



El Colegio de la Frontera Sur

Variación climática y ecológica durante el Holoceno
Medio-Tardío en la Península de Yucatán, un enfoque
geo-espacial

TESIS

Presentada como requisito parcial para optar al grado de Maestría en Ciencias en Recursos
Naturales y Desarrollo Rural

Por

Alicia Carrillo Bastos

2008



El Colegio de la Frontera Sur

Chetumal, Quintana Roo, 12 de Diciembre de 2008.

Los abajo firmantes, miembros del jurado examinador de la alumna

Alicia Carrillo Bastos

Hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada: Variación Climática y Ecológica de la Península de Yucatán, durante el Holoceno Medio-Tardío un enfoque geo-espacial, para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural.

	Nombre	
Tutor	Dr. Gerald Alexander Islebe	_____
Asesora	Dra. Nuria Torrescano Valle	_____
Asesor	Dr. Juan Pablo Carricart Ganivet	_____
Sinodal adicional	Dr. Rogel Villanueva Gutiérrez	_____
Sinodal suplente	M.C. Holger Weissenberger	_____

*A Ramón y Alicia, mis padres,
que me brinda su amor, apoyo incondicional, me motivan y sobre todo,
me enseñaron que la mejor herencia que me pueden dejar son mis estudios.*

Agradecimientos

Al Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por permitirme el ingreso al posgrado y proporcionarme los servicios e infraestructura necesaria para realización de mis estudios. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada, con el número de registro 214756 y el financiamiento del proyecto, “Reconstrucciones Paleoclimáticas y Paleoecológicas del Holoceno Tardío de Quintana Roo” (clave 46233).

Al Dr. Gerald Islebe, que como maestro me compartió sus valiosos conocimientos e ideas, como amigo su apoyo, y como tutor, dedicación, compromiso y tiempo. Todo esto indispensable para la realización de mi tesis y estudios de posgrado.

A la Dra. Nuria Torrescano, por sus apreciables ideas y observaciones para realizar y mejorar este proyecto. Por su tiempo y enseñanzas en el laboratorio, así como sus consejos para culminar satisfactoriamente el posgrado.

A los otros integrantes del comité evaluador formado por el Dr. Juan Pablo Carricart Ganivet, Dr. Rogel Villanueva Gutiérrez y M.C. Holger Weissenberger, por su tiempo en la revisión del manuscrito.

A Magda, por el apoyo en servicios escolares, así como su guía y facilidades a lo largo de este proceso.

A mis compañeros de generación, con quienes compartí esta etapa, especialmente a Marina y Anita, por su ayuda... que no terminaría de resumir.

A Víctor, por su amor, comprensión, apoyo, compartir mis sueños y ser un pilar fundamental en todo momento.

A Doña Silvia y Don Armando por recibirme en su casa, por el cariño, el apoyo y alegrarse con cada uno de mis logros.

Y a todos aquellos que no se encuentran en esta página pero que directa e indirectamente formaron parte de esta etapa de mi formación académica.

ÍNDICE

RESUMEN	2
I INTRODUCCIÓN	3
II OBJETIVOS.....	8
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	8
II MÉTODO	9
3.1 ÁREA DE ESTUDIO	9
3.2 MÉTODO	11
3.2.1 Reconstrucción paleoecológica y paleoclimática del centro de Quintana Roo.....	11
3.2.1.1 Sitio de muestreo.....	11
3.2.1.2 Colecta de muestras.....	12
3.2.1.3 Tratamiento de muestras	13
3.2.1.4 Conteo y análisis de datos	16
3.2.2. Reconstrucción de la distribución de la vegetación y el clima de la Península de Yucatán durante los últimos 2500 años.....	17
3.2.2.1 Construcción de la base de datos	17
3.2.2.1 Elaboración de las capas de vegetación.....	18
IV RESULTADOS	20
4.1 RECONSTRUCCIÓN PALEOECOLÓGICA Y PALEOCLIMÁTICA DEL CENTRO DE QUINTANA ROO.....	20
4.1.1 Cronología y estratigrafía.....	20
4.1.2 Análisis de Polen	22
4.1.3 Análisis de isótopos de oxígeno y carbono	28
4.2 RECONSTRUCCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN Y DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN DURANTE LOS ÚLTIMOS 2500 AÑOS.....	33
V DISCUSIÓN.....	37
VI CONCLUSIONES.....	51
VII LITERATURA CITADA	53
VIII ANEXOS.....	60

RESUMEN

En este estudio se presenta la reconstrucción de la historia de la vegetación y las condiciones climáticas del centro de Quintana Roo, durante los últimos 7500 años, inferida mediante el análisis de polen fósil e isótopos de oxígeno y carbono. Así como la incorporación de SIG para análisis la distribución espacial de la paleovegetación de la península de Yucatán, como indicadora de cambios en los gradientes de precipitación durante el Holoceno tardío. En el centro de Quintana Roo, durante el Holoceno medio el mosaico de vegetación estaba compuesto por selva mediana, selva baja, selva baja inundable, sabana y manglar. En la transición al Holoceno tardío la humedad se redujo y la vegetación adquirió un carácter abierto. En el Holoceno tardío las condiciones secas se acentuaron durante el Clásico, la vegetación arbórea se redujo y se registró la presencia de *Zea mays* (1533 cal BC). En el clásico se presentaron tres eventos de sequía: 508-593 AD, 763 AD (la primera del clásico terminal) y 1018 AD. Durante el óptimo climático de la edad media (después de 1018 AD), la vegetación quedó compuesta por selva mediana, selva baja inundable, sabanas y cultivos. La incorporación de los SIG al análisis de polen, permitió establecer en términos cualitativos cambios en la precipitación y detectar el efecto simultáneo del factor clima y sociedad. Los cambios ocurridos en la vegetación durante el Preclásico en la península de Yucatán ha sido resultado de las variaciones en la precipitación. Durante el Clásico al factor de la variación climática se le suma el de las actividades realizadas por la cultura maya. En el 450 AD se observa la presión simultánea de ambos factores sobre la cobertura vegetal, dando como resultado la reducción de ésta. Este trabajo constituyó el primer acercamiento a la integración de los SIG como herramienta en la reconstrucción de la paleovegetación de la península de Yucatán, y comprueba su potencialidad.

I INTRODUCCIÓN

Las variaciones climáticas, entendidas como alteraciones en la temperatura y precipitación, ocurren en diversas escalas temporales y espaciales, y tienen influencia sobre todas las formas de vida y en las relaciones ecológicas que estas establecen (Burroughs, 2001). Un ejemplo de estas variaciones son las épocas glaciares e interglaciares del periodo Cuaternario. En especial para zonas tropicales, las cuales se encuentran lejos de las capas de hielo, además de las variaciones en la temperatura, se presentan cambios en los niveles de precipitación (Bell y Walker, 1992).

El Holoceno, los últimos 10 000 años, constituye una época que involucra variaciones climáticas globales, y se compone de una serie de eventos a meso, macro y microescala. Durante esta época interglaciar, las masas de hielo, formadas durante el pleistoceno, retrocedieron. Entre otros factores, el retroceso fue provocado por el incremento en la insolación (Williams et al. 1993), como consecuencia, permitió la formación de suelos, de lagos, el establecimiento de la línea de costa y la distribución natural actual de las comunidades vegetales (Roberts, 1998).

Los estudios paleoambientales, permiten dilucidar esta serie de cambios ocurridos en el tiempo. En general, brinda la oportunidad de conocer las condiciones que existían en el pasado, marcan el desarrollo temporal de los ambientes, y permiten interpretar las condiciones actuales para prever eventos futuros (Roberts, 1998). Además, permiten entender las relaciones entre el hombre y sus recursos, así como apreciar el tiempo de recuperación de los ecosistemas cuando estos han sido afectados.

Dado que las comunidades vegetales son asociaciones temporales definidas por el ambiente físico, un método efectivo para la reconstrucción de la historia de ambientes y por ende de variación climática, lo constituye el análisis de polen fósil acumulado en los sedimentos de los cuerpos lacustres, previa datación del material orgánico mediante radiocarbono

(Islebe 1999). En conjunto con el polen fósil, se han utilizado otro tipo de proxys como las concentraciones de isótopos estables (^{13}C y ^{18}O) contenidos en la concha de invertebrados, principalmente gasterópodos y ostrácodos (Curtis et al. 1996; Leyden et al. 1996; Hodell et al. 2001, 1995;). Las variaciones en dichas concentraciones permiten inferir cambios en la precipitación, temperatura y, particularmente los isótopos de carbono, el dominio entre vegetación arbórea (C3) y herbáceas (C4) (Curtis et al. 1996).

El uso simultáneo de diversos proxys (polen, isótopos, diatomeas, densidad de sedimentos, entre otros), permite armar de manera más certera la historia del clima y de la vegetación. Esto sobre todo, cuando los ambientes se han visto afectados por el impacto humano, como ha ocurrido desde el Holoceno Medio-Tardío en la Península de Yucatán (Coe, 1994; Islebe y Sánchez, 2002; Leyden, 1996, 1998, 2002; Torrescano e Islebe 2006).

En la Península se han realizado estudios paleoambientales durante los últimos 50 años, utilizando el análisis de diversos proxys contenidos en los sedimentos de los cuerpos de agua de la zona, para explicar interacciones complejas entre clima, el ambiente, y la antigua cultura maya (Brenner *et al.*, 2002). A pesar del tiempo de estudio en la región, los trabajos realizados aun son escasos y pocos se han extendido más allá del Holoceno medio (Tabla 1).

Los trabajos de los Lagos Cobá (Leyden et al. 1998) y Chichancanab (Hodell et al. 1995) son las reconstrucciones multiproxy que abarcan los lapsos más amplios de tiempo y permiten armar la historia del Holoceno Temprano. Ambos trabajos concuerdan en que durante esta fase de tiempo, como respuesta a la alta precipitación y el incremento del nivel del mar, los lagos se llenaron. Estas condiciones durante el Holoceno temprano, favorecieron a la distribución de los elementos de selva y al establecimiento moderno de las formaciones vegetales en la Península de Yucatán (Leyden, 2002).

Con los trabajos que reconstruyen el Holoceno medio (Islebe et al., 1996, Curtis et al. 1996; Hodell et al. 1995; Leyden et al. 1996, 1998; Torrescano e Islebe, 2006 y Torrescano 2007) se concluyó que en este tiempo prevalecieron las condiciones cálidas con abundante humedad. Particularmente el de Torrescano e Islebe (2006) permite determinar el que establecimiento de la línea de costa sucedió posterior a los 3800 yr BP aproximadamente.

Tabla I. Trabajos paleoambientales realizados en la Península de Yucatán.

Sitio	Autor	Holoceno			Proxy
		Temprano	Medio	Tardío	
Lago Cobá	Leyden et al., 1998, 2002; Whitmore et al. 1996				Polen, isótopos de oxígeno y composición de sedimentos
Lago Chichancanab	Covich y Stuvier, 1974; Hodell et al., 1995, 2001, 2005				Polen, isótopos de oxígeno y composición de sedimentos
Cenote San José Chulchacá	Leyden et al. 1996				Polen, composición de sedimentos e isótopos de oxígeno
Laguna Silvituc	Torrescano-Valle, 2007				Polen
Laguna Tzib	Torrescano, 2007; Presente estudio				Polen e isótopos de oxígeno y carbono
Lago Punta Laguna	Curtis et al., 1996; Hodell et al. 2007				Isótopos de oxígeno y carbono
El Palmar	Torrescano e Islebe, 2006				Polen
Puerto Morelos	Islebe y Sánchez, 2002; Torrescano, 2007				Polen

El Holoceno Tardío, es el lapso de tiempo que la mayoría de los trabajos abarca y resulta de gran interés por el establecimiento, florecimiento y colapso de la cultura Maya. Las investigaciones concuerdan en la presencia de condiciones relativamente más secas en comparación al Holoceno Temprano-Medio (Curtis et al. 1996; Hodell et al. 1995, 2001, 2005; Islebe et al. 2002, Leyden, 1996, 1998; Mueller et al. en prensa y

Torrescano 2007). Registran tanto evidencias de la ocupación Maya (polen de *Zea mays*), como de la regeneración de los bosques posterior el colapso. Además, establecen que clima ha sido marcado por periodos alternados de condiciones secas y húmedas durante los pasados 2800 años, y relacionan los eventos de sequía con la desaparición de la cultura Maya (Haug et al., 2003).

En el resto de la región circuncaribe, de igual forma, se han realizado estudios paleoambientales, dentro de los cuales se encuentran: el del Lago Petén-Itzá (Islebe et al. 1996; Curtis et al. 1998; Anselmetii et al. 2006), Laguna Salpetén (Leyden, 1987), Lago Quexil (Leyden et al. 1984, 1993), en la cuenca del Cariaco (Haug et al., 2001, 2003), Lago Puerto Arturo (Wahl et al. 2006), Twin Cays (Wooller et al. 2007), entre otros.

En la península de Yucatán los estudios desarrollados han avanzado en la historia climática y ecológica de la región. Sin embargo, para relacionar los cambios ambientales en un área tan grande y diversa, se requiere de una gran cantidad de datos paleoecológicos. Asimismo es necesario, desarrollar herramientas para integrar sistemáticamente estos datos, de manera que permitan definir adecuadamente, cuáles de las variaciones en la vegetación fueron por impactos humano, cambio climático local o regional, y qué cambios se deben a la variación o ciclicidad natural del clima (Islebe, 1999).

La incorporación del análisis de la distribución espacial de la vegetación a lo largo del tiempo, mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG), constituye una herramienta eficiente. Los SIG permiten: proyectar los diversos fenómenos del ecosistema en capas temáticas, almacenar dichas capas, procesarlas de manera independiente y posteriormente integrarlas, para encontrar relaciones y correlaciones entre los fenómenos (Chinea, 2002).

La capacidad de los SIG para procesar múltiples fenómenos, incluye técnicas para estimar valores en sitios o puntos que no han sido medidos,

tomando en cuenta la distribución espacial de los sitios muestreados. Estas técnicas conocidas como interpolación (Wadsworth y Treweek, 1999), representan una herramienta de gran utilidad en los estudios paleoambientales, ya que permiten analizar regiones completas y no únicamente sitios puntuales.

La incursión de la reconstrucción de la paleovegetación mediante sistemas de información geográfica es reciente y los trabajos son escasos. Existe una reconstrucción de los últimos 18 000 años para el este de Norteamérica (Overpeck y Webb, 1993), una mundial para el último glaciador máximo (LGM) (Ray y Adams, 2001), para China (desde el LGM hasta el Holoceno-Medio) (Yu et al. 2002), durante todo el Holoceno en Fennoscandia (Giesecke y Bennett, 2004), y en las sabanas de Colombia desde los últimos 8000 años (Flantua et al. 2007).

La necesidad de incrementar e integrar los datos paleoecológicos en la región, justifica la implementación de herramientas de análisis espacial. El presente trabajo se enfocó en primer término, a aportar evidencias de cambios en la historia del clima y vegetación mediante el análisis de un sondeo fósil en el centro de Quintana Roo, y posteriormente, a la incorporación de SIG al análisis de la paleovegetación, para detectar cambios paleo-climáticos, empleando parámetros ambientales como la precipitación.

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Reconstruir la historia de la vegetación y las condiciones climáticas del centro de Quintana Roo, ocurridas durante el Holoceno medio-tardío, utilizando como herramientas isótopos estables y polen fósil depositados en los sedimentos de la Laguna Tzib, así como la incorporación de sistemas de información geográfica para el análisis la distribución espacial de la paleovegetación de la península de Yucatán, como indicadora de cambios en los gradientes de precipitación.

2.2 Objetivos particulares

- Identificar los cambios de la vegetación, ocurridos durante los últimos 7500 años en el centro de Quintana Roo, mediante el análisis de polen fósil depositado en la Laguna Tzib.
- Establecer los cambios climáticos, sucedidos en el centro de Quintana Roo, durante el Holoceno medio-tardío, utilizando como proxy isótopos estables.
- Analizar los cambios espaciales de la vegetación, ocurridos desde el Holoceno tardío en la península de Yucatán.
- Determinar las variaciones climáticas ocurridas durante el Holoceno tardío en la región.

II Método

3.1 Área de estudio

La Península de Yucatán representa una de las 11 provincias fisiográficas del territorio Mexicano y se localiza entre los 18° - 21° 30' de latitud norte y 86° 43' – 92° 50' de longitud oeste (Fig. 1). La bordean las aguas del Golfo de México por el occidente y norte, y el mar de las Antillas o Caribe por el oriente. Es una plataforma de rocas calcáreas, con numerosos lagos y escaso relieve en donde sus mayores altitudes no alcanzan los 400m (Vidal-Zepeda, 2005).

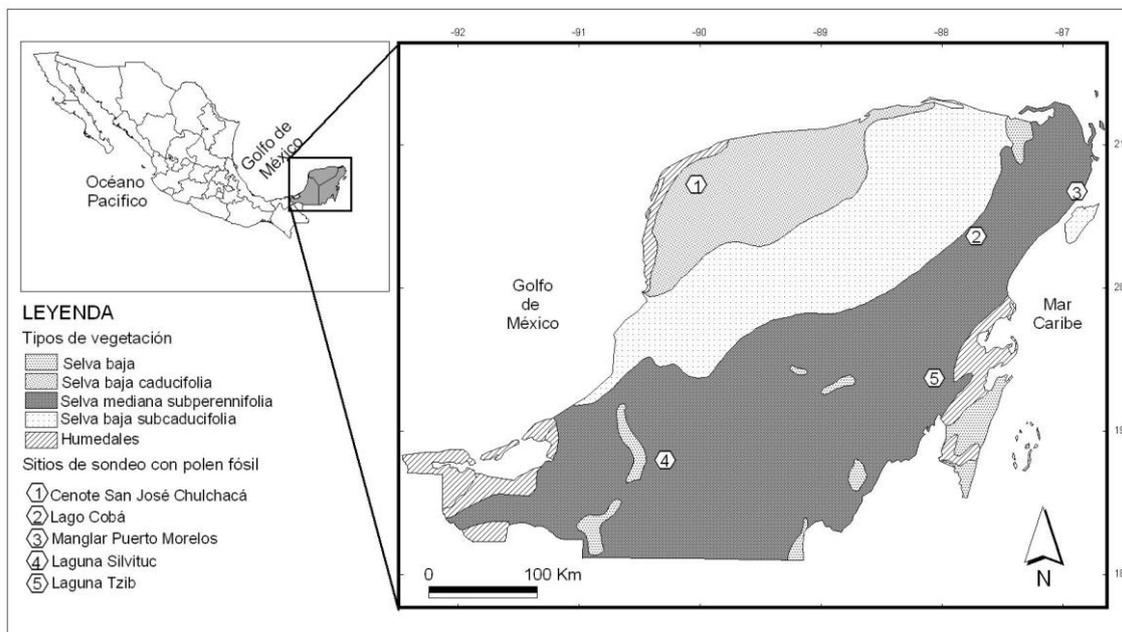


Figura 1. Área de estudio que muestra los tipos de vegetación en la Península de Yucatán y los sitios que tienen sondeos con registro de polen fósil y abarcan el Holoceno tardío.

Desde el punto de vista climatológico, al igual que fisiográficamente, la Península es considerada una entidad regional (Orellana, et al. 1999). En ella se representan dos grupos climáticos según la clasificación de Köppen modificada por García (1978). El primer grupo corresponde a climas cálidos-húmedos y el segundo grupo se compone por climas secos. En general, el clima es cálido con un gradiente de pluviosidad descendiente hacia el norte

(500 mm) y ascendente hacia el sur y el este (hasta 2000 mm) (Orellana *et al.*, 1999; Miranda, 1978).

Las temperaturas medias anuales varían de 24 a 26 °C, y por su posición intertropical, la baja elevación y la fuerte influencia marítima, recibe una insolación bastante elevada y uniforme a lo largo de todo el año, lo que ocasiona temperaturas cálidas y relativamente homogéneas, con fluctuaciones leves en el promedio anual, por lo que no se diferencian las estaciones (Lee, 1996).

En cuanto a la vegetación, la península alberga: selva alta, selva mediana subperennifolia, selva baja subcaducifolia, humedales (pastizales inundables y manglar) (Fig.1). La selva mediana subperennifolia ocupa la mayor extensión en la península (62 027 km²), se distribuye como vegetación potencial en Quintana Roo y Campeche. El 25% de las especies tiran sus hojas durante la época de secas y los árboles de mayor altura adquieren entre 15 y 25 metros. Las especies arbóreas dominantes son *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Pouteria campechiana*, *Talisia olivaeformis*, *Swartzia cubensis*, *Sabal japa*, *Brosimum alicastrum* y *Swietenia macrophylla*. (Sánchez, 1987; Islebe, 1998; Duran y Olmsted, 1999).

Las selvas bajas se distribuyen en manchones al interior de la selva mediana subperennifolia. La selva baja subcaducifolia que presenta árboles de menor altura (de 8 a 10m), se encuentra en el estado de Quintana Roo y dominan especies de palmas y está ausente *Brosimum alicastrum*. La selva baja caducifolia se distribuye en la parte norte y noroeste del estado de Yucatán y en el norte del estado de Campeche. Los árboles tienen alturas de entre 8 y 10 metros y el 100% de éstos tiran sus hojas en la época de secas. Las especies más abundantes son *Acacia gaumeri*, *Acacia pennatula*, *Mimosa bahamensis*, *Havardia albicans* y *Gymnopodium floribundum*. La selva inundable presenta diversas asociaciones: tintales (dominado por *Haematoxylum campechianum*), pucteales (dominado por *Bucida buceras*) y

mucuales (dominado por *Dalbergia glabra*). Se distribuye de forma dispersa en parches al interior de las selvas medianas y en grandes extensiones en el sur de Campeche y Quintana Roo. Sus árboles no sobrepasan los 10m de altura y cuenta con las especies: *Bucida espinosa*, *Erythroxylum confusum*, *E. ratundifolium*, *Byrsonima latifolia* y *Crescentia cujete*. (Durán y Olmsted, 1999)

Los humedales, se distinguen por tener un periodo de inundación y se distribuyen en menor extensión que las selvas. En los pastizales es común el predominio de una especie (*Cladium jamaicensis*, *Typha dominguensis* o *Thalia geniculata*) y ocupan grandes extensiones en las zonas que colindan tanto con las ciénagas (común en la región dentro-oriental de Quintana Roo, en el noroeste de Yucatán y en el noroeste de Campeche), con la selva baja inundable y con los tasistales. El manglar es una asociación de vegetación arbórea que se distribuye tanto en aguas salobres como salinas, ya sea en torno a las ciénagas o directamente frente al mar. Las especies más comunes son: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. (Duran y Olmsted, 1999).

3.2 Método

El método del presente trabajo se divide en dos secciones; la reconstrucción de las variaciones climáticas y ecológicas del centro de Quintana Roo durante los últimos 7500 años, y la reconstrucción de la distribución de la vegetación y el clima de la península de Yucatán durante los últimos 2500 años.

3.2.1 Reconstrucción paleoecológica y paleoclimática del centro de Quintana Roo

3.2.1.1 Sitio de muestreo

La Laguna Tzib pertenece al ejido Xhazil y se ubica en el centro del Estado de Quintana Roo, en las coordenadas 19°17'48.96" latitud Norte y 88°04'12.50' longitud Oeste (Fig. 1). El clima, según la clasificación de

Köppen modificada por García (1978), es de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura promedio anual de 26°C y precipitación promedio de 1200 a 1500mm.

En la zona se presenta un gradiente de inundación y en respuesta a éste, la vegetación cambia de selva mediana subperennifolia, representada por especies como: *Manilkara zapota*, *Metopium brownei*, *Vitex gaumeri* y *Talisia olivaeformis* a vegetación tipo sabana compuesta por *Cladium jamaicense*, *Schoenoplectus erectus* y *Eleocharis* sp.

3.2.1.2 Colecta de muestras

Mediante un sondeador tipo Ruso (Fig. 2), se realizó un sondeo de sedimento fósil dentro de la laguna, el cual alcanzo 250 cm de profundidad. La sonda permite, por cada perforación, recabar núcleos de sedimento de 50 cm de largo. El corte de los sedimentos se realiza mediante una cuchilla, la cual gira 180°, permitiendo obtener núcleos semicilíndricos. Los núcleos fueron empaquetados y transportados al laboratorio, donde se procesaron para la obtención de polen fósil, mediciones isotópicas tanto $\delta^{18}\text{O}$ como de $\delta^{13}\text{C}$ y para el establecimiento de cronologías.

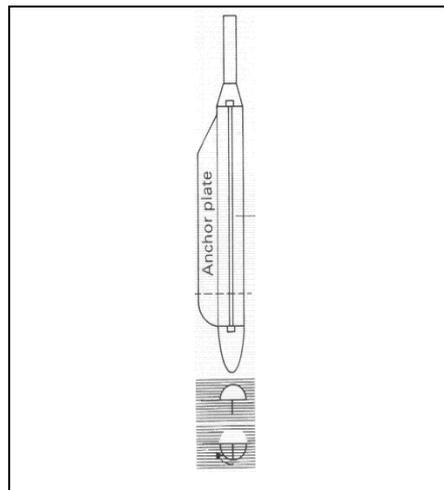


Figura 2. Sonda tipo Ruso. Se muestra el giro de 180° de la cuchilla.

3.2.1.3 Tratamiento de muestras

Para la extracción de polen fósil, de los núcleos obtenidos, se tomaron muestras de sedimento de 1cm^3 a intervalos de 10 cm. Las muestras se procesaron mediante la técnica de separación por densidad desarrollada por Takeshi et al. (1998), en el laboratorio de Palinología de ECOSUR, Unidad Chetumal. A esta técnica se incorporó una etapa de filtrado, quedando como protocolo la siguiente secuencia: tratamiento con HCL (elimina carbonatos), filtrado, digestión con KOH (rompe sedimentos y elimina ácidos húmicos), separación por diferencia de densidades con bromuro de Zinc (densidad=1.8), acetólisis y montaje en glicerina al 100%.

