

ESTRUCTURA POBLACIONAL Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE ABAREMA GLAUCA (FABACEAE) EN EL SUR DE ARTEMISA, CUBA¹

Diana Rodríguez-Cala¹

Cuban Botanical Society
Plantal-Plant Life Conservation Society
2922 W 3rd Ave.
Vancouver/BC V6K 1M7, CANADA
diana@planta.ngo

Daniel Tejada Gómez,² Raúl Jorge Marrero,³

Gabriela Ramos-González⁴,
Aylen Mederos Perugorría⁵

Universidad de La Habana
Calle 25 #258 entre I y J, Vedado
Plaza/La Habana 10400, CUBA

Rodrigo Fernández Moreno⁶

Empresa Agroforestal "Costa Sur"
Carretera Central km. 160,
Fierro, San Cristóbal
Artemisa/Artemisa 22800, CUBA

Lisbet González-Oliva⁷

Herbario Nacional de Cuba "Onaney Muñiz"
Instituto de Ecología y Sistemática
Carretera Varona #11835 entre Oriente y
Lindero Calabazar
Boyeros/La Habana 11900, CUBA

ABSTRACT

Abarema glauca is a tree species native to Cuba, Hispaniola, and Bahamas. It is considered Vulnerable to extinction in Cuba. The evaluation of the species in Cuba suggests the need to carry out more population studies. This study provides an assessment of the current status of *Abarema glauca* in Artemisa, where the species was first collected in the early part of the 20th century. For this paper, the population structure was further characterized. The amount of accumulated aerial biomass in the region was estimated and threats to its conservation were identified. There are less than 250 individual trees in the wild with less than 50 mature trees, scattered between three sites in Güira de Melena y Alquizar. The diameter and height vary between 0.03 and 36.31 cm, and 0.05 and 15 m, respectively. The accumulated aerial biomass is estimated between 3 and 4 metric tons among the 33 adults. The individuals are naturally regenerating, but fewer trees are maturing to adults. The species is scattered in patches of remaining forest, where the risk of fire, logging, trampling, as well as the degradation of its habitat, constitute the main threats to its conservation. Logging could delay and even prevent flowering in the adults. The logging and the continuous decline of quality habitat are putting the long term sustainability of the species in danger.

KEY WORDS: aerial biomass, age structure, distribution, growth, logging, spatial arrangement

RESUMEN

Abarema glauca es una especie de árbol nativo de Cuba, La Española y Bahamas, que en Cuba está categorizado como Vulnerable a la extinción. La evaluación hecha en Cuba sugiere de necesidad de efectuar estudios poblacionales de la especie. En este trabajo se hizo la evaluación del estado actual de *Abarema glauca* en Artemisa, donde la especie había sido reportada desde la primera mitad del siglo 20. Para ello se caracterizó la estructura poblacional; se estimó la cantidad de biomasa aérea acumulada por la especie en la región; y se identificaron las amenazas para su conservación en la región. *Abarema glauca* tiene menos de 250 individuos, con menos de 50 individuos maduros, dispersados en tres sitios de Güira de Melena y Alquizar. El diámetro y altura varían entre 0,03 y 36,31 cm, y 0,05 y 15 m, respectivamente. La biomasa aérea acumulada se estima entre 3 y 4 toneladas métricas, en 33 adultos. Los individuos se regeneran naturalmente, pero pocos árboles llegan a adultos. Es una especie dispersa en parches de bosque remanente, donde el riesgo de incendio, la tala, el pisoteo, así como la degradación de su hábitat, constituyen la mayor amenaza para su conservación. La tala podría retrasar o prevenir la floración en adultos de la especie. Se considera que la tala y el declive continuo en la calidad del hábitat están poniendo en peligro la sostenibilidad de la especie a largo plazo.

PALABRAS CLAVE: arreglo espacial, biomasa aérea, crecimiento, distribución, estructura etaria, tala

INTRODUCCIÓN

Abarema glauca (Urb.) Barneby y J.W. Grimes es un árbol nativo de zonas costeras, serpentinosas y colinas cársicas en La Española, Bahamas y Cuba (Brässler 1998). Conocido como abey o abey blanco en Cuba (Roig

¹ Comunicaciones personales: Arnaldo Álvarez Brito, investigador titular en el Instituto de Investigaciones Agro-forestales. Vicente Núñez Hernández, jefe de la Brigada Forestal Cajío, Empresa Agroforestal "Costa Sur".

2014), y como caracolí en República Dominicana (Liogier 2000), su madera era usada para construcciones rurales y mueblería en siglos pasados (Fernández y Jiménez 1905; Liogier 2000; Roig 2014). Aunque persiste en varios ecosistemas y regiones de Cuba, su hábitat ha experimentado un decline continuo en área y calidad, debido a las consecuencias de las prácticas agropecuarias y forestales no sostenibles, y actualmente se estima que tenga una área de ocupación de menos de 2000 km² en Cuba (Gómez & Rodríguez-Cala 2015). Del decline continuo en calidad y extensión del hábitat, así como de la sobre-explotación que sufrió en el pasado (Fernández y Jiménez 1905), se sospecha que la población de la especie experimenta decline continuo y está severamente fragmentada (Gómez & Rodríguez-Cala 2015). Estas sospechas permitieron considerar a *Abarema glauca* como Vulnerable a la extinción en Cuba (Gómez & Rodríguez-Cala 2015). No obstante, en dicha evaluación (Gómez & Rodríguez-Cala 2015) se recomienda la realización de estudios que permitan estimar la tendencia de la población en Cuba, y de ahí calcular su probabilidad de extinción con mayor precisión, según los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

Según Brässler (1998), *Abarema glauca* se extiende por las tres zonas de Cuba (occidente, centro y oriente). En occidente su presencia se reporta al sur de Pinar del Río, Isla de la Juventud, La Habana (Mayabeque y Artemisa tras la aplicación de la Ley 110 [ANPP 2010]) y al norte de Ciudad de La Habana (La Habana tras la aplicación de la Ley 110 [ANPP 2010]). De Mayabeque y Artemisa existen varios ejemplares de la especie depositados en el Herbario Nacional de Cuba “Onaney Muñiz” del Instituto de Ecología y Sistemática (HAC), los cuales fueron recolectados antes de la segunda mitad del siglo 20: Santa Ana, Güira de Melena en 1910 (*Ponce-Ramos SV 5799* y *Ponce-Ramos SV 5199* [HAC]), Punta Mora, Güines en 1928 (*León LS 13705* y *León LS 13715* [HAC]) y finca Peralta, Batabanó en 1929 (*León LS 13629* [HAC]). Esta región, que está muy cerca de la capital de la primera colonia de España en América, fundada en 1419, tiene una larga e intensa historia de transformaciones antropogénicas (Rodríguez 2005). Actualmente, el hábitat natural remanente pertenece a las Empresas Regionales Agroforestales de Artemisa y Mayabeque. Legalmente esta especie se encuentra protegida por la Resolución 160 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (ANPP 2011), sobre especies cubanas de especial significación, así como por el hecho de que su hábitat pertenece a la empresa forestal, cuya función social, entre otras, es la protección de la fauna y flora silvestres que están dentro de su patrimonio (Ley Forestal No. 85 [ANPP 1998]). Por observación personal de la primera autora de este trabajo y de la colega botánica Dra. Ramona Oviedo Prieto desde 2015 hasta 2017, *Abarema glauca* se ha visto en Santa Ana y Finca Los Cabrera (Güira de Melena, Artemisa), Arca de Noé (Alquízar, Artemisa), La Luisa (Melena del Sur, Mayabeque) y Golfo de Batabanó (Batabanó, Mayabeque), lo cual fue reportado en la más reciente evaluación de su probabilidad de extinción (Gómez & Rodríguez-Cala 2015). Esta especie constituye uno de los nueve árboles amenazados de extinción que actualmente persisten en el patrimonio forestal de la región (DRC., pers. obsv., 2019). Específicamente en el área de Artemisa, la especie fue incluida como objeto de conservación de los bosques pertenecientes a la Empresa Agroforestal Costa Sur. El primer paso para diseñar un plan de conservación de la especie es la evaluación del estado de la población en la región. Por tanto, este trabajo tiene como objetivo la evaluación del estado del fragmento de población de *Abarema glauca* en la región de Artemisa. Para ello se propone: 1) caracterizar la estructura poblacional de la especie en la región; 2) estimar la cantidad de biomasa aérea acumulada por la especie en la región; y 3) identificar las amenazas que afectan la conservación de la especie en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió a la búsqueda de individuos de *Abarema glauca* en los municipios Güira de Melena y Alquízar de la provincia Artemisa, entre abril y julio de 2017. Con la guía de los trabajadores y habitantes de la región, se recorrieron las zonas colindantes a las localidades de la región donde la especie fue recolectada a inicios del siglo 20. Cada individuo fue georreferenciado con un GPS Garmin SMap ($\pm 3,65$ m), siempre que la distancia entre dos individuos vistos consecutivamente excediera la distancia de precisión del GPS. Con esta información se construyó un mapa de distribución de *Abarema glauca* en la región mediante el programa Quantum GIS 2.18 “Las Palmas” (QGIS Development Team 2016). Además, se calculó la densidad de los individuos en

cada parche de hábitat donde se encontró de la siguiente manera: número de individuos encontrados/área del parche de bosque. Las áreas de los bosques fueron extraídas de los mapas que tiene la Empresa Agro-Forestal “Costa Sur”. A partir de estos datos se estimó la densidad de la especie en el total de bosque de la empresa prospectado en Güira de Melena y Alquízar.

Para cada árbol la altura fue estimada visualmente por la misma persona cada vez (RFM) y se midió el perímetro del tronco a 1,30 m de altura con una cinta métrica ($\pm 1,0$ mm), valor a partir del cual se calculó el diámetro del tronco a través de la fórmula: $\text{diámetro} = \text{perímetro} / \pi$. Para los individuos encontrados menores que 1,30 m de altura, se midió la altura con la cinta métrica. Las clases de estado para caracterizar la estructura etaria se construyeron a partir del diámetro del tronco, pues es el rasgo morfológico que más se usa con este fin en árboles y es el usado por la empresa forestal para evaluar sus plantaciones y bosques naturales. El tamaño mínimo para la reproducción se consideró como el diámetro mínimo encontrado en un individuo con estructuras reproductoras (botones florales, flores o frutos). Este valor fue considerado el límite entre las clases juveniles y adultas.

Se calcularon los estadísticos descriptivos (media, varianza, coeficiente de variación, valor mínimo y valor máximo) de las variables diámetro del tronco y la altura entre categorías etarias cualitativas (plántula, joven y adulto) para caracterizar el fragmento de población. Además, se realizó una correlación lineal de Pearson entre dichas variables con el propósito de identificar la relación entre ellas. Para este análisis solo se tomaron en cuenta los árboles adultos y aquellos juveniles a los que se les pudo medir el diámetro.

