

Diferenciación del nicho ecológico de *Magnolia* subsect. *Cubenses* (*Magnoliaceae*) en Cuba

Ecological niche differentiation of *Magnolia* subsect. *Cubenses* (*Magnoliaceae*) in Cuba

Ernesto Testé^{1,2*}, Randy Simón Vallejo³, Majela Hernández Rodríguez³, Alejandro Palmarola⁴ & Luis R. González-Torres⁵

¹Jardín Botánico Nacional, Universidad de La Habana, Carretera "El Rocio" km 3½, Boyeros, La Habana, Cuba. C.P. 19230. ²Écologie, Systématique et Évolution, Université Paris-Saclay, 12 route 128, 91190 Gif sur Yvette, France. ³Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, C/ 25 e/ l y J, Vedado, La Habana, Cuba, Código Postal 10400. ⁴Jardín Botánico de La Habana, Quinta de los Molinos, Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana, La Habana, Cuba. ⁵Department of Biology, Douglas College, New Westminster, Canada, V3M 5Z5. *Autor para Correspondencia (correo electrónico: etestelozano@gmail.com).

RESUMEN

La familia *Magnoliaceae* ha sido reconocida como una prioridad para la conservación a escala mundial. En este sentido evaluar las diferencias climáticas y la proyección geográfica del nicho ecológico para las especies cubanas de *Magnolia* s ubsect. *Cubenses* es un elemento clave para la implementación de medidas de conservación en estas especies. El presente trabajo tiene como objetivo analizar los modelos de nicho ecológico para las especies cubanas de *Magnolia* subsect. *Cubenses* e identificar las diferencias ecológicas entre los tres taxones. Se usaron como datos de ocurrencia los registrados en el campo y ejemplares de herbarios. Como predictores de nicho se usaron las variables climáticas de WorldClim. Un análisis de componentes principales permitió explorar las diferencias climáticas entre taxones. Los modelos de nicho ecológicos fueron realizados en Maxent. Los tres taxones de *Magnolia* subsect. *Cubenses* en Cuba presentaron diferencias significativas en cuanto a las condiciones climáticas bajo las cuales habitan, lo que constituye un elemento más (de conjunto con la morfología y la filogenia) para tratar cada entidad como un taxón independiente. La elevación sobre el nivel del mar tuvo una alta contribución al modelo de nicho ecológico de los tres taxones analizados. Los modelos mostraron zonas de probabilidad de condiciones ambientales idóneas en los cuatro macizos montañosos de Cuba (Guaniguanico, Guamuhaya, Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa).

Palabras clave: distribución actual, distribución potencial, modelos de nicho ecológico

ABSTRACT

The *Magnoliaceae* family has been recognized as a global conservation priority. In this sense, evaluating the climatic differences and the geo-graphic projection of the ecological niche for the Cuban species of *Magnolia* subsect. *Cubenses* is a crucial element for the implementation of conservation measures in these species. This study aims to analyze the ecological niche models for the Cuban species of *Magnolia* subsect. *Cubenses* and to identify the ecological differences between the three taxa that form the subtection. Data collected in the field and herbarium specimens were used as data. WorldClim climate variables were used as niche predictors. A principal component analysis allowed us to explore the climatic differences between taxa. The ecological niche models were generated in Maxent. The three taxa of *Magnolia* subsect *Cubenses* in Cuba showed significant differences in the climatic conditions under which they occur, constituting an element (together with morphology and phylogeny) to treat each entity as an independent taxon. Elevation above sea level significantly contributed to the ecological niche model of the three taxa studied. The models showed areas of the probability of ideal environmental conditions in the four mountain ranges of Cuba (Guaniguanico, Guamuhaya, Sierra Maestra and Nipe-Sagua-Baracoa).

Keywords: ecological species concept, current distribution, potential distribution, ecological niche models

Citación: Testé, E., Simón-Vallejo, R., Hernández-Rodríguez, M., Palmarola, A. & González-Torres, L.R. 2024. Diferenciación del nicho ecológico de *Magnolia* subsect. *Cubenses* (*Magnoliaceae*) en Cuba. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 45: 29-36.

Recibido: 7 de marzo de 2023. **Aceptado:** 11 de abril de 2023. **Publicado en línea:** 15 de marzo de 2024. **Editor encargado:** Ana Gabriela López-García.

INTRODUCCIÓN

La caracterización de la distribución real de una especie a partir de los puntos de presencia conocidos (Aguilar-Morales & al. 2011, Pliscoff & Fuentes-Castillo 2011) y la modelación de su nicho ecológico (Chakraborty & al. 2016, Yu-Jun & Shang-Hong 2016), constituyen elementos fundamentales en los estudios actuales de distribución. Los Modelos de Nicho Ecológico (MNE) son uno de los métodos más reconocidos para analizar el nicho ecológico y la distribución geográfica potencial de las especies (Song & al. 2019, Feng & al. 2019). Estos análisis aplicados a especies amenazadas o poco conocidas son claves en la conservación de la flora, tanto para evaluar su grado de amenaza, como para desarrollar estrategias efectivas de conservación *in situ* y *ex situ* (Menon

& al. 2010, Paredes-García & al. 2011). Además, los MNE permiten responder preguntas acerca del aislamiento geográfico y ambiental y los límites ecológicos entre las especies, lo cual puede ayudar a comprender los mecanismos de especiación (Raxworthy & al. 2007, Tocchio & al. 2014). Los estudios basados en MNE han aumentado vertiginosamente, como consecuencia del desarrollo de algoritmos y técnicas para modelar el nicho ecológico de las especies, lo cual ha permitido, entre otras acciones, trazar estrategias de manejo más efectivas (Smith & al. 2019).

