

# EVIDENCIA DEL IMPACTO HUMANO Y CAMBIO CLIMÁTICO NATURAL EN LA REGIÓN DE LOS TUXTLAS, VER.: UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINARIO

Ma. del Socorro Lozano-García<sup>1</sup>,  
Margarita Caballero<sup>2</sup> y Beatriz Ortega<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geología, UNAM, C.P.04510, México D.F.

<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM, C.P. 04510, México, D.F.

## RESUMEN

El estudio del cambio ambiental utilizando el registro de los indicadores en escalas temporales pasadas, aporta información sobre los diferentes factores que influyen en los ecosistemas. En este trabajo se presentan evidencias de actividad humana y cambio climático en la región tropical de la sierra de Los Tuxtlas, con base en el registro de indicadores de cambio ambiental para los últimos 2000 años. En la secuencia lacustre del Lago Verde, localizado en la porción norte del Golfo de México, se llevó a cabo el análisis de susceptibilidad magnética, carbón orgánico total, contenido de polen, diatomeas y partículas de carbón con el propósito de documentar el impacto humano y su efecto en el ambiente, así como, identificar las condiciones climáticas en la que se desarrollaron. Se identificaron dos etapas de actividad en la cuenca, la primera durante el Clásico en condiciones climáticas secas con una deforestación intensa, actividad agrícola, fuegos, eventos de erosión y niveles lacustres bajos. La segunda etapa a partir de 1960 se caracteriza por deforestación, actividad agrícola y en el lago hay niveles altos y condiciones eutróficas pero se desarrolla bajo escenarios climáticos diferentes.

**Palabras Clave:** *Impacto humano, ecosistemas tropicales, indicadores de cambio climático, polen, diatomeas.*

## ABSTRACT

Documentation of past environmental changes in centennial and millennial scales offers information regarding the factors that affects ecosystems. We present evidences of human impact and climate change using the record of several proxy data, magnetic susceptibility, total organic carbon, pollen and diatoms from a lacustrine sequence which covers the last 2000 years. The sequence was obtained from Lago Verde located in Los Tuxtlas region, on the tropical lowlands of the Gulf coasts. Based on multiproxy analyses, two phases of human impact in the basin of Lago Verde are evident. During the Classic period dry conditions are documented with important deforestation, evidence of agriculture activity, fires, high erosion rates and low lake level. Starting at 1960 a second phase of human impact occurs but under a different climatic scenario, with humid conditions and higher lake levels, but also agricultural activity and intense deforestation.

**Key Words:** *Human impact, tropical ecosystems, proxy data, pollen, diatoms.*

## INTRODUCCIÓN

**L**os ecosistemas cambian en respuesta a factores externos e internos alcanzando un balance, sin embargo, cuando algún factor altera dicho estado (cambio climático, volcanismo, incendios, impacto humano), la respuesta del sistema puede ser importante, lenta o rápida. En el

caso de cambios rápidos, ocurridos en tiempos modernos estos pueden ser observados, documentados y estudiados directamente, pero cuando se trata de cambios en períodos más amplios como décadas, centurias o milenios no es posible estudiarlos en fuentes directas. En estos casos se emplean los denominados indicadores de cambio ambiental (ICA) que son los registros de diversos organismos fósiles (polen, diatomeas, ostrácodos, etc.) y los registros de las características de los

sedimentos (isótopos, propiedades magnéticas, composición elemental, etc.). Dada la complejidad de la respuesta de los ecosistemas al cambio, es necesario analizar varios de estos indicadores para poder reconstruir tanto la respuesta de los organismos como la de los sistemas a estudiar. Para documentar el cambio ambiental anterior al periodo instrumental (que inicia en algunas zonas del planeta alrededor de 1800) se analizan los distintos ICA en diversos ambientes de depósito, tanto marinos como continentales.

En las zonas continentales, los mejores registros de los ICA se encuentran en el fondo de los lagos. Los sistemas lacustres actúan como trampas donde se depositan, de manera más o menos continua: a) los materiales provenientes de los procesos de erosión de la cuenca como son arenas, arcillas, limos, y restos de organismos (bioclastos); y en zonas volcánicas se depositan los productos de emisiones cercanas; b) granos de polen y esporas provenientes de la vegetación circundante al lago; c) restos de organismos que viven en el cuerpo de agua; d) detritos derivados de los procesos biogeoquímicos dentro del propio lago. El conjunto de sedimentos que se acumulan año con año en el fondo de un lago se convierte en un archivo de las condiciones climáticas, geológicas, limnológicas y ecológicas que dominaron durante el proceso de depósito. El análisis detallado de estos sedimentos y sus variaciones proveen información valiosa sobre condiciones pasadas aportando datos sobre procesos de erosión de la cuenca, paleofuegos, cambios climáticos, historia de la vegetación (deforestación, agricultura), cambios limnológicos (profundidad del cuerpo de agua, composición iónica) y cambios en el uso del suelo (deforestación, agricultura).