Se estimó la biomasa aérea acumulada por los individuos adultos de *Abarema glauca* en el momento del estudio. Para ello se usó la ecuación propuesta por Brown et al. (1989), autores que propusieron varios modelos de regresión para estimar la biomasa aérea acumulada en bosques tropicales. Estos modelos varían en el número de parámetros según el tipo de bosque y el sitio de muestreo. En este caso, se eligió el modelo 4 de Brown et al. (1989) (Tabla 1), el cual corresponde a un bosque húmedo tropical y usa los siguientes parámetros: altura, densidad de la madera y diámetro del tronco. Los valores de altura y diámetro del tronco medidos en el campo fueron suplementados al modelo, mientras que para la densidad de la madera se usó el valor ($0,82 \text{ g/cm}^3$) que reportan Carreras et al. (2013) para la especie. Con el propósito de que la estimación de la biomasa aérea acumulada fuese una información práctica para la Empresa Agroforestal “Costa Sur”, dicha variable se comparó entre *Abarema glauca* y *Terminalia catappa* L., especie de mayor aprovechamiento por la empresa para la producción de madera. Los valores de diámetro del tronco de *T. catappa* fueron proporcionados por el equipo del Herbario Nacional de Cuba “Onaney Muñiz”, quienes tienen una parcela permanente de 20×20 m en Cajío, Güira de Melena. La altura de los individuos de *Terminalia catappa* en dicha parcela no fue medida, por lo cual se utilizó el modelo 5 de Brown et al. (1989) para estimar la altura de cada individuo de *Terminalia catappa* a partir de su diámetro (Tabla 1). Para lograr una comparación más efectiva, la biomasa aérea acumulada de ambas especies se comparó además mediante el modelo 2 de Brown et al. (1989) (Tabla 1), el cual también corresponde a un bosque tropical húmedo pero solo usa diámetro del tronco y densidad de la madera como parámetros (Tabla 1). Para la densidad de la madera de *T. catappa* se usó el valor ($0,48 \text{ g/cm}^3$) reportado en el Catálogo virtual de flora del Valle de Arrubá de la Universidad EIA en Colombia (<https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/20>).

Se estimó el arreglo espacial de los árboles adultos y los individuos juveniles en la región, con el programa Programita (Wiegand & Moloney 2014). Para esto se realizó un análisis de patrones de puntos marcados cualitativamente con las funciones $L(r)$ y $g(r)$ en las siguientes formas: correlación par univariada (relación de adultos o individuos juveniles con respecto a todos los individuos) y correlación par bivariada (relación entre adultos e individuos juveniles) (Wiegand & Moloney 2014). Además, se analizó el comportamiento de la correlación par una vez que se remueven las marcas cualitativas de los individuos (adultos e individuos juveniles) mediante la función $p(r)$. Los parámetros requeridos para este análisis se usaron como los valores sugeridos por el programa por defecto (Wiegand & Moloney 2014).

Durante el trabajo de campo se observó detalladamente el hábitat y los individuos de la especie objeto de estudio y se indagó entre los comunitarios locales con el propósito de identificar amenazas contra la conservación de la especie en la región. Se registró si los individuos tenían signos de tala (variable binaria sí/no), ya que

Tabla 1. Modelos de regresión para estimar biomasa aérea acumulada (ABGb en kg) y altura (h en m) en bosques tropicales húmedos, sugeridos por Brown et al. (1989); d es diámetro del tronco a la altura del pecho (cm) y ρ es densidad de la madera (g/cm^3).

ID de los modelos de regresión en Brown et al. (1989)	Ecuación
2	$ABGb=38,4908-11,7883*d+1,1926*d^2$
4	$ABGb=\exp(-2,4090+0,9522*\ln(d^2*\rho*h))$
5	$h=\exp(1,0710+0,5677*\ln(d))$

se conoce que en el pasado la especie era usada por su madera. Dado que la tala es reconocida como una amenaza para la sustentabilidad de las poblaciones de árboles (IUCN 2012) y que en sí constituye un estrés para el individuo que la experimenta, se hipotetiza que la expresión de caracteres reproductores en adultos está influenciada por el hecho de que sean talados (Stephenson 1981; Bazzaz et al. 1987). En términos estadísticos se plantearía que, si la tala influye en la expresión de los caracteres reproductores en adultos, no hay independencia entre ambos eventos. Si ambos eventos son independientes, la expresión de los caracteres reproductores debería estar aleatoriamente dispersa con respecto al factor tala, según la distribución Chi-cuadrado. La independencia estadística se evaluó con una prueba Chi-cuadrado de tabla de contingencia 2×2 . Este análisis se realizó para esbozar el potencial impacto de la tala sobre la reproducción de la especie en la región. Para visualizar la prueba se usó un gráfico de asociación de Cohen-Friendly (función 'assocplot' del paquete 'graphics' versión 3.6.1, R core team).

El análisis estadístico y los cálculos anteriormente mencionados en este acápite se realizaron con R 3.4.1. El guión está disponible como Apéndice.

Especie objeto de estudio.—*Abarema glauca* (Fabaceae: Mimosoidae) es un árbol que alcanza los 10 m de altura. El tallo es inerme y sus hojas son compuestas paripinnadas, con 2–6 pares de pinnas (Fig. 1A). Las inflorescencias son racimos axilares que constan de 20–25 flores soportados por un pedúnculo de 5–7,5 cm de largo. Las flores tienen un cáliz 5-dentado, una corola 5-lobada y 25–30 estambres. Los filamentos de los estambres son libres y blancos, de 15 mm de largo aproximadamente (Fig. 1B). Los frutos son legumbres dehiscentes que permanecen torcidas después de la apertura (Fig. 1C). Las semillas son azules y con hilum blanco o raramente pardo, de 5 mm de largo y 4,5 mm de ancho (Bässler 1998) (Fig. 1D).

Sitio de estudio.—El hábitat de la especie en Alquízar y Güira de Melena (Fig. 2), provincia Artemisa, se caracteriza por un suelo que varía entre turboso a rojo fersialítico (RFM., pers. obsv.). Los bosques de la región tienen una altura de hasta 20 m, con *Roystonea regia* (Kunth) O.F. Cook (palma real) como árbol emergente (DRC., per. obs.). Además, están franqueados al norte por la zona agrícola, y al sur por el herbazal de ciénaga (DRC. pers. obs.). Dominan árboles considerados invasores según Oviedo y González-Oliva (2015), entre los que destaca *Terminalia cattapa* (almendra de La India) y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, (ipil-ipil), y nativos como *Calophyllum antillanum* Britton (ocuje), *Roystonea regia* (palma real), *Hibiscus elatus* Sw. (majagua) y la trepadora *Pisonia aculeata* L. (zarza) (DRC., pers. obsv.; Rodríguez-Cala et al. 2018). La precipitación anual en la región es de 125,995 mm aproximadamente y la temperatura media anual es de 24,8 °C, según datos proporcionados por la Empresa Agroforestal “Costa Sur”.

RESULTADOS

Se registraron 109 individuos de *Abarema glauca* en tres sitios: Santa Ana con 53 individuos (~1 ind/km²), Arca de Noé con 21 (~0,1 ind/km²) y Ojo de Agua de Gavilán con 35 (~0,3 ind/km²) (Fig. 3). Se sabe de la presencia de la especie en Finca Los Cabrera en Güira de Melena (DRC, pers. obs. 2015), pero no se pudo acceder a la propiedad. La densidad de la especie en ambos municipios se estimó en 37 ind/km². En total solo se encontraron 33 árboles adultos, 11 de ellos en estado reproductivo. El diámetro mínimo de los árboles adultos fue de 2,39 cm. Se encontraron 76 individuos juveniles, 2 de ellos plántulas y el resto plantones y/o árboles jóvenes. En esta categoría pre-reproductiva, el 93,24% de los individuos tenían diámetros menores que 1 cm.

En general, la distribución de las frecuencias entre clases de estado de diámetro del tronco mostró que hay



Fig. 1. Detalles de *Abarema glauca*. A, pinnas; B, flores; C, frutos; D, semillas.

un bajo número de individuos en las clases adultas (menor que 10%) (Fig. 4). De hecho, algunas de las clases adultas (entre 26 y 35 cm de diámetro) carecieron de representantes (Fig. 4).

Los estadísticos descriptivos muestran que tanto los individuos juveniles como los adultos poseen gran variabilidad en cuanto a diámetro del tronco y altura de la planta (Tabla 2). Los valores de coeficiente de variación denotan que la altura es tres veces más dispersa en los individuos juveniles que en los adultos, aunque el intervalo entre el valor mínimo y máximo fue mayor en adultos (Tabla 2). Respecto al diámetro del tronco sucede lo opuesto: la dispersión en los adultos es casi el doble que en los individuos juveniles (Tabla 2). El intervalo entre el valor mínimo y máximo de diámetro del tronco es mayor en los adultos también. La relación matemática entre el diámetro del tronco y la altura fue positiva, con una forma logarítmica y asintótica (Fig. 5). Entre los árboles jóvenes, la pendiente es mayor, mientras entre los adultos, decrece lentamente.

La acumulación de biomasa en los árboles adultos registrados de *Abarema glauca* ($n=33$) fue estimado en 3 277,519 kg con el modelo 4 y 4 369,798 kg con el modelo 2. Por otro lado, la estimación de biomasa aérea acumulada de *Terminalia catappa* fue 3 709,547 kg con el modelo 4 y 5 030,181 kg con el modelo 2. Estos valores corresponden a 213 árboles de *Terminalia catappa*.

