



---

---

49.  
**MAÍZ, CLIMA Y FUEGO EN LA REGIÓN  
DE HOLMUL, PETÉN, GUATEMALA**

---

---

*David B. Wahl, Francisco Estrada-Belli y Lysanna Anderson*

XXVI SIMPOSIO DE INVESTIGACIONES  
ARQUEOLÓGICAS EN GUATEMALA

MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA  
16 AL 20 DE JULIO DE 2012

*EDITORES*  
BÁRBARA ARROYO  
LUIS MÉNDEZ SALINAS

---

---

REFERENCIA:

Wahl, David B.; Francisco Estrada-Belli y Lysanna Anderson  
2013 Maíz, clima y fuego en la región de Holmul, Petén, Guatemala. En *XXVI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2012* (editado por B. Arroyo y L. Méndez Salinas), pp. 611-621. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

# MAÍZ, CLIMA Y FUEGO EN LA REGIÓN DE HOLMUL, PETÉN, GUATEMALA

David B. Wahl  
Francisco Estrada-Belli  
Lysanna Anderson

## PALABRAS CLAVE

Holmul, paleoambiente, maíz, clima, Tierras Bajas.

## ABSTRACT

*We present here a reconstruction of high temporal resolution (for decades or centuries) of paleoenvironment of Laguna Yaloch in the Holmul region in northeastern Peten. Our analysis uses multiple indicators such as pollen, macroscopic charcoal, magnetic susceptibility, radiocarbon, stable isotope, geochemical and other elements. The result is that you can start to rebuild the local environment from the Preclassic period to the present. In addition, we present data of human impact on the environment through settlement patterns and land use over time to assess whether hypothesis respecting human or climatic causes have influenced demographic patterns in Peten. This approach provides a basis for more general conclusions about human-environment dynamics in time.*

## INTRODUCCIÓN

Los datos arqueológicos que demuestran cambios poblacionales drásticos en las Tierras Bajas Mayas han llevado a varios expertos a sugerir que cambios en el medioambiente como posible causa. Por lo tanto, se han llevado a cabo muchos estudios del paleoambiente que indica que la agricultura y el urbanismo causarían deforestación y erosión (Beach *et al.* 2006; Binford *et al.* 1987; Deevey *et al.* 1979; Dunning *et al.* 2002; Hansen *et al.* 2002; Jacob and Hallmark, 1996; Wahl *et al.* 2007). Otros estudios también indican que en el Holoceno tardío había cambios climáticos en escala de siglos y milenios (Curtis *et al.* 1996; Hodell *et al.* 1995; Hodell *et al.* 2001; Hodell *et al.* 2005a, 2005b; Medina-Elizalde *et al.* 2010, 2012). Esos hallazgos apoyan teorías que cambios medioambientales sea naturales como antropogénicos fueron factores en los cambios poblacionales al fines de las épocas Preclásica y Clásica en el sur de las Tierras Bajas Mayas.

Es importante resaltar que las Tierras Bajas Mayas son una región muy heterogénea, con paisajes culturales y adaptaciones distintas a nichos ecológicos diferentes. Un examen de estas áreas caso por caso, pueden

proveer mayor fundamento para elaborar conclusiones sobre las dinámicas de la inter-relación entre los humanos y su medio-ambiente. Aquí se presenta un registro detallado de ocupación humana y cambios medio-ambientales en la región de Holmul. Este es un área de la cual se localizan la ciudad Preclásica de Cival y la ciudad Clásica de Holmul.

## SITIO DE INVESTIGACIÓN

Esta región es una cuenca kárstica atravesada por el río Holmul. Esta rollada por escarpas en los lados norte, oeste, y sur (Fig.1). Está dominada por áreas del bajo en el centro y áreas colinosas en el este y sur. Laguna Yaloch es un lago relativamente bajo y pequeño en la base de una cuenca a 13 km al este de Holmul, a 7 km al este del K'o, y a 6 km al norte de El Pilar (Fig.2). La laguna está limitada en su lado norte por una relativamente empinada escarpa que se eleva por encima de ~ 100 m del lago. Se alimenta por una rama del río Holmul, y las vertientes colinosas al norte, este, y sur. Una amplia sabana húmeda bordea el lago hacia el sur y el oeste.

*Eleocharis sp.* (conocida localmente como “polol”) domina la humedal baja, cerca del lago. La presencia de gramínoideas aumenta con la distancia del lago y de mayor elevación. Otros taxones herbáceos observados en la sabana incluyen helechos y áster. Cerca de la frontera entre sabana y bosque, el componente herbáceo está compuesto casi en su totalidad de zacate. Los taxones leñosos que se encuentran en la sabana incluyen *Crescentia cujete* (calabasa), *Byrsonima crassifolia* (nance), *Acoelorrhapha wrightii*, *Cecropia sp.* y *Ceiba sp.* Los troncos de muchos de estos árboles se ven amenazados por el fuego, y los trabajadores locales informaron que la sabana suele quemarse durante la estación seca.

### PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto intenta dar respuesta a tres principales preguntas de investigación:

1. ¿Cuál era la cronología del asentamiento y agricultura prehispánica en la región?
2. ¿Qué impacto tendría la ocupación humana en el medio ambiente y cómo se afectaría el asentamiento local?
3. ¿Hay evidencia de variabilidad climática durante el período de asentamiento prehispánico?

### MÉTODOS

En 2005, un total de 3.97 m de sedimentos fueron recuperados de la Laguna Yaloch (17°18'35"N, 89°10'29"W). La columna fue recuperada en secciones de 80 cm con un pistón Livingstone modificado para aceptar tubos de butirato. Una columna de réplica fue tomada para garantizar que una estratigrafía completa. La profundidad del agua en el momento de extracción de muestras fue de 1.15 m. La susceptibilidad magnética se mide en incrementos de 1 cm, utilizando un sensor de Bartington MS2C. Debido a los valores magnéticos extremadamente bajos, cada columna se midió dos veces y se hizo un promedio de los resultados. Las columnas fueron divididas longitudinalmente y fotografiado usando un Geotek Multi-Sensor Logger Core (MSCL). EL contenido de agua en los sedimentos se determinó mediante el secado de las muestras de 1.25 cc a 100 ° C. La combustión de las muestras secas a 550 ° y 1000 ° C determinó la cantidad de materia orgánica total, el carbonato, y aluminio-silicato (Dean 1974).

