archivo ráster empleando el software ArcGIS 10.8, donde la información obtenida fue clasificada de acuerdo con su naturaleza en cuatro categorías principales: fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas. Para proceder con la diferenciación de manera precisa, se aplicó un proceso de categorización basado en la clasificación toxicológica de las etiquetas de los productos (INEN, 1996). Para la elaboración de la cartografía, se realizaron muestreos en las parcelas de los cultivos ubicados en un radio de dos kilómetros alrededor de cada apiario; además, se tuvieron en cuenta los criterios establecidos en la resolución 0146 del MAG (2019), que establece la cancelación de los registros de plaguicidas químicos de uso agrícola clasificados como extremadamente peligrosos desde el punto de vista toxicológico (etiqueta roja) en Ecuador.

Variables bioclimáticas. Mediante el acceso a la base de datos WorldClim (<https://www.worldclim.org>), se obtuvo un total de 19 variables bioclimáticas que ofrecen una representación detallada de las condiciones de temperatura (°C) y precipitación (mm). Además de estas variables, se utilizaron datos climáticos descargados desde la misma fuente, incluyendo: radiación solar ($\text{kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), velocidad del viento (m s^{-1}) y elevación (msnm). Todas estas variables presentaron un formato ráster (.tif) con una resolución espacial de 30 arco segundos (Fick & Hijmans, 2017).

Para evaluar el nivel de relación existente entre las variables bioclimáticas, se realizó un análisis de colinealidad empleando el método de correlación y un umbral de valores absolutos > 0.7 (Dormann *et al.*, 2013, Jácome *et al.*, 2019a). Cuando los resultados muestran valores superiores al umbral, se demuestra una alta correlación entre las variables, lo que sugiere la necesidad de excluir alguna de ellas a fin de aumentar el rendimiento del modelo (Dormann *et al.*, 2013, Feng *et al.*, 2019). En este contexto, las variables bioclimáticas consideradas como idóneas a ser incluidas

en la ejecución del modelo fueron: temperatura media mensual (Bio2), isothermalidad (Bio3), rango anual de temperatura (Bio7), precipitación del mes más húmedo (Bio13), precipitación del cuatrimestre más cálido (Bio18) y precipitación del trimestre más frío (Bio19) (Figura 2).

Figura 2.
Análisis de correlación de las variables bioclimáticas (valores absolutos).



Modelo de distribución potencial con MaxEnt. Para el procesamiento del modelo se emplearon un total de 17 archivos geospaciales (Tabla 1) que comprenden variables bioclimáticas, climáticas y ambientales. Estas fueron procesadas en el software ArcGIS 10.8, garantizando una uniforme resolución espacial de 30 metros y la misma extensión geográfica en formato ASCII.

Tabla 1.
Variables utilizadas para modelar la distribución potencial de *Apis mellifera*.

N°	Variables
1	(Bio2) Rango diurno medio (Media mensual (temperatura máxima-temperatura mínima))
2	(Bio3) Isothermalidad
3	(Bio7) Rango anual de temperatura (Bio5 – Bio6)
4	(Bio13) Precipitación del cuarto mes más frío
5	(Bio18) Precipitación del trimestre más cálido
6	(Bio19) Precipitación del cuarto más frío

7	Radiación solar
8	Velocidad del viento
9	Elevación
10	Producción de miel
11	Cobertura vegetal
12	Fungicidas
13	Fertilizantes
14	Herbicidas
15	Insecticidas
16	Tipo de cultivos
17	NDVI

Para la creación del modelo de distribución potencial y nicho ecológico de la especie se utilizó el software MaxEnt versión 3.4.4, el cual se encuentra disponible en (https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). En este proceso, únicamente se emplearon datos de puntos de presencia de la especie, junto con las variables ambientales asociadas a cada uno de estos puntos. Basado en el principio de máxima entropía, el modelo resultante proporciona una representación detallada y realista de la distribución en función de las condiciones ambientales presentes en el área de estudio (Phillips *et al.*, 2017).

El modelo se ejecutó utilizando el formato de salida logística, con la especificación de parámetros de configuración cuidadosamente seleccionados. Se desactivaron los parámetros *Add samples to background*, *Extrapolate* y *Do clamping*, con el propósito de evitar valores ambientales duplicados y extrapolados (Elith *et al.*, 2011). Para asegurar una mayor versatilidad y robustez en el procesamiento del modelo, se utilizó el 75% de registros para el entrenamiento y un 25% para la prueba de validación del modelo (Moya *et al.*, 2017, Jácome *et al.*, 2019b). Se estableció un número máximo de iteraciones de 5000 y un umbral de convergencia de 0.001, con el objetivo de optimizar el rendimiento del modelo y obtener resultados confiables. Asimismo, se emplearon 10 000 puntos de fondo para la generación de la distribución final del modelo Ruiz de Larramendi (2017); además, se llevaron a cabo curvas de respuesta y la prueba Jackknife para evaluar la importancia de las variables en el modelo Ruiz de Larramendi (2017).