El análisis de patrones de punto mostró que los árboles adultos de *Abarema glauca* se distribuyen aleatoriamente en un radio de 50 m con respecto a todos los individuos (Fig. 6A, C). Cuando se removió la categoría cualitativa (adulto y joven), se nota que un árbol adulto a 50 m de otro árbol tiene mayores probabilidades

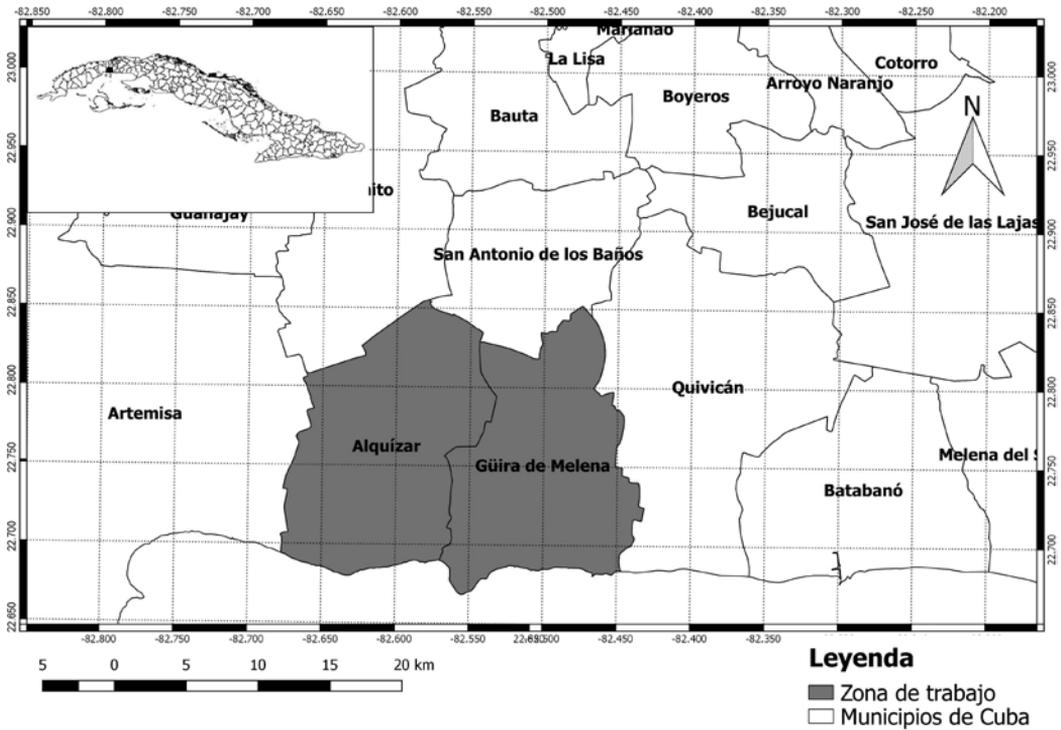


Fig. 2. Sitio de estudio.

de estar rodeado por otro adulto (Fig. 6E). Sutilmente diferente se muestra el patrón general de los árboles jóvenes (Fig. 6B,D), dado que tienden a agruparse entre 0 y 30 m con respecto a cada uno, mientras que a 50 m, tienden a separarse (Fig. 6F). La relación bivariada entre árboles adultos y jóvenes varía entre la agregación y la dispersión, aunque hay mayor tendencia a la agregación espacial (Fig. 6G–I). De conjunto, los análisis indican que *A. glauca* tiene un patrón agregado. Generalmente, cada vez que se encontraron árboles jóvenes o plantones en los sitios de estudio, cerca había un adulto perteneciente a las categorías de diámetro mayores.

El hábitat de *Abarema glauca* está rodeado de fincas en los tres sitios donde la especie fue registrada. Se observaron evidencias de fuegos en Arca de Noé, pero el riesgo de incendio está en toda la región y se hace más probable durante el periodo seco. Los parches de bosque hábitat de la especie están severamente modificados, surcados por muchos caminos para el tráfico humano y de ganado, y dominados por especies de plantas invasoras como *Terminalia catappa*, *Dicrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. y *Acacia* spp. Durante el estudio se pudo constatar que al menos dos de los plantones de *Abarema glauca* registrados en uno de los sitios, fueron pisoteados (lo que provocó su muerte), pues estaban en el borde de uno de los caminos. Además, el 49% de los árboles de *Abarema glauca* registrados, tenían señales de tala.

El análisis de independencia entre las señales de tala y la expresión de caracteres reproductores en los árboles adultos mostró desviaciones notables de la distribución teórica (Fig. 7). El número de árboles adultos reproductores sin señales de tala fue mayor que el número teórico esperado bajo independencia, mientras que el número de adultos no reproductores sin señales de tala fue menor (Fig. 7). Por otro lado, el número de adultos no reproductores con señales de tala fue mayor que el valor teórico esperado, lo que resultó opuesto para los adultos reproductores (Fig. 7).

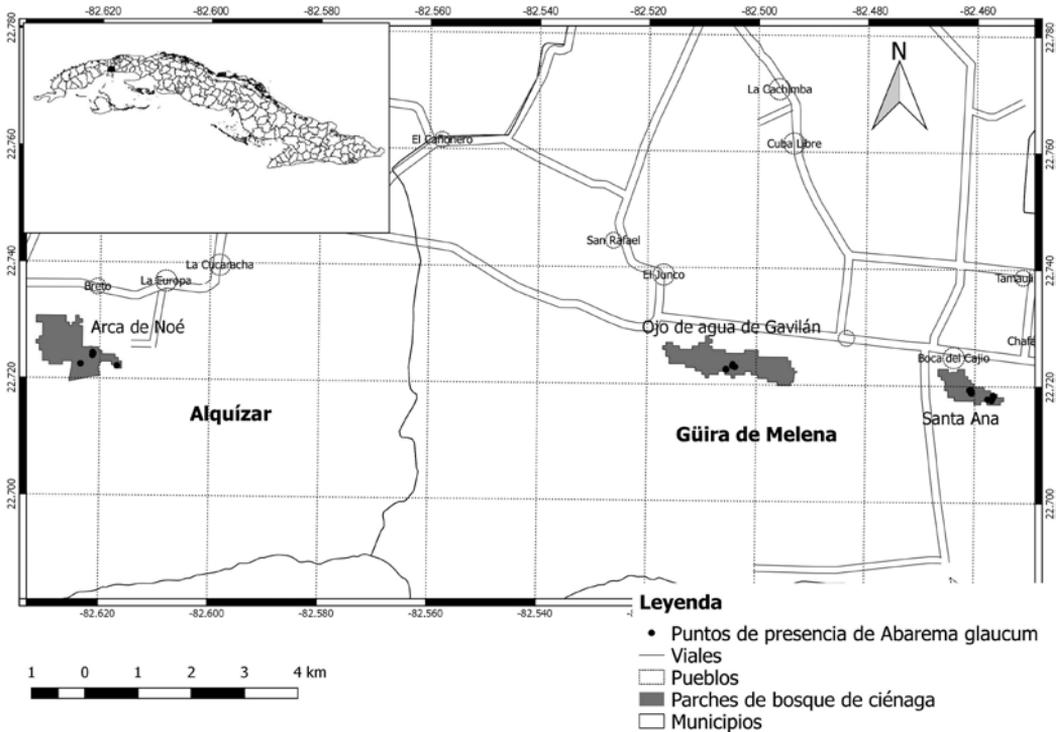


Fig. 3. Sitios de en Alquizar y Güira de Melena, Artemisa, Cuba desde abril a julio 2017.

DISCUSIÓN

Este trabajo constata la presencia actual de *Abarema glauca* en una de las localidades históricas en Güira de Melena: la finca Santa Ana, de donde existen dos ejemplares de herbario que datan de 1910 (*Ponce-Ramos SV 5799* y *Ponce-Ramos SV 5199* [HAC]). Además, extiende el rango de distribución de la especie en Artemisa, pues se constató una localidad botánica más que no había sido reportada en Gómez y Rodríguez-Cala (2015): Ojo de Agua de Gavilán en Alquizar. Con los resultados reportados en este estudio (número de individuos por fase etaria y densidad estimada), y todos los sitios de presencia conocidos para la especie en Artemisa y Mayabeque, se podría sospechar que al menos 202 individuos de *Abarema glauca* existen en la región comprendida por ambas provincias, con al menos 60 adultos. Estas extrapolaciones sugieren que en la región hay una población pequeña dispersa entre los parches de bosque remanentes. No obstante, no se debe descartar que se encuentren más individuos de la especie a partir de este estudio, pues el trabajo realizado permitió que las brigadas forestales reconocieran el riesgo de extinción que presenta la especie en el país y la importancia de su diagnóstico en la zona para diseñar un plan de manejo.

La estructura etaria de *Abarema glauca* muestra un patrón en L (Fig. 4). *Abarema glauca* fue sobreexplotada por su madera en el pasado (Gómez & Rodríguez-Cala 2015) y actualmente continúa la tala en la región, lo cual es corroborado en el presente estudio. El hecho de que las clases de estado mayores no tengan representantes es evidencia de que el proceso de tala en la región ha sido continuo. Cabe destacar que el único árbol adulto perteneciente a la última clase de diámetro está muy torcido, lo que probablemente previno su tala. La región de estudio, además, posee una historia de transformación antropogénica que data de 500 años atrás, con uso intensivo que se mantiene hasta la actualidad. La densidad de caminos en los bosques, la dominancia de especies invasoras y las evidencias de incendios son hechos que confirman el decline continuo en la

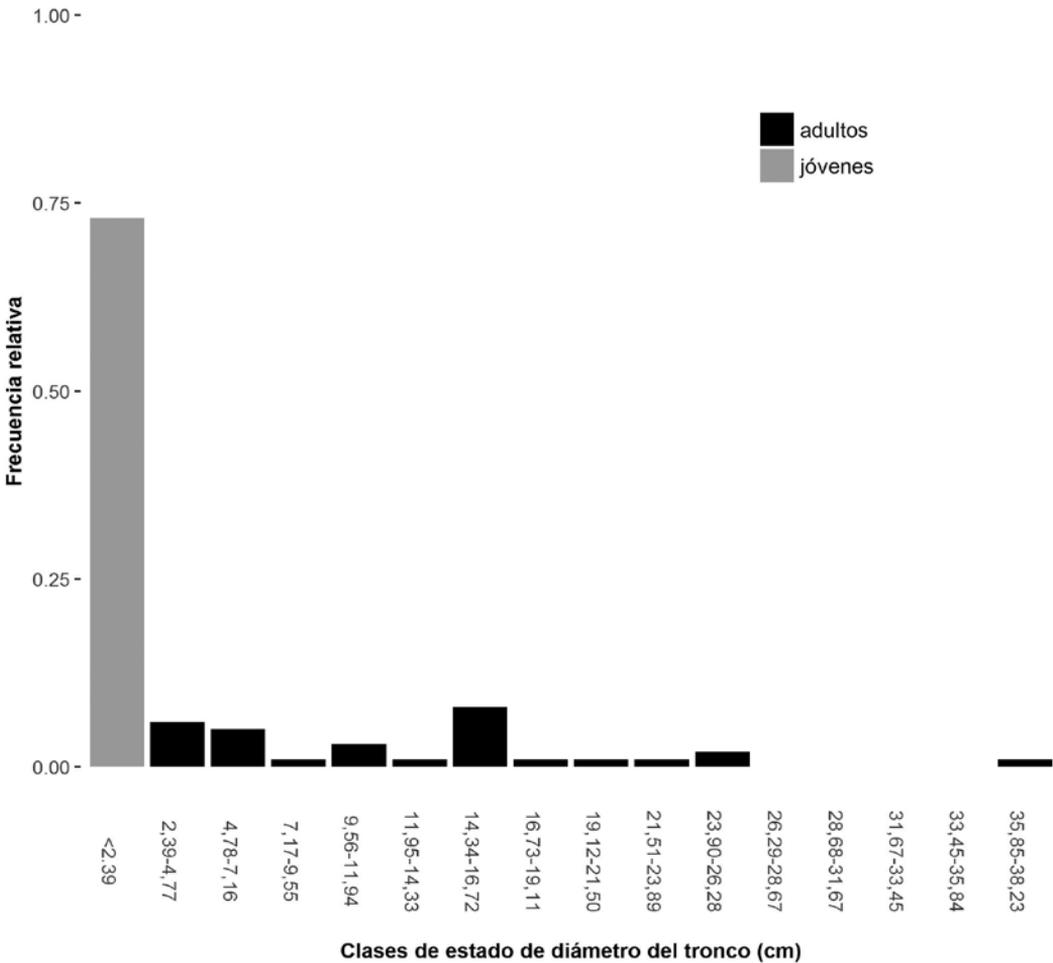


Fig. 4. Estructura etaria de *Abarema glauca* en Alquízar y Güira de Melena, Artemisa, Cuba. Abril-julio, 2017.