La familia de las *Magnoliaceae* con aproximadamente 350 especies, ha sido reconocida como una prioridad para la conservación a escala mundial (Cires & al. 2013, Rivers & al. 2016),

debido a que casi el 60 % de sus especies se encuentran en alguna categoría de amenaza (Rivers & al. 2016). Tal situación ha sido causada por la pérdida de hábitats debido a la expansión agrícola, la ganadería, el uso no sostenible de su madera, la baja regeneración natural y la distribución restringida que presentan muchas de las magnolias (Gutiérrez-Lozano & al. 2020, Muñiz-Castro & al. 2020). Los esfuerzos para conservar estas plantas en el Caribe insular han aumentado considerablemente en la última década (González-Torres & al. 2016, Castillo & al. 2018, Veltjen 2020, Hernández & al. 2021, Palmarola & al. 2022, Testé & al. 2022a, b). Con siete taxones, todos endémicos, Cuba contiene la mayor diversidad de especies de magnolias dentro del Caribe insular, lo que hace que la conservación de sus especies sea clave para la protección de la familia a escala regional. De los siete taxones cubanos, seis pertenecen a *Magnolia* sect. *Talauma*, representada a su vez por dos subsecciones: *Magnolia* subsect. *Talauma* y *Magnolia* subsect. *Cubenses*, ambas con tres taxones (Greuter & Rankin 2022, Veltjen & al. 2022).

Las magnolias constituyen uno de los principales grupos de investigación de la Flora de Cuba, con estudios genéticos (Hernández & al. 2020, 2021, Quintana & al. 2022, Testé & al. 2022b) y demográficos (Palmarola & al. 2017, 2018, Testé & al. 2019, Martínez-Álvarez & al. 2020). Palmarola & al. (2022) analizaron la distribución real de todas las especies de magnolias cubanas y su estado de conservación, mientras que Testé & al. (2022a) modelaron el nicho ecológico de las especies cubanas de *Magnolia* subsect. *Talauma*. Molina-Pelegriñ & al. (2021) realizaron una primera aproximación a los MNE para *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *cubensis*, sin tener en cuenta los procesos de calibración ni filtrado de puntos necesarios para lograr un mejor ajuste del modelo; además este modelo al centrarse únicamente en un taxón no permite realizar comparaciones con el resto del grupo. Evaluar las diferencias climáticas y la proyección geográfica del nicho ecológico para las especies cubanas de *Magnolia* subsect. *Cubenses* es un elemento clave para la implementación de medidas de conservación en estas especies. Además, conocer las diferencias climáticas entre los diferentes taxones puede soportar futuras decisiones taxonómicas. Partiendo de esta premisa, el presente trabajo tiene como objetivo analizar los MNE para los taxones cubanos de *Magnolia* subsect. *Cubenses* (*Magnolia cubensis* subsp. *acunae* Imkhan., *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *cubensis* y *Magnolia cristalensis* Bisse) e identificar las diferencias ecológicas entre estos tres taxones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Puntos de presencia y variables ambientales

Los puntos de presencia de los taxones cubanos de *Magnolia* subsect. *Talauma*, a través de todo su rango de distribución en las montañas de Guamuhaya, Nipe-Sagua-Baracoa y Sierra Maestra, fueron obtenidos mediante estudios de campo en estas áreas y registros de herbarios (HAC, HAJB y B, acrónimos de los herbarios según Thiers (2023)). Esta última fuente de información fue usada para las localidades no visitadas. Los especímenes anteriores a 1950 no se consideraron en los análisis (las capas ambientales están basadas en registros

posteriores a esta fecha). Los mapas de distribución real de estos tres taxones pueden encontrarse en Palmarola & al. (2022). Como predictores climáticos se usaron 15 variables bioclimáticas (resolución espacial: 0,86 km²) y el modelo digital de elevación sobre el nivel del mar (MDE) obtenidos de la base de datos (WorldClim 1.0, <http://www.worldclim.com/>; Hijmans & al. 2005). Las variables Bio8-Bio9 y Bio18-Bio19 (Temperatura media del trimestre más húmedo, Temperatura media del trimestre más seco, Precipitación del trimestre más cálido, Precipitación del trimestre más frío, respectivamente) fueron eliminadas de todos los análisis debido a que muestran extrañas anomalías espaciales a escala global en forma de discontinuidades entre píxeles vecinos en los gradientes ambientales (Escobar & al. 2014).

Análisis basado en puntos

Para cada registro de presencia de los taxones de *Magnolia* subsect. *Cubenses* se extrajeron los valores de las 15 variables climáticas más el MDE según la resolución aplicada. Estos valores fueron analizados mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP), para explorar las diferencias entre taxones. Este análisis fue realizado usando todos los registros de presencia para un total de 1 334 registros (ver Tabla I). Se realizó un NPMANOVA (*one-way nonparametric MANOVA*, no se cumplen los supuestos de normalidad ni homogeneidad de covarianza evaluados en el Past) para evaluar la existencia o no de diferencias estadísticas entre las configuraciones de puntos. Estos análisis se realizaron en Past v. 2.14 (Hammer & al. 2001), usando distancias euclidianas y 10 000 permutaciones.

Modelos de Nicho Ecológico

Para evitar autocorrelación y sobreajuste del modelo (Anderson 2012; Boria & al. 2014) fue realizada una reducción espacial de los puntos de presencia, dejando una distancia de 3 km entre puntos. Esta distancia fue seleccionada en base a la resolución espacial de las variables ambientales (~1 km) y la heterogeneidad de las montañas cubanas. El número de puntos de presencia original y el usado en los modelos se muestran en la Tabla I. Las variables ambientales fueron circunscritas a la región de Guamuhaya, Sierra Maestra y Nipe-

TABLA I

Número de registros de presencia inicial y final (después de 3 km de refinado espacial), usados para crear Modelos de Nicho Ecológico de *Magnolia* subsect. *Cubenses* en Cuba.

