

# Distribución potencial del género *Omphalea* (Euphorbiaceae) en Cuba: aproximación a su distribución real

## *Potential distribution of the genus Omphalea (Euphorbiaceae) in Cuba: approach to its actual distribution*

Claudia Nuñez-Penichet<sup>1</sup>, Marlon E. Cobos Cobos<sup>2</sup>, Jorge Gutiérrez Amaro<sup>3</sup> y Alejandro Barro Cañamero<sup>1</sup>

### RESUMEN

El género *Omphalea* está representado en Cuba por las especies *O. diandra*, *O. hypoleuca*, y *O. trichotoma*. Estas euforbiáceas son hospederas de dos polillas endémicas del archipiélago, *Urania boisduvalii* y *U. poeyi*. El conocimiento de la distribución de *Omphalea* en Cuba se limita a algunas localidades donde se ha recolectado o en donde se han realizado estudios de flora. Identificar la distribución de estas plantas facilitaría el entendimiento de su estado de conservación y del estado de los lepidópteros asociados a las mismas. Los objetivos planteados fueron: estimar el área de distribución real aproximada del género *Omphalea* en Cuba y, evaluar la representatividad de esta distribución en las áreas protegidas del país. Para esto se realizó el Modelado de Distribución del género de estas especies, con los registros de las tres especies agrupados, y siete variables ambientales. Los modelos de distribución potencial fueron procesados para eliminar las áreas inadecuadas para la presencia de estas especies. El resultado final fue superpuesto con las áreas protegidas de Cuba. El área de distribución real aproximada de este género en Cuba ocupa 22 786,72 km<sup>2</sup>. La presencia de factores inadecuados para la ocurrencia de las especies restringe el modelo en un 76,79%. Las áreas protegidas de Cuba cubren un 23,57% de la distribución real aproximada de estas especies vegetales. Las amenazas que afrontan este género en Cuba, unidas a su pequeña área de ocupación y a su baja representación en las áreas protegidas, refieren la necesidad de nuevas investigaciones y medidas de conservación.

**Palabras Claves:** endemismo, modelos de distribución de especies, nicho realizado, nicho fundamental existente

### ABSTRACT

The genus *Omphalea* is represented in Cuba by the species *O. diandra*, *O. hypoleuca*, and *O. trichotoma*. These euphorbiaceas are host for two endemic moths of the archipelago, *Urania boisduvalii* and *U. poeyi*. Knowledge about the distribution of *Omphalea* in Cuba is limited to some locations where they have been collected or where studies of flora have been done. Identifying the distribution of these plants could facilitate the understanding of their conservation status and their associated Lepidoptera. The objectives of this study were: to estimate the area of approximate actual distribution of *Omphalea* genus in Cuba; and evaluate the representativeness of this distribution in Cuban protected areas. For this, the Distribution Modeling of these species was done using the records of the three species grouped, and seven environmental variables. The Potential distribution models were processed to remove areas unsuitable for the presence of these species. The final result was overlapped with protected areas of Cuba. The area of approximate actual distribution for this genus in Cuba occupies 22 786.72 km<sup>2</sup>. The presence of unsuitable factors for the species occurrence restricts the model in 76.79%. The Cuban protected areas cover 23.57% of the actual distribution of these plant species. The threats faced by the species of this genus in Cuba, together with its reduced occupation area and their low representation in protected areas, do reference to the need for new researches and conservation plans.

**Keywords:** endemism, species distribution models, realized niche, existent fundamental niche

**Recibido:** agosto 2016 **Aceptado:** octubre 2016

Publicado online 2 de noviembre de 2016 y será incluido en el volumen 37. ISSN 2410-5546 RNPS 2372 (DIGITAL) - ISSN 0253-5696 RNPS 0060 (IMPRESA)

### INTRODUCCIÓN

El género *Omphalea* (Euphorbiaceae) está formado aproximadamente por 20 especies y presenta una distribución pantropical (Radcliffe-Smith 2001). Estas especies son lianas, arbustos o árboles monoicos, con presencia de indumento y látex rojizo en sus tallos. En Cuba se encuentran tres especies de *Omphalea*, *O. trichotoma* Muell. Arg., *O. hypoleuca* Griseb. y *O. diandra* L. (Greuter & Rankin 2016). Las dos primeras son endémicas del archipiélago, y *O. diandra* está distribuida en la región Neotropical, desde Veracruz, México, hasta

el sur de Brasil. *Omphalea trichotoma* se distribuye en Cuba principalmente en la manigua costera y se ha registrado en la región oriental, Matanzas, La Habana y Pinar del Río; *O. hypoleuca* se conoce únicamente en los mogotes de Pinar del Río; mientras que, *O. diandra* presenta una distribución geográfica más amplia en Centro y Suramérica, y en el archipiélago cubano su distribución es aún poco conocida (Alain 1953). Los suelos en los que crecen estas especies vegetales presentan como característica común alta capacidad de drenaje y pueden ser alcalinos en dependencia de su origen geológico.

<sup>1</sup> Departamento Biología Animal y Humana, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. <sup>2</sup> Programa de Investigación de la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, Dirección de Investigaciones, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador; <sup>3</sup> Jardín Botánico Nacional, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. \*Autor para correspondencia (e-mail: clauunez1990@gmail.com)

En Cuba, las hojas de estas tres especies de plantas son consumidas por las larvas de dos polillas migratorias endémicas del país, *Urania boisduvalii* Guérin-Méneville y *U. poeyi* Herrich-Schäffer (*Lepidoptera: Uraniidae*) (Barro & Rodríguez 2006). Estos lepidópteros dependen de sus

plantas hospederas para su distribución y supervivencia, ya que su migración ha sido atribuida a la búsqueda periódica de alimento para sus fases larvianas (Smith 1983). Esto se debe a que, como respuesta a la depredación, las especies de *Omphalea* sintetizan metabolitos secundarios desagradables para las larvas (Smith 1991). Por este motivo, estos uránidos requieren de la existencia de poblaciones auxiliares de esas euforbiáceas a las cuales dirigirse cuando aumenta la toxicidad en sus hospederas.

El conocimiento de la distribución de las plantas del género *Omphalea* en Cuba se limita a algunas localidades en donde han sido recolectadas o en zonas donde se han realizado estudios de flora (Oviedo & al. 1988, Barreto & al. 2005, Rossis & al. 2008, García & Herrera 2011). Dada la distribución conocida de las polillas (más amplia que la de sus hospederas), la homogeneidad ambiental en el archipiélago cubano y la presencia de suelos adecuados para estas plantas, existe la posibilidad de que la distribución real de estas especies pueda abarcar un mayor territorio en Cuba que el hasta ahora conocido.

Conocer la distribución de las especies de *Omphalea* en Cuba promovería la mejor comprensión de estado de conservación actual y permitiría planificar posibles acciones de conservación en los sectores de interés. Otro factor de importancia al respecto, es el conocimiento de la representatividad que puedan tener sus áreas de distribución, dentro de las distintas áreas protegidas. Además, estimar las áreas potencialmente ocupadas por estas plantas y su estado de protección, ayudaría a identificar las áreas de cría de *Urania boisduvalii* y

*U. poeyi*, y con ello aportaría conocimientos para la evaluación de las posibles amenazas que afrontan estos lepidópteros. En consideración a lo antes expuesto, este trabajo tuvo como objetivos estimar las áreas de distribución real aproximada del género *Omphalea* en Cuba y evaluar la representatividad de esta distribución en las áreas protegidas del país.

