

Modelo de distribución geográfica para la especie *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés, en la zona intertropical del continente americano

Paulin P. Fontalvo^{1,4}, Sergio Marchant¹, Juan Sebastian Hernandez-Hernandez², Víctor Rincón³, Edison Daza⁴, Iván M Ayala⁴, Carmenza Montoya⁴ y Hernán Mauricio Romero^{4,5}

¹Escuela de Biología, Universidad Industrial de Santander.

²Programa de Economía Agrícola y Biometría, Cenipalma.

³Programa de Agronomía, Área de Geomática, Cenipalma.

⁴Programa de Biología y Mejoramiento Genético de la Palma de Aceite, Cenipalma.

⁵Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia

*Autor para correspondencia: hromero@cenipalma.org

Notas del Director

El modelamiento de la distribución geográfica de las especies constituye un área de conocimiento de gran interés para estrategias de conservación y más si se estudian aquellas que tienen una fuerte presión por la supervivencia en los espacios y nichos en los cuales coexisten en su forma silvestre. Este tipo de estudios también se utilizan para identificar espacios geográficos con potenciales de prospección, con capacidad de reubicación de la especie y para la medición del riesgo en la introducción de especies nuevas o invasoras.

La especie *Elaeis oleifera*, catalogada en peligro de extinción, con poblaciones naturales amenazadas principalmente por fragmentación y pérdida del hábitat, tiene un importante lugar en los programas de mejoramiento genético por su capacidad para generar híbridos interespecíficos con la especie *Elaeis guineensis* y transferir características de interés agronómico. Adicionalmente, los efectos de cambio climático tendrán un impacto negativo en diversos ecosistemas y la mitigación de estos efectos se logra a través del conocimiento de su hábitat natural de desarrollo y su georreferenciación.

Los resultados aquí mostrados dan cuenta, por primera vez, de la identificación de áreas de distribución natural de la especie en Colombia y países vecinos, a partir de registros recientes y georreferenciados de la existencia de nichos en nuestro país. Sumado a lo anterior, este estudio fortalece la colección biológica de la especie en Cenipalma, lo cual se complementa con los planes de conservación *ex situ* de *E. oleifera* como pilar del desarrollo de híbridos O_xG para el sector agroindustrial.

Alexandre Cooman, PhD.

Director General, Cenipalma

Introducción

Elaeis es un género de palmas tropicales pertenecientes a la familia Arecaceae, compuesto únicamente por dos especies; *Elaeis guineensis* Jacq y *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés (Corley y Tinker, 2003). *E. guineensis* es originaria de África pero se encuentra distribuida a nivel global en los países tropicales, debido a su importancia comercial para la producción de aceite de palma y productos derivados (Carter *et al.*, 2007). Mientras que *E. oleifera*, originaria de América, presenta una distribución restringida en el continente, dado que no tiene altas tasas de producción de aceite, por lo que no es cultivada con fines comerciales (Arias *et al.*, 2015; Chaves *et al.*, 2018).

Sin embargo, aunque esta especie no resulta atractiva para la producción de aceite, su importancia en el contexto de la agroindustria palmicultora radica en que se utiliza para la generación de cultivares híbridos, que son parcialmente resistentes a enfermedades como la Pudrición del cogollo (PC) (Zambrano, 2004; Beltrán, 2013). Por otro lado, dentro del contexto ecológico, los frutos producidos por esta especie de palma juegan un rol importante dentro de los ecosistemas, ya que son alimento para animales silvestres y de cría, que a su vez generan dispersión de las semillas (Serrano, 2015).

Siendo consecuentes con el estatus de conservación de la especie *E. oleifera* catalogada en peligro de extinción (Galeano y Bernal, 2005; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), se han llevado a cabo diversos trabajos de conservación para conocer los tipos de hábitats y variaciones climáticas de esta especie, en condiciones naturales. Debido a lo anterior, se ha reportado que esta especie usualmente se distribuye en áreas

asociadas a cuerpos de agua tales como los márgenes de los ríos, áreas riparias, pantanosas o aluviones (de Granville 1989; Corley y Tinker 2003; Rey *et al.*, 2004). Sumado a esto, también se ha documentado que suelen encontrarse poblaciones en hábitats de paisajes fragmentados, de regiones cálidas húmedas, semihúmedas y, en ocasiones, en zonas calientes y secas (Montoya *et al.*, 2018).

