

ESTUDIAR EL PASADO PARA COMPRENDER EL PRESENTE

LORENZO VÁZQUEZ SELEM Y SOCORRO LOZANO GARCÍA

Las investigaciones sobre la historia del clima muestran que, a lo largo del Cuaternario (periodo geológico iniciado hace unos 2 millones de años, y en el cual nos encontramos aún), la Tierra ha oscilado entre etapas glaciares frías y etapas interglaciales cálidas como la actual; comportamiento que obedece a variaciones cíclicas en la cantidad de radiación solar que ingresa al planeta, a su vez producto de cambios graduales en la distancia Tierra-Sol y en la inclinación del eje terrestre. Sobrepuestas a estas fluctuaciones climáticas milenarias han ocurrido otras con duración de varios siglos, en muchos casos iniciadas y terminadas de manera abrupta. La causa más probable de estas últimas son ajustes en el sistema atmósfera-océano que regula el clima planetario, y probablemente también cambios en la actividad solar y erupciones volcánicas de gran magnitud.

La fluctuación más reciente de esta naturaleza se conoce como Pequeña Edad de Hielo o Pequeña Edad Glacial, una fase fría de alcance planetario ocurrida entre 1350 y 1850, y para la que se ha estimado un enfriamiento de por lo menos 1 °C. La Pequeña Edad de Hielo se ha identificado en archivos históricos de varias regiones del mundo, pero también se puede identificar en diversos archivos naturales como son los relacionados con los glaciares de montaña, los anillos de crecimiento de los árboles y los sedimentos que se acumulan por largos periodos en los fondos de los lagos y los océanos.

El presente número de *Ciencia y Desarrollo* presenta investigaciones desarrolladas con estos tres tipos de archivos naturales. En ellas se documenta diversos

aspectos del clima durante la Pequeña Edad de Hielo en México, desde las altas montañas del Altiplano Central hasta las tierras tropicales del Golfo de México, pasando por los bosques templados de diversas regiones.

Como el lector constatará, cada archivo contiene información sobre un aspecto específico de la historia climática y ambiental: las evidencias de glaciación permiten estimar la temperatura en el momento culminante de un periodo frío; la biota de los lagos da luces sobre los cambios generales en la humedad y la temperatura a lo largo de varios siglos; y los anillos de los árboles muestran las fluctuaciones de la lluvia a escala anual. De manera que, comparando los resultados de cada registro podemos generar una visión integral del clima durante la Pequeña Edad de Hielo.

En años recientes nos hemos habituado al tema del cambio climático global, sin duda uno de los problemas ambientales más serios del siglo XXI. La comunidad científica trabaja a marchas forzadas para predecir cuándo y cómo variará el clima en cada zona del planeta y qué efectos tendrá esto en diversos componentes de la naturaleza y la sociedad. En esta tarea hay múltiples fuentes de incertidumbre, pues no se conoce del todo la sensibilidad de los diferentes componentes del clima y la forma como interactúan unos con otros. Una de las maneras de mejorar nuestro entendimiento del clima futuro y sus impactos ambientales y sociales es mirar hacia el pasado reciente. Conocer los patrones complejos de la variabilidad climática en México durante la Pequeña Edad de Hielo, su impacto en distintos ambientes y la respuesta de los ecosistemas y la sociedad, nos ayudará a comprender mejor el clima presente y futuro. ●







LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO EN EL CALUROSO TRÓPICO MEXICANO

MARGARITA CABALLERO Y SOCORRO LOZANO GARCÍA

El cambio climático ha afectado a la Tierra desde su formación (¡hace 4,600 millones de años!); el registro de estos cambios ha sido guardado en diferentes *archivos naturales* como los hielos de los glaciares, los anillos de los árboles o los sedimentos acumulados en el fondo de océanos y lagos, entre otros.