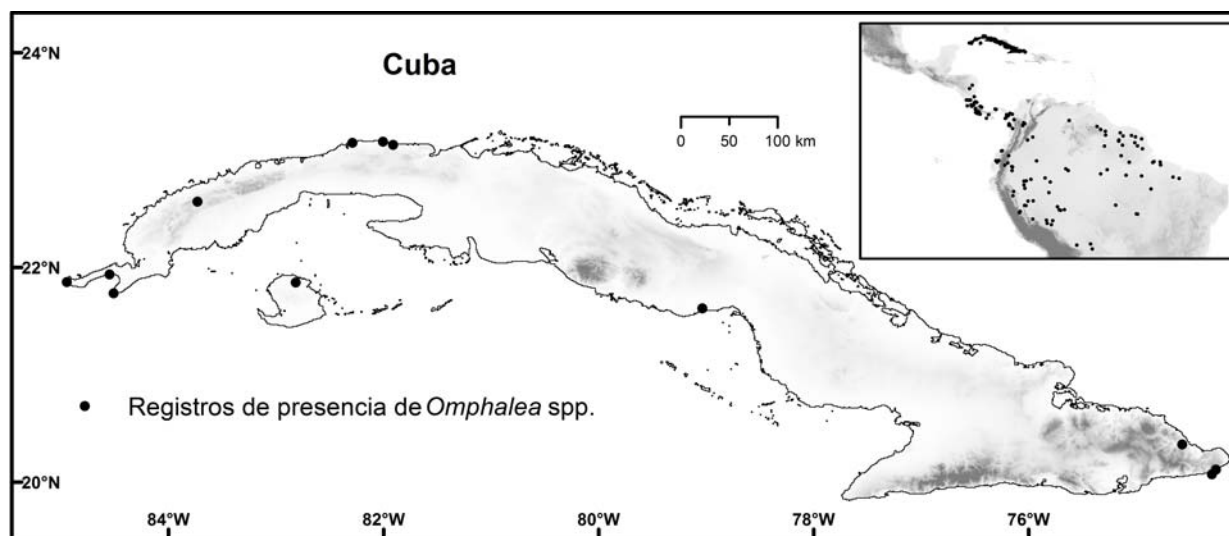
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en el archipiélago cubano (110 922 km<sup>2</sup> de superficie aproximada), el cual está situado en el extremo noroeste de la cuenca del mar Caribe en el grupo de la Antillas Mayores del Caribe insular (Gutiérrez & Rivero 1997) (Figura 1). Este es un territorio con una de las historias geológicas más complejas del mundo, en la que han ocurrido movimientos tectónicos verticales y horizontales, además de etapas de fuerte actividad volcánica y sobrecorrimientos en las diferentes capas de roca (Formel 1988). Cuba está ubicada en una zona del cinturón interneotropical que se caracteriza por la interrelación entre la temperatura y la humedad, lo que condiciona su régimen hídrico, los tipos de vegetación y sus suelos (Gutiérrez & Rivero 1997). Su relieve está compuesto fundamentalmente por llanuras, con pocas elevaciones restringidas a algunos lugares de la isla (Díaz 1988).

### Modelado de Distribución

Los modelos de distribución de las especies de *Omphalea* presentes en Cuba se realizaron en el programa MaxEnt 3.3.3k (Phillips & al. 2006). Para ello se utilizaron registros de presencia de estas especies de plantas y



**Fig. 1.** Área de estudio y ubicación referencial del archipiélago cubano. Los puntos negros representan las localidades de las especies *Omphalea* (Euphorbiaceae) en Cuba y el Neotrópico. Las áreas sombreadas representan las mayores elevaciones.

**Fig. 1.** Study area and referential location of the Cuban archipelago. The black dots represent the localities of the species *Omphalea* (Euphorbiaceae) in Cuba and the Neotropic. Shaded areas represent the main elevations.

siete variables ambientales. Los registros de presencia fueron obtenidos de la literatura (Capote & al. 1988, Rosete & al. 2004, Vilamajó & al. 2005, 2010), de los herbarios del Jardín Botánico Nacional y del Instituto de Ecología y Sistemática, así como de las bases de datos digitales del Servicio de Información de la Biodiversidad Mundial (GBIF, por sus siglas en inglés) y del Catálogo de especies de plantas vasculares de Brasil del Jardín Botánico de Nueva York. Los datos ambientales provinieron de las bases de datos WorldClim (Hijmans & al. 2005) y CGIAR-CSI *Global-Aridity and Global-PET* (Zomer & al. 2007, 2008) a una resolución de 30 arco segundos (aproximadamente 1 km).

- *Selección de datos y del área de calibración para el modelado*

Se seleccionaron los registros de presencia desde 1950 en adelante, que poseían coordenadas geográficas o localidades claras y precisas. Esto se realizó para que estos registros coincidieran de manera espacio-temporal con los datos ambientales utilizados. Estas localidades pertenecen a las tres especies del género *Omphalea* que se encuentran en Cuba, en toda su área de distribución conocida. Los modelos de distribución en este estudio se realizaron utilizando los registros de las tres especies de interés, agrupadas como género. Esto se realizó debido a la ausencia de identificación específica en la mayoría de los registros en Cuba. Además, un análisis de componentes principales previo (en el que se comparó los datos de las variables ambientales mencionadas en el párrafo anterior, entre los registros de *O. diandra* en toda su extensión y los de *Omphalea* spp. en Cuba), reveló que el nicho ecológico de las dos especies endémicas de Cuba estaba contenido dentro del de *O. diandra* (Anexo 1). Para evitar localidades duplicadas y disminuir la autocorrelación espacial, se eliminaron los registros ubicados a una distancia menor de 5 km; esto se realizó con el paquete spThin (Aiello-Lammens & al. 2015) de la librería de R 3.3 (R Core Team 2016). De un total inicial de 268 localidades, solo 142 constituyeron las muestras de presencia adecuadas para realizar los modelos.

El área de calibración del modelo constituye el entorno ambiental en el cual se comparan los datos de presencia para identificar la adecuación del hábitat en cada pixel del área de estudio (Anderson 2015). Esta área debería estar formada por zonas adecuadas y no adecuadas para la especie, pero que potencialmente pudieron ser alcanzadas por esta (ver Peterson & al. 2011). En este caso se consideró como área de calibración a todo el conjunto de Ecorregiones ocupadas por los registros de las tres especies estudiadas (*O. diandra*, *O. trichotoma* y *O. hypoleuca*) (Anexo 2). Estas zonas ocupadas, se identificaron utilizando el mapa de Ecorregiones terrestres del mundo de la base de datos geográficos de *The Nature Conservancy* (Olson & Dinerstein 2002).

Para la selección de las variables ambientales que se utilizaron en el modelado se realizó un análisis Jackknife (Pearson & al. 2007), en el programa *MaxEnt*, con los registros seleccionados y filtrados, así como las 19 variables de WorldClim y la capa de aridez de la base de datos CGIAR-CSI *Global-Aridity and Global-PET*. En este análisis se identificaron las variables de mayor aporte al modelo, y entre estos predictores, se seleccionaron los que mostraban valores de correlación menores que 0,8 y que podrían ser de significación biológica para la especie. Estas variables fueron, Aridez (ARID), Estacionalidad de la temperatura (BIO4), Rango anual de temperatura (BIO7), Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10), Precipitación del mes más húmedo (BIO13), Precipitación del mes más seco (BIO14) y Precipitación del trimestre más Frío (BIO19). El procesamiento de las variables ambientales y el análisis de correlación de estas se realizó con el programa R 3.3 y el paquete *grid* de esta librería.