Estas características ambientales usualmente influyen sobre las variables que componen el nicho ecológico de la especie y en últimas, determinan los rangos de su distribución. En este sentido, se reconoce que el clima juega un papel importante en la definición de estos límites, generando presiones ecofisiológicas que evitan la colonización de esta especie en otras áreas (Patterson *et al.*, 2015). Así mismo, se debe tener en cuenta que las interacciones entre las variables climáticas son diferentes, considerando la escala en que se analice. A gran escala, el clima sería el responsable de limitar el rango de distribución, mientras que a pequeña escala entran a discusión otros factores relacionados con la adecuación, capacidad de dispersión y las interacciones entre especies (Pearson y Dawson, 2003; Peterson *et al.*, 2011; Soberón *et al.*, 2017).

Cabe resaltar que las variaciones en las condiciones del clima no han sido estables en las últimas décadas. De esta manera, se ha documentado que existe un acelerado cambio climático por factores antropogénicos como emisión de gases de efecto invernadero, deforestación de áreas verdes, contaminación del recurso hídrico, entre otras (Pecl *et al.*, 2017). Dichos factores han propiciado una disminución en los rangos de distribución de especies como *E. oleifera* que, por la pérdida de hábitat, ha presentado reducciones drásticas en los tamaños de sus poblaciones naturales (Galeano y Bernal, 2005; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Las herramientas bioinformáticas son otro tipo de enfoque útil para orientar esfuerzos de conservación en especies amenazadas. Estas buscan relaciones entre las variables bioclimáticas y la ubicación geográfica de la especie para hacer distintos tipos de proyecciones, como por ejemplo, el análisis de distribución de especies. De esta manera, se pueden detectar desde potenciales zonas prioritarias para la conservación, hasta posibles áreas vulnerables al cambio climático (Cervo-Robayo *et al.*, 2017).

En Colombia las áreas vulnerables al cambio climático usualmente se encuentran asociadas a paisajes fragmentados, donde también se encuentran poblaciones naturales de *E. oleifera* (Montoya *et al.*, 2018). Esto hace que la problemática en cuanto al estatus de conservación de la especie sea mayor, ya que mantiene sus poblaciones en detrimento. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue desarrollar un modelo de distribución para *E. oleifera*, en la zona intertropical del continente

americano, considerando algunas implicaciones de conservación, para así identificar áreas para la conservación, hábitat en riesgo y finalmente, se puedan proponer áreas potenciales para la generación de colecciones biológicas *ex situ*.

Este trabajo hace parte del proyecto “Estudio de la estructura genética espacial de la palma *Elaeis oleifera* (H.B.K) Cortés en áreas de distribución natural en Colombia con propósitos de conservación *ex situ*” financiado por Colciencias (Contrato número 152-2016) y el Fondo de Fomento Palmero. Cuenta con el permiso de recolección de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, Resolución 1225 de 2017 modificada por las Resoluciones 251 y 2248 de 2018.

metodología

Obtención de datos de ocurrencia de *Elaeis oleifera*

Los datos de ocurrencia de la especie *E. oleifera* se obtuvieron de dos fuentes. La primera fue del trabajo de prospección realizado por Montoya *et al.* (2018), el cual cuenta con 506 registros de la especie en tierras bajas de las regiones Andina y Caribe de Colombia. La segunda, fue la base de datos *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, Download <https://doi.org/10.15468/dl.1f3un8>) del cual se pudieron obtener 304 registros provenientes de datos recolectados por herbarios en América Latina, para un total de 810 datos de ocurrencia. Los datos fueron depurados de manera previa al entrenamiento del modelo de distribución para evitar el sobreajuste del modelo, usando el *software* estadístico R (R Core Team, 2018).