El análisis de estos archivos naturales del pasado ofrece una perspectiva más amplia de los mecanismos que controlan el cambio climático, así como los efectos que éste puede tener en los ecosistemas, de ahí la riqueza e importancia de su análisis; del mismo modo nos brindan un panorama de referencia contra el cual contrastar el fenómeno reciente de cambio climático que conocemos como *calentamiento global*.

SOBRE LA PISTA DE CAMBIOS CLIMÁTICOS

Diversos datos revelan que durante los últimos 400,000 años el clima en la Tierra se ha caracterizado por presentar variaciones cíclicas entre dos estados o condiciones climáticas: el glacial y el interglacial.¹ El primero es un estado que corresponde a una Tierra fría con una cubierta de hielos mucho más extensa que la actual; el segundo refiere el estado de una *Tierra cálida* con un clima similar al actual. El cambio entre estos dos estados depende tanto de factores externos (por ejemplo, variaciones en la órbita de la Tierra) como internos (cambios en la circulación oceánica).

La Tierra siempre ha estado expuesta a cambios climáticos originados por diferentes situaciones, tal es el caso del periodo denominado Cálido Medieval (siglos X al XIII) y la Pequeña Edad del Hielo (1350 a 1850)

En la actualidad vivimos en un periodo interglacial denominado Holoceno, el cual se inició hace unos 10,000 años y, a pesar de que éste corresponde a una etapa de *Tierra cálida*, el clima no ha sido estable, pues significativos cambios climáticos han ocurrido –aunque relativamente menores, si se comparan con el cambio entre un glacial y un interglacial–, con oscilaciones entre momentos con climas un poco más fríos que el actual y otros ligeramente más cálidos. Por ejemplo, de los últimos mil años destaca el registro histórico de dos épocas que reflejan estas oscilaciones en el clima, uno de ellos se refiere al lapso comprendido entre los siglos X al XIII, sobre el cual tenemos información relativa a condiciones climáticas más cálidas en Europa y el Atlántico del Norte; periodo denominado Cálido Medieval (CM).²

En Europa, los persistentes veranos cálidos y secos del CM permitieron la expansión de los límites para el cultivo de la vid entre 300 y 500 km hacia el norte, lo cual posibilitó que en Inglaterra se produjeran uvas y vino, algo imposible en la actualidad. Asimismo, durante el CM, en la región de Escandinavia, llegó a su apogeo la cultura de los Vikingos (o varegos), quienes incursionaron en múltiples ocasiones en el resto de Europa, invadiendo y saqueando regiones tan lejanas como Sicilia. Ellos colonizaron Islandia durante el siglo IX y, en el verano del año 986, Eric *el Rojo* zarpó con 24 barcos para hacerse de nuevos territorios. Sólo 14 embarcaciones llegaron a Groenlandia (*Greenland* o tierra verde), donde se asentaron y establecieron granjas que, para 1333, sumaban más de 400.

Sin embargo, alrededor de 1350, las condiciones ambientales cambiaron y se inició una época de climas fríos llamada la Pequeña Edad de Hielo (PEH), a partir de la cual los mares del norte se llenaron de témpanos de hielo que hacían sumamente difícil la navegación. De igual modo, la agricultura y ganadería en las granjas en Groenlandia se tornaron insostenibles y, en consecuencia, el apogeo vikingo tocó su fin con el abandono de las colonias ahí fundadas.

Durante la PEH que va de, aproximadamente, 1350 a 1850, el clima en toda Europa se tornó impredecible, causando severas hambrunas.³ Fue un evento centrado en el Atlántico del Norte del cual se ha podido documentar –gracias a diversos estudios– que hubo importantes avances en los glaciares de las montañas de casi todo el mundo.

A partir de los estudios de sedimentos oceánicos y corales ha sido posible conocer que durante la PEH la zona del Caribe también experimentó una disminución en la temperatura de 1 a 2 °C⁴ y, a partir de ello, se ha sugerido que tal oscilación climática muy posiblemente se debió a variaciones en la actividad solar, a un incremento en la acción volcánica o a cambios en la circulación profunda del océano; no obstante, hay muchas dudas aún sin aclarar: qué mecanismos climáticos la causaron, cuál fue su duración precisa, qué impacto tuvo en los ecosistemas, particularmente en aquéllos de latitudes bajas, como las zonas tropicales...