Durante el tratamiento con HCL, se agregaron tabletas de *Lycopodium*, las cuales funcionan como marcadores exóticos. Estas esporas permiten determinar las abundancias de los diferentes taxa identificados en la muestra, en relación a la concentración de este marcador, evitando con esto, que el cambio en la abundancia de un taxa simule el cambio en otro (Roberts, 1998). Además dan la certeza de no haber perdido la muestra durante el proceso de extracción.

Las mediciones de las razones isotópicas, de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, se realizaron a partir de la calcita contenida en las conchas de gasterópodos encontrados dentro de los núcleos de sedimentos. Las concentraciones en que cada isótopo se encuentra en el agua y que queda registrada en la calcita, están influenciadas por condiciones ambientales como la evaporación, precipitación, y aporte de materia orgánica a la laguna (Goudie, 1992; Williams, 1993; Hodell et al., 1995; Curtis et al., 1996; Covich y Stuvier, 1974).

Las concentraciones de los isótopos de oxígeno están relacionadas con la tasa evaporación/precipitación (E/P) (Goudie, 1992; Williams, 1993; Curtis et al., 1996; Covich y Stuvier, 1974). En el proceso de evaporación; las moléculas de agua, compuestas de isótopos ligeros (^{16}O), se evaporan con

mayor facilidad que las pesadas (^{18}O), dando como resultado que en los periodos de sequía, los cuerpos de agua queden compuestos con altas concentraciones de ^{18}O y bajas de ^{16}O (Fig. 3). Por el contrario, en condiciones de alta precipitación, el agua se ve enriquecida con los isótopos ligeros (^{16}O) almacenados en las nubes (Uriarte, 2003).

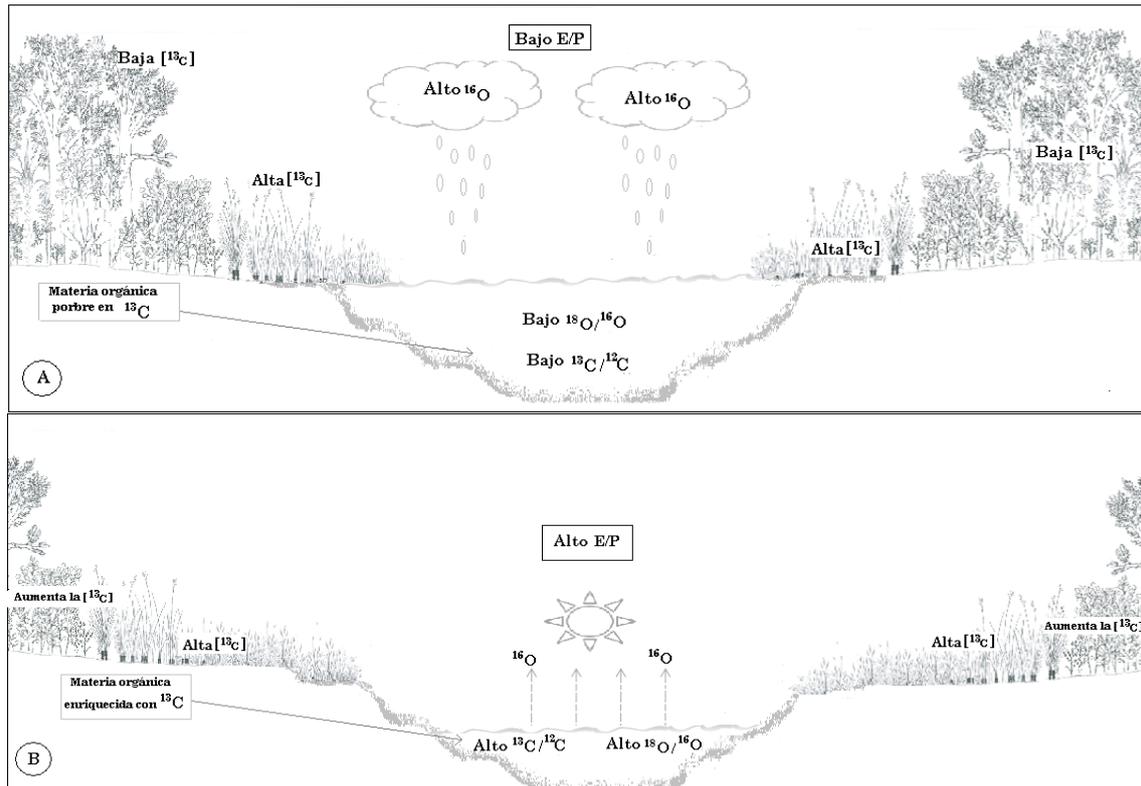


Figura 3. Esquema que muestra la relación de isótopos pesados y ligeros de carbono y oxígeno durante condiciones de abundante precipitación (A) y de sequía (B) en la Laguna Tzib.

Las razones isotópicas de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), se ve influenciada por las condiciones de humedad, por la productividad primaria del lago y por la concentración de ^{13}C , tanto en el CO_2 atmosférico como en el bicarbonato disuelto en el agua (que proviene de la vegetación terrestre de la zona) (Curtis et al. 1998). Las plantas durante su absorción de CO_2 discriminan las moléculas pesadas (^{13}C) sobre las ligeras (^{12}C) (Curtis et al., 1999; Hodell et al., 2007). En los periodos de sequía la concentración de ^{13}C en la plantas aumenta. Esto se debe a que cierran sus estomas y la entrada de CO_2

disminuye; al haber poca disponibilidad de CO₂, no realizan discriminación y la concentración de ¹³C aumenta (Uriarte, 2003).

Por otro lado, las plantas dependiendo de su metabolismo presentan diferentes razones ¹³C/¹²C. Las arbóreas con ciclo C3, que se ven favorecidas en condiciones húmedas, presentan concentraciones menores de ¹³C, comparadas con las herbáceas con ciclo C4 (Curtis et al., 1998; Uriarte, 2003). La materia orgánica que estas plantas producen se incorpora a los cuerpos de agua y tras su descomposición, el carbono es asimilado por diversos organismos. Así, aunado al registro paleoclimático que los isótopos de carbono proporcionan, muestran información acerca de la vegetación dominante en la zona.

Las muestras (de 1cm³ de sedimento) fueron tomadas desde los 3 a 183 cm de profundidad, a intervalos de 5cm. Con la finalidad de separar los gasterópodos, se agregó H₂O₂ a cada muestra, se calentaron a 80°C, se filtraron, se resuspendieron en H₂O₂ y se calentaron de nuevo a 80°C, con agitación constante hasta la total evaporación del líquido. Los ejemplares obtenidos en cada muestra fueron separados e identificados a nivel género, en el Laboratorio de Bentos y contaminación acuática, de ECOSUR Chetumal por Emilia González, mediante el uso de las claves desarrolladas por Burch et al. (1987), Covich (1976), Cózatl-Manzano et al. (2007), Pennak (1989), Pilsbry (1903), Rangel-Ruíz (2000) y Thompson (2004). Las muestras, con los ejemplares identificados, se enviaron al laboratorio del departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Florida, donde fueron procesados mediante el uso de un espectrómetro de masas Finnigan MAT 252.

Para la datación de sedimentos se tomaron tres muestras de 1cm³ cada una, a las profundidades de: 15.3 cm, 122.2 cm y 236.08 cm. Las muestras fueron enviadas al Beta Analytic Inc (Miami, USA), donde se procesaron mediante la técnica de espectrometría por aceleración de masa,

utilizando como fechador el ^{14}C contenido en la materia orgánica de los sedimentos.

3.2.1.4 Conteo y análisis de datos

Para el establecimiento de la cronología, se utilizó el fechamiento correspondiente a la profundidad de 122.2 cm, complementariamente se utilizó un fechamiento reportado por Torrescano (2007) en la misma laguna. Durante la datación radiométrica las muestras 15.3 cm y 236.08 cm no registraron el contenido suficiente de materia orgánica para un fechado confiable. Mediante el uso del programa CALIB 3.0 (Stuvier y Reimer, 1986-2006), las edades fueron calibradas y se construyeron modelos (edad-profundidad) para estimar las edades más probables a las profundidades de 59, 73 y 86 cm. Posteriormente, con las cinco fechas, se realizó una regresión lineal para calcular las edades a lo largo de toda la columna de sedimento.

La identificación de polen se realizó mediante microscopía óptica bajo objetivos 40X y 100X, con la ayuda de las claves desarrolladas por Palacios et al. (1992), Lozano y Martínez (1990), Hooghiemstra (1984) y Roubik y Moreno (1991). Las abundancias de cada taxa se estimaron en conteos de 100 a 300 granos polen por muestra. Las abundancias registradas se concentraron en un diagrama de polen, el cual se construyó mediante el programa C2 (Juggins, 2002).

Las proporciones de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ se expresaron como $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ permil relativos al valor estándar NBS 19, que para ^{18}O es de -2.20 y para ^{13}C de 1.95 (ver fórmulas). Esto se hace, debido a que proporciones de oxígeno y carbono no son medidos en términos absolutos, sino relativos (permil) a una desviación de las proporciones de una muestra estándar (VPDB, NBS 19). Los valores obtenidos, fueron concentrados por género, en diagramas estratigráficos, con el fin de observar su comportamiento a través del tiempo.

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{[(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{muestra}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{estándar}}]}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{estándar}}} \times 1000$$

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{[(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{muestra}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{estándar}}]}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{estándar}}} \times 1000$$

3.2.2. Reconstrucción de la distribución de la vegetación y el clima de la Península de Yucatán durante los últimos 2500 años.

En análisis para la reconstrucción de la distribución de la vegetación de la Península de Yucatán, se llevó a cabo mediante un sistema de información geográfica (SIG) utilizando el software ArcMap 9.3 (ESRI, 2001). Dentro de éste, se construyeron cuatro mapas temáticos que presentan los porcentajes de selva mediana, a intervalos de tiempo de 500 años, durante los últimos 2500 años. La capa temática se elaboró, mediante las herramientas de interpolación y extrapolación, a partir de una base de datos que contenía la información proveniente de siete sondeos realizados en cinco sitios (Fig. 1) de la Península de Yucatán: el Cenote San José Chulchacá (Leyden et al. 1996, 1998), Lago Cobá (Leyden, 1996), manglar de Puerto Morelos I (Islebe y Sánchez, 2002), manglar Puerto Morelos II (Torrescano, 2007), Laguna Tzib I (Torrescano, 2007), Laguna Tzib II (el presente estudio) y Silvituc (Torrescano, 2007).

3.2.2.1 Construcción de la base de datos

Para la construcción de la base de datos, se seleccionaron los taxa indicadores (Tabla 2) de selva mediana reportados en los siete estudios antes mencionados, de acuerdo a estudios de lluvia moderna de polen realizados en la región (Torrescano e Islebe, en prensa). Una vez identificados estos taxa en los diagramas, se registraron las abundancias que presentaron en cada una de las edades, a las cuales se construyeron los mapas (2500 BP., 2000 BP., 1500 BP. y 1000 BP). El lapso de tiempo que la reconstrucción espacial abarca responde a la contemporaneidad de la

mayoría de los registros paleopalinológicos de la península de Yucatán, la cual corresponde al Holoceno tardío (2500 a 500 BP). Posteriormente, se sumaron las abundancias de estos taxa, para obtener el total de selva mediana. Finalmente, con la abundancia total de selva se construyó la base de datos en formato dbf IV, con la cual fue alimentado el SIG para la generación de las capas temáticas.

Dado que el programa requiere al menos 10 puntos para llevar a cabo la interpolación, tres puntos fueron añadidos a la base de datos. Dichos puntos se colocaron cercanos a Lago Cobá, Lago Chichancanab y Laguna Silvituc, y contenían los mismos valores porcentuales de cada uno de los sitios anteriores. La colocación de puntos “extra” siguió como criterio, el estar dentro las mismas condiciones ambientales y no añadir estocacidad ambiental. Flantua et al. (2007) siguió una estrategia similar para la reconstrucción de la distribución de la sabana en Colombia.

Tabla II. Tabla que muestra los taxa indicadores presentada por Torrescano e Islebe (aceptado)

Selva mediana subperennifolia	
<i>Acacia sp.</i>	<i>Guettarda combsii</i>
Anacardiaceae	Fabaceae
<i>Borreria verticillata</i>	Moraceae
<i>Brosimum alicastrum</i>	Myrtaceae
<i>Bursera sp.</i>	<i>Pouteria sp</i>
Burseraceae	Rubiaceae
Euphorbiaceae	<i>Sapium sp.</i>
<i>Ficus sp</i>	Sapotaceae

3.2.2.1 Elaboración de las capas de vegetación

La elaboración de los mapas de vegetación se llevó a cabo mediante la técnica de interpolación local por polinomios (ILP), proporcionada por la extensión Geostatistical analyst dentro de ArcMap 9.3 (ESRI, 2001). La ILP es una técnica determinística que, al igual que el resto de las técnicas para interpolar, usa valores medidos en diferentes puntos dentro de un área para crear una superficie continua (Wadsworth y Treweek, 1999). Este software y

dicho interpolador fue propuesto y utilizado en un trabajo anterior (Flantua et al. 2007), en el que se reconstruye la distribución de sabana en el este de Colombia desde los últimos 8000 años.

En el presente estudio, la interpolación local por polinomios se eligió porque no presupone propiedades en los datos medidos (e.g. distribución normal) y arrojó menor error de predicción que el resto de los interpoladores determinísticos. Tras diversos ensayos, la predicción se realizó con un poder de función de $(p)=2$ y bajo la opción de búsqueda de la influencia ideal para cada distancia (IDD). Dichos parámetros son los que produjeron superficies con menor error de predicción. La búsqueda de la DDI, el programa la realiza a través de la cross-validación de los valores medidos (ESRI, 2001). Como su nombre lo indica, la técnica predice valores dentro del polígono que forman los puntos medidos, por lo cual, fue necesario después de obtener la interpolación, realizar una extrapolación hacia el resto de la Península.

Una vez obtenidos los mapas de paleovegetación (Fig. 4A) para las cuatro edades, se incorporó una capa temática más, que muestra el contorno de la distribución actual de la selva mediana (Fig. 4B). Esto, con el fin de detectar cambios en la distribución de la misma. Posteriormente, con el objetivo de detectar los cambios en la precipitación, se agregó una tercera capa que presenta la distribución moderna de las isoyetas (Fig. 4C).

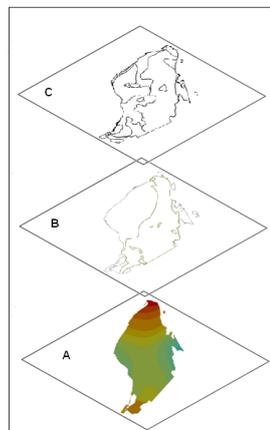


Figura 4. Capas incorporadas para la reconstrucción de las variaciones en la distribución de la vegetación y en el clima. (A) superficie interpolada y extrapolada, (B) distribución moderna de la selva mediana, (C) Distribución de las isolíneas de precipitación.

IV RESULTADOS

4.1 Reconstrucción paleoecológica y paleoclimática del centro de Quintana Roo

4.1.1 Cronología y estratigrafía

Como se mencionó anteriormente, sólo una de las muestras enviadas contenían suficiente materia orgánica para ser confiablemente fechadas, por lo que se utilizó una de las reportadas por Torrescano (2007) para la misma laguna: Esta edad corresponde a 1770 ± 40 yr BP. La edad radiocarbono que se obtuvo en el presente estudio fue de 3590 ± 40 yr BP. Con la calibración, modelación profundidad-edad (Fig. 5) (Tabla 3) y regresión (Fig. 6) de las edades registradas en sedimentos de la Laguna Tzib, se estimó que la columna comprende ~ 677 a 7538 BP.

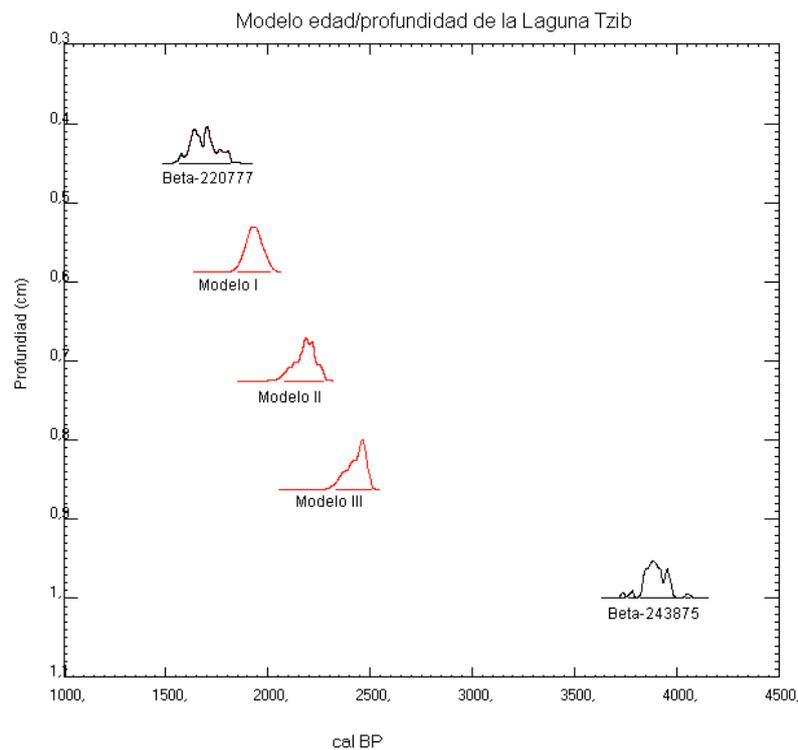


Figura 5. Gráfica que muestra los modelos creados a partir de las edades radiocarbono calibradas. La muestra Beta-22077 corresponde al sondeo realizado por Torrescano (2007) y Beta-243875 al presente estudio.

Tabla III. Se muestran las edades estimadas a partir de la calibración y modelación, con las cuales se realizó la regresión.

Muestra	Origen	Profundidad (cm)	Edad (yr BP)	Edad Calibrada (BP)	Área bajo la curva (2 σ)
Beta-220777	Torrescano (2007)	45	1770 ±40	1596-1817	0.97286
Mod- I	Modelación	59	-----	2148-2336	0,99987
Mod- II	Modelación	73	-----	2706-2881	0,99988
Mod- III	Modelación	86	-----	3216-3430	0,99986
Beta-243875	Presente estudio	122	3590±40	3823-3987	0.92926

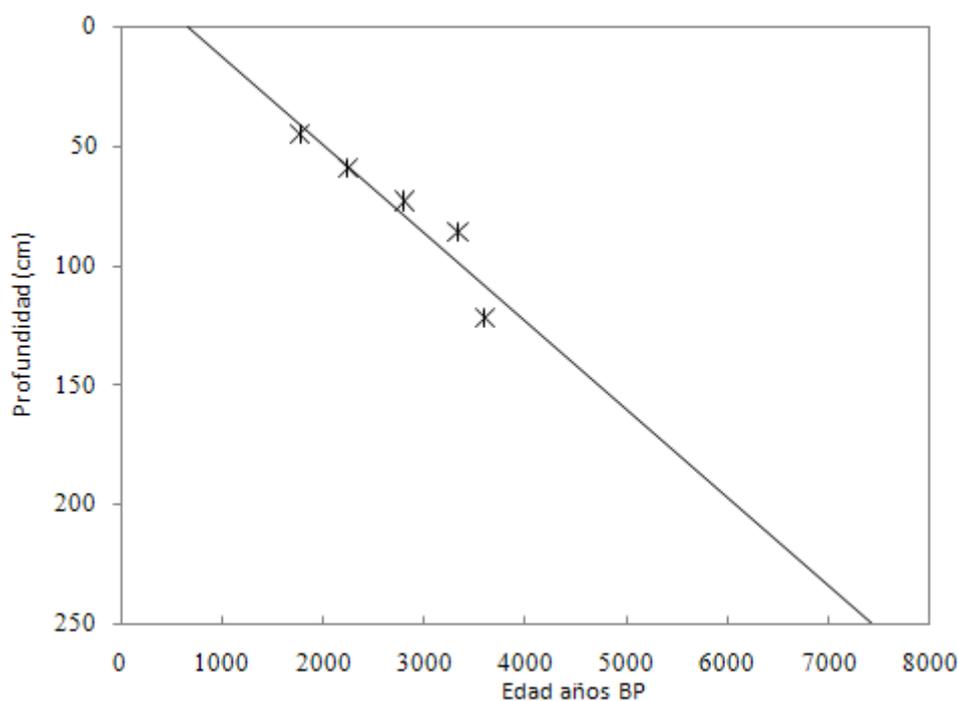


Figura 6. Regresión de edades ($y=0.0369x-24.377$ y $R^2=0,8868$), que incluye tanto las calibradas como las estimadas a partir de los modelos.

A lo largo de la columna, se observaron variaciones estratigráficas que permiten dividirla en seis secciones. La primera de 247-213 cm (7538-6594 BP), se caracteriza por la ausencia de gasterópodos y el sedimento correspondiente a un suelo tipo akalche presente en las selvas bajas. La segunda de 213-183 cm (6594-5760 BP) no tiene gasterópodos y es un sedimento orgánico correspondiente a aquel que se encuentra en las selvas

medianas. La tercera de los 183-120 cm (5760-4010 BP), aparecen los gasterópodos, el sedimento es color oscuro con presencia de materia orgánica. La cuarta de los 120-100 cm (4010-3455 BP), los sedimentos se forman de partículas gruesas (arenas) color gris claro, contienen gran cantidad de gasterópodos y poca materia orgánica. La quinta de los 100-50 cm (3455-2066 BP) presenta gasterópodos, los sedimentos son de color gris oscuro con partículas finas. La sexta sección de los 50-0 cm (2066-677 BP), los sedimentos son de tipo arcillosos con partículas gruesas, de color gris claro con presencia abundante de gasterópodos.

4.1.2 Análisis de Polen

Para el análisis polínico, se obtuvieron 26 muestras, en las cuales se registraron 56 diferentes taxa. La concentración de las abundancias de estos taxa en el diagrama de polen (Fig. 7), permitió identificar cuatro zonas polínicas, las cuales muestran principalmente las variaciones entre elementos de selva y vegetación de humedales y manglar, con baja presencia pero constante de taxa de disturbio. Dichas zonas se describen a continuación:

Zona I (247- 215cm, ~7538-6510 BP): En esta zona predominan los elementos de selva (70-80%,) principalmente *Ficus* (10-60 %) y Moraceae (20-65%); en menor proporción (<3%) se presentan, *Brosimum alicastrum*, Fabaceae, Rubiaceae y Euphorbiaceae. Los elementos de manglar y humedales se encuentran medianamente representados (13-20%), de los cuales, la familia Poaceae es la más abundante (9-17%), seguida por Chenopodiaceae (0-7%) y por último, con valores menores a 3% *Bucida sp.*, *Conocarpus erectus* y Arecaceae. En cuanto a la vegetación secundaria, ésta se presenta en bajas proporciones (<6%), compuesta principalmente por *Cecropia peltata*, Convolvulaceae y Malvaceae.

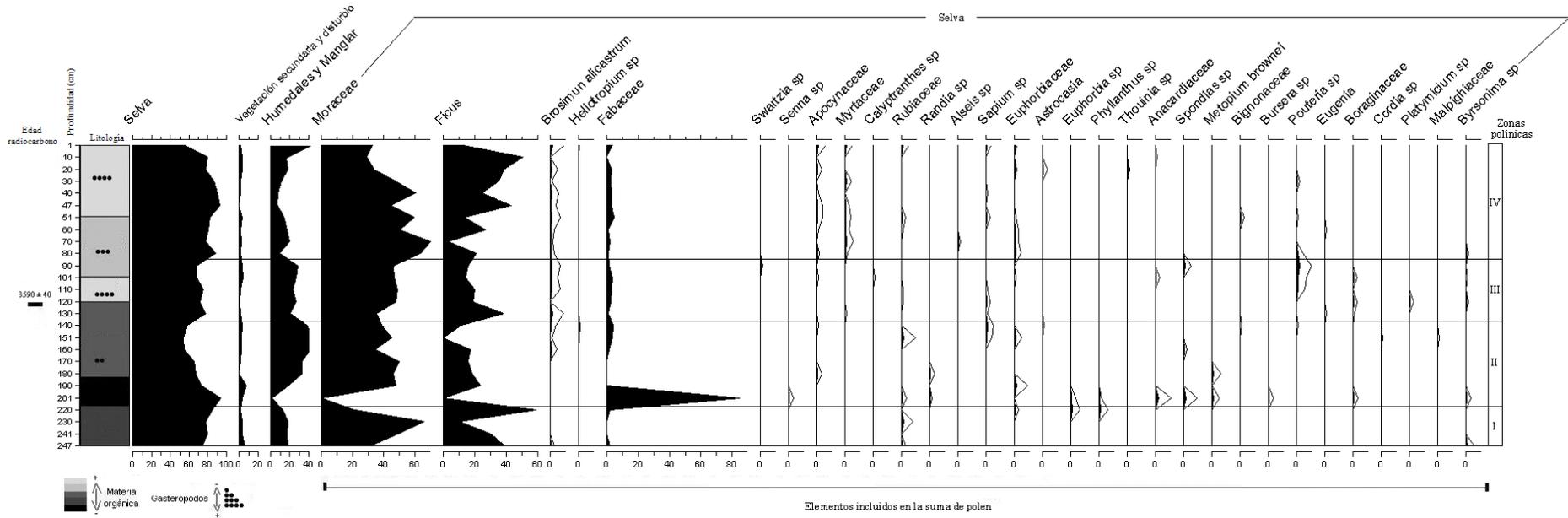


Figura 7. Diagrama de polen de la Laguna Tzib. Los contornos punteados representan un aumento del 5% a las curvas de los taxa con porcentajes menores a 5%.