El primer paso fue la supresión de la redundancia por localización, ya que el modelo determina que un registro por celda¹ es suficiente para el análisis. Además, se excluyeron los datos cuya ubicación se encontraba en zonas fuera del rango de distribución natural de la especie. Como datos de prueba para entrenar el modelo, se utilizaron 1.000 puntos con distribución al azar, ubicados dentro del área del neotrópico. Adicionalmente, estos fueron utilizados para comprobar la distribución de los datos dentro del espacio ambiental.

Obtención de datos ambientales y determinación del área de calibración (M)

Se utilizaron para este proyecto 19 variables bioclimáticas (Tabla 1), las cuales se obtuvieron de la base de datos Worldclim 2.0 (Hijmans *et al.*, 2005). Adicionalmente, se utilizó el modelo digital de elevación SRTM-30 que se obtuvo de la base de datos GMTED (disponible en: https://topotools.cr.usgs.gov/gmted_viewer/viewer.htm).

¹Para la aplicación del modelo el espacio de análisis es dividido en celdas cuadradas, la longitud de los lados de las celdas es de aproximadamente 4.6 km.

Tabla 1. Código y descripción de variables bioclimáticas.

Código	Variable bioclimática
BIO1	Media anual de temperatura
BIO2	Rango medio diario
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7)(*100)
BIO4	Temperatura estacional (Desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)
BIO8	Media de temperatura del trimestre más húmedo
BIO9	Media de temperatura del trimestre más seco
BIO10	Media de temperatura del trimestre más caliente
BIO11	Media de temperatura del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Precipitación estacional (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más caliente
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

El área de dispersión de la especie (M), fue calculada mediante el uso de ecorregiones terrestres de los continentes de todo el mundo (Bailey, 2018). Para esta selección se tuvieron en cuenta aquellas ecorregiones donde ocurrieron los registros de colecta.

Depuración de datos ambientales

Con el software de uso libre Maxent (Phillips *et al.*, 2018), utilizado a través de la página web http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent, se calculó la contribución relativa de cada variable y se procedió a seleccionar aquellas cuya contribución al modelo fuera alta (Smith *et al.*, 2017). Adicionalmente, se realizó una depuración manual

del conjunto de datos ambientales, considerando aquellas variables bioclimáticas con mayor variación en sus datos (es decir variables no promediadas). Finalmente, para evitar multicolinealidad, se realizó una prueba de correlación de Spearman $>0,7$ con los valores definidos en cada pixel a través del software R (R Core Team 2018) y se conservó solo una de las variables que estuviera altamente correlacionada y que pudiera explicar mejor el modelo biológico.

Modelo de distribución

Los análisis para la proyección de la distribución potencial de *E. oleifera* en Colombia, se realizaron con base en el algoritmo de máxima entropía MaxEnt v3.4.1 (Phillips *et al.*, 2018),

el cual considera el modelo de distribución más adecuado con base en la información disponible. La depuración de datos geográficos, ambientales y área de dispersión M, fueron la base para elaborar el modelo de distribución potencial de la especie.

Adicionalmente, se usó la métrica de análisis ROC (Receiver Operating Characteristic) para validar el modelo, mediante el cálculo de los valores de AUC (Area Under the Curve), los cuales consideran modelos con un desempeño bueno, cuando los valores se distribuyen entre 0,7 y 0,9 (Peterson *et al.*, 2011). Finalmente, a partir de los resultados obtenidos en el modelado, se creó un mapa

con el software QGIS v2.18.23 (QGIS Development Team 2018), el cual permitió generar la proyección visual del área potencial de distribución para *E. oleifera*.

Resultados y discusión

Luego del proceso de depuración de los datos, se conservaron para el entrenamiento del modelo un total de 153 registros de *E. oleifera* consignados en la Tabla 2. Los datos de ocurrencia que fueron descartados en su mayoría correspondieron al proceso de supresión por redundancia espacial.

Tabla 2. Procedencia de los datos de ocurrencias utilizados para el entrenamiento del modelo.