ARCHIVOS NATURALES EN MÉXICO

En México hay pocos datos históricos disponibles que aporten evidencias sobre el impacto de la PEH, es por ello que los datos provenientes de los archivos naturales son particularmente relevantes para comprender la respuesta a la variabilidad climática en esta región durante la PEH esta etapa. Si bien una estimación del

El impacto que los cambios climáticos tuvieron en etapas anteriores sobre el ambiente y las civilizaciones debe ser estudiado en los archivos naturales, para lo cual es necesario aprender a leer la naturaleza

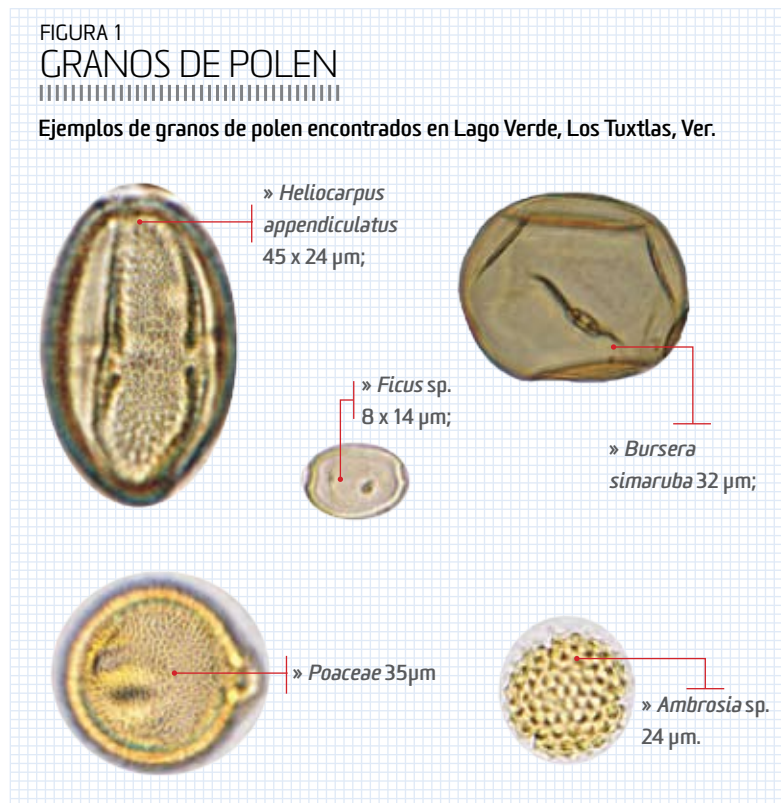
cambio en la temperatura del centro de México se ha podido obtener a través del estudio de las huellas dejadas por los glaciares de montaña como los del Iztaccíhuatl, el impacto que este cambio de temperatura tuvo en los ecosistemas debe ser complementado por otro tipo de registros naturales como los sedimentos acumulados en el fondo de los lagos.

En este tipo de archivo natural se preservan *huellas* de ambientes pasados, como los microfósiles, cuyo estudio permite reconstruir cómo fueron cambiando las condiciones ambientales, tanto en un lago en particular como en la vegetación que lo rodeaba. Estos microfósiles incluyen, entre otros materiales, granos de polen que las plantas fanerógamas producen y restos de las algas conocidas como diatomeas.*

Cuando los granos de polen son liberados debido a la turbulencia atmosférica, se mezclan en el aire dando como resultado una *lluvia de polen* uniforme que se deposita en todos lados, incluido el lodo que se acumula en el fondo de un lago. Estos granos son muy pequeños, de 8 a 500 μm ($1 \mu\text{m} = 0.001 \text{mm}$), y tienen una pared constituida por una sustancia orgánica denominada esporopolenina, un bio-polímero muy resistente que permite su conservación en los sedimentos por miles y hasta millones de años.