TABLE I

Number of initial and final records (after 3 km spatial thinning) used to create the ecological niche models of Magnolia subsect. Cubenses in Cuba.

Taxón	Inicial	Final
<i>M. cubensis</i> subsp. <i>acunae</i>	445	9
<i>M. cubensis</i> subsp. <i>cubensis</i>	682	10
<i>M. cristalensis</i>	207	17

Sagua-Baracoa, usando un área de fondo de 0,5 grados de distancia alrededor de la distribución real de los taxones (área de extensión accesible-M, región accesible a la dispersión de cada especie). Este análisis fue realizado en el paquete de R Wallace (Kass & al. 2017). Para la calibración del modelo se usaron los registros de presencia filtrados de *Magnolia* subsect. *Cubenses* y las variables bioclimáticas. Basado en un pre-modelo usando Maxent 3.4.1 (Phillips & al. 2006) se excluyeron las variables de menor contribución del conjunto de variables correlacionadas ($r \geq 0,85$). La elevación sobre el nivel del mar no fue considerada en los análisis de correlación (pero si en los modelos finales) debido a su influencia sobre la distribución de las magnolias (ver resultados). Para mejorar el proceso de calibración del modelo, se seleccionaron tres conjuntos de variables para cada uno de los tres taxones (Tabla II) según lo recomendado por Cobos & al. (2019). Para cada taxón se crearon 1 116 modelos candidatos que integraban 12 valores de multiplicadores de regularización (0,5 a 6; en intervalos de 0,5), todas las posibles combinaciones de los tipos de clases (*linear* = *l*; *quadratic* = *q*; *product* = *p*; *threshold* = *t*; *hinge* = *h*, en inglés), y los diferentes grupos de variables ambientales.

La extensión de trasfondo (*background extent*) se basó en una zona de amortiguamiento a partir de los puntos, con una distancia de 0,3 grados. El desempeño de los modelos candidatos se evaluó considerando la significancia (ROC parcial), las tasas de omisión (E=5 %) y la complejidad del modelo (AICc). Los mejores modelos seleccionados fueron los modelos significativos con tasas de omisión $\leq 5\%$ y delta AICc ≤ 2 . El proceso de calibración del modelo se realizó en kuenm (Cobos & al. 2019), un paquete R (R Core Team 2022) para el desarrollo detallado de MNE utilizando Maxent. La mejor combinación de parámetros fue usada para realizar los MNE final de los taxones cubanos de *Magnolia* subsect. *Cubenses*. Los modelos finales fueron realizados y proyectados a todo el escenario cubano en kuenm (Cobos & al. 2019) con 30 réplicas de Bootstrap. Las medianas de los modelos fueron convertidas en mapas binarios en ArcGis 10.2 (ESRI 2014), usando como umbral el mínimo valor de presencia de entrenamiento (*Minimum Training Presence*). Este umbral considera como hábitats adecuados todos los píxeles con valores superiores al menor valor de probabilidad correspondiente a un punto de presencia real. La contribución de cada variable al modelo final se evaluó con un análisis *jackknife* y se calculó el área total de adecuación climática para cada modelo.

TABLA II

Conjuntos de variables ambientales utilizadas para la calibración de los Modelos de Nicho Ecológico de las especies cubanas de *Magnolia* subsect. *Cubenses*. Fuente de las variables: WorldClim (Hijmans & al. 2005). Los conjuntos 2 y 3 no incluyeron variable (s) con menor contribución al modelo. MDE: Modelo Digital de Elevación; Bio1: Temperatura media anual; Bio2: Variación diurna promedio de la temperatura; Bio3: Isothermalidad; Bio4: Estacionalidad de la temperatura; Bio5: Temperatura máxima del mes más cálido; Bio6: Temperatura mínima del mes más frío; Bio7: Variación anual de temperatura; Bio12: Precipitación anual; Bio14: Precipitación del mes más seco; Bio15: Estacionalidad de las precipitaciones; Bio16: Precipitación del trimestre más húmedo. Entre paréntesis se muestra la contribución de cada variable al modelo en el mejor set de variables usadas en el modelo final.

TABLE II

Sets of environmental variables used for the calibration of the Ecological Niche Models of the Cuban species of *Magnolia* subsect. *Cubenses*. Variable source: WorldClim (Hijmans & al. 2005). Sets 2 and 3 did not include variable(s) with less contribution to the model. DEM: Digital Elevation Model; Bio1: Average annual temperature; Bio2: Average diurnal temperature variation; Bio3: Isothermality; Bio4: Seasonality of temperature; Bio5: Maximum temperature of the warmest month; Bio6: Minimum temperature of the coldest month; Bio7: Annual temperature variation; Bio12: Annual precipitation; Bio14: Precipitation of the driest month; Bio15: Seasonality of rainfall; Bio16: Precipitation of the wettest quarter. The contribution of each variable to the model in the best set of variables used in the final model is shown in parentheses.

