

Paleoclima y paleoecología

de las tierras bajas del norte de los neotrópicos:
investigación limnológica y extracción de
sedimentos del lago Petén Itzá (Guatemala)

Liseth Pérez,
Gabriela Alfaro,
Margarita Palmieri,
Margaret Dix,
Mayra Maldonado,
Gerald Islebe,
Burkhard Scharf y
Antje Schwalb.

Resumen

La presente investigación limnológica es una contribución al proyecto científico de extracción de sedimentos del lago Petén Itzá (PISDP), proyecto el cual inició operaciones en el 2006. Nuestros objetivos principales son (1) mejorar el uso de los microfósiles como indicadores ambientales y climáticos y (2) utilizar esta información para la interpretación de las comunidades de especies de los núcleos de sedimentos extraídos en el lago Petén Itzá. Este es un acercamiento multidisciplinario (Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Técnica de Braunschweig, ECOSUR-Chetumal, México y demás instituciones asociadas en Francia, Alemania, Suiza y USA) para reconstruir el clima pasado de los Neotrópicos. En la primera fase del proyecto, un total de 18 lagos fueron muestreados durante un primer viaje de campo en Guatemala, Belice y México, durante noviembre y diciembre del 2005 y febrero del

Abstract

The present limnological investigation is a contribution to the Petén Itzá Scientific Drilling Project (PISDP), drilling operations took place in 2006. Our goals are to (1) improve the use of microfossils as environmental and climate change indicators, and (2) use this information for the interpretation of the species assemblages of sediment cores retrieved in Lago Petén Itzá. This is a multidisciplinary approach (Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Técnica de Braunschweig, ECOSUR-Chetumal, Mexico and other cooperation partners in France, Germany, Switzerland and USA) for the reconstruction of the past climate of the Neotropics. In the first part of our project, a total of 18 lakes were sampled during our first field campaign in Guatemala, Belize and Mexico, in the months of November and December of 2005 and February of 2006. In this paper we present results of the lakes we sampled in

2006. En este artículo presentamos los resultados de los lagos muestreados en Izabal y Petén, Guatemala. Se colectaron muestras para el análisis de bioindicadores, que incluyen ostrácodos, diatomeas, quironómidos, cladóceros y polen de sedimento superficial y del litoral de cada lago. En esta ocasión presentamos los resultados de solamente un grupo de bioindicadores, los ostrácodos. Muestras de agua fueron colectadas para la determinación de características limnológicas (temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto) y para el análisis de parámetros geoquímicos (HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , fósforo total, F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , S^{2-} , B^{3+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , y Na^+). Muestras para el análisis de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ fueron analizadas en la Universidad de Florida. Esta información servirá para reconstruir los parámetros ambientales de los sedimentos de los núcleos del lago Petén Itzá que poseen una historia climática de ~ 85,000 años. Un total de 11 especies de ostrácodos fueron identificados en los lagos de Izabal, Laguna Perdida, Petén Itzá, Macanché y Yaxhá, ocho especies de estas fueron encontradas en el lago Petén Itzá: *Cytheridella ilosvayi*, *Cypridopsis okeechobei*, *Physocypria globula*, *Heterocypris punctata*, *Darwinula stevensoni*, *Limnocythere opesta*, *Fabaformiscandona* sp. y *Strandesia intrepida*. Las aguas de los lagos analizadas en Guatemala están dominadas por calcio, magnesio, bicarbonatos y sulfatos. Esta información servirá en un futuro para reconstruir el clima y ecología del lago Petén Itzá.

Izabal and Petén, Guatemala. Samples for the analysis of bioindicators were collected, that includes ostracodes, diatoms, chironomids, cladocerans and pollen from surface sediments and from littorals of each lake. Here we included results of only one group of bioindicators, ostracodes. Water samples were retrieved for a limnological description (temperature, conductivity, pH and dissolved oxygen) and for the analysis of geochemical signatures (HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , total phosphorus, F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , S^{2-} , B^{3+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , and Na^+). $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ stable isotopes in water samples were analyzed in the University of Florida. This information will serve for the reconstruction of environmental parameters in sediment cores of Lago Petén Itzá that contain a climatic history of ~ 85,000 years. A total of 11 ostracodes species were identified in the lakes Izabal, Laguna Perdida, Petén Itzá, Macanché and Yaxhá, eight species were collected in Lago Petén Itzá: *Cytheridella ilosvayi*, *Cypridopsis okeechobei*, *Physocypria globula*, *Heterocypris punctata*, *Darwinula stevensoni*, *Limnocythere opesta*, *Fabaformiscandona* sp. and *Strandesia intrepida*. The lake waters analyzed in Guatemala are dominated by calcium, magnesium, bicarbonates and sulphates. This information will serve in a future for the reconstruction of climate and the ecology of Lago Petén Itzá.

Introducción

Todavía es necesario continuar y aumentar el conocimiento científico sobre los ecosistemas y regiones limnológicas aún inexploradas (1, 2). El desarrollo de la limnología en la Península de Yucatán ha aumentado, han sido publicados por lo menos 100 artículos científicos sobre ambientes acuáticos y marinos, pero los estudios se encuentran dispersos (3-5). El conocimiento actual de las características fisicoquímicas de los cenotes de Yucatán es muy limitado (6).

La Península de Yucatán está ubicada entre los 19°40' a 21°37' N y los 87°30' a 90°26' W, y está rodeada por el Golfo de México y el Mar Caribe (Gráfica 1). Se extiende sobre un área de 39,340 Km² que representa el 2% del territorio mexicano. El clima presenta tres estaciones muy características: una temporada caliente y seca (marzo-mayo), una temporada de invierno con tormentas y ocasionales lluvias cortas (noviembre-febrero) y una temporada lluviosa (junio-octubre). Los vientos son altamente estacionales, siendo más fuertes de noviembre a febrero, mientras condiciones calmadas duran de enero a octubre. La temperatura media anual es de 26.1 °C con un mínimo de 5.0°C y un máximo de 42.5 °C. La precipitación anual varía entre los 760 mm/año y 1198 mm/año en el norte y entre los 1138 mm/año y 1140 mm/año en el sur. La máxima precipitación ocurre en septiembre, con un promedio de 232 mm (7).

Debido a la naturaleza cárstica de la región, no existen ríos en la Península de Yucatán, solamente 12 lagos con un volumen de agua mayor a los 5x10⁵ m³, de los cuales ninguno se encuentran en el norte de Yucatán (3, 8).

La Península es una plataforma calcárea originada del Cenozoico, con una sierra central, cuya altura máxima es de 150 metros (9). La Península obtuvo su presente morfología en el Plioceno tardío (10) y los arrecifes continúan en desarrollo en las costas del Norte y Este (11). Las rocas más antiguas de la región datan del Paleozoico. La Península de Yucatán ha sido influenciada por episodios de regresiones y transgresiones marinas de extensión variable, durante el Cretácico temprano y tardío estuvo completamente sumergida (12, 13). El nivel máximo del mar del interglacial fue de 30 metros más que en el presente (14) y el nivel actual se estableció tan sólo hace 5500 años (11, 15, 16); en el Holoceno temprano el nivel del mar era 100 metros menos que en el presente (16). El litoral perimetral actual de la Península de Yucatán se estableció en el Plioceno-Pleistoceno tardío (10).

La Península de Yucatán recibe un promedio de 172,158x10⁶ m³ de lluvia al año. La precipitación anual aumenta desde el noroeste (500 mm) hacia el sureste (2000 mm)(Gráfica 1). Cerca de un 85% de la precipitación es evapotranspirada. El acuífero de la Península es cárstico caracterizado por una alta permeabilidad y se presentan canales subterráneos y cavernas (cenotes) a lo largo de la Península (17). Los cenotes fueron las únicas fuentes de agua para los antiguos mayas. Las "aguadas", también comunes en Yucatán, son depresiones someras que se llenan de agua durante la estación lluviosa (mayo a octubre), su infiltración es retardada por una capa altamente orgánica y una permeabilidad menor en los suelos (18).