Diez muestras de materia orgánica macroscópica se aislaron de la matriz de sedimento para la determinación de radiocarbono AMS. Con el fin de evitar errores

de carbono (Deevey *et al.* 1954), las muestras se limitan a organismos que fijan carbono atmosférico y consta de material vegetal macroscópico, madera, semillas, y fragmentos de insectos. Excepto cuando el tamaño de la muestra era demasiado pequeña para proporcionar una división, <sup>13</sup>C también se midió y se corrigió antes de la calibración; un valor de -25‰ se asumió para las muestras que no fueron analizadas con respecto a <sup>13</sup>C. Los años de radiocarbono fueron calibrados a los años calendarios utilizando IntCal09 de 6.0 CALIB (Reimer *et al.* 2009). La edad asignada para cada muestra se deriva de la probabilidad promedio (prevista por el programa Calib) y redondeada a 10 años. El modelo de la relación entre edad y profundidad es un compuesto de dos regresiones polinómicas, una de tercer orden de la base de la columna a 1.97 m y una de cuarto orden de 1.97 m a la superficie (Fig. 3).

La composición isotópica de C se midió en materia de sedimentos orgánicos (SOM) utilizando un espectrómetro VG Optima Misa. Las muestras se trataron previamente con una solución de HCl 2N para eliminar el carbono inorgánico (Meyers y Teranes 2001). Los porcentajes de C y N fueron medidos en todas las muestras analizadas para la composición isotópica usando un analizador elemental Fisons EA1500. Los resultados isotópicos se presentan en la notación delta por mil (‰) en relación al estándar V-PDB.

El polen se extrajo utilizando el procesamiento de acetólisis estándar (Faegri y Iverson 1989) y el residuo de la muestra se montó en el aceite de silicio. Cantidades conocidas de esporas *Lycopodium* exóticas se añadieron antes de la digestión para permitir el cálculo de la concentración de polen (Stockmarr 1971). Los granos de polen y esporas de helechos fueron identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible usando la colección Universidad de California en Berkeley del Museo de Paleontología de más de 10,000 muestras de polen modernas como material de referencia y las claves de polen publicadas (Colinvaux *et al.* 1999; Hansen 1990; Horn 1983; Roubik y Moreno 1991). Un mínimo de 350 granos y esporas se contaron con un aumento de 500x, a excepción de dos niveles con polen muy escasos (0.61 y 1.49 m, = 297 y 317, respectivamente). Para aumentar la objetividad, la profundidad correspondiente de cada muestra de polen no se conocía en el momento de contar los granos.

Como se ha demostrado, el Carbón de leña subfósiles recuperado de muestras de sedimentos es un marcador confiable tanto de la historia de incendios locales y regionales. Tanto empírica (Brubaker *et al.* 2009; Clark

y Royall 1995; Higuera *et al.* 2005; Higuera *et al.* 2011; Lynch *et al.* 2004) como teóricamente (Higuera *et al.* 2007; Peters y Higuera 2007) los estudios han demostrado partículas de los sedimentos de carbón de incendios de  $>125\mu\text{m}$  que se originaban a unos 10 a 20 km del lago. Se extrajo carbón macroscópico a partir de las muestras tomadas de 2.5 cc contiguas a intervalos de 0.01 m por toda la longitud de la columna. Las muestras se sumergieron en una solución de 3% ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> durante un mínimo de 24 horas, antes de ser cernido en húmedo a  $125\mu\text{m}$  (Whitlock y Larsen 2001). La fracción restante se dejó en baño durante 1 hora en 6% de  $\text{NaOCl}$  con el fin de digerir cualquier material orgánico que no sea carbón restante y materia orgánica parcialmente quemada (Ali *et al.* 2009). Las muestras fueron cernidas nuevamente a  $125\mu\text{m}$ . La cuenta de granos se hizo utilizando un microscopio binocular de 10-15x aumentos. La cuenta de carbón de leña se convierte en concentración (partículas/cm<sup>3</sup>) y, considerando las tasas de sedimentación, se convierte en afluencia (partículas/cm<sup>2</sup>/año).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La columna de sedimentos presenta litología variada y para facilitar la interpretación se dividieron en seis zonas (Fig.4). La sección mas baja que incluye las zonas 6 a 4 y consiste de arcillas inorgánicas homogéneas las cuales representan 80% de toda la muestra. La susceptibilidad magnética, la densidad por volumen y el porcentaje de arcilla covarían a través de toda la columna. Juntos estos sedimentos representan la erosión de suelos hacia la laguna. Las arcillas similares a esta se han encontrado en lagos, humedales, y bajos en las Tierras Bajas con fechas de inicio entre 2000-1000 AC (Anselmetti *et al.* 2007; Dunning *et al.* 1998; Islebe *et al.* 1996; Rosenmeier *et al.* 2002). En la zona 3 se observa una transición marcada hacia material más orgánico alrededor de 400 DC que persiste a lo largo de la época Clásica. La estratigrafía de la zona 2 se caracteriza una elevada cantidad de carbonatos. Este horizonte de carbonatos de 0.25 m de espesor es muy aparente en la columna de sedimentos y se sitúa cronológicamente entre las fechas de radiocarbono entre 700-900 DC. La zona 1 representa la época desde 900 DC hasta el presente. La misma consiste de un estrato de turba sin mayor variación estratigráfica.