El rendimiento del modelo fue evaluado mediante el método AUC (Area Under the Curve) de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic Analysis), el cual varía con un resultado entre 0 y 1, donde valores cercanos a 0.5 indican “insuficiencia”, de 0.6 a 0.7 es “pobre”, de 0.7 a 0.8 es “promedio”, de 0.8 a 0.9 es “bueno”, y 0.9 a 1 es “excelente” (Allouche *et al.*, 2006, Jácome *et al.*, 2019a; Arévalo-Morocho *et al.*, 2023). También se aplicó el método TSS (True Skill Statistic), el cual es una métrica que varía entre 0 (similar al 0,5 de ROC) y 1 (predicción perfecta), donde valores por debajo de 0.4 exponen un modelo “pobre”, entre 0.4 y 0.8 son “buenos” y valores superiores a 0.8 se clasifican como “excelentes” (Gallien *et al.*, 2012).

Resultados y discusión

Actividad apícola en el cantón Ibarra y actividades agrícolas. La base de datos actualizada de apicultores reveló la existencia de un total de 45 apiarios distribuidos en distintas localidades: Ambuquí (5), Angochagua (10), Ibarra (14), La Esperanza (5) y San Antonio (11). Al analizar las encuestas realizadas, se constató que el 71% de los apicultores poseen un único apiario, mientras

que solo el 29% ostenta entre 2 o más de 10 apiarios. En cuanto al número de colmenas, el 53% cuenta con entre 1 a 10 colmenas, el 24% posee entre 11 a 25 colmenas y el 23% tiene 26 o más de 100 colmenas. En cuanto a las razas de abejas utilizadas, se destaca que el 47% adquiere abejas africanizadas, contra un porcentaje inferior, el 35% prefiere abejas europeas, y solo el 18% opta por abejas híbridas. Esta preferencia hacia las africanizadas se justifica por los resultados productivos favorables que los apicultores han experimentado con esta especie. Además, se destaca que las abejas africanizadas exhiben una mayor resistencia a enfermedades y tienen la capacidad de generar abundante enjambrazón, lo que contribuye significativamente al crecimiento y desarrollo productivo de los apiarios.

La información recopilada de los apicultores del cantón Ibarra, identificó un total de 33 especies preferidas por las abejas para esta actividad, destacándose especialmente las flores silvestres, frutales y dicotiledóneas como las más apetecidas. Entre las plantas leñosas, el eucalipto se destaca con un 24%, seguido por el aguacate (*Persea americana*) con un 19%, siendo estas las opciones más populares para las abejas. Por otro lado, en lo que respecta a la flora zonal que se encuentra determinada por la actividad agrícola cercana a los apiarios, se registró un total de 26 especies en esta categoría, siendo especialmente relevantes debido a su extensión: maíz, papa, aguacate, tomate riñón, tomate de árbol, fréjol y cebada.

Según las encuestas realizadas, se evidencia una baja cantidad de apiarios y colmenas en el área de estudio, lo que refleja la falta de importancia que se le otorga a la actividad apícola en la zona. Vivanco *et al.*, (2020) destacan que la actividad apícola en Ecuador es mayormente complementaria o secundaria, y solo una minoría se dedica exclusivamente a ella. Respecto a la raza de abejas predominante en la zona, autores como Guzmán *et al.*, (2011) coinciden con los apicultores en que la raza ideal es la africanizada. Este experto destaca que esta raza es extraordinariamente prolífica, llegando a poner hasta 3000 huevos al día y destacan por su rápida capacidad de enjambrazón, lo que genera un gran aumento en el número de colonias en un año. Según Otis (1991), es posible que estas abejas enjambren hasta un máximo de 16 veces al año.

En relación con la flora apícola predilecta, se observó que las abejas se dirigen principalmente hacia eucaliptos, flor de aguacate y multiflorales, ya que estas especies presentan fuertes rastros de aroma y se encuentran en grandes cantidades en la provincia. En este contexto, Reyes & Cano (2000) mencionan que las características relevantes para las abejas incluyen el color, olor, disponibilidad, cantidad y valor nutricional de las flores. Al estar en contacto con estas plantas, las abejas interceptan estímulos favorables, guiándose por el aroma y memorizando rutas para su regreso en futuras ocasiones. Esto denota la significativa importancia de considerar la preferencia de las abejas por ciertas especies y el papel crucial de la raza africanizada para la actividad apícola en la zona de estudio.

El contacto con la flora aledaña ha demostrado la exposición que tienen las abejas hacia los químicos principalmente por los denominados pesticidas. En el estudio de Martín-Culma & Arenas-Suáñez (2018) se diagnosticó contaminación mediante residuos de pesticidas exactamente al uso de organofosforados, que no solo están inclinados a la repercusión de los recursos naturales, también se ve afectada la generación de miel y derivados. Los organofosforados son compuestos presentes en los agroquímicos comercializados sin restricción en el Ecuador, aun conociendo la letalidad generada hacia los polinizadores. La presencia de este compuesto también representa un riesgo para la salud del consumidor y para toda la colmena, ya que se evidencia una alta residualidad y bioacumulación de químicos en los cultivos y productos elaborados por las abejas (Rodríguez, 2011).

Por otra parte, el desarrollo de esta actividad es el resultado de enfrentar inconvenientes, tanto antrópicos como ambientales. De hecho, la actividad agrícola produce la principal afectación

a la población de abejas ya que presentan una hipersensibilidad a los agroquímicos que se emplean en la agricultura (Martin-Culma & Arenas-Suáfarroez, 2018). Los agroquímicos que se utilizan en su mayoría para mejorar la producción agrícola corresponden a herbicidas, pesticidas, insecticidas y fungicidas los cuales se encuentran presentes en los agro servicios, por lo que la expansión de la frontera agrícola juntamente con la aplicación de agrotóxicos provoca disminución en la calidad y cantidad de producción de miel, además de causar un impacto en la población de abejas ya sea a corto o largo plazo (Sánchez-Bayo & Goka, 2014).

