

## Research Article

# Distribución espacial de la riqueza de especies leñosas raras de la Península de Yucatán y su relación con las áreas naturales protegidas.

Erika Tetetla-Rangel\*<sup>1</sup>, Rafael Durán<sup>1\*\*</sup>, José Luis Hernández-Stefanoni<sup>1\*\*\*</sup> y Juan Manuel Dupuy<sup>1\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), Calle 43 No. 130, Colonia Chuburná de Hidalgo, CP 97200 Mérida, Yucatán, México.

\*tetetla@cicy.mx, rduran@cicy.mx\*\*, jl\_stefanoni@cicy.mx\*\*\*, jmdupuy@cicy.mx \*\*\*\*

\*Autor de correspondencia

**Resumen.** Las especies de plantas raras de las selvas en la Península de Yucatán aún no han sido evaluadas como un grupo particular. Se seleccionó un conjunto de especies leñosas raras (ELR) de las selvas tropicales de la Península de Yucatán. Se estimó la riqueza de especies, sumando los mapas de distribución potencial de cada especie, y se evaluó su relación con las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la península. Se identificaron 3 niveles de rareza -bajo, medio y alto-, de acuerdo a la frecuencia, la especificidad de hábitat y el rango de distribución potencial de las especies seleccionadas. Se identificaron 4 regiones de mayor riqueza de ELR. Todas las regiones incluyeron especies del nivel de rareza bajo, 3 regiones incluyeron especies de nivel medio y sólo una región incluyó especies extremadamente raras (nivel alto); esta región está fuera de las ANP establecidas. La riqueza de ELR se asoció positivamente con el tamaño de las ANP. Este estudio representa el primer esfuerzo para conocer a las especies leñosas raras de la Península de Yucatán, sus patrones de distribución potencial y evaluar su estado de protección actual. Nuestros resultados sugieren que las ANP actuales podrían estar preservando la riqueza de ELR del nivel bajo y medio de rareza, pero no la riqueza de las especies extremadamente raras. Por lo tanto, es prioritario el establecimiento de ANP en la región en la que podría concentrarse la más alta riqueza de estas especies, que son particularmente vulnerables a la extinción.

**Palabras clave:** conservación, distribución potencial, niveles de rareza, selvas tropicales, vulnerabilidad.

**Abstract.** Rare plant species of the tropical forests in the Yucatan Peninsula have not been evaluated as a group. We selected a set of rare woody plant species (RWPS) and we estimated rare species richness by using the species distribution maps of each species. In addition, we evaluated the relationship between rare species richness and Natural Protected Areas (NPA's) of the Peninsula. We identified 3 levels of rarity —low, medium and high— in terms of the species frequency, habitat specificity and range of distribution of the selected species. We also, identified 4 regions with a greater number of rare species. All the regions included species with the lowest level of rarity, 3 regions included species with the medium level and only one region contained extremely rare woody species (high level). This last region was unprotected. Number of RWPS was positively associated with the area of NPA's. This study represents the first effort for identifying the RWPS of the Peninsula, estimating patterns of distribution of rare species richness and evaluating the current protection status of such species. Our results suggest that the current NPA's may preserve the richness of RWPS of the low and medium levels of rarity, but not that of the rarest woody species. Therefore, it is a priority to establish a protected area in the region that could harbor the highest richness of the rarest species, which are particularly vulnerable to extinction.

**Key words:** conservation, levels of rarity, potential distribution, tropical forests, vulnerability.

Received: 10 May 2012; Accepted: 9 July 2012; Published: 17 September 2012.

**Copyright:** © Erika Tetetla-Rangel, Rafael Durán, José Luis Hernández-Stefanoni y Juan Manuel Dupuy. This is an open access paper. We use the Creative Commons Attribution 3.0 license <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/> - The license permits any user to download, print out, extract, archive, and distribute the article, so long as appropriate credit is given to the authors and source of the work. The license ensures that the published article will be as widely available as possible and that the article can be included in any scientific archive. Open Access authors retain the copyrights of their papers. Open access is a property of individual works, not necessarily journals or publishers.

**Cite this paper as:** Tetetla-Rangel, E., Durán, R., Hernández-Stefanoni, J. L. and Dupuy, J. M. 2012. Distribución espacial de la riqueza de especies leñosas raras de la Península de Yucatán y su relación con las áreas naturales protegidas. *Tropical Conservation Science* Vol. 5(3):320-339. Available online: [www.tropicalconservationscience.org](http://www.tropicalconservationscience.org)

## Introducción

Las especies raras son particularmente importantes porque además de ser el componente principal de la diversidad, muchas de ellas son vulnerables a la extinción [1-3]. El tamaño poblacional, la especificidad de hábitat y el rango de distribución geográfico definen la rareza de una especie y en conjunto o por separado, estos tres criterios forman diferentes tipos o niveles de rareza [1, 3]. Por ejemplo, especies con poblaciones pequeñas son raras; si adicionalmente estas especies se encuentran restringidas a ciertos hábitats, su nivel de rareza se incrementará y si su rango de distribución se restringe a áreas geográficas pequeñas, su nivel de rareza incrementará aún más, alcanzando el nivel de rareza más restrictivo. La comprensión de la rareza es fundamental para el establecimiento de estrategias adecuadas para la preservación de este grupo de especies, ya que diferentes niveles de rareza conllevan a diferentes niveles de vulnerabilidad a la extinción [4, 5].

Las estrategias de conservación en general han sido dirigidas a áreas que son evaluadas en términos de la estructura y composición de las comunidades o de los hábitats que contienen [6]. Es decir, la conservación de las especies no sería a través del manejo directo de sus poblaciones, sino a través de la preservación de los hábitats donde éstas ocurren [1]. Asimismo, las regiones de alta riqueza de especies raras son consideradas de alto valor biológico y por ello, han sido usadas para establecer estrategias de conservación [7-9]. Sin embargo, debido a que la vulnerabilidad a la extinción de las especies raras puede variar de acuerdo a su nivel de rareza [4, 5], para el diseño y establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) se deben considerar no solamente las áreas de mayor concentración de especies raras, sino además áreas ricas en los distintos niveles de rareza de las especies.

Aunque numerosas investigaciones se han enfocado en la descripción de la flora de la porción mexicana de la Península de Yucatán [10-14], el conocimiento de las especies de plantas raras de esta región es aún limitado. Durán y Trejo [15], estimaron que el número de plantas raras en el estado de Yucatán está entre 280 y 350 especies. Por su parte, Carnevali et al. [16] citan algunos ejemplos de plantas raras para el mismo estado. Ambas contribuciones, más que describir a estas especies como un grupo particular, destacan su importancia como componente de la flora peninsular y resaltan la necesidad de llenar vacíos sobre su conocimiento en la región. De igual manera señalan la necesidad de realizar estudios específicos para evaluarlas, ya que probablemente existan numerosas especies raras en riesgo [15].

Considerando que numerosas especies raras de la península podrían estarse perdiendo, incluso antes de poder ser protegidas, debido a su vulnerabilidad a la extinción y al acelerado proceso de cambio en el uso del suelo en la región [15, 17], los objetivos de este estudio fueron 3: (1)

Identificar niveles de rareza de las especies de plantas leñosas de las selvas tropicales de la Península de Yucatán. La selección de plantas leñosas como modelo de estudio se debe a que es un grupo de especies taxonómicamente bien conocido y uno de los más recolectados en la región en comparación con otros grupos de plantas. (2) Identificar y generar mapas de las regiones de mayor riqueza de especies leñosas raras (ELR) de distintos niveles de rareza. (3) Explorar las relaciones entre la riqueza de ELR y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) establecidas en la península, con el objeto de identificar vacíos en cuanto a la protección de estas especies, además de dilucidar las características de las ANP que favorecen la protección de un mayor número de ELR. Este estudio ofrece un nuevo método para establecer áreas prioritarias para la conservación en función de los niveles de rareza de las especies.