En este trabajo se presentan y comparan los conjuntos de indicadores de cambio ambiental e impacto humano como son el polen, diatomeas, partículas de carbón y propiedades magnéticas, de una secuencia lacustre en la zona tropical de Los Tuxtlas, Veracruz y se discute el impacto en tiempos prehispánicos y modernos. Dada la localización del sitio, la documentación de los cambios bióticos y abióticos que se llevan a cabo durante los procesos de cambio ambiental en períodos pasados permite contribuir al conocimiento del cambio climático.

## ZONA DE ESTUDIO

### El ambiente

La sierra de Los Tuxtlas es una zona montañosa de origen volcánico situada en el sur de la costa del Golfo de México. El inicio de la actividad volcánica en la región inició hace once millones de años<sup>1</sup> y continuó hasta tiempos recientes, como lo muestra la actividad del volcán San Martín en 1664 y 1773<sup>2</sup>. Este volcán, que alcanza una altitud de 1680 m snm, se encuentra en la porción norte de la Sierra de los Tuxtlas y en sus alrededores existen numerosos cráteres de explosión (maars), algunos de ellos con agua permanente, hacia el sur de este volcán se localizan el lago de Catemaco y el volcán Santa Martha (Fig. 1A).

Su localización y topografía hace que sea una de las regiones con mayor precipitación del país<sup>3</sup>, alcanzando en el verano de 3000 a 4500 mm/año. El clima es húmedo a subhúmedo, la temperatura media durante el verano es de 30°C y la temperatura media invernal es 19°C. Múltiples estudios ecológicos y botánicos han sido realizados en la región de Los Tuxtlas<sup>4-8</sup>. Una característica de Los Tuxtlas es la alta biodiversidad de la región, dada la amplia heterogeneidad topográfica del área se desarrollan diversos tipos de vegetación: la selva tropical húmeda que se establece en las partes bajas (0 a 700 m snm) y que tiene una complejidad estructural importante y una alta diversidad de taxa<sup>7-10</sup>. La selva tropical secundaria la cual se desarrolla en respuesta a las perturbaciones naturales y/o antropogénicas, los taxa pioneros más importantes de la zona son: *Cecropia obtusifolia* Bertol., *Myriocarpa longipes* Liebm., *Trema micrantha* (L.) Blume, *Urera caracasana* Griseb., *Piper* sp. y *Solanum* spp. Los bosques mesófilos en las zonas de mayor altitud, como en las partes altas de los volcanes San Martín y Santa Martha, se caracterizan por elementos templados como *Pinus*, *Hedyosmum*, *Carpinus*, *Clethra*, *Ulmus*, *Liquidambar* y *Quercus*<sup>11</sup>.

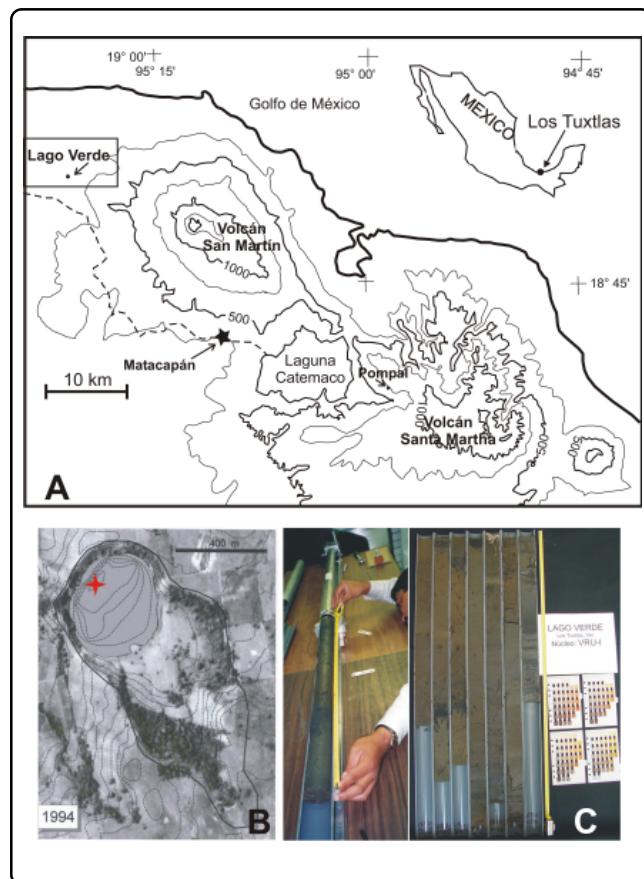


Figura 1 A. Mapa de localización del lago Verde y la zona de la sierra de Los Tuxtlas, Ver., donde se muestran los sitios mencionados en el texto: Matacapán, Lago de Catemaco y Pompal. B. Cuenca del Lago Verde señalando el sitio de perforación +. C. Extracción de núcleos y sedimentos colectados en el Lago Verde.