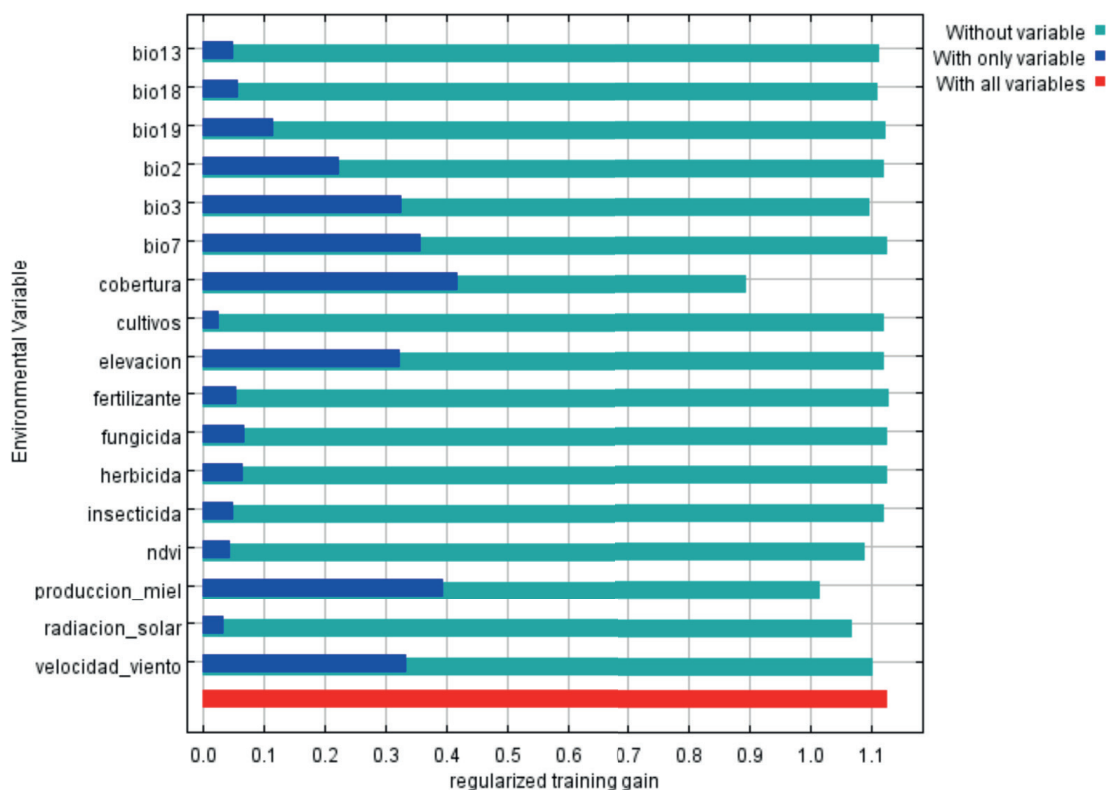
Las abejas son reconocidas como los principales polinizadores de flora silvestre, encontrándose en monocultivos, por lo que, su presencia es indispensable para la agricultura por su actividad polinizadora (Kremen *et al.*, 2002). Por ende, su situación poblacional es preocupante, por la disminución presente en todas partes del planeta atribuible al uso desmedido de sustancias peligrosas; respecto a los apicultores del cantón Ibarra registran un declive en sus colmenares, provocando un desequilibrio, ya que inducen alteraciones fisiológicas que se ven reflejadas en variaciones de su comportamiento, reconociéndolas como indicadores biológicos de su efecto nocivo a nivel ecológico y ambiental (Desneux *et al.*, 2007, Johnson *et al.*, 2010)

Por otra parte, Zhu *et al.*, (2004) señalan que los organofosforados, neonicotinoides y glifosatos se encuentran entre los productos mayormente utilizados a nivel mundial y confirma que son altamente tóxicos para las abejas. Estos productos químicos, al ingresar al organismo de las abejas, causan síntomas como desorientación, dificultad en el vuelo y problemas para comunicarse a través del baile. Desneux *et al.*, (2007) recopilan información precisa sobre los efectos de los agroquímicos en las abejas melíferas, indicando que inducen alteraciones fisiológicas a nivel social, cambios en su comportamiento y dificultades para encontrar alimento, además de causar desorientación en su ubicación de origen. Estos hallazgos son respaldados por la investigación de Donadio De Gandolfi *et al.*, (2009), donde ratifican que el uso de estos químicos afecta la navegación y el comportamiento natural de las abejas y otros insectos. Estas funciones dependen en gran medida de las transmisiones nerviosas y neuronales. A su vez, Chauzat *et al.*, (2009) afirman que, los pesticidas afectan directamente a la actividad celular durante todo el ciclo de vida de las abejas, logrando incapacitar sus funciones esenciales como la síntesis, transporte, producción de energía y la eliminación de enzimas y hormonas, por lo tanto, se produce la muerte del individuo.

Distribución potencial y nicho ecológico de *A. mellifera*. Los resultados del modelo de distribución potencial, generado con un total de 76 puntos de presencia, demostraron una alta eficacia de validación, con un valor AUC de 0.904 y un índice TSS de 0.618, lo que indica que las predicciones realizadas son satisfactorias y se ajustan adecuadamente a los datos utilizados. La prueba Jackknife ha identificado las variables más relevantes para la predicción del modelo (Figura 3); siendo la cobertura vegetal, la variable Bio7 y la producción de miel las que más influyen en la presencia de abejas.