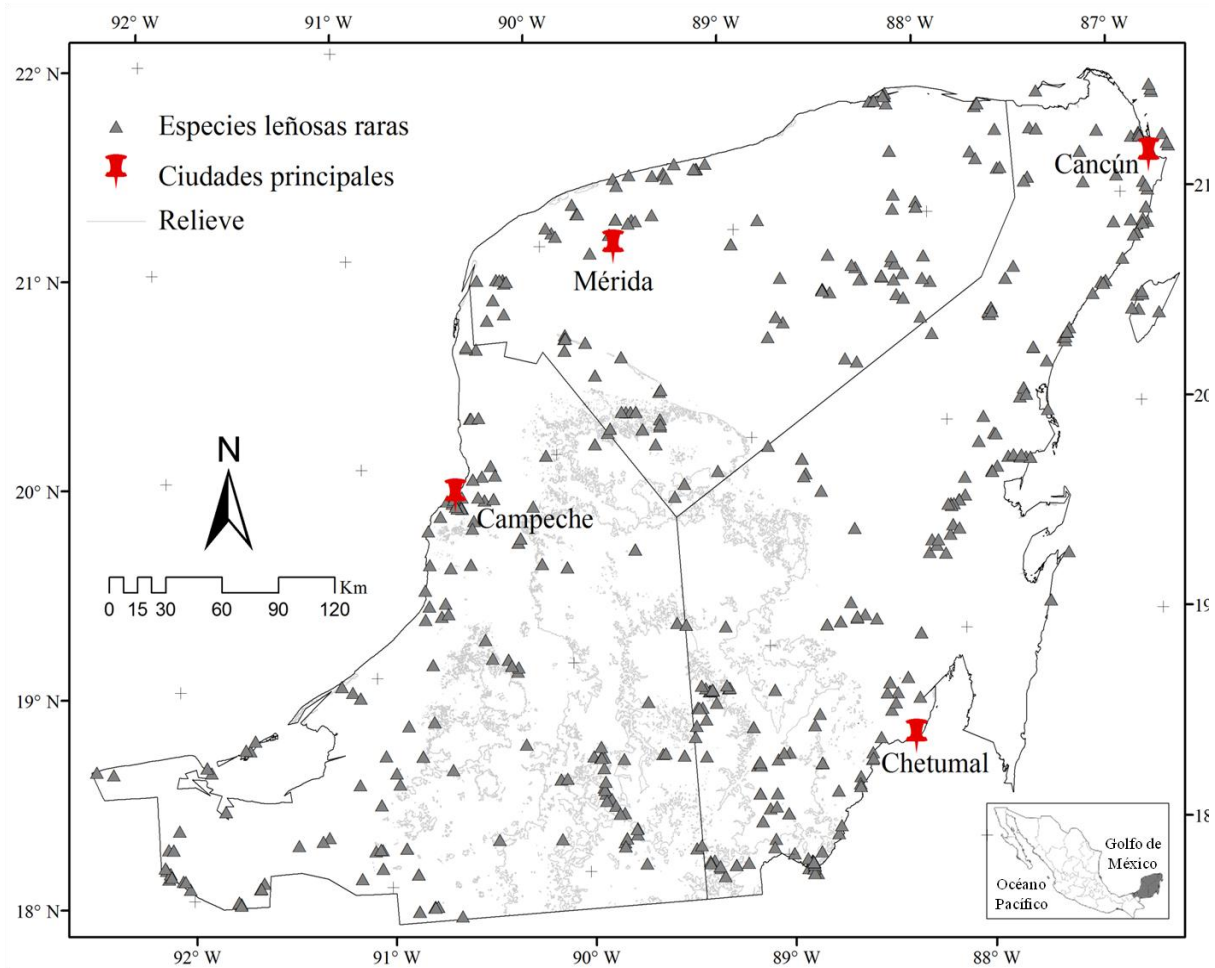
## Métodos

### *Área de estudio*

Este estudio se circunscribe a las selvas tropicales de la Península de Yucatán, que incluye a los estados de Quintana Roo, Yucatán y Campeche (Fig. 1). La península, es catalogada como una gran extensión eocénica constituida casi totalmente de calizas de topografía kárstica [17]. El clima es tropical cálido subhúmedo con lluvias en verano, presentándose un aumento de la precipitación y una disminución de la temperatura del noreste hacia el suroeste. Cerca del 95% del territorio está representado por tierras bajas y planas con alturas inferiores a los 100 m. Hacia el sur de la península las elevaciones oscilan por debajo de los 250 m, mientras que en el límite con Guatemala alcanzan los 400 m [18]. En la península se reconocen diferentes tipos de selvas tropicales [19, 20], cuyos patrones de distribución están determinados por la precipitación y el tipo de suelo [21, 22]. La selva mediana subperennifolia (SMSP) es la más importante por su extensión, seguida de la selva mediana subcaducifolia (SMSC), la selva alta perennifolia (SAP), la selva alta subperennifolia (SASP) y la selva baja caducifolia (SBC), siendo la selva baja inundable (SBI) o subperennifolia el tipo de vegetación menos representado en la región. Además, se presentan formaciones vegetales denominadas Petenes, que son ecosistemas en forma de islas donde se entremezclan árboles característicos de la SMSP y de la SBI con algunas especies de manglar [23].

### *Áreas Naturales Protegidas*

De las reservas que existen en la península, algunas tales como Yum Balam [24], Laguna de Términos [25] y Ría Celestún [26], protegen principalmente los humedales costeros y los ambientes marinos [27], en tanto que Bala'an K'aax [28], Calakmul [29], Balam-Kin [30] y Balam-Kú son reservas que protegen una unidad forestal de más de un millón de hectáreas [31], formando un corredor biológico que permite la continuidad ambiental hacia la Reserva de la Biosfera Maya en el Petén Guatemalteco y la reserva Milpas-Río Bravo en Belice [31]. Otras reservas además de proteger la vida silvestre de las selvas tropicales, también protegen el legado histórico y arqueológico maya, como: Kabah [32] y Dzibilchaltún [33], entre otras. En este estudio se consideraron las reservas ubicadas en la porción terrestre de la península, y también aquellas de la línea de costa que por su ubicación abarcan importantes extensiones de selvas tropicales (Tabla 1).



**Fig. 1. Ubicación del área de estudio y de los registros de herbario de las especies leñosas raras de las selvas tropicales de la Península de Yucatán.**

### *Información de las especies leñosas raras*

Esta información se obtuvo de la base de datos del herbario CICY, que cuenta con la colección más grande de la flora de la Península de Yucatán en el país, con un número aproximado de 60,000 ejemplares [11, 44], y es uno de los más importantes del sureste de México. Mediante una búsqueda y depuración minuciosa de la información del herbario, se extrajeron los registros de todas las especies leñosas colectadas en el área de estudio entre los años de 1976 y 2002. Para corroborar la identidad taxonómica de cada especie e identificar sus formas de crecimiento, cada ejemplar fue verificado por especialistas en la flora de la península y ratificado en las bases de datos del Jardín Botánico de Missouri y la flora digital de la Península de Yucatán [11, 45]. Frecuentemente se ha destacado la dificultad para obtener información sobre las especies raras [46-48]. Una ventaja en este estudio, fue que la identificación de estas especies se basó en el conocimiento botánico y taxonómico de especialistas en la flora del área de estudio vinculados al herbario CICY (ver [11, 15]), quienes tienen un amplio conocimiento de la flora de la península y

en especial de las plantas leñosas comunes, factor que permitió identificar de manera más fácil y segura a las plantas leñosas raras.

Tabla 1. ANP en la porción mexicana terrestre de la Península de Yucatán. Yucatán (Y), Quintana Roo (QR), Campeche (C). Selva Alta Perennifolia (SAP), Selva Alta Subperennifolia (SASP), Selva Mediana Subcaducifolia (SMSC), Selva Mediana Subperennifolia (SMSP), Selva Baja Inundable (SBI), Petenes (P).

Identificador	Áreas Naturales Protegidas	Ubicación	Superficie total (ha)	Selvas presentes	*Superficie de selvas (ha)
1	Parque nacional Dzibilchaltún	Y	539.00	SBC	83.50
2	Parque nacional Tulum	QR	664.00	SMSP	599.48
3	Parque estatal Kabah	Y	949.76	SMSC	946.78
4	Área natural protegida de valor escénico San Juan Bautista Tabi	Y	1365.00	SBC, SMSP	1329.92
5	Área natural protegida El Zapotal	Y	2358.00	SBI, SMSP	1863.05
6	Estación experimental San Felipe Bacalar	QR	3665.87	SASP, SMSP, SBI	2743.46
7	Área de protección de flora y fauna Otoch Ma'Ax Yetel Kooh	Y	5367.00	SMSP, SBI	4617.08
8	Parque estatal Lagunas de Yalahau	Y	5683.00	SBC con spp. de SM, SBI	3086.99
9	Reserva ecológica municipal Cuxtal	Y	10757.00	SBC	6447.08
10	Reserva estatal El Palmar	Y	50177.00	SBC, SBI	14864.50
11	Reserva de la Biósfera Ría Lagartos	Y	60347.82	SBC, SBI, SMSP, P	13002.12
12	Reserva estatal Dzilam	Y	61706.00	SBI, SBC, P	9961.56
13	Reserva de la Biósfera Ría Celestún	Y	81482.00	SBC, SBI, P	21403.04
14	Área de protección de flora y fauna Uaymil	QR	89118.00	SMSP, SMSC, SBI	60222.91
15	Zona sujeta a conservación ecológica Balam-Kin	C	110990.00	SMSP, SMSC	99333.68
16	Área de protección de flora y fauna Bala'an K'aax	QR	128394.00	SMSP, SMSC, SBI	140313.49
17	Área de protección de flora y fauna Yum-Balam	QR	154052.00	SASP, SMSP, SMSC, SBC	25864.36
18	Zona sujeta a conservación ecológica Santuario del Manatí	QR	277733.67	SBC, SMSP, P	84011.33
19	Reserva de la Biósfera Los Petenes	C	282857.00	SBI, SBC, SBC, P	40193.18
20	Zona sujeta a conservación ecológica Balam-Kú	C	409200.00	SASP, SMSP, SBC, SBI	397783.67
21	Reserva de la Biósfera Sian ka'an	QR	528147.00	SMSP, SMSC, SBC, SBI	150018.06
22	Área de protección de flora y fauna Laguna de Terminos	C	706148	SMSP, SASP, SBC, SBI	29647.20
23	Reserva de la Biósfera Calakmul	C	723185.12	SAP, SASP, SMSP, SBC, SBI	696283.84

Fuente: [19, 24, 27-42] \*La superficie de selvas dentro de cada ANP fue obtenida del mapa de vegetación de García y Secaira [43].