Los granos de polen no solamente tienden a preservarse –sin importar las vicisitudes a las que queden expuestos– mientras son depositados y aún después, sino que pueden ser separados químicamente de la matriz rocosa a la que quedan adheridos, lo que posibilita analizarlos en el microscopio.

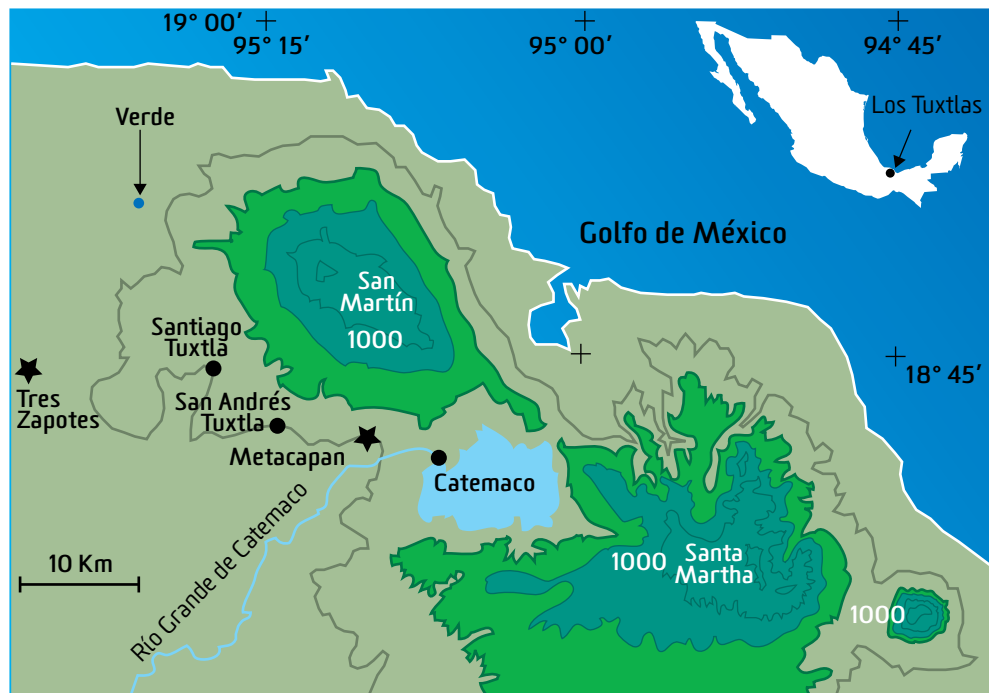
Las características morfológicas de cada tipo de grano son distintivas (figura 1), lo cual es de suma



* Las diatomeas son algas unicelulares, cuyo tamaño fluctúa entre 2 y 100 μm . Cuando mueren, sus esqueletos se precipitan al fondo de los lechos lacustres.

FIGURA 3
MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA REGIÓN DE LOS TUXTLAS

Lago Verde, se localiza en las faldas noroccidentales del volcán San Martín.



importancia para identificar la planta que los produjo, además de permitir trazar la historia de las plantas a través de miles y millones de años. Dado que la vegetación está en sintonía con su entorno, los cambios en la humedad y la temperatura, así como los debidos a las erupciones volcánicas, o bien los causados por incendios e impacto humano confluyen modificando su composición y la distribución de las comunidades vegetales.

De una manera similar, las diatomeas que son pequeñas algas que viven en el agua de un lago y están en sintonía con las características de éste, las cuales a su vez reflejan las condiciones climáticas; tal es el caso de algunas especies de diatomeas que prefieren el agua profunda, y viven dentro del plancton o planctónicas, y los lagos profundos son más comunes en climas más húmedos; hay otras diatomeas que prefieren el agua somera como son las que viven pegadas a un sustrato (perifíticas) o en ambientes que se desecan (aereoófilas), y este tipo de lagos someros son característicos de climas más secos (figura 2).