Se puede iniciar la interpretación de cambios en la estratigrafía integrando la litología con otros análisis de los mismos sedimentos (Fig.5). La tasa de carbón a nitrógeno refleja el tipo de material que aporta el

carbón al sedimento. Valores inferiores a 10 reflejan algas lacustres y la presencia de aguas más profundas; valores superiores a 15 reflejan aporte de plantas terrestres y una vegetación litoral (Meyers y Ishiwatari 1993; Meyers y Teranes 2001). Los valores de carbón a nitrógeno más bajos desde alrededor 1400 AC a 250 DC en Laguna Yaloch indican que el material orgánico contenido en el sedimento consiste de algas lacustres con una menor parte de plantas terrestres alcanzando a esta zona de la cuenca.

Esto sugiere la presencia de un lago de mayor profundidad de lo que es en la actualidad. Debido a que la topografía alrededor de la laguna consiste de sabanas húmedas existen implicaciones importantes. Si el nivel de agua fuera de tan solo 3 m superior del presente, esto aumentaría al área inundada por varios órdenes de magnitud, abarcando toda el área que hoy esta ocupado por sabanas húmedas.

El aumento de contenido orgánico, la disminución de arcillas, y los elevados valores de carbón a nitrógeno en la zona 3 demuestra una disminución del nivel lacustre y la aparición de las sabanas húmedas entre el año 250-400 DC. Este proceso probablemente fue debido a la prolongada erosión de suelos alrededor de la laguna y el correspondiente rellanarse de la cuenca lacustre por sedimentos.

El registro palinológico de la muestra de Yaloch sigue el mismo patrón que otros lagos muestreados en las Tierras Bajas Mayas. Este consiste en niveles muy bajos en polen que reflejan el manto forestal durante la época de ocupación prehispánica seguido por un crecimiento muy marcado del mismo. Estudios palinológicos anteriores en las Tierras Bajas Mayas demuestran que la época de la disminución de manto forestal varía entre 3600-1000 AC (Anselmetti *et al.* 2007; Dunning *et al.* 1998; Islebe *et al.* 1996; Jones 1991; Leyden *et al.* 1998; Leyden 2002; Rosenmeier *et al.* 2002; Pohl *et al.* 1996; Wahl *et al.* 2006). Muchas áreas de las Tierras Bajas Mayas exhiben una disminución inicial o más acelerada entre los años 2000-1000 AC. Los datos de los niveles de sedimentos mas bajos de la Laguna Yaloch demuestran que el manto forestal del territorio alrededor de la misma fue de carácter abierto desde antes de 1350 AC, o sea desde el inicio de la secuencia estratigráfica.

Las especies de plantas asociadas a perturbación ecológica en las Tierras Bajas tropicales consisten de maleza herbácea genéricamente incluida en las familias de zacate y el girasol. La presencia de polen de maíz es importante porque no es una especie endémica y es evidencia contundente de actividades agrícolas cerca-

nas (Lane *et al.* 2010). En Mesoamérica también se han usado los valores más pesados de isótopos de carbono como indicadores de actividades agrícolas porque sea la maleza de milpa como la planta de maíz tienen valores de isótopos de carbono más pesados (Lane *et al.* 2004).

La covarianza del manto forestal con la maleza y la erosión, especialmente con la presencia de polen de maíz en la región, son evidencias muy contundentes que la actividad humana fue el factor principal en los cambios vegetacionales registrados en el Holoceno tardío. Una evidencia importante que excluye el cambio climático como factor en los cambios vegetacionales es la variabilidad temporal de los mismos entre el periodo que va desde el año 3600 a 1000 antes de Cristo. Si la disminución de la lluvia fuese la causa de la disminución del manto forestal en las Tierras Bajas, entonces sería de esperarse un cambio contemporáneo a través de todas las Tierras Bajas. Además, cuando esto ocurre en cada área muestreada, la covarianza de disminución del manto forestal, aumento de las especies de la maleza, y la erosión de los suelos en conjunto dejan lugar a pocas dudas de que estas señales sean resultado de actividad humana.

El registro de carbón de los sedimentos de Yaloch representa la muestra de más alta resolución que se haya obtenido hasta la fecha para reconstruir la secuencia de las quemaduras de biomasa en las Tierras Bajas Mayas. Los sedimentos en la base de la columna de Yaloch inician a finales del periodo preclásico temprano, lo cual nos hace imposible afirmar que el uso del fuego fuese importante en la era de la ocupación inicial durante la época arcaica. Un registro de fuego de mayor antigüedad obtenido en las Tierras Bajas muestra un aumento marcado del carbón asociado a la disminución del manto forestal junto a la primera aparición de la evidencia de agricultura después de 2400 AC (Pohl *et al.* 1996). En la muestra de Yaloch es evidente que el fuego era más prevalente y/o local durante el periodo clásico respecto a cualquier otra época en este registro. En la región de Holmul próxima a la Laguna Yaloch se dieron cambios poblacionales durante la transición del Preclásico al Clásico (Estrada-Belli y Wahl 2010), sin embargo la mayoría del asentamiento alrededor de la laguna no cambió. Por lo tanto, los cambios en la afluencia de carbón en los sedimentos sugieren cambios en las prácticas del uso de la tierra dentro de la cuenca más que un aumento poblacional.

Observando la última presencia de polen de maíz, la disminución de las especies de maleza, y el correlativo aumento del manto forestal, se puede empezar a

determinar la temporalidad del abandono de la región. La temporalidad del abandono de 3 sitios en áreas distintas de las Tierras Bajas de sur, obtenidos por registros de sedimentos fechados independientemente, abarca una época muy específica (Fig.6). Debido a la variabilidad estadística asociada a fechamientos de radiocarbono, estas señales parecen agruparse durante un siglo alrededor del año 950 DC. Aún si es difícil determinar si esto fuese un proceso instantáneo o prolongado, sin embargo las señales ecológicas son claras y, una vez más, relacionan cambios en el manto forestal con la actividad humana y no con factores climáticos.

El horizonte de carbonatos presente en la zona 2 de la columna de sedimentos de Yaloch es significativo porque está relacionado cronológicamente con evidencia de aridez en el norte de las Tierras Bajas Mayas. La precipitación de los carbonatos de calcio del agua puede ser resultado de la evaporación y/o procesos biológicos asociados a formación de algas. Valores constantemente altos de carbón a nitrógeno indican que no habían muchas algas en esa época y sugiere que una disminución en el nivel de agua fuera la causa de depósitos de carbonatos en la zona 2 y no procesos biológicos.