### *Criterios de rareza*

Siguiendo el método de proporción de suma de Gaston [1], en este estudio se seleccionó el primer cuartil del número de colectas de todas las especies leñosas (árboles, arbustos y lianas) del área de estudio. De esta manera, todas aquellas especies leñosas dentro del 25% de la distribución de frecuencia fueron consideradas como raras, mientras que el resto de las especies fueron consideradas como comunes. Sin embargo, debido a que el número de registros de herbario no necesariamente reflejaba el tamaño de sus poblaciones, cada especie fue analizada por diversos expertos en la flora de la región para garantizar la correcta inclusión ó exclusión de las especies evaluadas en el estudio. Además y para tener una estimación gruesa de la validez de este método, para las especies raras que también fueron registradas en la porción del Inventario

Nacional Forestal y de Suelos correspondiente a la Península de Yucatán (3,285 muestras) [49], se correlacionó la frecuencia de registros de herbario con el número de muestras de dicho inventario en las que fueron registradas.

Caiafa y Martins [50], determinaron la especificidad de hábitat en función del número de tipos de vegetación (hábitats) dónde las especies ocurrían. Para los autores, las especies con especificidad de hábitat alta fueron aquellas presentes en un solo tipo de vegetación, mientras que las especies con especificidad baja estarían presentes en más de un tipo de vegetación. En el presente estudio la especificidad de hábitat también se determinó contando el número de tipos de vegetación donde las especies estaban presentes y con la finalidad de reducir posibles sesgos debidos a la selección arbitraria entre alta ó baja especificidad, se aplicó el método de Gaston [1]. De esta forma, las especies con especificidad de hábitat alta fueron aquellas incluidas dentro del 25% de la distribución de frecuencias, es decir, aquellas que fueron registradas en un bajo número de hábitats (tipos de vegetación), mientras que las demás especies tenían especificidad de hábitat baja, puesto que podían ser halladas en un mayor número de hábitats.

La distribución potencial de aquellas especies que tenían registros suficientes (2 registros como mínimo) se modeló empleando el método DOMAIN [51]. Para incluir variables discretas en el modelo se utilizó la aplicación BIOMAIN, que convierte la escala categórica a una escala ordinal [52]. El método DOMAIN, ha tenido buen desempeño con un número reducido de registros y ha sido utilizado con éxito para modelar la distribución potencial de las especies endémicas de la península [53], además de la distribución de especies con rangos de distribución restringidos [54-56]. Para estimar la distribución potencial se utilizó el conjunto de mapas ambientales proporcionados por García y Secaira [43], con información del tipo de suelo, geología, geomorfología, precipitación total anual, temperatura promedio mensual, altitud y tipo de vegetación. Todos estos mapas están a una escala 1:250,000. Los modelos de distribución potencial obtenidos en DOMAIN, fueron proyectados en mapas digitales utilizando un umbral de 0.95 de similitud mediante el programa ArcGis 9. Las distribuciones potenciales obtenidas se validaron calculando el porcentaje de coincidencia entre el área de distribución potencial modelada a partir de los registros del herbario CICY y los registros de presencia de 10 especies registradas en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos [49]. A partir de los mapas de distribución potencial obtenidos se calculó la superficie que cada especie ocupó en el área de estudio. Finalmente, se consideró que las especies con rangos de distribución restringida fueron las que se encontraban en el primer cuartil de distribución de frecuencias de la superficie potencial ocupada por cada especie, es decir el 25% de las especies que ocuparon la menor área. El resto de las especies tuvieron rangos de distribución geográfica amplia.

#### *Asignación del nivel de rareza*

Mediante la combinación de los tres criterios de rareza descritos, se distinguieron tres niveles de rareza. Las especies que cumplían con los tres criterios de rareza fueron clasificadas en el nivel de rareza alto, mientras que aquellas que tenían dos y un criterios de rareza fueron clasificadas en los niveles de rareza medio y bajo, respectivamente.

#### *Distribución espacial de la riqueza de especies leñosas raras*

Para identificar las regiones de mayor riqueza de especies leñosas raras, se sobrepusieron y sumaron los mapas de distribución potencial de cada una las especies después de considerar el punto de corte de 0.95. De este modo se identificaron regiones de mayor riqueza de todas las especies y por cada nivel de rareza. Las regiones fueron conformadas seleccionando un conjunto

de píxeles adyacentes de al menos 10,000 hectáreas con el mayor número de especies leñosas raras. La selección de la extensión se hizo de manera arbitraria, procurando abarcar una extensión mínima suficientemente grande para ser cartografiada a la escala de este estudio (basado en cartografía a escala 1:250,000). Usando el listado florístico de la Península de Yucatán [11], se indagó cuáles de las especies leñosas modeladas en este estudio eran endémicas de la península o de alguno de los estados mexicanos que la conforman. Finalmente, se identificó cuáles de estas especies presentan alguna categoría de riesgo en la NOM 059 [57] y en la lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [58].

### *Análisis estadísticos*

Para explorar la relación entre la riqueza de ELR y las ANP de la península se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple. Las variables dependientes fueron la riqueza de todas las ELR y por nivel de rareza dentro de cada ANP, mientras que las variables explicativas fueron la superficie y la heterogeneidad de hábitats de las ANP. Esta última variable fue calculada como el número de tipos de selva presente dentro de cada ANP [43]. Las variables dependientes fueron transformadas usando una función logaritmo para cumplir con el supuesto de normalidad cuando fue necesario [59]. Finalmente, para calcular la importancia relativa de cada una de las variables explicativas (área y heterogeneidad de hábitats de las ANP) sobre la riqueza de ELR, se realizaron correlaciones parciales múltiples [59].

## Resultados

### *Especies leñosas raras y niveles de rareza*

Se distinguieron 195 especies leñosas raras (97 árboles, 70 arbustos, 24 lianas y 4 arbustos trepadores) de las selvas tropicales de la Península de Yucatán, con 11 especies endémicas y 4 bajo alguna categoría de riesgo (Anexo 1) [11, 57, 58]. De estas especies, 65 tenían un registro único, por lo que fue imposible modelar su distribución potencial con DOMAIN, aparte de que no fue posible clasificarlas en niveles de rareza debido a la falta de información disponible. Las 130 especies restantes (71 árboles, 41 arbustos, 15 lianas y 3 arbustos trepadores) fueron clasificadas en tres niveles de rareza (Anexo 1, Tabla 2). De estas 130 especies, 34 también fueron registradas en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos en la Península de Yucatán y se obtuvo una correlación de Pearson de  $R = 0.624$  ( $P < 0.0001$ ) entre el número de registros en el herbario CICY y el número de muestras del inventario en las que fueron registradas. Por otro lado, el 70% de las observaciones de 10 especies registradas en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos coincidieron con las áreas de distribución potencial modeladas a partir de registros del herbario CICY.