Las diatomeas viven dentro de una especie de conchas formadas por sílice (material parecido al vidrio) llamadas frústulos, los cuales se preservan fácilmente en el sedimento y, mediante su estudio en el microscopio, se puede identificar la especie a la que pertenecieron. En los sedimentos acumulados en el fondo de un lago se pueden depositar, además del polen y las diatomeas, otros indicadores ambientales como son partículas de carbón, cenizas provenientes de actividad volcánica, minerales indicadores de erosión, etc. De esta manera, en los sedimentos lacustres quedan *grabadas* las distintas señales de cambio ambiental en una secuencia continua y ordenada en el tiempo.

LA HISTORIA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LOS SEDIMENTOS

El presente es un ejemplo formado a partir de los resultados de un estudio realizado en sedimentos de un lago (Lago Verde) en la región de Los Tuxtlas, en Veracruz (figura 3), el cual nos permitió tener más información

sobre lo sucedido tanto en los lagos como en la selva tropical del Golfo de México, durante la PEH;⁵ región de suma importancia en el desarrollo de las civilizaciones mesoamericanas como la Olmeca, que se desarrolló en la zona entre los años 1500 a. C. y 200 d. C., considerada *cultura madre*, por haber dado paso a otros grupos culturales que ocuparon la región entre 200 y 800 d. C., época durante la cual existieron diversos asentamientos en la región; el más importante, Matacapán, con una población que se estima llegó a más de 30,000 habitantes.⁶ Sin embargo, entre los años 800 y 900 d. C., en toda la región, al igual que muchas otras áreas de Mesoamérica (como la zona maya), los asentamientos urbanos fueron abandonados; particularmente, la zona de Los Tuxtlas no volvió a tener una densidad de ocupación importante hasta tiempos recientes.

Los conjuntos de polen y diatomeas contenidos en los sedimentos de este lago documentan variaciones significativas en el nivel del lago, así como cambios importantes en la vegetación antes y durante la PEH. Nuestro estudio revela que en la pequeña cuenca del lago el nivel del agua era muy bajo entre los años 200 a. C. y 800 d. C., esto lo sabemos por la presencia de diatomeas aerófilas, tipos de diatomeas que las cuales viven en ambientes muy someros debido al climático

el razonamiento es el opuesto, sabemos que el lago era somero por el tipo de diatomeas que vivían allí, la causa de que el lago fuera somero es el clima. Durante este intervalo también hay evidencias que indican la existencia de actividad agrícola como la presencia de polen de maíz (*Zea mays*), las abundantes partículas de carbón resultante de la quema de la vegetación y la reducción del polen de árboles, lo que sugiere deforestación. Posteriormente, a partir de 800 d. C., la ausencia de indicadores de impacto humano señala que la zona queda despoblada, siguiendo el patrón de abandono mencionado, y no vuelve a haber evidencias de presencia humana que sugiera una densidad de población alta hasta la segunda mitad del siglo XX.

Uno de los archivos naturales se encuentra en los sedimentos lacustres, donde quedan grabadas las señales de cambio ambiental, en una secuencia continua y ordenada en el tiempo