Figura 3.

Resultado de la prueba Jackknife de las variables empleadas en el modelo de distribución potencial de *Apis mellifera*.

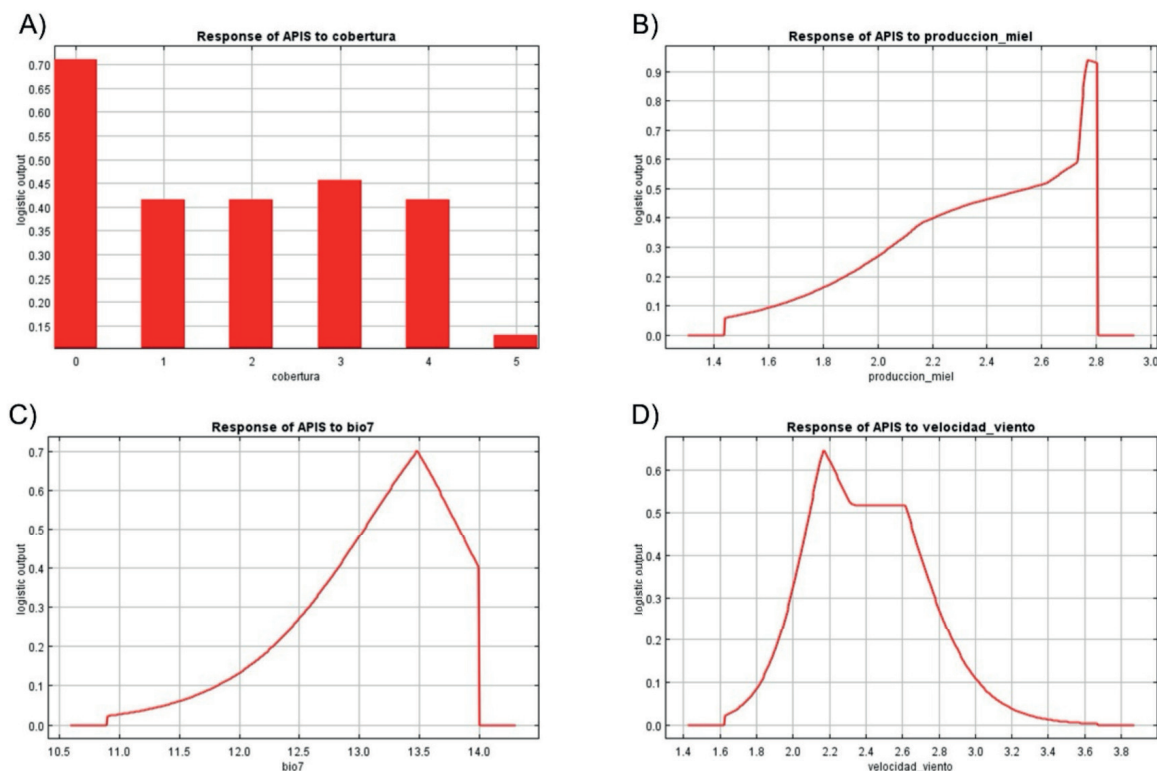


Las curvas de respuesta ante las variables mencionadas proporcionan información valiosa sobre su relación con la presencia de abejas en el área de estudio (Figura 4). La curva de cobertura vegetal (Figura 4A) revela que la especie es más prevalente en paisajes altamente alterados, como pastizales, plantaciones forestales, bosques y áreas urbanas, mientras que tiende a ser menos común en áreas con bosques nativos y vegetación arbustiva. Esta tendencia puede atribuirse a la capacidad de los apicultores para acceder a colmenas en ubicaciones específicas. La curva de producción de miel (Figura 4B) muestra una fuerte correlación con la cobertura vegetal, indicando que una mayor disponibilidad de fuentes florales aumenta la probabilidad de que las abejas incrementen sus actividades de alimentación y, por ende, la producción de miel.

La curva de respuesta de la variable Bio7 (Figura 4C) que representa el rango anual de temperatura, muestra que la presencia de abejas se favorece en climas templados con una temperatura máxima de 13.5°C. Por otra parte, la velocidad del viento (Figura 4D) también influye en la presencia de abejas, ya que está relacionada con su comportamiento de búsqueda de alimento y su actividad de polinización (Hennessy *et al.*, 2020).

Figura 4.