<i>M. cubensis</i> subsp. <i>acunae</i>	MDE	Bio5	Bio12	Bio16	Bio6	Bio3	Bio15	Bio14
Set ¹	X	X	X	X	X	X	X	X
Set ²	X	X	X	X	X	X	X	
Set ³	X (37,32)	X (22,26)	X (1,36)	X (2,09)	X (33,63)	X (3,35)		
<i>M. cubensis</i> subsp. <i>cubensis</i>	MDE	Bio14	Bio12	Bio1	Bio7	Bio4		
Set ¹	X	X	X	X	X	X		
Set ²	X	X	X	X	X			
Set ³	X (85,43)	X (11,89)	X (0,21)	X (2,48)				
<i>M. cristalensis</i>	MDE	Bio6	Bio12	Bio3	Bio4	Bio2		
Set ¹	X	X	X	X	X	X		
Set ²	X	X	X	X	X			
Set ³	X (45,62)	X (46,15)	X (1,18)	X (7,05)				

RESULTADOS

En la figura 1 (ACP) es posible observar la clara diferenciación ambiental que existe entre los tres taxones de *Magnolia* subsect. *Cubenses*, con una ligera superposición entre *Magnolia cubensis* subsp. *cubensis* y *Magnolia cristalensis*. Las dos subespecies de *Magnolia cubensis* viven en condiciones ambientales completamente diferentes. La elevación resultó ser la variable con mayor aporte al ACP, seguido de Bio 12 (precipitación anual). La comparación estadística ($p < 0,001$, $F = 4080$) mostró diferencias significativas entre la distribución ecológica de los tres taxones. Para *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* el mejor modelo resultó de la combinación de: 3 de regularizador de multiplicación, tipos de clases lp (l: *lineal*, p: *product*) y el tercer set de variables (Bio3, Bio5, Bio6, Bio12, Bio16 y MDE, ver Tabla II). Para *Magnolia cubensis* subsp. *cubensis* el mejor modelo resultó de la combinación de: 1 de regularizador de multiplicación, tipos de clases qh (q: *quadratic*, h: *hinge*) y el tercer set de variables (Bio1, Bio12, Bio14 y MDE, ver Tabla II). Para *Magnolia cristalensis* el mejor modelo resultó de la combinación de: 1 regularizador de multiplicación, tipos de clases h (h: *hinge*) y el tercer set de variables (Bio3, Bio6, Bio12 y MDE, ver Tabla II).

El modelo digital de elevación sobre el nivel del mar fue una de las dos variables de mayor contribución al modelo de nicho

ecológico de los tres taxones cubanos de *Magnolia* subsect. *Cubenses*. La temperatura máxima del mes más cálido (Bio5) para *Magnolia cubensis* subsp. *acunae*, la temperatura media anual (Bio1) para *M. cubensis* subsp. *cubensis* y la temperatura mínima del mes más frío (Bio6) para *M. cristalensis*, fueron otras variables de gran importancia en los MNE (Tabla II). Los MNE de *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* y *M. cristalensis* mostraron zonas de probabilidad de condiciones ambientales idóneas en los cuatro macizos montañosos de Cuba (Guaniguanico, Guamuha, Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa) (Figura 2A, B, C). En el caso de *Magnolia cubensis* subsp. *cubensis* las áreas de probabilidad (Figura 2B) estuvieron restringidas a la Sierra Maestra y a pequeñas áreas de Guamuha y Nipe-Sagua-Baracoa. En base al umbral de MTP (*Minimum Training Presence*), *M. cristalensis* mostró la mayor área de idoneidad (MTP=0,3211; área=3944 km²), seguido de *M. cubensis* subsp. *acunae* (MTP=0,5318; área=2862 km²) y *M. cubensis* subsp. *cubensis* (MTP=0,2929; área=488km²).

DISCUSIÓN

La elevación sobre el nivel del mar fue una de las variables de gran importancia en los MNE de *Magnolia* subsect. *Cubenses*. La importancia de dicha variable en la distribución de las magnolias cubanas y de otras regiones del planeta ha sido reportada por diversos autores (Vásquez-Morales & al. 2014,