TABLA 2. Estadísticos descriptivos de diámetro del tronco (D en cm) y altura (A en m) de *Abarema glauca* en Alquízar y Güira de Melena.

	Media		Varianza		Coeficiente de variación (%)		Valor mínimo		Valor máximo	
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
Plántulas	-	-	-	-	-	-	0,05	-	0,06	-
Jóvenes	0,44	1,18	0,48	0,17	156	35	0,03	1,00	3,47	1,91
Adultos	8,80	12,23	18,31	63,72	49	65	0,64	2,39	15,00	36,31

calidad del hábitat de *Abarema glauca*. Además, la mayoría de los individuos juveniles correspondían a la última época de reproducción probablemente, evidenciado por su altura menor de 50 cm (véase la altura de los individuos juveniles en el Apéndice 2). Eso, unido al bajo número de individuos adultos, evidencia que la regeneración de la especie en la región es alta, pero el reclutamiento hacia las fases etarias posteriores es bajo. La leguminosa *Vachellia belairioides*, endémica de las serpentinadas de Holguín, muestra una situación similar a

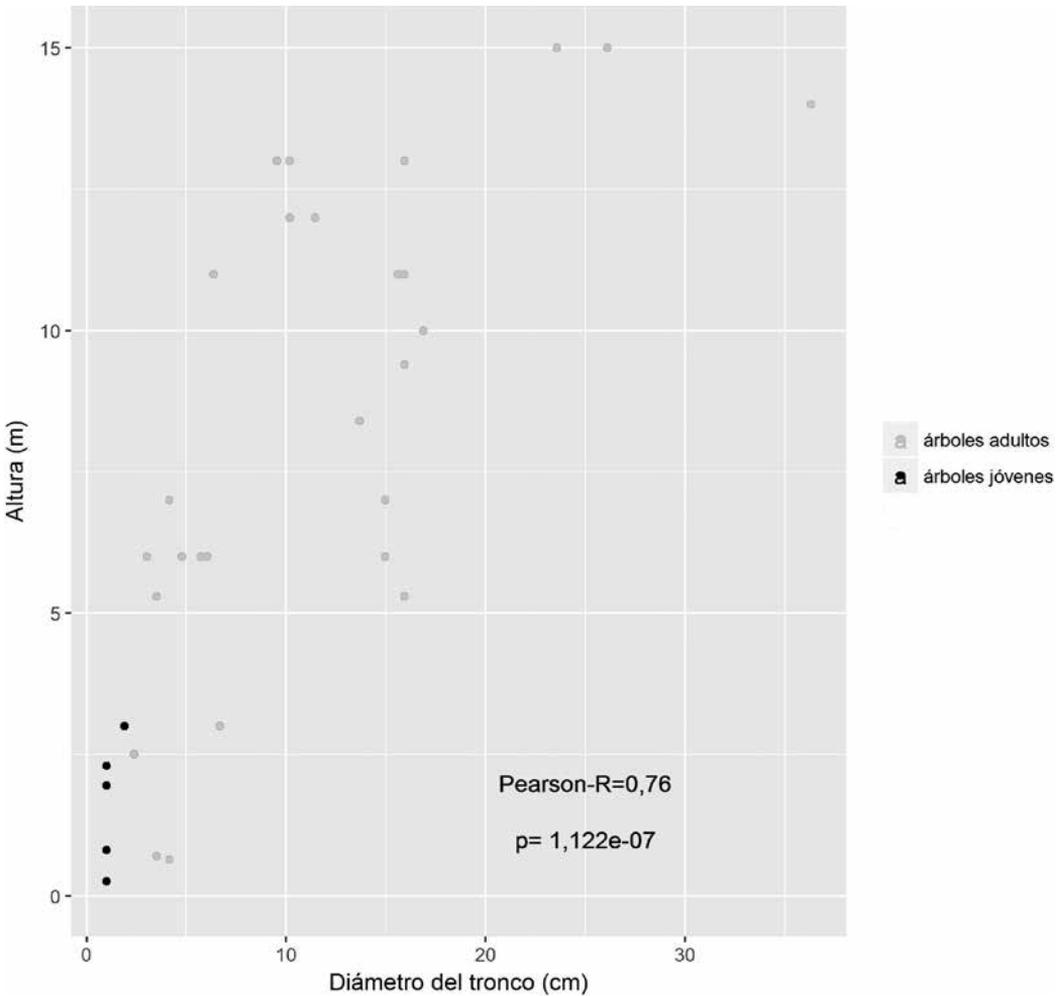


Fig. 5. Relación entre el diámetro del tronco y la altura en árboles jóvenes y adultos de *Abarema glauca* en sitios de Alquizar y Güira de Melena, Artemisa durante abril-junio de 2017. La correlación lineal de Pearson tiene un alpha de 0,05.

la de *Abarema glauca* (Gómez et al. 2018). Según Gómez et al. (2018), a pesar de la elevada regeneración natural de *Vachellia belairioides*, las plántulas y plantas juveniles experimentan una alta mortalidad, evidenciado en la abrupta disminución de individuos de las clases pre-reproductoras a las adultas, lo que se adjudica a la combinación de varios factores ambientales, entre ellos los de origen antrópico. A juicio de los autores del presente trabajo, el impacto combinado de la tala y el decline continuo de la calidad de su hábitat representado por el uso que tienen esos bosques, pone en peligro la sostenibilidad de la población de la especie en el futuro.

Los estadísticos descriptivos de las variables diámetro del tronco y altura, evidencian que *A. glauca* puede llegar a 15 m de altura, lo que amplía el rango de altura identificado por Brässler (1998) y lo sitúa como un árbol del dosel. Dichos valores, así como la relación entre ambas variables, muestran que la especie probablemente crece más rápido en altura que en grosor durante las clases etarias más tempranas. La forma logarítmica y asintótica que mostró la relación entre altura y diámetro del tronco de *A. glauca* coincide con el patrón de 41 especies de árboles de dosel en bosques húmedos (Poorter et al. 2006). Además, está en concordancia con los

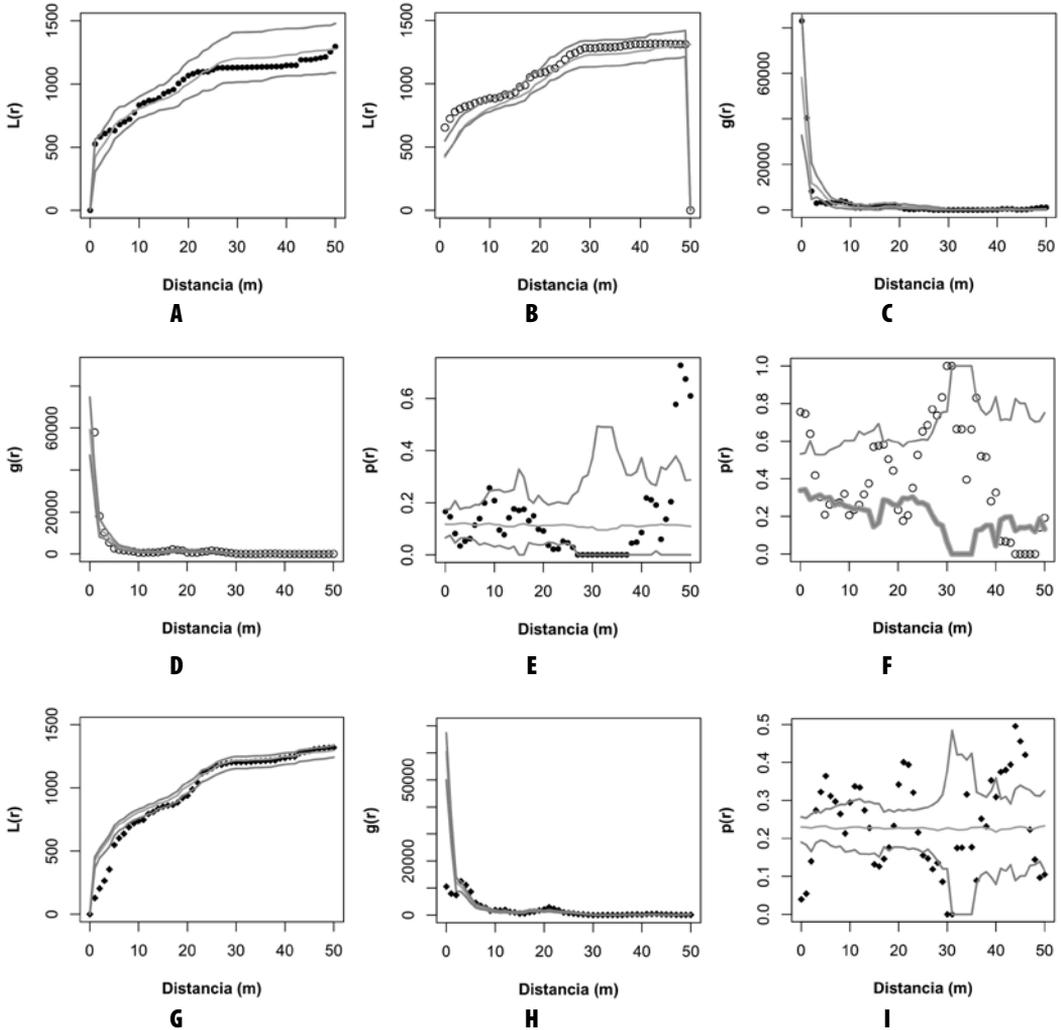


Fig. 6. Análisis de patrones de punto de *Abarema glauca* en Alquizar y Güira de Melena, Artemisa, entre abril y julio de 2017. A–F: análisis univariado: el panel izquierdo muestra el patrón de los árboles adultos con respecto a todos los individuos mediante la función L (L), la función de la correlación parada (g) y la función de la conexión (p) respectivamente; el panel derecho muestra lo mismo pero para árboles jóvenes. G–I: muestra el análisis bivariado entre árboles adultos y jóvenes mediante la función L (L), la función de la correlación parada (g) y la función de la conexión (p) respectivamente. Las líneas representan los valores de las funciones con sus límites de confianza. Puntos por encima del límite superior denotan agregación, puntos por debajo del límite inferior denotan homogeneidad, mientras que los puntos dentro de los límites denotan aleatoriedad.