Finalmente, como resultado de gran impacto humano en la zona por actividades agrícolas y ganaderas se han establecido comunidades denominadas de perturbación donde son abundantes las plantas herbáceas de las familias Asteraceae, Leguminosae, Poaceae, Solanaceae, Rubiaceae y Euphorbiaceae<sup>10</sup>.

### Aspectos arqueológicos

La región tiene una historia de poblamiento muy antiguo, de acuerdo con los estudios arqueológicos grupos pertenecientes a la cultura Olmeca se establecen desde el Formativo (1500 años a.C.). Para Los Tuxtlas, el análisis palinológico de una secuencia del lago Pompal (Fig. 1A) arrojó presencia de polen de maíz (*Zea mays*) con una edad de 2900 años a.C.<sup>12</sup> Sin embargo, hay evidencia de actividad agrícola más temprana (5000 años a.C.) en la región del Golfo, por la presencia de granos de polen de maíz en varias secuencias sedimentarias<sup>13-14</sup>. Entre los sitios arqueológicos más importantes de la zona esta Tres Zapotes, el cual de acuerdo con las investigaciones arqueológicas, inicia en el Formativo temprano (1500 - 900 a.C.) y alcanza un máximo de población hacia mediados y finales del Formativo (900 a 100 a.C.) convirtiéndose en la capital Olmeca. El sitio fue abandonado hacia el final del Formativo y el inicio del Clásico<sup>15</sup>. Otra zona arqueológica de relevancia durante el periodo Clásico (200 a.C. a 900 d.C.) es Matacapán (Fig. 1A), esta zona estuvo ampliamente poblada, pero hacia finales del Clásico (alrededor del año 800 d.C.) es abandonada al igual que otros centros urbanos de menor importancia<sup>16-17</sup>. Respuestas similares se han descrito para otras zonas de Mesoamérica como es el caso de la zona Maya donde hay una disminución importante en la población hacia el final del Clásico<sup>18-20</sup>. Para Los Tuxtlas, no hay evidencia arqueológica que sustente un posterior aumento en la población, sino que el número de habitantes se mantuvo reducido hasta finales del siglo XX.

### Cambio climático

En los trabajos paleoecológicos previos para la región, en Pompal<sup>12</sup>, en el Lago de Catemaco<sup>21</sup> y en el Lago Verde<sup>22-23</sup> (Fig. 1A) se documenta la existencia de variaciones climáticas en esta zona tropical durante los últimos 2000 años. Destacan tres eventos, una sequía que es contemporánea con el Clásico<sup>22,23</sup> con la reducción de niveles lacustres en Verde y en Pompal<sup>12</sup>; el denominado Cálido Medieval (900-1350) con ambientes más húmedos y recuperación de la cubierta arbórea<sup>12,21-23</sup>; la Pequeña Edad de Hielo entre 1350 y 1800 donde se reduce la temperatura (2°C) incrementándose la estacionalidad con inviernos más húmedos relacionado con el incremento de nortes<sup>23</sup>; y una clara señal del impacto humano reciente con deforestación y agricultura<sup>21,24</sup>.

### El lago

Lago Verde es un lago pequeño de forma casi circular (Fig. 1B) con una profundidad máxima de 4 m localizado al NW del volcán San Martín a una altura de 149 m snm. Los aspectos limnológicos

estudiados previamente<sup>24,25</sup> indican que el lago es polimítico con estratificación diaria durante el medio día, es eutrófico y los fosfatos dominan sobre los nitratos. El pH varía entre 8.0 y 8.9, y la composición iónica de su agua es de bicarbonatos-cloruros y sodio con concentraciones menores de calcio y magnesio. El conjunto de fitoplancton varía siendo dominantes las diatomeas (*Fragilaria capucina*, *Achnanthidium minutissimum* y *Aulacoseira granulata*) durante los meses de invierno y las cianobacterias (Chroococcales) y clorofíceas (*Scenedesmus acuminata*, *S.acuminatus*, *Tetraedron caudatum* y *T. minimum*) en el verano. La pequeña cuenca (0.45 km<sup>2</sup>) del Lago Verde en la actualidad está deforestada quedando solamente algunos parches de vegetación (Fig. 1B)