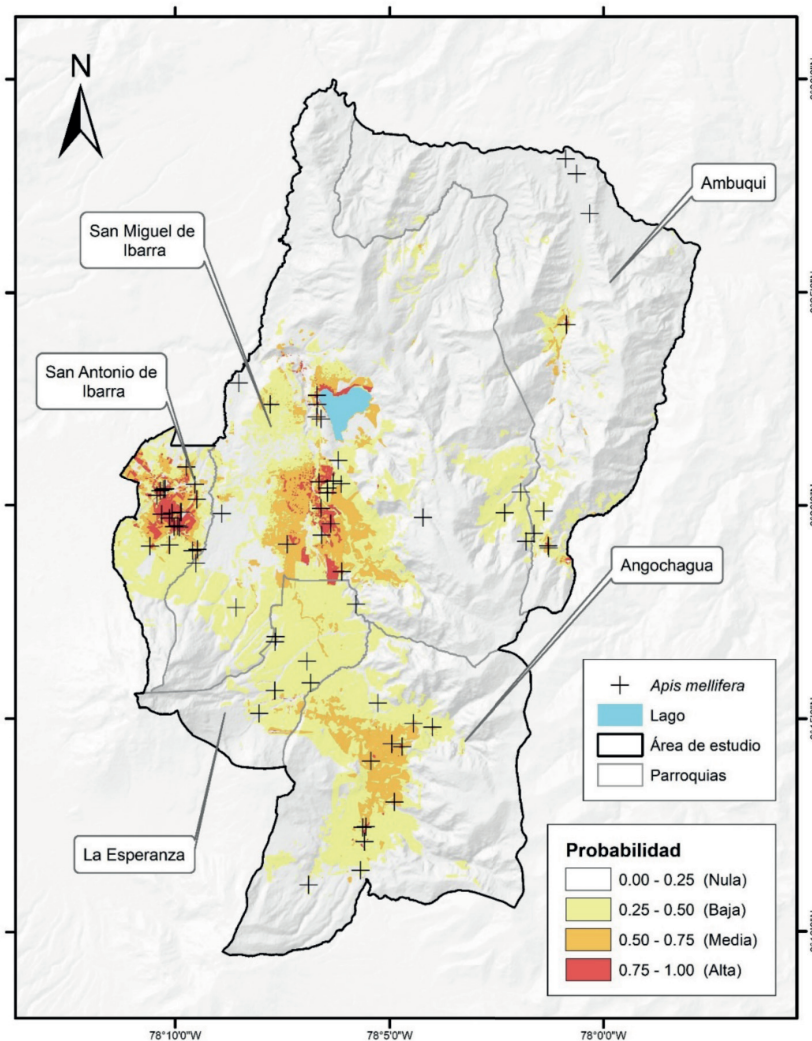
Curvas de respuesta de las variables más significativas identificadas en el modelo de nicho ecológico de *Apis mellifera*: (A) cobertura vegetal [0 zonas pobladas e infraestructuras, 1 otras tierras agrícolas, 2 mosaico agropecuario, 3 plantaciones y cultivos, 4 páramo y pastizal, 5 bosque nativo, vegetación arbustiva y herbácea]; (B) producción de miel; (C) rango anual de temperatura (Bio7); (D) velocidad del viento.



En términos geográficos, la distribución de la especie exhibe cuatro rangos de probabilidad de presencia: nula, baja, media y alta. La parroquia de San Antonio de Ibarra se destaca por tener la mayor extensión de idoneidad alta, abarcando un total de 645.99 hectáreas (Figura 5). Este hecho se debe a que la presencia de medianos apicultores registrados en esta área y sus colmenas suelen ubicarse en áreas con menor densidad de población. En contraste, las localidades con menos apiarios corresponden a los pequeños apicultores, quienes se ven más afectados por la actividad agrícola y la aplicación de agroquímicos.

Figura 5.

Distribución potencial de *Apis mellifera* dentro del área de estudio.



Se han obtenido estimaciones fiables para determinar el nicho ecológico adecuado de la especie mediante rigurosas pruebas de validación del modelo (Assefa & Lemma, 2022). El modelo está estrechamente vinculado con la cobertura vegetal y la diversidad de flora. Sin embargo, esta especie ha demostrado una notable capacidad de adaptación a las variaciones del ambiente y ha logrado aprovechar paisajes sustancialmente modificados (Fründ *et al.*, 2013). La presencia de estas abejas se incrementa en climas cálidos y templados, lo que sugiere que la temperatura es un factor crítico en su distribución, ya que influye en su comportamiento de búsqueda de alimento (Kenefic, 2017). Por otro lado, las abejas tienden a ser más vulnerables en climas fríos y húmedos, que prevalecen en latitudes más altas con temperaturas bajas (Wilson & Maclean, 2011).

En la región andina ecuatoriana, la presencia de *A. mellifera* se concentra en áreas con climas cálidos, especialmente en el callejón interandino y en la zona templada, donde existe una mayor diversidad de especies florales y una relación positiva entre la cobertura vegetal y la producción de miel (Muñoz 2007, De la Torre *et al.*, 2008). En ese sentido, la predicción del presente modelo generado, tal como ocurre en estudios similares, muestra que la variable que más influye en el entorno del hábitat de las abejas es la cobertura vegetal (Kim *et al.*, 2017). Hay que considerar también que la distribución de las poblaciones de abejas se ve influenciada por su raza, ya que estas

muestran preferencias por ciertas regiones geomorfológicas y características distintivas en sus poblaciones a lo largo de los pisos altitudinales (Masaquiza-Moposita *et al.*, 2019).

