

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN VEGETACIÓN-LLUVIA DE POLEN ACTUAL
DE LAS COMUNIDADES VEGETALES
EN EL NOROESTE DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO

MODERN POLLEN RAIN-VEGETATION RELATIONSHIP OF PLANT
COMMUNITIES THE NORTHWEST YUCATAN PENINSULA, MEXICO

Diana del Socorro Escarraga-Paredes, Nuria Torrescano-Valle, y Gerald A. Islebe

El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. Av. Centenario Km 5.5, CP 77014, AP 424,
Chetumal, Quintana Roo. Correo electrónico: ntorresca@ecosur.mx

RESUMEN

La Reserva de la Biosfera Los Petenes (RBLP) conforma una unidad ecológica de gran valor, por ello la importancia de generar mayor conocimiento biogeográfico del sitio. El análisis palinológico es una herramienta útil para la interpretación de la dinámica vegetal y el análisis de patrones biológicos de distribución. Con el objetivo de analizar la relación lluvia de polen-vegetación en el gradiente de comunidades vegetales del Noroeste de la Península de Yucatán se establecieron 30 parcelas de vegetación y se examinó el espectro polínico en muestras superficiales de sedimento dentro de la RBLP. Para identificar el grado de relación entre la vegetación y la lluvia de polen, los datos fueron analizados con métodos de asociación, ordenación y modelación estadística. De los 50 taxones identificados en la lluvia polínica, 13 muestran algún grado de asociación, de las cuales, las especies con mayor grado de asociación para manglar fueron *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*. La mayoría de las especies de selva muestran altos valores de sobrerrepresentación y subrepresentación, *Bursera simaruba*, Euphorbiaceae y Fabaceae

mostraron asociación. De los 20 taxones utilizados para la correlación, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* mostraron correlación para las diferentes comunidades de manglar, la vegetación de peten de selva no mostró especies correlacionadas. La ordenación indica una agrupación definida por el gradiente hidrológico, factor importante que determinó la estructura de la vegetación y su capacidad de dispersión. El análisis de la relación de la lluvia de polen y la vegetación actual de RBLP, constituye una herramienta fundamental para obtener información sobre la dinámica ecológica actual e integra una fuente de información para los estudios paleoecológicos.

Palabras clave: lluvia de polen actual, comunidades vegetales, Los Petenes, Península de Yucatán, Campeche.

ABSTRACT

The Petenes Biosphere Reserve (RBLP) vegetation forms a valuable ecological unit, and it is urgent to develop more awareness of this hotspot. Palynological analysis is a useful tool for the interpretation of vegetation dynamics, analyzing biological distribution

patterns. In order to analyze the relationship pollen rain-vegetation gradient through the plant communities of Northwest Yucatan Peninsula, 30 vegetation plots were established and pollen spectrum was analyzed in surface sediment samples, in different types of vegetation types located within the RBLP. The results were analyzed with association methods, classification, and statistical modeling to identify the degree of relationship between the vegetation within the Reserve and pollen rain. Of the 50 taxa identified in the pollen rain, 13 show some degree of association; those with high degree of association were mangrove *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* and *Conocarpus erectus*. Most of the species in the forest show high values of over-representation and under-representation, *Bursera simaruba*, Euphorbiaceae and Fabaceae showed association. Of 20 taxa used for correlation, *Avicennia germinans* and *Conocarpus erectus* correlated to the different communities of mangrove vegetation, but no correlation to forest taxa. The ordination shows grouping defined by a hydrological gradient, an important factor that determined the vegetation structure and dispersal ability. The relationship between pollen rain and vegetation RBLP is an essential tool for paleoecological studies and provides information on the current ecological dynamics.

Key words: modern pollen rain, plant communities, Los Petenes, Yucatan Peninsula, Campeche.

INTRODUCCIÓN

El análisis palinológico es ampliamente utilizado en las investigaciones paleoecológicas, debido a que a través de la inter-

pretación de registros polínicos fósiles es posible reconstruir la historia de la dinámica de la vegetación y ambientes ecológicos del pasado. Además, actúan como evidencia indirecta para descifrar las variaciones climáticas, geológicas o antrópicas ocurridas a través de diferentes escalas de tiempo. Sin embargo, es fundamental para su empleo asumir el supuesto de que la diversidad del polen presente en los sedimentos, se encuentra proporcionalmente relacionada con la composición de especies vegetales dentro de un paisaje determinado (Burry *et al.*, 2001; Carrillo-Bastos, 2008; Correa y Lozano, 2004; Eardtman, 1943; Finsinger *et al.*, 2007; Islebe *et al.*, 2001; Madanes y Millones, 2004; Torrescano-Valle, 2004, 2007).

El éxito de su uso en las reconstrucciones dependerá de la calidad de la calibración de los datos, así como de la capacidad de establecer relaciones entre las comunidades vegetales y las asociaciones polínicas (Finsinger *et al.*, 2007). Es por ello, que los estudios de lluvia de polen son indispensables para comprender la relación entre la vegetación y el registro polínico actual, considerando que la composición de especies vegetales será la que determine la diversidad, el número de tipos polínicos y su concentración (Davies y Fall, 2001; Islebe *et al.*, 2001; Kazprzyk, 2006; Madanes y Millones, 2004; Nitiu, 2009). Diversos factores pueden afectar la representación de la vegetación dentro del espectro polínico, entre los cuales se encuentra el tamaño y las características particulares del sitio de muestreo, tales como el tipo de sustrato, las condiciones de oxidación y periodos de inundación. Así como la estructura de la vegetación circundante, las características climáticas y ecológicas que controlan la floración, la producción y dispersión de polen, la resistencia de los gra-

nos de polen a la degradación y su correcta identificación (Amami, *et al.*, 2010; Davies y Fall, 2001; Burry *et al.*, 2001; Domínguez-Vázquez *et al.*, 2004; Fletcher, 2007; Latorre y Caccavari, 2006; Madanes y Millones, 2004; Tonello y Prieto, 2008).

La aproximación a los ecosistemas actuales, mediante estudios de lluvia de polen, permite obtener modelos de referencia para la identificación de análogos modernos en estudios orientados al conocimiento de la historia de la vegetación. Lo cual aunado al registro polínico fósil y a las dataciones, abre la posibilidad de calibrar el espectro fósil (Rodgers y Horn 1996; Trivi de Mandri *et al.*, 2006).

En México, los trabajos de lluvia de polen han tenido como principal objetivo la obtención de información que sirva de base para la interpretación y entendimiento de futuras reconstrucciones ecológicas en nuestro país. Ejemplo de ello son los estudios realizados por Hevly y colaboradores (1965) en el Desierto de Sonora; Meyer (1975) en la Cuenca de Cuatro Ciénegas; Palacios (1977) en el Valle de México; Fine (1978) en Sinaloa y Nayarit; Lozano-García (1984) para San Luis Potosí; Islebe y colaboradores (2001) en las selvas de Quintana Roo; Torrescano-Valle (2004, 2007) para la Península de Yucatán; Domínguez-Vázquez y colaboradores (2004) en la Selva Lacandona de Chiapas; así como el efectuado por Osorio-Pascual y Quiroz-García (2009) en el estado de Oaxaca. Sin embargo, aún existe una falta de información en lo que respecta a datos de polen de diversas regiones, que permita cuantificar la relación entre la vegetación y polen, así como la realización de interpretaciones más precisas.

Un área de importancia para la realización de estudios palinológicos en la Península de Yucatán es la región de Los Petenes, ubicada en la costa noreste del estado de Campeche. Esta región es un humedal reconocido por su papel en la hidrología regional, presenta alta diversidad de flora y fauna, así como la presencia de los denominados petenes, los cuales consisten en islas de vegetación arbolada inmersas en una matriz de manglar y asociadas a afloramientos de agua dulce. El arreglo de estas islas de vegetación, a lo largo de la zona, genera un complejo de humedales estructuralmente único y vulnerable a las variaciones del nivel del mar (Rico-Gray, 1982; Durán, 1987, 1995; Ortiz y Méndez, 1999). Por otra parte, dentro de la región se aprecia poca evidencia de impacto humano prehispánico y actual, lo cual ofrece de este modo, la posibilidad de identificar señales con baja interferencia, permitiendo identificar señales climáticas de mayor resolución.

Este estudio es una herramienta útil para la interpretación de la dinámica vegetal en la región y sienta las bases para la calibración de señales en estudios paleoecológicos y de reconstrucción del paisaje. Los datos obtenidos contribuirán al análisis de los patrones biológicos de distribución de la vegetación y de depositación palinológica de la misma dentro de la región, así como a complementar estudios previos de diversidad, composición y abundancia vegetal, basándose en un enfoque que contemple los aspectos que determinen los patrones ecológicos de la zona. El objetivo de esta investigación es analizar la relación lluvia de polen-vegetación a través del gradiente de comunidades vegetales del Noroeste de la Península de Yucatán.

Área de estudio

La Reserva de la Biosfera Los Petenes (RBLP) se encuentra localizada en la costa norte del estado de Campeche, al sureste del Golfo de México (fig. 1). Comprendiendo los municipios de Calkiní, Hecelchakán, Tenabo y Campeche; en conjunto con la Reserva de la Biosfera Ría Celestún y El Palmar conforma una ecorregión con una alta diversidad de flora y fauna (CONANP, 2006).