resultados de Héroult et al. (2011), quienes analizaron el crecimiento de 50 especies de árboles tropicales y concluyeron que casi todas las especies alcanzaron su máxima tasa de crecimiento al 60% de su diámetro máximo, mientras que la altura máxima disminuyó a medida que la tasa de crecimiento máximo aumentó entre especies. La asíntota en la relación entre la altura y diámetro de *A. glauca* (Fig. 5) indica que a cierta altura máxima, prepondera el crecimiento en el eje horizontal, aunque ralentizado por varios factores: la respiración de tallos y raíces se maximiza, la función de conducción se complejiza porque la ruta hidráulica es más larga, se maximiza la asignación de recursos para la reproducción, y los individuos comienzan a envejecer (Poorter et al. 2006; Héroult et al. 2011). Según Héroult et al. (2011), en árboles tropicales es común invertir más en el

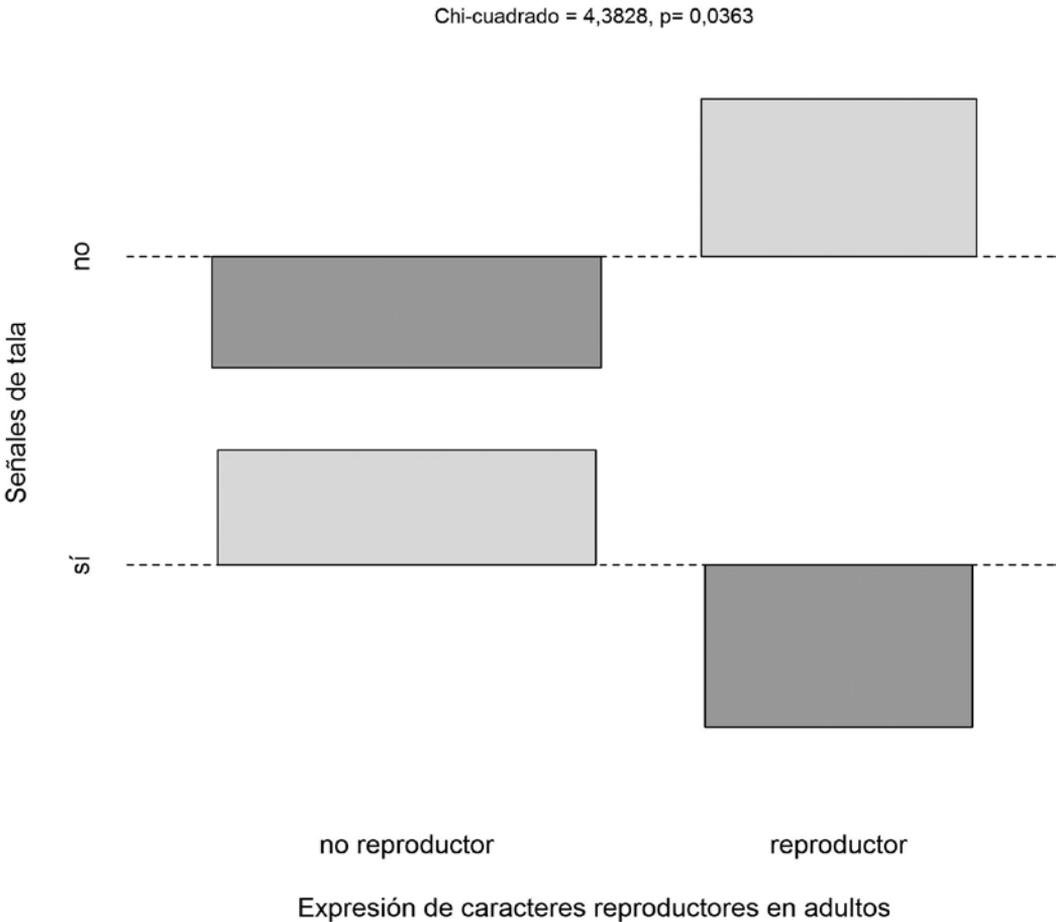


Fig. 7. Gráfico de asociación que indica las desviaciones de la independencia en la tabla de contingencia 2x2 con respecto a dos variables binarias: señales de tala y expresión de los caracteres reproductores en árboles adultos de *Abarema glauca* en Alquizar y Güira de Melena durante abril y junio de 2017. La prueba Chi-cuadrado tiene un alpha de 0,05.

crecimiento en el eje vertical durante las etapas pre-reproductoras y las más jóvenes de la adultez, pues constituye una adaptación fisiológica que les permite captar la luz requerida para el desarrollo. Poorter et al. (2006), por su parte, enfatizan que esta relación asintótica refleja que a partir de un tamaño máximo, los árboles tropicales balancean el crecimiento y comienzan la reproducción. Según sus conclusiones, las especies más pequeñas llegan a esta fase de balance del crecimiento con menor diámetro que las especies más grandes. En el caso de estudio presente, *A. glauca* comenzó la reproducción con un valor de 2,39 cm de diámetro y aproximadamente 2,5 m de altura (Fig. 5). Los bosques donde la especie habita en la región tienen un dosel que puede llegar a 20 metros de altura, con *Roystonea regia* como árbol emergente, lo que evidencia que con valores de diámetro y altura tan bajos, *A. glauca* comienza la reproducción aun en el sotobosque. Sin embargo, el trabajo realizado permitió constatar que en estos bosques muchos árboles mayores de 10 m de altura no ostentan un diámetro apreciable y existen muchas aperturas con la correspondiente entrada de luz por los caminos que se abren y los incendios en época de sequía. Además, los parches de bosque están rodeados de zonas abiertas, ya sea agrícolas o herbazales de ciénaga. Todo esto podría explicar que *A. glauca*, aun considerado un árbol que llega al dosel, comience la reproducción con valores de diámetro y altura tan bajos.

Aun cuando en este estudio la altura de los árboles se estimó visualmente, la relación encontrada coincide de forma general con el patrón reportado para árboles tropicales (Poorter et al. 2006), por lo que se considera que la estimación visual no introdujo un sesgo marcado. Particularmente en este estudio aparecen cuatro árboles adultos que tienen la misma altura que los árboles jóvenes, pero diámetro del tronco mayor. Estos individuos fueron cortados, lo que explica los valores tan bajos de altura en comparación con los restantes adultos.

La hipótesis concerniente a la influencia de la tala sobre la expresión de los caracteres reproductores en los árboles de *Abarema glauca* fue soportada por este estudio. Según Bazzaz et al. (1987), la reproducción en plantas tiene un costo significativo, pues necesita de recursos que, en otra circunstancia, serían reclutados para el crecimiento vegetativo. Se trata de un balance costo-beneficio a diferentes niveles (ecológico, fisiológico y evolutivo), que varía entre especies, entre poblaciones y entre individuos de la misma especie (Bazzaz et al. 1987). La formación de estructuras reproductoras en plantas depende de muchos factores ambientales como el contenido de nutrientes, el clima e interacciones bióticas como la herbivoría (Stephenson 1981). Además, en las especies hermafroditas los recursos para la reproducción son divididos entre las funciones femeninas y masculinas, y los recursos son divididos en la función femenina entre fruto y semilla (Stephenson 1981). Las interacciones con humanos influyen también en la dinámica de la reproducción en plantas. Estudios sobre el efecto del corte de ramas y la defoliación en árboles para subsistencia directa o comercio, han documentado el impacto negativo del corte y la defoliación severos en la reproducción de árboles como *Kaya senegalensis* Desr (A. Juss) en Benin (Gaoue & Ticktin 2008), *Adansonia digitata* Linn. en Mali (Dhillion & Ticktin 2004) y varias especies en Costa Rica (Rockwood 1973). Efectos como la disminución en la producción de frutos y de semillas por fruto con el aumento en la intensidad del corte o defoliación, son de los resultados reportados, así como la variación en la intensidad del efecto según la zona eco-geográfica por factores climáticos como la humedad y las temperaturas, otros antropogénicos como el manejo de la especie y el uso de la tierra. El estrés experimentado por el corte de ramas y la defoliación desencadena una respuesta de movilización de recursos hacia la reparación del daño, y, por tanto, en detrimento de la reproducción. Según Bazzaz et al. (1987), el estrés en plantas generalmente retrasa o incluso previene la floración, pero existen límites de intensidad del estrés a partir de los cuales la floración se promueve. Bässler (1998) reporta que la floración de *Abarema glauca* se produce de abril a octubre. Los muestreos de este estudio se realizaron entre abril y julio, por lo que se considera que la tala podría retrasar o incluso impedir la floración de adultos en la región. Esto podría derivar en consecuencias negativas para la capacidad de regeneración de la especie. No obstante, se considera que este fenómeno debe ser monitoreado en años consecutivos para definir el impacto de las talas a largo plazo.

La biomasa aérea acumulada por 33 árboles de *Abarema glauca* en los sitios de estudio representan menos del 0,0001% del volumen de carbono acumulado por bosques semicaducifolios de mal drenaje de la región, según el reporte del Grupo Empresarial Forestal (Álvarez Brito, com. pers. 2019). Por su parte, los 213 árboles de *Terminalia catappa* acumulan alrededor de la misma cantidad. La densidad de la madera de *Abarema glauca* es casi el doble de la de *Terminalia catappa*. La edad promedio de los 213 individuos de *Terminalia catappa* en la parcela en Cajío es de menos de 40 años (Núñez Hernández, com. pers., 2019). La edad promedio de los 33 adultos registrados de *Abarema glauca* se desconoce, pero se infiere que es mayor que la de las almendras. Las especies tropicales con maderas más densas exhiben un tipo de crecimiento de diámetro lento, pero relativamente constante, mientras que las especies más ligeras tienen el mayor potencial para acelerar su crecimiento en grosor una vez que alcanzan el dosel (Hérault et al. 2011). El crecimiento rápido de *Terminalia catappa* es lo que precisamente la hace una especie maderable tan atractiva para la empresa forestal regional. Sin embargo, *Terminalia catappa* se considera invasora en la región, y aunque sus impactos no han sido medidos y publicados en Cuba, existen evidencias de que la especie transforma el paisaje, pues domina en todos los estratos de los bosques de la región (Rodríguez-Cala et al. 2018). En bosques de Melena del Sur, tanto la riqueza de especies vegetales como la equitatividad disminuyen en zonas invadidas por *T. catappa* con respecto a las zonas no invadidas (Rodríguez-Cala et al. 2018). Además, *T. catappa* es una especie decidua con hojas muy grandes, cuyos valores de masa seca solo son comparables con *Hibiscus elatus* (véase peso seco de hoja por especie

de árbol dominante en los bosques de la región en Apéndice 3), lo que se hipotetiza tiene un efecto aún desconocido en la diversidad funcional, y por tanto, en la dinámica de los bosques de la región. Por tanto, se hace necesario que árboles cubanos, como *Abarema glauca*, sean priorizados en los planes de manejo del patrimonio forestal cubano. Las especies cubanas constituyen una reserva de carbono importante a largo plazo, además de otros valores relacionales e instrumentales que ostentan, y su valor *per se*. En el caso específico de *Abarema glauca*, es una leguminosa fijadora de nitrógeno, melífera (Liogier 2000), maderable (Fernández y Jiménez 1905) y ornamental (DRC. pers. obs.), por lo que tiene potencial para la promoción de productos forestales no maderables en la región.