Las áreas de alta idoneidad de hábitat ecológico de *A. mellifera* se identifican principalmente en bosques seminaturales de vegetaciones de pastizales y cultivos característicos de la zona interandina. La presencia de especies introducidas como el *Eucalyptus globulus*, que se presenta extensivamente en la mayoría de las localidades, atrae a las abejas debido a su fuerte y característico olor, lo cual contribuye a su alimentación y supervivencia en estas áreas. El área con alta idoneidad de presencia de *A. mellifera* reportado refleja el nivel de perturbación existente en el resto del área de estudio, lo que sugiere que condiciones ambientales poco favorables pueden afectar la presencia de abejas. La distribución idónea en el área de estudio corresponde a pisos altitudinales entre los 2200 a 2900 m.s.n.m., con precipitaciones que oscilan entre 500 a 2000 mm/año y temperaturas medias anuales de 12 a 20 °C, lo que caracteriza áreas cálidas y húmedas (Masaquiza-Moposita *et al.*, 2019). Los hallazgos de este estudio indican que la especie se encuentra influenciada principalmente por las condiciones climáticas y el tipo de cobertura vegetal, siendo más susceptibles a los cambios de temperatura. Como una especie introducida, *Apis mellifera* contribuye a la polinización, pero su adaptabilidad a diversos climas también conlleva consecuencias negativas. Debido a su comportamiento agresivo, esta especie puede ahuyentar y reducir la diversidad de polinizadores nativos (Ferrer-Sánchez *et al.*, 2021).

Si bien, variables relacionadas con el uso de agroquímicos no han contribuido significativamente en la predicción del modelo espacial, según se observa en la prueba Jackknife (Figura 3), sí afecta a la evolución de las poblaciones de abejas debido a la fuerte demanda de estos químicos y su capacidad para inducir la mortalidad, reducir las poblaciones de abejas y deteriorar el hábitat. Las encuestas y entrevistas realizadas denotaron que los agroquímicos más utilizados son los fertilizantes, fungicidas y herbicidas, que tienen rangos desde ligeramente tóxicos hasta moderadamente peligrosos, siendo los insecticidas los que representan los compuestos más tóxicos.

Conclusiones

El modelo de distribución y nicho ecológico para *A. mellifera* estuvo influenciado principalmente por la variable de cobertura vegetal, localizando las áreas más adecuadas en las zonas de vegetación de pastizales y cultivos típicas de la región interandina. En contraste, variables relacionadas con el uso de agroquímicos no contribuyeron significativamente al nicho ecológico, pero muestra que su uso en la actividad agrícola tiene efectos colaterales que afectan a las abejas inhibiendo las funciones esenciales que necesitan estos individuos para sobrevivir, además, producen una cadena de daño al ambiente que contribuye a la mortalidad de esta especie y disminución de polinizadores.

Los resultados obtenidos demuestran la necesidad de conservar el hábitat de *A. mellifera*, para incrementar las poblaciones de la especie y contribuir al desarrollo de la apicultura mediante la implementación de medidas de manejo adecuadas que reduzcan el impacto negativo de las actividades humanas sobre esta especie crucial para la biodiversidad y la producción agrícola. Así mismo, es imprescindible realizar investigaciones con especies silvestres que permitan identificar las condiciones ambientales para su desarrollo.

Recomendaciones

Es vital investigar los efectos específicos de agroquímicos (fertilizantes, fungicidas, herbicidas, insecticidas) en la salud y comportamiento de *Apis mellifera*. Estudios detallados pueden revelar impactos subletales, como alteraciones en la navegación y reproducción, no detectables en análisis

amplios. Esta investigación informará prácticas agrícolas más sostenibles y regulaciones sobre el uso de agroquímicos, beneficiando a apicultores y la biodiversidad. Además, ayudará a minimizar los efectos negativos en las poblaciones de abejas.

Es importante investigar las interacciones entre *Apis mellifera* y polinizadores nativos para entender los efectos de esta especie en la biodiversidad local. Se recomienda comparar la eficiencia de polinización y competencia por recursos mediante estudios de campo y experimentos de exclusión. Comprender estas interacciones es esencial para diseñar políticas de conservación que protejan a los polinizadores nativos y mantengan la integridad de los ecosistemas, promoviendo una apicultura sostenible.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Ganadería, especialmente a los ingenieros William Suarez y Edwin Cervantes, por facilitar información esencial para la ejecución de este trabajo. De igual manera, agradecen a la Universidad Técnica del Norte por el apoyo brindado durante la ejecución del proyecto.

Referencias

- 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(6), 1223–1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Arévalo-Morocho, C., Jácome-Aguirre, G., Ortega-Andrade, S., Rosales-Enríquez, O., Rodríguez-Echeverry, J. 2023. Evaluación del cambio del paisaje boscoso y su impacto en la distribución de *Dipsas elegans* en el norte de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (79), 231-250. <https://doi.org/10.14198/INGEO.23541>
- Assefa, A., Lemma, M. 2022. Ecological niche modeling for stingless bees (genus *Melipona*) in Waghemira and North Wollo zones of Amhara Regional State, Ethiopia. *Scientific African*, 15, e01102. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01102>
- Chauzat, M., Carpentier, P., Martel, A., Bougeard, S., Cougoule, N., Porta, P., Lachaize, J., Madec, F., Aubert, M., Faucon, J. 2009. Influence of pesticide residues on honeybee (Hymenoptera: Apidae) colony health in France. *Environmental Entomology*, 38(3), 514-523. <https://doi.org/10.1603/022.038.0302>
- De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, J., Balslev, H. 2008. *Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador*. Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador & Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus.
- Desneux, N., Decourtye, A., Delpuech, J. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, (52), 81–106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>
- Díaz, R. 2015. Abejas sin aguijón: introducción a la Meliponicultura. Recuperado de: <https://blogzamorano.wordpress.com/2015/07/08/abejas-sin-aguijon-introduccion-a-la-meliponicultura/>
- Donadío De Gandolfi, M., García, S., Ghersam, C., Haas, A., Larripa, I., Marra, C. 2009. *Evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Buenos Aires.
- Dormann, C., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A., Zurell, D., Lautenbach, S. 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Duarte, S., López, A. 2019. Patrones de distribución de las abejas (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) en Cuba y otras regiones de los Neotrópicos. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*. 65, 119–129. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7249558>
- Elith, J., Phillips, S., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y., Yates, C. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>