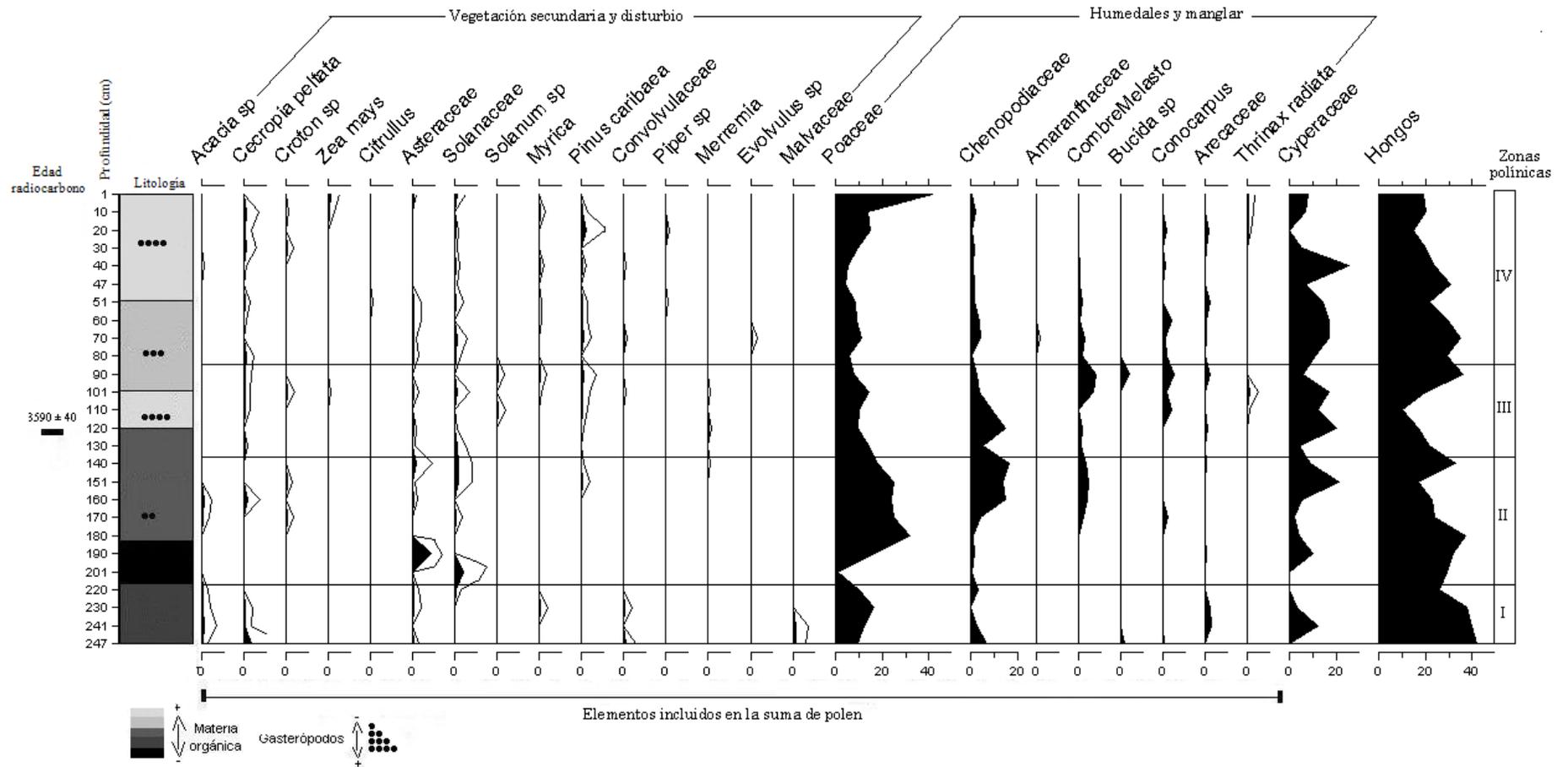


Figura 7 (continuación). Diagrama de polen de la Laguna Tzib. Los contornos punteados representan un aumento del 5% a las curvas de los taxa con porcentajes menores a 5%.

Al inicio de la zona (~7538 BP), *Ficus* se encuentra altamente representado (40%), mientras que Fabaceae y Poaceae se presentan en bajos porcentajes (<3% y <10%, respectivamente). También se presenta Rubiaceae y Moraceae (30%). Posteriormente (~7066 BP), se observa un incremento en los porcentajes de Moraceae (de 30 a 66%) y Poaceae (a 16%). El aumento de estos taxa se acompaña de la reducción en la abundancia de *Ficus* (10%). Al finalizar la zona (~6788 BP), los porcentajes de *Ficus* (60%) alcanzan el nivel más alto de todo el sondeo.

Zona II (215-137cm, ~6510-4483 BP): La transición a esta zona está marcada por el aumento en la suma de elementos selváticos (85%) y la disminución en los taxa de humedales y manglar (<10%). Al inicio de esta zona se presentan altos porcentajes (10-50%) de Moraceae, Fabaceae y *Ficus*. En conjunto con estos taxa se registran, en baja proporción (<3%), otros elementos de selva como Rubiaceae, Euphorbiaceae, Anacardiaceae, *Euphorbia sp.* y *Phyllanthus sp.*

En ~6260 BP, los altos porcentajes de *Ficus* y Moraceae, se reducen considerablemente (<2%), Fabaceae aumenta (84%), aparecen otros taxa de selva (*Randia sp.*, *Euphorbia sp.*, *Spondias mombin*, *Metopium brownei*, *Busera sp.* y Boraginaceae), de disturbio (Solanaceae y Asteraceae), y de humedales (*Byrsonima sp.*). Posteriormente (~5955 BP), *Ficus* y Moraceae se recuperan (23 y 47 %), Fabaceae disminuye y el resto de taxa de selva no está presente. Los elementos de humedales y manglar (Poaceae, Arecaceae y Chenopodiaceae) se incrementan y la vegetación secundaria muestra su porcentaje más alto de todo el sondeo (8%).

El porcentaje de vegetación secundaria aumenta ligeramente y se compone principalmente de la familia Solanaceae, en menor proporción Asteraceae y se registra la aparición de *Pinus caribaea* (~4871 BP). Los elementos de selva continúan disminuyendo hasta registrar, al acercarse al

término de la zona (~4871 BP), sus proporciones más bajas (53%), y los de humedales y manglar sus proporciones más altas (43%). El polen de este último tipo de vegetación corresponde en mayor proporción a las familias Poaceae, Chenopodiaceae y Combretaceae.

Zona III (137-85 cm, ~4483-3038 BP): La transición a esta zona está marcado por la recuperación de los elementos de selva (77%) y la reducción de los de manglar (a 20%). Al inicio de la zona, *Ficus* se encuentra bien representado (38%), al igual que el resto de la familia Moraceae (35%). Otros elementos de selva como Fabaceae, Boraginaceae, *Sapium sp.*, *Brosimum alicastrum*, se presenta en bajo porcentaje (<3%). La suma de vegetación de humedales y manglar la componen Poaceae (14%), Chenopodiaceae (5%) y en menor proporción (<2%) Combretaceae y *Thrinax radiata*.

Posteriormente (~4010 BP), la vegetación selvática se reduce levemente conservando un importante porcentaje (71%). Dentro de ésta, Moraceae aumenta (a 48%) y *Ficus* disminuye (a 19%). Los elementos de vegetación secundaria se reducen (<1%). La vegetación de humedales, representada principalmente por Chenopodiaceae y Poaceae, aumenta (a 27%). En conjunto con estos dos taxa de humedales aparece *Conocarpus erectus*

Al tope de la zona polínica, la vegetación de selva disminuye ligeramente (a 67%), Moraceae y Fabaceae se mantienen, mientras *Ficus* disminuye (a 14%). En cuanto a la vegetación de humedales y manglar, la proporción de Chenopodiaceae se reduce considerablemente (<4%), *Combretaceae* aumenta (a 7%), aparecen *Bucida* (4%), *Conocarpus* (5%) y *Arecaceae* (2%). La vegetación secundaria se compone de *Cecropia peltata*, *Croton sp.*, Solanaceae, Convolvulaceae, *Merremia sp.* y *Zea mays*. Componentes que en conjunto provocan un aumento en la vegetación secundaria (a 5%).

Zona IV (85-0 cm, ~3038-705 BP): La separación de esta zona con la anterior está definida por la reducción en la vegetación de manglar y la recuperación de los elementos selváticos. En un principio, la vegetación de humedales y manglar se encuentra escasamente representada, Poaceae (5%), Chenopodiaceae (<1%) y Combretaceae (1%). El porcentaje de vegetación secundaria también es bajo (<2%), y en orden de proporción, se compone de *Cecropia peltata*, Solanaceae y Asteraceae. Por el contrario, los elementos de selva se presentan en un porcentaje importante (88%), siendo la familia Moraceae la más abundante con 63%, seguida por *Ficus* (20%) y con menores proporciones (<2%) Fabaceae, Apocynaceae, Myrtaceae, Euphorbiaceae, *Brosimum alicastrum* y *Pouteria sp.*

En la parte superior de la zona polínica (~2621 BP), los elementos de humedales y manglar se recuperan (20%). Sin embargo, no alcanzan las proporciones registradas durante las dos zonas anteriores. Los principales elementos son Poaceae, Chenopodiaceae y Combretaceae. En cuanto a la vegetación de selva, *Ficus* se reduce considerablemente (3%), Moraceae aumenta (a 70%) y el resto de los taxa se mantiene en porcentajes bajos. La vegetación secundaria se compone de Asteraceae, Solanaceae, *Pinus* y Convolvulaceae, que en conjunto suman un porcentaje de 3%:

De los 70-47 cm (~2621-1983 BP), el porcentaje de selva aumenta continuamente, con variaciones en la proporción de sus elementos, principalmente de *Ficus* y Moraceae. Se presentan en bajas proporciones (<5%), de Fabaceae, *Brosimum alicastrum*, Apocynaceae, Myrtaceae, Rubiaceae y Bignoniaceae. En la vegetación secundaria se registra *Cecropia peltata*, Solanaceae y Asteraceae. Por su parte, los elementos de manglar disminuyen hasta llegar a uno de sus niveles más bajos (7%).

Conforme se aproxima el término de la zona (~1983-1233 BP), se reduce el porcentaje de Moraceae (a 29%) y *Ficus* aumenta (a 50%). Poaceae y

Chenopodiaceae aumentan (a 14 y 2%), *Bucida* y *Thrinax radiata* están presentes en bajas proporciones (<2%). En cuanto a la de vegetación secundaria, su suma es baja (3%), y está compuesta por *Cecropia peltata*, *Croton sp.*, *Zea mays.*, *Myrica sp.* y *Pinus*.

Al finalizar de la zona (~705 BP), la suma de vegetación de humedales aumenta a 42%, y se compone de Poaceae (41%), Chenopodiaceae (<1%) y *Thrinax radiata* (<1%). Dentro de los elementos de selva, Moraceae con 32% y *Ficus* con 12%, son los más abundantes. Fabaceae, Apocynaceae, Myrtaceae, Rubiaceae, *Sapium sp.*, y Euphorbiaceae se presentan en porcentajes bajos (<4%). En cuanto a la vegetación secundaria, *Zea mays* sigue presente y en conjunto con Asteraceae y Solanaceae, representan una baja proporción en la cuenta de polen (<3%).

4.1.3 Análisis de isótopos de oxígeno y carbono

Para el análisis de isótopos se obtuvieron 41 muestras (3 a 183cm). Dentro de éstas se identificaron 10 géneros (Tabla 4), lo cuales variaron en su permanencia y abundancias a lo largo del sondeo (Fig. 7). De estas muestras, 37(~762 a 5121 BP) presentaron suficientes individuos (≥ 5) para la medición de los valores $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$. Siendo *Pyrgophorus*, *Assimineia*, *Colchliopina* y *Biomphalaria*, los géneros en los que fue posible estimar dichos valores (Fig.7). *Pyrgophorus* se presentó en la mayor parte del sondeo (~762 a 5127 BP) y en mayor proporción. *Assimineia* se registró de ~1017-4717BP, *Colchliopina* de ~1953 a 3483 BP, *Biomphalaria* de ~847-1697BP, mientras que el resto de los géneros se presentó de forma aislada y en bajas proporciones.

Tabla IV. Géneros de gasterópodos encontrados en el sedimento de la Laguna Tzib.

<i>Pyrgophorus sp.</i>	<i>Stenophysa sp.</i>
<i>Assimineea sp.</i>	<i>Hydrobia sp.</i>
<i>Biomphalaria sp.</i>	<i>Valvata sp.</i>
<i>Colchliopina sp.</i>	<i>Helisoma sp.</i>
<i>Pomacea sp.</i>	<i>Hebertsncylus sp.</i>

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de los cuatro géneros muestran, en términos generales, tendencias similares con diferencias entre sus máximos y mínimos (Fig. 8). Durante el Holoceno medio (~3500 a 5500 BP) los valores de *Pyrgophorus sp.* y *Assimineea sp.* tienen promedios de 1.02 y 1.25‰, respectivamente. Durante el Holoceno tardío (~3500 a 762 BP) los valores descienden: *Pyrgophorus sp.* presenta una media de -0.46 y *Assimineea sp.* de -0.28‰. *Biomphalaria sp.*, y *Colchliopina sp.*, restringidas a diferentes etapas del Holoceno, registraron promedios de -0.44‰ y 1.23‰, respectivamente.

Al inicio del registro (~5127 BP), *Pyrgophorus sp.* presenta un valor $\delta^{18}\text{O}$ de -0.30‰. Posteriormente, éste muestra un patrón de aumento con algunos descensos, siendo el de -2.39 ‰ en ~4872 BP el más pronunciado. Este patrón continúa hasta ~3483 BP, cuando presenta su valor más alto (4.35‰). Después de este punto, los valores tienden a disminuir, llegando en ~2206 BP a su valor más bajo (-2.75). Durante el resto del registro (~2206 a 762 BP), los valores permanecen estables sin un patrón de cambio, pero con algunos picos de aumento en diversos puntos del Holoceno tardío (~2908, 2627, 2094, 1357, 1187 y 932 BP).

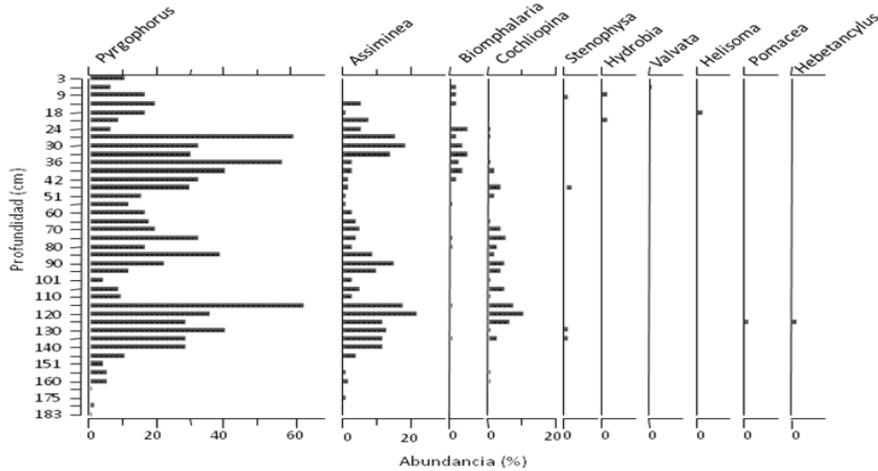


Figura 7. Diagrama de los género de gasterópodos presentes en el sondeo de la Laguna Tizb.

Assiminea sp. inicia la curva (~4717 BP) con un patrón de aumento que termina (~4296 BP) con el valor más alto de todo el registro (3.76‰). Posteriormente, los valores muestran una tendencia a disminuir, la cual se prolonga hasta el término del registro (~1017 BP). Dicha tendencia se ve marcada por algunos picos en los valores de $\delta^{18}\text{O}$: 2.40‰ (~3483 BP), 2.22‰ (~3188 BP), 2.09‰ (~1953 BP), 0.52‰ (~1442 BP) y -0.27‰ (~1017 BP).

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de *Colchliopina sp.* se registran a principios del Holoceno tardío (~3483 BP) con un valor de 1.76‰. Posteriormente (~3188 BP), estos valores aumentan (2.40‰). En los siguientes ~1235 años se muestra un patrón altamente variable, que presenta como valor máximo 2.54‰ (~2206 BP) y como mínimo -1.26‰ (~2346 BP).

La curva de *Biomphalaria sp.* inicia a la mitad del Holoceno tardío (~1697 BP), con valores ligeramente negativos (-0.86‰). Posteriormente (~1612 BP), estos valores se reducen y alcanza su valor más negativo (-2.83‰). Tras este descenso, los valores aumentan y llegan a su valor máximo (4.83‰) aproximadamente en 1527 BP. En los siguientes 680 años, los valores muestran una tendencia negativa, mostrando sólo un pico (0.56‰) en ~1017 BP.

En cuanto a los valores de $\delta^{13}\text{C}$, las tendencias no son tan claras (Fig.6). Sin embargo, es posible apreciar que *Pyrgophorus sp* y *Assimineea sp.* presentan valores de menos negativos durante el Holoceno medio, con promedios de -6.58 y -6.52‰ respectivamente. Conforme se aproxima el Holoceno tardío los valores se reducen y arrojan medias de -6.32 y 6.25‰ respectivamente. El registro de *Biomphalaria sp.* tiene el promedio más negativo (-7.77‰), de los cuatro géneros, mientras que *Colchiplina sp.* el menos negativo (-5.64‰).

Pyrgophorus sp., en la primera porción del registro (~5127 BP), inicia con un valor de -6.23 ‰. Posteriormente ~4872 BP, los valores se reducen hasta alcanzar su registro más bajo (-8.56‰) de todo el sondeo. Tras de esta reducción, los valores aumentan conforme se aproxima el final del Holoceno medio. Al inicio del Holoceno tardío (~3328 BP) los valores de $\delta^{13}\text{C}$ alcanzan su punto menos negativo de todo el registro (-4.49‰). Después de este aumento, los valores bajan y se mantiene con ligeras variaciones durante el resto del Holoceno tardío.

Assimineea sp., en la parte inicial de su registro (~4717 BP) presenta valores bajos -8.51‰. Durante los siguientes 400 años, los valores incrementan drásticamente hasta alcanzar los valores más positivos del Holoceno medios (-4.59‰). Posteriormente, los valores disminuyen a -6.77 ‰, y se recuperan gradualmente manteniéndose así, hasta las primeras etapas del Holoceno tardío (~3188 BP). En los siguientes 800 años, los valores tienden a disminuir. Posteriormente, se registra un cambio drástico en la tendencia; los valores aumentan significativamente a -3.90‰ y después disminuyen de igual forma hasta -9.08‰, mostrándose durante este lapso de ~600 años, los valores máximos y mínimos de todo el registro. Después de esta reducción, los valores se recuperan y se mantienen así hasta ~1272 BP. En los últimos 250 años de registro (~1272 a 1017 BP), los valores disminuyen hasta -8.48‰.

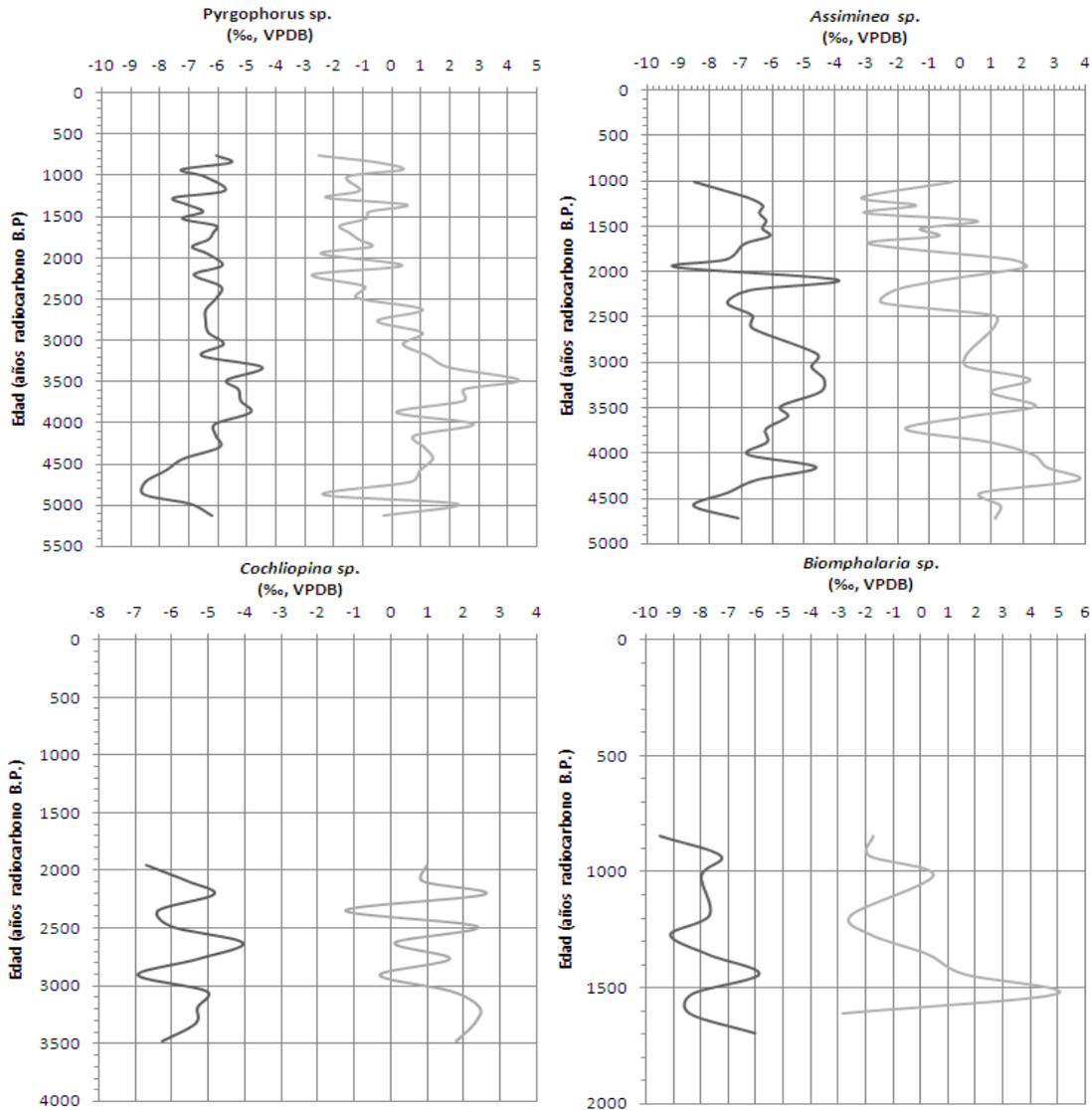


Figura 8. Gráficas que muestran los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ versus edad radiocarbóno, de los cuatro géneros más abundantes presentes en los sedimentos de la Laguna Tzib.

La curva de *Colchliopina sp.* en sus inicios (~3483 BP) presenta valores de -6.26‰ y aumenta ligeramente durante los siguiente ~400 años. En seguida, esta tendencia se ve interrumpida, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se reducen a -6.92‰ y posteriormente, aumenta hasta llegar a -4.07‰ (el valor más positivo de todo su registro). Durante los últimos ~670 de registro, los valores se reducen, aumentan y vuelven a descender, pero sin alcanzar los valores presentados durante ~3048 a 2627 BP.

Biomphalaria sp. durante el Holoceno tardío inicia su registro (~1697 BP) con un valor de 6.01‰. En los siguientes ~170 años los valores se reducen (-8.30‰). Posteriormente (~1442 BP), éstos aumentan a -5.86‰, alcanzando el valor más alto de su registro. Durante los últimos ~ 590 años en los que este género estuvo presente, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ disminuyeron constantemente, con ligeros aumentos. Al finalizar su registros se presenta su valor más bajo (-9.47‰).

4.2 Reconstrucción de la distribución de la vegetación y de las variaciones climáticas de la Península de Yucatán durante los últimos 2500 años.

Como resultado de la interpolación y extrapolación de los 5 sitios, se obtuvieron cuatro mapas (Fig. 9 y 10), los cuales corresponden a las edades de: 550 cal BC (2500 BP), 50 cal BC (2000 BP), 450 cal AD (1500 BP) y 950 cal AD (1000 BP). Dichos mapas muestran la predicción de los porcentajes de polen de elementos de selva mediana. Los porcentajes nos indican la cantidad de vegetación arbórea; porcentajes altos (tonos azules) señalan mayor cobertura y por lo tanto una vegetación más cerrada. De acuerdo con los valores reportados en lluvia de polen actual (Torrescano e Islebe, sometido), el valor mínimo que nos indica presencia de selva mediana es de 30%, por debajo de éste se tendrá una vegetación abierta.

En la reconstrucción que corresponde a 550 cal BC (Fig. 10a) los porcentajes más altos (85 a 92%) se observan en la parte este de la península, principalmente en sur y centro, mientras que la porción norte se presentan los porcentajes más bajos (2.4 a 8%). Se muestra de igual forma, una tendencia de valores más reducidos, aunque no más bajos de 30% (porcentaje mínimo de selva), en dirección este-oeste. En la porción oeste los porcentajes más altos corresponden a la franja de 45-55%.

En el mapa correspondiente a 50 cal BC (Fig. 10b), las franjas de altos porcentajes se encuentran más ampliamente extendidas. El límite de selva mediana gana terreno tanto en el norte como en el sur de la península. De igual forma la franja de menor porcentaje (2.4 a 8%) se contrae. La franjas de 45 a 51% y de 51-56% que anteriormente se restringía al centro de la península, ahora se extienden hasta la costa oeste.

En la predicción de 450 cal AD (Fig. 11a) se observa una clara reducción de los porcentajes de elementos de selva mediana. Los valores más altos corresponden de 56 a 62%, y se restringe a la costa este de la península. Aunque el límite de la selva no se contrae, la franja de 45-51% antes distribuida en el centro se reduce y queda en su lugar y con mayor extensión la de 40-45%. Esta reducción en los porcentajes indica la presencia de vegetación menos cerrada.

El mapa correspondiente a 950 cal AD (Fig. 11b) muestra el regreso de los porcentajes altos en la porción este (85-92 %) y centro de la península (51-62%). Los límites de la selva ($\leq 30\%$) tanto en el norte como sur retroceden tomando una distribución similar a la presentada en el 550 cal BC. En la parte central, el patrón de distribución guarda, de igual forma, similitud con el de 550 cal BC pero con valores menores (34-40%).