País	N° Datos	Siglas	Instituto herbario
Brasil	14	UFG	Herbário da Universidade Federal de Goiás
	13	CEN	Herbário da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia
	2	NYBG	The New York Botanical Garden
	1	FIELD	Field Museum of Natural History (Botany) Seed Plant Collection
Colombia	60	Cenipalma	Centro de Investigación en Palma de Aceite
	3	COL	Herbario Nacional Colombiano
	2	JBGP	Jardín Botánico de Cartagena "Guillermo Piñeres"
	2	ICN	Universidad Nacional de Colombia
	1	CJBG	Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève
	1	IAvH	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
	1	MO	Missury Botanical Garden
Costa Rica	1	UTMC	Herbario Universidad del Magdalena
	5	INBio	Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica
	1	MNCR	Museo Nacional de Costa Rica
Ecuador	2	AAU	Herbarium of the University of Aarhus
	2	MO	Missury Botanical Garden
Guyana Francesa	1	MNHN-	Museum National d'Histoire Naturelle
Nicaragua	11	MO	Missury Botanical Garden
	1	SNSB	Staatliche Naturwissenschaftliche Sammlungen Bayerns
Perú	18	MO	Missury Botanical Garden
	5	AAU	Herbarium of the University of Aarhus
	4	MO	Missury Botanical Garden
	1	FIELD	Field Museum of Natural History (Botany) Seed Plant Collection
Venezuela	1	MO	Missury Botanical Garden
Total Registros			153

Las variables bioclimáticas BIO4 y BIO19 correspondientes a la temperatura estacional y la precipitación del trimestre más frío respectivamente, fueron las que presentaron mayor porcentaje de contribución, como se muestra en la Figura 1. Dichas variables fueron incluidas en el entrenamiento del

modelo en conjunto con las variables no correlacionadas. Un total de seis variables bioclimáticas y los datos de elevación se tuvieron en cuenta para el análisis, tal como se muestra en la Tabla 3.

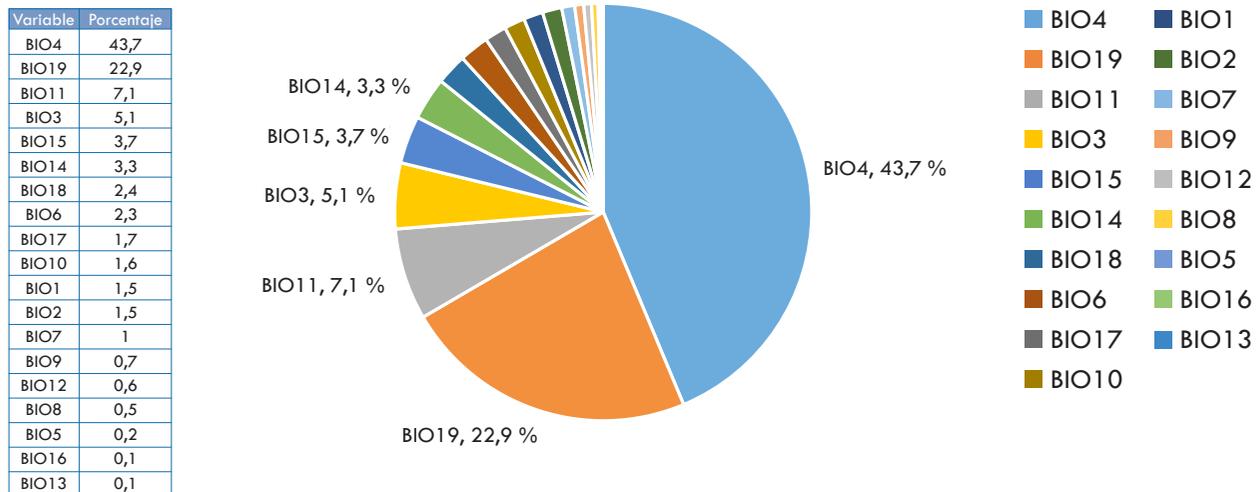


Figura 1. Contribución relativa de cada variable bioclimática al modelo de máxima entropía por defecto

Tabla 3. Variables bioclimáticas utilizadas para entrenar el modelo, luego del proceso de depuración.