- *Selección de las configuraciones óptimas del programa de modelado*

La evaluación de las configuraciones del programa para la creación del modelo de este género se realizó a través de la comparación de los desempeños de 48 modelos de prueba. En estos se empleó el método de tablero de ajedrez (*checkerboard*) para la partición de datos de entrenamiento y prueba; ocho valores (entre 0,5 y 4, con incrementos de 0,5) del Multiplicador de regularización; y seis Tipos de clases, L, LQ, H, LQH, LQHP y LQHPT (donde L = lineal, Q = cuadrática, H = bisagra, P = producto, T = umbral). El método *checkerboard* fue seleccionado debido a que puede ser más apropiado cuando no se requiere transferir los modelos en espacio o tiempo (Muscarella & al. 2014). Los modelos de evaluación se realizaron con los registros de las tres especies agrupadas por género, y las variables seleccionadas. Para reducir la influencia del error espacial de muestreo se utilizaron 10 000 unidades de muestreo aleatorias dentro del área de calibración. El desempeño de los modelos de prueba se evaluó mediante seis descriptores. El Área Bajo la Curva (ABC) del gráfico de las características operativas del receptor basada en los datos de prueba, la diferencia entre el ABC de entrenamiento y de prueba (ABC-DIF) (Warren & Seifert 2011), y las tasas de omisión con umbrales de probabilidad de presencia de 0 y 10% (Pearson & al. 2007), fueron utilizadas para cuantificar el sobreajuste de los modelos. El Criterio Informativo de Akaike corregido (AICc, por sus siglas en inglés), el delta AICc (D-AICc) y el peso del AICc (P-AICc), fueron utilizadas como medidas de la calidad relativa de los modelos (Burnham & Anderson 2004, Warren & Seifert 2011). Los modelos de prueba y la evaluación de su desempeño se realizaron con el paquete "ENMeval" (Muscarella & al. 2014) de la librería de R 3.3. Se seleccionaron las mejores configuraciones para el modelo en base a la mejor

correspondencia entre tasas de omisión esperadas y obtenidas y a los valores de delta AICc (ejemplo de los mejores resultados por cada parámetro en el Anexo 3).

#### - Creación y evaluación de los modelos finales

Los modelos fueron creados con los registros de presencia filtrados y las variables ambientales que se seleccionaron, esto fue realizado dentro del área de calibración determinada en base a los análisis previos. El proceso de modelado se realizó en el programa *MaxEnt vers. 3.3.3k*. Se realizaron 50 réplicas por Bootstrap, con un Multiplicador de regularización de cuatro y una combinación de Tipos de Clases LQHP. Los MNE fueron proyectados únicamente al territorio del archipiélago cubano, y no se permitieron extrapolaciones.

Para evaluar el desempeño de los modelos se usó el ABC (Phillips & al. 2006). Además, se tuvieron en cuenta los valores de omisión respecto al umbral de división del mínimo valor de presencia y del 10 percentil. Esto se realizó para evaluar la existencia de sobre o subajuste en los modelos. La contribución de las variables a los modelos se evaluó mediante los resultados de la prueba de Jackknife.

#### - Restricción de la distribución potencial de *Omphalea* spp.

Para la representación de las probabilidades de presencia de las especies de *Omphalea* se utilizaron los promedios de las salidas logísticas de los modelos finales. El modelo logístico fue binarizado utilizando el umbral del valor máximo de sensibilidad + especificidad, para minimizar la media de la tasa de error de omisión y comisión (Freeman & Moisen 2008). Con la finalidad de identificar la distribución real aproximada de estas especies, se realizó una restricción de la distribución potencial (modelo de presencia/ausencia) obtenido a través

de la binarización. Como lo propone Anderson (2015) para realizar esta restricción se consideraron: la presencia de características ambientales positivas y negativas para el desarrollo de la especie, los cambios ambientales locales producidos por actividades del ser humano, las posibles barreras geográficas, y las diferencias en el contexto biótico (la presencia y abundancia de otras especies que interactúan de manera clave con la especie de interés) (Tabla I).

Como características ambientales positivas se identificaron todos los tipos de suelos en los que se encontraban las tres especies estudiadas (suelos adecuados) (Anexo 4), utilizando el mapa de suelos de la base de datos SoilGrids (Hengl & al. 2014, Hengl & al. en prensa), con una resolución espacial de 250 m. Como características ambientales negativas se consideraron las zonas sin cobertura vegetal, así como los cuerpos de agua presentes en el archipiélago. Para identificar estas áreas se utilizó la información referente a la cobertura forestal (resolución de 30 m) de la base de datos *Global Forest Change* (Hansen & al. 2013). Dentro de los cambios ambientales locales producidos por el ser humano, se contaron a las áreas urbanizadas y las áreas con fines productivos (ganadería y agricultura extensiva), presentes en Cuba. Estas áreas antropizadas se identificaron a partir del mapa de uso de suelos de Cuba a escala 1: 250 000 (Hernández & al. 1999). Como barrera biogeográfica, se planteó un límite de altitud de 600 msm que se seleccionó en consideración a la altura máxima en la que se ha registrado a las especies de *Omphalea* en Cuba (560 msm, medido en el modelo de elevación digital, MED). Esta barrera se construyó con un MED a una resolución de 30 m que deriva de la *Shuttle Radar Topography Mission* (disponible en la base de datos del U.S. Geological Survey). Como limitante en el contexto biótico se conside-

TABLA I

Área ocupada por las características ambientales y bióticas consideradas como no aptas para la presencia de las plantas del género *Omphalea* (*Euphorbiaceae*) en Cuba

TABLE I

Area occupied by the environmental and biotic characteristics considered unfit for the presence of species of the *Omphalea* (*Euphorbiaceae*) genus in Cuba

Tipo	Característica	Área (km <sup>2</sup> ) en Cuba
Ambientales	Presencia de cuerpos de agua	1 961,58
	Suelos no ocupados en la distribución conocida de las especies de <i>Omphalea</i> objetos de interés	7 959,37
	Áreas sin cobertura (Saladares y áreas sin cobertura forestal derivado de Hansen & al. (2013))	13 829,28
Antrópicas	Áreas urbanizadas	1 312,11
	Áreas productivas (Áreas de producción pecuaria; Plantaciones de: pino, tabaco, arroz, cítricos)	46 296,37
Biogeográficas y Bióticas	Barreras biogeográficas (zonas > 600 msm)	1 836,92
	Conjuntos de especies con posibles interacciones bióticas negativas (Vegetación de manglar, vegetación de ciénaga, Pinares)	12 742,88

raron los tipos de vegetación que pudieran representar interacciones biológicas negativas para estas especies. Esto se realizó en base a la experiencia de dos de los autores de este trabajo. Estos tipos de vegetación fueron seleccionados a partir del mapa de cobertura vegetal de Estrada & al. (2011) (detalle de los tipos de vegetación utilizados, Tabla I). El proceso completo de restricción del modelo se realizó en el programa ArcGis 10.3.