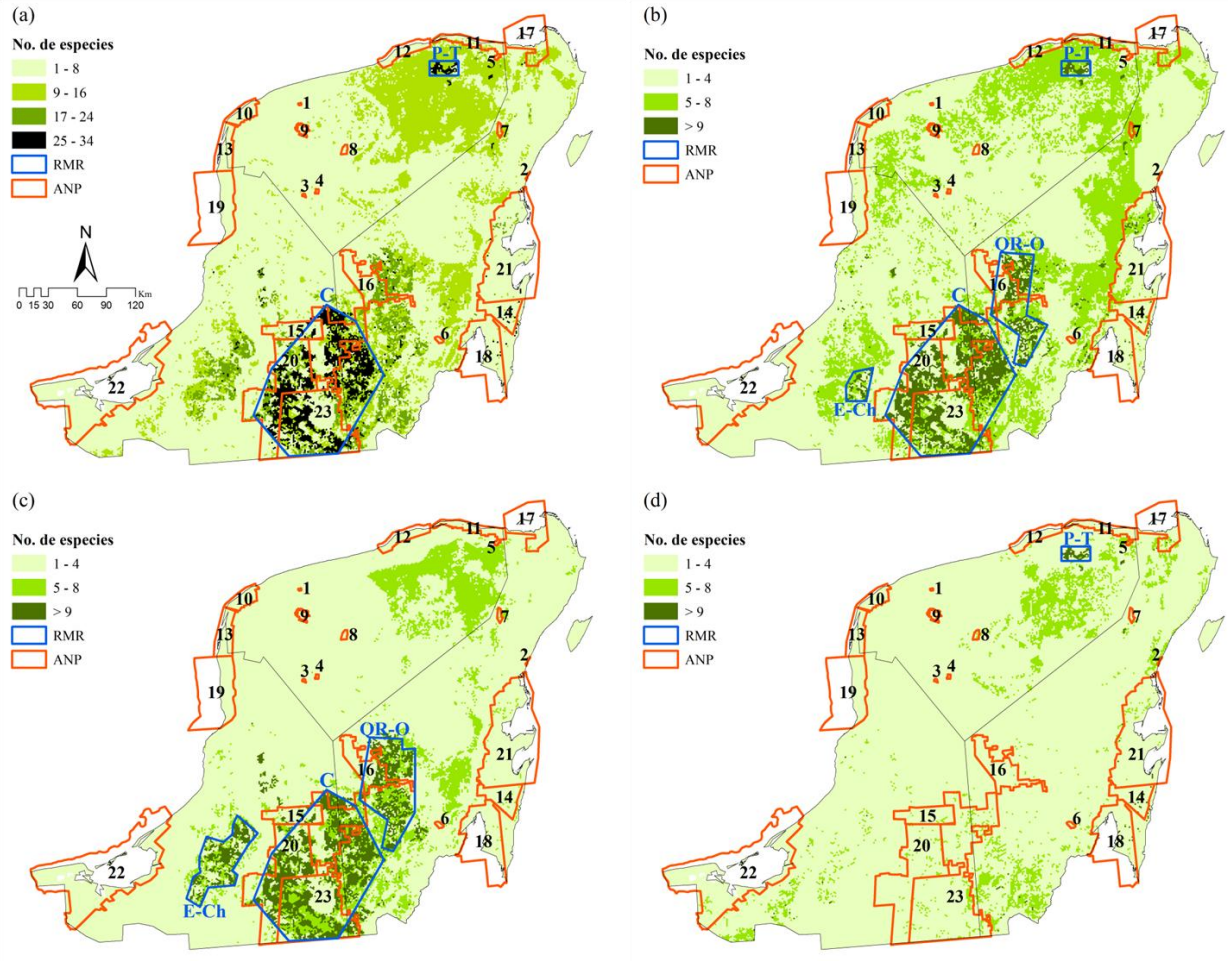
Tabla 2. Criterios y niveles de rareza

Frecuencia	Especificidad	Distribución	Nivel de rareza	No. Spp
<b>Baja (&lt; 5 registros)</b>	Baja (3 - 6 tipos hábitat)	Amplia (> 9886.25 km <sup>2</sup> )	Bajo	18
<b>Baja (&lt; 5 registros)</b>	<b>Alta (1 - 2 tipos hábitat)</b>	Amplia (> 9886.25 km <sup>2</sup> )	Medio	16
<b>Baja (&lt; 5 registros)</b>	Baja (3 - 6 tipos hábitat)	<b>Restringida (&lt; 9886.25 km<sup>2</sup>)</b>	Medio	17
<b>Baja (&lt; 5 registros)</b>	<b>Alta (1 - 2 tipos hábitat)</b>	<b>Restringida (&lt; 9886.25 km<sup>2</sup>)</b>	Alto	79

Nota. En negritas se resalta el número de criterios que conformaron cada nivel de rareza.

*Regiones de mayor riqueza de especies leñosas raras*

Se obtuvieron 4 mapas de la distribución espacial de la riqueza de ELR. El primer mapa representa la distribución de la riqueza de todas las ELR, mientras que los 3 restantes muestran la riqueza de las especies del nivel bajo, medio y alto de rareza (Fig. 2a, b, c, d). Cuatro áreas cubrieron los criterios (conjunto de píxeles adyacentes con la mayor riqueza de especies >10,000 ha) para ser seleccionadas como Regiones de Mayor Riqueza de especies leñosas raras (RMR): Calakmul (C), Escárcega-Champotón (E-Ch), Quintana Roo-Oeste (QR-O) y Panabá-Tizimín (P-T).



**Fig. 2.** Distribución espacial de la riqueza de especies leñosas raras y las ANP de la Península de Yucatán. (a) Todas las especies, (b) nivel bajo, (c) nivel medio, (d) nivel alto. Regiones de mayor riqueza (RMR): (C) Calakmul, (E-Ch) Escarcega-Champotón, (QR-O) Quintana Roo-Oeste, (P-T) Panabá-Tizimín. Los números dentro de cada ANP representan el identificador de su nombre que corresponden con el orden en que se presentan las ANP en la Tabla 1.



La región C, ubicada en el sureste de Campeche, fue la más importante en cuanto a superficie (582,516 y 597,699 ha para los niveles de rareza bajo y medio respectivamente), abarcando el municipio de Calakmul en su totalidad y parte de otros municipios en Campeche y Quintana Roo. Esta región se ubicó en la porción más húmeda y de mayor altitud de la península, con suelos autóctonos y profundos de relieves ondulados y con ligera inclinación, formados por valles y colinas sobre calizas, donde se desarrollan 5 tipos de selvas tropicales (SAP, SASP, SBC, SBI, SMSP). Las reservas Calakmul, Balam-Kú y Balam-Kin, cubren casi totalmente la región C (Fig. 2). La región QR-O (149,475 y 191,545 ha para los niveles de rareza bajo y medio respectivamente) se caracterizó por una confluencia de selvas altas, medianas e inundables, con clima cálido subhúmedo y lluvias en verano. La porción centro de esta región se ubicó dentro de la reserva de Bala'an K'aax, mientras que las partes norte y sur se localizan fuera de las ANP, pero colindando con la Reserva de la Biosfera de Calakmul y el Área de protección de Flora y Fauna de Bala'an K'aax (Fig. 2b). En el centro del estado de Campeche se localizó la región E-Ch (21,525 y 108,830 ha para los niveles de rareza bajo y medio respectivamente), con clima cálido subhúmedo y una vegetación compuesta principalmente por selvas altas, medianas e inundables. Aunque esta región se ubicó entre importantes reservas de la península (Laguna de Términos y Balam-Kin y Balam-Kú), está totalmente fuera de las ANP (Fig. 2b, c). La región P-T (18,726 y 17,976 ha para los niveles de rareza bajo y alto respectivamente) está ubicada entre los municipios Panabá y Tizimin, en el noreste del estado de Yucatán, donde la precipitación es más baja que en el sur y los suelos son poco evolucionados, formados sobre roca caliza. La vegetación de P-T está representada por un mosaico de SMSB y SMSC con vegetación secundaria y cultivos anuales, esta región no abarca ninguna de las ANP evaluadas (Fig. 2d).

#### *Niveles de rareza*

Las regiones de mayor riqueza de especies variaron de acuerdo al nivel de rareza (Fig. 2). Al definir dichas regiones usando todo el conjunto de especies leñosas raras, los resultados sugirieron la existencia de sólo 2 regiones (C, P-T). Sin embargo, al separar a las especies por nivel de rareza, se identificaron 4 regiones para las especies del nivel de rareza bajo, 3 regiones (C, E-Ch, QR-O) para especies del nivel medio y sólo una región (P-T) para las especies extremadamente raras (nivel alto). Cabe resaltar que esta última región no contiene ninguna de las ANP evaluadas. Entre las especies del nivel de rareza bajo, se espera que *Tabebuia chrysantha*, que es un árbol de amplia distribución y que actualmente se encuentra bajo la categoría de amenazado en la NOM 059, se encuentre en las 4 regiones. *Bonellia albiflora* podría encontrarse en 3 regiones (C, E-Ch, QR-O) y *Pilosocereus gaumeri* sólo en la región P-T; ambas especies son árboles endémicos de la porción mexicana de la Península de Yucatán. Entre las especies del nivel de rareza medio destacan *Croton mayarum*, que es un árbol endémico de la porción mexicana de la Península de Yucatán y *Agonandra macrocarpa* (árbol), siendo ambas especies vulnerables a la extinción. Entre las especies más raras (nivel alto), destacan *Acacia cedilloi* y *Citharexylum calvum*, ambas endémicas de la península (Anexo 1).

#### *Riqueza de especies leñosas raras y las Áreas Naturales Protegidas*

Se encontraron asociaciones significativas entre la riqueza de ELR y el área de las ANP. Ésta y la heterogeneidad de hábitats en conjunto explicaron entre el 59 y 80% de la variación total de la riqueza de especies leñosas raras (Tabla 3).

El área de las ANP se relacionó de manera positiva con la riqueza de especies raras total y en cada uno de los niveles de rareza. Esto significa que existe un incremento en el número de ELR

conforme aumenta la superficie de las ANP. Además, el área de las ANP fue la variable que explicó el mayor porcentaje de variabilidad en el número de especies raras con 59, 69, 46 y 57%, respectivamente para la riqueza total de especies raras de los niveles de rareza bajo, medio y alto. La heterogeneidad del hábitat se asoció sólo de manera marginal y negativa con el número de ELR del nivel bajo ( $P < 0.1$ ), pero explicó un bajo porcentaje de la variabilidad (4%). Para todas las especies raras y los niveles medio y bajo de rareza, la heterogeneidad del hábitat no presentó una asociación significativa.

Tabla 3. Coeficientes de regresión no estandarizados para predecir la relación especies-área y la heterogeneidad de acuerdo a la riqueza de hábitats.

Riqueza de especies leñosas raras	Variable Explicativa	Coeficiente		
		no estandarizado	Sr <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
Todas las especies	Superficie de selvas en ANP	9.16*	0.59	<b>0.71</b>
	Riqueza de hábitats	-1.92	0.02	
	<b>Variabilidad compartida</b>		<b>0.10</b>	
Nivel bajo	Superficie de selvas en ANP	2.49*	0.69	<b>0.80</b>
	Riqueza de hábitats	-0.62**	0.04	
	<b>Variabilidad compartida</b>		<b>0.07</b>	
Nivel medio	Superficie de selvas en ANP	2.90*	0.46	<b>0.59</b>
	Riqueza de hábitats	-0.44	0.01	
	<b>Variabilidad compartida</b>		<b>0.12</b>	
Nivel alto	Superficie de selvas en ANP	3.76*	0.57	<b>0.68</b>
	Riqueza de hábitats	-0.86	0.02	
	<b>Variabilidad compartida</b>		<b>0.09</b>	

\* Variables incluidas en el modelo con  $P < 0.05$ ; \*\* Variables incluidas en el modelo con  $P < 0.1$

## Discusión

Este estudio propone un nuevo método para establecer áreas prioritarias para la conservación en función de los niveles de rareza de las especies. Aunque no se evaluó detalladamente el nivel de incertidumbre de este método, la correlación positiva y altamente significativa encontrada entre la frecuencia de registros de herbario y la presencia de 34 especies en más de 3,000 muestras del Inventario Nacional Forestal y de Suelos de la Península de Yucatán, así como la precisión estimada en la validación parcial de la modelación de la distribución potencial de 10 especies con datos del mismo inventario sugieren que el método propuesto proporciona una aproximación aceptable, especialmente si se consideran los errores y problemas de identificación de un inventario a nivel nacional, enfocado además principalmente en especies arbóreas.