Variable	Nombre
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7)*100
BIO4	Temperatura estacional
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO18	Precipitación del trimestre más caliente
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

Estas variables permitieron modelar la distribución potencial para *E. oleifera*, considerando la presencia de los registros en un total de 10 ecorregiones de dominio húmedo tropical (Tabla 4). Estas ecorregiones incluyeron en general ecosistemas de bosques húmedos, grandes sabanas moderadamente

húmedas y bosques deciduos con estaciones húmedas marcadas. De esta manera se pudo generar la detección de zonas con alta probabilidad de distribución. Posteriormente, estas áreas fueron validadas exitosamente mostrando el potencial de distribución que se observa en la Figura 2.

Tabla 4. Ecorregiones de Bailey (2018) seleccionadas para medir el área de calibración (M).

Dominio	División	Ecorregión
Húmedo tropical	Régimen de sabana	Pradera de bosque húmedo estacional Estepa y prado forestal de tipo húmedo estacional
	Sabana	Sabanas secas y bosque abierto Sabana de pastos altos y bosques de sabanas Grandes sabanas moderadamente húmedas Bosque deciduo y siempre-verde húmedo estacional Bosques predominantemente deciduos húmedo estacional
	Selva tropical	Bosque siempre-verde constantemente húmedo Bosques constantemente húmedo Bosques húmedos con temporada seca corta

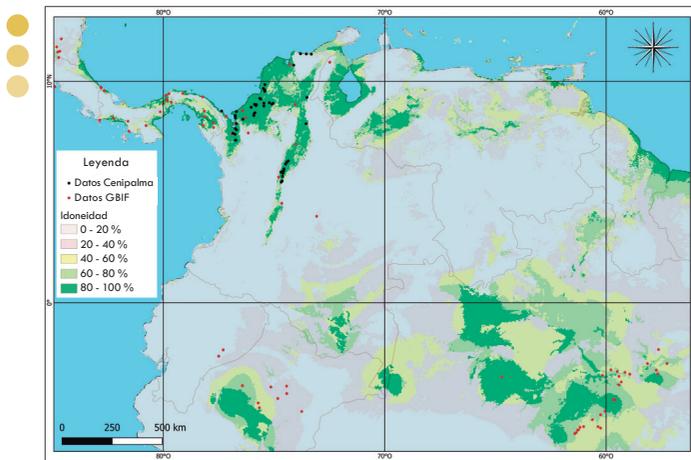


Figura 2. Modelo de distribución de la especie *Elaeis oleifera* en la zona intertropical del continente americano.

Los datos muestran que en general la especie *E. oleifera* ocurre en regiones con mayor estacionalidad de temperaturas (BIO4) entre las épocas de invierno y sequías periódicas. Estas áreas se restringen a temperaturas que oscilan entre los 21 y 28 °C y que en épocas de lluvia presentan 831 mm en promedio por trimestre, mientras que en épocas secas presentan 200 mm, con un promedio de precipitación anual de 2.192 mm.

La proyección del modelo mostrado en la Figura 2 sugiere un área de distribución asociada a zonas cálidas, con elevaciones entre 0-600 msnm, del valle interandino de la región Andina, tierras bajas de la región Caribe y la Amazonía de Colombia, Brasil, Perú y Ecuador. La evaluación en cuanto al modelo de distribución obtenido mostró un buen desempeño como lo sugiere la escala de Peterson *et al.* (2011), con un valor de 0,8 ($p < 0,01$). Este modelo se pudo validar en la región amazónica colombiana, ya que existen poblaciones de *E. oleifera*, que se encuentran establecidas en las áreas donde se proyectó el modelo. Cabe resaltar que estas poblaciones no cuentan con un registro georreferenciado, por tanto, no fue posible incluirlos previamente para entrenar el modelo.