En los sedimentos lacustres del norte de Yucatán se han usado isótopos de oxígeno, densidad de volumen, y la deposición de yeso como parámetros para reconstruir el régimen climático durante el Holoceno tardío (Fig.7). La idea de que un clima más árido haya causado la formación del nivel de carbonato en Yaloch se apoya a la correspondencia de este mismo registro con aquellos de las Tierras Bajas del norte. Estos tres registros, de tres áreas distintas sugieren un régimen más árido a través del periodo clásico terminal. La temporalidad de esta época árida es importante porque corresponde con el abandono de muchas áreas de las Tierras Bajas de sur.

Esta misma correlación temporal entre condiciones áridas y el abandono de los sitios clásicos tardíos en el sur ha llevado muchos a sugerir una relación causativa. Sin embargo el uso de múltiples variables en el presente estudio nos permite comparar la señal climática con evidencias de actividad humana local para entender más claramente las relaciones causativas.

Los porcentajes de polen del manto forestal permanecen bajos durante este periodo, lo cual indica la persistencia de población en el territorio (Fig.6). Aún si condiciones anómalas de aridez pudieron haber inhibido el regreso del manto forestal, la continuidad de valores bajos de polen del manto forestal desde la zona 6 a la zona 2 proporciona poca validez a esa interpreta-

ción. Valores elevados de especies de maleza, así como valores pesados de los isotopos de carbón, indican una actividad agrícola continua durante esta fase.

Aún más significativa es la última aparición de polen de maíz en la secuencia y el inicio del regreso del manto forestal después de la terminación de la época de régimen árido (Fig.7). Es decir que la evidencia demuestra que una época de marcada aridez si ocurrió en toda la región, sin embargo en el área de Yaloch, por lo menos, los niveles poblaciones así como la capacidad de practicar la agricultura no se vieron afectados por este fenómeno climático sino ocurrieron después del retorno a un clima más húmedo.

### CONCLUSIONES

Este estudio establece una cronología de los cambios de medio ambiente y asentamiento humanos en una parte de las Tierras Bajas Mayas del sur que estuvo ocupado durante los períodos Preclásico y Clásico. La evidencia de perturbación ecológica en la base de la columna de sedimentos de la Laguna Yaloch refleja el impacto de poblaciones cercanas en el periodo Preclásico temprano. La presencia de polen de maíz alrededor del 1380 AC muestra la primera evidencia directa de la agricultura en la zona. La última aparición de polen de maíz, la caída de los taxones de perturbación y rápido aumento de los taxones forestales indican que el abandono local se produjo alrededor del 1020 DC. La evidencia de aridez entre el 700 y el 900 DC en la Laguna Yaloch corresponde con evidencia similar de sequía en los sedimentos de los lagos del norte de las Tierras Bajas Mayas. La presencia de la agricultura después de un retorno a condiciones más húmedas indica que el abandono de la zona no se produjo durante la fase seca en el Clásico terminal sino en una fase posterior a la misma. El análisis del carbón muestra que el fuego era menos importante en el período Preclásico que en el periodo Clásico. Estas señales no pudieron ser causadas por cambios poblacionales ya que ninguno fue registrado en entre las dos épocas en escala regional, sugiriendo la posibilidad de que un cambio en las estrategias agrícolas podría ser el responsable.

### REFERENCIAS

ALI, A.A., Higuera, P.E., Bergeron, Y., Carcaillet, C.

2009 Comparing fire-history interpretations based on area, number and estimated volume of macroscopic

charcoal in lake sediments. *Quaternary Research* 72:462-468.

ANSELMETTI, F., Hodell, D., Ariztegui, D., Brenner, M., Rosenmeier, M.

2007 Quantification of soil erosion rates related to ancient Maya deforestation. *Geology* 35:915.

BEACH, T., Dunning, N.P., Luzzadder-Beach, S., Cook, D.E.

2006 Impacts of the ancient Maya on soils and soil erosion in the central Maya Lowlands. *Catena* 65:166-178.

Binford, M.W., Brenner, M., Whitmore, T.J., Higuera-Gundy, A., Deevey, E.S., Leyden, B.W.

1987 Ecosystems, paleoecology and human disturbance in subtropical and tropical America. *Quaternary Science Reviews* 6:115-128.

BRUBAKER, L., Higuera, P., Rupp, T., Olson, M., Anderson, P., Hu, F.

2009 Linking sediment-charcoal records and ecological modeling to understand causes of fire-regime change in boreal forests. *Ecology* 90:1788-1801.

CLARK, J. y Royall, P.

1995 Particle-size evidence for source areas of charcoal accumulation in late Holocene sediments of eastern North American lakes. *Quaternary Research* 43:80-89.

CURTIS, J.H., Hodell, D.A., Brenner, M.

1996 Climate Variability on the Yucatan Peninsula (Mexico) during the Past 3500 Years, and Implications for Maya Cultural Evolution. *Quaternary Research* 46:37-47.

COLINVAUX, P., De Oliveira, P., Patiño, J.

1999 *Amazon pollen manual and atlas*. CRC.

DEAN, W.E.

1974 Determination of Carbonate and Organic Matter in Calcareous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition. *Journal of Sedimentary Petrology* 44:242-248.

DEEVEY, E.S., Gross, M.S., Hutchinson, G.E., Kraybill, H.L.

1954 The Natural C-14 Contents of Materials from Hard-Water Lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 40:285-288.