Muchos cenotes en el Norte de la Península están ubicados a lo largo de un semicírculo, conocido como el Anillo de Cenotes, cuyo centro es en Chicxulub (un pueblo en la costa del norte, en el este de Progreso)(19, 20). Se ha propuesto que esta distribución de cenotes está asociada con el Cráter de Impacto Chicxulub (21, 22). Esta zona de cenotes ha mostrado actuar como un río subterráneo (17, 19, 23-25).

El Departamento de Petén, en el norte de Guatemala, cubre aprox. 36,000 km² y constituye parte del área donde se desarrolló la cultura maya en las tierras bajas del sur hace unos 3000 años, y que luego colapsó en el siglo 9 A.D. (26, 27). Después del colapso de los mayas, la población maya persistió en la región hasta que fue finalmente dominada por los conquistadores españoles en 1697 (28).

El lago Petén Itzá está ubicado a 16°55' N, 89°50' W en el departamento de Petén. El área superficial es de 100 Km² y consta con una profundidad máxima de 165 metros. El lago se encuentra a tan sólo 110 m.s.n.m. y se localiza en una región climáticamente sensitiva donde la precipitación es altamente estacional y relacionada con la migración estacional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). El pH del agua es de aprox. 8.0, y presenta una concentración iónica baja (12.22 meq.L⁻¹) dominada por calcio, magnesio, sulfato y bicarbonato, y está saturada de carbonato de calcio. Durante el último período glacial, el volumen del lago se redujo en un 87%, y el agua se encontraba saturada de sulfato cálcico dihidratado. La parte más profunda del lago permaneció sumergida por lo que posee una historia continua lacustre en

sus sedimentos (ciclos glaciares e interglaciares). Este lago ocupa la depresión cárstica más grande, es alimentado por agua subterránea y precipitación, y carece de efluentes superficiales. La estratificación térmica del lago persiste todo el año (29, 30). La precipitación anual en el año 2005 fue de 1665.3 mm y la temperatura media anual de 27.2 °C. Los meses con mayor lluvia en este mismo año fueron de junio a septiembre (INSIVUMEH comunicación personal 2007)(Gráfica 2 A y B).

En los últimos 30 años, el distrito de lagos de Petén ha sido estudiado referente al tema paleoambiental, la mayoría de investigaciones se han enfocado en la reconstrucción paleoecológica del Holoceno, especialmente en el impacto de la civilización Maya sobre el ambiente y la vegetación. Estudios de polen en lagos de Petén han demostrado una reforestación regional luego del colapso de los mayas clásicos que coincide con la disminución de la población indígena como consecuencia de la intrusión europea que empezó en el siglo XVI (31). Este tiempo de regeneración de los bosques indica la importancia de los factores históricos antropogénicos que controlan la vegetación de Petén (32). Estudios previos han indicado que la región presentó un cambio profundo climático y ambiental de un período glacial tardío árido hacia un Holoceno temprano húmedo. Todavía no se han registrado datos paleoclimáticos más allá de los 36,000 años (33).

Existen muy pocas publicaciones acerca de los grupos de microfósiles que son utilizados como herramientas paleoambientales para la reconstrucción de climas pasados. La mayoría de las

investigaciones realizadas sobre los invertebrados acuáticos de los cenotes de Yucatán son referentes al zooplancton y macroinvertebrados (7). Existen pocos estudios sobre polen y diatomeas del Holoceno. Taxa utilizada en la reconstrucción de climas pasados son los ostrácodos, cladóceros, diatomeas, quironómidos, polen, entre otros, debido a que se conservan bien en los sedimentos de los lagos.

Los ostrácodos son crustáceos microscópicos con valvas que poseen baja cantidad de calcita de magnesio y usualmente son de 3 mm de largo. Habitan en varios tipos de hábitats acuáticos como nacimientos, estanques, lagos, ríos, arroyos, estuarios y océanos. Unas especies son de aguas subterráneas y de ambientes semi-terrestres. En los sedimentos lacustres, los ostrácodos son uno de los componentes más útiles para estimar las variaciones del clima pasado. Los ostrácodos extraídos del sedimento proveen la siguiente información sobre el ambiente donde habitan: salinidad, composición del soluto, temperatura (34-45) y cambios del nivel del lago (46-49).

Los registros climáticos en los lagos de los trópicos proveen una excelente fuente para estudiar el cambio climático. Los sedimentos lacustres son uno de los pocos archivos climáticos continentales que se encuentran disponibles en los trópicos y especialmente en América y en África, proveen detalles históricos del cambio climático y ambiental. Muchos de estos registros, son cortos o discontinuos. Recientes avances de plataformas flotantes y tecnología para excavaciones ofrecen ahora a la comunidad paleolimnológica la

oportunidad de obtener registros extensos de sedimentos de los lagos de tierras bajas, como se pudo ver en las exitosas excavaciones de sedimentos en los lagos Bosumtwi y Malawi en África (50, 51).

Los sedimentos de la Península de Yucatán han mostrado un gran potencial de estudio debido a que allí existe una interacción entre el clima, humanos y el ambiente. La primera evidencia en Yucatán de que existe una conexión entre la civilización humana y el clima proviene de un estudio de isótopos estables en ostrácodos y gastrópodos, los cuales demostraron que el colapso de la civilización maya ocurrió durante un intervalo de clima seco (52). Básicamente existen dos técnicas donde se utilizan indicadores biológicos para rastrear eventos climáticos. En una, se usan las firmas de isótopos estables provenientes de microfósiles calcáreos tales como ostrácodos (52, 53) y en la otra, las calibraciones que combinan la taxonomía con la autoecología de las especies indicadoras.

Este proyecto pretende contribuir con el proyecto de extracción de sedimentos del lago Petén Itzá (Guatemala) y con la reconstrucción del paleoclima y paleoecología de la Península de Yucatán, a través de una investigación limnológica de ambientes acuáticos (observación del efecto de las condiciones ambientales actuales sobre las comunidades de ostrácodos). Se presenta un primer registro de la taxa de los ostrácodos para la región, y se describen los cambios en las comunidades de especies a profundidades específicas del lago Petén Itzá, Guatemala.

Materiales y Métodos

• **Trabajo de campo:** un total de 18 lagos fueron muestreados durante el primer viaje de campo en Guatemala, Belice y México ($15^{\circ}26.24'$ y $20^{\circ}39.43'$ N y de $88^{\circ}03.25'$ a $90^{\circ}12.49'$ W) en noviembre-diciembre del 2005 y febrero del 2006 (Gráfica 1). De 18 lagos, 5 fueron muestreados en Guatemala (Lago de Izabal, Laguna Perdida, Lago Petén Itzá, Macanché y Yaxhá). El Cuadro 1 muestra el programa realizado, en orden cronológico, en cada uno de los lagos muestreados. Se tomaron muestras de aguas a diferentes profundidades, sedimentos superficiales y muestras en el litoral y sublitoral. La intensidad del muestreo dependió básicamente del tamaño y ubicación de los lagos. En el Lago Petén Itzá, en el cual el proyecto se enfoca, se realizó un muestreo más intensivo. Un transecto desde el litoral norte hacia el litoral sur a distintas profundidades del lago Petén Itzá (Gráfica 3) fue realizado extrayendo sedimentos superficiales con una draga Ekman para la identificación de la fauna moderna de los microfósiles y la observación del efecto de la profundidad sobre las comunidades de los bioindicadores y sus preferencias de hábitat.