### METODOLOGÍA

Con un equipo de perforación de pistón tipo Livingstone se colectó un núcleo en el centro del Lago Verde de 5.84 m de longitud (Fig. 1C). El núcleo se dividió longitudinalmente, se fotografió (Fig. 1C) y se describieron a detalle las características litológicas (Fig. 2). La escala cronológica se obtuvo con base en cinco fechas de <sup>14</sup>C AMS (accelerator mass spectrometer) realizadas en extractos de polen<sup>22,24</sup>. En este trabajo se reportan las abundancias medias de los microfósiles (polen, esporas y diatomeas) de cada unidad estratigráfica de la secuencia. La extracción de los granos de polen y esporas se llevó a cabo utilizando las técnicas palinológicas estándar que consisten en la eliminación de la fracción mineral, silicatos y carbonatos, con HF y HCl respectivamente y del material orgánico con KOH; el residuo restante se monta en laminillas para su posterior observación y conteo al microscopio hasta completar 500 granos de polen<sup>26</sup>. El método para la extracción de las partículas de carbón consiste en disgrigar 1 cm<sup>3</sup> de sedimento con Hexametafosfato de sodio por 7 días, posteriormente el material se cribó en tamices de malla de 250 y 120 µ y se contó la totalidad de partículas presentes. La extracción de diatomeas se realiza digiriendo la muestra con ácido clorhídrico al 10% y peróxido de hidrógeno concentrado (30%) con lo cual se eliminan residuos de carbonatos y materia orgánica, con el residuo se elaboran preparaciones permanentes en las cuales se realizan conteos al microscopio óptico de un mínimo de 400 valvas. Los datos de susceptibilidad magnética (c), que es una medida de la concentración de terrígenos en los sedimentos, y los de contenido total de carbón orgánico (COT) fueron obtenidos previamente por Ortega-Guerrero et al.<sup>22</sup> y se muestran en la figura 2.

### La secuencia lacustre

Los sedimentos colectados del Lago Verde están compuestos de limos, limos-arcillosos, arenas y 15 cenizas volcánicas. Por textura, color, contenido de materia orgánica y susceptibilidad magnética se pueden dividir en cuatro unidades sedimentológicas<sup>22</sup> (Fig. 2) que a continuación se describen brevemente y se presentan los datos palinológicos y limnológicos.

**Unidad 4**

La unidad 4 que se depositó durante el Formativo tardío (ca. 400 a. C. a 20 d.C.) está compuesta de arenas negras y grises y once capas de cenizas volcánicas. Esta unidad presenta evidencias de intensa actividad volcánica, los datos geoquímicos y de propiedades magnéticas, así como, la presencia de las cenizas sugieren un proceso de deposición rápida del material volcánico<sup>22</sup>. Los valores de susceptibilidad magnética son altos y el porcentaje carbono orgánico total (COT) varía entre 1 y 5.2% (Fig. 2) y en esta parte de la secuencia la preservación de microfósiles fue mala, encontrándose sólo en la cima de la unidad.

**Unidad 3**

La unidad 3 corresponde cronológicamente al periodo Clásico (20 a.C. a 850 años d.C.) y se identifica un cambio en la composición de los sedimentos. En esta unidad dominan las arcillas con una laminación difusa de limos gris oscuro a limos gris claro. Los valores altos de susceptibilidad magnética sugieren arrastre de material al lago con una clara tendencia al aumento del COT en el periodo sugiriendo condiciones de mayor productividad. El espectro polínico obtenido en las muestras correspondientes a esta unidad (Fig. 2), está compuesto principalmente por polen de plantas herbáceas (91.8%) y en menor proporción polen de elementos arbóreos (6.7%). Dentro de conjunto de hierbas destaca la presencia de *Ambrosia* (34%) y otras Asteraceas

(7.2%), gramíneas (6.55) y polen de maíz (*Zea mays*) (Fig. 2) indicando que se desarrollaron actividades agrícolas en el área. Las partículas de carbón del rango entre 125 y 250 $\mu$  tienen un valor de 66.6% y las mayores de 250 $\mu$  el 33.3%. Entre las diatomeas destaca la presencia de especies aerófilas (>20%) que dan evidencia de un lago somero y la dominancia de especies perifíticas (>40%), dentro de estas últimas la especie más abundante es *Achnanthidium minutissimum*, especie indicadora de perturbación, muy probablemente asociada a la elevada erosión por la deforestación relacionada a las actividades agrícolas.

**Unidad 2**

La unidad 2 abarca del fin del Clásico al Postclásico (850 a 1430 años d.C.). La composición de los sedimentos cambia a limos café oscuro y verde olivo con dos cenizas en la base de la unidad. En esta unidad el COT alcanza los valores más altos de la secuencia (9 al 20%), mientras que, los valores de susceptibilidad magnética disminuyen notablemente. El espectro polínico de las muestras de esta unidad documentan un cambio importante en su composición dominando los elementos arbóreos (74.8%) perteneciente a selva (*Ficus* y otras Moraceas, *Trema*, *Spondias*) (Fig. 2) y el conjunto de hierbas disminuye notablemente (19.4%) respecto a la unidad anterior. También se registra polen de palmas de género *Astrocaryum* (3.1%) y en menor proporción esporas de helechos (2.4%) y polen de lianas *Vitis* y *Cissus*.