- DEEVEY, E.S., Rice, D.S., Rice, P.M., Vaughan, H.H., Brenner, M., Flannery, M.S.  
1979 Mayan Urbanism: Impact on a Tropical Karst Environment. *Science* 206:298-306.
- DUNNING, N., Rue, D.J., Beach, T., Covich, A., Traversse, A.  
1998 Human-Environment Interactions in a Tropical Watershed: The Paleoecology of Laguna Tamarindito, El Peten, Guatemala. *Journal of Field Archaeology* 25:139-151.
- DUNNING, N.P., Luzzadder-Beach, S., Beach, T., Jones, J.G., Scarborough, V., Culbert, T.P.  
2002 Arising from the Bajos: The Evolution of a Neotropical Landscape and the Rise of the Maya Civilization. *Annals of the Association of American Geographers* 92:267-283.
- ESTRADA-BELLI, F. y Wahl, D.  
2010 *Prehistoric Human-Environment Interactions in the Southern Maya Lowlands: The Holmul Region Case*. Reporte de National Science Foundation for Research Grant #0647034.
- FAEGRI, K., Iversen, J.  
1989 *Textbook of pollen analysis*, 4th ed. Wiley, New York.
- HANSEN, B.C.S.  
1990 Pollen Stratigraphy of Laguna de Cocos. En *Ancient Maya Wetland Agriculture: Excavations on Al-bion Island, Northern Belize* (editado por Pohl, M.D.), pp. 155-186. Westview Press, San Francisco.
- HANSEN, R.D., Bozarth, S., Jacob, J., Wahl, D., Schreiner, T.  
2002 Climatic and Environmental Variability in the Rise of Maya Civilization: A preliminary perspective from the northern Peten. *Ancient Mesoamerica* 13:273-295.
- HIGUERA, P., Sprugel, D., Brubaker, L.  
2005 Reconstructing fire regimes with charcoal from small-hollow sediments: a calibration with tree-ring records of fire. *The Holocene* 15:238.
- HIGUERA, P., Peters, M., Brubaker, L., Gavin, D.  
2007 Understanding the origin and analysis of sediment-charcoal records with a simulation model. *Quaternary Science Reviews* 26:1790-1809.
- HIGUERA, P., Whitlock, C., Gage, J.  
2011 Linking tree-ring and sediment-charcoal records to reconstruct fire occurrence and area burned in subalpine forests of Yellowstone National Park, USA. *The Holocene* 21:853-864.
- HODELL, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H., Guilderson, T.  
2001 Solar forcing of drought frequency in the Maya lowlands. *Science* 292:1367-1370.
- HODELL, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H.  
2005a Terminal Classic drought in the northern Maya lowlands inferred from multiple sediment cores in Lake Chichancanab (Mexico). *Quaternary Science Reviews* 26:1413-1427.
- HODELL, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H., Medina-González, R., Ildefonso-Chan, E., Albornaz-Pat, A., Guilderson, T.  
2005b Climate Change on the Yucatan Peninsula during the Little Ice Age. *Quaternary Research* 63: 109-121.
- HODELL, D.A., Curtis, J.H., Brenner, M.  
1995 Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization. *Nature* 375:391-394.
- HORN, S.P.  
1983 *Late quaternary vegetation change in western Costa Rica: pollen evidence from deep sea drilling project site 565*. Tesis de Maestría, Area de Geography, University of California, Berkeley.
- ISLEBE, G.A., Hooghiemstra, H., Brenner, M., Curtis, J., H., Hodell, D.A.  
1996 A Holocene vegetation history from lowland Guatemala. *The Holocene* 6:265-271.
- LANE, C. S., Cummings, K.E., Clark, J.J.  
2010 Maize Pollen Deposition in Modern Lake Sediments: a Case Study From Northeastern Wisconsin. *Review of Palaeobotany and Palynology* 159:177-187.
- LANE, C.S., Horn, S.P., Mora, C.  
2004 Stable Carbon Isotope Ratios in Lake and Swamp Sediments as a Proxy for Prehistoric Forest Clearance and Crop Cultivation in the Neotropics. *Journal of Paleolimnology* 32:375-381.

- LYNCH, J., Clark, J., Stocks, B.  
2004 Charcoal production, dispersal, and deposition from the Fort Providence experimental fire: interpreting fire regimes from charcoal records in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* 34:1642-1656.
- JACOB, J.S. y Hallmark, C.T.  
1996 Holocene stratigraphy of Cobweb Swamp, a Maya wetland in northern Belize. *Geological Society of America Bulletin* 108:883-891.
- JONES, J.G.  
1991 *Pollen evidence of prehistoric forest modification and Maya cultivation in Belize*, Department of Anthropology. Tesis de Doctorado, Area de Anthropology, Texas A&M, College Station.
- LEYDEN, B.W.  
2002 Pollen Evidence For Climatic Variability and Cultural Disturbance in the Maya Lowlands. *Ancient Mesoamerica* 13:85-101.
- LEYDEN, B.W., Brenner, M., Dahlin, B.H.  
1998 Cultural and Climatic History of Cobá, a Lowland Maya City in Quintana Roo, Mexico. *Quaternary Research* 49:111-122.
- MEDINA-ELIZALDE, M., Burns, S.J., Lea, D.W., Asmerom, Y., von Gunten, L., Polyak, V., Vuille, M., Karmalkar, A.  
2010 High resolution stalagmite climate record from the Yucatán Peninsula spanning the Maya terminal classic period. *Earth and Planetary Science Letters* 298:255-262.
- MEDINA-ELIZALDE, M.n., Rohling, E.J.  
2012 Collapse of Classic Maya Civilization Related to Modest Reduction in Precipitation. *Science* 335:956-959.
- MEYERS, P.A. y Teranes, J.L.  
2001 Sediment Organic Matter. En *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 2: Physical and Geochemical Methods* (editado por Last, W.M. y Smol, J.P.), pp. 239-269. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- MEYERS, P.A. y Ishiwatari, R.  
1993 Lacustrine organic geochemistry—an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry* 20:867-900.
- PETERS, M., Higuera, P.  
2007 Quantifying the source area of macroscopic charcoal with a particle dispersal model. *Quaternary Research* 67:304-310.
- POHL, M.D., Pope, K.O., Jones, J.G., Jacob, J.S., Piperno, D.R., deFrance, S.D., Lentz, D.L., Gifford, J.A., Danforth, M.E., Jossereand, J.K.  
1996 Early Agriculture in the Maya Lowlands. *Latin American Antiquity* 7:355-372.
- REIMER, P., Baillie, M., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J., Blackwell, P., Ramsey, C., Buck, C., Burr, G., Edwards, R., Friedrich, M., Grootes, P., Guilderson, T., Hajdas, I., Heaton, T., Hogg, A., Hughen, K., Kaiser, K., Kromer, B., McCormac, F., Manning, S., Reimer, R., Richards, D., Southan, J., Talamo, S., Turney, C., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.  
2009 IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51:1111-1150.
- ROSENMEIER, M.F., Hodell, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H., Guilderson, T.P.  
2002 A 4000-Year Lacustrine Record of Environmental Change in the Southern Maya Lowlands, Petén. *Quaternary Research* 57:183-190.
- ROUBIK, D.W., Moreno, J.E.  
1991 *Pollen and Spores of Barro Colorado Island*. Missouri Botanical Garden, St. Louis.
- STOCKMARR, J.  
1971 Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 13:615-621.
- WAHL, D., Byrne, R., Schreiner, T., Hansen, R.  
2006 Holocene vegetation change in the northern Peten and its implications for Maya prehistory. *Quaternary Research* 65:380-389.
- WAHL, D., Byrne, R., Schreiner, T., Hansen, R.  
2007a A Late Holocene Record of Settlement and Abandonment in the Mirador Basin, Peten, Guatemala. *The Holocene* 17:813-820.
- WAHL, D., Schreiner, T., Byrne, R., Hansen, R.D.  
2007b A Paleoecological Record from a Maya Reservoir in the North Peten. *Latin American Antiquity* 18, 212-222.