Las muestra de agua fueron colectadas para sus posteriores análisis (Fósforo total, F^{-} , Cl^{-} , Br^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , S^{2-} , B^{3+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , K^{+} , Mg^{2+} y Na^{+}) en los laboratorios en el Instituto de Geología Ambiental, TU-Braunschweig, Alemania. Muestras de agua para la determinación de HCO_3^{-} fueron analizadas directamente en el campo. Esto se realizó por medio de una titulación con HCl (0.1 N) hasta alcanzar un pH de 4.3. Todas las muestras de los sedimentos superficiales sin fijación de los lagos fueron

almacenadas en hieleras a una temperatura de 4 a 10 °C y transportados a Alemania. Las muestras de sedimento superficial y del litoral de cada lago para el análisis de ostrácodos fueron fijadas con etanol al 70 %.

Métodos en laboratorio

• **Muestras de agua:** los aniones (F^{-} , Cl^{-} , NO_2^{-} , Br^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-}) fueron determinados por medio de un cromatógrafo iónico Metrohm, mientras que los cationes (S^{2-} , B^{3+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , K^{+} , Mg^{2+} , Na^{+}) mediante una espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Los isótopos estables de oxígeno y carbono fueron analizados en la Universidad de Florida.

• **Muestras de sedimento superficial:** el color de los sedimentos fue descrito utilizando una patrón de colores *Rock Color Chart* de la Sociedad Geológica Americana. A todas las muestras de sedimento de los lagos se les determinó el contenido de agua, calentando las muestras a 105°C. Para conocer la composición de los sedimentos en algunos lagos (calcita, dolomita, etc.) se utilizó difracción de rayos X. Las muestras fueron calentadas a 550 °C y 880 °C para el cálculo de porcentaje de materia orgánica y carbono inorgánico por medio del método de Pérdida por Ignición (PPI). El carbono inorgánico total (CIT) y orgánico total (COT) fueron determinados en la Freie Universität, Berlin, Alemania.

• **Identificación de Microfósiles (ostrácodos):** todas las muestras para el estudio de los ostrácodos (sedimento superficial en

el sitio más profundo y litoral de cada lago y del transecto del Lago Petén Itzá) fueron cernidas con agua destilada con las siguientes fracciones: 630 μm , 250 μm y 125 μm para facilitar la separación de los ostrácodos del sedimento y vegetación. Los ostrácodos fueron separados de las muestras utilizando pinceles para luego disectarlos con pinzas entomológicas y estereoscopios para realizar preparaciones permanentes con *Hydro-Matrix*. Las preparaciones se analizaron con un microscopio de luz para identificar las especies mediante la observación de los apéndices, aparatos copulatorios, entre otros. Se tomaron fotos con una cámara Leica integrada al microscopio de todos los apéndices y demás características especiales para la identificación de las especies de ostrácodos. Las valvas de los ostrácodos se separaron de los sedimentos con pinceles y agua destilada y se almacenaron en slides para microfósiles *Celka*.

- **Extracción de sedimentos Petén Itzá:** las perforaciones en el Lago Petén Itzá se realizaron en febrero y marzo del 2006 por DOSECC (*Drilling, Observation and Sampling of the Earth's Continental Crust*) utilizando la plataforma global para excavaciones *GLAD 800*. Seis sitios primarios y un sitio secundario fueron excavados en el lago con un promedio de recuperación de 93.4 %. El primer sitio siendo analizado es el PI-6 (Gráfica 3). Un total de 1327 m de sedimento fueron extraídos y el sitio más profundo (PI-7) alcanzó 133 m de sedimento por debajo del fondo del lago. Los núcleos recuperados fueron almacenados en contenedores bajo refrigeración y fueron transportados a los laboratorios de *LacCore* (National Lacustrine Core Repository) en la

Universidad de Minnesota (USA), donde las primeras descripciones de los núcleos están siendo llevadas a cabo. Toda la información recolectada en la plataforma de excavación y en los laboratorios de campo fue introducida en la base de datos *DIS* (*ICDP Drilling Information System*), donde se adjuntaron fotos y reportes de cada día de trabajo y las cuales están disponibles en línea (<http://peten-itza.icdp-online.org>)(32).

Resultados

Análisis del agua y sedimentos superficiales: el Cuadro 2 resume los parámetros limnológicos medidos y las observaciones realizadas directamente en el campo en 5 lagos de Guatemala de un total de 18 lagos muestreados en la Península de Yucatán. El lago más profundo en toda la Península de Yucatán fue el Petén Itzá con una profundidad máxima de 165 m. El muestreo incluyó lagos desde los 20 a los 200 m.s.n.m. Laguna Perdida fue el cuerpo de agua más somero (4 m de profundidad), con la menor transparencia (0.65 m), y la mayor concentración de oxígeno (9.8 mgL^{-1}). El lago Petén Itzá mostró la transparencia más alta en los lagos estudiados (7.5 m). Las temperaturas superficiales del agua en los lagos muestreados fueron entre 26.4 °C a 29 °C. La mayor conductividad se observó en Macanché (850 μScm^{-1}). Se observó que la conductividad en las aguas de los lagos aumenta de sur a norte en la Península de Yucatán correlacionándose con el gradiente de precipitación en la región (sur más húmedo y norte más seco). El impacto antropogénico observado en los lagos fue bajo a moderado-alto. El pH reportado en los lagos fue ligeramente básico, entre 8 a 8.8.

Las aguas de los lagos en Izabal y Petén son dominadas por HCO_3^- y sulfatos. Los cationes principales son magnesio y calcio (Cuadro 3). Los valores de los isótopos en las aguas fueron de -3.83 a 4.35 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$, y de -10.61 a -1.27 ‰ para $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$. El lago de Izabal presentó los valores más negativos de $\delta^{18}\text{O}$, mientras que Laguna Perdida mostró los valores más altos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (Gráfica 4). Los sedimentos lacustres estudiados son muy similares en su composición y coloración (Cuadro 4). Los sedimentos altos en materia orgánica fueron Laguna Perdida y Macanché. El lago de Izabal fue el lago con menor materia orgánica en sus sedimentos. Macanché presentó alto contenido de carbono inorgánico.

• **Indicadores paleambientales: Ostrácodos:** se han identificado 9 géneros de ostrácodos en las muestras de los lagos de Guatemala: *Cypridopsis*, *Cytheridella*, *Darwinula*, *Fabaeformiscandona*, *Heterocypris*, *Limnocythere*, *Physocypris*, *Stenocypris* y *Strandesia*. Especies bénticas son: *Darwinula stevensoni*, *Limnocythere opesta*, *Cytheridella ilosvayi*, *Fabaeformiscandona* sp. y nécticas: *Physocypris globula*, *Stenocypris malcolmsoni*, *Cypridopsis okeechobei*, *Strandesia intrepida* y *Heterocypris punctata* (Gráfica 5).

Especies encontradas en sedimentos superficiales en el Lago Petén Itzá son: *Darwinula stevensoni*, *Limnocythere opesta*, *Cytheridella ilosvayi*, *Fabaeformiscandona* sp, *Physocypris globula*, *Cypridopsis okeechobei*, *Strandesia intrepida*. y *Heterocypris punctata*. El transecto de sedimentos superficiales (entre los 0.5 a 160 m de profundidad) reveló que los ostrácodos eran abundantes y diversos hasta una profundidad entre los 30 y 40 m.

Especies encontradas solamente en litorales (bajas profundidades) fueron *Heterocypris punctata* y *Strandesia intrepida*. Estas dos especies son muy importantes debido a que de ser encontradas en los núcleos largos en el lago Petén Itzá, se podrá concluir que en la edad que data el sedimento, el nivel del agua era bajo y era un ambiente poco somero. *P. globula* se encontró se encontró también en profundidades mayores a los 40 m.