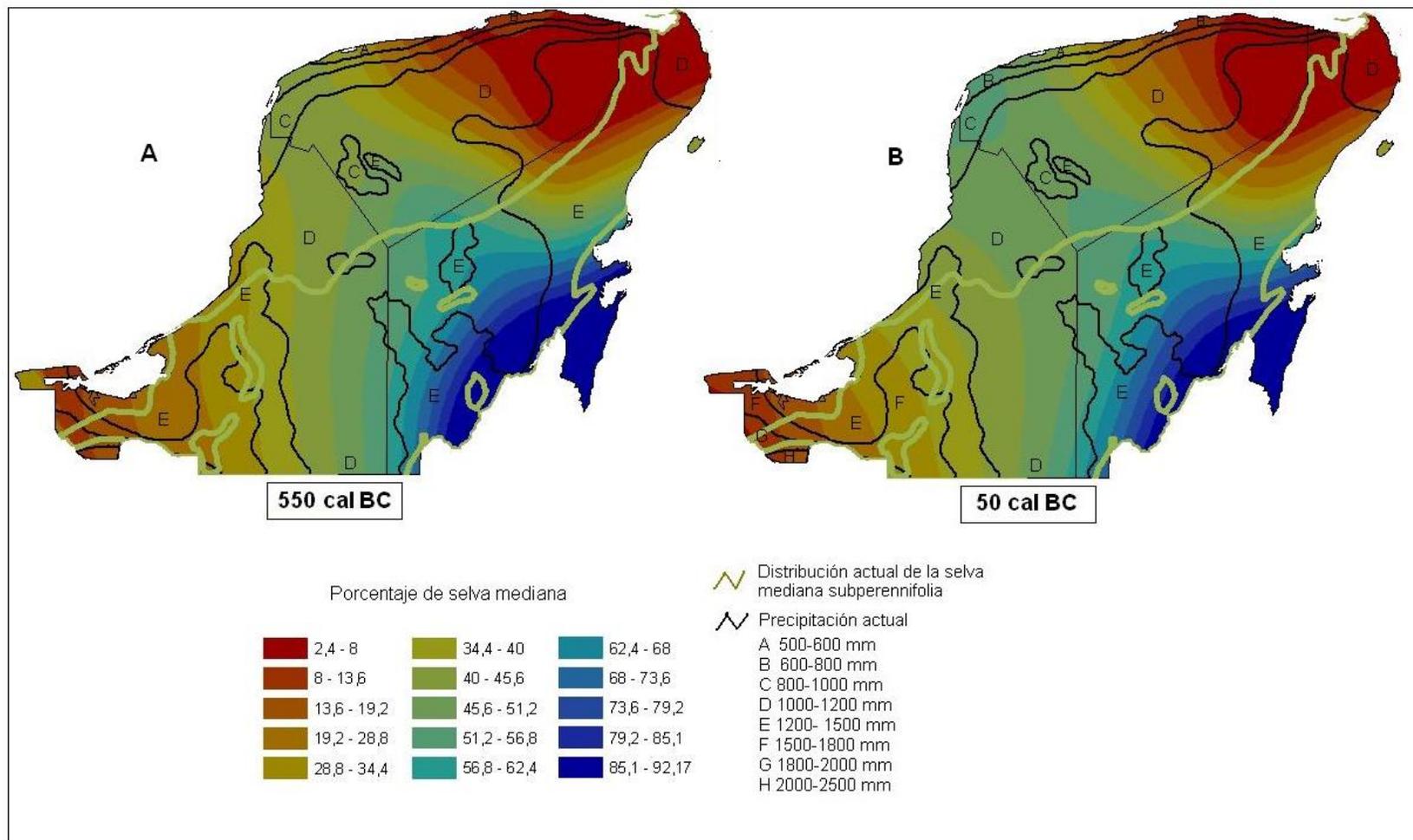


Figura 10. Mapas que muestran la reconstrucción de los porcentajes de la suma de elementos de selva correspondientes a 550 cal BC (A) y 50 cal BC (B).

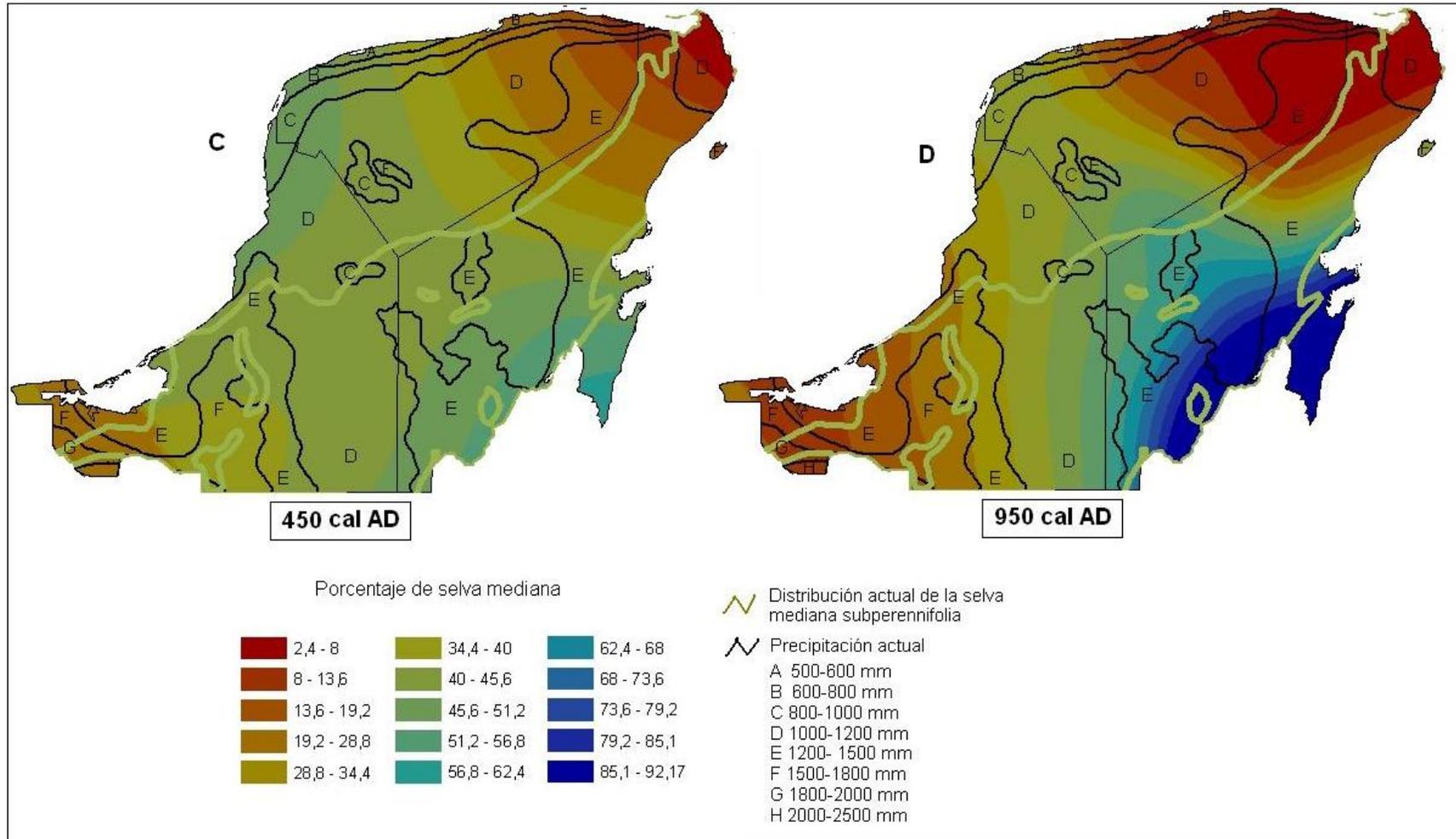


Figura 11. Mapas que muestran la reconstrucción de los porcentajes de la suma de elementos de selva correspondientes a 450 cal AD (A) y 950 cal AD (B).

V DISCUSIÓN

La integración del análisis de polen fósil corroborado con lluvia de polen actual (Torrescano e Islebe, aceptado), el de isótopos estables y las variaciones estratigráficas de los sedimentos de la Laguna Tzib, permite analizar la historia de la vegetación y de las condiciones ambientales del centro de Quintana Roo durante Holoceno medio-tardío (7538-705 BP).

Holoceno Medio (7538-4483 BP)

7538-6510 BP: Durante este tiempo se presentan altas proporciones de elementos de selva exhibiendo un mosaico de vegetación compuesto de selva baja selva mediana y sabanas. La presencia de *Ficus*, Moraceae, Fabaceae, Rubiaceae y *Brosimum alicastrum* indican la presencia de selva mediana. Mientras que *Ficus*, *Byrsonima*, Arecaceae, *Bucida*, señalan presencia de selva baja, y Poaceae, Chenopodiaceae, y Cyperaceae, indican la existencia de sabanas. Además la baja proporción de *Conocarpus erectus* muestra baja presencia de manglar.

El sitio donde actualmente se encuentra la laguna era de inundación periódica, con selva baja inundable. Esto se concluye por el tipo de sedimento presente, el cual corresponde a un suelo tipo Gleysol (Akal'ches), característico de las selvas bajas inundables (Sánchez e Islebe, 2002). A pesar de las inundaciones, en este tiempo no existía un cuerpo de agua permanente. Esto se deduce de la usencia de gasterópodos y la baja concentración de polen (en esta porción de sedimento los conteos no rebasaron los 200 granos de polen).

El continuo aumento en los altos porcentajes de elementos de selva indica que durante esta etapa del Holoceno medio las condiciones climáticas fueron húmedas, y se intensificaron al aproximarse los 6510 BP. Esto ha sido reportado en otros sitios tanto en la península de Yucatán, en el Lago Cobá (Leyden et al., 1998), en Chichancanab (Hodell et al., 1995, 2001), Cenote San José Chulchacá (Leyden et al., 1996); como en el centro y Suramérica, Lago Peten-Itza (Islebe et al., 1996), Lago Salpeten (Leyden, 1984, 1987, 2002), Lago Quexil (Leyden et al.,

1993) Lago Puerto Arturo (Wahl et al., 2006), Lago Valencia, Venezuela (Curtis et al., 1999).

El periodo de alta humedad está relacionado con la intensidad del ciclo anual, el cual rige por la migración, de la zona de interconvergencia tropical (ITCZ), hacia el norte y sur durante el verano e invierno (respectivamente) (Hodell et al. 1991). El aumento en la intensidad del ciclo anual, en la transición al Holoceno medio, está relacionado con el cambio en la precesión de la tierra (Hodell et al. 1991). En este periodo, el Hemisferio Norte se encontraba inclinado hacia el sol, lo que provocaba que el perihelio coincidiera con el verano en este Hemisferio (Hodell et al. 2000). Dicha coincidencia producía una fuerte insolación durante el verano y por lo tanto gran cantidad de evaporación en la ITCZ, trayendo con esto una mayor precipitación. La ITCZ, por su parte, influenciada por la orientación de los Hemisferios, alcanzaba una migración más norteña que en la actualidad (Hodell et al. 1991).

6510-4483 BP: Al inicio de esta etapa los altos porcentajes de Moraceae, Fabaceae y *Ficus* reflejan la permanencia de las condiciones de abundante precipitación. Se observa una mayor diversidad, ya que en conjunto con los taxa anteriores aparecen baja proporción, otros elementos como Rubiaceae, Euphorbiaceae, Anacardiaceae, *Spondias sp.*, *Metopium brownei*, *Euphorbia sp.*, *Bursera sp.*, Boraginaceae y *Phyllanthus sp.* Esta diversidad de taxa y la proporción en que se presentan indican el dominio de selvas con mayor madurez (Torrescano, 2007).

Aparte de la presencia de taxa de selva en este tiempo, se observa también en el cambio en la composición de los sedimentos, los cuales se forman principalmente de materia orgánica y es similar a los suelos que se presentan en la selvas medianas. Al igual que en los inicios del Holoceno medio aun no se establece la laguna, ya que no se presentan gasterópodos y los conteos de polen se mantuvieron menores a 150 granos de suma de polen.

Posteriormente, en el 6260 BP, la reducción de *Ficus* y Moraceae y el aumento de Fabaceae sugieren cambios hidrológicos. Leyden (2002), en el

registro del Cenote San José Chulchacá señala la ausencia de *Brosimum* y argumenta que puede deberse a la contaminación de los mantos acuíferos con agua salada por el aumento del nivel de mar, ya que durante 5100-4300 B.C. se presentó la mayor transgresión del nivel del mar (Pope et al., 2001). Sin embargo, los altos porcentajes de Fabaceae proviene de *Lonchocarpus sp.* Este taxa está adaptado a vivir en sitios inundados pero no en aquellos con alta salinidad, lo que sugiere que la baja señal de *Ficus* y Moraceae en la suma de polen, se debe a cambios locales en la dinámica del pantano. En este tiempo muy probablemente regresaron las condiciones de inundación provocados por la abundante precipitación.

La presencia de otros taxa como *Randia sp.*, *Euphorbia sp.*, *Spondias mombin*, *Metopium brownei*, *Bursera sp.* y Boraginaceae, reflejan que la vegetación cercana al pantano era selva mediana. El registro de *Byrsonima* indica vegetación más abierta (Islebe y Leyden, 2006). La baja proporción de Moráceas y una mayor diversidad para el Holoceno medio (~5780 BP) también ha sido reportada en el Peten (Islebe et al., 1996).

A partir 6260 hasta 4566 BP se observa una reducción constante de los elementos de selva (principalmente *Ficus*) y un incremento en Poaceae y Chenopodiaceae. Estas variaciones en la vegetación, reflejan cambios ambientales importantes, principalmente relacionados con modificaciones en las condiciones hidrológicas de la zona. El aumento progresivo de Poaceae y Cyperaceae, elementos de sabana, indican condiciones de inundación. Durante este tiempo, como resultado de las altas precipitaciones que se presentaron con anterioridad y el aumento en el nivel del mar (Pope et al., 2001), provocaron dichas inundaciones y como resultado final, el llenado permanente de la laguna hace 5760 BP (y coincide con el registro de los primeros gasterópodos). Posterior al llenado de la laguna, el registro de *Conocarpus* indica la presencia de manglar. El incremento de Chenopodiaceae hace 5121 BP se acompaña del registro continuo de gasterópodos. Esto refuerza la idea de que a partir de este tiempo aun en la época de secas permanencia un remanente de agua capaz de mantener comunidades de gasterópodos.

Las curvas de isótopos estables de *Pyrgophorus* y *Assimineea* muestran tendencias similares al compararlas con la curva de la suma de polen de selva mediana (Fig. 12), sobre todo a partir de 4871 BP. Los valores extremos de $\delta^{18}\text{O}$ (antes de 4871 BP) en las etapas en que la laguna empieza a formarse y por lo tanto es somera, pueden no reflejar precisamente la intensidad de las condiciones secas. Mientras el cuerpo de agua se está llenado, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ pueden ser altos debido a la relación área/volumen: cuando la laguna es somera se pierde mayor cantidad de agua por evaporación que cuando la laguna está llena (Curtis et al., 1998).

Las condiciones de abundante precipitación se reflejan en el valor más bajo de $\delta^{18}\text{O}$ que *Pyrgophorus* presenta en todo el registro (4871 BP), este concuerda con los altos porcentajes de elementos de zonas inundables (Poaceae, Chenopodiaceae y Cyperaceae) y la recuperación de los elementos de selva. Mientras que los valores bajos $\delta^{13}\text{C}$ reflejan la abundancia de vegetación arbórea. La presencia de Malpighiaceae, Poaceae, Chenopodiaceae, Combretaceae y Cyperaceae, señalan selva baja y sabana, mientras Moraceae, Brosimum, Fabaceae y Rubiaceae de selva mediana. La llegada de *Pinus caribaea* al registro, sugiere que para 4871 BP, la zona ya era una laguna y por ende un espacio abierto que permitía el transporte y deposición de polen alóctono. El mosaico de vegetación para este tiempo entonces, se componía de selva mediana, selva baja y sabanas.

Holoceno medio-tardío (4483-3038 BP)

4483-4288 BP: La transición al Holoceno tardío está marcada por la recuperación de los elementos de selva principalmente *Brosimum* y *Ficus* (aunque no en las mismas proporciones que durante el Holoceno medio), y una ligera reducción de los de humedales. La vegetación estaba compuesta en mayor proporción de selva mediana, existían selvas bajas y sabanas. Las proporciones en que la vegetación se presenta indican la permanencia de condiciones de humedad, aunque no con la misma intensidad que durante el Holoceno medio.

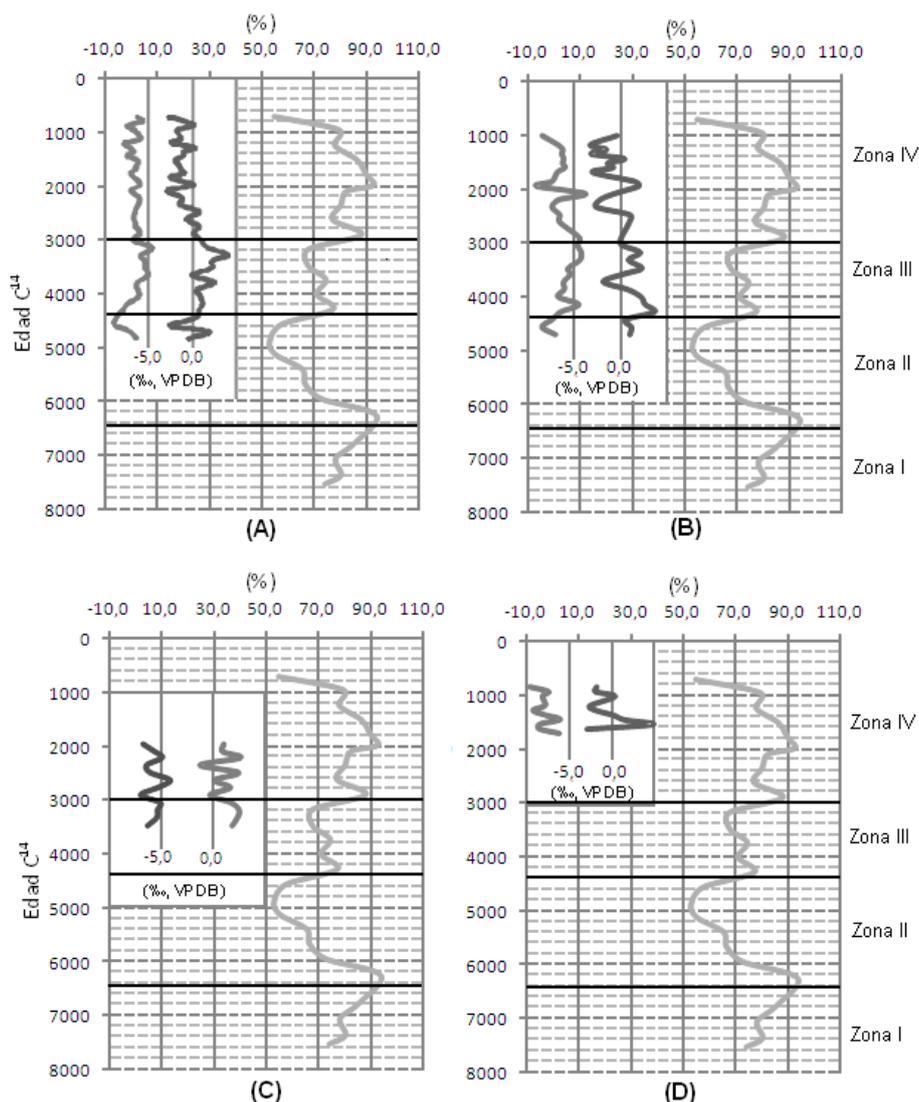


Figura 12. Gráficas que muestran el comportamiento contemporáneo de la curva de polen de selva mediana (—), y las $\delta^{18}\text{O}$ (---) y $\delta^{13}\text{C}$ (—) de los cuatro géneros de gasterópodos. (A) *Pyrgophorus* sp., (B) *Assimineia* sp., (C) *Colchliopina* sp., (D) *Biomphalaria* sp.

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ que muestra *Pyrgophorus* señalan condiciones de menor precipitación con respecto al Holoceno medio. Mientras que el aumento en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ indican por un lado el dominio de herbáceas y la disminución en la precipitación. Durante condiciones de menor precipitación las plantas, aun las tipo C3, discriminan en menor proporción las moléculas pesadas de CO_2 , lo que provoca que la concentración de ^{13}C aumente (Uriarte, 2003). *Assimineia* y *Colchliopina* muestran de igual forma valores altos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$. La permanencia del color oscuro de los sedimentos durante este tiempo, señalan que

estos se componen en mayor proporción de materia orgánica y en menor de carbonatos. Esta predominancia de materia orgánica sobre los carbonatos indica el descenso en los niveles de la laguna (Curtis et al., 1999) o inundaciones periódicas.

Posteriormente (4010-3483 BP), la reducción de *Ficus* (y otros taxa de selva), el aumento de taxa de disturbio como *Pinus caribaea*, *Cecropia peltata*, Solanaceae, y de manglar como *Conocarpus*, indica muy probablemente la disminución en las condiciones de humedad (Islebe y Sánchez, 2002). Las especies de Poaceae y Chenopodiaceae así como toleran inundaciones, también están adaptados para soportar periodos secos (Torrescano e Islebe, 2006).

Leyden et al. (1996) menciona que partir de 3750 BP, el registro del cenote San José Chulchacá muestra una tendencia de condiciones más secas con vegetación más abierta. Las condiciones de sequía también se reflejan en los valores de isotopos del Lago Chichancanab (Covich y Stuvier, 1974; Hodell et al. 1995). En Centroamérica, de igual forma se registró la reducción en la humedad; en el Lago Peten-Itza (Islebe et al. 1996) la vegetación era abierta, en el Lago Salpeten (Leyden, 1987) se presentaron elementos de vegetación secundaria.

En la Laguna Tzib, en el 3876 BP, se registra el inicio de una intensa reducción de la precipitación. Esta tendencia, como se mencionó anteriormente, coincide con los registros para otros sitios de la península de Yucatán y Centroamérica. Especialmente, concuerda con lo registrado por Haug Et al. (2001) en el Cariaco, Venezuela. En este sitio, Haug et al. (2001) señalan que entre el 3800 y 2800 BP, encuentran uno de los periodos de mayor variabilidad y con los menores valores de precipitación. En la Laguna Tzib, el valor más alto de $\delta^{18}\text{O}$ de todo el registro (para *Pyrgophorus*) se presenta en el 3483 BP y coincide con una de las sequías reportadas en el Cariaco en el 3400 BP (Haug et al. 2001).

Por el contrario a lo reportado en el norte de Centroamérica, en el sur del Amazonia, los elementos de selva muestran expansión durante el Holoceno tardío (Mayle et al., 2000). Haug et al. (2001), señala que dicha discrepancia entre ambos Hemisferios, confirma que los eventos climáticos ocurridos durante el

Holoceno estuvieron asociados con la migración de la ITCZ. Durante el Holoceno tardío, la ITCZ se movió más al sur, originando en este Hemisferio, las condiciones de mayor precipitación, mientras que en Hemisferio Norte sequías. En cambio, durante el Holoceno temprano se presentó una situación contraria, la abundante precipitación se dio en el H. Norte. Esta correlación es la evidencia de la conexión climática a gran escala que existe en la Tierra.

En el 3483 BP aparece el primer registro de *Zea mays* y éste se acompaña del aumento de otras taxa de vegetación secundaria como *Cecropia peltata*, *Croton*, Asteraceae, Solanaceae y *Myrica*. Los valores altos de $\delta^{13}\text{C}$ reflejan la presencia de herbáceas en la zona. Estas taxa indican tanto condiciones de menor precipitación, como el impacto de la cultura maya sobre la vegetación durante el preclásico temprano. En otros sitios de la zona maya el registro del impacto sobre la vegetación aparece más temprano; en el Lago Cobá (Leyden et al. 1998) y Punta Laguna (Hodell et al. 2007) la evidencia aparece en el 1650 B.C. mientras que en Guatemala en el 1700 B.C. (Mueller et al, en prensa).

La diferencia entre los registros del impacto sobre la vegetación, probablemente tenga relación con la disponibilidad de agua. Durante el preclásico, en la parte norte-centro del Peten, los asentamientos se desarrollaron densamente a lo largo de los márgenes de los bajos, los cuales se encontraban inundados incluso durante la época de secas (Hansen, 2002). La Laguna Tzib, por lo que muestra en sus registros, en un principio constituía una selva baja inundable, posteriormente selva mediana, pero no fue hasta 5760 BP que permaneció con agua aun en época de secas como actualmente ocurre. Mientras que los otros cuerpos de agua se llenaron durante el Holoceno temprano: Cobá en el 6400 B.C. (Leyden et al., 1998) y el Cenote San José Chulchacá en el 6200 B.C. (Brenner et al., 2000; Leyden et al., 1996).

En la Laguna Tzib el periodo de menor precipitación, de acuerdo con los valores de isótopos de oxígeno de *Pyrgophorus* y porcentaje de elementos de selva (Fig. 11), se extendió ~540 años (3735-3188 BP). Después de los ~3188 BP se distingue una fase casi continua (dos reducciones en el 2627 y 2094 BP, como se

verá más adelante) de aumento en las condiciones de humedad hasta el 1953 BP, que se observa tanto en los valores de isótopos estables como en el aumento continuo de los elementos de selva.

Holoceno Tardío (3038-677 BP):

En el 3038 BP las proporciones en que los taxa se encuentran indican el dominio de la selva mediana, presencia de sabanas y manglar. De igual forma los valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$ reflejan el dominio de la vegetación arbórea. A partir del 3038 BP, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de *Pyrgophorus* y *Assimineia* indican mayor precipitación que en el Holoceno medio y en la transición medio-tardío. A diferencia de otros trabajos (Curtis et al., 1996, 1998; Hodell et al., 1995, 2005; Leyden et al, 1996; Wahl et al., 2006), en los que se observan tendencias de menor precipitación durante el Holoceno tardío. Sin embargo, por el tamaño que de la Laguna Tzib, los valores de isótopos durante su llenado pueden arrojar datos sobre cambios muy locales y no de carácter regional. Hodell et al. (2007), en su registro de alta resolución (~5 años) en Punta Laguna muestra un periodo de condiciones húmedas desde 2950 hasta 1800 yr BP aproximadamente, este lapso concuerda con el encontrado en el presente estudio.