En Colombia, las zonas de distribución ubicadas hacia el norte se caracterizan por la presencia de complejos lagunares, regiones cenagosas como las llanuras del bajo Magdalena y los ríos Atrato y Sinú. A su vez, estos se encuentran estrechamente asociados a los patrones hidrológicos de los ríos Atrato, Cauca, Magdalena y Sinú (Figura 2). Estas áreas de distribución potencial son compartidas en el norte con países como Panamá y Venezuela mientras que, hacia el sur de Colombia, la proyección del modelo con mayor idoneidad se concentró en la región Amazónica, que se encuentra compartida con Brasil, Ecuador y Perú.

En Panamá, la distribución potencial con mayor idoneidad se concentró en la provincia del Darién que colinda con la región del Urabá en Colombia. En el caso de Venezuela, las áreas proyectadas hacia el norte se encuentran asociadas al Lago

de Maracaibo, entre las llanuras de la serranía del Perijá y el norte de la cordillera de los Andes. Hacia el centro y sur de este país, la distribución se relaciona con el río Apure, uno de los afluentes más importantes del río Orinoco.

En Perú, la proyección se distribuyó en áreas de plano inundable, en la confluencia de los ríos Amazonas, Huallaga, Marañón y Ucayali. En Brasil, la mayor área de idoneidad del modelo se asoció con la vasta selva tropical amazónica y sus tributarios: los ríos Japurá, Madeira, Negro y Purus. Finalmente, en Ecuador el modelo de distribución se asoció a los ríos Curaray y Napo en la reserva nacional Yasuní, la cual hace parte integral de la cuenca Amazónica.

Cabe resaltar que en Ecuador se encuentra la región llamada Taisha que es un cantón de la provincia de Morona Santiago y es reconocida por albergar poblaciones de *E. oleifera* con rasgos agronómicos importantes para la generación de cruzamientos interespecíficos (Barba y Baquero, 2013). Sin embargo, aunque se tiene conocimiento de la distribución natural de *E. oleifera* en esta área, el modelo mostró una probabilidad con un máximo de idoneidad entre 0 y 40 %. Es posible que la baja probabilidad de distribución esté relacionada con la altitud promedio del Cantón de Taisha que es de 510 msnm, puesto que se encuentra localizada casi en el límite de distribución detectado por el modelo de 600 msnm.

En general, la mayor cobertura de los registros perteneció a Colombia en gran medida por los datos de ocurrencia de la prospección realizada por Montoya *et al.* (2018) (Tabla 2). Esto permitió tener una mayor resolución en cuanto a los requerimientos ambientales, a la hora de entrenar el modelo y una mejor aproximación en la proyección de la distribución. De esta manera, aunque no se contaron con registros georreferenciados de *E. oleifera* en el Amazonas de Colombia para entrenar el modelo, es preciso afirmar que efectivamente existen poblaciones de la especie establecidas allí (Rey *et al.*, 2004).

Los resultados obtenidos con el presente modelo permitieron detectar la probabilidad de distribución para la especie *E. oleifera*, que actualmente se encuentra en estado de amenaza (Galeano y Bernal, 2005; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). La tendencia a asociación de esta palma con humedales y cuerpos de agua, habían sido observadas en distintos trabajos realizados sobre distribución de palmas en Centro y Suramérica (Galeano y Bernal, 2005; Bastidas *et al.*, 2013; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Esto confirma la validez del modelo, dadas las asociaciones de la distribución de la especie con las ciénagas y planicies inundables en Colombia (Figura 3) y otros países de América Latina, tal como se muestra en los resultados obtenidos en el presente trabajo. Infortunadamente, en algunos casos las

áreas cenagosas y de planicies inundables que son el hábitat natural de *E. oleifera*, han sido reemplazadas y deterioradas a nivel de paisaje (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), a pesar de ser estos cuerpos de agua, considerados como estratégicos dada su importancia en la regulación hídrica durante periodos de extrema sequía o lluvia (Flórez *et al.*, 2016).



Figura 3. Hábitats de crecimiento de *Elaeis oleifera*. A) Registros de *E. oleifera* en cultivo de arroz en el departamento de Sucre. B) Registros de *E. oleifera* del departamento de Antioquia. Fotos de Montoya *et al.* (2018).