### *Patrones de distribución de las especies raras*

El número de regiones de mayor riqueza de ELR disminuyó conforme el nivel de rareza aumentó (Fig. 2). Este patrón podría ser explicado por las diferencias en cuanto a los rangos de distribución y la especificidad de hábitat de las especies que conforman cada nivel de rareza. En este estudio, los rangos geográficos y ecológicos más amplios correspondieron a las especies menos raras (nivel

bajo), lo que favorece la presencia de estas especies en toda la península y, en particular, en las 4 regiones de mayor riqueza de ELR. Una situación inversa acontece con las especies más raras (nivel alto), que presentaron las distribuciones geográficas y ecológicas más estrechas. De acuerdo con Gaston [1], las especies con rangos geográficos restringidos suelen presentar limitaciones en su capacidad de dispersión, establecimiento y/o tolerancia. Para las especies del nivel de rareza alto, estas limitaciones podrían resultar en distribuciones agregadas, restringidas y dispersas en la península, por lo que sería más difícil que sus distribuciones coincidan en una misma región mayor a 10,000 ha.

Tres de las 4 regiones de mayor riqueza de ELR (C, E-Ch, QR-O), se ubicaron geográficamente en el Sur, donde se alcanzan las precipitaciones más elevadas de la península. Este resultado sugiere que la riqueza de especies raras está positivamente asociada con la precipitación [1, 60-62]. En este sentido, se sabe que los patrones de distribución de la vegetación en general están determinados por la precipitación y el tipo de suelo en la península y que la diversidad florística total tiende a incrementar junto con el gradiente de precipitación de noroeste a sureste, por lo que cabe esperar que suceda lo mismo con la diversidad de especies leñosas raras [16, 22]. Adicionalmente, el mayor número de regiones de especies raras en el sur de la península podría ser un indicador del buen estado de conservación de las selvas que allí se ubican, esto debido a que en esta región converge un importante sistema de reservas (Fig. 2).

Por otro lado, la región P-T corresponde fisiográficamente a la denominada Provincia Biótica Yucatanense [63], donde el clima es más seco comparado con la Provincia del Petén [64]. Algunas de las especies de esta región, como *Stenostomum lucidum* y *Citharexylum calvum* pueden hallarse en la SMSC y SMSP del noreste de Quintana Roo, mientras que *Mimosa guatemalensis* puede ser hallada en la SBC de Yucatán. El traslape de la distribución de estas especies en P-T, sugiere que esta región podría representar uno de los pocos sitios en el norte de la península, cuyas características ambientales favorecen la presencia de especies de ambientes más húmedos.

#### *Relación entre las ANP y las especies raras*

La riqueza de ELR se relacionó positivamente con la superficie de las reservas, en concordancia con la conocida relación positiva entre la diversidad y el área [65]. Esta asociación podría atribuirse a una mayor disponibilidad de recursos, mayor heterogeneidad ambiental y por lo tanto una mayor diversidad de hábitats en áreas más grandes, lo cual favorece la co-existencia de un mayor número de especies [66, 67]. Aunque la heterogeneidad no explicó la riqueza de especies raras, esto podría deberse a la manera limitada como se definió la heterogeneidad en este estudio, la cual no considera variables relevantes, tales como el tipo de suelo o la estructura del paisaje.

Otras variables que podrían influir sobre la riqueza de ELR además del área, son el grado de aislamiento y la distancia entre las ANP. De esta manera, el número de especies en cada reserva podría ser resultado de un equilibrio dinámico entre la tasa de inmigración y de extinción local, esperando encontrar una mayor diversidad de especies en ANP grandes y cercanas entre sí, que en ANP pequeñas y alejadas, como postula la teoría de equilibrio de biogeografía de islas [68]. Sin embargo, en algunos casos esta relación también está sujeta al grado de contraste entre las ANP y la matriz circundante. En este sentido, Calakmul y Balam-Kú, que son reservas grandes y espacialmente adyacentes, presentaron valores de riqueza altos y similares, al igual que las reservas Balam-Kin y Bala'an K'aax. Sin embargo, El Santuario del Manatí y Bala'an K'aax, que son reservas con superficies similares pero lejanas entre sí, el número de especies es similar, lo que podría deberse a que la matriz circundante no es muy contrastante. De este modo, la riqueza de

ELR en estas reservas, podría ser explicada por el efecto que tiene la matriz que las rodea, la cual forma una importante unidad forestal en el Sur de Campeche y Quintana Roo, que se extiende hacia el Petén Guatemalteco y Belice. Adicionalmente, los patrones de distribución encontrados sugieren que la riqueza de especies está espacialmente estructurada, esto probablemente a que las especies responden a factores ambientales que se encuentran autocorrelacionados, dado que existe cierta similitud ambiental en las áreas donde se ubican estas ANP [30].

Por otro lado y contrario a la hipótesis general de que mayor heterogeneidad permite la coexistencia de un mayor número de especies [69, 70], en este estudio no se encontró una relación significativa entre la riqueza de ELR y la heterogeneidad del hábitat. Este resultado inesperado podría ser atribuido en parte a que la heterogeneidad del hábitat se midió considerando exclusivamente el número de selvas (riqueza de tipos de parches), sin tomar en cuenta otras características de la estructura del paisaje, que se han asociado con la riqueza de especies vegetales en general [72]. Por otro lado, la diversidad tiende a decaer en las áreas sujetas a perturbaciones frecuentes o de gran magnitud, puesto que en estas áreas sólo podrán establecerse las especies capaces de soportar la perturbación o de colonizar, madurar y reproducirse antes de que ocurra la siguiente perturbación [71]. La débil relación negativa encontrada entre la heterogeneidad y la riqueza de especies con nivel de rareza bajo, podría deberse en parte a la frecuencia y magnitud de las perturbaciones a las cuales están sujetas las diferentes ANP.

Por otro lado, las regiones E-Ch y P-T carecen de ANP establecidas, mientras que la región QR-O está protegida sólo parcialmente (Fig. 2). De acuerdo a la definición de rareza de este estudio, la región P-T podría albergar una alta riqueza de las especies leñosas más raras (nivel alto) de la península; mientras que las regiones E-Ch y QR-O, tienen el potencial de albergar especies relativamente menos raras (niveles bajo y medio). Considerando que las especies poco frecuentes, de distribución restringida y con alta especificidad de hábitat presentan una alta vulnerabilidad a la extinción por la fragmentación y la pérdida de hábitat [50, 73], la región P-T debería tener una alta prioridad para la conservación, dado que además se encuentra en una zona sujeta a una alta presión agrícola.

### **Implicaciones para la conservación**

Los resultados de este estudio indican que Calakmul, Balam-Kú, Balam-Kin y Bala'an K'aax, representan un importante sistema de reservas para la protección de las ELR de las selvas tropicales de la Península de Yucatán. Sin embargo, algunas reservas ubicadas en la línea de costa también podrían mantener altos porcentajes de ELR, lo cual resalta su importancia para la protección de estas especies, en especial de aquellas con nivel de rareza bajo. Tal es el caso de Sian Ka'an (78%), Uaymil (61%), Santuario del Manatí (78%) y Yum-Balam (61%). Las reservas de Calakmul, Balam-Kú, Balam-Kin, Bala'an K'aax, Santuario el Manatí, además de Uaymil y Sian Ka'an, forman un corredor que conecta a la biota con el sistema de reservas naturales de la denominada Selva Maya en Guatemala y Belice, manteniendo una continuidad forestal entre las selvas peninsulares y las de otras regiones [30]. Por lo tanto, estas reservas podrían ser consideradas como un elemento importante para la conservación de las selvas tropicales en el área de estudio y las ELR que éstas albergan [30].

Las asociaciones positivas entre la riqueza de ELR y la superficie de las ANP encontradas en los modelos de regresión, sugieren que se requieren superficies muy grandes para proteger niveles altos de riqueza local de ELR (diversidad alfa). Además, se requiere un diseño y un manejo integrado del sistema de ANP para mantener una alta diversidad regional (gamma). Por ello, es

necesario evaluar la eficacia del sistema de reservas analizadas no sólo en términos de la diversidad local y regional, sino de otros factores, como su representatividad y complementariedad, así como su adecuado manejo y la participación del sector social en su protección [30]. Finalmente, estos resultados representan una aproximación valiosa para tratar de entender los patrones de distribución de la riqueza de especies con diferentes niveles de rareza y su asociación con las ANP. Estos resultados además sugieren que las áreas naturales actuales podrían estar preservando la riqueza de ELR del nivel bajo y medio de rareza, pero no la riqueza de las especies más raras. En este sentido resulta prioritario el establecimiento de ANP en la región P-T, en donde podría concentrarse la más alta riqueza de estas especies, que son justamente las más vulnerables a la extinción local como resultado de la pérdida, degradación y fragmentación del hábitat asociadas a las actividades humanas.

### Agradecimientos

Agradecemos a Paulino Simá, Filogonío May Pat, José Luis Tapia Muñoz, Jorge Carlos Trejo, Germán Carnevali y Rodrigo Duno de Stefano, quienes con su amplio conocimiento y experiencia, así como con sus atinadas observaciones, facilitaron la identificación de las especies evaluadas y su correcta nomenclatura. A Gerardo García Contreras por su apoyo en la elaboración de los modelos de distribución potencial. A Paul Hoekstra por sus atinadas observaciones en la nomenclatura de los ejemplares y otras observaciones. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca proporcionada a ETR. Finalmente a tres revisores anónimos por sus atinadas observaciones, las cuales contribuyeron a mejorar la claridad y calidad del manuscrito.