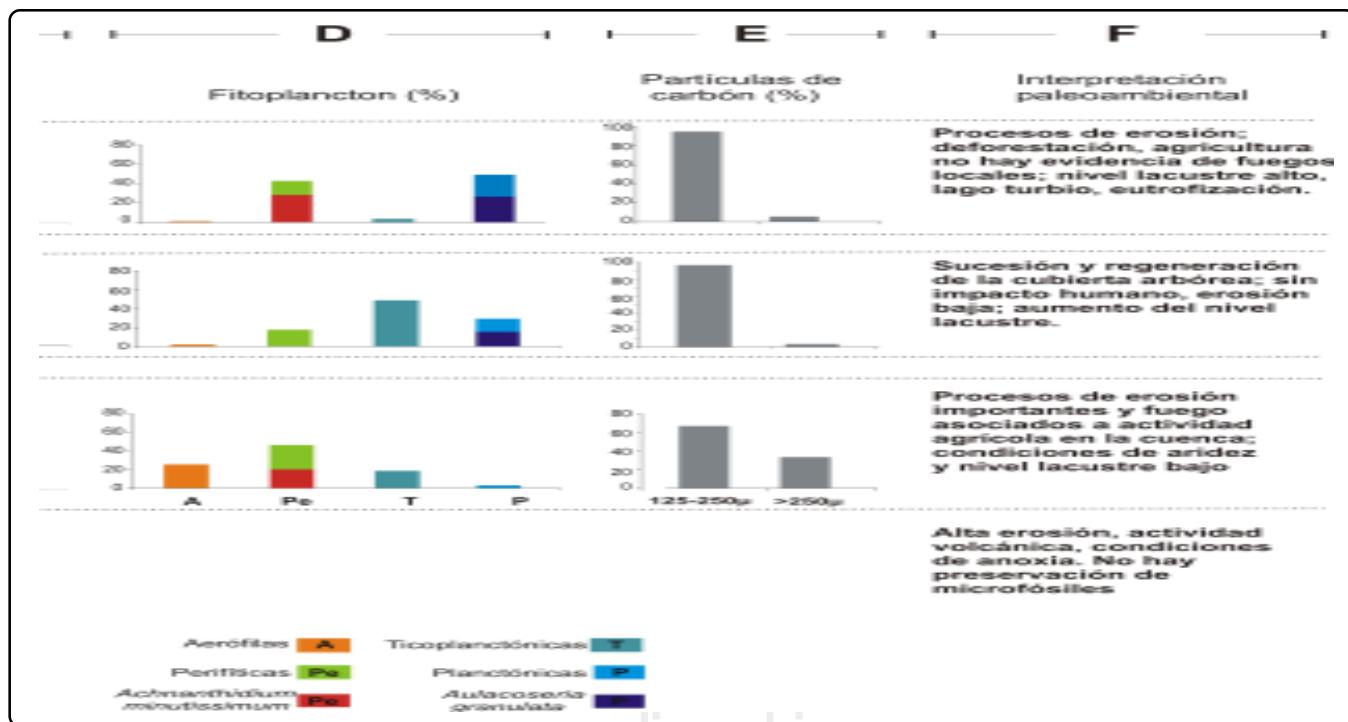


Figura 2. A. Periodos arqueológicos, edad en años a.C./d.C., Unidades sedimentológicas y columna litológica del Lago Verde. B. Porcentaje de Carbón total (línea negra) y susceptibilidad magnética (x) (línea roja). C. Gráficas de los conjuntos polínicos y esporas de helechos (%) señalando la composición de éstos. D. Gráficas de los conjuntos de diatomeas (%) divididos por hábitat. E. Gráficas de partículas de carbón de acuerdo a su tamaño (%). F. Síntesis de la interpretación ambiental con base en los indicadores de cambio ambiental.

(0.2%). Las partículas de carbón de menor tamaño (125–250 $\mu$ ) son más abundantes (96.4%) que las mayores a 250 $\mu$  (3.6%). En las diatomeas se nota un cambio muy marcado, con la casi desaparición de las diatomeas aerófilas, una presencia rara de perifíticas (<20%) y una abundancia más alta de ticoplanctónicas y planctónicas (Fig. 2) que demuestran un tirante de agua más elevado que en la etapa anterior y el cese de la perturbación humana.

#### *Unidad 1*

La unidad 1 está compuesta de limos orgánicos cafés y se identificaron dos cenizas. La primera correlaciona con la erupción del volcán San Martín en el año de 1664. Los valores de susceptibilidad son bajos pero aumentan en los niveles (180 cm y 80 cm) que corresponden a las cenizas volcánicas y en los primeros 30 cm, relacionándose con un aumento en las tasas de la erosión moderna<sup>22,24</sup> hay en esta unidad una ligera disminución de los porcentajes de COT en relación a la unidad anterior. El conjunto polínico documenta un aumento notable con respecto a la unidad anterior del conjunto de herbáceas (64.7%), los árboles alcanzan un porcentaje de 31.7% y los helechos presentan un valor de 2.9%; tanto las lianas como las palmas no son abundantes en este espectro polínico (0.4% ambas). Las partículas de carbón de menor tamaño siguen siendo abundantes (94.2%). Las diatomeas se caracterizan por una dominancia de especies planctónicas (*ca.* 40%), en especial de especies tolerantes a aguas más turbias como *A. granulata* 25% (Fig. 2), y de especies perifíticas (*ca.* 40%) entre las que se encuentra con mayor abundancia *Achnanthidium minutissimum*, nuevamente indicador de perturbación por influencia humana.