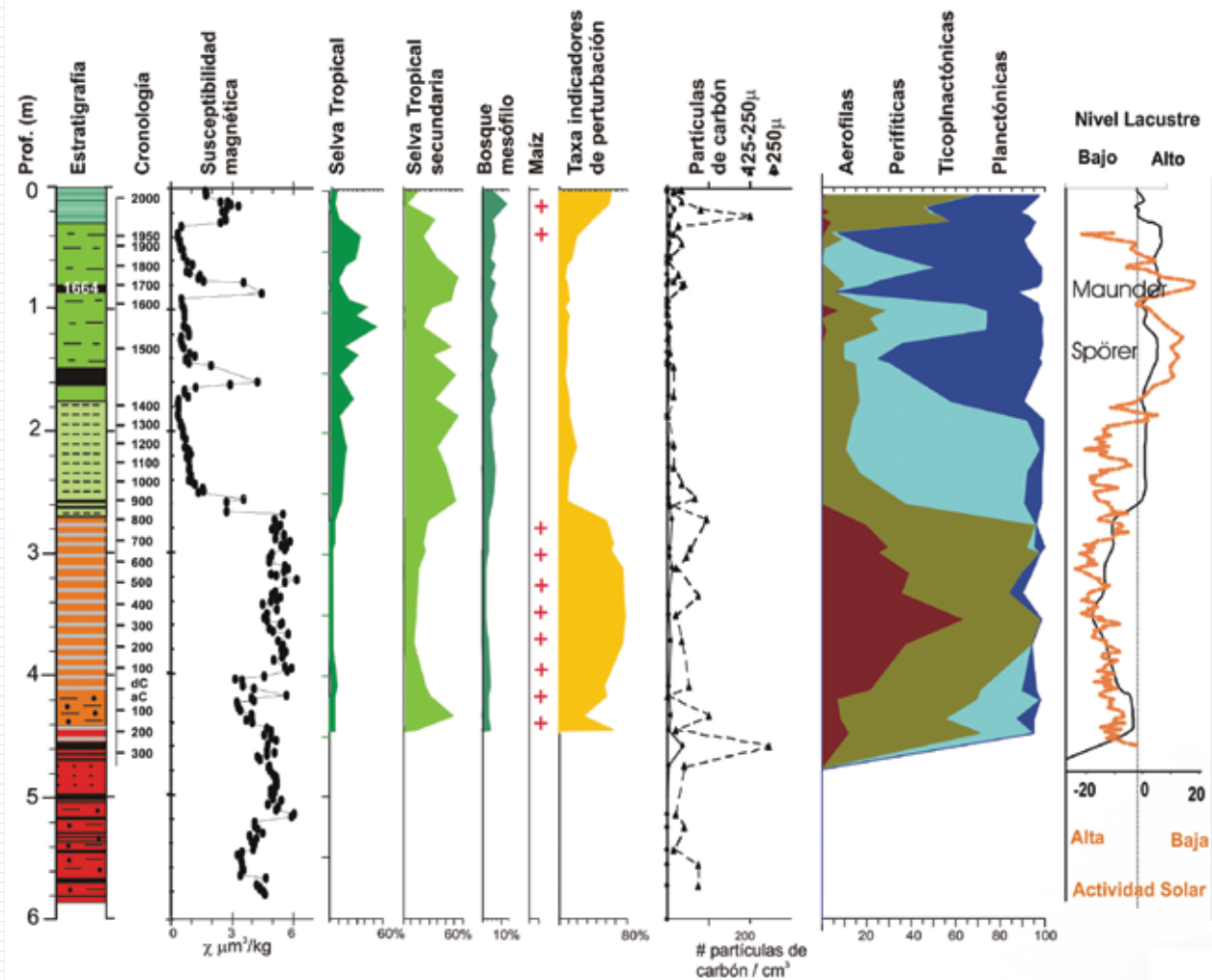


LAGO VERDE,
Los Tuxtlas, Veracruz.

FIGURA 4

ANÁLISIS DE SEDIMENTOS LACUSTRES DE LAGO VERDE

Datos de susceptibilidad magnética, grupos de polen, partículas de carbón, grupos de diatomeas y reconstrucción del nivel lacustre obtenidos del análisis de sedimentos lacustres de Lago Verde, Los Tuxtlas, Ver. La gráfica que ilustra la actividad solar proviene de Reimer *et al.* 2004.



A partir del año 800, los conjuntos de polen muestran la recuperación de la vegetación y, en el lago, las diatomeas ticoplanctónicas (de ambientes intermedios por su a profundidad del agua) indican un aumento en su nivel, ya que el clima, al ser más húmedo, provoca el ascenso del nivel del lago, por lo cual también las diatomeas que viven en él cambian para adaptarse a esta nueva condición. Sin embargo, es durante la PEH cuan-

do el lago presenta su nivel más alto con una máxima abundancia de diatomeas planctónicas y los conjuntos polínicos indican la presencia de la selva más densa de los últimos 2,000 años (figura 4).