WHITLOCK, C., Larsen, C.

2001 Charcoal as a Fire Proxy. En *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3:*

*Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators* (editado por Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M.), pp. 75-97. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

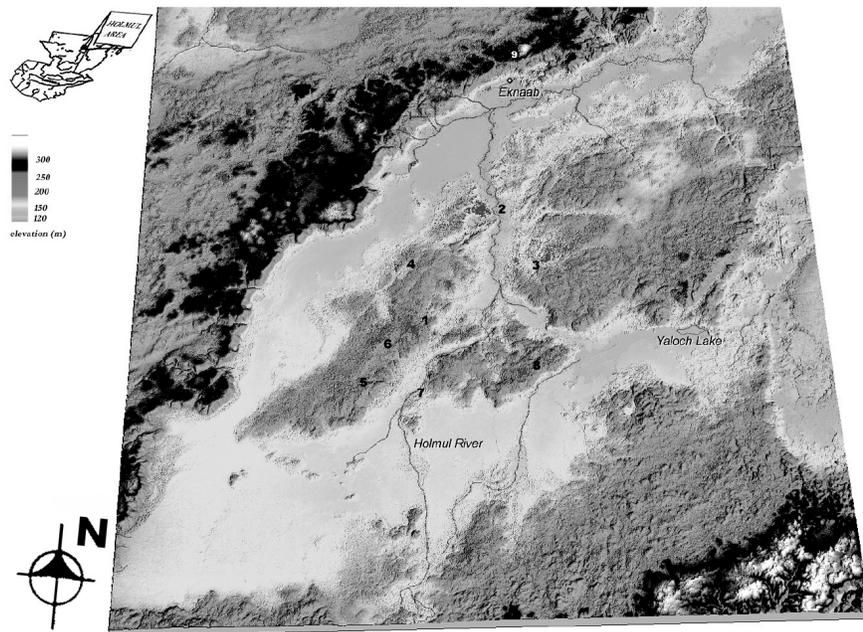


Fig.1: La topografía de la región de Holmul en el noreste de Petén, Guatemala deriva de la NASA AIRSAR, misión topográfica de 1999 (cortesía de la NASA). Números identifican los centros mayores y menores:  
 1. Holmul, 2. Cival, 3. Hahakab, 4. T'ot, 5. Riverona, 6. K'o, 7. Hamontun, 8. Naranjo, 9. Witz Na.

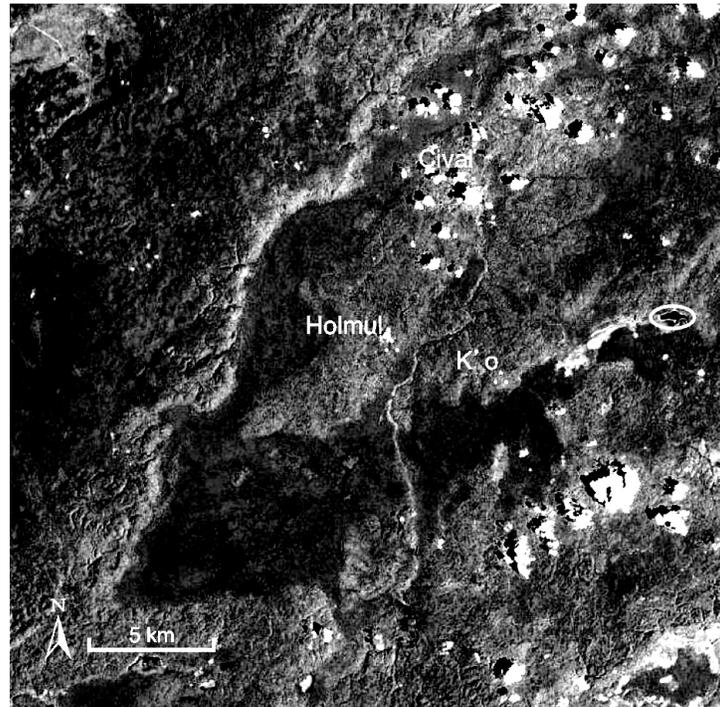


Fig.2: La region de Holmul, mostrando la ciudad Preclásica de Cival, las ciudades clásicas de Holmul y K'o, y la Laguna Yaloch.