- Farouk, K., Palmera, K., Sepúlveda, P. 2014. *Abejas INFOZOA*. Boletín de zoología, vol (6), 1-12. https://www.unimagdalena.edu.co/Content/Public/Docs/Entrada_Facultad3/adjunto_1029-20181004104847_528.pdf
- Feng, X., Park, D. S., Liang, Y., Pandey, R., Papeş, M. 2019. Collinearity in ecological niche modeling: Confusions and challenges. *Ecology and Evolution*, 9(18), 10365–10376. <https://doi.org/10.1002/ece3.5555>
- Ferrer-Sánchez, Y., Jacho, S., Urdánigo, Z., Abasolo-Pacheco, F., Plasencia-Vázquez, A., Zambrano-Mero, G., Castillo-Macías, M., Muñoz, Z., Coveña-Rosado, A., Zurita, J., Estrella, B. 2021. Invasiones biológicas en agroecosistemas de Ecuador continental: nicho ecológico de especies exóticas y cultivos agrícolas bajo riesgo. *Acta Biológica Colombiana*. 26(3):352-364. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v26n3.81765>
- Fick, S., Hijmans, R. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Franklin, J. 2010. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Ecology, Biodiversity, and Conservation. Cambridge University Press.
- Fründ, J., Zieger, S., Tscharntke, T. 2013. Response diversity of wild bees to overwintering temperatures. *Oecologia*, 173(4), 1639–1648. <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2729-1>
- Gallien, L., Douzet, R., Pratte, S., Zimmermann, N., Thuiller, W. 2012. Invasive species distribution models – how violating the equilibrium assumption can create new insights. *Global Ecology and Biogeography*, 21(11), 1126-1136. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2012.00768.x>
- Gayubo, S., Pujade, J. 2015. Orden Hymenoptera. Sociedad Entomológica Aragonesa. *Revista IDE@*, 2015, vol. 59, p. 1-36. <http://hdl.handle.net/2445/122086>
- GBIF.org (19 Febrero 2024). GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.68eq8v>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ibarra. 2020. *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra*. https://www.ibarra.gob.ec/site/docs/estrategico/PDYOT_2020.pdf
- Guzmán, E., Correa, A., Espinosa, L., Guzmán, G. 2011. Colonización, impacto y control de las abejas melíferas africanizadas en México. *Veterinaria México*. 42, 149-178. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922011000200005
- Hinojosa, I., Alqarni, A., Lira, A., Engel, M. 2016. Ecological niche modeling of the rare bee *Promelitta alboclypeata* reveals possible cryptic differentiation across northern Africa and Arabia (Hymenoptera: Melittidae). *Apidologie*, 47, 509–514. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0387-5>
- Hennessy, G., Harris, C., Eaton, C., Wright, P., Jackson, E., Goulson, D., Ratnieks, F. 2020. Gone with the wind: effects of wind on honey bee visit rate and foraging behaviour. *Animal Behaviour*, 161, 23–31. <https://doi.org/10.1016/J.ANBEHAV.2019.12.018>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. 1996. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1898:1996. Plaguicidas. Clasificación toxicológica*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/inen2.pdf>

- Jácome, G., Valarezo, C., Yoo, C. 2018. Assessment of water quality monitoring for the optimal sensor placement in lake Yahuarcocha using pattern recognition techniques and geographical information systems. *Environmental monitoring and assessment*, 190(4), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6639-x>
- Jácome, G., Vilela, P., Yoo, C. 2019a. Present and future incidence of dengue fever in Ecuador nationwide and coast region scale using species distribution modeling for climate variability's effect. *Ecological Modelling*, 400, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.03.014>
- Jácome, G., Vilela, P., Yoo, C. 2019b. Social-ecological modelling of the spatial distribution of dengue fever and its temporal dynamics in Guayaquil, Ecuador for climate change adaption. *Ecological Informatics*, 49, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.11.001>
- Johnson, R., Ellis, M., Mullin, C., Frazier, M. 2010. Pesticides and honeybee toxicity—USA. *Apidologie*, 41(3), 312-331. <https://doi.org/10.1051/apido/2010018>
- Karahan, A., Kutlu, M., Karaca, İ. 2018. Determination of the effect of some pesticides on honey bees. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2 (3), 104-108. <https://doi.org/10.31015/jaefs.18017>
- Kenefic, N. 2017. *Distribución Potencial de las Abejas Nativas sin Aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala ante Posibles Escenarios de Cambio Climático*. Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2017-23.pdf>
- Kim, W., Song, W., Kim, S., Hyung, E., Lee, S. 2017. Habitat Analysis Study of Honeybees (*Apis mellifera*) in Urban Area Using Species Distribution Modeling - Focused on Cheonan. *Sociedad Coreana de Tecnología de Restauración Ambiental*, 20(3), 55-64. <https://doi.org/10.13087/KOSERT.2017.20.3.55>
- Kim, Y., Cho, Y., Bae, Y., Kim, D. 2020. The analysis of pollination potential environment for *Apis mellifera* in Seoul using MaxEnt modeling approach. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 23(4), 85–96. <https://doi.org/10.13087/KOSERT.2020.23.4.85>
- Kremen, C., Williams, N., ThoZ, R. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99 (26) 16812-16816. <https://doi.org/10.1073/pnas.262413599>
- Linnæus, C. 1758. *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Laurentii Salvii, Holmiae*. Vol. Tomus I, Editio decima, reformata: i-ii, 1-824.
- López, M. 2007. *Descripción y caracterización de nichos ecológicos: una visión más cuantitativa del espacio ambiental*. [Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Matemáticas, AC]. Repositorio del Centro de Investigación en Matemáticas. <http://imat.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1008/87>
- Martin-Culma, N., Arenas-Suáfarrorez, N. 2018. Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Entramado*, 14(1), 232-240. <https://doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27113>
- Mateo, R., Felicísimo, Á., Muñoz, J. 2012. Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *REDUCA (Biología)*, 5(1), 137–153. <http://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/881>