Esta fase profunda del lago se inicia hacia 1400, en la cual se identifican dos etapas de mayor profundidad que pensamos corresponden con las condiciones climáticas más frías y húmedas: la primera ocurre

SALTO DE EYIPANTLA,
Los Tuxtlas, Veracruz.



alrededor de 1500; y la segunda, cerca de 1700. Durante ambas fases la selva permanece bien representada como lo indica la abundancia y diversidad registrada en los datos de polen, pero además, que los bosques mesófilos –actualmente desarrollados en las regiones de mayor elevación– en ese tiempo se expandieron como respuesta al enfriamiento ocurrido.

Estas dos fases frías-húmedas ocurren durante etapas reconocidas como de menor

actividad solar, durante los denominados mínimos solares** de Spörer (1420- 1570) y de Maunder (1645 a 1715), que con frecuencia han sido relacionados con el máximo enfriamiento durante la PEH. Entre las dos fases frías mencionadas con anterioridad (o lo que es lo mismo entre los dos mínimos solares) se registra un episodio de condiciones menos frías que se traduce en el registro de polen con la máxima expansión de la selva tropical y una ligera disminución del tirante

**suscríbete
ahora**

**12 EJEMPLARES
AL PRECIO DE 10**

**RECIBE LA EDICIÓN MENSUAL
EN TU PROPIO DOMICILIO**

SUSCRIPCIÓN ANUAL

**EN MÉXICO
\$400.00**

**EN EL EXTRANJERO
\$110.00 dólares**



Deposita en la cuenta BBVA Bancomer 00846634494 y envía la ficha de depósito con todos tus datos (nombre, dirección completa, teléfono y, en su caso, RFC) al fax (55) 55 50 58 00 y 01 ext. 119, para mayores informes comunicarse al (55) 55 50 58 01 ext. 216



reunimex@servidor.unam.mx
www.revistadelauniversidad.unam.mx

**REVISTA DE LA
UNIVERSIDAD DE MÉXICO**

de agua*** documentada por una disminución en las diatomeas planctónicas entre los años 1570 y 1600. Este evento menos frío es también registrado en otros sitios del centro de México que se han caracterizado por ser resultado de periodos de sequía, enfermedades y hambrunas.

¿Cómo explicar la expansión de la selva tropical en las costas del Golfo de México durante una etapa de climas más fríos como la PEH? Para que la selva tropical pueda existir se necesita cumplir con dos condiciones mínimas: que la temperatura invernal no baje de 18 °C, y que haya una precipitación elevada y distribuida durante todo el año (es decir, tener una época de secas lo más corta posible). Actualmente, en la región de los Tuxtlas se cumple con ambas condiciones, existe una temperatura media invernal de 19 °C y una precipitación elevada que, dependiendo de la cercanía con el mar y la altitud, puede variar entre 4,000 y 1,500 mm/año. Esta precipitación está ligada principalmente a la lluvia de verano, cuyo preludio son los vientos Alisios, aunque, hasta 10% de ésta puede caer durante el invierno, cuando entran los frentes fríos (nortes) en la región.

De esta manera, aún dentro de Los Tuxtlas, la selva tropical está mejor representada en las regiones donde la precipitación es más alta y mejor distribuida a lo largo del año. Bajo estos principios podemos concluir que durante la PEH la temperatura de invierno no bajó de 18 °C, o sea que la disminución de la temperatura invernal no fue mayor a 1 °C, dado que esto repercutiría en el desarrollo de la vegetación tropical. Este estimado es consistente con la reconstrucción de temperatura realizada a partir de los registros de glaciares y marinos mencionados anteriormente. Por otro lado, creemos que la temporada de secas fue todavía más corta que la actual, pues debe haberse incrementado el porcentaje de lluvia invernal aportada por los frentes fríos, en vista de que durante la PEH las temperaturas más bajas en el Atlántico del Norte favorecerían la entrada más frecuente de nortes en esta zona.

