

PALEOAMBIENTES Y ARQUEOLOGÍA: LA PERSPECTIVA MICROPALEONTOLÓGICA

*Manuel R. Palacios-Fest **

Recibido el 10 de marzo de 2017; aceptado el 13 de septiembre de 2018

Resumen

Qué es la paleoecología y cómo se aplica a los sitios arqueológicos, es una de las cuestiones más importantes en el entendimiento de la relación ambiente-ser humano. Desde que la especie comenzó a dejar su huella en los sitios más primitivos hasta los tiempos recientes, ha existido esa relación intrínseca entre nuestras actividades y como hemos impactado o, al contrario, respondido a las presiones del ambiente. Por ello, los arqueólogos y geoarqueólogos nos hemos dado a la tarea de comprender mediante la reconstrucción de condiciones pasadas como se ha dado esta relación entre nosotros con los ambientes que nos rodean.

Muchas herramientas hemos diseñado para resolver los numerosos problemas que un sitio arqueológico nos impone, entre ellos la geomorfología, edafología, dendrocronología y, de manera muy especial, la paleontología y micropaleontología. Aplicar estas ciencias al entendimiento de la evolución de un sitio arqueológico y su entorno es crucial para establecer el vínculo que nos une con el ecosistema y otras formas de vida alrededor nuestro. En este espacio se plantea el rol que las formas de vida microscópicas, tales como invertebrados, polen, diatomeas y otros restos vegetales, juegan como factor de cambio ambiental ya sea por cambio climático o impacto humano y su registro geocronológico.

* Terra Nostra Earth Sciences Research, LLC, P.O. Box 37195, Tucson, Arizona, 85740-7195, USA, e-mail: mrpalacios@tnesr.com

Palabras clave: *geoarqueología, paleoambientes, paleoecología, paleontología, micropaleontología, palinología, geocronología.*

Abstract

Paleoenvironments and Archaeology: the Micropaleontological Perspective

What is paleoecology and how it can be used in archaeological sites is an important question to understand the environment-human relationship. From the beginning, humans have left their imprint on ancient and modern environments demonstrating the intrinsic relation between our activities and the milieu or, by contrast, how the environmental pressure has molded us over time. Archaeologists and geoarchaeologists have focused on comprehending this relationship by reconstructing past environments to establish how we have interacted with our surroundings.

Many tools have been designed to address the many problems found in archaeological sites. Geomorphology, soil sciences, dendrochronology, and especially, paleontology and micropaleontology are some of the most important resources available to us. The application of these sciences to understanding the evolution of an archaeological site and its surroundings is crucial to determine the link between us and the ecosystem, including living forms around us. In this paper, I discuss the role that microscopic forms (microinvertebrates, pollen, diatoms, and other plant remains) play as factors of environmental change in response to either climate change or human impact and its geochronologic record.

Key words: *geoarchaeology, paleoenvironments, paleoecology, paleontology, micropaleontology, palynology, geochronology.*

Résumé

Paleoambientes et Archeologie: le point de vue de la micropaleontologie

Quelle est la paléoécologie et comment s'applique à des sites archéologiques est une des questions les plus importantes dans la compréhension de la relation environnement-être humain. Depuis que l'espèce a commencé à laisser leur empreinte sur les sites les plus primitifs jusqu'à récemment, il y a eu cette relation intrinsèque entre nos activités et comme nous avons heurté ou, au contraire, répondu à des pressions de l'environnement. Par conséquent, les archéologues et geoarchéologues nous avons donné à la tâche de comprendre par la reconstruction de conditions passées comme on l'a donné cette relation entre nous avec les milieux qui nous entourent.