El resultado de la restricción del nicho fundamental existente de *Omphalea* en Cuba, es una aproximación a las áreas de distribución real. Estas fueron superpuestas con las unidades del Sistema Nacional de Áreas Protegidas 2014-2020 (CNAP 2013), que cubren superficies terrestres. En esta superposición se identificaron y midieron las áreas dentro y fuera de estas unidades de protección.

**RESULTADOS**

*Modelo de distribución*

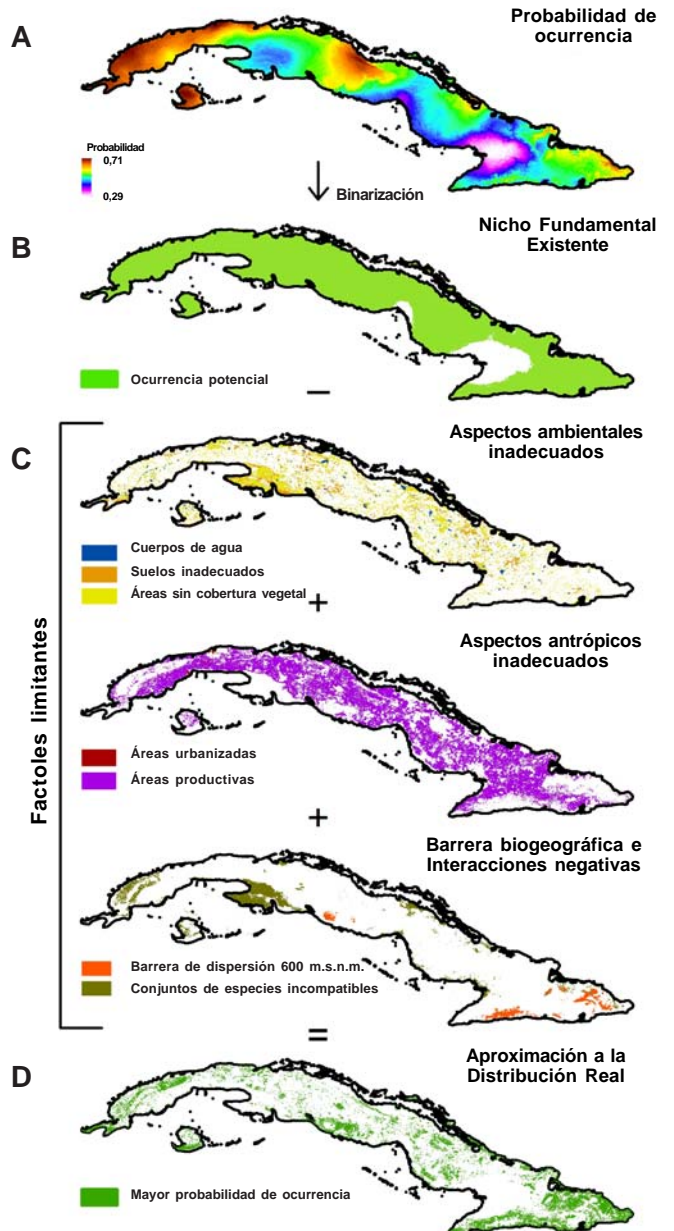
Los modelos de nicho obtenidos mostraron valores de AUC de  $0,74 \pm 0,02$ . Las tasas de omisión al 0% y 10 %, fueron de  $0,00 \pm 0,00$  y  $0,095 \pm 0,005$ , respectivamente, lo que demuestra un poder predictivo de los modelos mejor que al azar y ausencia de sobre o sub-ajuste. Las variables de mayor contribución al modelo fueron BIO13, BIO14 y BIO4 en ese orden. Se observaron mayores probabilidades de ocurrencia para las especies del género *Omphalea* en el occidente, la Isla de la Juventud, el centro y una parte de la zona más occidental del complejo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa en el oriente del archipiélago (Figura 2A). Las menores probabilidades de ocurrencia e incluso valores debajo de umbral de división de presencia-ausencia (0,41), se ubicaron al sur de la zona centro-oriental de la isla (Figura 2A). El área de distribución potencial de las especies de este género en Cuba ocupa 98 188,57 km<sup>2</sup> (Figura 2B).

*Factores limitantes para la distribución de Omphalea spp. en Cuba*

Los factores limitantes para la distribución de estas especies de plantas cubren 75 401,95 km<sup>2</sup> de las áreas de distribución potencial de *Omphalea* spp. en Cuba (Figura 2C). De estos el 2,13% lo ocupan los cuerpos de agua, el 9,48% los suelos no adecuados, el 16,84% las áreas sin cobertura, el 1,60% las áreas urbanizadas, el 53,25% las áreas productivas, el 2,44 % las zonas que la especie pudo no haber colonizado debido a la barrera de 600 msm y el 14,28% las zonas con grupos de especies que pudieran interactuar negativamente con estas plantas en Cuba. La existencia de estos factores inadecuados para la presencia de *Omphalea* spp. restringen su distribución potencial en un 76,79 %.

*Distribución real aproximada de Omphalea spp. en Cuba y estado de protección*

El área de distribución real aproximada de las especies del género *Omphalea* en Cuba ocupa 22 786,72 km<sup>2</sup>. El patrón de la distribución de estas especies es fragmentado a lo largo de todo el archipiélago (Figuras 2D, 3). Del total



**Fig. 2.** Proceso de restricción del área de distribución potencial de *Omphalea* spp. en Cuba. **A.** Probabilidad de ocurrencia de *Omphalea* spp. en Cuba. **B.** Distribución Potencial (Nicho Fundamental Existente) de *Omphalea* spp. en Cuba. **C.** Aspectos ambientales, bióticos y biogeográficos que limitan la ocurrencia de *Omphalea* spp. en Cuba. **D.** Distribución real aproximada de *Omphalea* spp. en Cuba.

**Fig. 2.** Process of restriction of the potential distribution area of *Omphalea* spp. in Cuba. **A.** Occurrence probability of *Omphalea* spp. in Cuba. **B.** Potential distribution (Fundamental Existing Niche) of *Omphalea* spp. in Cuba. **C.** Environmental, biotic and biogeographic aspects which limit the occurrence of *Omphalea* spp. in Cuba. **D.** Approximate actual distribution of *Omphalea* spp. in Cuba.

del área de distribución real aproximada de *Omphalea* spp. en Cuba, solo el 23,57 % están dentro de las áreas protegidas del SNAP (Figura 3).

## DISCUSIÓN

### *Distribución potencial de Omphalea spp. en Cuba*

La extensión del área de distribución potencial del género *Omphalea* en Cuba, abarca gran parte del archipiélago y es mayor a la que se podría esperar si solo se consideran sus ocurrencias locales (Alain 1953, Capote & al. 1988, Radcliffe-Smith 2001, Rosete & al. 2004, Vilamajó & al. 2005, 2010). Algunas áreas de adecuación se encuentran en sectores de elevada altitud en Cuba, donde las características de suelo y vegetación dominantes podrían impedir la presencia de estas especies vegetales (Gutiérrez 1980, Rodríguez & al. 1982, Rankin & al. 1987, Ricardo & al. 1998). La existencia de áreas de adecuación en sectores elevados, podría estar ligada a la consideración general de los registros de las tres especies de interés, como un todo. Este tratamiento promueve que se tome en cuenta mayor variabilidad ambiental que la existente en las localidades cubanas de estas especies, ya que *O. diandra* presenta una amplia distribución geográfica y ambiental en el Neotrópico, y es necesario considerar toda su amplitud de nicho para representarla en el modelo. Otro factor que influenciaría la presencia de áreas de distribución amplias, es que solamente se consideraron factores climáticos derivados de la temperatura y la precipitación, para realizar los modelos. La no consideración de factores como el suelo en los modelos iniciales, pudo haber influido en el resultado obtenido. No obstante, este factor ambiental no fue considerado para el modelado, debido a que esto puede disminuir la eficacia del algoritmo si se utilizan puntos georreferenciados marginalmente (Ortega-Huerta & Peterson 2008).