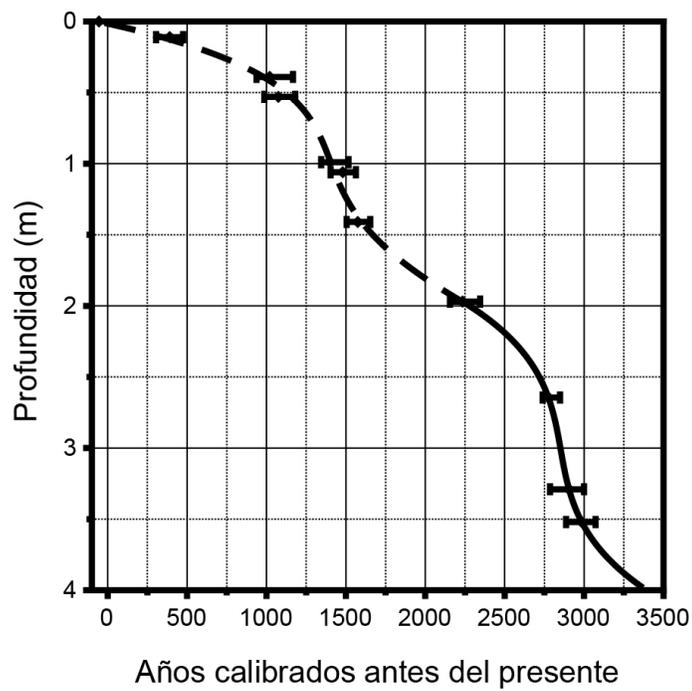


Fig.3: El modelo de la relación entre Edad y Profundidad.

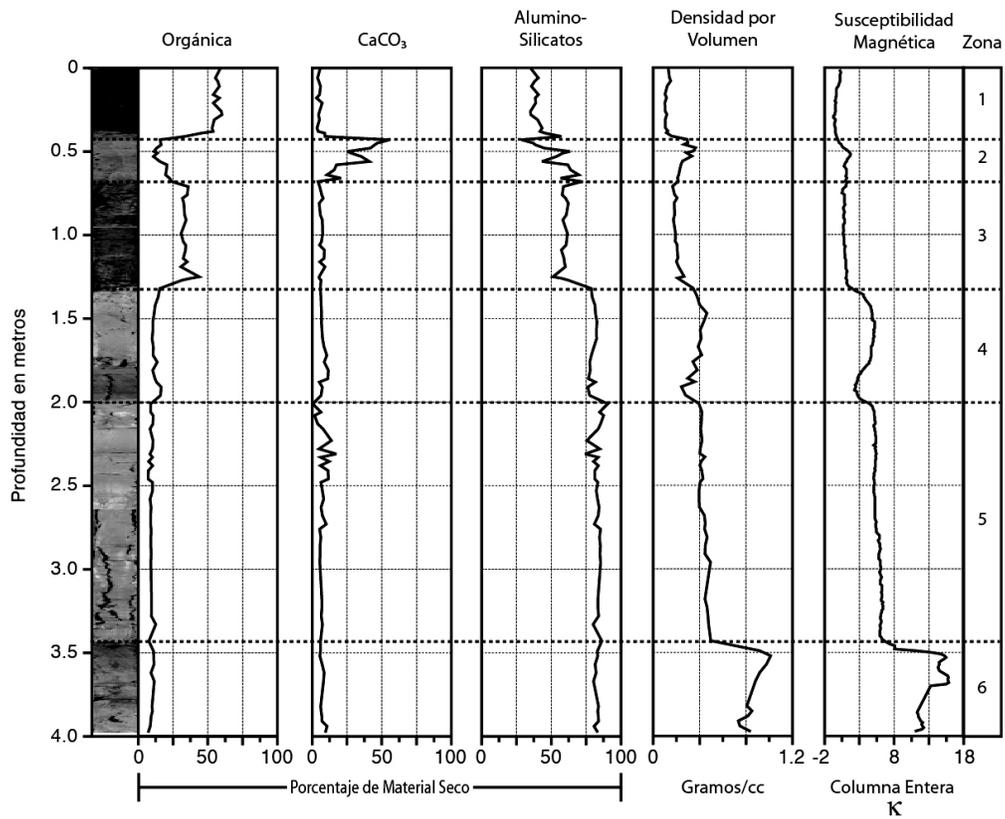


Fig.4: Propiedades físicas de los sedimentos de Laguna Yaloch.

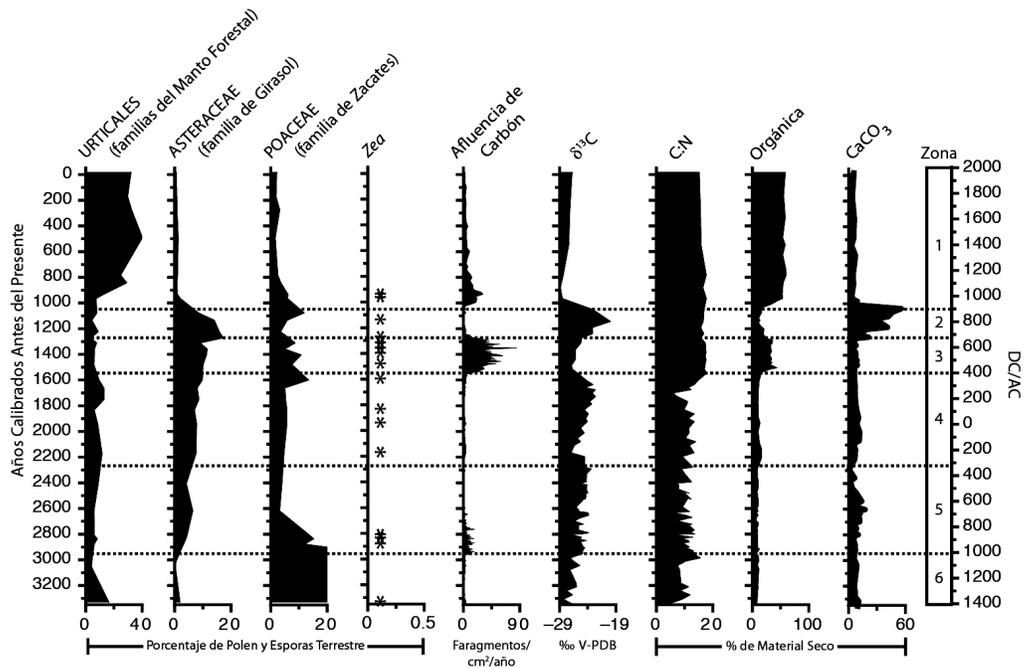


Fig.5: Perfiles de polen seleccionados con <sup>13</sup>CSOM, C:N pérdida de ignición e influjo de carbón de la Laguna Yaloch.