### Referencias

- [1] Gaston, K.J. 1994. *Rarity*. Vol. 13. Chapman and Hall, London, UK.
- [2] Harper, J.L. 1981. The meanings of rarity. In: *The biological aspects of rare plant conservation*. Synge, H. (Ed.), pp.189-203. John Wiley & Sons, New York.
- [3] Rabinowitz, D. 1981. Seven forms of rarity. In: *The biological aspects of rare plant conservation*. Synge, H. (Ed.), pp.205-217. John Wiley & Sons.
- [4] Goerck, J.M. 1997. Patterns of rarity in the birds of the Atlantic forest of Brazil. *Conservation Biology* 11:112-118.
- [5] Manne, L.L. and Pimm, S.L. 2001. Beyond eight forms of rarity: which species are threatened and which will be next? *Animal Conservation* 4:221-229.
- [6] Kershaw, M., Mace, G.M. and Williams, P. 1995. Threatened status, rarity, and diversity as alternative selection measures for protected areas: a test using Afrotropical antelopes. *Conservation Biology* 9:324-334.
- [7] Jackson, S.F., Walker, K. and Gaston, K.J. 2009. Relationship between distributions of threatened plants and protected areas in Britain. *Biological Conservation* 142:1515-1522.
- [8] Lawler, J.J., White, D., Sifneos, J.C. and Master, L.L. 2003. Rare species and the use of indicator groups for conservation planning. *Conservation Biology* 17:875-882.
- [9] Primack, R.B. and Ros, J. 2002. *Introducción a la biología de la conservación*. Editorial Ariel, Barcelona, España.
- [10] Durán, G.R., Campos, G., Trejo, J., Simá, P., May-Pat, F. and Juan-Qui, M. 2000. *Listado florístico de la Península de Yucatán*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán.

- [11] Flora digital de la Península de Yucatán. 2010. *2011 Información del herbario del CICY*. <http://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/>
- [12] Ibarra-Manríquez, G., Villaseñor, J.L. and Durán, G.R. 1995. Riqueza de especies y endemismo del componente arbóreo de la Península de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 57:49-77.
- [13] Carnevali, G., Tapia-Muñoz, J.L., Duno de Stefano, R. and Ramírez Morillo, I. 2010. *Flora Ilustrada de la Península de Yucatán: Listado Florístico*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, México.
- [14] Martínez, E., Sousa, M.S. and Ramos, A.C.H. 2001. *Listados florísticos de México XXII. Región de Calakmul, Campeche*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.
- [15] Durán, G.R. and Trejo, J. 2010. Plantas vasculares prioritarias para la conservación. In: *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. Durán, G.R. and Méndez, M. (Eds.), pp.194-196. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, Mérida, Yucatán.
- [16] Carnevali, G., Duno de Stefano, R., Ramírez Morillo, I. and Tapía-Muñoz, J.L. 2010. Diversidad de la flora. In: *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. Durán, R. and Méndez, M. (Eds.), pp.175-178. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, Mérida, Yucatán.
- [17] Bautista, F., Palacio, G., Ortíz-Pérez, M., Batllori-Sampedro, E. and Castillo-González, M. 2005. El origen y el manejo maya de las geoformas, suelos y aguas en la Península de Yucatán. In: *Caracterización y manejo de suelos en la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. Bautista, F. and Palacio, G. (Eds.), pp.21-32. UACAM-UADY-INE, DF, México.
- [18] Ferrusquia-Villafranca, I. 1993. Geology of Mexico: a synopsis. In: *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. and Fa, J. (Eds.), pp.107. Oxford University Press.
- [19] Flores, J.S. and Espejel, I.C. 1994. *Tipos de Vegetación en la Península de Yucatán*. Etnoflora Yucatanense, fascículo 3. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Mexico.
- [20] Olmsted, I., Duran, G.R., González-Iturbe, J.A., Granados, J. and Tun, F. 1999. Vegetación. In: *Atlas de procesos territoriales de Yucatán*. García, A. and Córdoba, J. (Eds.). Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México.
- [21] Flores, J.S., Durán, G.R. and Ortiz, D.J.J. 2010. Comunidades vegetales terrestres. In: *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. Durán, G.R. and Méndez, M. (Eds.), pp.125-129. Centro de Investigación Científica de Yucatán, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, Yucatán, México.
- [22] Miranda, F. 1978. *Vegetación de la península yucateca*. Colegio de Post Graduados, Chapingo, México.
- [23] Durán, R. 1987. Descripción y análisis de la estructura y composición de la vegetación de los petenes del noroeste de Campeche, México. *Biótica* 12:181-198.
- [24] Instituto Nacional de Ecología (INE). 1995. *Reservas de la Biósfera y otras áreas naturales protegidas de México*.
- [25] Instituto Nacional de Ecología (INE). 1997. *Programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.*, México, D. F.
- [26] Instituto Nacional de Ecología (INE). 1996. *Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Ría Celestún.*, D. F., México.
- [27] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2007. *Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biósfera Sian Ka'an, Reserva de la Biósfera Arrecifes de Sian Ka'an y Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil.*, México.

- [28] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2007. *Programa de Conservación y Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Bala'An K'Aax.*, México.
- [29] Instituto Nacional de Ecología (INE). 2000. *Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera de Calakmul.* D.F., México.
- [30] Secretaría de Ecología. 2009. *Programa de conservación y manejo de la zona sujeta a conservación ecológica Balam-Kin.* Gobierno del Estado de Yucatán.
- [31] Secretaría de Ecología. 2009. *Programa de conservación y manejo de la zona sujeta a conservación ecológica Balam-Kú.* Gobierno del Estado de Yucatán.
- [32] Diario Oficial del Estado de Yucatán. 2007. *El Área Protegida denominada Parque Estatal de Kabah, México.*, Gobierno del Estado de Yucatán. p. 33.
- [33] Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA). 2002. *Dirección de Conservación de la Biodiversidad. Parque Nacional Dzibilchaltún. Ficha Técnica.* Gobierno del Estado de Yucatán.
- [34] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2006. *Programa de Conservación y Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Otoch Ma'ax Yetel Kooh.* México.
- [35] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2006. *Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biósfera los Petenes.* México.
- [36] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2007. *Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Tulum.*, México.
- [37] Echeverría, G.A.W. and Piña, H.G.A. 2003. *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*, Gland, S., Editor.
- [38] Faller-Menéndez, J.C. 2007. El Área Natural Protegida el Zapotal Conservación Privada en Yucatán. *BIODIVERSITAS. Boletín Bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad* 75:1-7.
- [39] Hernández-Cardona, A., Lago-Torres, L.A., Ibarra-González, L., Faller-Menéndez, J.C. and Pereyra-Arellano, Y.Y. 2007. Registro del Tlacuachín (*Tlacuatzin canescens*) En el área de conservación El Zapotal, en el noreste del estado de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología* 11:85-90.
- [40] Secretaría de Ecología. 2004. *Programa de manejo Área Natural Protegida de valor escénico, histórico y cultural San Juan Bautista Tabi y anexa Sacnicté.* Gobierno del Estado de Yucatán.
- [41] Secretaría de Ecología. 2004. *Programa de Manejo Área Natural Protegida Parque Estatal Lagunas de Yalahau.* Gobierno del Estado de Yucatán.
- [42] Secretaría de Ecología. 2006. *Programa de Manejo Reserva Estatal de Dzilam.* Gobierno del Estado de Yucatán.
- [43] García, G. and Secaira, F. 2006. *Una visión para el futuro: Cartografía de las Selvas Maya Zoque y Olmeca: Plan Ecorregional de las selvas Maya, Zoque y Olmeca.* San José, CR Pronatura Península de Yucatán-The Nature Conservancy.
- [44] Carnevali, G. 2004. Herbario CICY U Najil Tikin Xiw. In: *Colecciones Biológicas.* Carnevali, G., Sosa, V., León, G.L. and Cortés, J.L. (Eds.), pp.38-39. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), D.F., México.
- [45] TROPICOS. 2009. *2011 Missouri Botanical Garden.* <http://www.tropicos.org>
- [46] Edwards Jr, T.C., Cutler, D.R., Zimmermann, N.E., Geiser, L. and Alegria, J. 2005. Model-based stratifications for enhancing the detection of rare ecological events. *Ecology* 86:1081-1090.
- [47] MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Sutton, N., Kawanishi, K. and Bailey, L.L. 2005. Improving inferences in population studies of rare species that are detected imperfectly. *Ecology* 86:1101-1113.