A pesar de que las condiciones durante el Holoceno tardío, de acuerdo con el registro, fueron de mayor precipitación que durante el medio y medio-tardío, se distingue una fase relativamente más seca durante el Clásico. Después de 1953 BP (3 AD), conforme se aproxima el Clásico, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ aumentan, y aunque en algunos puntos desciende, estos no alcanzan los presentados durante el Preclásico. Estas condiciones también se reflejan en la vegetación y en la curva de $\delta^{13}\text{C}$ de *Assimineia*, la cual muestra una reducción continua de los elementos de selva a partir de esta fecha. Con esto se observa que el clima fue más seco durante el Clásico que durante el Preclásico. Estas diferencias también han sido reportadas por Hodell et al. (2007) en Punta Laguna, por Haug et al. (2003) en Cariaco y por Hodell et al. (1995) en Chichancanab.

Al interior del Clásico (1697-760 BP), se presentan múltiples eventos de sequía, la cuales concuerdan (con diferencias de años) con las que sido reportado

en trabajos anteriores (Curtis et al., 1996, 1998; Haug et al., 2003; Hodell et al., 1995, 2005, 2007) (Fig. 13). Del 253-423 AD (1697-1527 BP) se presentó un periodo de relativa humedad, el primer evento de sequía durante Clásico se registra del ~508-593 AD (1442-1357 BP), este coincide con el reportado por Hodell et al., (2007) para el 535-550 AD. Durante este tiempo se reduce la familia Moraceae y *Ficus* aumenta, el aumento de este último taxa indica condiciones de humedad pero también disturbio (Torrescano, 2007).

Posteriormente (~593-763 AD) las condiciones de relativa humedad prevalecen, este lapso concuerda con el de mayor desarrollo de la cultura maya (600-800 AD). En el 763 AD aproximadamente, se presenta otro evento de sequía, el cual coincide con el reportado por Hodell et al, (2007) entre ~760-770 AD, y por Haug et al. (2003) en el 760 AD, como el primero del Clásico terminal. Durante esta sequía la selva constituía una vegetación más abierta, esto se deduce del aumento en el porcentaje de *Pinus*, el cual con esta condición de la vegetación puede transportarse con mayor facilidad y depositarse.

Del 763 al 933 AD (1187-1017 BP), continúan las condiciones secas, y en el 1018 AD (932 BP) éstas se vuelven más intensa, *Pinus* y *Ficus* aumenta, *Brosimum* no se registra, lo indica una vegetación perturbada. Aparece *Zea mays* mostrando el impacto sobre la vegetación por parte de la cultura maya. Esta sequía cae dentro de la reportada por Hodell et al. (2005) en el Lago Chichancanab, como la segunda del Clásico terminal (920-1060 AD). Por su parte Haug et al. (2003) señala el último evento de sequía en el 932 AD. Como se observa, en el término de esta fase de sequía existen discrepancias, en el Cariaco la última sequía termina ~128 años antes que el Lago Chichancanab (Hodell et al. 2005) y ~80 años con respecto a la Laguna Tzib. Este desfase, muy probablemente se deba a problemas con la determinación en la edad de los sedimentos. Por la naturaleza cárstica de la península de Yucatán, es difícil contar con materia orgánica suficiente para realizar una datación “exacta”.

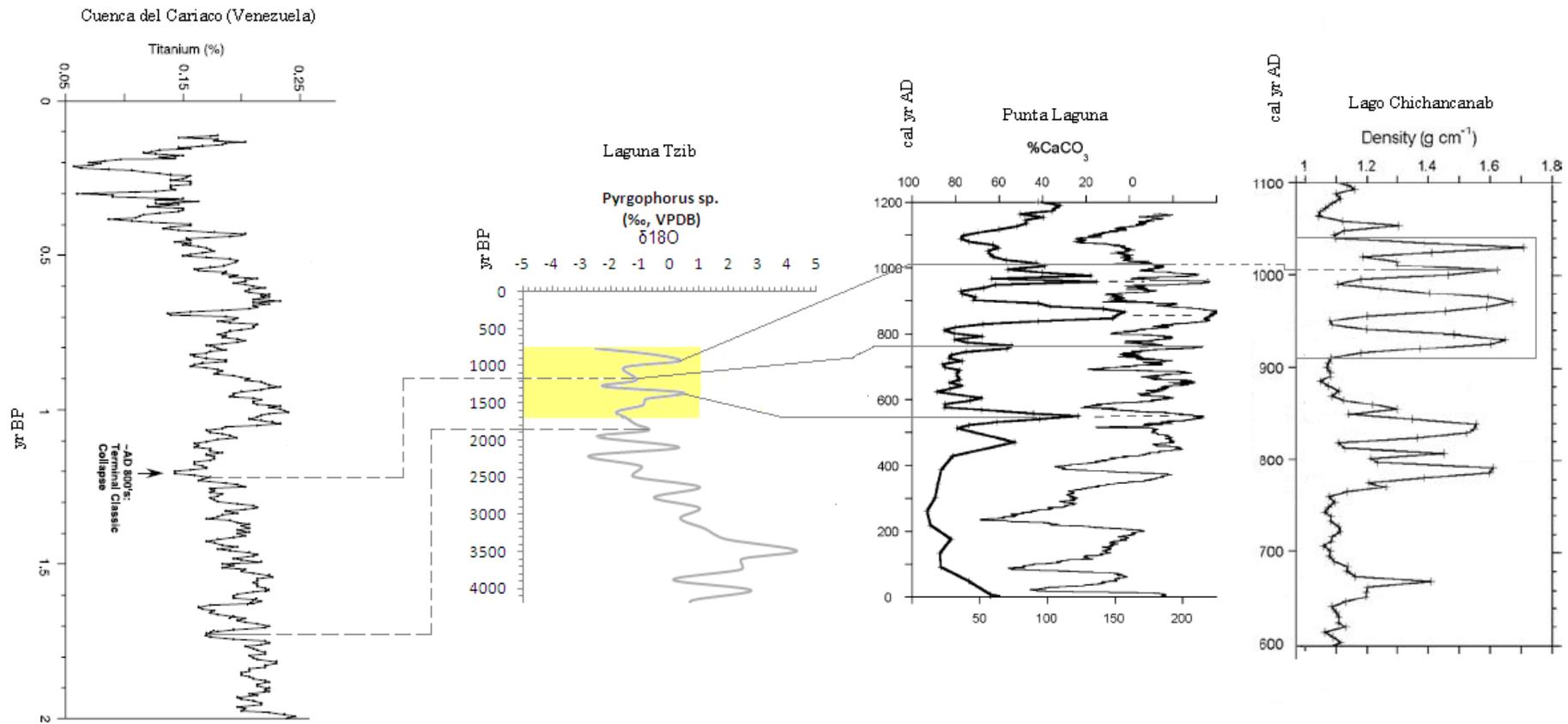


Figura 13. Correspondencia de las sequías encontradas en la laguna Tzib, con los registros de la cuenca del Cariaco (Venezuela) (Haug, et al 2003), Punta Laguna (Hodell et al, 2007) y el Lago Chichancanab (Hodell et al., 1005).

Hodell et al. (2007) señala que las condiciones de humedad regresaron alrededor del 1020 AD, en los registros de la Laguna Tzib se encuentra una condición similar. A partir del ~1018 AD (932 BP) los valores de $\delta^{18}\text{O}$ descienden abruptamente. Esto también concuerda con un ambiente más húmedo reportado por Haug et al. (2003) durante 1070 a 850 BP. Estas condiciones de mayor precipitación caen dentro del llamado óptimo de la edad media. El espectro de vegetación en este tiempo (932-705 BP) muestra la presencia de selva mediana y sabanas. *Zea mays* aumentan y en conjunto con otros taxa de disturbio como Asteraceae muestran el impacto sobre la vegetación.

Esta actividad durante el postclásico registrada en la Laguna Tzib concuerda con la recuperación de la vegetación arbórea en Coba y por tanto la reducción de la actividad de la cultura maya en la parte norte de la península de Yucatán (Leyden et al., 1998). Castillo y Peraza (1999) señalan que durante el Clásico terminal los centros importantes de actividad estuvieron en el norte (Cobá y Chichén-Itzá), mientras que en el Postclásico la población se extendió en la costa este de Quintana Roo y en las cercanías a Punta Laguna. Esto explica el porqué se presentan elementos de disturbio después del “colapso” de la cultura maya.

Las herramientas de interpolación y extrapolación espacial, incorporadas al análisis de la paleovegetación, permitieron construir superficies continuas de porcentajes de polen fósil, mediante la predicción de los valores de estos, en sitios que no han sido sondeados. Si bien estas predicciones no muestran la distribución exacta de la selva como una imagen actual lo hace, sí exhiben tendencias que permiten reconocer los límites de su distribución, en función del porcentaje mínimo que la suma de sus elementos alcanza en el espectro de lluvia de polen actual. La estimación de los porcentajes también da una señal de la cobertura de la vegetación; a mayor cantidad de vegetación arbórea (y por lo tanto cobertura), mayor es la cantidad de polen que aparecerá en el registro.

Partiendo de estas ideas, fue posible armar los cambios en la distribución de la vegetación e inferir las variaciones de precipitación en la península de

Yucatán en el 550 cal BC, 50 cal BC, 450 cal AD y 950 cal AD. En los cuatro mapas se aprecia la tendencia de aumento de los porcentajes en dirección oeste-este. Lo cual es similar a la distribución moderna de las isoyetas, en donde la precipitación aumenta conforme se aproxima la costa este. Este gradiente de precipitación responde a la dirección de los vientos alisios, los cuales soplan del este hacia el oeste. Estos vientos acarrear consigo la humedad del mar y la descargan sobre la península de Yucatán, dejando la mayor cantidad de precipitación cerca de la costa este. Debido a este gradiente, en la actualidad el arreglo de la vegetación está distribuido de manera similar, en la franja este la selva mediana, la cual requiere mayor precipitación, en la franja central la baja subcaducifolia y en la franja oeste la baja caducifolia.

Mediante la comparación de los mapas construidos es posible observar la contracción y expansión de la selva. Durante el preclásico (550 y 50 cal BC), los tonos muestran mayor cobertura que durante el Clásico (450 cal AD) y Posclásico (950 cal AD). Estos cambios coinciden con variaciones en la precipitación reportados en estudios de alta resolución temporal (Haug et al., 2003; Hodell et al., 2007), como se verá a continuación.

En el 550 cal BC (2500 BP), que la franja de 40 a 45 % se extiende sobre las isoyetas de 600 a 800 mm indica muy probablemente que se presentaban condiciones de mayor humedad que en la actualidad, ya que la selva se distribuye principalmente en las isoyetas superiores a 800 mm y particularmente la selva mediana subperennifolia en zonas con precipitación mínima de 1000 mm. Hodell et al. (2007) reporta para esta fecha valores bajos de $\delta^{18}\text{O}$, lo que indica mayor precipitación. Además estos valores están por debajo de los que se registra para el año 2000 AD (lo equivalente a la actualidad) en este mismo estudio. Esto concuerda con lo que la reconstrucción de la vegetación de 550 cal BC muestra: mayor precipitación que en el presente.

La reconstrucción de 50 cal BC (2000 BP) muestra expansión de la selva. Ésta presenta una condición más cerrada con mayor dominio de vegetación arbórea. El clima fue aun más húmedo que en el 550 cal BC, las isoyetas de 600 a 800 mm, muestran porcentajes de entre 56 y 62% de elementos de selva, lo que indica que en este tiempo la precipitación que se recibía en la costa del noreste de la península era mayor. Al comparar los valores de otros proxy, estos coinciden con condiciones de abundante precipitación. Haug et al. (2003), en su estudio en el Cariaco registra porcentajes altos de Titanio en el 2000 BP.

El mapa correspondiente a 450 cal AD (1500 BP), comparado con los del Preclásico, registra una clara reducción en la cobertura de la vegetación selvática. Dicha reducción obedece a la disminución en la precipitación. Haug et al. (2003) encontró para esta fecha reducción en los porcentajes de titanio, lo que indica menor precipitación que durante el 50 cal BC (2000 BP). Sin embargo, por los valores que se registran en la cuenca del Cariaco (Haug et al., 2003), está no fue muy prominente, comparada con la del Clásico terminal o la del pre-abandono.

Otra causa de la disminución en la cobertura puede deberse al impacto de las actividades de la cultura maya sobre la vegetación. Durante este tiempo zonas como Cobá ya se encontraban desarrolladas: su urbanización inició durante el Clásico temprano (Folan, 1983). Incluso, Leyden et al. (1998) sugiere que el lago fue modificado para controlar la disponibilidad de agua. Este impacto, puede también explicar el hecho de que en el estado de Quintana Roo la reducción de cobertura en el mapa es mayor, que en la costa oeste de la península de Yucatán. Que si bien fue impactada por la reducción de la precipitación, sus porcentajes no se redujeron en la misma magnitud que en la porción Este.

Otro aspecto importante de esta reconstrucción está relacionado con el uso de los recursos por parte de la cultura maya. En diversos trabajos han señalado que esta cultura realizaba una sobreexplotación de los recursos y mencionan que ésta llevó la deforestación extensiva de las selvas (Abrams et al., 1988, Dunning

et al., 2002). Sin embargo, en este mapa se observa que al menos en el 450 AD, en la mayor parte de la península permanecían las selvas y no existía tal deforestación.

La reconstrucción del 950 cal AD (1000 BP) cae dentro del periodo conocido como el óptimo de la edad media y muestra la recuperación de la selva. Esta fecha está dentro de un periodo de relativa humedad reportado por Haug (2003) y dentro de la segunda sequía del Clásico terminal reportada por Hodell et al (1995). La distribución de los porcentajes es muy similar a la del 550 cal BC. Sin embargo, en la porción oeste y centro de la península la cobertura muestra una ligera reducción, comparada con la del 550 cal BC, esto se debe a que si bien hubo condiciones de mayor precipitación, éstas no tuvieron la magnitud de las del preclásico. Al observar los valores de titanio determinados por Haug et al (2003) estos son altos pero tampoco alcanzan los valores reportados para el 50 cal BC.

VI CONCLUSIONES

Mediante el análisis de polen fósil e isótopos estables obtenidos de los sedimentos de la Laguna Tzib se determinó la historia de la vegetación y el clima del centro de Quintana Roo. Durante los inicios del Holoceno medio se presentaban condiciones húmedas, la vegetación estaba compuesta de selva mediana, selva baja, sabanas y baja presencia de manglar, particularmente en donde ahora se encuentra la laguna existían selva baja inundable.

En el Holoceno medio por el incremento del nivel del mar, aunado a las altas precipitaciones provocan el llenado de la laguna (5760 BP). La vegetación se componía de selva mediana, sabanas y manglar. Al finalizar el Holoceno medio, la precipitación se reduce ligeramente, la vegetación con un carácter más abierto se componía en mayor proporción de selva mediana, selva baja y sabanas.

En el Holoceno tardío las condiciones de sequía se intensifican durante el Clásico y en la transición a éste. La vegetación arbórea se reduce y se registra el cultivo de *Zea mays* (3483 BP, 1533 cal BC). Al interior del clásico se presentan múltiples eventos de sequía: ~508-593 AD, 763 AD (la primer sequía del clásico terminal), 1018 AD (coincide con el colapso de la cultura maya). En el posclásico (1018 AD), las condiciones de humedad regresan durante el lapso conocido como el óptimo de la edad media, se presentan actividades de agricultura y la vegetación se componía de selva mediana, selvas bajas inundables y sabanas.

La comparación de los eventos climáticos del centro de Quintana Roo, con otros registros de la península de Yucatán, Centroamérica y Suramérica, permitió observar correlaciones positivas entre aquellos que se encuentran en el norte de Centroamérica y negativas con los situados en el Hemisferio Sur. Esta correlación permite situar las variaciones climáticas registradas en el centro de Quintana Roo en un contexto global, y constituye la evidencia de la teleconexión climática existente entre las distintas regiones del planeta.

Con la incorporación de los sistemas de información geográfica al análisis de polen, fue posible integrar, procesar, proyectar y analizar la información proveniente de diversos trabajos y reconstruir la historia espacial de la vegetación. Esto permitió establecer en términos cualitativos cambios en la precipitación y detectar el efecto simultáneo del factor clima y sociedad.

Los cambios ocurridos en la vegetación durante el Preclásico y Posclásico en la península de Yucatán ha sido resultado de las variaciones en los elementos del clima, principalmente en la precipitación. Durante el Clásico al factor de la variación climática se le suma el de las actividades realizadas por la cultura maya. En el 450 AD se observa la presión simultánea de ambos factores sobre la cobertura vegetal, dando como resultado la reducción de ésta. A pesar de dicha presión la vegetación conservó una importante cobertura, mostrando que el aprovechamiento de los recursos no significaba la sobreexplotación.

Este trabajo constituyó el primer acercamiento a la integración de los SIG como herramienta en la reconstrucción de la paleovegetación de la península de Yucatán, y comprueba su potencialidad. Sin embargo, el uso de esta herramienta se encuentra en una etapa temprana y se requiere seguir en el desarrollo de dos principales líneas: (1) Aumentar número de registros (sondeos) que permitan el uso de modelos más complejos (con bases geoestadística) para realizar reconstrucciones espaciales más certeras. (2) Modelos actuales que relacionen la vegetación con factores ambientales (principalmente clima); de tal forma, que permitan mediante su integración la determinación cuantitativa de las variaciones climáticas.

VII LITERATURA CITADA

- Abrams E. M. y D. J. Rue. 1988. The causes and consequences of deforestation among the prehistoric maya. *Human ecology*. 16(4):377-395.
- Aimers J. J. 2007. What maya collapse? Terminal Classic variation in the maya lowlands. *Journal of Archaeological Research*. 15:329-377.
- Bell M. y M. J. C. Walker. 1992. Late Quaternary environmental change: Physical and human perspective. Longman Scientific y Technical. Inglaterra. 273p.
- Brenner M., Leyden B. W., Curtis J. H., Medina-González R. M. y Dahlin B. H. 2000. Un registro de 8,000 años del paleoclima del noroeste de Yucatán, México. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatan*. 15:52-65
- Brenner M., Rosenmeier, M. F., Hodell, D. A. y J. H. Curtis. 2002. Paleolimnology of the Maya Lowlands. *Ancient Mesoamerica* 13: 141-157.
- Burch J.B y A. Cruz-Reyes. 1987. Clave genérica para la identificación de gasterópodos de Agua dulce en México. *Inst. Biol. UNAM* 47 p.
- Burroughs J. W. 2001. *Climate change: a multidisciplinary approach*. Cambridge University Press. 298p.
- China D. J. 2002. Teledetección del bosque. En: Guariguata M. R. y G. H. Catan (Eds), *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Libro Universitario. México. p. 625-645
- Coe M. D. 1994. *The Maya*. Thames and Hudson. Londres, Gran Bretaña
- Covich A. y M. Stuiver. 1974. Changes in oxygen 18 as a measure of long-term fluctuations in tropical lake levels and molluscan populations. *Limnology and oceanography* 19(4):682- 691.
- Covich A. 1976. Recent changes in Molluscan species diversity of a large tropical Lake (Lago de Peten, Guatemala) *Limnology and Oceanography* 21(1):51-59.
- Cózatl-Manzano R. y E. Naranjo-García. 2007. First records of freshwater molluscs from the biological reserve El Eden, Quintana Roo, Mexico. *Rev. Biodiv. Mex. Inst. Biol. UNAM*. 78:303-310.

- Curtis J. H. y D. A. Hodell. 1996. Climate variability on the Yucatan Peninsula (Mexico) during the past 3500 years, and implications for Maya Cultural Evolution. *Quaternary Research*. 46: 37-47.
- Curtis J., Brenner M., Hodell D. A., Balsler R. A., Islebe G. y H. Hooghiemstra. 1998. A multi-proxy study of Holocene environmental change in the Maya Lowlands of Peten, Guatemala. *Journal of Paleolimnology*. 19:139-159.
- Curtis J. H., Brenner M. y D. A. Hodell. 1999. Climate change in the Lake Valencia Basin, Venezuela, ~12600 yr BP to present. *Holocene*. 9(5): 609-619.
- Duning N. P., Luzzadder-Beach S., Beach T., Jones J.G., Scarborough H. V. y T. P. Culbert. 2002. Arising from the bajos: the evolution of neotropical landscape and the rise of maya civilization. *Annals of the Associations of American Geographers*. 92(2): 267-283.
- Duran R. e I. Olsmed. 1999. Vegeración de la Península de Yucatan. En Atlas de procesos territoriales de Yucatán. Facultad de Arquitectura UADY. 187-194
- ESRI: Environmental Systems Research Institute. 2001. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. Redlands. California. 306 pp.
- Flantua S. G. A., van Boxel J. H., Hooghiemstra H. y J. van Samaalen. 2007. Application of GIS and logistic regression to fossil pollen data in modelling present and past spatial distribution of the Colombian savanna. *Climate dynamics*. 29: 697-712.
- García E. 1978. Cartas de climas (1:4 x 106) Atlas nacional de Mexico. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico, D. F.
- Giesecke T. y K. D. Bennett . 2004. The Holocene spread of *Picea abies* (L.) Karst. in Fennoscandia and adjacent areas. *Journal of Biogeography*. 31:1523-1548.
- Goudie Andrew. 1992. Environmental Change. 3ra ed. Oxford University Press. Oxford. 329 pp.
- Hansen, Richard D., Steven Bozarth, John Jacob, David Wahl, y Thomas Schreiner. 2002. Climatic and Environmental Variability in the Rise of Maya Civilization: A preliminary perspective from the northern Petén. *Ancient Mesoamerica* 13:273-295.

- Haug G. H., Hughen K. A., Sigman D. M., Peterson L. C. y U. Röhl. 2001. Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science*. 293:1304-1308.
- Haug G.H., Günther D., Peterson L.C., Sigman D.M., Hughen K. A y B. Aeschlimann. 2003. Climate and the collapse of Maya Civilization. *Science*. 299:1731-1735.
- Hodell D. A., Curtis J. H., Jones G. A., Higuera- Gundy A., Brenner M., Binford M. W. y K. T. Dorsey. 1991. Reconstruction of Caribbean climate change over the past 10,500 years. *Nature*. 352: 790-793.
- Hodell D. A., Curtis J. H. y M. Brenner. 1995. Possible role of climatic change in the collapse of the Maya civilization. *Nature* 375: 391-394.
- Hodell D. A., Brenner M. y J. H. Curtis. 2000. Climate change in the northern American tropics and subtropics since the last ice age, implications for environmental and culture. En: Lentz D. L. (Ed), *Imperfect balance, landscape transformations in the precolumbian Americas*. Columbia University Press. Nueva York. p. 13-38.
- Hodell D. A., Brenner, M., Curtis J. H. y T. Guilderson. 2001. Solar forcing of drought frequency in the Maya lowlands. *Science* 292: 1367-1369
- Hodell D. A., Brenner M. y J. H. Curtis. 2005. Terminal Classic drought in the northern Maya lowlands inferred from multiple sediment cores in Lake Chichancanab (México). *Quaternary Science Reviews* 24: 1413-1427.
- Hodell D.A., Brenner M. y J.H. Curtis. 2007. Climate and cultural history of the Northeastern Yucatan Peninsula, Quintana Roo, Mexico. *Climatic Change*. 83:215-240.
- Hooghiemstra H. 1984. Vegetational and climate history of the high plain of Bogotá, Colombia: a continuous record of the last 3.5 million years. *Dissertationes Botanicae* 79, J. Cramer: Vaduz.
- Islebe G.A., Hooghiemstra H., Brenner M., Curtis J.H. y D.A. Hodell. 1996. A Holocene vegetation history from lowland Guatemala. *The Holocene* 6(3):265-271.
- Islebe G. A. 1998. Vegetación. *Enciclopedia de Quintana Roo*. Tomo 8. 337-334. Quintana Roo, Mexico.

- Islebe G. A. 1999. La paleoecología: bases y su aplicación. *Foresta Veracruzana* 1(2): 47-57.
- Islebe G. A. y S. O. Sánchez. 2002. History of late Holocene vegetation at Quintana Roo, Caribbean coast of Mexico, *Plant Ecology* 160: 187-192
- Islebe G.A y B. Leyden. 2006. La vegetación de Guatemala durante el Pleistoceno terminal y Holoceno. In: Enio Cano (ed), *Biodiversidad de Guatemala, Volumen I*. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. p. 15-23.
- Juggins S (2003) C2 A program for analysing and visualising palaeoenvironmental data Version 1.0. University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK (<http://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins>)
- Lee J. C.1996. *The amphibians and reptiles of the Yucatan Peninsula*. Ithaca. E.U.A. 500 pp.
- Leyden B. W.1984. Guatemalan forest synthesis after Pleistocene aridity. *Ecology*. 81: 4856-4859.
- Leyden B. W.1987. Man and Climate in the Maya Lowlands. *Quaternary research*. 28(3):407-417.
- Leyden B. W., Brenner M., Hodell D.A., y J. H. Curtis. 1993. Late Pleistocene climate in the Central American lowlands. En: Swart P.K., Lohmann K.C., McKenzie J. y S. Savin (Eds.), *Climate Change in Continental Isotopic Records*, Geophysical Monograph 78. American Geophysical Union, Washington. p.65-78.
- Leyden B. W. 1987. Man and climate on the Maya lowlands. *Quaternary Research* 28(3):407-417.
- Leyden B., Brenner W. M., Whitmore T., Curtis J. H., Piperno D. R. y B. H. Dahlin.1996. A record of Long- and Short-Term Climatic Variation from Northwest Yucatán: Cenote San José Chulchacá. En *The Managed Mosaic: Ancient Maya Agriculture and Resource Use*. Fedick S.L (ed). University of Utah Press, Salt Lake City. Pp 30-50
- Leyden B. W., Brenner M. y B. H. Dahlin. 1998. Cultural and climatic history of Cobá, a lowland Maya city in Quintana Roo, Mexico. *Quaternary Research* 49: 111-122

- Leyden B. W. 2002. Pollen evidence for climatic variability and cultural disturbance in the Maya Lowlands. *Ancient Mesoamerica*. 13:85-101.
- Lozano-García Ma. del S. y E. Martínez-Hernández. 1990. *Palinología de los Tuxtlas: Especies arbóreas*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Miranda F. 1978. *Vegetación de la Península Yucateca*. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. 271 pp.
- Mueller A. D., Islebe G. A., Hillesheim M., Grzesik D., Anselmetti F., Ariztegui D., Brenner M., Curtis J. H., Hodell D. A. y K. Venz. En prensa. Climate drying and associated forest decline in the lowlands of Northern Guatemala during the late Holocene. *Quaternary Research*.
- Orellana L. R., K. Balam, R. I. Bañuelos, E. García de Miranda A. J. Gonzalez-Iturbe, C. F. Herrera y J. Vidal. 1999. Evaluación climática. En *Atlas de procesos territoriales de Yucatán*. UADY 163-182 pp.
- Overpeck J. T. y Webb R. S. 1992. Mapping eastern North American vegetation change of past 18 ka: No-analogs and the future. *Geology*. 20:1071-1074.
- Palacios-Chávez R., Ludlow-Wiechers B. y R. Villanueva-Gutierrez. 1991. *Flora palinológica de Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México*, Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Quintana Roo, México
- Pennak R.W. 1989. *Gastropoda (Snails, Limpets)* 24:541-568 pp En: *Fresh-water Invertebrates of the United State. Protozoa to Mollusca*. Pennak, R. (Ed). 3rd. ed. Wiley-Int.Publ. USA 628 p.
- Pilsbry H.A. 1903. Mexican Land and Freshwater mollusks. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila.* 55:761-789.
- Pope K. O., Pohl M. E. D., Jones J. G., Lentz D. L., von Nagy C., Vega F.J. y Quitmyer I. R. 2001. Origin and Environmental Setting of Ancient Agriculture in the Lowlands of Mesoamerica. *Science*. 292:1370–1373.