La región de los petenes es una estrecha franja pantanosa que se extiende entre los 20°-21° N y 90°20'-90°30' W, con una extensión aproximada de 1300 km². De acuerdo a Rico-Gray y Palacios-Ríos (1996), el área está ocupada por una gran ciénaga, cuya parte más profunda se localiza del lado del litoral, conformando una laguna de poco calado que se va volviendo somera y pantanosa hacia el interior. A lo largo de la ciénaga se encuentran los petenes, islas de vegetación de forma aproximadamente circular, en las cuales las asociaciones vegetales se distribuyen en círculos más o menos concéntricos (Barrera, 1982, Pat y Hernández, 2004, CONANP, 2006, León, 2006).

La flora está comprendida por al menos 678 especies de 404 géneros y 103 familias, incluyendo 24 especies endémicas de la península de Yucatán. El paisaje está conformado por ecosistemas de tipo manglar, tular (*Typha dominguensis*), chechenal (*Metopium brownei*), selva baja inundable y petenes (CONANP 2006, Rico Gray 1982). Dichos ecosistemas están representados por especies arbóreas, arbustivas y herbáceas. De acuerdo con Durán (1987), las especies más importantes son la caoba (*Swietenia mahagoni*), el zapote (*Manilkara zapote*),

Ficus maxima, el guano (*Sabal yapa*) y el corcho (*Annona glabra*). Otras especies son el yaiti (*Gymnanthes lucida*), *Coccoloba spicata* y *Tabebuia chrysantha*. En los petenes se mezclan el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y el blanco (*Laguncularia racemosa*) con especies de tipo selvático, aunque también se distinguen aquellos que dentro de su composición de selva incluyen especies como el julub (*Bravaisia berlandieriana*) y el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) que suelen encontrarse en comunidades inundables (CONANP, 2006).

Los petenes o islas de vegetación presentes en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, pueden presentar diversas formas, tamaños, elevaciones, topografía, composición del suelo y vegetación; de forma que se pueden encontrar petenes circulares, ovoides o amorfos. Estas asociaciones sólo han sido localizadas en la península de Yucatán, Cuba y Florida, por lo que puede considerarse a esta región como un área biogeográfica única a nivel nacional (Rico-Gray, 1982, Durán, 1987, Olmsted y Durán, 1988, Pat y Hernández, 2004, CONANP, 2006).

En los petenes se presenta un mosaico de suelos, asociados con las diferentes comunidades vegetales, entre ellos el Regosol calcáreo, Solonchac, Histosol, Rendzina y Gleysol. Dentro de la región el suelo juega un papel importante en la distribución de la vegetación, debido a que la roca calcárea permite el afloramiento de agua dulce proveniente del manto freático, favoreciendo de esta forma la presencia de especies hidrófitas de agua dulce entre las de agua salobre y salina. Este hecho hace que la vegetación esté constituida por un mosaico de asociaciones dentro del gradiente mar-tierra (CONANP, 2006).

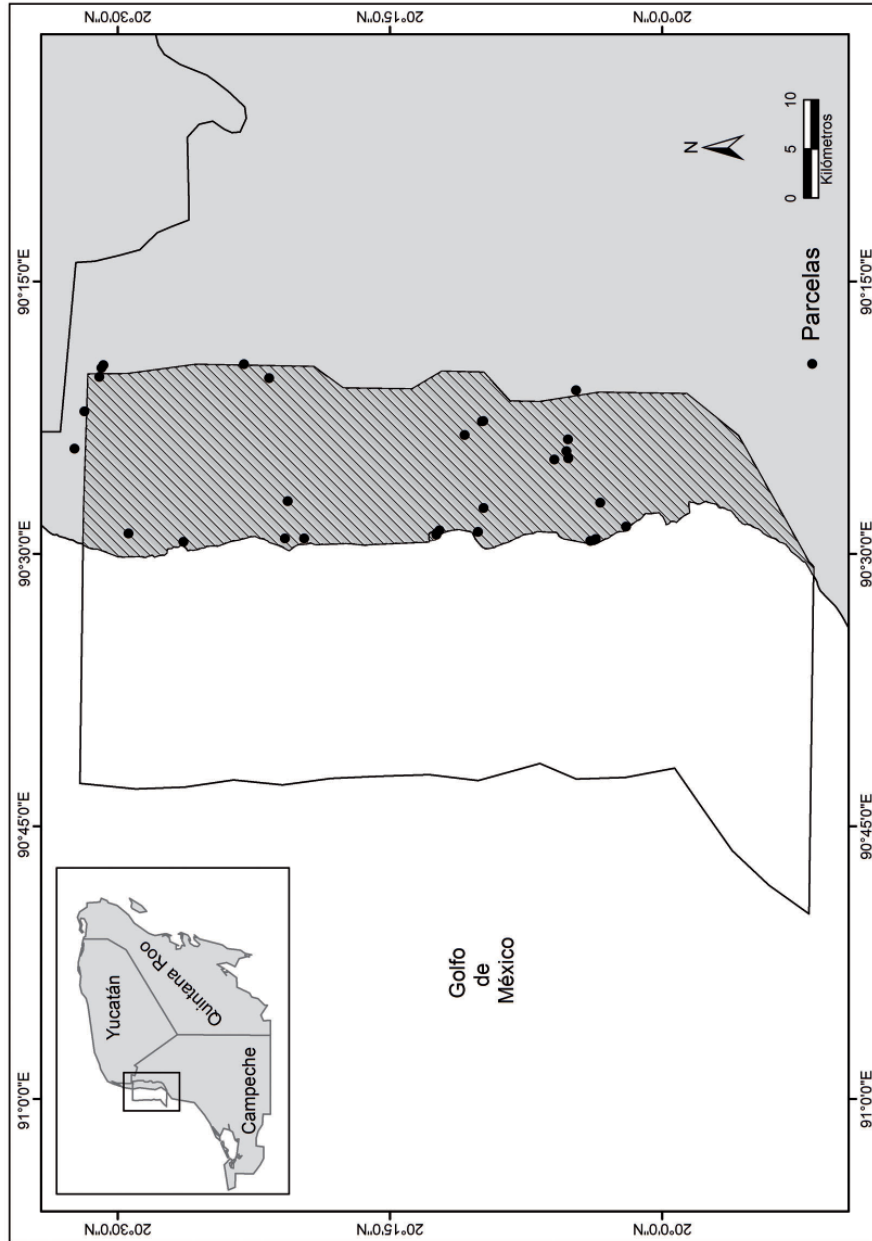


Fig. 1. Ubicación de las parcelas realizadas en el interior de la Reserva de La Biosfera Los Petenes, Campeche.

El clima va del tipo Aw (cálido subhúmedo con lluvias en verano) en la zona centro-sur de la Reserva, mientras que en su extremo norte es del tipo BS'h'w (semiseco y seco cálido), según el sistema de Köppen modificado por García (1976). Se identifican dos estaciones climáticas para la región; la época de secas, que abarca de noviembre a abril con temperatura y precipitación mensual promedio de 25.5°C y 23 mm y la época de lluvias que cubre de mayo a octubre con 28.4°C y 139.9 mm. Por otro lado, en la época seca son preponderantes los vientos denominados "nortes" (CONANP, 2006, Montiel *et al.*, 2006). Dentro de la Reserva se presentan modificaciones en el nivel de agua, relacionadas a la periodicidad de las estaciones, el cual desciende en su totalidad durante la temporada de secas, principalmente en las zonas conocidas como blanquizales. Por el contrario, durante la temporada de lluvias, se observa una inundación prolongada y el incremento de la profundidad del agua en toda la zona, al término de la misma (Rico-Gray y Palacios-Rios, 1996).

MÉTODOS

Obtención de datos

Aplicándose métodos mínimos de muestreo (Gentry, 1982), se realizaron un total de 30 parcelas para la caracterización de las asociaciones vegetales presentes en la RBLP. En zonas con dominancia de vegetación tipo manglar fueron utilizadas parcelas de 25 x 25 m mientras que para la vegetación de tipo selvática se emplearon de 30 x 20 m. Se registraron todas las plantas leñosas de más de tres metros de altura y se realizaron las mediciones que permitieron cuantificar parámetros estructurales (abundancia,

frecuencia, área basal, frecuencia relativa, dominancia relativa e índice de valor de importancia). Además se caracterizaron los siguientes parámetros: inclinación, rocosidad, profundidad y tipo de suelo.

Para la caracterización polínica se colectaron, aleatoriamente, cinco muestras de sedimento superficial en el interior de cada parcela. Posteriormente, se homogenizaron las cinco muestras de cada parcela, obteniéndose un total de treinta muestras. Para la obtención del material polínico, las muestras se trataron mediante los métodos químicos estándar empleando HCl, KOH y la técnica de acetólisis (Moore *et al.*, 1991). Se utilizó como marcador foráneo esporas de *Lycopodium*. La identificación taxonómica fue realizada mediante microscopía óptica, bajo objetivos de 400X y 1000X, utilizando además las claves desarrolladas por Palacios-Chávez y colaboradores (1991), así como la colección palinológica de referencia del herbario de ECOSUR. Por cada muestra se contó un mínimo de 300 granos de polen, siendo excluidos de la suma polínica los elementos acuáticos, esporas y otros palinomorfos.