• **Proyecto paleoambiental Petén Itzá:** se extrajo un total de 70 m de sedimentos en el sitio PI-6 (a una profundidad de 71 m)(Gráfica 3). La edad máxima de los sedimentos fue estimada en 85,000 años. Las litologías y propiedades físicas mostraron en los sedimentos fases secas (yeso/carbonatos) alternándose con fases húmedas (arcilla/diatomeas) a escalas variables. Se observó en este sitio que el último máximo glaciar (LGM) fue húmedo y no seco como se había postulado para la región. Análisis preliminares sobre el polen de los núcleos de sedimento extraídos del sitio PI-6 fueron realizados por Mark Bush (Universidad de Florida). El polen mostró la siguiente taxa en los sedimentos del sitio 6: *Quercus*, *Pinus*, *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Myrica*, *Melastomataceae*, *Begonia*, entre otros (Anselmetti y Hodell comunicación personal 2007).

Discusión de Resultados

Las características fisicoquímicas de los lagos estudiados en Guatemala y resto de la Península de Yucatán muestran que la química del agua se ve afectada por el clima, la intrusión salina de los lagos cercanos al mar, y la geología. Las aguas de algunos lagos en el Petén son caracterizados por altos contenidos de

sulfatos, causado por la presencia de CaSO_4 . Los lagos que mostraron valores altos de $\delta^{18}\text{O}$ (Petén Itzá, Macanché y Yaxhá), es explicado por el enriquecimiento de ^{18}O por medio de la evaporación. Debido a que son cuerpos de agua “cerrados” la evaporación supera a la precipitación. Las bajas concentraciones de ^{18}O en los lagos son características de regiones con una alta humedad efectiva (precipitación > evaporación), como fue el caso de los lagos del sur (Lago de Izabal), donde la precipitación es mayor que en el norte. El lago de Izabal presentó la mayor precipitación anual entre los lagos estudiados y también es alimentado por el Río Polochic que contiene valores isotópicos de oxígeno negativos. En Laguna Perdida se observaron los valores más altos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, así como también una profundidad Secchi baja y altas concentraciones de oxígeno, lo cual es muy típico de un lago altamente productivo, lo cual enriquece el ^{13}C en las aguas. El lago menos productivo fue el lago de Izabal. En Macanché se registró la menor concentración de oxígeno disuelto. Durante los muestreos realizados en este cuerpo de agua, se observó una alta cantidad de peces muertos en el lago, lo cual puede ser explicado por la ausencia de oxígeno en el agua. Para un mejor entendimiento de las dinámicas de los lagos (termoclina estable, por ejemplo), es necesario un monitoreo continuo durante todo el año.

La alta diversidad de ostrácodos y otros microfósiles encontrada en los lagos de Guatemala y de Yucatán demuestran el alto potencial de estos indicadores para la reconstrucción de la paleoecología y de los paleoclimas de la región. La mayoría de lagos muestreados presentaron la misma composición de

especies de ostrácodos. Las especies de ostrácodos son las mismas especies distribuidas en Florida y el Caribe. También existen especies cosmopolitas distribuidas hasta Suramérica.

Se encontró una relación directa entre la distribución y diversidad de ostrácodos con la posición del termoclina en el Lago Petén Itzá, así como con la disminución en la concentración de oxígeno disuelto. A temperaturas menores de los $26\text{ }^\circ\text{C}$ y concentraciones de oxígeno disuelto menores de los 4 mgL^{-1} , los ostrácodos parecen no reproducirse y desarrollarse normalmente. A profundidades mayores a los 40 m, se encontraron pocos caparazones de ostrácodos bénticos, y los pocos encontrados fueron de especies nécticas (*P. globula*), cuyas valvas son más ligeras y son transportadas a las profundidades del lago con más facilidad. Dos de las especies encontradas en el lago Petén Itzá con hábitats muy específicos fueron *Strandesia intrepida* y *Heterocypris punctata*. Las especies habitan únicamente a profundidades bajas, en los litorales y donde existe vegetación acuática. La reconstrucción de parámetros en los sedimentos se facilita al encontrar este tipo de especies, debido a que su presencia es un indicador de niveles bajos del lago, lo cual se ve reflejado también en la geoquímica de los sedimentos. La química del agua afecta la presencia o ausencia de los ostrácodos, debido a que éstos cangrejos microscópicos son muy sensibles a cambios en el ambiente. Los ostrácodos son abundantes en aguas con altos contenidos de calcio, magnesio y pH no tan ácidos. Aguas con un pH ácido, disuelven las valvas de carbonato de calcio.

El sitio PI-6 (Gráfica 3) posee en sus sedimentos una capa de ceniza, la cual data de unos 84,000 años, cuando ocurrió la gran erupción de “Los Chocoyos” en la caldera Atitlán. Los análisis realizados en los sedimentos demuestran que el último máximo glacial fue húmedo y no seco, probablemente causado por el aumento en la precipitación en invierno (54). Las comunidades de los bioindicadores en el núcleo PI-6 proveerán información sobre la historia del Lago Petén Itzá y su respuesta de cómo ha cambiado el clima en los Neotrópicos a través del tiempo.

Para realizar una función de transferencia con ostrácodos, diatomeas y quironómidos para reconstruir parámetros (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto) de los núcleos de sedimento del lago Petén Itzá es necesario un mínimo de cuerpos de agua en la Península de Yucatán. En este caso luego de un segundo viaje de campo (planificado en el 2008) se contará con un mínimo de 40 lagos. Es muy importante realizar un estudio utilizando varios microfósiles para la reconstrucción de paleoclimas en un acercamiento multidisciplinario, esto para garantizar un registro continuo. Por ejemplo, pueden haber secciones en los sedimentos donde las diatomeas no se encuentran presentes, mientras que los ostrácodos o quironómidos son abundantes, y viceversa. Es necesario realizar estudios en diferentes épocas del año para poder comprender mejor la ecología de las especies, épocas reproductivas, etc.

Los resultados preliminares del proyecto demuestran el alto potencial que los lagos en Guatemala poseen para sitios de estudios, ya sean investigaciones

modernas o paleolimnológicas. Al finalizar el proyecto (~ 2010) se tendrá el primer listado de las especies modernas y fósiles (en el lago Petén Itzá) de ostrácodos, quironómidos, diatomeas y cladóceros en la Península, lo cual será un gran aporte a estudios futuros más específicos como poblacionales y biogeográficos. El proyecto paleoambiental Petén Itzá decifrará la historia del ciclo hidrológico de los Neotrópicos del Norte, su relación con los cambios en la posición de la Zona de Convergencia Intertropical, y la comparación y posible conexión de las variabilidades climáticas con otras regiones, como la “Fosa de Cariaco”, Venezuela.

Agradecimientos

Deseamos agradecer todo el apoyo recibido de las siguientes personas e instituciones en nuestro viaje de campo y realización de análisis: Universidad del Valle de Guatemala (UVG): Rector Lic. Roberto Moreno; Sra. Leonor de Tott, Dr. Michael Dix, y a los estudiantes que nos asistieron en los viajes de campo: Melissa Orozco, Silja Ramirez y Jacobo Blijdenstein. Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP): Reina Barrios, Ing. Roderico Pineda, Lic. Hiram Ordóñez, José Luis López y Franklin Herrera. Schenker Guatemala: Mario Cruz. University of Belize: Dr. Aaron Lewis. Forestry and Fisheries Departments of Belize: Lisandro Quiróz, Marcelo Windsor y Beverly Wade. Secretaría de Relaciones Exteriores en México (SRE): Lic. Daniel González. CONAPESCA: Lic. Arturo Peralta.