- Masaquiza-Moposita, D., Curbelo-Rodríguez, L., Díaz-Monroy, B., Velasco-Guanoluisa, M., Andrade-Yucailla, V. 2019. Variaciones morfométricas y conductuales de la abeja melífera (*Apis mellifera*) en diferentes pisos altitudinales en la serranía ecuatoriana. *Revista Iberoamericana Ambiente y Sustentabilidad*, 2(1), 25–32. <https://doi.org/10.46380/rias.v2i1.35>
- Moya, W., Jácome, G., Yoo, C. 2017. Past, current, and future trends of red spiny lobster based on PCA with MaxEnt model in Galapagos Islands, Ecuador. *Ecology and Evolution*, 7(13), 4881–4890. <https://doi.org/10.1002/ece3.3054>
- Muñoz, C. 2007. *Relación entre la superficie de distintas coberturas vegetales y el Índice de Vegetación Normalizado con el rendimiento melífero de apiarios del centro de la provincia de Buenos Aires*. Universidad de Buenos Aires. <http://ri.agro.uba.ar/greenstone3/library/collection/tesis/document/2018munozcarlosalberto>
- Otis, G. 1991. Population biology of the Africanized honeybee. *SPIVAK*. 213–234
- Phillips, S., Anderson, R., Dudík, M., Schapire, R., Blair, M. 2017. Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Echography*, 40(7), 887–893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Phillips, S., Dudík, M., Schapire, R.E. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.4). Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.
- Potts, S., Imperatriz, V., Ngo, H., Aizen, M., Biesmeijer, J., Breeze, T., Dicks, L., Garibaldi, L., Hill, R., Settele, J., Vanbergen, A. 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632), 220–229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>
- Qiao, H., Feng, X., Escobar, L., Peterson, A., Soberón, J., Zhu, G., Papeş, M. 2018. An evaluation of transferability of ecological niche models. *Ecography*, 42(3), 521–534. <https://doi.org/10.1111/ecog.03986>
- Quispe, D., Sánchez, G. 2011. Encuestas y entrevistas en investigación científica. *Revista de actualización clínica investiga*, 10, 490. http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-37682011000700009&lng=es
- Requier, F., García, N., Andersson, G., Oddi, F., Garibaldi, L. 2017. La pérdida global de colonias de la abeja melífera: un mundo de encuestas donde las fronteras persisten. *Apicultura sin fronteras*, 92, 13–18. <http://rid.unrn.edu.ar/jspui/handle/20.500.12049/2389>
- Reyes, J., Cano, P. 2000. Manual de polinización apícola: la polinización de los cultivos por abejas. https://mielmalaga.com/data/manual_polinizacion_apicola.mex.pdf
- Rodríguez, D. 2011. *Evaluación de la presencia de residuos de plaguicidas en miel de abejas provenientes de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Magdalena y Santander*. Bogotá. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21347>
- Romo, H. L. 1998. *La metodología de la encuesta*. JG Cáceres, Técnicas de Investigación En Sociedad, Cultura y Comunicación, 33–74. https://biblioteca.marco.edu.mx/files/metodologia_encuestas.pdf
- Ruiz de Larramendi, M. 2017. *Diseño de metodología y desarrollo de recursos para la modelización de especies exóticas invasoras; análisis de su aplicabilidad en el caso de Vespa velutina*.

- [Título de Maestría, Universidad Pública de Navarra]. Repositorio de la Universidad Pública de Navarra. <https://hdl.handle.net/2454/25899>
- Sánchez-Bayo, F., Goka, K. 2014. Pesticide residues and bees – A risk assessment. *PLoS ONE* 9(4): e94482. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094482>
- Sánchez, C. 2013. *Plan de negocios para la implementación de una microempresa apícola en la ciudad de Loja*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio de la Universidad Nacional de Loja.
- Vivanco, H., Rosillo, T., Villavicencio, M., Macías, H. 2020. Diagnóstico productivo y comercial de la cadena apícola: Provincia del Guayas (Ecuador). *Espacios*, 41(19), 399. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n19/a20v41n19p29.pdf>
- Wilson, R., Maclean, I. 2011. Recent evidence for the climate change threat to Lepidoptera and other insects. *Journal of Insect Conservation*, 15, 259–268. <https://doi.org/10.1007/s10841-010-9342-y>
- Zhu, Y., Snodgrass, G., Chen, M. 2004. Enhanced esterase gene expression and activity in a malathion-resistant strain of the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 34(11), 1175–1. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2004.07.008>