- Rangel-Ruíz L. J. 2000. Estudio taxonómico de los moluscos terrestres y dulceacuícolas de la región maya de México I. Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla. UAJT. Inf. Téc. SNIB-CONABIO M068, 55p.
- Ray N. y J. M. Adams. 2001. A GIS-based vegetation map of the world at the last lacial Maximum (25,000-15,000 BP). Internet Archaeol 11. <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/pollen.html>
- Roberts N 1998. The Holocene. An enviromental history. Blackwell Science Publisher. USA.
- Roubik D. W. y J. E. Moreno. 1991. Pollen and spores of Barro Colorado Island. Missouri Botanical Garden. 36: 1-270
- Sánchez S. O. 1987. Estructura y composición de la selva mediana superennifolia presente en el Jardín Botánico del CIQRO, Puerto Morelos, Quintana Roo. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- Takeshi N., Brugiapaglia E., Digerfeldt G., Reille M., De Beaulieu J.L. y Y. Yasuda. 1998. Dense-media separation as a more efficient pollen extraction method for use with organic sediment/deposit samples: comparison with the convetional method. Boreas 27: 15-24.
- Thompson F. G. 2004. An identification manual for the Freshwater snails of Florida. www.flmnh.ufl.edu/natsci/malagology/fl-snail/snails1.htm.
- Torrescano V. N. 2007. Reconstrucción Paleoambiental del Holoceno Medio-Tardío en la parte centro-sur de la península de Yucatán, México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Chetumal, Quintana Roo, México. El Colegio de la Frontera Sur. 94 p.
- Torrescano V. N. y G. A. Islebe. 2006. Tropical forest and mangrove history from southeastern Mexico: a 5000 yr pollen record and implications for sea level rise. Vegetation History and Archaeobotany. 15:191-195.
- Torrescano V. N. y G. A. Islebe. en prensa. Modern pollen rain-vegetation relationships of different vegetation types from Yucatan peninsula, Mexico. Journal of Biogeography.

- Uriarte C. A. 2003. Historia del clima de la tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Álava, España. 306 pp.
- Vidal-Zepeda R. 2005. Las regiones climáticas de México. Instituto de Geografía, UNAM, México. Colec. Temas Selectos de Geografía de México (I.2.2.). 213pp.
- Wadsworth R. y J. Treweek. 1999. Geographical information systems for ecology: an introduction. Longman. Inglaterra. 184pp.
- Wahl D., Byrne R., Schreiner T. y R. Hansen. 2006. Holocene vegetation change in the northern Peten and its implications for Maya prehistory. *Quaternary Research*. 65:380-389.
- Whitmore T. J., Brenner M., Curtis J., Dahlin B., y B. Leyden. 1996. Holocene climatic and human influences on lakes of the Yucatan Peninsula, Mexico: An interdisciplinary, paleolimnological approach. *The Holocene* 6:273-287.
- Williams M. A. J., Dunkerley D. L., Kershaw A. P. y T. J. Stokes. 1993. Quaternary environments. Edward Arnold. Gran Bretaña. 329 pp.
- Wooller M.J., Morgan R., Fowell S., Behling H. y M. Fogel. 2007. A multiproxy peat record of Holocene mangrove palaeoecology from Twin Cays, Belize. *The Holocene* 17(8): 1129-1139.
- Yu G., Chen X., Ni J., Cheddadi R., Guiot J., Han H., Harrison S. P., Huang C., Ke M., Kong Z., Li S., Li W., Liew P., Liu G., Liu J., Liu Q., Liu K.-B., Prentice I. C., Qui W., Ren G., Song G., Sugita S., Sun X., Tang L., Van Campo E., Xia Y., Xu Q., Yan S., Yang X., Zhao J. y Z. Zheng. 2002. Palaeovegetation of China: a pollen data-based synthesis for the mid-Holocene and last glacial maximum. *Journal of Biogeography*. 27: 635-664

VIII ANEXOS

1 **Vegetación y clima del centro de Quintana Roo durante los últimos 7500 años**

2 Vegetation and climate of Central Quintana Roo during the last 7500 years

3 Carrillo-Bastos Alicia^{1*}, Islebe Gerald¹, Torrescano Nuria² y González Norma Emilia³

4 ¹El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Herbario, Avenida Centenario km 5,5, CP
5 77000 Chetumal, Quintana Roo, México

6 ² El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche, Calle 10 X 61 No. 264, Colonia Centro,
7 CP 24000 Campeche, Campeche

8 ³ El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Departamento de Ecología y Sistemática
9 Acuáticas, Avenida Centenario km 5,5, CP 77000 Chetumal, Quintana Roo, México

10 *Correspondencia: carrillo.bastos.alicia@gmail.com

11 **Resumen.** Mediante el análisis de polen fósil e isótopos de carbono depositados en los
12 sedimentos de la Laguna Tzib, se infirió la historia de la vegetación y el clima del centro de
13 Quintana Roo, desde 7500 yr BP. En el Holoceno medio el mosaico de vegetación cambió de
14 selva mediana, selva baja y selva baja inundable, a selva mediana y baja con manglar. En la
15 transición al Holoceno tardío la humedad se redujo y la vegetación adquirió un carácter
16 abierto. En el Holoceno tardío las condiciones secas se acentúan durante el Clásico, la
17 vegetación arbórea se redujo y se registra la presencia de *Zea mays* (1533 cal BC). En el
18 clásico se presentan tres eventos de sequía: 508-593 AD, 763 AD (la primera del clásico
19 terminal) y 1018 AD. Durante el óptimo climático de la edad media (después de 1018 AD), la
20 vegetación queda compuesta por selva mediana, selva baja inundable, sabanas y cultivos.

21 **Palabras claves.** Análisis de polen, isótopos estables, península de Yucatán, México, selva.

22 **Abstract.** Pollen analysis and oxygen isotopes recovered from sediments of Lake Tzib,
23 revealed vegetation and climate history of Central Quintana Roo, since 7500 yr BP. During
24 mid Holocene, the vegetation mosaic changed from a medium statured and low statured forest
25 to medium statured forest with mangrove elements. The transition to mid Holocene is
26 characterized by reduced precipitation and open vegetation. During the late Holocene, dry
27 conditions are recurrent, especially during the Classic. A decrease of tree cover and presence
28 of *Zea mays* is shown for 1533 BC. During the Classic period three dry events are
29 characterized: 508-593 AD, 763 AD (the first of terminal Classic) y 1018 AD. During the
30 medieval climate optimum (after 1018 AD), vegetation is medium forest and low forest like,
31 and also *Zea mays* is registered.

32 **Key words.** Pollen analysis, stable isotopes, Yucatan peninsula, Mexico, tropical forest.

33 **Introducción**

34 Durante el Holoceno la vegetación de Quintana Roo ha experimentado variaciones en
35 estructura y composición como respuesta a cambios climáticos, eustáticos y transformaciones
36 derivadas de las actividades humanas (Coe, 1993; Leyden, 1998; Islebe y Sánchez, 2002;
37 Torrescano e Islebe, 2006). Conocer dichas modificaciones, mediante los estudios
38 paleoambientales, resulta crucial para entender los patrones de distribución y diversidad actual,
39 ya que añade a los estudios ecológicos actuales, un componente histórico que permite analizar la
40 vegetación de un contexto dinámico en espacio y tiempo (Islebe et al., 1996; Roberts, 1998).

41 En la península de Yucatán se cuenta con algunos estudios previos que abarcan
42 diversas fases del Holoceno. Los trabajos del Lago Cobá (Whitmore et al., 1996; Leyden et al.,
43 1998) y Chichancanab (Hodell et al. 1995) son las reconstrucciones multiproxy que permiten
44 armar la historia del Holoceno Temprano. Durante el Holoceno temprano, como respuesta a la
45 mayor precipitación y el incremento del nivel del mar, los lagos se llenaron. El registro del Lago

46 Petén-Itzá, aunque no se encuentra dentro de la península de Yucatán, por la similitud de la
47 vegetación, determina el establecimiento de la selva ~ 8600 BP (Islebe et al., 1996) en la región
48 del Gran Petén.

49 Con los trabajos que reconstruyen el Holoceno medio (Hodell et al., 1995; Islebe et
50 al., 1996, Curtis et al., 1996; Leyden et al., 1996, 1998; Torrescano e Islebe, 2006; Torrescano
51 2007) se sabe que en este tiempo prevalecieron las condiciones cálidas y húmedas, y en la
52 transición al tardío la vegetación es más abierta. Particularmente el trabajo de Torrescano e Islebe
53 (2006) permite determinar el que establecimiento de la línea de costa sucedió posterior a los
54 3800 yr BP aproximadamente.

55 El Holoceno Tardío, es la fase de que la mayoría de los trabajos abarca y resulta de
56 gran interés por el establecimiento, florecimiento y colapso de la cultura Maya. Las
57 investigaciones concuerdan en la presencia de condiciones relativamente más secas en
58 comparación al Holoceno Temprano-Medio y en la ocurrencia de sequías cíclicas más intensas
59 durante los pasados 2800 años (Hodell et al., 1995, 2001, 2005; Curtis et al., 1996; Leyden, 1996,
60 1998; Islebe et al., 2002; Haug et al., 2003; Mueller et al., en prensa; Torrescano, 2007).
61 Registran tanto evidencias (polen de *Zea mays* y otros indicadores de actividad humana) de la
62 ocupación Maya, como de la regeneración de los bosques posterior el colapso.

63 Los estudios realizados han avanzado sobre las variaciones en la vegetación y el
64 clima de la región. Sin embargo, para relacionar los cambios ambientales en un área tan grande y
65 diversa, se requiere de una gran cantidad de datos paleoecológicos que permitan tener una
66 comprensión certera de la historia de la vegetación como respuesta tanto a la variación en el clima
67 tropical, como a las modificaciones ambientales ocasionadas por los asentamientos humanos en la
68 zona. En el presente estudio se presenta la reconstrucción histórica de la vegetación y el clima del

69 centro de Quintana Roo, en un contexto regional, desde el Holoceno medio; inferida del análisis
70 de polen fósil y de isótopos estables contenidos en los sedimentos de la Laguna Tzib.

71 **Materiales y métodos**

72 El sitio de estudio, Laguna Tzib, pertenece al ejido Xhazil y se ubica en el centro
73 del Estado de Quintana Roo, en las coordenadas 19°17'48.96'' latitud Norte y 88°04'12.50'
74 longitud Oeste (Fig. 1). El clima, según la clasificación de Köppen modificada por García
75 (1978), es de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura promedio anual
76 de 26°C y precipitación anual que varía de 1200 a 1500 mm.

77 Por su posición geográfica se encuentra bajo la influencia de la zona de
78 interconvergencia tropical (ITCZ), lo cual lo hace un sitio sensible al cambio climático.
79 Durante el verano esta zona de bajas presiones, localizada cerca del ecuador, migra hacia el
80 norte en conjunto con el sistema de altas presiones Bermuda-Azores (Hodell et al., 2000),
81 marcando la temporada de lluvias de mayo a noviembre (Islebe y Sánchez, 2002). En el
82 invierno, la ITCZ y el Bermuda-Azores se desplazan hacia el sur, y en combinación con el
83 enfriamiento de las aguas del Atlántico Norte y la intensificación de los vientos alisios,
84 provocan la disminución de la precipitación (temporada se secas).

85 En la zona se presenta un gradiente de inundación y en respuesta a éste, la
86 vegetación cambia de selva mediana subperennifolia, principal vegetación de la península de
87 Yucatán (Sánchez e Islebe, 2002), representada por especies como: *Manilkara zapota*
88 (Sapotaceae), *Metopium brownei* (Anacardiaceae), *Vitex gaumeri* (Verbenaceae) y *Talisia*
89 *olivaeformis* (Sapindaceae) a vegetación tipo sabana compuesta por especies de la familia
90 Cyperaceae; *Cladium jamaicense*, *Schoenoplectus erectus* y *Eleocharis* sp.

91 En mayo del 2007, mediante un sondeador tipo Ruso, se realizó un sondeo de
92 sedimento fósil dentro de la laguna, el cual alcanzo (en secciones de 50 cm) 250 cm de
93 profundidad. El sedimento fue empaquetado y transportado al laboratorio de Palinología de
94 ECOSUR, Unidad Chetumal, donde se procesó para la obtención de polen fósil, mediciones
95 isotópicas tanto $\delta^{18}\text{O}$ como de $\delta^{13}\text{C}$ y para el establecimiento de cronologías.

96 Para el análisis de polen fósil se tomaron 26 muestras de sedimento a intervalos de
97 10 cm. Las muestras se procesaron mediante la técnica de separación y concentración por
98 densidad desarrollada por Takeshi et al. (1998). Esta técnica se modificó incorporando una
99 etapa de filtrado. Durante el tratamiento con HCL, se agregaron como marcador externo una
100 tableta de *Lycopodium*. La identificación de polen fósil se realizó en base a las claves
101 desarrolladas por Palacios et al. (1992), Lozano y Martínez (1990), Hooghiemstra (1984) y
102 Roubik y Moreno (1991). Las abundancias de cada taxa se estimaron en conteos de 100 a 300
103 granos polen por muestra y se concentraron en un diagrama de polen, el cual se construyó
104 mediante el programa C2 (Juggins, 2003). La caracterización de la columna litológica se
105 realizó cualitativamente, en base al contenido de materia orgánica presente y cambios en la
106 coloración sedimentológica.

107 En el análisis de isótopos estables se tomaron 37 muestras de 1cm^3 a intervalo de
108 5 cm. De estas muestras se separaron al menos cinco conchas de los gasterópodos del género
109 *Pyrgophorus sp.* y *Assimineia sp.*, a partir de los cuales se midieron las razones isotópicas de
110 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Dicha medición se llevo a cabo en el laboratorio del departamento de
111 Ciencias Geológicas de la Universidad de Florida, donde fueron procesados mediante el uso
112 de un espectrómetro de masas Finnigan MAT 252. Las proporciones de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ se
113 expresaron como $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ permil relativos al valor estándar NBS 19, que para ^{18}O es de -
114 2.20 y para ^{13}C de 1.95.

115 Para la datación de sedimentos se utilizaron 2 muestras, correspondientes a las
116 profundidades de: 45 (proveniente de un sondeo realizado por Torrescano (2007)) y 122.2 cm.
117 Éstas se fecharon mediante la técnica espectrometría por aceleración de masa, utilizando
118 como fechador el ^{14}C contenido en la materia orgánica de los sedimentos en el Beta Analytic
119 Inc (Miami, USA). Las edades obtenidas se calibraron con el programa CALIB 3.0 (Stuiver y
120 Reimer, 1986-2006) a un intervalo de 95.4% (2σ). La cronología del resto del registro se
121 obtuvo mediante una regresión que incluyo: las edades obtenidas de los sedimentos y tres más
122 estimadas mediante modelación dentro del programa CALIB 3.0 (Stuiver y Reimer, 1986-
123 2006).

124 **Resultados**

125 Con la calibración, modelación profundidad-edad (Fig. 2) (cuadro I) y regresión
126 (Fig. 3) de las edades registradas en sedimentos de la Laguna Tzib, se estimó que la columna
127 comprende ~677 a 7538 cal BP, siendo el registro paleoecológico más completo de la
128 península de Yucatán aunado al sondeo de laguna Cobá (Leyden et al., 1998). A lo largo de
129 del registro sedimentológico, se observaron variaciones estratigráficas que permiten dividirla
130 en seis secciones (Fig. 4). En el análisis polínico, se registraron 56 taxa; la variación de las
131 abundancias de estos en el diagrama de polen (Fig. 4), permitió identificar cuatro zonas
132 polínicas.

133 Zona I (247- 215cm, 7538-6649 yr BP): En esta zona predominan los elementos
134 de selva (70-80%,) principalmente *Ficus* (10-60 %) y Moraceae (20-65%); en menor
135 proporción (<3%) se presentan, *Brosimum alicastrum*, Fabaceae, Rubiaceae y Euphorbiaceae.
136 Los elementos de manglar y humedales se encuentran medianamente representados (13-20%),
137 de los cuales, la familia Poaceae es la más abundante (9-17%), seguida por Chenopodiaceae

138 (0-7%). En cuanto a la vegetación secundaria, ésta se presenta en bajas proporciones (<6%),
139 compuesta principalmente por *Cecropia peltata*, Convolvulaceae y Malvaceae.

140 Zona II (215-137cm, 6649-4483 yr BP): La transición a esta zona está marcada
141 por el aumento en la suma de elementos selváticos (85%) y la disminución en los taxa de
142 humedales y manglar (<10%). En el 6260 cal yr BP, la suma de selva se reducen (a 53%), y
143 los de humedales aumentan (43%). Los taxa de selva registrados son: Moraceae, *Ficus*,
144 Fabaceae, Anacardiaceae, Euphorbiaceae, Boraginaceae, *Euphorbia sp*, Rubiaceae,
145 *Phyllanthus sp.* *Randia sp.*, *Spondias mombin*, *Metopium brownei* y *Bursera sp.* En los de
146 humedales se encuentran: Poaceae, Chenopodiaceae, Combretaceae, Arecaceae, *Byrsonima*
147 *sp.* y *Conocarpus erectus*. En la vegetación secundaria: Asteraceae, Solanaceae,
148 Malpighiaceae, *C. peltata*, *Pinus caribaea*.

149 Zona III (137-85 cm, 4483-3038 yr BP): La transición a esta zona está marcado
150 por la recuperación de los elementos de selva (77%) y la reducción de los de manglar (20%).
151 *Ficus sp.* se encuentra bien representado (38%), al igual que el resto de la familia Moraceae
152 (67%). Se presentan elementos de selva mediana como Fabaceae, Boraginaceae, *Sapium sp.*,
153 *B. alicastrum*. La suma de vegetación de humedales y manglar la componen Poaceae,
154 Chenopodiaceae, Combretaceae, *Thrinax radiata*, *Bucida sp.*, *C. erectus* y Arecaceae. En el
155 3483 cal yr BP, la vegetación secundaria aumenta (5%) y se presenta el primer registro de
156 *Zea mays*.

157 Zona IV (85-0 cm, 3038-705 yr BP): La separación de esta zona está definida por
158 la reducción en la vegetación de manglar (10%) y la recuperación de los elementos selváticos
159 (88%). Los elementos de selva presentes son Moraceae, *Ficus sp.*, Fabaceae, Apocynaceae,
160 Myrtaceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae, Bignoniaceae, *Sapium sp.*, *B. alicastrum* y *Pouteria*
161 *sp.* La vegetación de manglar se compone de: Poaceae, Chenopodiaceae, Combretaceae,

162 *Bucida sp.* y *T. radiata*. El porcentaje de vegetación secundaria es bajo (<2%), y se compone
163 de Asteraceae, Solanaceae, Convolvulaceae, *P. caribaea*, *C. peltata*, *Croton sp.*, *Myrica sp.* y
164 *Z. mays*. A partir del 1953 yr BP, la proporción de elementos selváticos se reduce
165 constantemente (hasta 55%), mientras que los de disturbio (4%) aumentan.

166 En el análisis de isótopos estables las 37 muestras abarcaron desde los ~762 a
167 5127 yr BP. *Pyrgophorus sp.* se presentó en la mayor parte del sondeo (~762 a 5127 yr BP) y
168 *Assimineia sp.* se registró de ~1017-4717 yr BP. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de los dos géneros
169 muestran, en términos generales, tendencias similares con diferencias entre sus máximos y
170 mínimos (Fig. 8). Durante el Holoceno medio (~3500 a 5500 yr BP) los valores de
171 *Pyrgophorus sp.* y *Assimineia sp.* tienen promedios de 1.02 y 1.25‰, respectivamente.
172 Durante el Holoceno tardío (~3500 a 762 yr BP) los valores descienden y presenta alta
173 variabilidad: *Pyrgophorus sp.* tiene una media de -0.46 y *Assimineia sp.* de -0.28‰. En
174 cuanto a los valores de $\delta^{13}\text{C}$, se presentan valores menos negativos durante el Holoceno
175 medio, con promedios de -6.58 (*Pyrgophorus sp.*) y -6.52‰ (*Assimineia sp.*). Conforme se
176 aproxima el Holoceno tardío los valores se reducen y arrojan medias de -6.32 y 6.25‰
177 respectivamente.

178 **Discusión**

179 La integración del análisis de polen fósil con el de isótopos estables y las
180 variaciones estratigráficas de los sedimentos de la Laguna Tzib, permite analizar la historia de
181 la vegetación y de las condiciones ambientales del centro de Quintana Roo durante Holoceno
182 medio-tardío (7538-705 yr BP).

183 Holoceno Medio (7538-4483 yr BP)

184 En el 7538 yr BP, el alto porcentaje de *Ficus sp.*, la presencia de Rubiaceae, la
185 baja representación de Fabaceae y Poaceae, indican la presencia de selva baja (Torrescano e
186 Islebe, en prensa). Mientras que las altas y medianas proporciones de Moraceae y Poaceae
187 respectivamente, en conjunto con porcentajes menores de *Ficus sp.*, señala la presencia de
188 selva mediana subperennifolia (Torrescano e Islebe, en prensa). El sitio donde actualmente se
189 encuentra la laguna era de inundación periódica, con una selva baja inundable. Esto se
190 concluye por la ausencia de gasterópodos, y la presencia de sedimento tipo Gleysol
191 (Akal'ches), característico de las selvas bajas inundables (Sánchez e Islebe, 2002).

192 Los altos porcentajes de elementos de selva indica que durante esta etapa del
193 Holoceno medio las condiciones climáticas fueron húmedas, y se intensificaron al
194 aproximarse los 6510 cal yr BP. La alta precipitación favoreció a la proliferación de
195 elementos de selva, dando como resultado mayor diversidad de taxa (Moraceae, Fabaceae y
196 *Ficus sp.*, Rubiaceae, Euphorbiaceae, Anacardiaceae, *Euphorbia sp.* y *Phyllanthus sp.*), lo
197 cual refleja selvas con mayor madurez (Torrescano, 2007).

198 Estas condiciones han sido reportadas en otros sitios tanto en la península de
199 Yucatán, en el Lago Cobá (Leyden et al., 1998), en Chichancanab (Hodell et al., 1995, 2001),
200 Cenote San José Chulchacá (Leyden et al., 1996); como en el centro y Suramérica, Lago
201 Peten-Itza (Islebe et al., 1996), Lago Salpeten (Leyden, 1984, 1987, 2002), Lago Quexil
202 (Leyden et al., 1993) Lago Puerto Arturo (Wahl et al., 2006), Lago Valencia, Venezuela
203 (Curtis et al., 1999).

204 El periodo de alta humedad en la transición al Holoceno medio, está relacionado
205 con el aumento del ciclo anual, provocado por el cambio en la precesión de la tierra (Hodell et
206 al., 1991). En este periodo, el Hemisferio Norte se encontraba inclinado hacia el sol, lo que
207 provocaba que el perihelio coincidiera con el verano en este Hemisferio (Hodell et al., 2000).

208 Dicha coincidencia producía una fuerte insolación durante el verano y por lo tanto gran
209 cantidad de evaporación en la ITCZ, trayendo con esto una mayor precipitación. La ITCZ,
210 influenciada por la orientación de los Hemisferios, alcanzaba una migración más norteña que
211 en la actualidad (Hodell et al., 1991).

212 Del 6260 a 4566 yr BP, la reducción constante de los elementos de selva
213 (principalmente *Ficus* sp.) y el incremento de Poaceae, Chenopodiaceae y Cyperaceae
214 reflejan cambios en las condiciones hidrológicas de la zona. Como resultado de las altas
215 precipitaciones del Holoceno temprano-medio y el aumento en el nivel del mar (Pope et al.,
216 2001); se presentaron inundaciones y como resultado final, el llenado permanente de la laguna
217 hace 5760 yr BP (y coincide con el registro de los primeros gasterópodos).