Se cree que a futuro, los efectos del cambio climático tendrán un moderado y alto impacto negativo en las zonas de distribución de estos ecosistemas (Montoya *et al.*, 2018) y estos coinciden con el área de proyección del modelo de distribución para *E. oleifera* presentado en este trabajo. Para mitigar estos efectos negativos sobre las poblaciones de *E. oleifera*, se hace necesario desarrollar planes de manejo y conservación para los ecosistemas de humedales, ya que son su hábitat natural de desarrollo.

Sin embargo, la implementación de colecciones biológicas son una alternativa útil de conservación y desarrollo agroindustrial. En este sentido, este modelo también permite detectar aquellas áreas idóneas para el establecimiento de colecciones vivas *ex situ*, en departamentos como Atlántico, Bolívar, Córdoba, Magdalena, Sucre, Santander, entre otros, cuyo uso de suelo en la actualidad tiene destinada grandes extensiones de tierra al desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias (Aguilera, 2005; Tobón y Cajamarca, 2018).

Así mismo, la proyección muestra la localización de nuevas zonas potenciales de distribución, donde posiblemente puedan existir poblaciones naturales que albergan una diversidad genética y fenotípica desconocida. Esta diversidad puede resultar muy útil para los programas de mejoramiento genético de la palma de aceite, por lo que los resultados contribuyen con información base para la selección de áreas a prospectar, donde se puedan llevar a cabo más estudios agronómicos y biológicos de *E. oleifera*, que aún hoy no se conoce totalmente.

Finalmente, estos resultados se pudieron lograr gracias a la implementación del algoritmo Maxent y las variables bioclimáticas sobre los datos en el área de interés. Lo que significa un aporte importante para facilitar la detección y selección de áreas promisorias para el desarrollo de convenios entre entidades, ya sean públicas y/o privadas, que permitan promover la conservación *in situ* o *ex situ* de la especie *E. oleifera*, tomando en consideración perspectivas tanto ecológicas como económicas.

Agradecimientos

Este trabajo hace parte del proyecto “Estudio de la estructura genética espacial de la palma *Elaeis oleifera* (H.B.K) Cortés en áreas de distribución natural en Colombia con propósitos de conservación *ex situ*” financiado por Colciencias y el Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma, a quienes los autores agradecen por su financiación. Así mismo, a los auxiliares de campo: Nandy Andrea Torres, Néstor Rojas Rangel y David Rodríguez, quienes participaron en la colecta de datos de campo. Se agradece también a los propietarios y/o encargados de los terrenos visitados, quienes permitieron el acceso para el registro de las coordenadas de la especie *E. oleifera*.

Referencias

- Aguilera M. (2005). Documentos de trabajo sobre economía regional: La economía del departamento de Sucre: Ganadería y Sector Público. Banco de la República, Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER) - Cartagena.
- Arias D., González M., Prada F. *et al.* (2015) Genetic and phenotypic diversity of natural American oil palm (*Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortés) accessions. *Tree Genet Genomes* 11:.. doi: 10.1007/s11295-015-0946-y
- Bailey R. (2018). Ecoregions of the Continents. Rocky Mt Res Stn
- Barba J., Baquero Y. (2013). Híbridos OxG obtenidos a partir de oleíferas Taisha Palmar del Río (PDR), Ecuador. Variedad-PDR (Taisha x Avros). *Palmas* 34:315–325
- Bastidas S., Peña E., Reyes R.. (2013). Preguntas sobre palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq., palma Nolí *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés y los híbridos interspecíficos Nolí x palma de aceite (*E. oleifera* x *E. guineensis*). CORPOICA, Bogotá
- Beltrán T. (2013). Estrategias y acciones del ICA para enfrentar la problemática sanitaria del sector palmero colombiano. *Palmas* 34:47–54
- Carter C., Finley W., Fry J., *et al.* (2007) Palm oil markets and future supply. *Eur J Lipid Sci Technol* 109:307–314. doi: 10.1002/ejlt.200600256