- [48] Philippi, T. 2005. Adaptive cluster sampling for estimation of abundances within local populations of low-abundance plants. *Ecology* 86:1091-1100.
- [49] Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2009. *El Inventario Nacional Forestal y de Suelos México 2004-2009*. Una herramienta que da certeza a la planeación, evaluación y el desarrollo forestal de México, México.
- [50] Caiafa, A.N. and Martins, F.R. 2010. Forms of rarity of tree species in the southern Brazilian Atlantic rainforest. *Biodiversity and conservation* 19:2597-2618.
- [51] Carpenter, G., Gillison, A. and Winter, J. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and conservation* 2:667-680.
- [52] Argáez S.J. A 1996. *Mapeo de distribuciones potenciales de plantas y animales*. Facultad de Matemáticas. Maestría. Guanajuato: Universidad de Guanajuato. 55.
- [53] Espadas-Manrique, C.M. 2004. *Estudio fitogeográfico de las especies endémicas de la península de Yucatán*. Tesis doctorado. Mérida, México: Centro de Investigación Científica de Yucatán. 155.
- [54] Hernandez, P.A., Graham, C.H., Master, L.L. and Albert, D.L. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29:773-785.
- [55] Naoki, K., Gómez, M.I., López, R.P., Meneses, I.R. and Vargas, J. 2006. Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia* 41:65-78.
- [56] Tsoar, A., Allouche, O., Steinitz, O., Rotem, D. and Kadmon, R. 2007. A comparative evaluation of presence-only methods for modelling species distribution. *Diversity and Distributions* 13:397-405.
- [57] Diario Oficial de la Federación. 2010. *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. México.
- [58] IUCN. 2010. *2012 IUCN Red List of Threatened Species*. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)
- [59] Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Vol. 4. Prentice Hall, New Jersey.
- [60] Begon, M., Townsend, C.R. and Harper, J.L. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Wiley-Blackwell.
- [61] Mittelbach, G.G., Steiner, C.F., Scheiner, S.M., Gross, K.L., Reynolds, H.L., Waide, R.B., Willig, M.R., Dodson, S.I. and Gough, L. 2001. What is the observed relationship between species richness and productivity? *Ecology* 82:2381-2396.
- [62] O'Brien, E. 1998. Water-energy dynamics, climate, and prediction of woody plant species richness: an interim general model. *Journal of Biogeography* 25:379-398.
- [63] Miranda, F. 1958. Rasgos fisiográficos de la península de Yucatán. In: *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*. Beltrán, E. (Ed.), pp.161-171. Instituto mexicano de recursos naturales no renovables, D.F., México.
- [64] Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México.
- [65] Rosenzweig, M.L. 1995. *Species diversity in space and time*. Cambridge Univ Pr, Cambridge, Reino Unido.
- [66] Connor, E.F. and McCoy, E.D. 1979. The statistics and biology of the species-area relationship. *The American Naturalist* 113:791-833.
- [67] Williams, C.B. 1943. Area and number of species. *Nature* 152:264-267.
- [68] MacArthur, R.H. and Wilson, E.O. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton Univ Pr.
- [69] Huggett, R.J. 1995. *Geoecology: an evolutionary approach*. Psychology Press, New York.



- [70] Wilson, S. 2000. *Heterogeneity, diversity and scale in plant communities*. The ecological consequences of environmental heterogeneity, (ed.) Hutchings, M.J., John, E.A. and Stewart, A.J.A. Blackwell Science, Oxford.
- [71] Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199:1302-1310.
- [72] Hernández-Stefanoni, J.L., Dupuy, J.M., Tun-Dzul, F. and May-Pat, F. 2011. Influence of landscape structure and stand age on species density and biomass of a tropical dry forest across spatial scales. *Landscape Ecology* 26:355-370.
- [73] Williams, P., Gibbons, D., Margules, C., Rebelo, A., Humphries, C. and Pressey, R. 1996. A comparison of richness hotspots, rarity hotspots, and complementary areas for conserving diversity of British birds. *Conservation Biology* 10:155-174.

Anexo I. Plantas leñosas raras de las selvas tropicales de la Península de Yucatán. Incluye las formas de crecimiento (Crec): (A) árbol, (a) arbusto, (l) liana, (at) arbusto trepador, (ct) cacto trepador. Categorías de riesgo, endemismo y rareza (Cat): (\*) vulnerable, (\*\*) amenazada, (\*\*\*) en peligro de extinción, (E) endémica, nivel de rareza (B) bajo, (M) medio, (A) alto, (D) desconocido.

Familia, género y especie	Crec.	Cat.	Familia, género y especie	Crec.	Cat.
<b>Anacardiaceae</b>			<i>Crossopetalum parviflorum</i> (Hemsl.) Lundell.	a	M
<i>Spondias radlkoferi</i> Donn. Sm.	A	D	<i>Elaeodendron trichotomum</i> (Turcz.) Lundell.	A	M
<b>Apocynaceae</b>			<i>Hippocratea volubilis</i> L.	l	A
<i>Aspidosperma megalocarpon</i> Müll. Arg.	A	D	<i>Maytenus schippii</i> Lundell.	A	A
<b>Araliaceae</b>			<i>Schaefferia frutescens</i> Jacq.	at	A
<i>Dendropanax schippii</i> (A. C. Sm.) A. C. Sm.	a	A	<b>Clusiaceae</b>		
<b>Areaceae</b>			<i>Clusia chaneikiana</i> Lundell.	A	D
<i>Bactris mexicana</i> Mart.	A	D	<i>Clusia rosea</i> Jacq.	A	M
<i>Roystonea dunlapiana</i> P. H. Allen	A	D	<b>Combretaceae</b>		
<b>Asteraceae</b>			<i>Combretum laxum</i> Jacq.	l	D
<i>Chromolaena laevigata</i> (Lam.) R. M. King & H. Rob	a	D	<i>Terminalia amazonia</i> (J. F. Gmel.) Exell.	A	A
<i>Critonia morifolia</i> (Mill.) R. M. King & H. Rob	a	A	<i>Terminalia molinetii</i> M. Gómez.	A	A
<i>Lepidaploa canescens</i> (Kunth) H. Rob.	a	B	<b>Dilleniaceae</b>		
<i>Lepidaploa tortuosa</i> (L.) H. Rob.	at	D	<i>Curatella americana</i> L.	A	M
<i>Salmea scandens</i> (L.) DC.	a	A	<b>Dioscoreaceae</b>		
<b>Bignoniaceae</b>			<i>Dioscorea densiflora</i> Hemsl.	l	M
<i>Arrabidaea patellifera</i> (Schltdl.) Sandwith.	l	M	<b>Ebenaceae</b>		
<i>Clytostoma binatum</i> (Thunb.) Sandwith	l	M	<i>Diospyros bumelioides</i> Standl.	A	E, M
<i>Lundia puberula</i> Pittier.	l	D	<i>Diospyros campechiana</i> Lundell.	A	A
<i>Mansoa hymenaea</i> (DC.) A. H. Gentry.	l	M	<b>Erythroxylaceae</b>		
<i>Paragonia pyramidata</i> (Rich.) Bureau.	l	A	<i>Erythroxylum areolatum</i> L.	A	A
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) Nicholson.	A	**B	<b>Euphorbiaceae</b>		
<i>Xylophragma seemannianum</i> (Kuntze) Sandwith.	l	D	<i>Acalypha apodanthes</i> Standl. & L. O Williams.	a	A
<b>Boraginaceae</b>			<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq.	a	D
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken.	A	B	<i>Acalypha poiretii</i> Spreng.	a	D
<i>Cordia stenoclada</i> I. M. Johnst.	a	D	<i>Adelia oaxacana</i> (Müll. Arg.) Hemsl.	A	M
<i>Lepidocordia williamsii</i> (I.M. Johnst.) J. S. Mill.	A	D	<i>Bernardia dichotoma</i> (Willd.) Müll. Arg.	a	D
<i>Tournefortia densiflora</i> M. Martens & Galeotti.	a	A	<i>Bernardia mexicana</i> (Hook. & Arn.) Müll. Arg.	a	D
<i>Tournefortia elongata</i> D. N. Gibson.	a	D	<i>Croton axillaris</i> Müll. Arg.	a	D
<i>Varronia inermis</i> (Mill.) Borhidi.	a	A	<i>Croton mayarum</i> B. L. León & Vester.	A	E, M
<i>Varronia spinescens</i> (L.) Borhidi.	a	M	<i>Croton niveus</i> Jacq.	A	A
<b>Burseraceae</b>			<i>Croton sutup</i> Lundell.	A	E, A
<i>Protium confusum</i> (Rose) Pittier	A	D	<i>Hippomane mancinella</i> L.	A	A
<b>Cactaceae</b>			<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morog.	A	D
<i>Pereskiaopsis kellermannii</i> Rose.	at	A	<b>Fabaceae</b>		
<i>Pilosocereus gaumeri</i> (Britton & Rose) Backeb.	A	E, B	<i>Acacia cedilloi</i> L. Rico.	A	E, A
<b>Canellaceae</b>			<i>Acosmium panamense</i> (Benth.) Yakovlev.	A	**A
<i>Canella winterana</i> (L.) Gaertn.	A	B	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart.	A	D
<b>Capparaceae</b>			<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC.	A	A
<i>Capparis quiriguensis</i> Standl.	a	D	<i>Ateleia pterocarpa</i> Moc. & Sessé ex D. Dietr.	A	A
<i>Capparis verrucosa</i> Jacq.	A	A	<i>Calliandra caeciliae</i> Harms.	A	D
<i>Quadrella lundellii</i> (Standl.) Iltis & Cornejo	A	A	<i>Crotalaria longirostrata</i> Hook. & Arn.	a	D
<b>Celastraceae</b>			<i>Crotalaria vitellina</i> Ker Gawl.	a	A