Una vez identificados y cuantificados los tipos polínicos en las muestras de sedimento, se calcularon los porcentajes de polen para cada taxón y se integraron en un diagrama polínico a través del software TILIA versión 1.7.16 (Grimm, 2011), excluyéndose los taxones locales y acuáticos de la suma.

Análisis de datos

Con el fin de conocer la relación entre la vegetación y el espectro polínico se calculó la asociación (A), sobrerrepresentación (O) y subrepresentación (U) de los distintos

tipos polínicos a través del Índice de Davis (1960), el cual es considerado un indicativo de que la presencia de un taxón en la muestra polínica sugiere su existencia en la vegetación local. Cuyas fórmulas se describen a continuación:

$$\begin{aligned} A &= B_0 / (P_0 + P_1 + B_0) \\ U &= P_1 / (P_1 + B_0) \\ O &= P_0 / (P_0 + B_0) \end{aligned}$$

Donde, B_0 es el número de levantamientos en los que el tipo polínico está presente en la muestra de sedimento y en la vegetación; P_0 representa el número de levantamientos en donde el tipo polínico se encuentra presente pero el taxón vegetal está ausente y P_1 es igual al número de levantamientos donde el taxón vegetal se encuentra presente pero el tipo polínico está ausente.

Los valores del índice de asociación varían entre 0 y 1; donde $A = 1$ indica que el tipo polínico y el taxón vegetal están siempre presentes y si $A = 0$ alguno de los dos elementos se encuentra ausente en todos los levantamientos.

Debido a la naturaleza de los datos se empleó el método estadístico de correlación de Spearman para datos no paramétricos, con el fin de determinar posibles concordancias. Una vez determinada la afinidad entre el espectro polínico y la vegetación, se efectuó un análisis de regresión lineal simple para determinar la naturaleza de dicha relación. En ambos casos se comparó el porcentaje de polen contra el porcentaje de vegetación para cada taxón seleccionado, primero para todos los sitios (región) y posteriormente a nivel de comunidad (escala local).

Los datos de polen fueron analizados utilizando el método de ordenamiento, Detrended Correspondence Analysis (DCA), para describir los patrones que influyen en la composición de especies, bajo el principio de que dicha composición variará entre los sitios siguiendo un gradiente ambiental.

RESULTADOS

Estructura y composición vegetal

Por medio de los levantamientos florísticos se reconocieron seis comunidades vegetales dentro del área de estudio de la RBLP: manglar achaparrado, manglar, petenes de manglar, sabana-manglar, petenes de selva y selva.

Manglar achaparrado

Este tipo de vegetación presentó elementos arbóreos con alturas menores a 4 m. Se registraron un total de 1 163 individuos. La especie con mayor dominancia y valor de importancia fue *Avicennia germinans* (mangle negro), seguida de *Rhizophora mangle* (mangle rojo); mientras que *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) fue la especie que se registró con menor frecuencia, con sólo 19 individuos (tabla 1). Esta vegetación se desarrolla sobre suelos de tipo Solonchak caracterizados por su alto contenido de sales, el cual se encuentra presente como una costra delgada de sal (blanquizales). Son de textura arcillo arenosa, con colores gris o pardo-grisáceo; generalmente, el horizonte superior es un poco más oscuro debido a la acumulación de materia orgánica. También pueden encontrarse suelos de tipo Histosol, caracterizados por la presencia de una alta

acumulación de materia orgánica sobre su horizonte superficial debido a la baja tasa de descomposición provocada por la saturación de agua (anexo 1).

Manglar

Con una composición similar al manglar achaparrado, se registraron un total de 1 179 individuos. Aunque también se encontró la presencia de algunos individuos de mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), caracterizado por desarrollarse en la cercanía al mar, encontrándose en suelos con baja o nula salinidad, sus troncos son torcidos y delgados. La especie con mayor abundancia y valor de importancia fue *Avicennia germinans*, seguida de *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*. El mangle blanco a pesar de tener una menor abundancia en comparación con las otras especies de manglar, mostró altos valores en cuanto a área basal (tabla 1). Se observó suelo de tipo Gleysol caracterizado por encontrarse en áreas inundables. Presenta colores grisáceos y/o azulados y altos contenidos de carbonato de calcio (anexo 1).

Peten de manglar

Esta asociación vegetal presentó un estrato arbóreo mayor a 10 m de altura. Registró 488 individuos, de los cuales las especies de manglar son las que presentaron mayor abundancia y frecuencia. *Rhizophora mangle* (169) fue la especie de mangle con mayor número de individuos, abundancia y valor de importancia, seguida de *Laguncularia racemosa* (77) y *Conocarpus erectus* (74). A diferencia de las asociaciones anteriores, en los petenes de manglar se apreciaron árboles de selva tales como *Manilkara zapota*, *Pouteria* sp., *Bravaisia tubiflora*, entre otras

especies (tabla 1). Los tipos de suelo que se encuentran son Histosol y Gleysol, que por sus características favorecen el desarrollo de las especies de manglar asociadas a diversas especies de selva.

Sabana-manglar

Asociación vegetal con un total de 605 individuos, pertenecientes a especies de manglar y selva. Se caracterizó por una mayor abundancia y dominancia de *Conocarpus erectus* (78), seguida de *Rhizophora mangle* (siete), *Avicennia germinans* (cuatro), *Metopium brownei* y *Cameraria latifolia* (tabla 1). Estas especies se desarrollan sobre áreas seminundables con suelos de tipo Vertisol y Gleysol, donde durante la época de lluvias hay acumulación de agua que cubre el horizonte superficial, mientras que en la época de secas se agrietan, debido a su textura arcillosa conformada especialmente por arcillas expansibles.

Peten de selva

Asociación vegetal que se caracteriza por una mayor dominancia de la especie *Metopium brownei* (chechem negro); son árboles que crecen de 10 a 15 m de altura y se desarrollan en suelos planos con deficiente drenaje. También se observaron especies como *Gymnanthes lucida* y *Manilkara zapota*. Se registró un total de 681 individuos, de los cuales *Metopium brownei* fue la especie que presentó una mayor abundancia con un 40%, mientras que se registraron varias especies con muy baja abundancia como *Piscidia piscipula*, *Capparis cynophallophora*, *Tabebuia rosea*, *Jacquinia macrocarpa*, entre otras. En cuanto al área basal, se encontró que a pesar de que el chechem negro presentó la mayor dominancia, la especie que tuvo

Tabla 1. Valores estructurales de las asociaciones de vegetación presentes en la Reserva de la Biosfera Los Petenes.

| Especie | Núm. individuos | A | Fr | Ar | Dr | IVI |
|-------------------------------|----------------------------|----------|-----------|---------------|-----------|------------|
| Manglar achaparrado | | | | | | |
| <i>Avicennia germinans</i> | 654 | 56.23 | 41.67 | 15 799 944.98 | 64.66 | 162.56 |
| <i>Rhizophora mangle</i> | 490 | 42.13 | 33.33 | 8 532 866.49 | 34.92 | 110.39 |
| <i>Laguncularia racemosa</i> | 19 | 1.63 | 25.00 | 102 693.36 | 0.42 | 27.05 |
| Manglar | | | | | | |
| <i>Avicennia germinans</i> | 866 | 73.45 | 35.71 | 34 562 592.86 | 63.36 | 172.52 |
| <i>Rhizophora mangle</i> | 200 | 16.96 | 28.57 | 13 962 433.72 | 25.59 | 71.13 |
| <i>Laguncularia racemosa</i> | 108 | 9.16 | 21.43 | 5 171 101.37 | 9.48 | 40.07 |
| <i>Conocarpus erectus</i> | 5 | 0.42 | 14.29 | 856 574.87 | 1.57 | 16.28 |
| Peten de manglar | | | | | | |
| <i>Rhizophora mangle</i> | 169 | 34.63 | 15.38 | 12 662 719.33 | 26.97 | 76.99 |
| <i>Laguncularia racemosa</i> | 77 | 15.78 | 19.23 | 13 759 641.95 | 29.31 | 64.32 |
| <i>Manilkara zapota</i> | 65 | 13.32 | 15.38 | 8 493 712.98 | 18.09 | 46.80 |
| 7 spp. más | 23 | 4.71 | 26.92 | 3 386 911.77 | 7.21 | 38.85 |
| <i>Conocarpus erectus</i> | 74 | 15.16 | 7.69 | 2 844 064.19 | 6.06 | 28.91 |
| <i>Avicennia germinans</i> | 26 | 5.33 | 11.54 | 2 441 129.11 | 5.20 | 22.07 |
| <i>Pouteria</i> sp. | 54 | 11.07 | 3.85 | 3 360 208.23 | 7.16 | 22.07 |
| Sabana-manglar | | | | | | |
| <i>Conocarpus erectus</i> | 469 | 77.52 | 20.00 | 17 565 258.62 | 82.71 | 180.23 |
| <i>Jacquinia macrocarpa</i> | 8 | 1.32 | 16.00 | 135 869.85 | 0.64 | 17.96 |
| <i>Cameraria latifolia</i> | 18 | 2.98 | 8.00 | 1 248 783.08 | 5.88 | 16.86 |
| <i>Avicennia germinans</i> | 24 | 3.97 | 8.00 | 663 819.31 | 3.13 | 15.09 |
| <i>Rhizophora mangle</i> | 44 | 7.27 | 4.00 | 601 942.11 | 2.83 | 14.11 |
| <i>Dalbergia glabra</i> | 4 | 0.66 | 12.00 | 191 303.36 | 0.90 | 13.56 |
| <i>Metopium brownei</i> | 21 | 3.47 | 8.00 | 257 100.09 | 1.21 | 12.68 |
| <i>Manilkara zapota</i> | 6 | 0.99 | 4.00 | 155 116.14 | 0.73 | 5.72 |
| <i>Pithecolobium albicans</i> | 2 | 0.33 | 4.00 | 8 835.73 | 0.04 | 4.37 |
| 4 spp. más | 9 | 1.49 | 16.00 | 408 897.92 | 1.93 | 19.41 |