218 Las curvas de isótopos estables de *Pyrgophorus* sp. y *Assimineia* sp. muestran
219 tendencias similares al compararlas con la curva de la suma de polen de selva mediana (Fig.
220 12). En el 4872 yr BP se presenta el valor más bajo de $\delta^{18}\text{O}$ de *Pyrgophorus* sp. y concuerda
221 con los altos porcentajes de elementos de zonas inundables (Poaceae Chenopodiaceae y
222 Cyperaceae) y la recuperación de los elementos de selva. Mientras que los valores bajos $\delta^{13}\text{C}$
223 reflejan la abundancia de vegetación arbórea. La llegada de *P. caribaea* al registro, sugiere
224 que para 4872 yr BP, la zona ya era una laguna y por ende un espacio abierto que permitía el
225 transporte y deposición de polen alóctono. El mosaico de vegetación en este tiempo se
226 componía de selva mediana, manglar y sabanas.

227 Holoceno medio-tardío (4483-3038 yr BP)

228 La transición al Holoceno tardío está marcada por la recuperación de los
229 elementos de selva principalmente *Ficus* sp. y una ligera reducción de los elementos de
230 humedales. La vegetación estaba compuesta en mayor proporción de selva mediana, existían

231 sabanas y remanentes de manglar. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ que muestra *Pyrgophorus sp.* señalan
232 condiciones de menor precipitación con respecto al Holoceno medio. El aumento en los
233 valores de $\delta^{13}\text{C}$ indica la presencia de elemento de humedales y la disminución en la
234 precipitación. Durante condiciones de menor precipitación las plantas, aun las tipo C3,
235 discriminan en menor proporción las moléculas pesadas de CO_2 , lo que provoca que la
236 concentración de ^{13}C aumente (Uriarte, 2003).

237 En el 3876 yr BP, se registra el inicio de una intensa reducción de la precipitación.
238 Esto coincide con lo reportado en otros sitios del norte de Centroamérica donde se registra
239 vegetación más abierta (Leyden 1987; Islebe et al., 1996; Leyden et al., 1996) y valores
240 isotópicos altos (Covich y Stuvier, 1974; Hodell et al., 1995). En la Laguna Tzib, el valor más
241 alto de $\delta^{18}\text{O}$ de todo el registro (para *Pyrgophorus sp.*) se presenta en el 3483 yr BP y
242 coincide con una de las sequías reportadas en la cuenca de Cariaco (Venezuela) en el 3400 yr
243 BP (Haug et al., 2001) y confirma cambios regionales para el cinturón subtropical

244 Por el contrario en el Hemisferio Sur (en el sur del Amazonia), los elementos de
245 selva muestran expansión durante el Holoceno tardío (Mayle et al., 2000). Haug et al. (2001)
246 señala que dicha discrepancia entre ambos Hemisferios, confirma que los eventos climáticos
247 ocurridos durante el Holoceno estuvieron asociados con la migración de la ITCZ. Durante el
248 Holoceno tardío, la ITCZ se movió más al sur, originando en este Hemisferio, las condiciones
249 de mayor precipitación, mientras que en Hemisferio Norte ocasionó sequías. Esta correlación
250 es la evidencia de la conexión climática a gran escala que existe en la Tierra.

251 En el 3483 yr BP aparece el primer registro de *Z. mays* y el aumento de otros taxa
252 de vegetación secundaria. Los valores altos de $\delta^{13}\text{C}$ reflejan la presencia de herbáceas en la
253 zona (Curtis et al., 1998). Lo que indica tanto condiciones de menor precipitación como el
254 impacto de la cultura maya sobre la vegetación durante el preclásico temprano. En otros sitios

255 de la zona maya el registro del impacto sobre la vegetación aparece más temprano; en el Lago
256 Cobá (Leyden et al., 1998) evidencia aparece en el 1650 B.C. mientras que en Guatemala en
257 el 1700 B.C. (Mueller et al., en prensa).

258 La diferencia entre los registros del impacto sobre la vegetación, probablemente
259 tenga relación con la disponibilidad de agua. Los asentamientos de la cultura maya se
260 desarrollaron densamente a lo largo de los márgenes de los bajos, los cuales se encontraban
261 inundados incluso durante la época de secas (Hansen, 2002). La Laguna Tzib, en un principio
262 constituía una selva baja inundable, posteriormente selva mediana, pero no fue hasta 5760 yr
263 BP que permaneció con agua aun en época de secas como actualmente ocurre. Mientras que
264 los otros cuerpos de agua se llenaron durante el Holoceno temprano: Cobá en el 6400 B.C.
265 (Leyden et al., 1998) y el Cenote San José Chulchacá en el 6200 B.C. (Brenner et al., 2000;
266 Leyden et al., 1996).

267 Holoceno Tardío (3038-677 yr BP):

268 En el 3038 yr BP las proporciones en que los taxa se encuentran indican el
269 dominio de la selva mediana conservada, presencia de sabanas y manglar. Los valores bajos
270 de $\delta^{13}\text{C}$ reflejan el dominio de la vegetación arbórea. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de *Pyrgophorus* sp.
271 y *Assimineia* sp. indican mayor precipitación que en el Holoceno medio y en la transición
272 medio-tardío. Dentro del Holoceno tardío se distingue condiciones de menor precipitación
273 durante clásico que en preclásico.

274 Después de 1953 yr BP (3 AD) los valores de $\delta^{18}\text{O}$ aumentan, y aunque en
275 algunos puntos desciende, estos no alcanzan los presentados durante el preclásico. Estas
276 condiciones también se reflejan en la vegetación y en la curva de $\delta^{13}\text{C}$ de *Assimineia* sp. , la
277 cual muestra una reducción continua de los elementos de selva a partir de esta fecha. Estas

278 diferencias también han sido reportadas por Hodell et al. (2007) en Punta Laguna, por Haug et
279 al. (2003) en Cariaco y por Hodell et al. (1995) en Chichancanab.

280 En el Clásico (253-1190 AD), se presentan múltiples eventos de sequía, la cuales
281 concuerdan (con diferencias de años) con las que han sido reportadas en trabajos anteriores
282 (Curtis et al., 1996, 1998; Haug et al., 2003; Hodell et al., 1995, 2005, 2007). El primer
283 evento de sequía se registra del ~508-593 AD (1442-1357 yr BP), este coincide con el
284 reportado por Hodell et al., (2007) para el 535-550 AD. Durante este tiempo se reduce la
285 familia Moraceae y *Ficus sp.* aumenta, el aumento de este último taxa indica condiciones de
286 humedad pero también disturbio (Torrescano, 2007).

287 De 593-763 AD, las condiciones de relativa humedad prevalecen, este lapso
288 concuerda con el de mayor desarrollo de la cultura maya (600-800 AD). En el 763 AD
289 aproximadamente, se presenta otro evento de sequía, el cual coincide con el reportado por
290 Hodell et al, (2007) entre ~760-770 AD, y por Haug et al. (2003) en el 760 AD, como el
291 primero del Clásico terminal y para la selva lacandona (Domínguez-Vázquez e Islebe, 2008).
292 El aumento en el porcentaje de *P. caribaea* indica vegetación abierta, lo cual permite un
293 transporte fácil y depositarse.

294 Del 763 al 933 AD (1187-1017 yr BP), continúan las condiciones secas, y en el
295 1018 AD (932 yr BP) éstas se vuelven más intensa. La ausencia *B. alicastrum* junto con la
296 presencia de *Z. mays* y *P. caribaea* reflejan el impacto sobre la vegetación (por la sequía y la
297 cultura maya). Esta sequía cae dentro de la reportada por Hodell et al. (2005) en el Lago
298 Chichancanab como la segunda del Clásico terminal (920-1060 AD). Por su parte Haug et al.
299 (2003) señala el último evento de sequía en el 932 AD. El desfase de las fechas en los eventos
300 de sequía entre la península de Yucatán y el Cariaco, muy probablemente se deba a problemas
301 con la determinación en la edad de los sedimentos. Por la naturaleza cárstica de la península

302 de Yucatán, es difícil contar con materia orgánica suficiente para realizar una datación
303 “exacta” debido al efecto de agua dura (Deevey y Stuiver, 1964)

304 La disminución de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ a partir del ~1018 AD (932 yr BP) muestra
305 condiciones de mayor precipitación. Esto concuerda con un ambiente más húmedo reportado
306 por Hodell et al. (2007) en el 1020 AD y Haug et al. (2003) del 1070 a 850 yr BP. Esta fase
307 cae dentro del llamado óptimo de la edad media. La permanencia de *Z. mays* señala que la
308 vegetación seguía siendo impactada por las actividades de cultivo.

309 Esta actividad en el postclásico, registrada en la Laguna Tzib, concuerda con la
310 recuperación de la vegetación arbórea en Coba y por tanto, la reducción de la actividad de la
311 cultura maya en la parte norte de la península de Yucatán (Leyden et al., 1998). Benavides y
312 Zapata (1991) señalan que durante el Clásico terminal los centros importantes de actividad
313 estuvieron en el norte (Cobá y Chichén-Itzá), mientras que en el postclásico la población se
314 extendió en la costa este de Quintana Roo y en las cercanías a Punta Laguna. Esto explica el
315 porqué se presentan elementos de disturbio después del “colapso” de la cultura maya.

316 **Agradecimientos**

317 Se agradece a ECOSUR por la infraestructura y logística proporcionada, a
318 CONACYT por el financiamiento del proyecto Reconstrucciones Paleoclimáticas y
319 Paleoecológicas del Holoceno Tardío de Quintana Roo (No. 46233); así como a Marina
320 Hiraes Cota, Marcela Elizalde Rendón, Blanca Prado Cuellar, Emigdio May Uc y Margarito
321 Tuz Novelo por el apoyo en campo.

322 **Literatura citada**

323 Benavides, C.A. y R. L. P. Zapata. 1991. Punta Laguna: un sitio prehispánico de Quintana
324 Roo. Estudios de la cultura maya 18:23-64.

- 325 Brenner, M., B. W. Leyden, J. H. Curtis, R. M. Medina-González y B. H. Dahlin. 2000. Un
326 registro de 8,000 años del paleoclima del noroeste de Yucatán, México. *Revista de la*
327 *Universidad Autónoma de Yucatán* 15:52-65.
- 328 Coe, M. D. 1993. *The Maya*. Thames and Hudson, New York. 224p.
- 329 Covich, A. y M. Stuiver. 1974. Changes in oxygen 18 as a measure of long-term fluctuating
330 in tropical lake levels and molluscan populations. *Limnology and oceanography* 19(4):682-
331 691.
- 332 Curtis, J. H. y D. A. Hodell. 1996. Climate variability on the Yucatan Peninsula (Mexico)
333 during the past 3500 years, and implications for Maya Cultural Evolution. *Quaternary*
334 *Research* 46: 37-47.
- 335 Curtis, J., M. Brenner, D. A. Hodell, R. A. Balsler, G. Islebe y H. Hooghiemstra. 1998. A
336 multi-proxy study of Holocene environmental change in the Maya Lowlands of Peten,
337 Guatemala. *Journal of Paleolimnology* 19:139-159.
- 338 Curtis, J. H., M. Brenner y D. A. Hodell. 1999. Climate change in the Lake Valencia Basin,
339 Venezuela, ~12600 yr BP to present. *Holocene* 9(5): 609-619.
- 340 Deevey, E. S. Jr. y M. Stuiver. 1964. Distribution of natural isotopes of carbon in Linsley
341 Pond and other New England lakes. *Limnology and Oceanography* 9: 1-11.
- 342 Domínguez-Vázquez, G. y G. A. Islebe. 2008. Protracted drought during the late Holocene in
343 the Lacandon rain forest, Mexico. *Vegetation History and Archaeobotany* 17: 327-333.
- 344 Hansen, R. D., S. Bozarth, J. Jacob, D. Wahl, y T. Schreiner. 2002. Climatic and
345 Environmental Variability in the Rise of Maya Civilization: A preliminary perspective from
346 the northern Petén. *Ancient Mesoamerica* 13:273-295.

- 347 Haug, G. H., K. A. Hughen, D. M. Sigman, L. C. Peterson y U. Röhl. 2001. Southward
348 migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science* 293:1304-
349 1308.
- 350 Haug, G.H., D. Günther, L. C. Peterson, D. M. Sigman, K. A. Hughen y B. Aeschlimann.
351 2003. Climate and the collapse of Maya Civilization. *Science* 299:1731-1735.
- 352 Hodell, D. A., J. H. Curtis, G. A. Jones, A. Higuera-Gundy, M. Brenner, M. W. Binford, y K.
353 T. Dorsey. 1991. Reconstruction of Caribbean climate change over the past 10,500 years.
354 *Nature* 352:790-793.
- 355 Hodell, D. A., J. H. Curtis y M. Brenner. 1995. Possible role of climatic change in the
356 collapse of the Maya civilization. *Nature* 375: 391-394.
- 357 Hodell, D. A., M. Brenner y J. H. Curtis. 2000. Climate change in the northern American
358 tropics and subtropics since the last ice age, implications for environmental and culture. *In*
359 *Imperfect balance, landscape transformations in the precolumbian Americas*, D. L. Lentz
360 (ed.). Columbia University Press. Nueva York. p. 13-38.
- 361 Hodell, D. A., M. Brenner, J. H. Curtis y T. Guilderson. 2001. Solar forcing of drought
362 frequency in the Maya lowlands. *Science* 292: 1367-1369.
- 363 Hodell, D. A., M. Brenner y J. H. Curtis. 2005. Terminal Classic drought in the northern
364 Maya lowlands inferred from multiple sediment cores in Lake Chichancanab (México).
365 *Quaternary Science Reviews* 24: 1413-1427.
- 366 Hodell, D. A., M. Brenner y J. H. Curtis. 2007. Climate and cultural history of the
367 Northeastern Yucatan Peninsula, Quintana Roo, Mexico. *Climatic Change* 83:215-240.

- 368 Hooghiemstra, H. 1984. Vegetational and climate history of the high plain of Bogotá,
369 Colombia: a continuous record of the last 3.5 million years. *Dissertationes Botanicae* 79, J.
370 Cramer: Vaduz.
- 371 Islebe, G.A., H. Hooghiemstra, M. Brenner, J. H. Curtis y D. A. Hodell. 1996. A Holocene
372 vegetation history from lowland Guatemala. *The Holocene* 6(3):265-271.
- 373 Islebe, G. A. y S. O. Sánchez. 2002. History of late Holocene vegetation at Quintana Roo,
374 Caribbean coast of Mexico. *Plant Ecology* 160: 187-192.
- 375 Juggins, S. 2003. C2, A program for analysing and visualising palaeoenvironmental data
376 Version 1.0. University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK ([http://www.](http://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins)
377 [staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins](http://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins))
- 378 Leyden, B. W. 1984. Guatemalan forest synthesis after Pleistocene aridity. *Ecology* 81: 4856-
379 4859.
- 380 Leyden, B. W. 1987. Man and climate on the Maya lowlands. *Quaternary Research*
381 28(3):407-417.
- 382 Lozano-García, Ma. del S. y E. Martínez-Hernández. 1990. Palinología de los Tuxtlas:
383 Especies arbóreas. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México,
384 México, D. F. 62 p.
- 385 Leyden, B. W., M. Brenner, D. A. Hodell y J. H. Curtis. 1993. Late Pleistocene climate in the
386 Central American lowlands. *In* *Climate Change in Continental Isotopic Records*, Geophysical
387 Monograph 78, P. K. Swart, K. C. Lohmann, J. McKenzie y S. Savin (eds.). American
388 Geophysical Union, Washington. p. 65–78.

- 389 Leyden, B., W. M. Brenner, T. Whitmore, J. H. Curtis, D. R. Piperno y B. H. Dahlin. 1996. A
390 record of Long- and Short-Term Climatic Variation from Northwest Yucatán: Cenote San
391 José Chulchacá. *In* The Managed Mosaic: Ancient Maya Agriculture and Resource Use, S. L.
392 Fedick (ed.). University of Utah Press, Salt Lake City. p. 30-50.
- 393 Leyden, B. W., M. Brenner y B. H. Dahlin. 1998. Cultural and climatic history of Cobá, a
394 lowland Maya city in Quintana Roo, Mexico. *Quaternary Research* 49: 111-122.
- 395 Leyden, B. W. 2002. Pollen evidence for climatic variability and cultural disturbance in the
396 Maya Lowlands. *Ancient Mesoamerica* 13:85-101.
- 397 Mayle, F. E., R. Burbridge y T. J. Killeen. 2000. Millennial-scale dynamics of southern
398 Amazonian rain forest. *Science* 2291-2294.
- 399 Mueller, A. D., G. A. Islebe, M. Hillesheim, D. Grzesik, F. Anselmetti, D. Ariztegui, M.
400 Brenner, J. H. Curtis, D. A. Hodell, K. Venz. En prensa. Climate drying and associated forest
401 decline in the lowlands of Northern Guatemala during the late Holocene. *Quaternary Research*
- 402 Palacios-Chávez, R., B. Ludlow-Wiechers y R. Villanueva-Gutiérrez. 1991. Flora
403 palinológica de Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México, Centro de
404 Investigaciones de Quintana Roo. Quintana Roo, México. 321p.
- 405 Pope, K. O., M. E. D. Pohl, J. G. Jones, D. L. Lentz, C. Nagy, F. J. Vega y I. R. Quitmyer.
406 2001. Origin and Environmental Setting of Ancient Agriculture in the Lowlands of
407 Mesoamerica. *Science* 292:1370–1373.
- 408 Roberts, N. 1998. The Holocene. An environmental history. Blackwell Science Publisher.
409 USA. 332p.

- 410 Roubik, D. W. y J. E. Moreno. 1991. Pollen and spores of Barro Colorado Island. Missouri
411 Botanical Garden 36: 1-270.
- 412 Sánchez-Sánchez, O. y G. A. Islebe. 2002. Tropical forest communities in southeastern
413 Mexico. *Plant Ecology* 158: 183-200.
- 414 Stuiver, M., P. J. Reimer y R. W. Reimer. 1986-2006. CALIB 3.0. Programa y
415 documentación en: <http://calib.qub.ac.uk/calib/>
- 416 Takeshi, N., E. Brugiapaglia, G. Digerfeldt, M. Reille, J. L. De Beaulieu y Y. Yasuda. 1998.
417 Dense-media separation as a more efficient pollen extraction method for use with organic
418 sediment/deposit samples: comparison with the conventional method. *Boreas* 27: 15-24.
- 419 Torrescano, V. N. y G. A. Islebe. 2006. Tropical forest and mangrove history from
420 southeastern Mexico: a 5000 yr pollen record and implications for sea level rise. *Vegetation*
421 *History and Archaeobotany* 15:191-195.
- 422 Torrescano, V. N. y G. A. Islebe. en prensa. Modern pollen rain-vegetation relationships of
423 different vegetation types from Yucatan peninsula, Mexico. *Journal of Biogeography*.
- 424 Torrescano, V. N. 2007. Reconstrucción Paleoambiental del Holoceno Medio-Tardío en la
425 parte centro-sur de la península de Yucatán, México. Tesis, El Colegio de la Frontera Sur.
426 Chetumal, México. 94 p.
- 427 Uriarte, C. A. 2003. Historia del clima de la tierra. Servicio Central de Publicaciones del
428 Gobierno Vasco, Álava, España. 306 p.
- 429 Wadsworth, R. y J. Treweek. 1999. Geographical information systems for ecology: an
430 introduction. Longman, Inglaterra. 184p.

431 Wahl, D., R. Byrne, T. Schreiner y R. Hansen. 2006. Holocene vegetation change in the
432 northern Peten and its implications for Maya prehistory. *Quaternary Research* 65:380-389.

433 Whitmore, T. J., M. Brenner, J. Curtis, B. Dahlin y B. Leyden. 1996. Holocene climatic and
434 human influences on lakes of the Yucatan Peninsula, Mexico: An interdisciplinary,
435 paleolimnological approach. *The Holocene* 6:273-287.

436

437 **Cuadros**

438 Cuadro I. Se muestran las edades estimadas a partir de la calibración y modelación, con las
439 cuales se realizó la regresión.

440 Muestra	Origen	Profundidad	Edad	Edad	Área bajo
441		(cm)	(yr BP)	(cal BP)	la curva (2σ)
442 Beta-220777	Torrescano (2007)	45	1770 \pm 40	1596-1817	0.97286
443 Mod- I	Modelación	59	-----	2148-2336	0,99987
444 Mod- II	Modelación	73	-----	2706-2881	0,99988
445 Mod- III	Modelación	86	-----	3216-3430	0,99986
446 Beta-243875	Presente estudio	122	3590 \pm 40	3823-3987	0.92926

447

448

449

450

451

452

453

454

455

- 456 **Figura 1.** Ubicación y perímetro de la Laguna Tzib.
- 457 **Figura 2.** Gráfica que muestra los modelos creados a partir de las edades radiocarbono
458 calibradas. La muestra Beta-22077 corresponde al sondeo realizado por Torrescano (2007) y
459 Beta-243875 al presente estudio.
- 460 **Figura 3.** Regresión de edades ($y=0.0369x- 24.377$ y $R^2= 0,8868$), que incluye tanto las
461 calibradas como las estimadas a partir de los modelos.
- 462 **Figura 4.** Diagrama de polen de la Laguna Tzib. Los contornos punteados representan un
463 aumento del 5% a las curvas de los taxa con porcentajes menores a 5%.
- 464 **Figura 5.** Gráficas que muestran los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ versus edad radiocarbono.
- 465 **Figura 6.** Gráficas que muestran el comportamiento contemporáneo de la curva de polen de
466 selva mediana (—), y las $\delta^{18}\text{O}$ (—) y $\delta^{13}\text{C}$ (—) de los dos géneros de gasterópodos. (A)
467 *Pyrgophorus sp.*, (B) *Assimineia sp.*

Figuras

Figura 1.

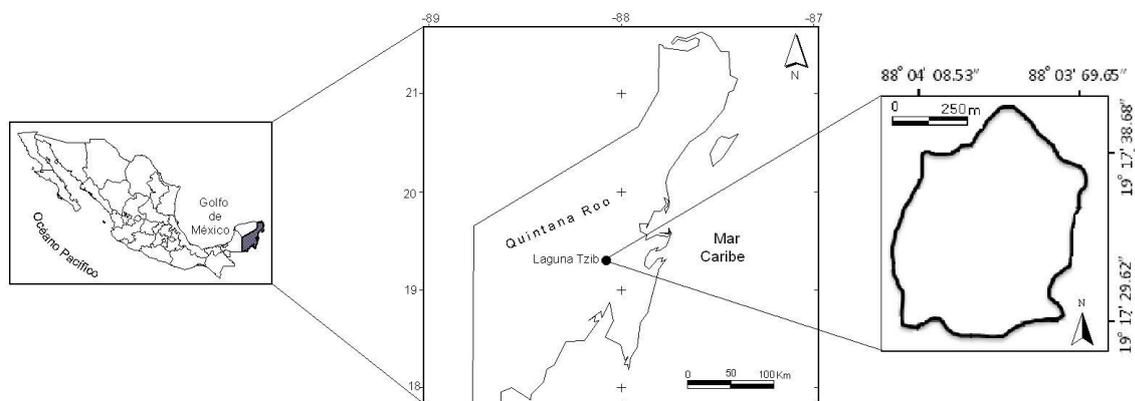


Figura 2.

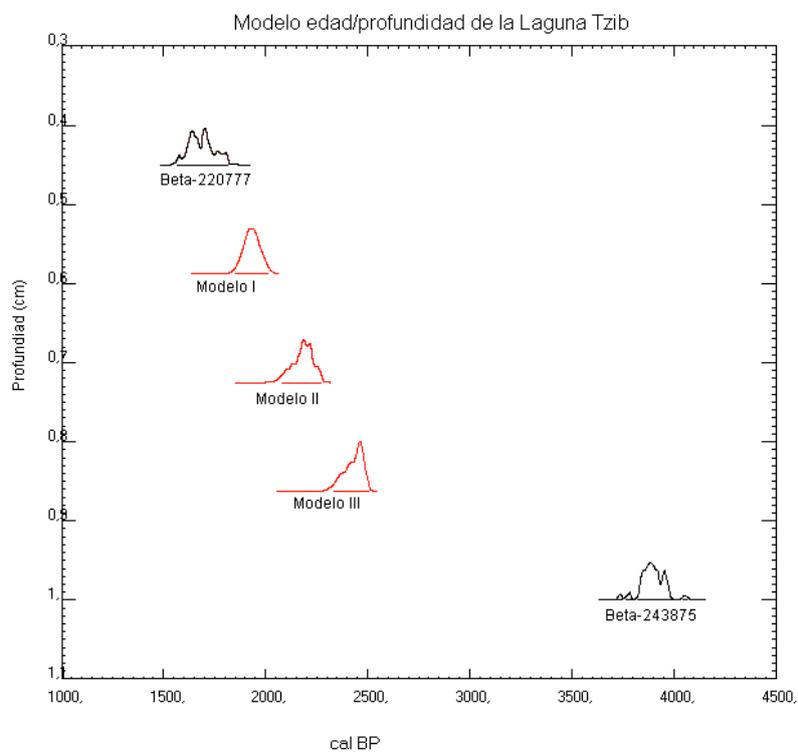


Figura 3.

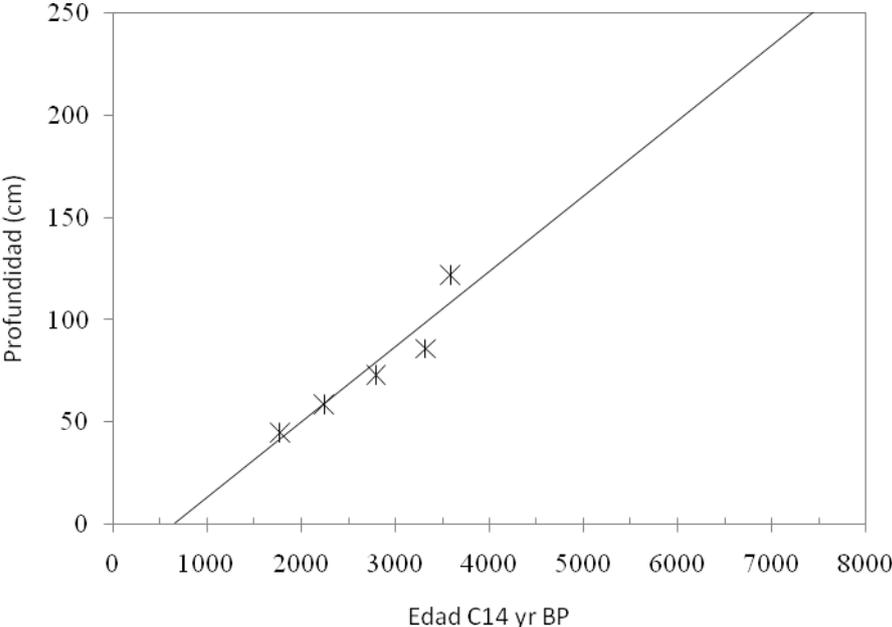


Figura 4.