En conjunto, la falta de ocupación humana en la región, la disminución de la temperatura en sólo 1 °C y la incidencia de nortes que acortaron la temporada de secas, todo favoreció que durante la PEH los lagos de la región de Los Tuxtlas fueran más profundos y la selva tropical tuviese su apogeo, por lo menos durante los últimos 2000 años.

¿Y, PARA QUÉ TANTA INFORMACIÓN?

El análisis de los archivos naturales del pasado es una herramienta científica poderosa que abre amplias posibilidades para el estudio tanto de las variaciones naturales del clima en el pasado como del impacto que

la variabilidad climática ha tenido en diversos tipos de ecosistemas. El estudio de la variabilidad natural del clima nos permite detectar y comprender mejor los mecanismos causantes de estas variaciones, lo cual resulta de particular importancia bajo el panorama moderno del calentamiento global, ya que sólo comprendiendo cómo funciona y cómo ha funcionado el clima a largo plazo podemos vislumbrar lo que pudiera ocurrir en el futuro. ☀

Margarita Caballero Miranda es licenciada en biología por la UNAM y doctora en Estudios del Cuaternario por la Universidad de Hull, Reino Unido. Su trabajo de investigación está relacionado con cambio climático global con énfasis en las variaciones del clima y ambientes (lacustres) durante el Cuaternario tardío y estudios de diatomeas (taxonomía, ecología, paleolimnología). Es investigador del Instituto de Geofísica, SNI II y PRIDE C, y autora de diversos textos.

Ma. del Socorro Lozano García es licenciada y maestra en ciencias por la UNAM, y doctora por la Universidad d'Aix en Provençe, Francia. Es investigadora en el Instituto de Geología, UNAM, y miembro del SNI, nivel II. Su línea de investigación es la palinología, con énfasis en la historia de la vegetación durante el Cuaternario en relación con el cambio climático; es, así mismo, autora de diversos textos especializados.

** Debido a que la actividad solar ocurre por ciclos cuya duración aproximada es de 11 años; dentro de cada ciclo la actividad más alta se denomina máximo solar, mientras la más baja es conocida como el mínimo solar.

*** Tirante de agua es el nivel de agua que se produce en el cauce del río. Su valor depende del caudal, rugosidad, área y pendiente del cauce. (Programa de Modernización y Descentralización del Estado)

REFERENCIAS

- Petit, J. R., et al. (1999) "Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years From the Vostok Ice Core, Antarctica". *Nature* 399:429-436.
- Fagan, B. *The Long Summer: How Climate Changed Civilization*. Basic Books. New York, 2004. 284 p.
- Fagan, B. 2001. *The Little Ice Age: How Climate Made History 1300-1850*. Basic Books. New York, 2004. 246 p.
- Nyberg, J., B. A. Malmgren, A. Kuijpers & A. Winter, (2002). "A Centennial-Scale Variability of Tropical North Atlantic Surface Hydrography During the Late Holocene". *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 183:25-41.
- Lozano-García, M. S., M. Caballero, B. Ortega, A. Rodríguez, y S. Sosa, (2007). "Tracing the Effects of the Little Ice Age in the Tropical Lowlands of Eastern Mesoamerica". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (41): 16200-16203.
- Santley, R. R. and P. J. III Arnold, (1996), "Prehispanic Settlement Patterns in the Tuxtla Mountains, Southern Veracruz, Mexico". *Journal of Field Archaeology* 23, 225-249.

BIBLIOGRAFÍA

- » Caballero, M., Vázquez, et al. (2006), "Present Limnological Conditions and Recent (ca. 340 yr) Palaeolimnology of a Tropical Lake in the Sierra de Los Tuxtlas, Eastern Mexico". *Journal of Paleolimnology* 35: 83-97.
- » Reimer, P. J., et al. (2004), "IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0-26 Cal Kyr BP". *Radiocarbon* 46:1029-1058.