ECOSUR Chetumal: Dr. Alberto de Jesús Navarrete. Universidad de Florida: Drs. Dave Hodell, Mark Brenner, Jason Curtis y M.Sc. Dustin Grzesik. Universidad Münster, Alemania: Evgenia Vinogradova y Wolfgang Riss. Freie Universität Berlin, Alemania: Philipp Hoelzmann, Zoologisches Institut und Zoologisches Museum, Hamburg, Alemania: Dietmar Keyser Universidad Técnica de Braunschweig, Alemania: Philip Steeb, Denise Samol, Julia Lorenschat, Andrea Cepeda, Malte Lorenz, Claudia Kraft, René von der Heyde, Malte Lorenz y Rita Bugja. El equipo científico del proyecto paleoambiental Petén Itzá: F. Anselmetti, D. Ariztegui, J. Blijdenstein,

M. Brenner, C. Bronnimann, K. Brady, M. Bush, E. Chapron, J. Curtis, E. Endsley, J. Escobar, C. Gallup, V. Gamble, A. Gilli, S. Girardclos, D. Grzesik, D. Hodell, R. Hofmann, A. Mueller, A. Noren, and F. Thevenon. Otros: Javier y Carolina de Pérez, Dr. Alejandro Arrivillaga, Rosita Kuhn y el personal de La Casa de Don David, el personal del hotel Karilinda en Mariscos, Izabal, Lico Godoy, Abner de la Universidad de San Carlos de Guatemala, nuestro agente aduanero en Guatemala, Luis Toruño, David Klassen en Almond Hill Lagoon, José en la Laguna Bacalar y Raúl Calderón.

Cuadro 1

Programa de muestreo en los lagos de Guatemala, Península de Yucatán y tipos de análisis realizados en el laboratorio

Sitio del lago	Método	Parámetros determinados en el campo	Tipo de muestra	Análisis realizados en laboratorio
Transecto desde el litoral hasta la zona pelágica, sobre el sitio más profundo del lago	Ecosonda	Perfil de profundidad		
	Descripciones visuales del sitio, foto documentación	Evaluación de los impactos antropogénicos en la orilla del lago		
Punto más profundo sobre el lago	GPS	Posición Geográfica	Muestras de agua de diferentes profundidades	Fósforo total, F ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , S ²⁻ , B ³⁺ , Ba ²⁺ , Sr ²⁺ , Ca ²⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , isótopos de oxígeno y carbono
	Sensor de temperature NTC	Perfil vertical de la temperatura del agua		
	Disco Secchi	Transparencia del agua		
	Botella Ruttner y multisonda WTW	Concentración de oxígeno disuelto, pH, conductividad, salinidad y temperatura	Sedimento superficial	Ostrácodos
Sublitoral (solamente en lagos grandes)	Draga Eckman	Descripción del color, olor y consistencia del sedimento	Sedimento superficial	Valvas de ostrácodos
	Botella Ruttner		Muestras de agua	Fósforo total, F ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , S ²⁻ , B ³⁺ , Ba ²⁺ , Sr ²⁺ , Ca ²⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , isótopos de oxígeno y carbono
Litoral con el menor impacto humano	GPS	Posición geográfica		
	Descripciones visuales del sitio, foto documentación	Vegetación y características físicas		
	Red de mano Thienemann, 250 µm luz de malla		Sedimento del fondo entre plantas acuáticas	Ostrácodos

Cuadro 2

Caracterización limnológica de los lagos estudiados en Guatemala

ID	Lago	Altitud (m.s.n.m)	Prof. max (m)	Coordenadas	Prof. Secchia (m)	Temp. (°C)	Conductividad (μScm^{-1})	pH	Oxígeno disuelto (mgL ⁻¹)	Impacto antropogénico*
1	Izabal	20	14	15°27.379' 089°06.566'	2.6	26.4	216	8.3	7.6	Moderado
2	Petén Itzá	120	165	17°00.365' 089°51.165'	7.5	27.6	533	8.5	8.9	Moderado
3	Laguna Perdida	100	4	17°04.158' 090°12.486'	0.65	28.7	232	8.8	9.8	Moderado
4	Macanché	180	54	16°58.286' 089°37.926'	2	26.8	850	8	4.95	Moderado-Alto
5	Yaxhá	200	25.2	17°04.416' 089°24.732'	1.75	29	232	8.7	7.34	Bajo

*Transparencia del agua, profundidad a la cual el disco Secchi todavía se observa sumergido en el agua

*Bajo (sin poblados cercanos al lago, normalmente área protegida, casi sin impacto humano); Moderado (Algunos poblados cercanos, existe algún tipo de protección de los recursos naturales); Alto (Poblados subsisten de los recursos del lago, el impacto humano es muy alto).

Cuadro 3

Análisis químico de las aguas del Lago de Izabal, Laguna Perdida, Petén Itzá, Macanché y Yaxhá, Guatemala

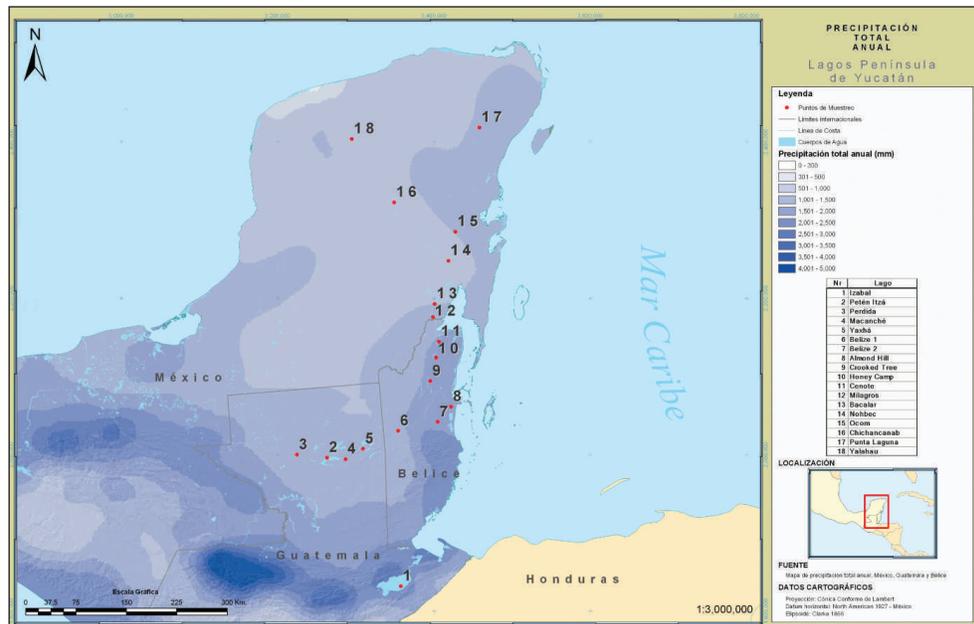
ID	Lago	Fósforo Total (mgL ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mgL ⁻¹)	F (mgL ⁻¹)	Cl ⁻ (mgL ⁻¹)	Br ⁻ (mgL ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mgL ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mgL ⁻¹)	S ²⁻ (ppm)	Ba ²⁺ (ppm)	Sr ²⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)
1	Izabal	0.018	119.56	0.04	6.58	0.02	<0.02	8.42	2.94	0.03	0.13	25.92	1.87	7.29	7.47
2	Petén Itzá	0.009	115.3	0.19	13.09	0.06	<0.02	158.21	54.38	0.05	0.79	57.18	5.07	18.49	11.84
3	Laguna Perdida	0.031	131.2	0.11	4.25	0.01	0.86	15.15	5.41	<0.005	0.13	43.40	3.84	2.17	2.70
4	Macanché	0.016	286.7	0.34	41.76	0.18	0.21	241.77	79.11	0.08	1.01	44.46	5.17	71.26	21.77
5	Yaxhá	0.011	128.1	0.07	13.75	0.06	<0.02	7.42	3.05	0.06	0.06	23.34	3.65	4.64	9.79