Aunque el análisis de puntos mostró cierta variación con la distancia, en general *A. glauca* tiende a la agregación espacial, sobre todo en individuos jóvenes con respecto a adultos. La agregación es muy común entre plantas y ha sido documentado varias veces para especies cubanas (Gómez et al. 2018; Palmarola et al. 2018; Testé 2018). Sin embargo, Palmarola et al. (2018) advierten de la posibilidad de que la fragmentación en Guamuhaya sea un factor determinante en la agregación de los individuos de *Magnolia cubensis* subsp. *acunae*. Además, una investigación realizada en el bosque semideciduo de tierra baja en Barro Colorado, Panamá, muestra que el establecimiento de las plántulas de especies anemócoras se hará a cierta distancia de los parentales y que discordará con la distribución de las semillas dispersadas (Augsburger 1983, 1984). De acuerdo a Bässler (1998), *Abarema glauca* exhibe un síndrome de dispersión por aves, a la vez que sus legumbres abren en la planta madre, lo que también es una forma de dispersión a cortas distancias generalmente. La agregación observada, unido a la fragmentación y degradación del hábitat, son indicios de que actualmente la dispersión a largas distancias podría no ser efectiva para *Abarema glauca* en la región. No obstante, es necesario un estudio longitudinal de dispersión como el realizado por Augspurger (1984) para cuantificar la dinámica de dispersión de *Abarema glauca*.

RECOMENDACIONES

Se recomienda garantizar el reclutamiento de individuos de *Abarema glauca* hacia clases etarias superiores mediante un programa de monitoreo de los individuos ya registrados en este estudio. Particularmente, es necesario trasladar las plántulas que se establezcan en los trillos para evitar que mueran por pisoteo. Además, se sugiere criar individuos en vivero hasta una altura de 1 m aproximadamente para garantizar reclutamiento y supervivencia en campo. Se recomienda monitorear el efecto de las talas en la capacidad reproductora de la especie en el área.

APÉNDICE 1

Guión del análisis en R.

```
#### paquetes que se necesitan para los gráficos
library(ggplot2)
library(jpeg)
library(goeveg)

###
datos<-read.csv("grafico etario.csv", dec=".", sep=";")
#data.frame: 16 obs. of 3 variables:
#$ DAP.cm.: Factor w/ 16 levels "<2.39","11,95-14,33",...: 1 6 14 15
16 2 3 4 5 7 ...
#$ Frecuencia: num 0.73 0.06 0.05 0.01 0.03 0.01 0.08 0.01 0.01 0.01 ...
#$ Stage: Factor w/ 2 levels "adultos","jóvenes": 2 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
datos$DAP.cm.<-as.factor(datos$DAP.cm.)
datos$DAP.cm.<-factor(datos$DAP.cm., levels = c("<2.39",
"2,39-4,77", "4,78-7,16","7,17-9,55", "9,56-11,94","11,95-14,33",
"14,34-16,72",
"16,73-19,11","19,12-21,50","21,51-23,89", "23,90-26,28",
"26,29-28,67",
"28,68-31,67","31,67-33,45", "33,45-35,84", "35,85-38,23"),
ordered = T)
as.factor(datos$Stage)

#####gráficos
jpeg(filename = "estructura etaria.jpeg", quality = 100, res = 300,
units = "cm", width = 18, height = 17)

ggplot(datos, aes(x = DAP.cm., y = Frecuencia, fill=Stage))+
geom_bar(stat = "identity")+ylab("Frecuencia relativa")+ylim(0,1)+
scale_fill_manual(values=c("black", "darkgrey"),breaks=levels(d
atos$Stage),
guide=guide_legend(title = NULL))+theme(legend.title = ele
ment_text(face="bold"),
legend.text = element_text(size = 10), legend.position =
c(0.75,0.80),
panel.background = element_rect(fill = NA), axis.text.x=element_
text(size = 9,angle = -90, margin = margin(0,0,0,"cm")),
axis.title.x = element_text(size = 10,face = "bold", margin =
margin(0.5,0,0,"cm")), axis.text.y =element_text(size = 9),
axis.title.y = element_text(size = 10, face = "bold"), axis.ticks.
x=element_blank()+
xlab("Clases de estado de diámetro del tronco (cm)")
dev.off()
```

```
##### analisis estadísticos
datos_completos<-read.csv("datos_R.csv", sep = ";", dec = ".")
str(datos_completos)
##### data.frame: 109 obs. of 8 variables:
#data.frame: 109 obs. of 9 variables:
#$ ID: int 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
#$ Sitio: Factor w/ 3 levels "Arca de Noé",...: 1 1 3 3 3 3 3 3 3 ...
#$ Fase_etaria: Factor w/ 3 levels "adulto","joven",...: 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 ...
#$ Diametro: num NA 4.14 2.39 NA NA ...
#$ Altura: num NA 7 2.5 0.18 0.18 0.46 NA NA NA ...
#$ Estado: Factor w/ 3 levels "no reproductor",...: 1 1 3 2 2 3 1 1 2 ...
#$ Cortado: Factor w/ 2 levels "no","si": 2 1 1 1 1 1 2 2 1 ...
#$ fase_fenologia: Factor w/ 6 levels "botones","botones y frutos
abiertos",...: 6 6 1 6 6 6 1 6 6 6 ...
#$ GPS: int 79 80 81 81 81 83 83 82 84 85 ...

#### calculo de los estadísticos descriptivos por fases etarias
### función para calcular todos los estadísticos que quiero
stats<-function(x){
  y<-mean(x,na.rm=T)
  z<-var(x, na.rm = T)
  w<-cv(x,na.rm=T)
  v<-min(x,na.rm=T)
  t<-max(x,na.rm=T)
  lista<-c(y,z,w,v,t)
  return(lista)}

### altura y diámetro
altura<-tapply(datos_completos$Altura, INDEX = datos_
completos$Fase_etaria, stats)
diametro<-tapply(datos_completos$Diametro, INDEX = datos_
completos$Fase_etaria, stats)

### de objeto tipo lista a dataframe
altura<-as.data.frame(altura, row.names = c("adult", "young",
"seedling"))
diametro<-as.data.frame(diametro, row.names = c("adult", "young",
"seedling"))

## para exportar
#height #mean variance CV min max
#adult 8.8013793, 18.3137695, 0.4862259, 0.6400000, 15.0000000
#young 0.4435616, 0.4774427, 1.5577819, 0.0300000, 3.4700000
#seedling 0.0550000, 0.0000500, 0.1285649, 0.0500000, 0.0600000
#diameter
#adult 12.2336921, 63.7179373, 0.6524892, 2.3885350, 36.3057325
#young 1.1821656, 0.1659215, 0.3445665, 1.0000000, 1.9108280

#### correlacion entre variables
plot1<-plot(datos_completos$Diametro, datos_completos$Altura)
plot2<-plot(datos_completos$Altura, datos_completos$Diametro)
valores<-subset(datos_completos, select = c(Diametro,Altura,
Fase_etaria))

plot3<-plot(x=valores$Diametro, y=valores$Altura, xlab="Shoot
diameter in adults (cm)",
ylab = "Height in adults (m)")
correlacion<-cor.test(valores$Diametro, valores$Altura,
method = "pearson", alternative = "g", exact = NULL,
na.action=na.omit)
##### Pearson's product-moment correlation
#data: valores$Diametro and valores$Altura
#t = 6.6015, df = 31, p-value = 1.122e-07
#alternative hypothesis: true correlation is greater than 0
#95 percent confidence interval:
#0.6084511 1.0000000

#sample estimates:
#cor
#0.7644212

jpeg(filename = "correlacion.jpeg", quality = 100, res = 300, units
="cm", width = 18, height = 17)
ggplot(data = valores, aes(x=Diametro, y=Altura, colour=
Fase_etaria))+geom_point()+
scale_colour_manual(values=c("green", "black","white"),
breaks=levels(valores$Fase_etaria),
labels=c("árboles adultos", "árboles jóvenes", "seedlings"),gui-
de=guide_legend(title = NULL))+
xlab("Diámetro del tronco (cm)") + ylab("Altura (m)") +
geom_text(aes(25, 2, label = "Pearson-R=0,76"))+geom_
text(aes(25,1, label="p = 1,122e-07"))
dev.off()

#### influencia de variable binaria en fenología
adulto_valores1<-subset(datos_completos, subset = Fase_etaria=
"adulto",
select = c(Estado, Cortado))
contingency_table<-table(adulto_valores1)
contingency_table<-contingency_table[-2,]

fisher.test(contingency_table)
#data: observed
#p-value = 0.02551
#alternative hypothesis: true odds ratio is not equal to 1
#95 percent confidence interval:
#0.01150461 0.88658548
#sample estimates:
#odds ratio
#0.1357892

chisq.test(contingency_table)
#Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction
#data: observed
#X-squared = 4.3828, df = 1, p-value = 0.0363

#### para cambiar
dimnames(contingency_table)[[1]]<-c("no reproductor",
"reproductor")
dimnames(contingency_table)[[2]]<-c("no","si")

jpeg(filename = "tabla de contingencia.jpeg", quality = 100, res =
300, units = "cm", width = 18, height = 17)
assocplot(contingency_table, col=c("lightblue","darkgrey"), ylab =
"Señales de tala", xlab = "Expresión de caracteres reproductores
en adultos")
mtext("Chi-cuadrado = 4,3828, p=, 0,0363", side = 3, cex=0.8)
dev.off()

##### calcular la biomasa aérea de Abarema
### densidad de la madera = 0,82 g/cm3
## usando modelo 4 de bosque húmedo de Brown et al. 1989
ABG_moist_4<-function(H, D, S){
  ABG<-vector(mode="numeric")
  for(i in 1:length(H)) if (is.na(H[i])==F && is.na(D[i])==F)
  ABG[i]<-exp(-2.4090+0.9522*log(D[i]^2*S*H[i]))
  return(ABG)}

ABG_Abarema<-ABG_moist_4(H=datos_completos$Altura, D=
datos_completos$Diametro, S=0.82)
ABG_estimate_Ab<-sum(ABG_Abarema, na.rm = T)
##### número de árboles que contribuyen
m=0
for (n in 1:length(ABG_Abarema)) if (is.na(ABG_Abarema[n])==
FALSE) m<-m+1
```

```

### 3277.519 kg de biomasa aérea en 33 adultos usando el
modelo 4
###modelo 2 para Abarema glauca
ABG_Abarema_2<-ABG_moist_2(D=datos_completos$Diámetro)
ABG_estimate_Ab_2<-sum(ABG_Abarema_2, na.rm = T)
#### 4369.798 kg de biomasa aérea en 33 adultos usando el
modelo 2
###lo mismo con Terminalia catappa
tocones<-read.csv(file = "D:/Trabajo/Investigación/proyectos/
Manglar Vivo/control de spp invasoras/tocones_almendra_
parcela_1.2.csv", dec="")
str(tocones)
#data.frame': 283 obs. of 18 variables:
#$ ID: int 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
#$ Clasificación: Factor w/ 5 levels "",tocon","Tocón"...: 5 3 3 5 5 5
5 5 3 5 ...
#$ Renevos: Factor w/ 8 levels ""#REF!""0"...: 3 8 6 3 3 3 3 7 3 ...
#$ Aprovechable..mas.de.10.cm.de.grosor.: Factor w/ 3 levels
""no""si": 3 2 3 3 3 3 3 2 3 ...
#$ Cant.de.Aprovechables: int 1 0 2 1 1 1 1 1 0 1 ...
#$ Perímetro..cm.: num 19 NA NA 18 16 21 15 44 NA 20 ...
#$ Perímetro.menor: num NA NA 18 NA NA NA NA NA NA NA ...
#$ Perímetro.mayor: int NA NA 44 NA NA NA NA NA NA NA ...
#$ Diámetro: num 6.05 NA NA 5.73 5.09 ...
#$ D.menor: logi NA NA NA NA NA NA ...
#$ Diámetro.del.menor: num NA NA 5.73 NA NA ...
#$ Diámetro.del.mayor: num NA NA 14 NA NA ...
#$ Radio: num 3.02 NA NA 2.86 2.55 ...
#$ Radio.del.menor: num NA NA 2.86 NA NA ...
#$ Radio.del.mayor: num NA NA 7 NA NA ...
#$ Volumen: num 333 NA NA 299 236 ...
#$ Vol.del.menor: num NA NA 299 NA NA ...
#$ Vol.del.mayor: num NA NA 1787 NA NA ...

## densidad de madera=0.48 g/cm3
##umodelo 2 para bosques húmedo de Brown et al. 1989
ABG_moist_2<-function(D){
  ABG<-vector(mode="numeric")
  for(i in 1:length(D)) if (is.na(D[i])!=F)
    ABG[i]<-38.4908-11.7883*D[i]+1.1926*D[i]^2
  return(ABG)}
ABG_Terminalia<-ABG_moist_2(D=tocones$Diámetro)
ABG_estimate_Tc<-sum(ABG_Terminalia, na.rm = T)
##### el número de árboles que contribuyen
i=0
for (n in 1:length(ABG_Terminalia)) if (is.na(ABG_Terminalia[n])!=
FALSE) i<-i+1
### 5030.181 kg de biomasa aérea de 213 almendras usando
modelo 2
#####estimación de la altura de las almendras a partir de su
diámetro para usar modelo 4
height_estimation<-function(D){
  Height<-vector(mode="numeric")
  for(i in 1:length(D)) if (is.na(D[i])!=F)
    Height[i]<-exp(1.0710+0.5677*log(D[i]))
  return(Height)}
H<-height_estimation(tocones$Diámetro)
###modelo 4 para Terminalia catappa
Estimation_Tc_with_H_S<-ABG_moist_4(H=H, D=tocones$
Diámetro, S=0.48)
ABG_estimate_Tc_H_S<-sum(Estimation_Tc_with_H_S, na.rm = T)
### 3709.547 kg de biomasa aérea de 213 almendras usando
modelo 4
##### estimación de densidad
##### importando las capas
Santa_Ana<-readOGR(dsn="D:/Trabajo/Investigación/proyectos/
Planta! grants/Abarema glauca/proyecto GIS y base de datos",
layer="parche_Santa Ana")
Arca_Noe<-readOGR(dsn="D:/Trabajo/Investigación/proyectos/
Planta! grants/Abarema glauca/proyecto GIS y base de datos",
layer="parche_Arca de Noé+rodal")
Gavilan<-readOGR(dsn="D:/Trabajo/Investigación/proyectos/
Planta! grants/Abarema glauca/proyecto GIS y base de datos",
layer="parche_Ojo de agua Gavilán")
#####calculando el áreas
area_Santa_Ana<-sum(Santa_Ana$Area_Ha)## 40.75 ha=0,4075
km2
area_Arca<-sum(Arca_Noe$Area_Ha, na.rm = T)## 149.69 ha=
1.4969 km2
area_Gavilan<-sum(Gavilan$Area_Ha)## 103.97 ha= 1.0397 km2
#####densidad
53/area_Santa_Ana ### 1.300613 ind/km2
21/area_Arca ### 0.1402899 ind/km2
35/area_Gavilan ### 0.3366356 ind/km2
109/((area_Arca+area_Gavilan+area_Santa_Ana)/100) ### 37.0232
ind/km2 ### 294.41 ha
##### agregando otros parches de bosque Embarcadero: 189.31
ha y Los Patos 64.43 ha
294.41+189.31+64.43 ## 548.15 ha= 5.4815 km2
5.4815*37.0232
#####visualizando el análisis de patrones de puntos
#####L(r)
#####adultos
setwd("E:/Trabajo/Investigación/proyectos/Planta! grants/Abarema
glauca/análisis de patrón espacial/L(r)")
adults_L<-read.table(file="L11, L12.txt", header = T)
#####adultos-adultos
jpeg(filename="L11.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(adults_L$Distance, adults_L$L11.r, xlab="Distancia
(m)",
ylab="L(r)", col="black", ylim = c(0,1500), pch=20, font.lab=2)
lines.default(adults_L$Distance, adults_L$Expect, col="gray",
lwd=2)
lines.default(adults_L$Distance, adults_L$E11., col="red", lwd=2)
lines.default(adults_L$Distance, adults_L$E11.1, col="red", lwd=2)
dev.off()
#####adultos-jóvenes
jpeg(filename="L12.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(adults_L$Distance, adults_L$L12.r, xlab="Distancia
(m)",
ylab="L(r)", col="black", ylim = c(0,1500), pch=18, font.lab=2)
lines.default(adults_L$Distance, adults_L$Expect.1, col="gray",
lwd=2)
lines.default(adults_L$Distance, adults_L$E12., col="red", lwd=2)
lines.default(adults_L$Distance, adults_L$E12.1, col="red", lwd=2)
dev.off()
##jóvenes
young_L<-read.table(file="L22, L21.txt", header = T)