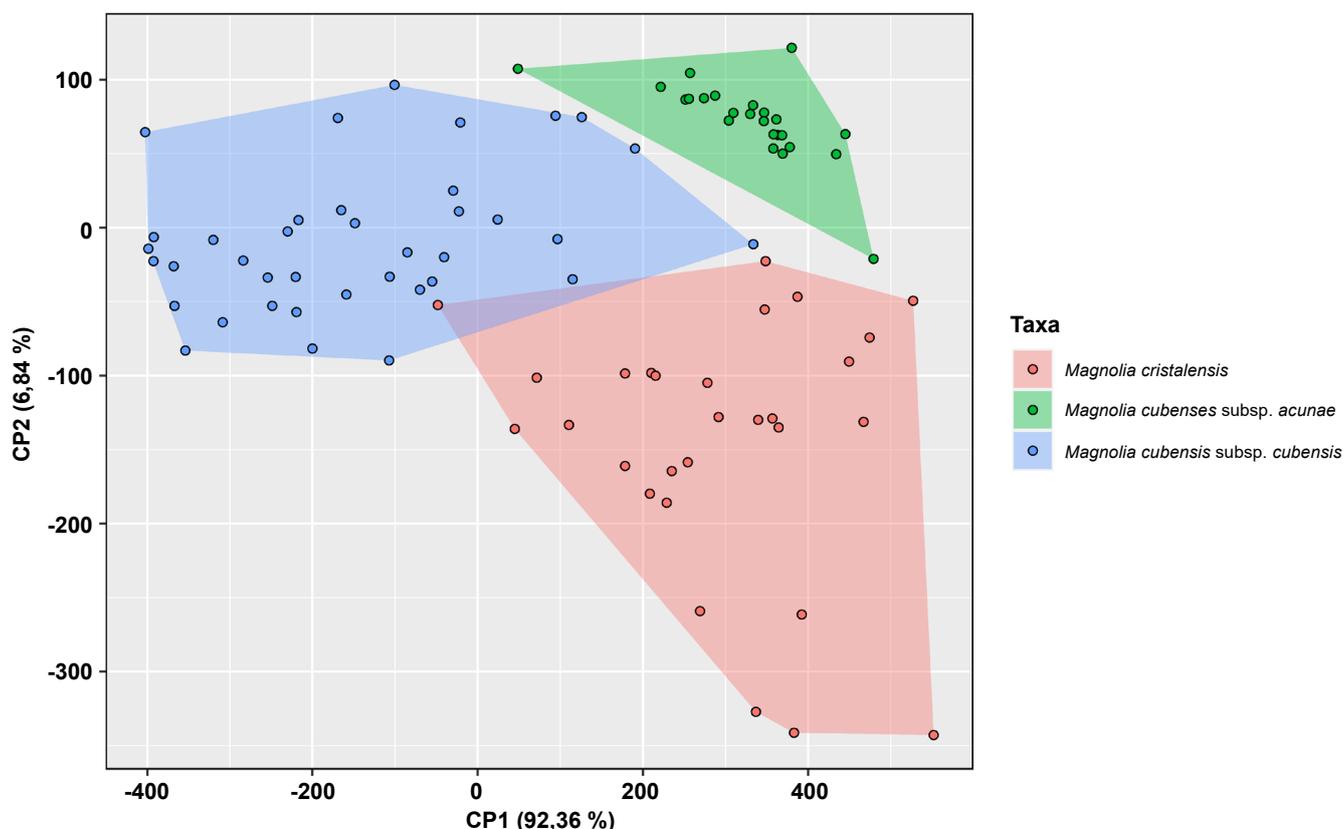


Fig. 1. Resultados del Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado con 15 variables bioclimáticas más el modelo digital de elevación (MDE), en los taxones cubanos de *Magnolia* subsect. *Cubenses*.

Fig. 1. Results of the principal component analysis (ACP) performed with 15 bioclimatic variables and the digital elevation model, in the Cuban taxa of *Magnolia* subsect. *Cubenses*.

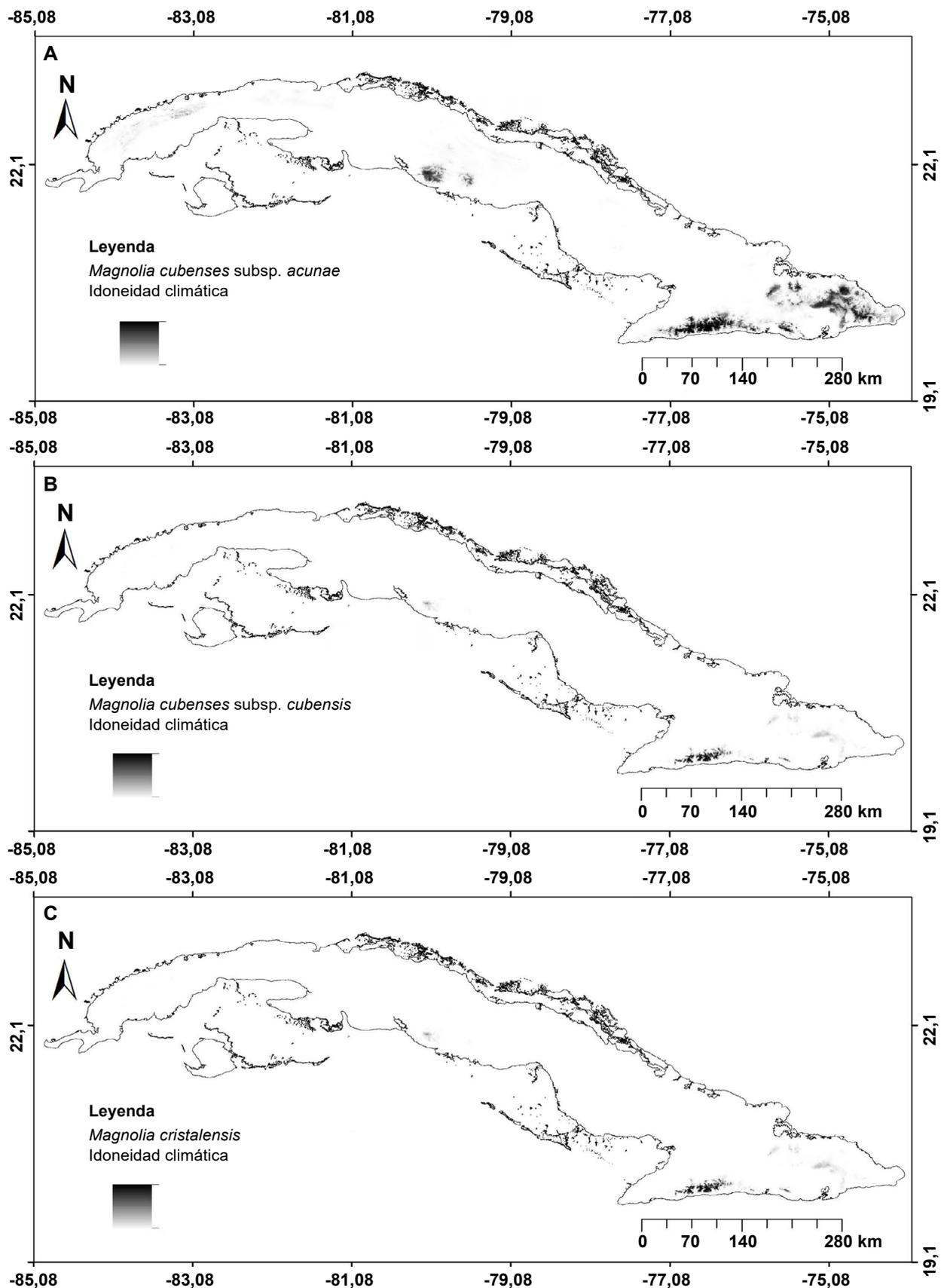


Fig. 2. Áreas climáticas idóneas para los taxones de *Magnolia* subsect. *Cubenses* en Cuba.

Fig. 2. Areas of climatic suitability for the taxa of *Magnolia* subsect. *Cubenses* in Cuba.