Cuadro 4

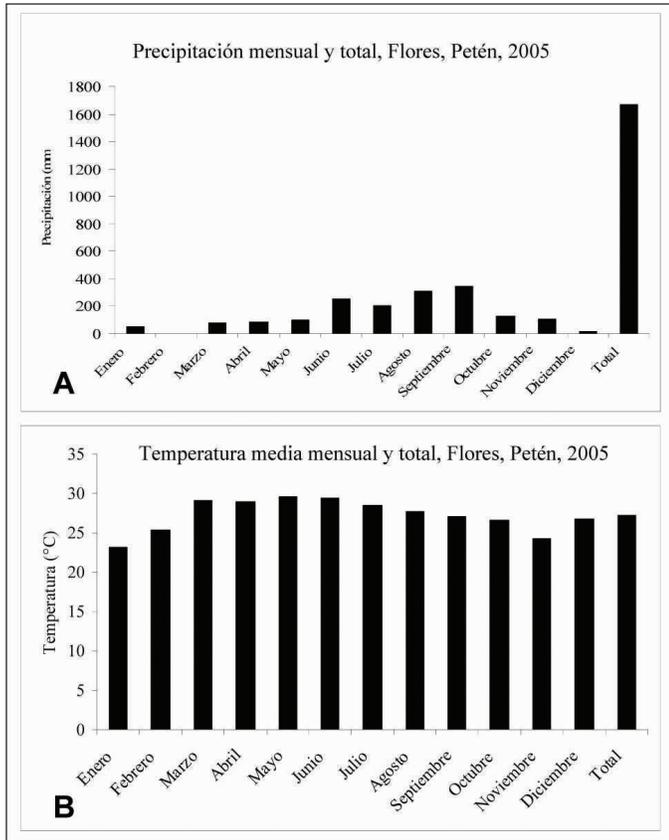
Análisis realizados en los sedimentos superficiales en el punto más profundo de cinco lagos de Guatemala

ID	Lago	Descripción	Composición (dif. rayos X)	Contenido de agua (%)	CT ^a (%)	COT ^b (%)	CIT ^c (%)	PPI 550°C ^d (%)	PPI 880°C ^e (%)
1	Izabal	Color: Café amarillento pálido Olor: H ₂ S Otros: Conchas de gastrópodos y bivalvos	Cuarzo, muscovita, feldespato, illita, montmorillonita y caolinita	85.7	4	3.46	0.54	15.08	18.23
2	Petén Itzá	Color: Café amarillento nublado Olor: H ₂ S Otros: Pocas conchas de gastrópodos	Calcita, dolomita, cuarzo y montmorillonita	83.9	12.80	10.21	2.59	28.36	8.66
3	Laguna Perdida	Color: Gris olivo Olor: H ₂ S Otros: Hojas de árboles, espinas de peces	---	91.4	17.80	17.69	0.11	39.85	2.93
4	Macanché	Color: Gris olivo Olor: H ₂ S Otros: Alto contenido de material orgánica	---	95.7	21.95	15.825	6.04	29.51	19.57
5	Yaxhá	Color: Gris olivo claro Olor: H ₂ S	---	81.4	7.10	6.75	0.35	23.38	4.11

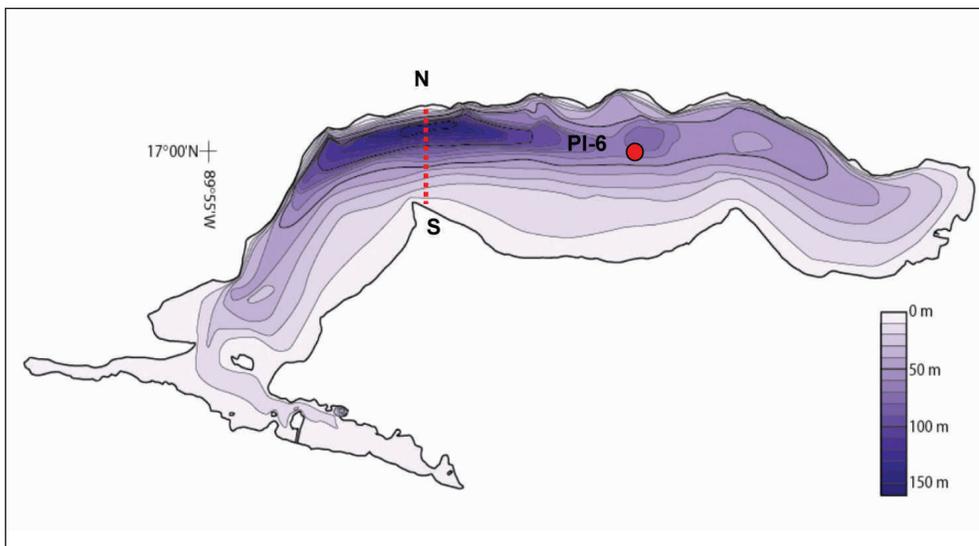
^aCT: Carbono Total
^bCOT: Carbono Orgánico Total
^cCIT: Carbono Inorgánico Total
^dPPI 550°C: Pérdida por Ignición a 550°C
^ePPI 880°C: Pérdida por Ignición a 880°C



Gráfica 1. Lagos muestreados en la Península de Yucatán (1-5: lagos muestreados en Guatemala); 1) Izabal; 2) Petén Itzá; 3) Laguna Perdida; 4) Macanché; 5) Yaxhá; 6) Belize 1; 7) Belize 2; 8) Almond Hill; 9) Crooked Tree Lagoon; 10) Honey Camp Lagoon; 11) Cenote; 12) Milagros; 13) Bacalar; 14) Nohbec; 15) Ocom; 16) Chichancanab; 17) Punta Laguna; 18) Yalahau

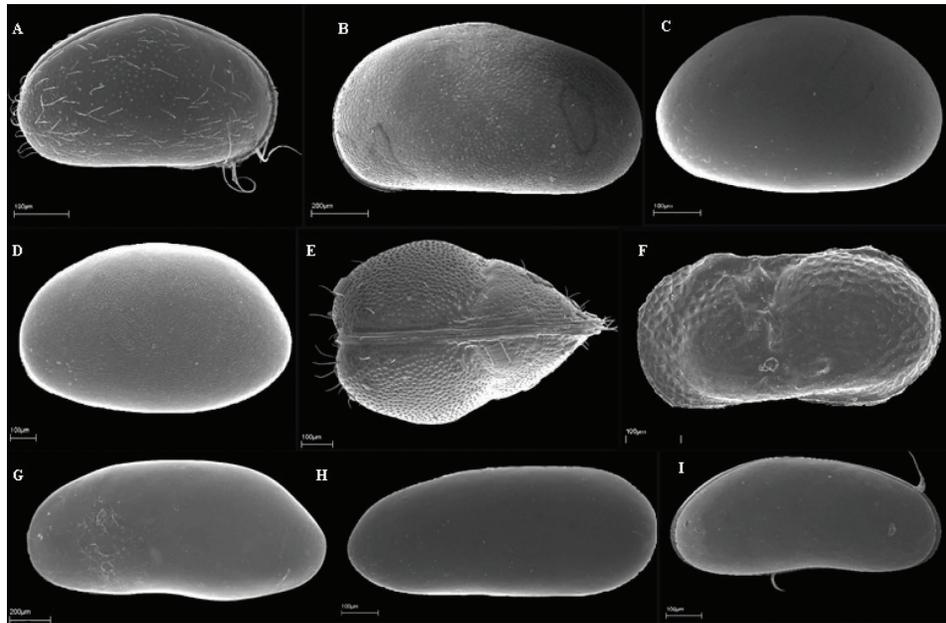
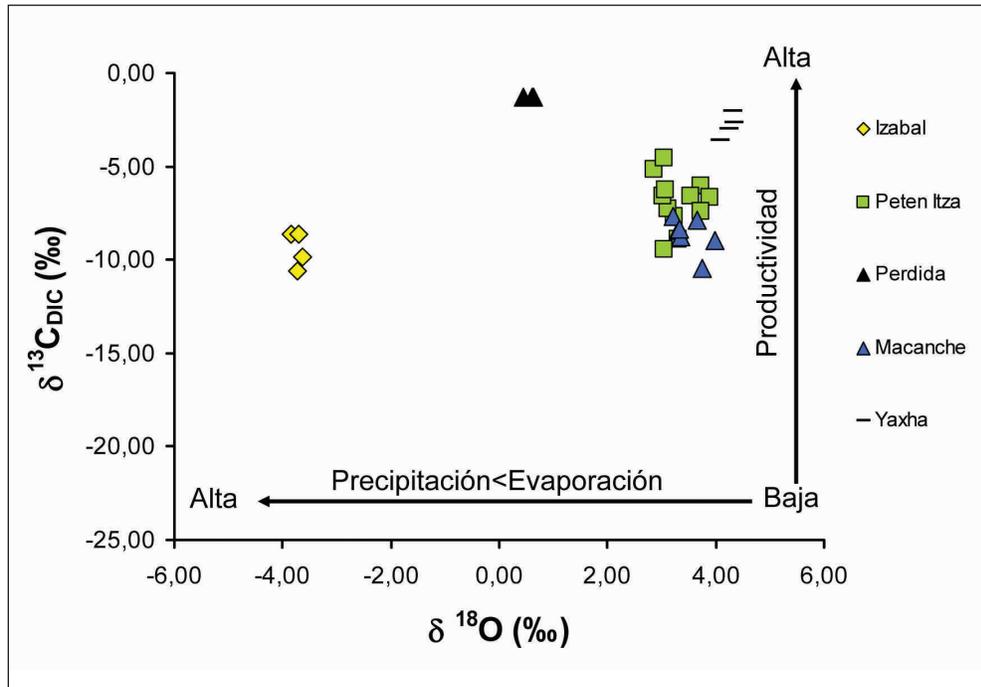