Tabla 1. Conclusión.

| Especie | Núm. individuos | A | Fr | Ar | Dr | IVI |
|----------------------------------|-----------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| Peten de selva | | | | | | |
| <i>Metopium brownei</i> | 271 | 39.79 | 10 | 10 963 431.87 | 20.67 | 70.47 |
| <i>Manilkara zapota</i> | 80 | 11.75 | 12 | 11 180 505.01 | 21.08 | 44.83 |
| <i>Gymnanthes lucida</i> | 130 | 19.09 | 8 | 5 400 221.06 | 10.18 | 37.27 |
| <i>Lysiloma latisiliquum</i> | 38 | 5.58 | 2 | 9 567 131.38 | 18.04 | 25.62 |
| <i>Ficus</i> sp | 26 | 3.82 | 6 | 7 349 884.87 | 13.86 | 23.68 |
| <i>Bursera simaruba</i> | 18 | 2.64 | 10 | 710117.75 | 1.34 | 13.98 |
| <i>Sabal yapa</i> | 16 | 2.35 | 6 | 1 075 995.48 | 2.03 | 10.38 |
| <i>Hampea trilobata</i> | 11 | 1.62 | 6 | 742 692.14 | 1.40 | 9.02 |
| <i>Annona glabra</i> | 19 | 2.79 | 2 | 1 482 929.91 | 2.80 | 7.59 |
| <i>Sabal mexicana</i> | 13 | 1.91 | 2 | 1 176 133.75 | 2.22 | 6.13 |
| <i>Tubebuia rosea</i> | 1 | 0.15 | 2 | 237 582.94 | 0.45 | 2.59 |
| <i>Piscidia piscipula</i> | 1 | 0.15 | 2 | 125 663.71 | 0.24 | 2.38 |
| <i>Capparis cynophallophora</i> | 1 | 0.15 | 2 | 4 417.86 | 0.01 | 2.16 |
| 12 spp. más | 56 | 8.22 | 30 | 3 013 474.58 | 5.68 | 43.91 |
| Selva | | | | | | |
| <i>Crescentia cujete</i> | 23 | 16.08 | 8.70 | 4 044 564.92 | 22.79 | 47.57 |
| <i>Haematoxylum campechianum</i> | 22 | 15.38 | 4.35 | 4 769 330.35 | 26.88 | 46.61 |
| <i>Bursera simaruba</i> | 19 | 13.29 | 8.70 | 2 192 733.50 | 12.36 | 34.34 |
| <i>Conocarpus erectus</i> | 17 | 11.89 | 4.35 | 1 352 357.46 | 7.62 | 23.86 |
| <i>Metopium brownei</i> | 10 | 6.99 | 8.70 | 932 660.32 | 5.26 | 20.94 |
| <i>Manilkara zapota</i> | 10 | 6.99 | 4.35 | 1 471 227.47 | 8.29 | 19.63 |
| <i>Pithecellobium</i> sp | 9 | 6.29 | 4.35 | 791 779.52 | 4.46 | 15.10 |
| <i>Dalbergia glabra</i> | 6 | 4.20 | 8.70 | 353 429.17 | 1.99 | 14.88 |
| <i>Jacquinia macrocarpa</i> | 2 | 1.40 | 8.70 | 454 058.31 | 2.56 | 12.65 |
| <i>Lysiloma latisiliquum</i> | 8 | 5.59 | 4.35 | 336 739.46 | 1.90 | 11.84 |
| <i>Sideroxylon americanum</i> | 6 | 4.20 | 4.35 | 517 204.33 | 2.91 | 11.46 |
| <i>Laguncularia racemosa</i> | 1 | 0.70 | 4.35 | 96 211.28 | 0.54 | 5.59 |
| 6 spp. más | 10 | 6.99 | 26.09 | 432 440.23 | 2.44 | 35.52 |

una mayor área basal fue *Manilkara zapota*, representando la segunda especie con mayor valor de importancia (tabla 1). Este tipo de asociación se observó sobre suelos de tipo Leptosol, con altos contenidos de MO, oscuros y con poca profundidad.

Selva

La vegetación de selva estuvo localizada hacia la zona norte de la reserva y es considerada de tipo caducifolio. Presentó una abundancia de 143 individuos de los cuales, *Crescentia cujete* fue la especie con mayor abundancia y valor de importancia. Hubo una clara representación de especies de la familia Fabaceae, como *Haematoxylum campechianum*, segunda especie con mayor valor de importancia y con una alta dominancia debido a que presentó las áreas basales más grandes (tabla 1). Cabe señalar que a pesar de estar dominada por vegetación de selva se observó la presencia de *Laguncularia racemosa*, aunque en densidades bajas. Al igual que los petenes de selva se observó que la vegetación se desarrolla sobre suelos de tipo Leptosol.

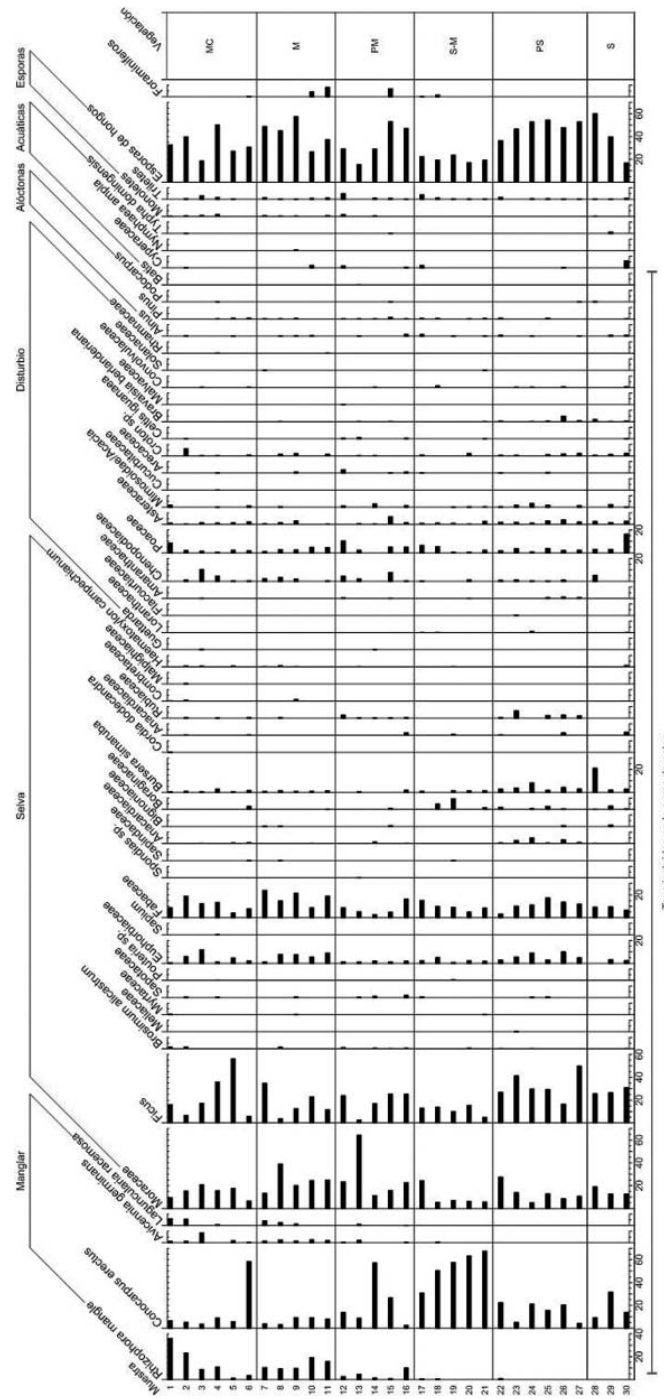
Diagrama polínico

En las 30 muestras de sedimento superficial se identificó un total de 50 taxones arbóreos y no arbóreos pertenecientes a 36 familias. En el diagrama polínico (fig. 2) se visualizan los taxones presentes en cada una de las muestras estudiadas. El eje horizontal corresponde a los porcentajes de polen para cada taxón identificado y que fueron utilizados en la suma de polen, a excepción de aquellos correspondientes a elementos alóctonos, acuáticos y esporas. En el eje vertical derecho se aprecian las seis asociaciones de vegetación: manglar achaparrado

(MC), manglar (M), peten de manglar (PM), sabana-manglar (S-M), peten de selva (PS) y selva (S). Entre los taxa más abundantes se encontró Moraceae ($\leq 50\%$), *Ficus* ($\leq 50\%$) y *Conocarpus erectus*, este último alcanzando hasta un 60% en la asociación vegetal de Sabana-Manglar. Los taxones con concentraciones $\leq 20\%$ fueron Fabaceae, Poaceae, Euphorbiaceae y Chenopodiaceae, el cual registró su mayor abundancia en zonas de vegetación de manglar. Por el contrario *Bursera simaruba* obtuvo sus mayores abundancias en las asociaciones de Petén de selva y Selva (fig. 2).