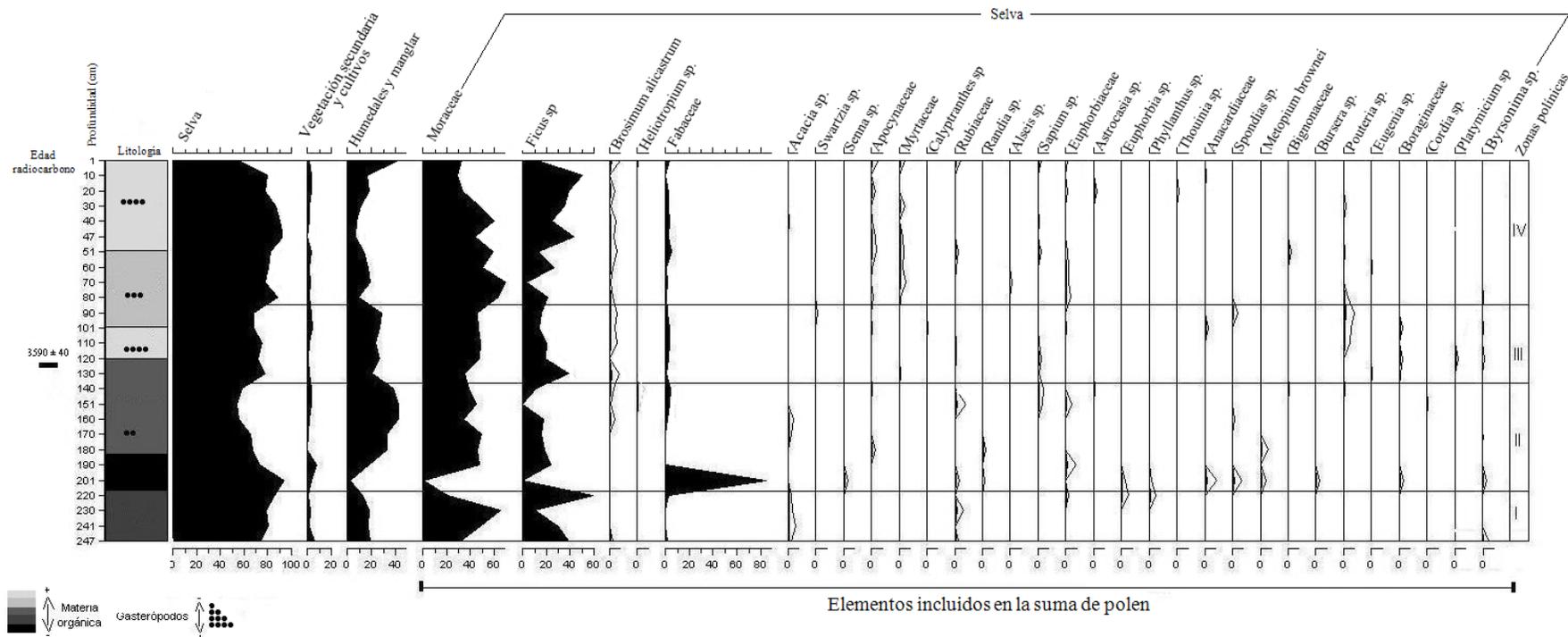
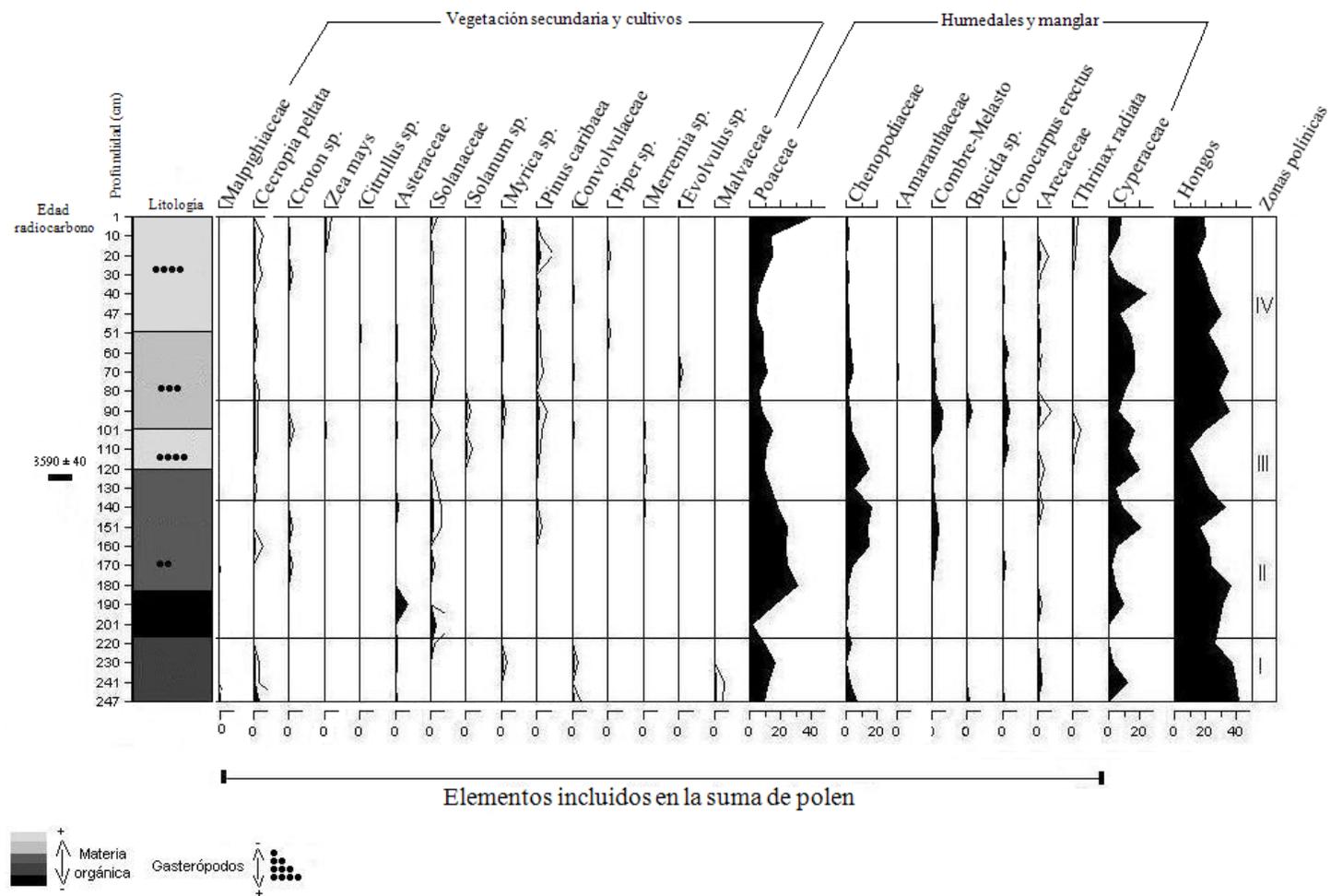


Figura 4.



gura 5.

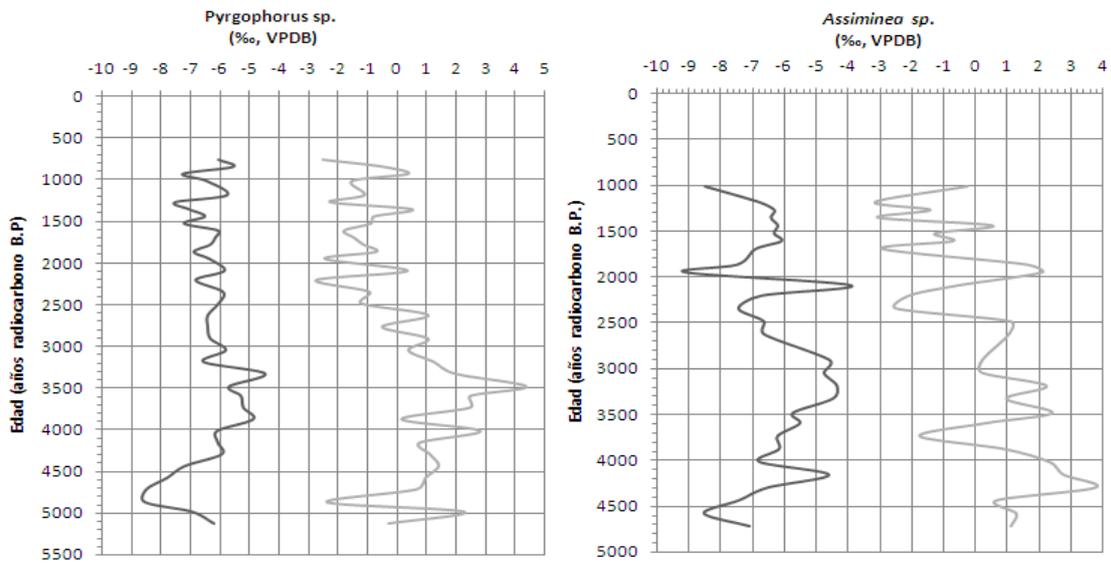
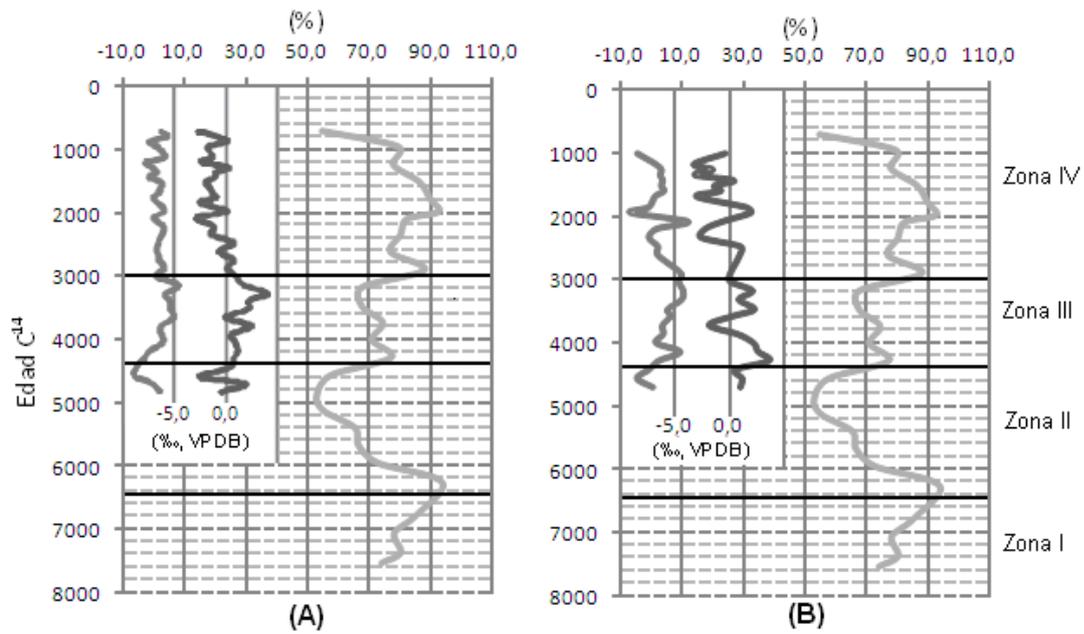


Figura 6.



Instructivo para autores Revista Mexicana de Biodiversidad

Condiciones de aceptación. Los manuscritos se recibirán en el entendido de que todos los autores están de acuerdo con su publicación. Los resultados o ideas contenidas en los trabajos deberán ser originales, es decir, que no habrán sido publicados ni enviados simultáneamente a otra revista para su publicación. Tanto los artículos como las notas serán evaluados, al menos, por 2 árbitros anónimos seleccionados por el editor asociado. La editora responsable, después de haber considerado las revisiones y opiniones de los editores asociados, tomará la decisión final acerca de la publicación de los manuscritos.

Cargos por derecho de página. No existen cargos por derecho de página. Se obsequiará a los autores 50 sobretiros del trabajo publicado.

Proceso editorial. Los trabajos rechazados no podrán reconsiderarse. Cuando el trabajo haya sido aceptado, el manuscrito con los dictámenes de los revisores se enviará a los autores para realizar las modificaciones pertinentes. Si la versión corregida no fuera devuelta en los 6 meses posteriores a la recepción de la revisión, se considerará que el trabajo ha sido retirado para su publicación.

Tipos de publicaciones

Artículos en extenso. Son trabajos originales en español o inglés, sobre sistemática, biogeografía, ecología y/o evolución de taxones americanos.

Listados científicos. Se recibirán listados de especies que incluyan un análisis detallado de la información presentada, siempre y cuando éstos incluyan registros nuevos para la región.

Notas científicas. En este formato se publican trabajos cuya extensión no sobrepase 5 cuartillas, con información concluyente, pero insuficiente para su análisis en extenso; no se aceptarán resultados preliminares. Se considerarán registros nuevos de especies, siempre y cuando se justifique su relevancia ecológica o de impacto como especies invasoras.

Revisiones de libros. Se publicarán reseñas de libros de aparición reciente.

Obituarios. Se publicarán obituarios de biólogos distinguidos.

Instrucciones para los autores

Los manuscritos se enviarán en su versión electrónica como anexos a un mensaje de correo electrónico, o bien, grabados en disco compacto a la oficina editorial:

Instituto de Biología, UNAM, Revista Mexicana de Biodiversidad. Apartado postal 70-153, 04510 México, D.F. Tel. (5255) 56 22 91 67; Fax. (5255) 55 50 01 64.

Correo electrónico: vleon@ibiologia.unam.mx; aarizmen@ibiologia.unam.mx

Antes de someter un manuscrito a la Revista Mexicana de Biodiversidad, el autor deberá cerciorarse de haberlo preparado de acuerdo con las normas editoriales. Para facilitar su seguimiento, deberá cotejarse el manuscrito con esta lista de instrucciones, marcando cada uno de los círculos cuando se haya seguido la instrucción. La lista marcada deberá enviarse junto con el manuscrito y será requisito para que el trabajo sea enviado a revisión.

- Si el manuscrito está escrito en inglés y los autores no son anglo-parlantes, un experto deberá revisar el uso del lenguaje antes de enviarse a la revista.
- El manuscrito deberá acompañarse de una carta de presentación en la que se detalle la relevancia de la investigación y la pertinencia de su publicación en esta revista.
- El manuscrito se enviará en formato Word o RTF; los cuadros deberán incluirse al final del texto y las figuras se enviarán en un archivo separado.
- En esta primera versión del manuscrito, las figuras deberán enviarse en formato JPG o Word, con baja resolución, sólo suficiente para que los revisores puedan evaluarlas.
- El texto deberá escribirse a doble espacio con todos los márgenes de 25 mm como mínimo.
- La letra deberá ser tipo Times New Roman de 12 puntos a lo largo de todo el manuscrito.
- Deberá dejarse una sangría de 2 cm al inicio de cada párrafo.
- Las palabras no irán separadas en sílabas al final del renglón, ni se justificará el margen derecho.
- No se dejará espacio extra entre párrafos.

- Los renglones del texto y cuadros deberán numerarse consecutivamente.

Nombres científicos

- Los nombres científicos se escribirán completos la primera vez que se utilicen en el texto. Subsecuentemente, el nombre genérico se abreviará, excepto cuando aparezca al principio de una oración.
- Los nombres científicos deberán escribirse en cursivas, no subrayados.
- Las autoridades y fechas son indispensables sólo en los trabajos de sistemática. En estos casos, sólo se anotarán la primera vez que se mencione el nombre de la especie en el resumen y en el texto.
- Los manuscritos deberán apegarse al Código Internacional de Nomenclatura.
- Los autores y fechas citados como autoridades de nombres científicos no deberán incluirse en la sección de literatura citada.

Artículos en extenso. Los manuscritos deberán escribirse en el formato que a continuación se detalla:

- Las páginas deberán numerarse consecutivamente, iniciando con la página del título.
- *Cornisa o encabezado de página.* En negritas, al inicio de la primera página, escribir el apellido de los autores (usar et al. para más de 2) y un título corto del trabajo, que no debe exceder de 60 espacios, incluyendo los blancos; por ejemplo, **Gutiérrez et al.- Hirudinidae del Pacífico mexicano.**
- *Título.* A continuación, aparecerá el título del artículo en español al inicio del margen izquierdo y en negritas; en renglón aparte, la versión del título en inglés. Si el manuscrito está en inglés, el título en este idioma aparecerá en primer lugar.
- El título debe ser breve y descriptivo; no contendrá nombres de autoridades ni fechas de los nombres científicos.
- En el título, se escribirán con letra los números menores a 11; para el resto del texto usar símbolos numéricos para toda cifra, excepto al inicio de la oración en donde se escribirá con letra.
- No se aceptarán trabajos numerados presentados como parte de una serie.
- A continuación, se proporcionarán los nombres de los autores, sin negritas, escribiéndolos al inicio del margen izquierdo de un nuevo renglón, indicando con un asterisco el nombre del autor a quien se enviará la correspondencia.
- En seguida y en un nuevo renglón se indicarán las direcciones, incluyendo la dirección electrónica del autor para correspondencia.
- *Resumen.* Debe escribirse un resumen que no exceda de 200 palabras, en idioma español, que contenga objetivo, métodos utilizados, conclusiones e importancia del trabajo.
- Esta sección se iniciará con la palabra “Resumen” al margen izquierdo, con letras negritas y seguida de punto. El texto deberá iniciarse inmediatamente después, en un solo párrafo, sin subdivisiones y sin citas bibliográficas.
- *Palabras clave.* En línea aparte, proporcionar un máximo de 8 palabras clave, que no estén incluidas en el título.
- *Abstract.* Todo manuscrito debe incluir una versión en inglés del resumen, así como de las palabras clave (key words), presentados en la misma forma que en español.
- *Introducción.* El título para esta sección, -así como para las de Materiales y métodos, Resultados, Discusión y Agradecimientos- deberá escribirse en negritas, al inicio del margen izquierdo de la página (sin sangría).
- El texto debe escribirse sin subdivisiones.
- *Materiales y métodos.* Esta sección deberá proporcionar la información suficiente para permitir la repetición del estudio.
- *Resultados.* El texto contendrá información nueva y concisa.
- Los datos que se presenten en cuadros y figuras no deben repetirse en el texto.
- Evítese detallar métodos e interpretar resultados en esta sección.
- En los trabajos taxonómicos, el subtítulo “Resultados” se sustituye por “Descripción”.
- Igualmente sin sangría, se inicia el renglón con el nombre científico del taxón en cursivas, con autoridades, fecha y si es el caso, referencia a figuras.
- En el siguiente renglón, se inicia el texto de la descripción; seguirá a la descripción un “Resumen taxonómico”, que incluye, localidad, número de acceso de la colección donde se han depositado los ejemplares y, en el caso de especies nuevas, etimología.
- En la sección denominada “Comentarios taxonómicos”, que reemplaza la Discusión de otros artículos, se comparan taxones similares o relacionados. Esta secuencia de subsecciones se repite para cada taxón.
- Si en los manuscritos taxonómicos la Descripción no incluye todos los resultados, ésta se incorporará a la sección

normal de Resultados.

- Para el caso de los ejemplares depositados en museos, se requiere indicar los números de acceso para el material tipo y *vouchers*. Para el caso de tejidos congelados depositados en museos así como de secuencias de ADN depositadas en bases de datos, se deberán incluir también los números de acceso.
- Indíquese el número del permiso de colecta de los ejemplares cuando sea pertinente.
- *Discusión*. En esta parte se incluirá una interpretación y una explicación de la relación entre los resultados y los conocimientos previos sobre el tema.
- *Agradecimientos*. Deberán ser concisos. La ética requiere que se consulte previamente a los colegas cuyos nombres se desee incluir en esta sección.
- *Literatura citada*. Se listará alfabéticamente.
- Todas las referencias en el texto deberán aparecer en esta sección y viceversa.
- No se aceptarán citas de estudios o registros no publicados.
- En el texto se citará de la siguiente manera:
(Aguilar, 2000) o Aguilar (2000)
(Aguilar y Camacho, 2001) o Aguilar y Camacho (2001)
(Aguilar et al., 2002) o Aguilar et al. (2002)
(Juárez, 1954; Aguilar, 2000) —en orden cronológico—
(Juárez, 1954; Aguilar, 2000; Méndez, 2000) —cronológico y alfabético en el mismo año—
(Juárez, 1954, 1960, 1960a, 1960b)
- En la sección de Literatura citada, las citas que aparezcan en el texto, se anotarán en orden alfabético según los ejemplos que se dan a continuación:
Artículo en revista:
Brailovsky, H. y A. Camacho. 2003. Especies nuevas de *Nematopus* (Hemiptera: Heteroptera: Coreidae: Nematopodini) centro y sudamericanas. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 74:135-152.
Libro
Felsenstein, J. 2003. Inferring Phylogenies. Sinauer, Sunderland, Massachusetts. 664 p.
Capítulo en libro
Hillis, D. M., B. K. Mable, A. Larson, S. K. Davies y E. A. Zimmer. 1996. Nucleic acids IV: Sequencing and cloning. In Molecular systematics, D. M. Hillis, C. Moritz y B. K. Mable (eds.). Sinauer, Sunderland, Massachusetts. p. 321-383.
Tesis
Paredes, E. L. 2000. Fauna helmintológica de *Rana vaillanti* en la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 69 p.
- Es necesario notar que los títulos de las revistas no se abrevian y que hay espacios entre las iniciales.
- *Llamadas y notas*. No se permite el uso de llamadas con notas a pie de página en el texto. En los cuadros pueden incluirse directamente en el que corresponda.
- *Cuadros*. La inclusión de cuadros deberá limitarse a casos en que los datos no puedan incorporarse adecuadamente en el texto.
- Se incluirán al final del texto (después de la sección de literatura citada), se numerarán consecutivamente y en esa misma secuencia se referirán en el texto.
- El encabezado de cada cuadro se incluirá en la parte superior de éste.
- Se evitarán las líneas horizontales en el cuerpo del cuadro; las líneas verticales no están permitidas, y el diseño se hará de manera que no rebase los márgenes de una sola página. No se aceptarán foto-reducciones.
- *Figuras*. Las figuras deberán numerarse siguiendo la secuencia con la que se mencionan en el texto y se enviarán en un archivo separado en formato JPG o Word con la primera versión del trabajo.
- Se recibirán figuras en blanco y negro; las figuras a color pueden generar un cargo para el autor.
- Todos los pies de figura se agruparán en forma de párrafos, en el orden que están numerados, en la última página del manuscrito. Se iniciará cada párrafo con la palabra “Figura” y el número correspondiente en negritas.
- No es necesario enviar los originales de las figuras la primera vez que se somete a revisión un manuscrito, sin embargo las copias deberán tener la calidad suficiente para que los revisores puedan evaluar la figura. Se requerirán los originales cuando el manuscrito haya sido aceptado para su publicación. Sólo entonces, en su caso, se enviará

la versión electrónica de las figuras en formato TIFF con una resolución de 600dpi si se trata de fotografías, y de 1200dpi si son dibujos, gráficas o mapas.

Notas científicas.

- Al igual que los artículos en extenso, las notas deben incluir cornisa, títulos en español/inglés, nombres de autores y sus datos, un resumen en español y su versión en inglés, así como las palabras clave. Agregar antes de títulos la leyenda Nota científica como renglón aparte.
- El texto deberá escribirse de continuo y sin espacio extra entre párrafos.
- Los agradecimientos se pondrán como último párrafo, sin encabezado.
- La literatura citada, cuadros y figuras deberán seguir el mismo formato que en los artículos en extenso.

Ilustración de portada. Se invita a los autores a enviar fotografías relacionadas con el tema de su manuscrito, para que participen en el proceso de selección de la ilustración que se publicará en la portada del número correspondiente.

Guidelines for authors Revista Mexicana de Biodiversidad

Conditions of acceptance. The manuscripts will be received with the understanding that all authors have approved submission. The results or ideas contained in papers must be original, that is, the work has not been published previously or it has not been submitted simultaneously elsewhere for publication. Either articles or notes are evaluated by at least 2 anonymous reviewers selected by the associate editor. The final decision of publication is made by the editor-in-chief after reviews and opinions of the associate editors are considered.

Page charges. There are no page charges. The authors will receive 50 free-reprints of the published paper.

Editorial process. Rejected manuscripts will not be reconsidered. When papers are accepted for publication, the manuscript and the reviewers' suggestions will be returned to the author in order to carry out the pertinent modifications. If the last version is not received within 6 months, the paper will be considered withdrawn for publication.

Forms of publications

Articles. Original papers, in Spanish or English, about systematics, biogeography, ecology and evolution of taxa from the Americas.

Species lists. Will be received only if they include new records for the region and a detailed analysis of the information.

Research notes. Brief manuscripts not over 5 pages, with definitive information (preliminary results will not be published) that does not lend itself to inclusion in a more comprehensive article. New species records will be considered for publication, whenever their relevance is justified.

Book reviews. Review of books recently published will be considered.

Obituaries. Distinguished biologists obituaries will be accepted.

Guidelines for authors

The manuscripts must be submitted in electronic version on a compact disc or as an attachment in an e-mail message (Word or RTF format) to the Editorial office:

Instituto de Biología, UNAM, Revista Mexicana de Biodiversidad, Apartado postal 70-153, 04510 México, D.F. Tel. (5255) 56 22 91 67; Fax. (5255) 55 50 01 64
e-mail: vleon@ibiologia.unam.mx; aarizmen@ibiologia.unam.mx

Before submitting a manuscript to Revista Mexicana de Biodiversidad, authors must be sure to have followed these guidelines. To facilitate manuscript preparation, manuscript must be revised while checking out each point on this list. Checked out list must be sent together with the manuscript and will be a requisite to start the editorial process.