Gráfica 2. A. Precipitación mensual y total; B. Temperatura mensual y total media, reportada en Flores, Petén en el 2005 (INSIVUMEH comunicación personal 2007).



Gráfica 3. Mapa batimétrico del Lago Petén Itzá: Transecto Norte a Sur de sedimentos superficiales, y sitio PI-6 donde se colectaron núcleos de sedimento.

Gráfica 4. Isótopos estables de oxígeno y carbono de las aguas de los lagos mostrados en Guatemala.



Gráfica 5. Especies de ostrácodos encontradas en muestras de sedimento superficial en lagos de Guatemala: A. *Cypridopsis okeechobei* (vista externa, valva derecha, hembra); B. *Heterocypris punctata* (vista externa, valva derecha, macho); C. *Physocypris globula* (vista externa, valva izquierda, hembra); D. *Strandesia intrepida* (vista externa, valva izquierda, macho); E. *Cytheridella ilosvayi* (vista externa, ventral, hembra); F. *Limnocythere opesta* (vista externa, valva izquierda, macho); G. *Stenocypris malcolmsoni* (vista externa, valva izquierda, hembra); H. *Darwinula stevensoni* (vista externa, valva izquierda, hembra); I. *Fabaeformiscandona* sp. (vista externa, valva derecha, hembra).

Bibliografía

- 1) Gopal, B. & Wetzel, R. G. (1995) *Limnology in developing countries* SIL-International Association for Limnology. Vol. 1: 230 pp
- 2) Wetzel, R. G. & Gopal, B. (1999) *Limnology in developing countries* SIL-International Association for Limnology. Vol. 2: 330 pp
- 3) Alcocer, J. & Escobar, E. (1996) *Limnological regionalization of México* Lakes Reserv. Res. Mgmt 2: 55-69
- 4) Comín, F. A., Herrera, J.A., García, C. & Marín, M. (1996) *Caracterización física y química de los cenotes de Yucatán (SE México)* En: Antigüedad, I. & Eraso, A. (eds) *Recursos Hídricos en Regiones Kársticas* Vitoria, pp357-366
- 5) Herrera-Silveira, J. A., Comín, F.A., López, S. & Sánchez, I. (1998) *Limnological characterization of aquatic ecosystems in Yucatan Peninsula (SE México)* Verh. int. Ver. Limnol. 26: 1348-1351
- 6) Cervantes-Martínez, A., Elías-Gutiérrez, M. & Suárez-Morales, E. (2002) *Limnologic features of karstic cenotes of the Yucatan Peninsula, Mexico* Hydrobiologia 482: 167-177
- 7) Schmitter-Soto, J. J., Comín, F.A., Escobar-Briones, E.; Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías Gutiérrez, M., Díaz-Arce, V., Marín, L.E. & Steinich, B. *Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico)* Hydrobiologia 467: 215-228
- 8) Doehring, D. O. & Butler, J. H. (1974) *Hydrogeologic constraints on Yucatan's development* Science 186: 591-595
- 9) Stringfield, V. T. & LeGrand, H. E. (1974) *Karst hydrology of northern Yucatan Peninsula* In Weidie, A. E. (ed) *Field Seminar on Water and Carbonate Rocks of the Yucatan Peninsula, Mexico* New Orleans Geol. Soc., New Orleans: 26-44
- 10) López Ramos, E. (1975) *Geological summary of the Yucatan peninsula* In Naim, A. E. M. & Stehli, F.G. (eds) *The Ocean Basins and Margins. III. The Gulf of Mexico and the Caribbean* Plenum, New York: pp257-282
- 11) Ward, W. C., Weidie, A.E. & Back, W. (1985) *Geology and hydrogeology of the Yucatan, and Quaternary geology of northeastern Yucatan Peninsula* New Orleans Geol. Soc., New Orleans
- 12) Weyl, R. (1966) *Geologie der Antillen* Gebrüder Borntraeger, Berlin
- 13) Weyl, R. (1980) *Geology of Central America* Gebrüder Borntraeger, Berlin
- 14) Back, W. (1985) *Hydrogeology of the Yucatan* In: Swinehart, J. & Loope, D. (eds) *Yucatán 1990. A Source Book on Coastal Quintana Roo. Mexico* University of Nebraska, Lincoln: pp25-40
- 15) Islebe, G. & Sánchez, O. (2002) *History of Late Holocene vegetation at Quintana Roo, Caribbean coast of Mexico* Plant Ecology 160: 187-192
- 16) Torrescano, N. & Islebe, G.A. (2006) *Tropical forest and mangrove history from southeastern Mexico: a 5000 yr pollen record and implications for sea level rise* Vegetation History and Archeobotany 15: 191-195