Kinho & al. 2022, Palmarola & al. 2022, Testé & al. 2022a). Palmarola & al. (2022) comparan las elevaciones en las que viven todos los taxones cubanos de la familia *Magnoliaceae*, mostrando que los pertenecientes a la subsección *Cubenses* tienden a vivir a mayores alturas en comparación con los taxones de *Magnolia* subsect. *Talauma*. En esta última subsección, de acuerdo con Testé & al. (2022a), solo *Magnolia orbiculata* (Britton & P. Wilson) Palmarola tuvo a la elevación como variable de alta influencia. En el caso específico de *Magnolia cubensis* subsp. *cubensis*, la elevación es la variable de más importancia (ver Tabla II), lo cual puede estar explicado por el hecho de que la Sierra Maestra es la zona montañosa con mayores elevaciones en Cuba y que de todas las magnolias cubanas este es el taxón con mayor rango altitudinal (entre 1 000 y 1 500 msm). En los otros dos taxones del grupo la contribución de esta variable está más equilibrada.

La ausencia de superposición en el espacio climático utilizado, muestra que los tres taxones pueden ser considerados tres entidades climáticamente diferentes. Es importante resaltar el hecho de que las dos subespecies de *Magnolia cubensis* no comparten condiciones climáticas y que se encuentran separadas por 350 km. La diferenciación climática se une al hecho de que Hernández (2014) y Hernández & al. (2021) encontraron diferencias significativas morfológicas y genéticas, respectivamente, entre ambas subespecies. Estas marcadas diferencias entre ambas subespecies han sido también reportadas por Veltjen & al. (2022) en base a análisis filogenéticos.

Magnolia cristalensis y *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* mostraron áreas idóneas en las montañas del occidente de Cuba, donde no se han reportado magnolias. Para *Magnolia cristalensis* las largas extensiones de áreas con condiciones adecuadas concuerda con sus altos valores de extensión de presencia (Palmarola & al. 2022) en comparación con los otros dos taxones de la subsección. Sin embargo, esto no explica el hecho de que *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* haya presentado mayor cantidad de áreas idóneas en comparación con *Magnolia cubensis* subsp. *cubensis*, cuando esta última tiene una extensión de presencia tres veces mayor (Palmarola & al. 2022). El hecho de que *Magnolia cubensis* subsp. *cubensis* solamente haya presentado áreas idóneas en la Sierra Maestra puede estar influenciado por la altura.

El hecho de que estas magnolias tengan sus áreas de distribución en zonas montañosas representa una alerta importante ante los efectos del cambio climático. Dependiendo de los modelos climáticos que se tengan en cuenta, se estima que el cambio climático provoque un aumento de la temperatura de uno a cinco grados centígrados para finales del presente siglo, así como una disminución considerable de las precipitaciones. Basado en los resultados encontrados y en publicaciones previas (Vásquez-Morales & al. 2014, Kinho & al. 2022, Palmarola & al. 2022, Testé & al. 2022a), se sabe que las temperaturas y precipitaciones son variables de gran importancia para la distribución de las magnolias cubanas, por lo que afectaciones en las mismas pueden ocasionar una

reducción considerable en las áreas de idoneidad climáticas de estas especies. Fuentes & al. (2019) proponen que para 2050 las áreas de idoneidad climática de las montañas, bajo diferentes escenarios climáticos, se verán reducidas afectando la flora de estas regiones.

CONCLUSIONES

Los tres taxones de *Magnolia* subsect. *Cubenses* en Cuba presentaron diferencias significativas en cuanto a las condiciones climáticas bajo las cuales habitan, lo que constituye un elemento más (de conjunto con la morfología y la filogenia) para tratar cada entidad como un taxón independiente. *Magnolia cubensis* subsp. *cubensis* presentó las menores áreas de idoneidad climática comparado con los otros dos taxones de la subsección en Cuba, lo cual puede repercutir en su estado de conservación en escenarios futuros de cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de Planta!, International Association of Plant Taxonomy (IAPT), Campus France, Sociedad Cubana de Botánica, la Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna, el Centro Nacional de Áreas Protegidas, Fauna and Flora International, Arboretum Wespelaar, Fondation Franklinia, Whitley Fund for Nature. Finalmente, agradecemos la colaboración de Adonis Sosa, Alexander López-Cantero, Aysel García, Banessa Falcón, Jorge Días, José Luis Gómez, Leandro Galano, Loynaz Mateo, Sandra Lafargue, Yenia Molina, Yoira Rivero, y de todas las personas que contribuyeron a este trabajo.

CUMPLIMIENTO DE NORMAS ÉTICAS:

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Aprobación de ética: Todos los autores han llevado a cabo el trabajo de campo y la generación de datos de forma ética, incluida la obtención de permisos adecuados.

Consentimiento para la publicación: Todos los autores han dado su consentimiento para publicar este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Morales, G., Martínez-Peralta, C., Feria-Arroyo, T.P., Golubov, J. & Mandujano, M.C. 2011. Distribución geográfica del género *Ariocarpus* (Cactaceae). *Cact. Suc. Mex.* 56(2): 49-63.
- Anderson, R.P. 2012. Harnessing the world's biodiversity data: promise and peril in ecological niche modeling of species distributions. *Ann. New York Acad. Sci.* 1260(1): 66-80. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06440.x>
- Boria, R.A., Olson, L.E., Goodman, S.M., & Anderson, R.P. 2014. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecol. Model.* 275: 73-77.
- Castillo, R.E., Encarnación, Y., Peguero, B., Clase, T. & Gratzfield, J. 2018. *Plan de acción de conservación integrada de las Magnolias (Magnoliaceae) amenazadas de República Dominicana. Magnolia domingensis, M. hamorii y M. pallescens.* Fundación PROGRESIO y Jardín Botánico Nacional Dr. Rafael M. Moscoso, República Dominicana.
- Chakraborty, A., Joshi, P.K. & Sachdeva, K. 2016. Predicting distribution of major forest tree species to potential impacts of climate change in the central Himalayan region. *Ecol. Eng.* 97: 593-609. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.006>