#### **Las evidencias de impacto humano y cambio ambiental**

Al analizar los ICA en la secuencia se detectan dos etapas de alto impacto por la actividad humana en la cuenca de drenaje del Lago Verde. La primera etapa ocurre durante el periodo Clásico (Unidad 3) donde la presencia de polen de maíz señala evidencia de actividad agrícola, además el conjunto de polen de plantas herbáceas de las familias Poaceae, Asteraceae, en particular *Ambrosia*, Euphorbiaceae y Leguminosae como indicativos de ambientes perturbados es notable<sup>8,12,23</sup>. Los valores elevados de susceptibilidad magnética que registran en esta etapa sugieren un mayor arrastre de detritos provenientes de la cuenca de captación<sup>22</sup>, probablemente desprovista de una cubierta vegetal por la actividad agrícola que se llevaba a cabo. Los altos valores de partículas de carbón mayores de 250 $\mu$  que se obtuvieron en este nivel sugieren el uso del método de roza-tumba y quema en la cuenca. Las investigaciones sobre la producción, transporte y depositación de las partículas del carbón como indicador de paleofuegos señalan que el carbón macroscópico (>250 $\mu$ ) está relacionado con fuegos locales, mientras que, las partículas de menor tamaño pueden provenir de fuegos en áreas más lejanas<sup>27</sup>. Con base en el conjunto de diatomeas fósiles es posible inferir que el lago tenía aguas someras e impacto antropogénico por la

entrada de sedimentos al lago.

Condiciones de menor humedad para el Clásico han sido documentadas en otros registros paleoecológicos de la zona, así en Pompal (Fig. 1A) se analizó el contenido palinológico de una secuencia lacustre que abarcó los últimos 3000 años y los conjuntos polínicos muestran señales similares a las documentadas para el lago Verde durante ese periodo<sup>12</sup>. En Pompal se recuperaron granos de polen de maíz junto con polen de elementos de perturbación en sedimentos turbosos<sup>12</sup>. Estos conjuntos polínicos y el tipo de sedimentación apoyan la interpretación de condiciones más secas para el Clásico, como las documentadas en el Lago Verde. Desde el punto de vista arqueológico, es durante el Formativo tardío y Clásico medio que se identifica una expansión en la población de la región<sup>16,17</sup>, lo que hace suponer que esta cultura se desarrolló bajo escenarios ecológicos de menor humedad que las actuales.

Hacia el Clásico tardío (*ca.* 850 d.C.) y el Posclásico (Unidad 2) la cuenca del Lago Verde es abandonada. No hay evidencia de agricultura y se detecta un cambio importante en el conjunto palinológico donde domina polen de elementos arbóreos, principalmente: Moraceae, *Ficus*, *Cecropia* y *Helicocarpus* elementos característicos de las comunidades secundarias asociadas al proceso de sucesión, mientras que, el componente herbáceo se reduce significativamente. El desarrollo de una cubierta vegetal reduce el aporte de detritos hacia el lago con la concomitante disminución en los valores de susceptibilidad magnética. El conjunto del fitoplancton indica un aumento en el nivel lacustre, lo que sugiere climas más húmedos. Valores mayores de COT (Fig. 2) sugieren un aumento de la productividad en el lago. En Pompal, la sucesión inicia con el establecimiento de los bosques de *Liquidambar*, después del abandono posterior a la fase de agricultura del Clásico medio. Desde el punto de vista arqueológico, estas señales climáticas coinciden temporalmente con el abandono de Matacapán y en términos geográficos más amplios, con el colapso Maya en la Península de Yucatán y desde una perspectiva global con el inicio del llamado periodo Cálido Medieval (*ca.* 950 años d.C.).

La segunda etapa de impacto humano se observa en un primer pulso alrededor del año 1920<sup>24</sup> con la presencia de polen de maíz, pero es a partir de 1950 que las condiciones ambientales del sitio se ven afectadas por el impacto humano, con deforestación severa no sólo en la cuenca del Lago Verde, sino en la región en general. Las señales de los ICA de esta etapa no son similares a las del periodo prehispánico, el polen de plantas herbáceas alcanza valores altos dominando principalmente los pastos, las Chenopodiáceas- Amarantáceas y aunque hay polen de *Ambrosia*, su contribución comparada con la etapa previa, es menor. El conjunto de diatomeas, dominadas por taxa planctónicas, sin la presencia de especies aerófilas, dan evidencias de la existencia de un lago más profundo que durante el Clásico, pero el impacto humano se infiere por una tendencia hacia mayor

eutrofización y turbidez de las aguas. Las partículas de carbón de menor tamaño son las más abundantes y Caballero *et al.*<sup>24</sup> consideran que la fuente de estas partículas son los ingenios azucareros y/o la quema del cultivo de caña. Aunque en la actualidad no se cultiva caña de azúcar dentro de la pequeña cuenca del lago Verde, éste es uno de los principales cultivos en las zonas aledañas.