### *Distribución real aproximada de Omphalea spp. en Cuba y su estado de conservación*

Aunque el área de distribución real aproximada de este género en Cuba es de 22 786,72 km<sup>2</sup> (Figuras 2D y 3), los estudios de campo demuestran que el área de ocupación de este conjunto de especies es más pequeña. Por ejemplo, en toda la llanura cársica del sur de la Isla de la Juventud no se ha registrado la presencia de las especies de *Omphalea* (García & Herrera 2010, 2011). Esto también sucede en la provincia de Camagüey (Berazaín & al. 1985, Pérez & al. 1992, 1994a, 1994b, Risco & al. 2004, Barreto & al. 2005) y en la llanura de la costa norte de la provincia de Las Tunas (Chiappy 1988). Además, la distribución fragmentada de las poblaciones de estas especies y la poca representatividad de las mismas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Figura 3), hace pensar en cierto grado de amenaza para las especies endémicas del género. Sobre todo, si se considera que *O. diandra* se encuentra en gran parte del Neotrópico y las dos especies restantes son únicas de Cuba y poseen una distribución menos amplia en el espacio geográfico y ambiental. Esto se refuerza con el hecho de que la mayor población de *O. trichotoma* (Península de Guanahacabibes) está amenazada con el desarrollo turístico de esta región, mientras que la segunda población más importante (Norte Habana-Matanzas) está grandemente disminuida por el desarrollo de la industria petrolífera (Lees & Smith 1991).

La otra especie endémica, *Omphalea hypoleuca*, presenta una distribución restringida a los mogotes de Viñales, lo que reafirma la necesidad de conservación, ya que aunque esta área constituye un Parque Nacional, es foco de otras afectaciones debido a las actividades turísticas y la agricultura. Lo planteado anteriormente, unido al

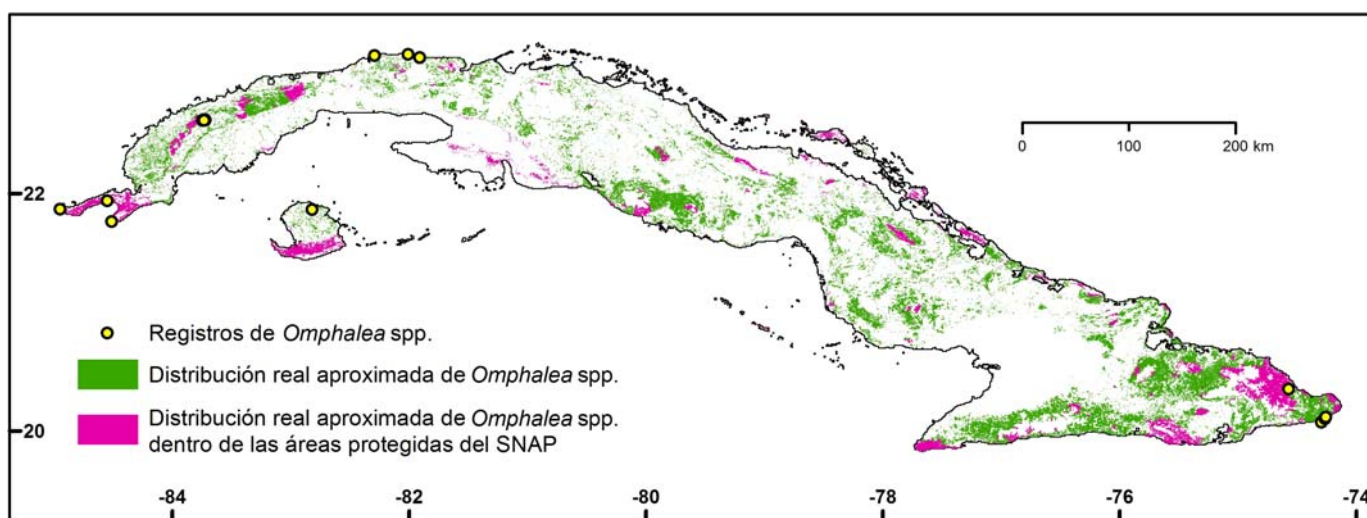


Fig. 3. Superposición de las áreas de distribución real aproximada de *Omphalea* spp. (Euphorbiaceae) con las unidades del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) 2014-2020 de Cuba, que cubren superficies terrestres.

Fig. 3. Overlap of the approximate actual distribution areas of *Omphalea* spp. (Euphorbiaceae) with the units of the National System of Protected Areas (SNAP) of Cuba covering land surfaces.

conocimiento generado de la distribución de estas plantas y de su estado de protección, brinda elementos que se pudieran tener en cuenta para valorar el estado de conservación de las especies de este género en Cuba. No obstante, una mejor consideración de las áreas importantes para cada especie es necesaria para entender su estado actual de conservación de manera individual.

Dada la estrecha interacción trófica presente entre las especies del género *Omphalea* y las polillas del género *Urania* endémicas de Cuba, la distribución y número de poblaciones de estas plantas constituyen un indicador ideal del estado de conservación de estos lepidópteros. El panorama fragmentado observado en la distribución de estas plantas, alerta acerca de una discontinuidad entre los sitios de cría de estas polillas. El tamaño de las poblaciones de *Omphalea* podría indicar cuándo estos son usados o no como sitios de cría de poblaciones grandes de estos insectos; además podría ser determinante para el mantenimiento de las metapoblaciones (Hanski & Ovaskainen 2000). Conocer el uso de estos parches podría también ser clave al momento de entender los procesos migratorios de estos lepidópteros endémicos en Cuba.

## CONCLUSIONES

El área de distribución real aproximada de las especies del género *Omphalea* en Cuba es reducida si se tiene en cuenta la adecuación ambiental obtenida en el proceso de modelado. Estas zonas se encuentran fundamentalmente en las regiones occidental y oriental, y los factores limitantes de la distribución representan alto riesgo para la conservación de estas especies. Solo el 23,57 % de estas áreas de distribución real aproximada se encuentran protegidas en Cuba dentro de unidades con diferente grado de significación. Ya que este grupo de especies es el recurso trófico exclusivo de dos especies de polillas endémicas del archipiélago, su área de ocupación y estado de conservación son características que determinarían directamente el estado de los lepidópteros mencionados. Las amenazas que representan las actividades de turismo y explotación petrolera sobre las especies de *Omphalea* imponen la necesidad de un nuevo análisis del estado de conservación de las especies del grupo en el archipiélago cubano.