```

```

####joven-joven
jpeg(filename="L22.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(young_L$Scale, young_L$L22.r., xlab="Distancia (m)",
  ylab="L(r)", col="black", pch=1, font.lab=2, ylim = c(0,1500))
lines.default(young_L$Scale, young_L$Expect., col="gray", lwd=2)
lines.default(young_L$Scale, young_L$E22., col="red", lwd=2)
lines.default(young_L$Scale, young_L$E22...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

####joven-adulto
jpeg(filename="L21.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(young_L$Scale, young_L$L21.r., col="black", pch=18,
  ylim = c(0,1500), xlab="Distancia (m)", ylab="L (r)", font.lab=2)
lines.default(young_L$Scale, young_L$Expect, col="gray", lwd=2)
lines.default(young_L$Scale, young_L$E21., col="red", lwd=2)
lines.default(young_L$Scale, young_L$E21...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

#####
#####g(r)
setwd("E:/Trabajo/Investigación/proyectos/Planta! grants/Abarema
  glauca/análisis de patrón espacial/g(r)")

####adultos
adults_g<-read.table(file="g11,g12.txt", header = T)

####adultos-adultos
jpeg(filename="g11.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(adults_g$Scale, adults_g$g11.r., xlab="Distancia (m)",
  ylab="g(r)", col="black", pch=20, font.lab=2)
lines.default(adults_g$Scale, adults_g$Expect., col="gray", lwd=2)
lines.default(adults_g$Scale, adults_g$E11., col="red", lwd=2)
lines.default(adults_g$Scale, adults_g$E11...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

####adultos-jóvenes
jpeg(filename="g12.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(adults_g$Scale, adults_g$g12.r., xlab="Distancia (m)",
  ylab="g(r)", col="black", pch=18, font.lab=2, ylim=c(0,70000))
lines.default(adults_g$Scale, adults_g$Expect, col="gray", lwd=2)
lines.default(adults_g$Scale, adults_g$E12., col="red", lwd=2)
lines.default(adults_g$Scale, adults_g$E12...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

##young
young_g<-read.table(file="g22,g21.txt", header = T)

####joven-joven
jpeg(filename="g22.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(young_g$Scale, young_g$g22.r., xlab="Distancia (m)",
  ylab="g(r)", col="black", pch=1, font.lab=2, ylim=c(0,90000))
lines.default(young_g$Scale, young_g$Expect., col="gray", lwd=2)
lines.default(young_g$Scale, young_g$E22., col="red", lwd=2)
lines.default(young_g$Scale, young_g$E22...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

####joven-adulto
jpeg(filename="g21.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(young_g$Scale, young_g$g21.r., col="black", pch=18,
  xlab="Distancia (m)", ylab="g(r)", font.lab=2, ylim = c(0,70000))
lines.default(young_g$Scale, young_g$Expect, col="gray", lwd=2)
lines.default(young_g$Scale, young_g$E21., col="red", lwd=2)
lines.default(young_g$Scale, young_g$E21...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

####marked connections
### adultos
adults_p<-read.table("p11,p12.txt", header = T)

####adultos-adultos
jpeg(filename="p11.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(adults_p$Scale, adults_p$p11.r., col="black", pch=20,
  xlab="Distancia (m)", ylab="p(r)", font.lab=2)
lines.default(adults_p$Scale, adults_p$p11exp, col="gray", lwd=2)
lines.default(adults_p$Scale, adults_p$E11., col="red", lwd=2)
lines.default(adults_p$Scale, adults_p$E11...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

####adultos-joven
jpeg(filename="p12.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(adults_p$Scale, adults_p$p12.r., col="black", pch=18,
  xlab="Distancia (m)", ylab="p(r)", font.lab=2)
lines.default(adults_p$Scale, adults_p$p12exp, col="gray", lwd=2)
lines.default(adults_p$Scale, adults_p$E12., col="red", lwd=2)
lines.default(adults_p$Scale, adults_p$E12...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

###jóvenes
young_p<-read.table("p22,p21.txt", header = T)

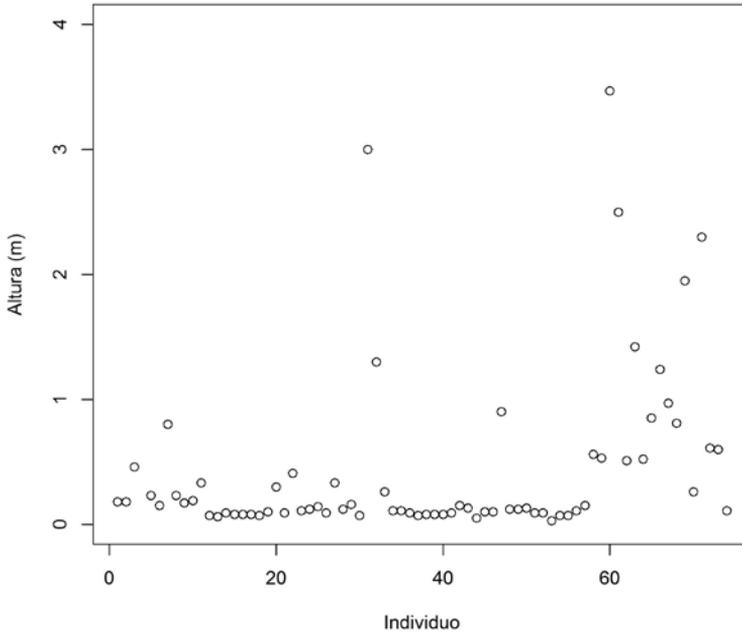
####joven-joven
jpeg(filename="p22.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(young_p$Scale, young_p$p22.r., col="black", pch=1,
  xlab="Distancia (m)", ylab="p(r)", font.lab=2)
lines.default(young_p$Scale, young_p$E22., col="gray", lwd=6)
lines.default(young_p$Scale, young_p$E22., col="red", lwd=2)
lines.default(young_p$Scale, young_p$E22...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

####joven-adulto
jpeg(filename="p21.jpeg", quality = 100, res=100)
plot.default(young_p$Scale, young_p$p21.r., col="black", pch=18,
  xlab="Distancia (m)", ylab="p(r)", font.lab=2)
lines.default(young_p$Scale, young_p$p21exp, col="gray", lwd=2)
lines.default(young_p$Scale, young_p$E21., col="red", lwd=2)
lines.default(young_p$Scale, young_p$E21...1, col="red", lwd=2)
dev.off()