## CONCLUSIONES

Con base en el registro de los ICA en el Lago Verde es posible documentar para los últimos dos mil años dos etapas de impacto humano, aunque bajo condiciones ambientales diferentes. La primera etapa ocurre durante el Clásico en un ambiente de menor humedad. Para el Lago Verde, los ICA registran un nivel lacustre bajo como se infiere de la abundancia de diatomeas aerófilas, en Pompal, la señal climática es también de disminución en la profundidad del lago. Ambas señales contrastan con la expansión de la población que documentan las investigaciones arqueológicas para estos tiempos, ya que en general se asocian fases o eventos de humedad con incremento en las poblaciones y en este caso se está documentando lo contrario. En la península de Yucatán los registros paleoecológicos en particular el de Chichancanab, indican la existencia de sequías recurrentes durante el Clásico<sup>28,29</sup>, las cuales contribuyeron al denominado Colapso Maya. El mecanismo climático que explica la reducción en la lluvia es el desplazamiento hacia el sur de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC)-o ecuador meteorológico- y de los vientos Alisios asociados a ella<sup>29,30</sup> lo que genera una reducción en la lluvia de verano a la latitud del Caribe, Yucatán y en Los Tuxtlas. El impacto de este mecanismo, sin embargo, no parece ser el mismo en ambos sitios, ya que mientras en la península, donde los climas predominantes son más secos (300 a 500 mm/año), una disminución en las lluvias de verano ocasiona sequías de una magnitud importante, en la sierra de Los Tuxtlas, donde se hallan los climas más húmedos del país, la disminución de la lluvia en el Clásico no parece haber sido tan significativa como en Yucatán, y en esta zona se documentan con claridad los climas húmedos que siguieron a la sequía del Clásico. Sin embargo, el impacto del cambio climático, ya sea por sequías o por un cambio hacia condiciones más húmedas, para los habitantes tanto de Yucatán como de Los Tuxtlas fue importante, ya que en ambas regiones se documenta un declive cultural, y de manera interesante nuestro registro en Los Tuxtlas registra el abandono de actividades agrícolas hacia el año 800 d.C., esto es un declive en las actividades características del entorno rural, y no sólo como hasta el momento se había documentado en los contextos arqueológicos, el abandono de sitios urbanos. La segunda etapa de impacto corresponde a la época moderna, es a partir de 1960 y en particular después de la década de los setentas que los ICA muestran la alteración del ambiente<sup>24</sup>. Sin embargo, las condiciones ambientales son marcadamente distintas que durante el periodo Clásico, en esta segunda etapa, el entorno es de mayor precipitación con niveles lacustres más altos.

El análisis paleoecológico multidisciplinario ofrece amplias posibilidades para documentar por una parte la variabilidad climática pasada y las variaciones ambientales ocasionadas por diversos factores como es impacto humano. Al obtener una perspectiva temporal del cambio ambiental a través de las investigaciones, es posible aportar información que contribuya al entendimiento de los impactos del cambio actual.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la M. en C. Susana Sosa por su colaboración en este proyecto, a Rosario Landgrave por el apoyo técnico en la elaboración del material fotográfico y al apoyo financiero recibido por parte del CONACYT a través del proyecto G-28528-T.

## REFERENCIAS

1. Nelson, S.A. & González-Caver, E. Geology and K-Ar dating of the Tuxtla volcanic field, Veracruz, Mexico. *Bull. Vulcanology* **55**, 85-96 (1992).
2. Moziño, J. La erupción del volcán de San Martín Tuxtla (Veracruz), ocurrida en el año de 1793. *Bol. Soc. Geogr. Estad. Rep. México* **2**, 62-70 (1870).
3. Soto, M. & Gamma, L. en Historia Natural de Los Tuxtlas (eds. Dirzo, R., González-Soriano, E. & Vogt, R.) 7–23 (UNAM, México, D.F., 1997).
4. Guevara, S., Sánchez-Ríos, G., Landgrave, R. en Los Tuxtlas, El Paisaje de la Sierra (eds. Guevara, S., Laborde, J. & Sánchez-Ríos, G.) 85-110 (Instituto de Ecología, A.C. y Unión Europea, Xalapa, 2004).
5. González-Soriano, E., Dirzo, R. & Vogt, R. Historia Natural de Los Tuxtlas (UNAM, México, D.F., 1997).
6. Sousa, M. Ecología de las Leguminosas de Los Tuxtlas, Veracruz. *Anales Instituto de Biología* **39**, Serie Botánica (1), 121-160 (1968).
7. Ibarra-Manríquez, G. & Sinaca-Colín, S. Lista florística de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Rev. Biol. Tropical* **43**, 75-115 (1995).
8. Ibarra-Manríquez, G., Martínez-Ramos, M., Dirzo, R. & Núñez-Farfán, J. en Historia Natural de Los Tuxtlas (eds. González-Soriano, E., Dirzo, R. & Vogt, R.) 61-85 (UNAM, México, 1997).
9. Andrle, R.F. A Biogeographical Investigation of the Sierra de Tuxtla in Veracruz, Mexico. Ph. D. Thesis, Department of Geography, Louisiana State University, Baton Rouge, USA (1964).
10. Castillo-Campos, G. & Laborde, J. en Los Tuxtlas, El Paisaje de la Sierra (eds. Guevara, S., Laborde, J. & Sánchez-Ríos, G.) 231-270 (Instituto de Ecología, A.C. y Unión Europea, Xalapa, 2004).
11. Álvarez del Castillo, C. Estudio ecológico y florístico del cráter del volcán San Martín Tuxtla, Veracruz. *Biótica* **2**, 3-54 (1977).
12. Goman, M. & Byrne, R. A 5000-year record of agricultural and tropical forest clearance in the Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *The Holocene* **8** (1), 83-89 (1998).
13. Sluyter, A. Regional, Holocene records of the human dimension of global change: sea-level and land-use change in prehistoric Mexico. *Global and Planetary Change* **14**, 127-146 (1997).
14. Pope, K.O., *et al.* Origin and Environmental Setting of Ancient Agriculture in the Lowlands of Mesoamerica. *Science* **292**,