El registro polínico de las asociaciones con vegetación de tipo manglar y manglar achaparrado, se encontró representado por el polen de los taxa *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. Sin embargo, también es posible apreciar la presencia de numerosos taxones de tipo selvático. Para el Petén de manglar se observó la disminución de los taxones de mangle y el registro de nuevos elementos selváticos como Rubiaceae y Sapotaceae. Con respecto a la asociación de Sabana-Manglar, estuvo caracterizada por un alto porcentaje de *Conocarpus erectus* a diferencia de las otras especies de mangle que presentaron un muy bajo porcentaje y sólo fueron encontradas en un sitio de muestreo. También se observó el aumento de Boraginaceae, y una disminución del registro de polen de elementos de disturbio, tales como Asteraceae y *Croton* sp. Cabe destacar que se registró la presencia de foraminíferos planctónicos ($\leq 10\%$) en las asociaciones de Manglar, Petén de manglar y Sabana-Manglar.

En la asociación de Petén de selva, se encontró el registro de un solo taxón de manglar (*Conocarpus erectus*) y un aumento



MC = Manglar achaparrado; M = Manglar; PM = Peten de manglar; SM = Sabana manglar; PS = Peten de Selva; S = Selva

Fig. 2. Diagrama de la lluvia de polen en la Reserva de la Biosfera Los Petenes.

de taxones de tipo selvático como Anacardiaceae, *Bursera simaruba*, Rubiaceae y Boraginaceae, así como también el aumento de taxa de disturbio como Amaranthaceae, Asteraceae, Mimosoideae/Acacia. En la vegetación de selva se encontraron los taxones *Bursera simaruba* y Bignonaceae. Se registraron taxones de tipo alóctono como *Alnus* sp., *Pinus* sp. y *Podocarpus* sp. A diferencia de lo encontrado en los petenes de selva, en la asociación de selva se observó un menor registro de taxones de disturbio y hubo un aumento en el porcentaje de Poaceae.

Índice de asociación

El índice de asociación de Davis se calculó por medio de los datos de presencia-ausencia de los 50 taxones presentes en los registros de vegetación y polen. De acuerdo a los valores obtenidos, trece de dichos taxones presentan una asociación entre la especie vegetal y el espectro polínico en alguno de los tipos de vegetación (tabla 2). En manglar achaparrado y manglar, las especies *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* presentaron una fuerte asociación entre la vegetación y el polen (0.67 y 1 respectivamente). Dentro de la vegetación de tipo sabana-manglar, la especie mejor asociada fue *Conocarpus erectus* (1). Mientras que en las asociaciones vegetales con predominancia de especies selváticas fueron los taxa *Bursera simaruba* (0.83 y 0.67), Euphorbiaceae (0.67), Fabaceae (0.17 y 0.67). Cabe destacar, que existe una alta sobrerrepresentación de polen correspondiente a taxones selváticos identificados en las asociaciones de manglar. Es decir, hay ausencia de los individuos de la especie (en la vegetación) en el sitio donde se colectó la muestra polínica. Por otra parte, se identificó la ausencia dentro del espectro polínico o subrepresentación de

diversos taxa selváticos en las asociaciones de Peten de selva y sitios con Selva, es decir, se encuentran en la vegetación pero no en la muestra de polen. (tabla 2).

Correlación de Spearman

Para la realización de la correlación de Spearman se utilizaron únicamente los 20 taxones que estuvieron presentes tanto en las parcelas de vegetación como en el registro polínico de las diferentes asociaciones vegetales. A nivel regional (todos los sitios) la mayoría de las correlaciones entre polen y vegetación resultaron no significativas. Debido a ello, se presentan sólo aquellas correlaciones que tuvieron un valor de significancia $p < 0.05$ (tabla 3). Las correlaciones obtenidas para las especies de *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, *Conocarpus erectus* y *Bursera simaruba*, indicaron una fuerte correspondencia entre el porcentaje y cobertura vegetal de estas especies dentro de las asociaciones vegetales de la región (tabla 3).

Al realizar los análisis a una escala local para cada tipo de vegetación (nivel comunidad), se obtuvo que el taxón que presenta una alta correspondencia entre su espectro polínico y vegetación fue *Conocarpus erectus*, para la vegetación de Peten de Manglar y Sabana-Manglar. La única especie con una buena correlación en el ecosistema de manglar achaparrado fue *Avicennia germinans* (tabla 4). Dentro de los ecosistemas de Peten de Selva no se encontraron especies correlacionadas.

Ordenación

El resultado gráfico del análisis por DCA de las muestras de polen, muestra una ligera

Tabla 2. Taxa de polen encontrado en la lluvia de polen con su índice de asociación (A), subrepresentación (U) y sobrerepresentación (O).

| Grupo | Nombre científico | Familia | A | | | | | U | | | | | O | | | | | | | |
|---------|-----------------------------------|-----------------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|------|
| | | | Mc | M | PM | SM | PS | S | Mc | M | PM | SM | PS | S | Mc | M | PM | SM | PS | S |
| Manglar | <i>Avicennia germinans</i> | ACANTHACEAE | 1 | 1 | 0.4 | 0.5 | 0 | NA | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 1 | NA | 0 | 0 | 0.33 | 0 | - | NA |
| Manglar | <i>Conocarpus erectus</i> | COMBRETACEAE | 0 | 0.4 | 0.4 | 1 | 0.33 | 1 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.6 | 0.6 | 0 | 0.67 | 0 |
| Manglar | <i>Laguncularia racemosa</i> | COMBRETACEAE | 0.5 | 0.75 | 0.4 | 0 | NA | 0 | 0.33 | 0.25 | 0.6 | 1 | NA | 1 | 0.33 | 0 | 0 | - | NA | - |
| Manglar | <i>Rhizophora mangle</i> | RIZOPHORACEAE | 0.67 | 0.8 | 0.8 | 0.5 | 0 | NA | 0 | 0 | 0 | 0 | - | NA | 0.33 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 1 | NA |
| Selva | Anacardiaceae | ANACARDIACEAE | 0 | 0 | 0 | NA | 0 | 0 | - | - | - | NA | - | - | 1 | 1 | 1 | NA | 1 | 1 |
| Selva | <i>Metopium brownei</i> | ANACARDIACEAE | 0 | NA | 0 | 0 | 0.17 | 0.5 | - | NA | 1 | 1 | 0.8 | 0.5 | 1 | NA | 1 | 1 | 0.5 | 0 |
| Selva | <i>Spondias</i> sp. | ANACARDIACEAE | NA | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | - | NA | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA |
| Selva | <i>Annona glabra</i> | ANNONACEAE | NA | NA | NA | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Selva | <i>Malmea depressa</i> | ANNONACEAE | NA | NA | NA | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Selva | <i>Cameraria latifolia</i> | APOCYNACEAE | NA | NA | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Selva | <i>Dendropanax arboreus</i> | ARALIACEAE | NA | NA | NA | NA | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Selva | Bignoniaceae | BIGNONIACEAE | NA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | NA | - | - | 1 | 1 | 0.5 | NA | 1 | 1 | - | 1 | 0 |
| Selva | Boraginaceae | BORAGINACEAE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Selva | <i>Cordia</i> sp. | BORAGINACEAE | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | - | NA | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA |
| Selva | <i>Bursera simaruba</i> | BURSERACEAE | 0 | NA | 0 | 0 | 0.83 | 0.67 | - | NA | - | - | 0 | 0 | 1 | NA | 1 | 1 | 0.17 | 0.33 |
| Selva | Combretaceae | COMBRETACEAE | 0 | 0 | NA | NA | NA | NA | - | - | NA | NA | NA | NA | 1 | 1 | NA | NA | NA | NA |
| Selva | <i>Erythroxylum rotundifolium</i> | ERYTHROXYLACEAE | NA | NA | NA | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Selva | Euphorbiaceae | EUPHORBIACEAE | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.67 | 0 | - | - | - | 0 | 0 | - | 1 | 1 | 1 | 0.8 | 0.33 | 1 |
| Selva | <i>Sapium</i> sp. | EUPHORBIACEAE | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | - | NA | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA |
| Selva | Fabaceae | FABACEAE | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 0.17 | 0.67 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0.4 | 0.83 | 0.33 |
| Selva | <i>Haematoxylon campechianum</i> | FABACEAE | 0 | 0 | 0 | 0 | NA | 1 | - | - | - | - | NA | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Tabla 2. Conclusión.