### Limitaciones metodológicas

En este trabajo se utilizaron los registros de las especies de interés, agrupados como género. Esto impide detectar las diferencias en cuanto a la amplitud de la distribución geográfica y del nicho ecológico entre estas especies. No obstante, se ofrece una aproximación a las áreas de adecuación para este grupo de especies, la cual podría servir para valorar el estado de conservación de cada especie, considerando las claras diferencias de distri-

bución existentes en el archipiélago. Algunas de las asunciones realizadas en este trabajo, referentes a la restricción del nicho fundamental existente, podrían llevar a subestimar o sobreestimar la real magnitud de la distribución de las especies de interés. Sin embargo, las decisiones aquí realizadas se basan en el conocimiento de la historia natural de las especies y de las características físico-geográficas y climáticas de Cuba. Por estas razones, los resultados obtenidos, aunque podrían presentar modificaciones a medida que se continúen las investigaciones en este grupo, son válidos como una primera aproximación a la distribución real de un conjunto de especies poco estudiado hasta la fecha.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los trabajadores del herbario del Instituto de Ecología y Sistemática por facilitarnos el acceso a las colecciones. Al Dr. Jorge Soberón por los acertados y valiosos consejos durante la ejecución de este trabajo. También queremos agradecer a la MSc. Annery Serrano por sus comentarios a una versión previa de este manuscrito y a los árbitros anónimos y a los editores de la Revista del Jardín Botánico Nacional por sus sugerencias que contribuyeron a mejorar la versión final de este trabajo. .

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela B. & Anderson, R. P. 2015. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography* 38(5): 541-545.
- Anderson, R. P. 2015. El modelado de nichos y distribuciones: no es simplemente "clic, clic, clic". *Biogeografía* 8: 4-24.
- Barro, A. & Rodríguez, K. 2006. Clutch size variation in *Urania boisduvalii* (Guerin) (Uraniidae: Uraniinae). *J. Lepid. Soc.* 60(4): 101-102.
- Barreto A., Herrera, P., del Risco, E. & Enríquez, N. 2005. Listas florísticas de la Reserva Natural de Maraguán, provincia Camagüey, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 190: 1-10.
- Berazaín, R., Rankin, R., Árias, I. & Gutiérrez, J. 1985. Notas sobre la vegetación de serpentina en Camagüey. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana.* 6(2): 63-78.
- Burnham, K. P. & Anderson, D. R. 2004. Multimodel inference understanding AIC and BIC in model selection. *Sociol. Methods Res.* 33(2): 261-304.
- Capote, R. P., García, E. E., Urbino, J. & Senli, M. 1988. Mapa de la vegetación actual de Pinar del Río, Cuba, a escala 1:250 000. *Acta Bot. Cub.* 68. 11.
- Chiappy, C., Herrera, P. & Iñiguez, L. 1988. Aspectos botánicos y valores para la conservación de la naturaleza de la llanura costera del Norte de la provincia de Las Tunas, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 61. 26
- CNAP 2013. Plan del Sistema Nacional de Áreas Protegidas 2014–2020. Ministerio de Ciencias Tecnología y Medio Ambiente La Habana, Cuba.

- Díaz, L. R. 1988. En: Gutiérrez, G. O., Sánchez, E. A., Hernández, J. R., Propin, E., Díaz, L. R., El Rojo, Lorenzo, A. C., Mon, M., Azucue, A., Véliz, A., Arévalo, A., García, A., Aranaz, F., Rodríguez, J. & López, J. M. (ed.). 1988. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto cubano de la Academia de ciencias de Cuba.
- Estrada, R., Martín, G., Martínez, P., Vioel, S., Capote, R., Reyes, I. & al. 2011. Mapa (BD-SIG) de vegetación natural y seminatural de Cuba v.1 sobre Landsat etm 7 slc-off gap filled, circa 2011. Memorias del IV Congreso de Manejo de Ecosistemas y Biodiversidad. La Habana, Cuba.
- Formel, F. C. 1988. En: Gutiérrez, G. O., Sánchez, E. A., Hernández, J. R., Propin, E., Díaz, L. R., El Rojo, Lorenzo, A. C., Mon, M., Azucue, A., Véliz, A., Arévalo, A., García, A., Aranaz, F., Rodríguez, J. & López, J. M. (ed.). 1988. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto cubano de la Academia de ciencias de Cuba.
- Freeman, E. A., & Moisen, G. G. 2008. A comparison of the performance of threshold criteria for binary classification in terms of predicted prevalence and kappa. *Ecol. Model.* 217(1): 48-58.
- García, E. & Herrera, P. 2010. Fitocenosis de matorral, del complejo de vegetación de costa rocosa y de lagunas estacionales de la llanura cársica del sur de la Isla de La Juventud, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 207: 1-18.
- García, E. & Herrera, P. 2011. Dinámica de la vegetación, especies expansivas y especies invasoras de bosques semidecíduos y de ciénaga: llanura cársica del sur de la Isla de La Juventud, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 214: 1-23.
- Greuter, W. & Rankin, R. 2016. Espermatófitos de Cuba. Inventario preliminar. Parte II: Inventario. Botanischer Garten & Botanisches Museum Berlin-Dahlem y Jardín Botánico Nacional, Universidad de La Habana. Berlín y La Habana, Alemania y Cuba.
- Gutiérrez, J. A. 1980. La Sierra del Turquino. Informe florístico. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana.* 1(2/3): 83-89.
- Gutiérrez, R. D. & Rivero, M. 1997. Minigeografía de Cuba. Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba.
- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A. & al. 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* 342: 850-853.
- Hanski, I., & Ovaskainen, O. 2000. The metapopulation capacity of a fragmented landscape. *Nature* 404(6779): 755-758.
- Hengl, T., de Jesus, J. M., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B., Ribeiro, E. & Gonzalez, M. R. 2014. SoilGrids1km—global soil information based on automated mapping. *PLoS One* 9(8): e105992.
- Hengl, T., de Jesus, J. M., Heuvelink, G. B. M., Ruiperez, M. G. & Kilibarda, M. En prensa. SoilGrids250m: global gridded soil information based on Machine Learning. *PLOS One*.
- Hernández, A., Pérez, J. J. M., Bosch, D. & Rivero, L. 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. La Habana, Cuba.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., 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.
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J., & Hijmans, M. R. J. 2015. dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.0-12. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>. 20 de agosto 2016.
- Lees, D. C. y Smith, N. G. 1991. Foodplant associations of the Uraniinae (Uraniidae) and their systematic, evolutionary, and ecological significance. *J. Lepid. Soc.* 45(4): 296-347.
- Alain. 1953. Flora de Cuba III. Dicotiledóneas: *Malpighiaceae* a *Myrtaceae*. *Contr. Ocas. Mus. Hist. Nat. Colegio "De La Salle"* 13.
- Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M., & Anderson, R. P. 2014. ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods Ecol. Evol.* 5(11): 1198-1205.
- Rankin, R., Panfet, C., Berazaín, R., Oviedo, R. 1987. Notas sobre la vegetación de la laguna del altiplano de la Mina Iberia (Altura de Baracoa, Guantánamo. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana.* 8(3): 69-75.
- Ricardo, N. E., Herrera, P., Vilamajó, D., Montes, L., Duarte, M. & Jiménez, Y. 1998. *Acta Bot. Cub.* 117: 26.
- Risco, E., Barreto, A., Enrique, N., Herrera, P. & Oviedo, R. 2004. Notas sobre la vegetación de punta Vertientes, Camagüey, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 173: 1-6.
- Rodríguez, N. N., Muñoz, S. M., Fernández, A. M. & Orta, R. R. 1982. Sobre la vegetación del arroyo cristal en la región montañosa de Sierra Cristal. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana.* 3(1): 103-122.
- Rosete, S., Herrera, P. & Ricardo, N. 2004. Fitorrecursos en la Reserva de la Biósfera Península de Guanahacabibes, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 171: 17-32.
- Olson, D. M., & Dinerstein, E. 2002. The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 89(2): 199-224.
- Ortega-Huerta, M. A. & Peterson, A. T. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 9: 205-216.
- Oviedo, R., Ricardo, N., Vilamajó, D., García, E. & Bostart, J. A. 1988. Flora de Santa María del Loreto, Parque Baconao, Santiago de Cuba. *Acta Bot. Cub.* 60: 20.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. & Peterson, A. T. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr.* 34(1): 102-117.
- Pérez, E., Ávila, J., Enríquez, N., Herrera, P., Oviedo, R. & Corden, A. 1992. Flora y vegetación de la zona costera de los municipios sierra de Cubitas y Minas, Camagüey, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 87: 22.
- Pérez, E., Ávila, J., Herrera, P., & Enríquez, N. 1994a. Flora y vegetación de la localidad de Monte Grande, Guáimaro, Camagüey, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 94: 28.
- Pérez, E., Enríquez, N., & Oviedo, R. 1994b. Características florísticas y fisionómicas de la vegetación boscosa de las sierras Najasa, Guaicarám y Cerro Cochintos, Najasa, Camagüey, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 95: 24.

Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. & Araújo, M. B. 2011. Ecological niches and geographic distributions (*MPB-49*) (No. 49). Princeton University Press. Estados Unidos de America.

Phillips S. J., Anderson R. P. & Schapire R. E. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190: 231-259.

R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. 20 de agosto de 2016.

Radcliffe-Smith A. 2001. Genera Euphorbiacearum. Royal Botanic Gardens, Kew, Reino Unido.

Rossis R., Ricardo N. E. & Bostart J. A. 2008. Caracterización de la flora y la vegetación de la Cuenca del río Cojímar, Ciudad de La Habana, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 200: 14-23.

Smith N. G. 1983. Host plant toxicity and migration in the dayflying moth *Urania*. *Fla Entomol.* 66(1): 76-85.

Smith, N. G. 1991. *Urania fulgens* (Colipato verde, Green Urania). pp. 631-633. En: Janzen, D.H. (ed.). Historia Natural de Costa Rica. The University of Chicago Press. Chicago, Estados Unidos.

Vilamajó D., Ricardo N. E., Capote R. P., González A. & Cabrera L. 2010. La vegetación de la provincia de Matanzas, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 209: 33-50.

Vilamajó D. & Martínez M. 2005. Estado actual de la biodiversidad biológica occidental del Río Bacunayagua. *Acta Bot. Cub.* 192: 23-33.

Warren D. L. & Seifert S. N. 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecol. Appl.* 21(2): 335-342.

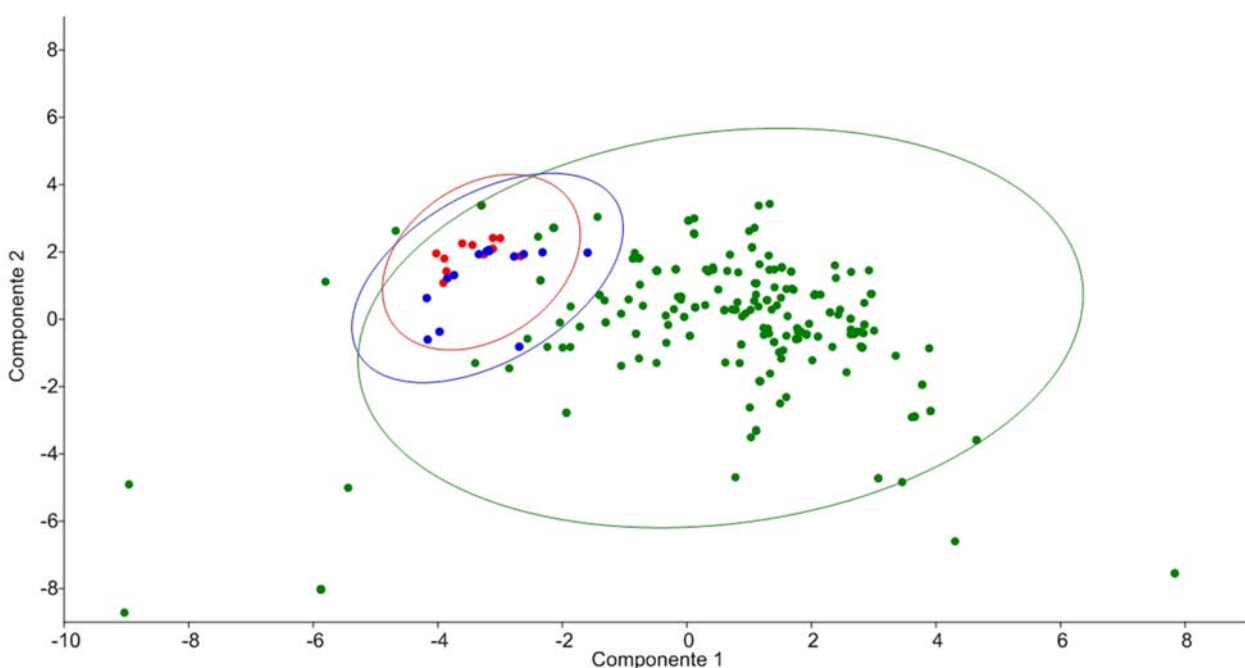
Zomer R. J., A. Trabucco, D. A. Bossio, O. van Straaten & L.V. Verchot. 2008. Climate Change Mitigation: A Spatial Analysis of Global Land Suitability for Clean Development Mechanism Afforestation and Reforestation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 126: 67-80.

Zomer R. J., D. A. Bossio, A. Trabucco, L. Yuanjie, D. C. Gupta & V. P. Singh. 2007. Trees and Water: Smallholder Agroforestry on Irrigated Lands in Northern India. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka.