- 1370-1372 (2001).
15. Pool, C.A. & Ohnersorgen, M.A. in Settlement Archaeology and Political Economy at Tres Zapotes, Veracruz, Mexico (ed. Pool, C.A.) 7-31 (Monographs Series V. 50 The Cotsen Institute of Archaeology, University of California, Los Angeles, 2003).
  16. Santley, R.R. & Arnold, P.J.III. Prehispanic settlement patterns in the Tuxtla mountains, southern Veracruz, Mexico. *J. Field Arch.* **23**, 225-249 (1996).
  17. Santley, R.R., Nelson, A., Reinhardt, B.K., Pool, A.C. & Arnold, P.J.III. in Environmental Disaster and the Archaeology of Human Response (eds. Bawden, G. & Reycraft, M.R.) 143-162 (Anthropological Papers No. 7, Maxwell Museum of Anthropology, University of New Mexico, Albuquerque, 2000).
  18. Hodell, D.A., Curtis, J.H. & Brenner, M. Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization. *Nature* **375**, 391-394 (1995).
  19. Gill, R.B. The Great Maya Droughts Water, Life, and Death (University of New Mexico Press, Albuquerque, 2000) 464 pp.
  20. Haug, G.H., et al. Climate and the collapse of Maya civilization. *Science* **299**, 1731-1735 (2003).
  21. Byrne, R. & Horn, S. Prehistoric Agriculture and Forest Clearance in the Sierra de los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Palynology* **13**, 181-193 (1989).
  22. Ortega, B., Caballero, M., Lozano, S., Vilaclara, G. & Rodríguez, A. Rock Magnetic and Geochemical Proxies for Iron Mineral Diagenesis in a Tropical Lake: Lago Verde, Los Tuxtlas, East-Central Mexico. *Earth Planet. Sci. Lett.* **250**, 444-458 (2006).
  23. Lozano-García, S., Caballero, M., Ortega, B., Rodríguez, A. & Sosa, S. Tracing the effects of the Little Ice Age in the tropical lowlands of eastern Mesoamerica. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **104** (41), 16200-16203 (2007).
  24. Caballero, M., et al. Present limnological conditions and recent (*ca.* 340 yr) palaeolimnology of a tropical lake in the Sierra de Los Tuxtlas, Eastern Mexico. *J. Paleolim.* **35**, 83-97 (2006).
  25. Vázquez, G., et al. Limnology of crater lakes in Los Tuxtlas, Mexico. *Hydrobiologia* **523**, 59-70 (2004).
  26. Batten, D.J. in Fossil plants and spores: modern techniques (eds. Jones, T.P. & Rowe, N.P) 15-19 (London, The Geological Society, 1999).
  27. Whitlock, C. & Larsen, C. in Tracking environmental change using lake sediments. Vol. 3. Terrestrial, algal and siliceous indicators (eds. Smol, J.P., Birks, H.J.B. & Last, W.M.) 75-97 (Kluwer Academic Publishers, 2001).
  28. Hodell, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H. & Guilderson, T. Solar forcing of drought frequency in the Maya lowlands. *Science* **292**, 1367-1370 (2001).
  29. Hodell, D.A., Brenner, M. & Curtis, J.H. Terminal Classic drought in the northern Maya lowlands inferred from multiple sediment cores in Lake Chinchancanab, México. *Quat. Sci. Rev.* **24**, 1413-1427 (2005).
  30. Haug, G.H., Hughen, K.A., Sigman, D.M., Peterson, L.C. & Röhl, U. Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene. *Science* **293**, 1304-1308 (2001).