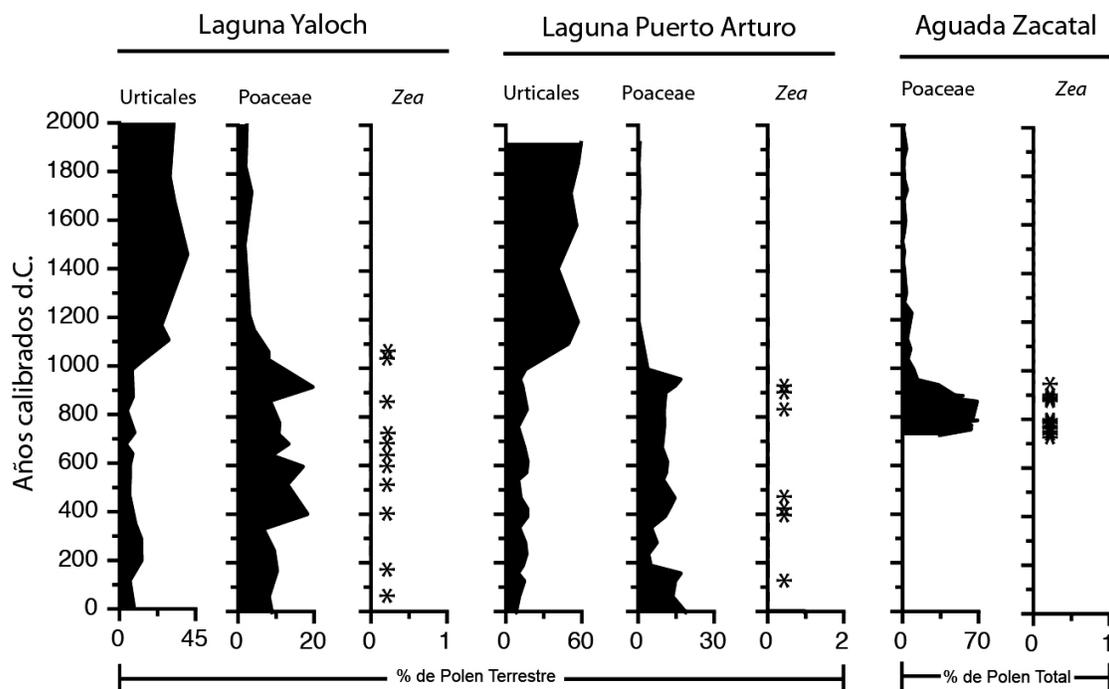


Fig.6: Cambios en polen que refleja el manto forestal, la maleza y maíz que, juntos, indican la época de abandono de las tierras bajas sur. Lago Puerto Arturo, datos de: Wahl *et al.*, 2007a; AZ, datos de: Wahl *et al* 2007b.

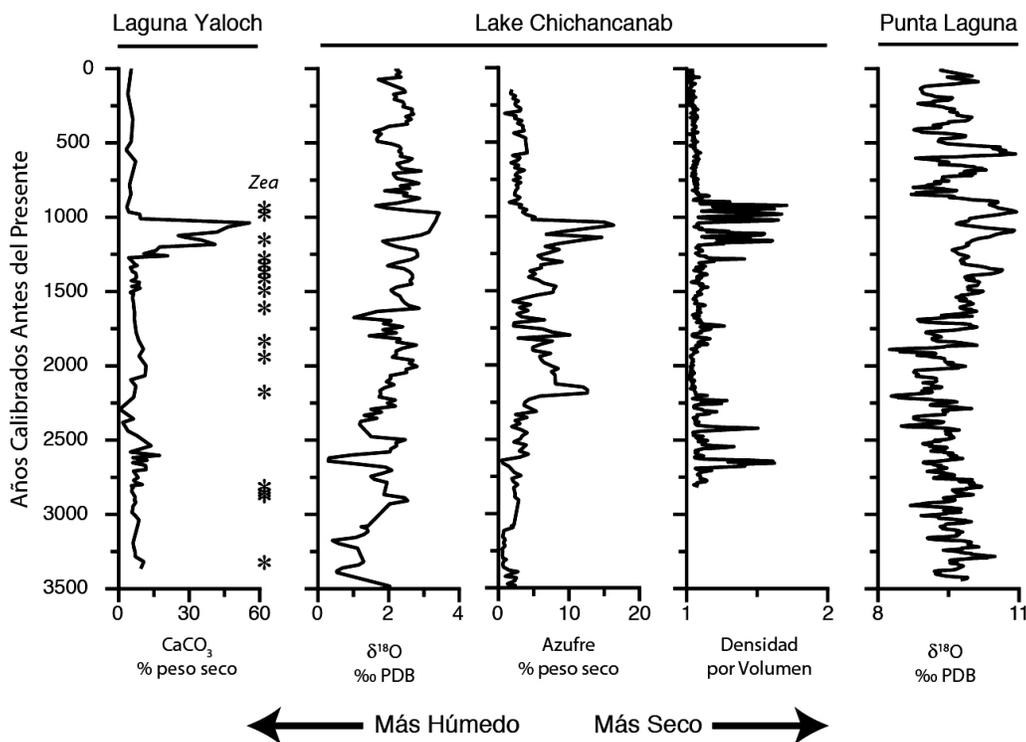


Fig.7: Comparación de paleoclima regional en las tierras bajas Mayas. Laguna Chichancanab, datos de: Hodell *et al.*, 1995 y 2001; Punta Laguna, datos de: Curtis *et al.*, 1996.