```

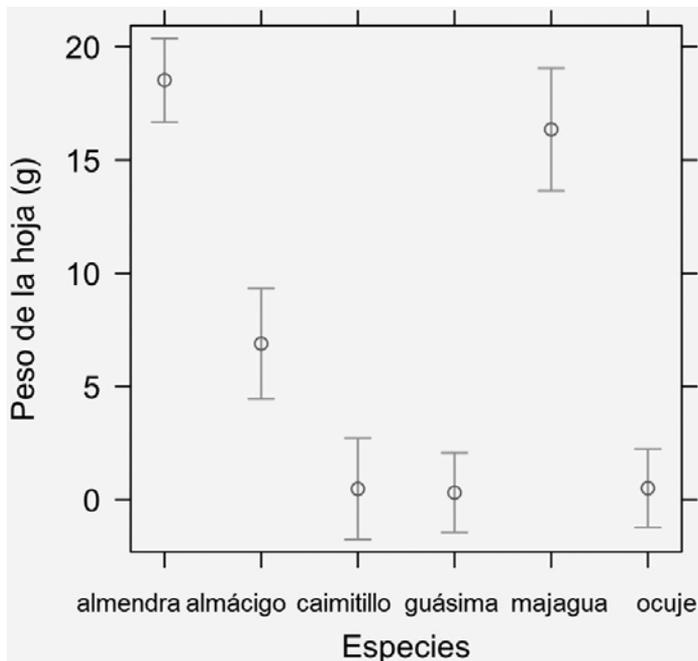
APÉNDICE 2

Alturas de los individuos juveniles registrados.



APÉNDICE 3

Peso seco de las hojas de especies de árboles dominantes en el parche de bosque remanente en Arca de Noé, Alquizar, Artemisa, Cuba. Los datos fueron tomados en julio de 2017 por los autores del presente trabajo, pero no han sido publicados. En la figura se especifican los nombres vulgares de algunas de las especies: almendra (*Terminalia catappa*), majagua (*Hibiscus elatus*), almácigo (*Bursera simaruba*), caimitillo (*Crisophyllum oliviforme*), guásima (*Guazuma ulmifolia*) y ocuje (*Calophyllum antillanum*).



AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó gracias al apoyo de Planta!-Plant Life Conservation Society y del proyecto Manglar Vivo de la Agencia de Medio Ambiente de la República de Cuba. Se agradece al grupo de trabajadores de la Brigada Forestal Cajío y Alquízar, especialmente a Vicente Núñez, ya que su contribución fue decisiva para llevar a cabo el trabajo de campo y entender la situación de los sitios muestreados. Se agradece también al Herbario Nacional de Cuba “Onaney Muñiz” y su equipo, que prestó su base de datos y su instalación para llevar a cabo el estudio posterior al trabajo de campo. Se agradece al equipo extendido del Instituto de Ecología y Sistemática, incluido el personal del Herbario, que realizó los muestreos en Cajío: Ramona Oviedo Prieto, Bertha Lidia Toscano, Julio César Álvarez, Gustavo Pineda, Mayté Pernús e Ilsa María Fuentes. Además, se agradece a los estudiantes de Biología Adriham Santana Hernández y Cynthia Rodríguez Alfaro, por prestar su tiempo en la organización de los datos derivados del muestreo en Cajío. Por último, se agradece a Edgardo Díaz Álvarez por sus comentarios sobre el manuscrito, y a los revisores anónimos, cuyas sugerencias mejoraron el manuscrito.

REFERENCIAS

- ANPP [ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR]. 1998. Ley No. 85 Forestal. Disponible en <http://www.parlamentocubano.gob.cu/index.php/documento/ley-forestal/>. Acceso en agosto de 2019.
- ANPP [ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR]. 2010. Ley No. 110 “Modificativa de la Ley No. 1304 de 3 de julio de 1976 de la División Político-Administrativa”, de fecha 1 de agosto de 2010. Gaceta Oficial de la República de Cuba 23 (Extraordinaria): 139-140, de fecha 2 de septiembre de 2010. ISSN 1682-7511. <http://www.gacetaoficial.cu/>
- ANPP [ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR]. 2011. Resolución No. 160/2011, de fecha 28 de junio de 2011. Gaceta Oficial de la República de Cuba 26 (Ordinaria): 723–745, de fecha 4 de agosto de 2011. ISSN 1682-7511. <http://www.gacetaoficial.cu/>
- AUGSPURGER, C.K. 1983. Offspring recruitment around tropical trees: changes in cohort distance with time. *Oikos* 40:189–196.
- AUGSPURGER, C.K. 1984. Seedling survival of tropical tree species: interactions of dispersal distance, light-gaps, and pathogens. *Ecology* 65:1705–1712.
- BAZZAZ, F.A., N.R. CHIARIELLO, P.D. COLEY, & L.F. PITELKA. 1987. Allocating resources to reproduction and defense. *BioScience* 37(1):58–67.
- BÄSSLER, M. 1998. Mimosaceae. In: Comité editorial de la Flora de la República de Cuba, eds. Flora de la República de Cuba. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, Alemania 1:202.
- BROWN, S., A.J.R. GILLESPIE, & A.E. LUGO. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4):881–902.
- CARRERAS, R., A. CUZA, J. TERUEL, & L.R. GONZÁLEZ-TORRES. 2013. Árboles y maderas de la Reserva de Biosfera Guanahacabibes, Pinar del Río, Cuba: fichas anatómicas para su identificación: Publicitat Tanager, Tarragona, España.
- CATALOGO VIRTUAL DE LA FLORA DEL VALLE DE ABURRÁ. 2014. Disponible en <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/20>. Acceso en agosto de 2019.
- DHILLON, S.S. & G. GUSTAD. 2004. Local management practices influence the viability of the baobab (*Adansonia digitata* Linn.) in different land use types, Cinzana, Mali. *Agric. Eco-Syst. Environm.* 101:85–103.
- FERNÁNDEZ y JIMÉNEZ, J.M. 1905. Tratado de los árboles de Cuba, Isla de Pinos y Puerto Rico: utilidad de sus maderas y virtudes medicinales. *Liga Agraria* 20:239–361.
- GAOUE, O.G. & T. TICKTIN. 2008. Impacts of bark and foliage harvest on *Khaya senegalensis* (Meliaceae) reproductive performance in Benin. *J. Appl. Ecol.* 45:34–40.
- GÓMEZ, J.L. & D. RODRÍGUEZ-CALA. 2015. *Abarema glauca*. *Bissea* 9(4):450.
- GÓMEZ, J.L., D. LÓPEZ, J.A. SÁNCHEZ, & M. PERNÚS. 2018. Hábitat y estructura poblacional del árbol amenazado *Vachellia belarioides* (Fabaceae): implicaciones para su conservación. *Acta Bot. Cubana* 217(1):75–84.
- HÉRAULT, B., B. BACHELOT, L. POORTER, V. ROSSI, F. BONGERS, J. CHAVE, C.E.T. PAINE, F. WAGNER, & C. BARALOTO. 2011. Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species. *J. Ecol.* 99:1431–1440.
- IUCN. 2012. IUCN-CMP UNIFIED CLASSIFICATION OF DIRECT THREATS. Version 3.2. Disponible en <https://www.iucnredlist.org/resources/threat-classification-scheme>. Acceso en agosto de 2019.
- LIOGIER, A. 2000. Diccionario botánico de nombres vulgares de La Española. Editora Corripio, Santo Domingo, República Dominicana.

- POORTER, L., L. BONGERS, & F. BONGERS. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs, and functional groups. *Ecol. U.S.A.* 87(5):1289–1301.
- PALMAROLA, A., L. GRANADO, E. TESTÉ, M. HERNÁNDEZ, N. ALBELO, & L.R. GONZÁLEZ-TORRES. 2018. Estructura poblacional y distribución de *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* (Magnoliaceae). *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 39:103–111.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. 2016. Quantum GIS 2.18 “Las Palmas”. Disponible en <http://www.qgis.org>. Acceso en diciembre 2016.
- ROCKWOOD, L.L. 1973. The effect of defoliation on seed production of six Costa Rican tree species. *Ecol. U.S.A.* 54(5):1363–1369.
- RODRÍGUEZ, R. 2005. La forja de una nación: despunte y epopeya. Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, Cuba.
- RODRÍGUEZ-CALA, D., R. OVIEDO, J.C. ÁLVAREZ, & B.L. TOSCANO. 2018. Re-finding and conservation status of the threatened fern *Maxonia apiifolia* (Dryopteridaceae) in Southern Havana wetland, Cuba. *Acta Bot. Cubana* 217(3):227–238.
- ROIG, J.T. 2014. Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos. Editorial Científico-técnica, La Habana, Cuba.
- STEPHENSON, A.G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 12:253–279.
- TESTÉ, E. 2018. Variación en la estructura y la ecología espacial de la población de *Magnolia virginiana* subsp. *oviedoae* (Magnoliaceae), Matanzas, Cuba. Tesis en opción al Título Académico Máster en Botánica Mención Conservación. Jardín Botánico de la Universidad de La Habana.
- WIEGAND, T. & K.A. MOLONEY. 2014. Handbook of spatial point pattern analysis in ecology. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Ratón, U.S.A.