- Cires, E., de Sent, Y., Cuesta, C., Goetghebeur, P., Sharrock, S., Gibbs, D. & Samain, M.S. 2013. Gap analyses to support ex situ conservation of genetic diversity in Magnolia, a flagship group. *Biodiv. Conserv.* 22: 567-590. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0450-3>
- Cobos, M.E., Peterson, A., Barve, N. & Osorio-Olvera, L. 2019. Kuenm: An R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ* 7: e6281 <http://doi.org/10.7717/peerj.6281>.
- Escobar, L.E., Lira-Noriega, A., Medina-Vogel, G. & Peterson, A.T. 2014. Potential for spread of the white-nose fungus (*Pseudogymnoascus destructans*) in the Americas: use of Maxent and NicheA to assure strict model transference. *Geospat. Health.* 9: 221-229. <https://doi.org/10.4081/gh.2014.19>.
- ESRI 2014. ArcGIS 10.2. Environmental Systems Research Institute. <http://www.esri.com/>
- Feng, X., Park, D.S., Walker, C., Peterson, A.T., Merow, C. & Papeş, M. 2019. A checklist for maximizing reproducibility of ecological niche models. *Nat. Ecol. Evol.* <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0972-5>.
- Fuentes, I.M., González-Oliva, L., Baró, I., González-Echeverría, M.T. & Mancina, C.A. 2019. Efecto potencial del cambio climático sobre la distribución de plantas asociadas a bosques húmedos del oriente de Cuba. *Acta Bot. Cub.* 218(2): 160-170.
- González-Torres, L.R., Palmarola, A., González-Oliva, L., Bécquer, E.R., Testé, E. & Barrios, D. (Eds.) 2016. Lista roja de la flora de Cuba. *Bissea* 10 (NE 1): 1-352.
- Greuter W. & Rankin Rodríguez R. 2022. Plantas Vasculares de Cuba. Inventario. Tercera edición, actualizada, de Espermatófitos de Cuba. Vascular Plants of Cuba. A Checklist. Third, updated edition of The Spermatophyta of Cuba. – Berlin: Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin; La Habana: Jardín Botánico Nacional, Universidad de La Habana. <https://doi.org/10.3372/cubalist.2022.1>
- Gutiérrez-Lozano, M., Sánchez-González, A., Vázquez-García, J.A., López-Mata, L. & Octavio-Aguilar, P. 2020. Diferenciación morfológica poblacional de *Magnolia rzedowskiana* (Magnoliaceae): especie endémica en peligro de extinción de la sierra Madre Oriental, México. *Revista Mex. Biodiv.* 91 (2020): e913101. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3101>
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleont. Elect.* 4(1)4: 1-9.
- Identificación de las subespecies de *Magnolia cubensis* (Magnoliaceae) mediante análisis digital de imágenes de las hojas. *Revista Cub. Cienc. Biol.* 3(2): 53-60.
- Hernández, M., Palmarola, A., Veltjen, E., Asselman, P., Testé, E., Larridon, I, M.-S. Samain & González-Torres, L.R. 2020. Population structure and genetic diversity of *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* (Magnoliaceae): effects of habitat fragmentation and implications for conservation. *Oryx* 54(4): 451-459. <https://doi.org/10.1017/S003060531900053X>
- Hernández, M., Testé, E., Veltjen, E., Quintana-Delgado, J., Palmarola, A., Valdés de la Cruz, M., Asselman, P., Larridon, I., Samain, M.-S. & González-Torres, L.R. 2021. Effect of the landscape on functional and spatial connectivity in *Magnolia cubensis* (Magnoliaceae) in two mountain massifs of Cuba. *Conserv. Genet.* 22: 1051-1068. <https://doi.org/10.1007/s10592-021-01395-6>
- Hijmans, R.J., Cameron, S., Parra, J. L., Jones, P.G. & Jarvis, A. 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25(15): 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Kass, J.M., Vilela, B., Aiello-Lammens, M.E., Muscarella, R., Merow, C. & Anderson, R.P. 2017. Wallace: A flexible platform for reproducible modeling of species niches and distributions built for community expansion. *Methods Ecol. Evol.* 9: 1151-1156. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12945>
- Kinho, J., Arini, D.I.D., Abdulah, L., Susanti, R., Irawan, A., Yulianti, M., Subarudi, S., Imanuddin, R., Wardani, M., Denny, D., Kalima, T., Hardjana, A.K., Susilo, A., Heriansyah, I. & Tampang, A. 2022. Habitat Characteristics of *Magnolia* Based on Spatial Analysis: Landscape Protection to Conserve Endemic and Endangered *Magnolia sulawesiana* Brambach, Noot., and Culmsee. *Forests* 13: 802. <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/5/802#>.
- Martínez-Álvarez, G., Hernández-Rodríguez, M., Quintana-Delgado, J. & González-Torres, L.R. 2020. Estructura etaria de *Magnolia cristalensis* (Magnoliaceae) en El Toldo, Holguín, Cuba. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 41: 87-89.
- Menon, S., Choudhury, B.I., Khan, M.L. & Peterson, A.T. 2010. Ecological niche modeling and local knowledge predict new populations of *Gymnocladus assamicus* a critically endangered tree species. *Endanger. Species Res.* 11: 175-181.
- Molina-Peigrín, Y., Geada-López, G., Sosa-López, A., Puig-Pérez, A., Rodríguez-Fonseca, J.L. & Ramón-Puebla, A. 2021. Proyección del hábitat potencial de *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *cubensis* en el oriente de Cuba. *Revista CFOREs* 9(2): 159-178.
- Muñiz-Castro, M.A., Castro-Félix, P., Carranza-Aranda, A.S., Vázquez-García, J.A. & Santerre, A. 2020. Population genetics, species boundaries, and conservation in the *Magnolia pacifica* species complex along a continentally and moisture gradient in western Mexico. *Bot. Sci.* 98(3): 500-516.
- Palmarola, A., Granado, L., Testé, E., Hernández, M., Albelo, N. & González-Torres, L.R. 2018. Estructura poblacional y distribución de *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* (Magnoliaceae). *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana*. 39: 103-111.
- Palmarola, A., Testé, E., Gómez-Hechavarría, J.L. & González-Torres, L.R. 2017. Estructura etaria de dos magnolias cubanas en Alto de Mina Iberia: *Magnolia oblongifolia* y *M. cristalensis*. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 38: 139-142.
- Palmarola, A., Simón-Vallejo, R., Testé, E., Hernández-Rodríguez, M., Sosa, A., Molina-Peigrín, Y. & González-Torres, L.R. 2022. Distribución y conservación de *Magnolia* (Magnoliaceae) en Cuba. *Bot. Sci.* 100(2): 300-313. <https://doi.org/10.17129/botsci.2868>.
- Paredes-García, D.M., Ramírez-Batista, A. & Martínez-Morales, M.A. 2011. Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. *Revista Mex. Biodiv.* 82(2): 689-700. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.2.464>
- Phillips, S.J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distribution. *Ecol. Modell.* 190(3-4): 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pliscoff, 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 Geog. Nort. Grande* 48: 61-79.
- Quintana-Delgado, J., Hernández-Rodríguez, M., Testé, E., Palmarola, A., Veltjen, E., Valdés de la Cruz, M., Asselman, P., Larridon, I., Samain, M.-S. & González-Torres, L.R. 2022. Estructura y diversidad genética de *Magnolia cubensis* subsp. *cubensis* (Magnoliaceae). *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 43: 33-46.