| Grupo | Nombre científico | Familia | A | | | | | U | | | | | O | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------|------------------|----|----|----|----|-----|------|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| | | | Mc | M | PM | SM | PS | S | Mc | M | PM | SM | PS | S | Mc | M | PM | SM | PS | S | | |
| Disturbio | Chenopodiaceae | CHENOPODIACEAE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | - | - | - | 0 | - | - | - | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.8 | 1 |
| Disturbio | Convolvulaceae | CONVOLVULACEAE | 0 | NA | 0 | 0 | 0 | 0 | - | NA | - | - | - | - | - | - | 1 | NA | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Disturbio | Cucurbitaceae | CUCURBITACEAE | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | - | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Disturbio | Cyperaceae | CYPERACEAE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Disturbio | <i>Croton</i> sp. | EUPHORBIACEAE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Disturbio | Malvaceae | MALVACEAE | NA | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | - | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | 1 | NA | NA | NA | NA |
| Disturbio | Mimosidae/Acacia | MIMOSIDAE/ACACIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.67 | - | - | - | 1 | 0 | 0.33 | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.8 | 0 |
| Disturbio | Poaceae | POACEAE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Disturbio | Rhamnaceae | RHAMNACEAE | 0 | 0 | NA | NA | NA | NA | - | - | NA | NA | NA | NA | 1 | 1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Disturbio | Solanaceae | SOLANACEAE | NA | 0 | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | - | NA | NA | NA | 1 | NA | 1 | NA | 1 | NA | NA | NA |
| Disturbio | <i>Celtis</i> sp. | ULMACEAE | 0 | NA | 0 | 0 | NA | 0 | - | NA | - | - | NA | - | 1 | NA | 1 | 1 | 1 | NA | 1 | 1 |
| Alóctono | <i>Alnus</i> sp. | BETULACEAE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | NA | - | - | - | - | NA | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Alóctono | <i>Pinus</i> sp. | PINACEAE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Alóctono | <i>Podocarpus</i> sp. | PODOCARPACEAE | 0 | NA | 0 | NA | 0 | 0 | - | NA | - | NA | - | - | 1 | NA | 1 | NA | 1 | NA | 1 | 1 |
| Acuática | <i>Batis</i> sp. | BATIDACEAE | NA | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | - | NA | NA | NA | 1 | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA |
| Acuática | <i>Nymphaea</i> sp. | NYMPHAEACEAE | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | - | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Acuática | <i>Typha</i> sp. | TYPHACEAE | 0 | NA | 0 | NA | NA | 0 | - | NA | - | NA | NA | - | 1 | NA | 1 | NA | NA | NA | NA | 1 |

†† MC: Manglar chaparro, M: Manglar, PM: Petén de Manglar, SM: Sabana-Manglar, PS: Petén de selva, S: Selva, NA: No Asociado.

Tabla 3. Correlación Spearman y Regresión lineal a nivel regional, es decir, considerando los 20 taxones en los 30 sitios estudiados. Las especies de manglar presentan una alta correspondencia entre su espectro polínico y vegetación.

| Nombre científico | Spearman | p | r ² | F | p |
|----------------------------|----------|--------|----------------|---------|--------|
| <i>Avicennia germinans</i> | 0.9276 | 0.0077 | 93.16% | 54.49 | 0.0018 |
| Bignoniaceae | - | - | 70.94% | 9.7654 | 0.0354 |
| <i>Bursera simaruba</i> | 0.8452 | 0.0341 | 95.48% | 84.4415 | 0.0008 |
| <i>Conocarpus erectus</i> | 0.9429 | 0.0048 | 96.38% | 106.423 | 0.0005 |
| <i>Rhizophora mangle</i> | 0.9276 | 0.0077 | - | - | - |

†† p: valor de significancia estadística, r²: coeficiente de regresión, F: valor de Fisher.

††† Solo se incluyen los taxones que mostraron correlación.

Tabla 4. Correlación Spearman y Regresión lineal considerando los 20 taxones en cada tipo de vegetación. *Conocarpus erectus* presenta una alta correspondencia entre el espectro polínico y vegetación a nivel comunidad.

| Vegetación | Nombre científico | Spearman | p | r ² | F | p |
|------------|----------------------------|----------|--------|----------------|----------|--------|
| Mc | <i>Avicennia germinans</i> | 0.8117 | 0.0499 | 64.52% | 7.2729 | 0.0543 |
| PM | <i>Conocarpus erectus</i> | 0.8944 | 0.0405 | 93.54% | 43.4552 | 0.0071 |
| SM | <i>Conocarpus erectus</i> | - | - | 77.41% | 10.2815 | 0.0491 |
| S | <i>Bursera simaruba</i> | - | - | 99.47% | 187.9815 | 0.0464 |

†† p: valor de significancia estadística, r²: coeficiente de regresión, F: valor de Fisher.

††† Solo se incluyen los taxones que mostraron correlación.

tendencia de ordenamiento, en la cual los sitios pertenecientes a vegetación con predominancia de manglar y que se encuentran cercanos a la línea de costa, se concentraron a la derecha del eje 1, el cual justifica el 30% de la variación de los datos (fig. 3), mientras que las parcelas pertenecientes a vegetación de tipo peten se encuentran en la parte central del gráfico y por último los sitios con la mayor abundancia de la especie *Conocarpus erectus* y que corresponden a las parcelas de la asociación Sabana-Manglar se ubicaron a la izquierda del eje 1.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las comunidades vegetales identificadas en la RBLP muestran diferencias en su composición y estructura. Diversos factores ambientales como topografía, tipo de suelo y gradiente hidrológico son determinantes en su distribución dentro de la reserva, siendo este último el que marca los límites entre las comunidades vegetales. Las asociaciones de manglar muestran dominancia y alto valor de importancia de especies con alta competitividad en ambientes costeros, como son *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* (Urrego *et al.*, 2010).

Los diferentes tipos de peten se encuentran compuestos por especies de manglar y especies de afinidad selvática, en algunos de ellos es posible identificar los afloramientos de agua dulce que permiten el desarrollo de especies como *Gymnanthes lucida* y *Manilkara zapota*. Por otra parte, especies tolerantes a condiciones de desecación y perturbación como *Metopium brownei* y *Cameraria latifolia* se encuentran frecuentemente en sabanas y selvas caducifolias, ubicadas hacia el límite tierra adentro de la reserva.

La identificación de las distintas comunidades de la RBLP fue posible por medio del espectro polínico. El espectro muestra la dominancia de comunidades de manglar, principalmente representadas por *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*. Siendo esta última la más dominante de las tres especies. Esta especie es anemófila (dispersión por viento y alta producción de polen), lo que le permite encontrarse tanto en la proximidad de los árboles de procedencia como tierra adentro de su posición en el paisaje (Rodgers y Horn, 1996; Engelhart *et al.*, 2007). Estos resultados concuerdan con diversos estudios que sugieren que *Rhizophora mangle* es la especie más dominante en este tipo de ambientes y puede ser considerada un indicador de la influencia marina, nivel de inundación y de la dinámica hidrológica en el ecosistema de manglar. No obstante *Avicennia germinans* es un indicador del nivel de salinidad y, por tanto, de los cambios intermareales, por consiguiente también es un buen indicador de los cambios hidrológicos locales (Rodgers y Horn, 1996; Engelhart *et al.*, 2007; Urrego *et al.*, 2010).

A pesar de que el espectro polínico indicó que las asociaciones con vegetación de selva están representadas principalmente por *Bursera simaruba*, están bien representados taxones como Anacardiaceae, Fabaceae, Moraceae, los cuales han sido considerados buenos indicadores para este tipo de vegetación (Islebe *et al.*, 2001; Domínguez-Vázquez *et al.*, 2004). Diversos taxones representativos de la zona como *T. domingensis*, *M. brownei*, *Sabal yapa*, *B. berlandieriana* no se encontraron bien representados dentro de la lluvia de polen actual; lo cual puede ser explicado por medio de las estrategias reproductivas de