- 16) Buskirk, R. E. (1895) *Zoogeographic patterns and tectonic history of Jamaica and the northern Caribbean* J. Biogeogr. 12: 445-461
- 17) Steinich, B., Velázquez Olimán, G., Marín, L.E. & Perry, E. (1996) *Determination of the ground water divide in the karst aquifer of Yucatan, Mexico, combining geochemical and hydrogeological data* Geofis. Int. 35: 153-159
- 18) Flores-Nava, A. (1994) *Algunos datos limnológicos de cinco cuerpos acuáticos de Yucatán como base para el desarrollo de la acuacultura* Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Yucatán, Mexico. <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1994-12/articulo440.html>
- 19) Marín, L. E. (1990) *Field investigations and numerical simulation of groundwater flow in the karstic aquifer of northwestern Yucatan, Mexico*. Ph.D. thesis, Northern Illinois University, DeKalb: 176 pp
- 20) Marín, L. E., Sanborn, R., Reeve, A., Felger, T., Gamboa, J., Perry, E.C. & Villasuso, M. (1988) *Petenes: a key to understanding the hydrogeology of Yucatan, Mexico* International Symposium Hydrology of Wetlands in Semiarid and Arid Regions, Sevilla, Spain, May 9-12
- 21) Sharpton, V. L., Dalrymple, G.B., Marín, L.E., Ryder, G., Schuraytz, B.C. & Urrutia Fucugauchi, J. (1992) *New links between the Chicxulub Impact Structure and the Cretaceous-Tertiary Boundary* Nature 359: 819-821
- 22) Sharpton, V. L., Burke, K., Camargo, A., Hall, S.A., Marín, L.E., Suárez, G., Quezada, J.M., Spudis, P. D. & Urrutia Fucugauchi, J. (1993) *The gravity expression of the Chicxulub multi-ring impact basin: size, morphology and basement characteristics* Science 261: 1564-1567
- 23) Velázquez, G. (1995) *Estudio geoquímico del anillo de cenotes* Tesis de Maestría, Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México: 77 pp.
- 24) Perry, E., Marín, L., McClain, J. & Velásquez, G. (1995) *Ring of cenotes (sinkholes), northwest Yucatan, Mexico: its hidrogeologic characteristics and possible association with the Chicxulub impact crater* Geology 23: 17-20
- 25) Steinich, B. & Marín, L. E. (1996) *Hydrogeological investigations in northwestern Yucatán, México, using resistivity surveys* Ground Water 34: 640-646
- 26) Adams, R. E. W. (ed.) (1977) *The origins of Maya Civilization* University of New Mexico Press, Albuquerque, 465 pp.
- 27) Culbert, T. P. (ed.) (1973) *The Classic Maya collapse* University of New Mexico Press, Albuquerque, 549 pp.
- 28) Jones, G. D. (1982) *Agriculture and trade in the colonial period Southern Maya Lowlands* In Flannery, K. V. (ed.) *Maya Subsistence: Studies in Memory of Dennis E. Puleston* Academic Press, New York: 275-293
- 29) Hillesheim, M. B., Hodell, D. A., Leyden, B. W., Brenner, M., Curtis, J. H., Anselmetti, F. S., Ariztegui, D., Buck, D. G., Guilderson, T. P., Rosenmeier, M. F. & Schnurrenberger, D. W. (2005) *Lowland neotropical climate change during the late deglacial and early Holocene* Journal of Quaternary Science, 20 (4): 363-376

- 30) Anselmetti, F. S., Ariztegui, D., Hodell, D. A., Hillesheim, M. B., Brenner, M., Gilli, A., McKenzie, J. A. & Mueller, A. D. (2006) *Late Quaternary climate-induced lake level variations in Lake Petén Itzá, Guatemala, inferred from seismic stratigraphic analysis* Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol. 230: 52-69
- 31) Islebe, G. A., Hooghiemstra, H. & van't Veer, R. (1996) *Holocene vegetation and water level history in two bogs of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica* Plant Ecology 124:155-171
- 32) Brenner, M., Leyden, B. & Binford M. (1990) *Recent sedimentary histories of shallow lakes in the Guatemalan savannas* Journal of Paleolimnology 4: 239-252
- 33) Hodell, D., Anselmetti, F. S., Brenner, M., Ariztegui, D. and the PISDP Scientific Party (2006) *The Lake Petén Itzá Scientific Drilling Project*. Scientific Drilling 3: 25-29
- 34) Delorme, L. D. (1969) *Ostracodes as Quaternary paleoecological indicators* Canadian Journal of Earth Sciences, 6: 1471-1476
- 35) Delorme, L. D. (1970) *Freshwater ostracodes of Canada. Part IV. Families Ilyocyprididae, Notodromadidae, Darwinulidae, Cytherideidae, and Entocytheridae* Can. J. Zool. 48: 1257
- 36) Delorme, L. D. (1991) *Ostracoda* In: Thorp, J.H. & Covich, A.P. (eds) *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* Academic Press, pp. 691-722
- 37) Forester, R. M. (1987) *Late Quaternary paleoclimate records from lacustrine ostracodes* In: Ruddiman, W.F., Wright Jr., H.E. (eds) *North America and Adjacent Oceans During the Last Deglaciations* The Geology of North America, Geol. Soc. Am. Boulder, Vol. K-3, 261-276
- 38) De Deckker, P. and Forester, R. M. (1988) *The use of ostracods to reconstruct continental paleoenvironmental records* In: De Deckker, P., Colin, J.P., Peypouquet, J.P. (eds) *Ostracoda in the Earth Sciences*: Elsevier, pp. 175-199
- 39) Carbonel, P. and Colin, J. P. Danielopol, D.L., Löffler, H., & Neustrueva, I. (1988) *Palaeoecology of limnic ostracods: a review of some major topics* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 62: 413-461
- 40) Forester, R. M. (1991) *Ostracode assemblages from springs in the western United States: Implications for paleohydrology* Mem. ent. Soc. Can. 155: 181-201
- 41) Holmes, J.A. (1992) *Non-marine ostracods as Quaternary palaeoenvironmental indicators* Prog. Phys. Geog. 16: 405-431
- 42) Forester, R. M. and Smith, A. J. (1992) *Fossils as Indicators of Paleohydrology and Paleoclimate* In: *Paleohydrogeological Methods and Their Applications* Proceedings of an NEA Workshop, Paris, pp. 39-57
- 43) Smith, A.J. (1991) *Lacustrine ostracodes as hydrochemical indicators in Holocene lake records of the north-central United States* Unpublished PhD thesis. Providence (RI), Brown University, 306 pp
- 44) Smith, A.J. (1993) *Lacustrine ostracodes as hydrochemical indicators in lakes of the north-central United States* J. Paleolim. 8: 121-134



Liseth Pérez¹,
1.perez@tu-bs.de



Margarita Palmieri²,
palmieri@uvg.edu.gt



Gabriela Alfaro², Margaret Dix², Mayra Maldonado², Gerald Islebe³, Burkhard Scharf¹ y Antje Schwalb¹.

¹Instituto de Geología Ambiental, Universidad Técnica de Braunschweig, Pockelsstrasse 3, 38106, Braunschweig, Alemania

²Departamento de Biología, Universidad del Valle de Guatemala

³El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal, Av del Centenario 5.5, 77000, Chetumal, Quintana Roo, México

- 45) Curry, B.B. (1999) *An environmental tolerance index for ostracodes as indicators of physical and chemical factors in aquatic habitats* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 148: 51-63
- 46) Mourguiart, P. and Roux, M. (1990) *Une approche nouvelle du problème posé par les reconstructions des paléoniveaux lacustres: utilisation d'une fonction de transfert basée sur les faunes d'ostracodes* Géodynamique 5: 151-165
- 47) Mourguiart, P., Wirmann, D., Fournier, M. & Servant, M. (1992) *Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène* C.R. Acad. Sci. Paris 315: 875-880
- 48) Mourguiart, P., Corrège, T., Wirmann, D., Argollo, J., Montenegro, M.E., Pourchet, M. & Carbonel, P. (1998) *Holocene palaeohydrology of Lake Titicaca estimated from an ostracod-based transfer function* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 143: 51-72
- 49) Alin, S.R. & Cohen, S. A. (2003) *Lake-level history of Lake Tanganyika, East Africa, for the past 2500 years based on ostracode-inferred water-depth reconstruction* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 199 (1-2): 31-49
- 50) Koeberl, C., Peck, J. King, J., Milkereit, B., Overpeck, J. & Scholz, C. (2005) *The ICDP Lake Bosumtwi Drilling Project: A First Report* Scientific Drilling, 1: 23-27
- 51) Scholz, C. A., Cohen, A.S., Johnson, T.C., King, J.W. & Moran, K. (2006) *The 2005 Lake Malawi Scientific Drilling Project, 2006.* Scientific Drilling, 2: 17-19
- 52) Hodell, D. A., Curtis, J.H. & Brenner, M. (1995) *Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization* Nature 375: 391-394
- 53) Curtis J. H., Brenner, M., Hodell, D.A., Balser, R.A., Islebe, G.A. & Hoogheemstra, H. (1998) *A multi-proxy study of Holocene environmental change in the Maya Lowlands of Peten, Guatemala* J. Paleolimn. 19: 139-159
- 54) Anselmetti, F. (2007) *~85-kyr of climate history from the lowland Neotropics unraveled by the Lago Petén Itzá Scientific Drilling Project (Guatemala)* Presentation, ILIC Congress, Barcelona, July