## ANEXOS

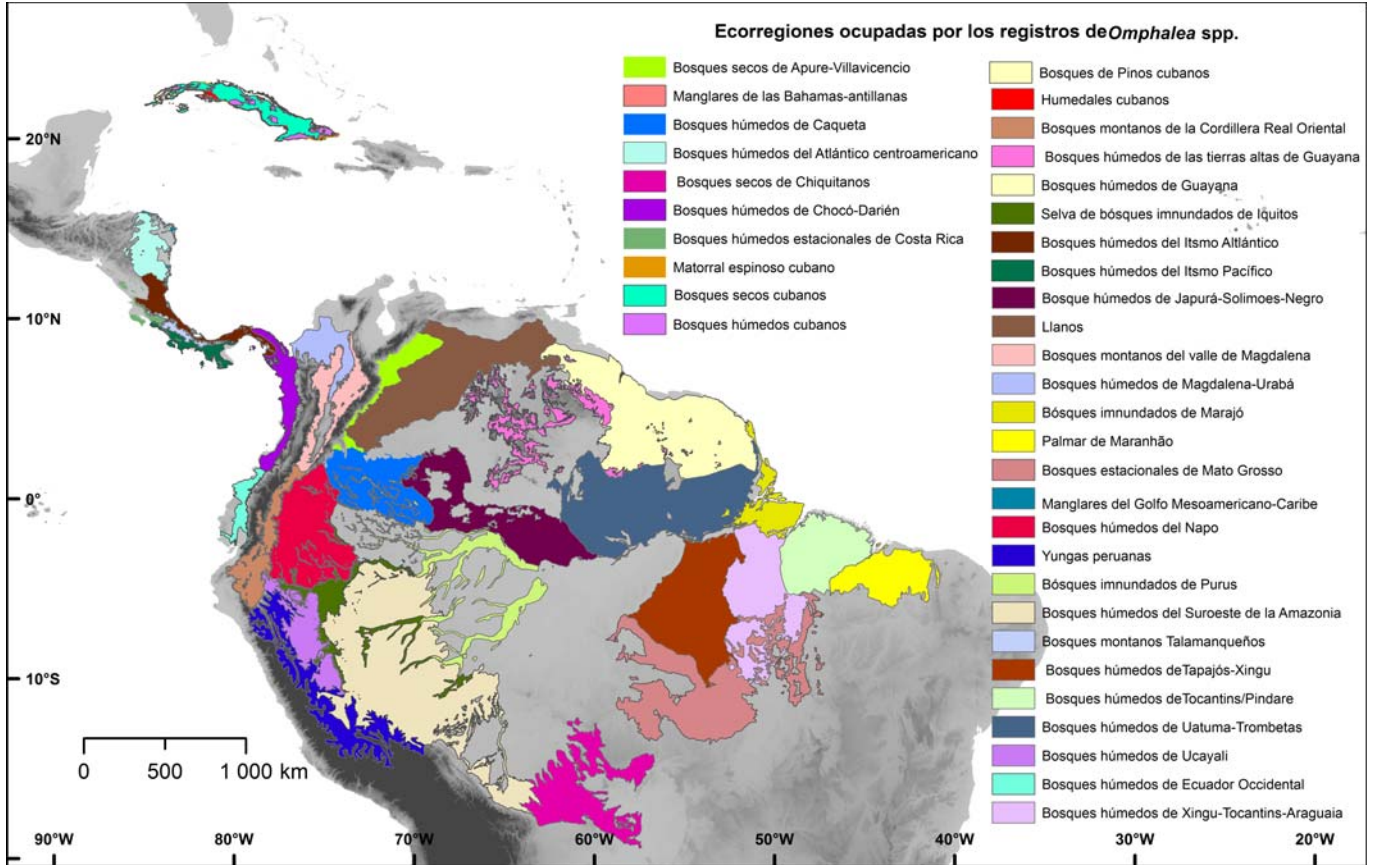
**Anexo 1. Comparación de los rangos ambientales de las localidades donde se han registrado *Omphalea hypoleuca* y *O. trichotoma* en Cuba (en rojo, los registros anteriores a 1950, y en azul, los registros posteriores a 1950) y *O. diandra* en toda su área de ocurrencia después de 1950 (verde), a través de un Análisis de Componentes Principales. Tamaño de muestra: *Omphalea* spp. de Cuba previos a 1950 = 21, *Omphalea* spp. de Cuba posteriores a 1950 = 13, y *O. diandra* = 132.**

**Annex 1. Comparison among the environmental features of the localities where *Omphalea hypoleuca* and *O. diandra* have been recorded in Cuba (in red, records before 1950, and in blue, records after 1950) and *O. trichotoma* in all its occurrence area (green), via a Principal Component Analysis. Sample size: *Omphalea* spp. of Cuba before 1950 = 21, *Omphalea* spp. of Cuba after 1950 = 13, and *O. diandra* = 132.**



**Anexo 2. Ecorregiones del Neotrópico ocupadas por los registros de presencia de las tres especies de *Omphalea* (*Euphorbiaceae*) presentes en Cuba (*O. trichotoma*, *O. hypoleuca* y *O. diandra*); equivalentes al área de calibración de los modelos. Las áreas sombreadas representan la elevación (más oscuro = más alto).**

**Annex 2. Ecorregions of the Neotropics occupied by the presence records of the three species of *Omphalea* (*Euphorbiaceae*) present in Cuba (*O. trichotoma*, *O. hypoleuca* and *O. diandra*); equivalents to the model calibration areas. Shaded areas represent elevation (darker = higher).**



**Anexo 3. Configuraciones de Tipos de Clases (T. Clase) y Multiplicadores de Regularización (M. Reg.) con los mejores desempeños en base a los valores de: delta AICc, tasas de omisión (T. O. 10% y T. O. 0%) y Áreas bajo la curva (ABC y ABC Dif.). Para cada métrica se muestran las configuraciones con los tres mejores desempeños. Sombreado se encuentra la configuración utilizada para el modelado.**

**Annex 3. Class Types settings (T. Clase) and Regularization Multipliers (M. Reg.) showing the best performance based on the values: delta AICc, default rates (T. O. 10% and T.O. 0%) and Areas under the curve (ABC and ABC Dif.). Configurations with the three best performances are shown for every metrics. Shaded areas represent the configuration used for modeling.**

T. Clase	M. Reg.	ABC	ABC Dif.	T_O_10%	T_O_0%	AICc	delta AICc	P-AICc
LQH	2.5	0,68	0,04	0,13	0,01	3 460,51	0,00	3,20E-01
LQH	4	0,68	0,04	0,11	0,00	3 461,55	1,04	1,90E-01
LQHP	4	0,66	0,03	0,11	0,00	3 461,26	0,75	2,20E-01
LQH	3	0,68	0,04	0,11	0,00	3 478,28	17,77	4,42E-05
LQH	3.5	0,68	0,04	0,11	0,00	3 463,01	2,50	9,17E-02
LQH	4	0,68	0,04	0,11	0,00	3 461,55	1,04	1,90E-01
H	1.5	0,69	0,05	0,20	0,02	3 552,94	92,43	2,71E-21
LQHPT	1.5	0,70	0,06	0,15	0,01	3 497,33	36,82	3,23E-09
LQHPT	2	0,69	0,05	0,15	0,01	3 522,03	61,52	1,40E-14

**Anexo 4. Tipos de suelos ocupados por las tres especies del género *Omphalea* (*O. hypoleuca*, *O. diandra*, *O. trichotoma*) en sus áreas de distribución conocidas.** Se indica la presencia y superficie de estos suelos en Cuba.

**Annex 4. Soil types occupied by the three species of the *Omphalea* genus (*O. hypoleuca*, *O. diandra*, *O. trichotoma*) in their known areas of distribution.** The presence and surface of these soils in Cuba are indicated.

Código	Tipo de suelos	Número de registros	Presencia en Cuba	Área en Cuba (km <sup>2</sup> )
1	Acrisoles háplicos	65	SI	27 379,47
5	Acrisoles Plínticos	1	NO	-
12	Andosoles Aluándicos	2	SI	0,36
27	Cambisoles háplicos	2	SI	7 674,19
44	Ferralsoles háplicos	56	SI	1 184,72
54	Gleysoles háplicos	5	SI	10 100,11
86	Nitisoles háplicos (rhodicos)	1	NO	-
95	Plintosoles acricos	2	SI	0,10
116	Vertisoles háplicos	8	SI	56 727,67