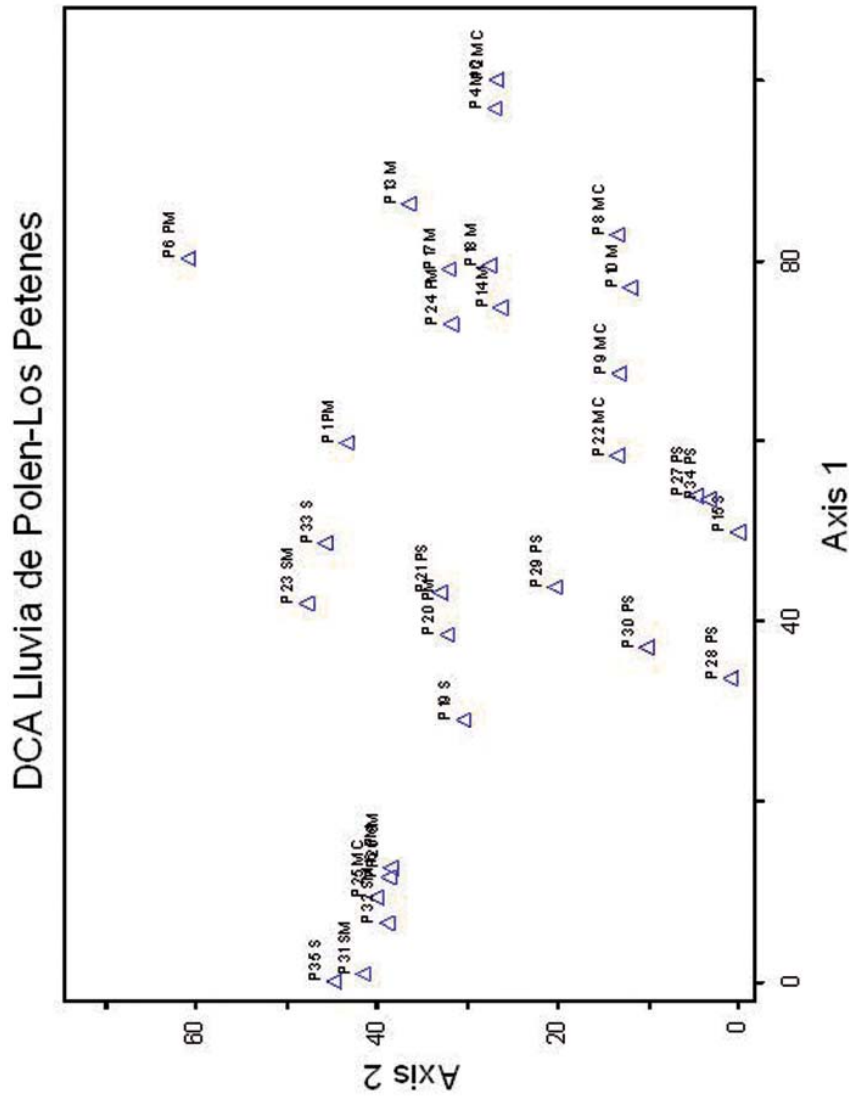


Fig. 3. Ordenación de los sitios de las muestras de polen por DCA. El eje 1 representa el gradiente hidrológico de la zona que permite la presencia de patrones de distribución específico. †† MC: manglar chaparro, M: manglar, PM: petén de manglar, SM: sabana-manglar, PS: petén de selva, S: selva.

cada especie y los síndromes de dispersión (anemofilia y entomofilia), la presencia y abundancia de la especie en el sitio, así como factores ambientales o inherentes a la edad de los individuos que restringen la producción floral. Este tipo de condiciones permitirían también explicar la presencia de taxones sobrerrepresentados, los cuales suelen estar ligados a una alta productividad polínica y dispersión por viento (Hicks, 2006; Gosling, *et al.*, 2009, Amami *et al.*, 2010). Por otra parte, la estructura abierta de las asociaciones de sabana-manglar y manglar chaparro facilita una mayor captación-depositación de polen dispersado por el viento, por lo que en estas asociaciones se presenta una mayor sobrerrepresentación de polen y presencia de especies polínicas alóctonas (Lebamba *et al.*, 2009). El espectro polínico permite identificar los cambios en la distribución de las especies y la conformación de las diferentes comunidades vegetales, determinadas por el gradiente hídrico, el sustrato y la topografía.

La ordenación por DCA no expresó un claro patrón de agrupación, sin embargo, en el primer eje de ordenación se puede apreciar una tendencia que permite la asociación de los sitios siguiendo un gradiente hidrológico. La alternancia entre las zonas de mayor inundación, afloramientos de agua y zonas de menor inundación, permite la presencia de diferentes comunidades con patrones de distribución específicos. Este mosaico es principalmente controlado por la hidrología de la zona y el tipo de suelo, principales factores que determinan la estructura de la vegetación y repercuten en la capacidad de dispersión de las especies, debido a los efectos de la conectividad en el paisaje (Diekötter *et al.*, 2008; Amami *et al.*, 2010). Las correlaciones entre polen y vegeta-

ción obtenidas para *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, *Conocarpus erectus* y *Bursera simaruba* permitieron la identificación de una fuerte relación entre los datos actuales de vegetación y polen dentro de la región, por lo que podría ser considerada una herramienta útil para interpretaciones futuras. Sin embargo, los bajos niveles de identificación taxonómica limitaron su aplicación en la comparación directa para la mayoría de las especies registradas (Burry *et al.*, 2001; Amami *et al.*, 2020).

Con el análisis anterior es posible resaltar de las comunidades vegetales lo siguiente:

Manglar achaparrado y manglar: las especies representativas de estas comunidades *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* presentaron asociación, correlación y cierto patrón en la ordenación. Con base en estos resultados y la ecología de las especies, estas especies pueden ser consideradas indicadoras de cambios al nivel del mar, cambios en la salinidad y cambios intermareales.

Peten de manglar y peten de selva: las abundancias de los taxones con afinidad de selva son mayores en comparación con las comunidades de manglar, existe asociación en diferentes taxones de selva, la ordenación aglomera a la mayoría de petenes en el centro del eje 1, lo cual muestra que hay gran afinidad entre estas comunidades. El cambio en el sustrato (gleysol e histosol), suelos más orgánicos inundables pero además con afloramientos de agua, permiten el desarrollo de comunidades más diversas.

Sabana-manglar: esta comunidad se encuentra inmersa en áreas de mayor estrés hídrico, ya que la inundación es estacional

y no se observan afloramientos de agua. Elementos que resisten mayor desecación son frecuentes (*Conocarpus erectus* y *Cameraria latifolia*). El espectro polínico es dominado por *Conocarpus erectus*, algunos taxones asociados a selva son abundantes, ya que el dosel es abierto, representan áreas de depositación de vegetación ubicada a cortas y largas distancias. Existe asociación en algunas especies, principalmente con especies de manglar (*C. erectus*, *A. germinans*, *R. mangle*), algunos taxones de selva también presentan asociación, principalmente Fabaceae. La ordenación y correlación muestra que la abundancia y dominancia de *C. erectus*, son determinantes para agrupar las parcelas de este tipo de vegetación. *C. erectus*, Fabaceae y Poaceae pueden ser utilizados como indicadores de esta comunidad.

Selva: la comunidad de selva se caracteriza por elementos de selvas bajas inundables y subcaducifolias, los suelos arcillosos como leptosoles mantienen la inundación estacional, por lo cual permiten el desarrollo de especies tolerantes a la inundación. Sin embargo el límite oeste de la reserva no presenta afloramientos de agua dulce, ríos, riachuelos, aguas o lagunas, generando condiciones más secas que en el resto de la reserva. La ordenación muestra afinidad entre los componentes de sabana-manglar y selva, ya que agrupa estas comunidades. *C. erectus* presenta asociación junto con especies como *Bursera simaruba*, *Metopium brownei*, Fabaceae, taxones típicos de selva, lo cual muestra que estas pueden ser utilizadas como indicadores de esta comunidad.

La aplicación de diversos métodos para el análisis de la relación vegetación-lluvia de

polen actual, permitió caracterizar el espectro polínico de las asociaciones que conforman la Reserva de la Biosfera Los Petenes. La identificación de especies indicadoras de cada comunidad vegetal fue posible mediante las diversas herramientas de análisis, el índice de asociación de Davis constituye una herramienta útil, no obstante se requiere de la incorporación de análisis estadísticos para identificar si es posible establecer relaciones numéricas entre los datos. De acuerdo con dichos análisis, la ordenación es la herramienta que permite identificar una mayor relación entre la vegetación y lluvia de polen, esta relación está influenciada por diversos factores como la depositación y dispersión, esta última de gran importancia, ya que los síndromes de dispersión (entomófilo y anemófilo) son determinantes en la abundancia polínica depositada como lluvia de polen. Los métodos estadísticos utilizados en este estudio demostraron ser una herramienta favorable para el análisis de la relación vegetación-lluvia de polen, sin embargo, es necesario continuar con la realización de este tipo de estudios que permitan abarcar toda la península de Yucatán, así como la ampliación de las colecciones de referencia, que permitan cuantificar la lluvia polínica controlando variables espaciales y temporales, así como la calidad de la identificación taxonómica.

LITERATURA CITADA

- Amami, B.; S. Muller, L. Rhazi, P. Grillas, M. Rhazi, y S. Bouahim, 2010. "Modern pollen-vegetation relationships within a small Mediterranean temporary pool (western Morocco)". *Review of Palaeobotany and Palynology*, **162**: 213-225.