- Chaves G., Ligarreto-Moreno G.A., Cayon-Salinas D.G. (2018). Physicochemical characterization of bunches from American oil palm (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes) and their hybrids with African oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Acta Agron* 67:168–176. doi: 10.15446/acag.v67n1.62028
- Corley R., Tinker P. (2003). *The Oil Palm*, Fourth Edi. Blackwell Publishing Company, Oxford
- Cuervo-Robayo A., Escobar L., Osorio-Olvera L. *et al.* (2017). Introducción a los análisis espaciales con énfasis en modelos de nicho ecológico. *Biodivers Informatics* 12:45–57 de Granville J. (1989). La Distribución de las palmas en Guyana Francesa. *Acta Amaz* 19:115–138
- Florez C., Estupiñán-Suárez L., Rojas S. *et al.* (2016). Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia. *Biota Colomb* 17:44–62
- Galeano G., Bernal R. (2005). Palmas. En: Calderón E, Galeano G, García N (eds) *Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 2: Palmas, Frailejones y Zamias. Serie. Libro Rojo de Especies Amenazadas de Colombia.* Instituto Alexander von Humboldt - Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, pp 59–224
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra JL *et al.* (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol* 25:1965–1978. doi: 10.1002/joc.1276
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). *Plan de conservación, manejo y uso sostenible de las palmas de Colombia.* Textos: Galeano G., R. Bernal, Y. Figueroa Cardozo, Textos: Ga. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá
- Montoya C., Daza E., Rincón V. *et al.* (2018). Biogeografía de *Elaeis oleifera* (HBK) Cortés en las regiones Caribe y Andina de Colombia, para la conservación *ex situ* y uso sostenible del recurso genético. *Ceniavances* 188:1–4
- Paterson R.R.M., Kumar L., Taylor S., Lima N. (2015). Future climate effects on suitability for growth of oil palms in Malaysia and Indonesia. *Sci Rep* 5:1–11. doi: 10.1038/srep14457
- Pearson R., Dawson T. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Glob Ecol Biogeogr* 12:361–371
- Pecl G.T., Araújo M.B., Bell J.D. *et al.* (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* (80-) 355:1–9. doi: 10.1126/science.aai9214
- Peterson A., Soberón J., Pearson R. *et al.* (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions.* Princeton
- Phillips S., Dudík M., Schapire R. (2018). *Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1)*
- QGIS Development Team (2018). *QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.* <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing.* Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. *R Found. Stat. Comput.* Vienna, Austria.
- Rey L., Gómez P., Ayala-Díaz I., *et al.* (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite *Elaeis guineensis* (Jacq.) y *Elaeis oleifera* (H.B.K.) de Cenipalma: Características de importancia para el sector palmicultor. *Palmas* 25:39–48
- Serrano L. (2015). Estudio a largo plazo de la ecología alimentaria y dispersión de semillas por monos cariblanco (*Cebus albifrons versicolorpucheran*, 1845) en un fragmento de bosque húmedo tropical en Santander, Colombia. Universidad del Tolima
- Smith A., Christianson D., Sanín C. (2017). *A Hands-on Short Course in Species Distribution Modeling Using R: From Start to Finish.* Work Annu Meet Ecol Soc Am
- Soberón J., Osorio-Olvera L., Peterson T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Rev Mex Biodivers* 88:437–441. doi: 10.1016/j.rmb.2017.03.011
- Tobón S., Cajamarca R. (2018). Una apuesta por la competitividad de Urabá: construcción territorial, inclusión productiva y bienestar social. Instituto de Ciencia Política Hernán Echavarría Olórzaga, Bogotá
- Zambrano J.E. (2004). Los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* HBK x *Elaeis guineensis* Jacq.: Una alternativa de renovación para la Zona Oriental de Colombia. *Palmas* 25:339–349



Director general: Alexandre Patrick Cooman, Ph.D.

Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma

Coordinación editorial: Yolanda Moreno Muñoz - Esteban Mantilla

Diagramación: Myriam Ortiz Aguilar

Impresión: Javegraf

Esta publicación contó con el apoyo de Fedepalma y el Fondo de Fomento Palmero

Esta publicación es propiedad del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de Cenipalma. Al realizar la presente publicación, Cenipalma ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.