Continuación			Continuación		
<i>Dalbergia ecastaphyllum</i> (L.) Taub.	a	B	<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	A	B
<i>Dioclea wilsonii</i> Standl.	l	M	<i>Trichilia pallida</i> Sw.	A	A
<i>Diphysa paucifoliata</i> R. Antonio & M. Sousa	a	D	<i>Trichilia trifolia</i> L.	A	A
<i>Harpalyce arborescens</i> A. Gray	A	D	<b>Moraceae</b>		
<i>Harpalyce rupicola</i> Donn. Sm.	A	B	<i>Castilla elastica</i> Sessé ex Cerv.	A	B
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose.	A	A	<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	A	D
<i>Indigofera thibaudiana</i> DC.	a	A	<i>Pseudolmedia glabrata</i> (Liebm.) C. C. Berg.	A	B
<i>Lennea melanocarpa</i> (Schltdl.) Vatke ex Harms.	A	A	<b>Myrtaceae</b>		
<i>Lonchocarpus castilloi</i> Standl.	A	A	<i>Calyptanthes millspaughii</i> Urb.	A	M
<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth.	A	D	<i>Eugenia aeruginea</i> DC.	a	D
<i>Machaerium biovulatum</i> Micheli.	A	A	<i>Eugenia bumelioides</i> Standl.	a	D
<i>Machaerium cirriferum</i> Pittier.	l	D	<i>Eugenia gaumeri</i> Standl.	A	A
<i>Machaerium kegelii</i> Meisn.	A	A	<i>Eugenia laevis</i> O. Berg	a	D
<i>Mimosa distachya</i> var. <i>oligacantha</i> (DC.)	a	A	<i>Eugenia rhombea</i> (O. Berg) Krug & Urb.	A	A
Barneby.			<i>Eugenia tikalana</i> Lundell.	a	A
<i>Mimosa guatemalensis</i> (Hook. & Arn.) Benth.	a	A	<i>Eugenia trikii</i> Lundell.	A	M
<i>Mimosa somnians</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	a	A	<i>Mosiera contrerasii</i> (Lundell) Landrum.	A	D
<i>Pithecellobium oblongum</i> Benth.	a	A	<i>Myrciaria floribunda</i> (H. West ex Willd.) O.	a	M
<i>Pterocarpus rohrii</i> Vahl.	A	D	Berg.		
<i>Senegalia hayesii</i> (Benth.) Britton & Rose.	at	A	<i>Psidium guineense</i> Sw.	A	A
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose.	A	M	<b>Oleaceae</b>		
<i>Senna fruticosa</i> (Mill.) H. S. Irwin & Barneby.	a	A	<i>Forestiera rhamnifolia</i> Griseb.	a	D
<i>Senna mollissima</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.)	a	A	<b>Opiliaceae</b>		
H. S. Irwin & Barneby.			<i>Agonandra macrocarpa</i> L. O. Williams.	A	*M
<i>Senna papillosa</i> (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby.	A	A	<b>Phyllanthaceae</b>		
<i>Senna pendula</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) H. S. Irwin & Barneby.	a	A	<i>Phyllanthus graveolens</i> Kunth.	a	A
<i>Senna quinquangulata</i> (Rich.) H.S. Irwin & Barneby.	a	A	<b>Picramniaceae</b>		
<b>Lauraceae</b>			<i>Picramnia teapensis</i> Tul.	a	M
<i>Licaria caudata</i> (Lundell) Kosterm.	A	D	<b>Polygalaceae</b>		
<i>Nectandra hihua</i> (Ruiz & Pav.) Rohwer.	A	D	<i>Bredemeyera lucida</i> (Benth.) Klotzsch ex Hassk.	a	D
<b>Lamiaceae</b>			<i>Polygala jamaicensis</i> Chodat.	a	M
<i>Clerodendrum aculeatum</i> (L.) Schltdl.	a	M	<b>Polygonaceae</b>		
<b>Malpighiaceae</b>			<i>Coccoloba belizensis</i> Standl.	A	M
<i>Bunchosia canescens</i> (W.T. Aiton) DC.	A	M	<b>Primulaceae</b>		
<i>Bunchosia lindeniana</i> A. Juss.	A	A	<i>Ardisia revoluta</i> Kunth.	a	A
<i>Carolus sinemariensis</i> (Aubl.) W. R. Anderson	l	M	<i>Bonellia albiflora</i> (Lundell) B. Ståhl & Källersjö	A	E, B
<b>Malvaceae</b>			<i>Bonellia longifolia</i> (Standl.) B. Ståhl & Källersjö	A	E, D
<i>Hampea rovirosae</i> Standl.	A	A	<i>Bonellia sak-lol</i> Carnevali, Hernández-Aguil. & Tapia-Muñoz	a	E, A
<i>Pavonia schiedeana</i> Steud.	a	D	<i>Jacquinia arborea</i> Vahl.	a	M
<i>Trichospermum grewiifolium</i> (A. Rich.) Kosterm.	A	M	<i>Myrsine cubana</i> A. DC.	A	M
<b>Melastomataceae</b>			<b>Putranjivaceae</b>		
<i>Henriettea succosa</i> (Aubl.) DC.	a	D	<i>Drypetes brownii</i> Standl.	A	D
<i>Miconia argentea</i> (Sw.) DC.	A	A	<i>Drypetes lateriflora</i> (Sw.) Krug. & Urb.	A	B
<i>Miconia laevigata</i> (L.) D. Don.	A	D	<b>Rhamnaceae</b>		
<i>Miconia prasina</i> (Sw.) DC.	a	D	<i>Colubrina heteroneura</i> (Griseb.) Standl.	A	A
<b>Meliaceae</b>			<i>Gouania polygama</i> (Jacq.) Urb.	l	A
<i>Guarea petenensis</i> Coronado.	A	A			

Continuación			Continuación		
<b>Rubiaceae</b>			<i>Thinouia tomocarpa</i> Standl. 1 M		
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. ex DC.	A	A	<i>Thouinidium decandrum</i> (Bonpl.) Radlk.	A	A
<i>Blepharidium guatemalense</i> Standl.	a	M	<b>Sapotaceae</b>		
<i>Calycophyllum candidissimum</i> (Vahl) DC.	A	D	<i>Pouteria amygdalina</i> (Standl.) Baehni.	A	D
<i>Guettarda filipes</i> Standl.	A	D	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma.	A	B
<i>Guettarda macrosperma</i> Donn. Sm.	A	D	<i>Sideroxylon celastrinum</i> (Kunth) T. D. Penn.	A	B
<i>Hamelia rovirosae</i> Wernham.	a	D	<i>Sideroxylon persimile</i> (Hemsley) Pennington	A	D
<i>Machaonia acuminata</i> Bonpl.	A	A	<b>Solanaceae</b>		
<i>Margaritopsis microdon</i> (DC.) C. M. Taylor.	a	M	<i>Cestrum alternifolium</i> (Jacq.) O. E. Schulz.	a	A
<i>Palicourea crocea</i> (Sw.) Roem. & Schult.	a	D	<i>Lycianthes hypoleuca</i> Standl.	a	A
<i>Psychotria aguilarii</i> Standl. & Steyerem.	a	A	<i>Lycianthes virgata</i> (Lam.) Bitter	1	D
<i>Psychotria costivenia</i> var. <i>costivenia</i> Griseb.	a	A	<i>Solanum adhaerens</i> Willd. ex Roem. & Schult.	1	A
<i>Psychotria erythrocarpa</i> Schldtl.	a	D	<i>Solanum asperum</i> Rich.	a	A
<i>Psychotria graciliflora</i> Benth.	a	D	<i>Solanum candidum</i> Lindl.	a	M
<i>Psychotria quinqueradiata</i> Pol.	a	A	<i>Solanum diphylum</i> L.	a	D
<i>Rachicallis americana</i> (Jacq.) Hitchc.	a	A	<b>Theaceae</b>		
<i>Randia monantha</i> Benth.	a	D	<i>Ternstroemia tepezapote</i> Schldtl. & Cham.	A	B
<i>Simira salvadorensis</i> (Standl.) Steyerem.	A	M	<b>Thymelaeaceae</b>		
<i>Stenostomum lucidum</i> (Sw.) C. F. Gaertn.	A	A	<i>Daphnopsis americana</i> ssp. <i>americana</i> (Mill.) J. R. Johnst.	A	A
<b>Rutaceae</b>			<b>Urticaceae</b>		
<i>Amyris sylvatica</i> Jacq.	a	D	<i>Coussapoa oligocephala</i> Donn. Sm.	a	M
<i>Zanthoxylum juniperinum</i> Poepp.	A	***A	<b>Verbenaceae</b>		
<b>Salicaceae</b>			<i>Citharexylum calvum</i> Moldenke	a	E, A
<i>Casearia aculeata</i> Jacq.	A	A	<i>Citharexylum caudatum</i> L.	a	D
<b>Sapindaceae</b>			<i>Citharexylum hirtellum</i> Standl.	A	A
<i>Blomia prisca</i> (Standl.) Lundell.	A	B	<i>Lantana dwyeriana</i> Moldenke	a	E, D
<i>Cupania spectabilis</i> Radlk.	A	D	<i>Lippia yucatanana</i> Loes.	a	E, D
<i>Exothea diphylla</i> (Standl.) Lundell.	A	B	<b>Violaceae</b>		
<i>Exothea paniculata</i> (Juss.) Radlk.	A	A	<i>Corynostylis arborea</i> (L.) S. F. Blake	1	D
<i>Paullinia costaricensis</i> Radlk.	1	D	<i>Orthion subsessile</i> (Standl.) Steyerem. & Standl.	A	A
<i>Serjania atrolineata</i> C. Wright.	1	A	<i>Rinorea hummelii</i> Sprague.	A	A
<i>Serjania flaviflora</i> Radlk.	1	A	<b>Vitaceae</b>		
<i>Serjania mexicana</i> (L.) Willd.	1	D	<i>Ampelocissus erdwendbergiana</i> Planch.	1	B
<i>Serjania triquetra</i> Radlk.	1	D	<i>Cissus biformifolia</i> Standl.	1	A

Nota. Las categorías de riesgo y endemismo se obtuvieron de las siguientes fuentes: IUCN [58] y Diario oficial de la federación [57].