- R Core Team. 2022. *R: A language and environment for statistical computing*. <http://www.r-project.org>
- Raxworthy, C.J., Ingram, C.M., Rabibisoa, N. & Pearson, R.G. 2007. Applications of Ecological Niche Modeling for Species Delimitation: A Review and Empirical Evaluation Using Day Geckos (*Phelsuma*) from Madagascar. *Syst. Biol.* 56(6): 907-923. <https://doi.org/10.1080/10635150701775111>
- Rivers, M., Beech, E., Murphy, L. & Oldfield, S. 2016. *The Red List of Magnoliaceae, revised and extended*. BGCI. Richmond.
- Smith, A.B., Godsoe, W., Rodríguez-Sánchez, F., Wang, H.-H. & Warren, D. 2019. Niche Estimation Above and Below the Species Level. *Trends in Ecology & Evolution* 34(3): 260-273. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.10.012>
- Song, C., Liu, H. & Gao, J. 2019. Habitat preference and potential distribution of *Magnolia officinalis* subsp. *officinalis* and *M. o.* subsp. *biloba* in China. *Nat. Conserv.* 36: 93-111.
- Testé, E., Gordillo, M., Palmarola, A., Hernández, M. & González-Torres, L.R. 2019. Estructura poblacional de *Magnolia cubensis* subsp. *cubensis* (*Magnoliaceae*) en el Paisaje Natural Protegido "Gran Piedra". *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 40: 19-21.
- Testé, E., Simón, R., Hernández-Rodríguez, M., Bécquer, E.R., Robert, T., Palmarola, A. & González-Torres, L.R. 2022a. Ecological niche differentiation of *Magnolia* subsect. *Talauma* (*Magnoliaceae*) in Cuba. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 43: 133-142.
- Testé, E., Hernández-Rodríguez, M., Veltjen, E., Bécquer, E.R., Rodríguez-Meno, A., Palmarola, A., Samain, M.-S., González-Torres, L.R. & Robert, T. 2022b. Integrating morphological and genetic limits in the taxonomic delimitation of the Cuban taxa of *Magnolia* subsect. *Talauma* (*Magnoliaceae*). *PhytoKeys* 213: 35-66. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.213.82627>
- Thiers, B. 2023 [continuously updated]. Index Herbariorum: a global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's virtual herbarium. <http://sweetgum.nybg.org/science/ih/>. 15 February 2023
- Tocchio, L.J., Gurgel-Goncalves, R., Escobar, L.E. & Peterson, A.T. 2014. Niche similarities among white-eared opossums (Mammalia, Didelphidae): is ecological niche modelling relevant to setting species limits? *Zool. Scr.* 44(1): 1-10. <https://doi.org/10.1111/zsc.12082>
- Vásquez-Morales, S.G., Téllez-Valdés, O., Pineda-López, M., Sánchez-Velásquez, L.R., Flores-Estevez, N. & Viveros-Viveros, H. 2014. Effect of climate change on the distribution of *Magnolia schiedeana*: a threatened species. *Bot. Sci.* 92 (4): 575-585. <https://doi.org/10.17129/botsci.116>.
- Veltjen, E. 2020. The Caribbean *Magnolia* species (*Magnoliaceae*): Assessment of the genetic diversity and the underlying evolutionary history. PhD. Thesis. Universiteit Ghent, Faculteit Wetenschappen.
- Veltjen, E., Testé, E., Palmarola, A., Asselman, P., Hernández, M., González-Torres, L.R., Chatrou, L., Goetghebeur, P., Larridon, I. & Samain, M.S. 2022. The evolutionary history of the Caribbean *Magnolias* (*Magnoliaceae*): testing species delimitations and biogeographical hypotheses using molecular data. *Mol. Phylog. Evol.* 167: 107359. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107359>
- Yu-Jun, Y. & Shang-Hong, Z. 2016. Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan, China. *Ecol. Eng.* 92: 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.010>