- Barrera, A., 1982. "Los Petenes del noroeste de Yucatán. Su exploración ecológica en perspectiva". *Biótica*, **2**: 163-169.
- Burruy, L., M. Trivi, P. Palacio, y M. Lombardo, 2001. "Relaciones polen-vegetación de algunos taxos de la estepa patagónica (Argentina)". *Revista Chilena de Historia Natural*, **2**: 419-427.
- Carrillo-Bastos, A., 2008. "Variación climática y ecológica durante el Holoceno Medio-Tardío en la Península de Yucatán, un enfoque geoespacial". Tesis de maestría. ECOSUR. México. 59 pp.
- CONANP, 2006. "Programa de conservación y manejo. Reserva de la Biosfera Los Petenes". Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México, Campeche. 101 pp.
- Correa, L., y G. Lozano. 2004. "Análisis palinológico del Holoceno en la vereda Alto del Mercado, Marinilla, Antioquia". *Actual Biol.*, **26**: 60-71.
- Davis, M.B. & Goodlett J.C., 1960. "Comparison of the present vegetation with pollen-spectra in surface samples from Brownington pond, Vermont". *Ecology*, **41**: 346-357.
- Davies, C., y P. Fall, 2001. "Modern pollen-precipitation from an elevational transect in central Jordan and its relationship to vegetation". *Journal of Biogeography*, **28**(10): 1105- 1210.
- Diekötter, T.; R. Billeter, y T.O. Crist., 2008. Effects of landscape connectivity on the spatial distribution of insect diversity in agricultural mosaic landscapes. *Basic and Applied Ecology*, **9**: 298-307.
- Domínguez-Vázquez, G.; G. Islebe y R. Villanueva, 2004. "Modern pollen deposition in Lacandon forest, Chiapas, México". *Review of Paleobotany and Palynology*, **131**: 105-116.
- Durán, R., 1987. "Descripción y análisis de la estructura y composición de la vegetación de los petenes del noroeste de Campeche, México". *Biotica*, **12**(3): 181-207.
- Durán, R. 1995. "Diversidad florística de los petenes de Campeche". *Acta Botánica Mexicana*, **31**: 73-84.
- Engelhart, S.; B. Horton, D. Roberts, C. Bryant, D.R. Corbett, 2007. Mangrove pollen of Indonesia and its suitability as a sea-level indicator. *Marine Geology*, **242**: 65-81.
- Eardtman, G., 1943. "An Introduction to Analysis Pollen". *Chronica Botanica Company USA*. 239 pp.
- Fine, B., 1978. "Vegetation and modern pollen spectra in Sinaloa and Nayarit, México". En: Rodgers J. y S. Horn. 1996. *Modern pollen spectra from Costa Rica*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, *Palaeoecology*, **124**: 53-71.
- Finsinger, W.; O. Heiri, V. Valsecchi, W. Tinner, A. Lotter, 2007. "Modern pollen assemblages as climate indicators in southern Europe". *Global Ecol. Biogeogr.*, **16**: 567-582.

- Fletcher, M.S., e I. Thomas, 2007. "Modern pollen-vegetation relationships in western Tasmania, Australia". *Review of Palaeobotany and Palynology*, **146**: 146-168.
- García, E., 1976. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF, 246 pp.
- Gentry, A.H., 1982. "Patterns of Neotropical plant species diversity". *Evolutionary Biology*, **15**: 1-85.
- Gosling, W.; F. Mayle, N. Tate, y T. Killeen, 2009. "Differentiation between Neotropical rainforest, dry forest, and savannah ecosystems by their modern pollen spectra and implications for the fossil pollen record". *Review of Palaeobotany and Palynology*, **153**: 70-85.
- Grimm, E.C., 2011. TILIA software version 1.7.16: Illinois State Museum, Research and Collection Center. Springfield USA. <<http://intra.museum.state.il.us/pub/grimm/tilia/>>
- Hevly, R.; P.J. Mehringer, y H. Yocum, 1965. "Studies of the Modern Pollen Rain in the Sonoran Desert". *Journal of the Arizona Academy of Science*, **3**(3): 123-135.
- Hicks, S., 2006. "When no pollen does not mean no trees". *Veget Hist Archaeobot.*, **15**: 253-261.
- Islebe, G.; R. Villanueva, y O. Sánchez. 2001. "Relación lluvia de polen-vegetación en selvas de Quintana Roo". *Bol. Soc. Bot. México*, **69**: 31-38.
- Kasprzyk, I., 2006. "Comparative study of seasonal and intradiurnal variation of airborne herbaceous pollen in urban and rural areas". *Aerobiología*, **22**: 185-195.
- Latorre, F., y M. Caccavari, 2006. "Deposición polínica actual en el Parque Nacional Pre-Delta, Entre Ríos, Argentina". *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat.*, **8**(2): 195-200.
- Lebamba, J.; A. Vincens, D. Jolly, A. Ngomanda, P. Schevin, J. Maley, y I. Bentaleb., 2009. "Modern pollen rain in savanna and forest ecosystems of Gabon and Cameroon, Central Atlantic Africa". *Review of Palaeobotany and Palynology*, **153**: 34-45.
- León, P., 2006. "Aprovechamiento de fauna silvestre en una comunidad aledaña a la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche". Tesis de maestría. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN-Unidad Mérida. Yucatán, México. 90 pp.
- Lozano-García, S., 1984. "Interpretaciones sobre la lluvia de polen en la región de San Luis Potosí, México". *Bol. Soc. Bot. México*, **46**: 53-74.
- Madanes, N., y A. Millones, 2004. "Estudio del polen aéreo y su relación con la vegetación en un agrosistema". *Darwiniana*, **24**: 1-4.
- Meyer, E., 1975. "Vegetation and pollen rain in the Cuatro Ciénegas Basin,

- Coahuila, Mexico". *The Southwestern Naturalist*, **20**(2): 215-224.
- de Oaxaca, México". *Polibotánica*, **28**: 161-190.
- Monnacci, N.; U. Meier-Grünhagen, B. Finney, Behling, H., y Wooler, M. 2011. "Paleoecology of mangroves along the Sibun River, Belize". *Quaternary Research*. DOI: 10.1016/j.yqres.2011.06.001
- Palacios, C., 1977. "Lluvia de polen moderno en diferentes hábitats del Valle de México". *Bol. Soc. Bot., México*, **36**.
- Montiel, S., A. Estrada, y P. León, 2006. "Bat assemblages in a naturally fragmented ecosystem in the Yucatan Peninsula, Mexico: species richness, diversity and spatio-temporal dynamics". *Journal of Tropical Ecology*, **22**: 267-276.
- Palacios-Chávez, R.; B. Ludlow-Wiechers, y R. Villanueva-Gutiérrez, 1991. "Flora palinológica de Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México". Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Quintana Roo, México.
- Moore, P.D., J.A.; Webb, y M.E, Collinson. 1991. "Pollen Analysis". Blackwell Scientific Publications.
- Pat, J., y P. Hernández, 2004. *Memoria del taller de diagnóstico de los sistemas de producción en el área aledaña a la Reserva de la Biosfera de Los Petenes (RBLP), Campeche, México*. CONANP-ECOSUR. Campeche, México. 55 pp.
- Nitiu, D., 2009. "Estudio del polen atmosférico y su relación con la vegetación local". La Plata, Argentina. *Acta Botánica Malacitana*, **34**: 189-199.
- Rico-Gray, V., 1982. "Estudio de la vegetación de la zona costera inundable del noroeste del Estado de Campeche, México: Los Petenes". *Biotica*, **7**(2): 171-190.
- Olmsted, I., y R. Duran, 1988. "Aspectos ecológicos de los petenes de Florida, Campeche y Quintana Roo". pp. 517-536. Mem.Simp: *Ecol. Concerv. Delta Rios Usumacinta y Grijalva*. INIREB y Gob. de Tabasco, México, 714 pp.
- Rico-Gray, V., y M. Palacios-Ríos, 1996. "Salinidad y el nivel del agua como factores en la distribución de la vegetación en la ciénega del NW de Campeche, México". *Acta Botánica Mexicana*, **34**: 53-61.
- Ortiz, P., y A. Méndez, 1999. "Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe". *Investigaciones Geográficas Boletín*, **39**: 68-81.
- Rodgers, J., y S. Horn, 1996. "Modern pollen spectra from Costa Rica". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **124**: 53-71.
- Osorio-Pascual, A.; Quiroz-García, y D. 2009. "Lluvia de polen de la ciudad de Oaxaca, México". *Polibotánica*, **28**: 161-190.
- Tonello, S., y A. Prieto, 2008. "Modern vegetation-pollen-climate relationships

- for the Pampa grasslands of Argentina”. *Journal of Biogeography*, **35**: 926-938.
- Torrescano-Valle, N., 2004. “Actuo y paleo palinología de la Península de Yucatán: Estudios de caso de lluvia de polen y reconstrucciones ambientales”. Tesis de maestría. ECOSUR. México. 42 pp.
- Torrescano-Valle, N., 2007. “Reconstrucción paleoambiental del Holoceno Medio -Tardío en la parte centro-sur de la Península de Yucatán, México”. Tesis de doctorado. ECOSUR. México. 94 pp.
- Trivi de Mandri, M.; L. Burry, y L. D’Antoni, 2006. “Dispersión-depositación del polen actual en Tierra de Fuego, Argentina”. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **77**: 89-95.
- Urrego, L.; C. González, G. Urán, y J. Polanía, 2010. “Modern pollen rain in mangroves from San Andres Island, Colombian Caribbean”. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **162**: 168-182.

Anexo 1. Características de los tipos de suelo presentes en la Reserva de la Biosfera Los Petenes.

| Tipo de suelo según la WRB | Características |
|-----------------------------------|--|
| Leptosol | Suelos someros de colores oscuros. Con capa superficial abundante en humus y muy fértil, descansa sobre roca caliza o con más de 40% de carbonato de calcio, generalmente arcilloso. |
| Solonchak | Suelos sometidos a inundación durante alguna parte del año, presentan un alto contenido de sales |
| Gleysol | Suelos que se inundan en alguna época del año. Se caracterizan por presentar colores grises, azulosos o verdosos que al secarse y exponerse al aire puede presentar manchas rojas. |
| Histosol | Suelos con muy poca profundidad, con un horizonte superior menor a 10 cm, compuesto de altos contenidos de material orgánico. |
| Vertisol | Son suelos pesados en épocas de secas y pegajosos en lluvias, muy arcillosos, con un material parental formado por sedimentos de elevada proporción de arcillas expansibles producidas a partir de meteorización de rocas y el contenido de esta arcilla genera que cuando se secan forman grietas anchas y profundas. |