De nombreux outils nous avons conçu pour résoudre les nombreux problèmes qu'un site archéologique nous impose. Parmi eux la géomorphologie, pédologie, dendrocronologie et, de façon particulière, la paléontologie et micropaléontologie. Mise en oeuvre de ces sciences à la compréhension de l'évolution d'un site archéologique et son environnement est cruciale pour établir le lien qui nous unit à l'écosystème et les autres formes de vie autour de nous. Dans cet espace se pose le rôle que les formes de vie microscopiques (invertébrés, pollen, diatomées et d'autres débris végétaux) jouent en tant que facteur de changement de l'environnement soit par les changements climatiques ou d'impact humain et leur enregistrement géochronologique.

Mots-clés: *Geoarchaeologie, paleoenvironnements, paleoécologie, paleontologie, micropaléontologie, palynologie, geochronologie.*

Resumo

Paleoambientes e Arqueologia: a perspectiva micropaleontológica

O que é a Paleocologia e como se aplica aos sítios arqueológicos é uma das questões mais importantes na compreensão da relação do ser humano - ambiente. Desde que a espécie começou a deixar sua marca nos sites mais primitivos até tempos recentes, tem havido essa relação intrínseca entre nossas atividades e como nós têm impactado ou, pelo contrário, respondeu às pressões do ambiente. Portanto, arqueólogos e geoarqueólogos deram-na tarefa de compreensão através da reconstrução das condições passadas foi dada essa relação entre nós com os ambientes que nos rodeiam. Muitas ferramentas que nós projetamos para resolver os problemas colocados por um sítio arqueológico. Incluindo a geomorfologia, a ciências do solo, Dendrocronologia e, muito particularmente, paleontologia, Micropaleontologia. Aplicar essas ciências para a compreensão da evolução de um sítio arqueológico e seu ambiente é crucial para estabelecer a ligação que nos une com o ecossistema e outras formas de vida ao nosso redor. Neste espaço, há o papel das formas de vida microscópicas (invertebrados, pólen, diatomáceas e outros restos de plantas) como um factor ambiental mudar ou climáticas ou impacto humano e geocronológicos registro.

Palavras-chave: *Geoarqueologia, paleoambientes, paleoecologia, paleontologia, micropaleontologia, palynologia, geocronologia.*

Introducción

En el mundo de la ciencia arqueológica es imprescindible considerar la relación que las distintas culturas –desde clanes nómadas hasta las grandes civilizaciones–, han tenido con su ambiente. Ello abre la puerta a la ecología que es la ciencia encargada de establecer estas relaciones entre las especies y su entorno (Hardesty, 1977: 290). Hoy en día, la palabra ‘ecología’ está en boca de todos y es objeto de múltiples aplicaciones que en ocasiones difieren de su definición original, resumida líneas arriba. Su relación con el ambiente implica comprender lo que este significa. En la actualidad, entendemos por ‘ambiente’ los componentes físicos y biológicos que interactúan en un lugar y momento preciso y cómo se impactan o regulan entre sí. Los requerimientos ecológicos de las especies enfatizan las variables que afectan a las mismas durante su ciclo vital.

Varios grupos biológicos son de gran importancia para las reconstrucciones ambientales continentales. Entre ellos destacan los ostrácodos, moluscos, diatomeas, polen y restos vegetales que se discuten más adelante. El progreso tecnológico nos ha abierto, a su vez, nuevas alternativas para entender y reconstruir las relaciones pasadas entre grupos humanos y el ambiente físico donde se desarrollaron. Hoy contamos con instrumentación específica para medir la composición isotópica de materiales e individuos que nos arrojan información sobre condiciones de vida como son la espectrometría de masas. Con ellos podemos medir elementos traza (e.g., Mg, Sr, Ba, entre otros) o isótopos estables (^{18}O , ^{13}C) que son absorbidos en vida por los organismos y que reflejan las condiciones ambientales en que sucedió su incorporación al esqueleto, exoesqueleto, o tejido de los mismos. Además, es posible estimar la edad del sitio a través de técnicas radiogénicas como el ^{14}C , espectrometría óptica lumínica (OSL por sus siglas en inglés) y, para eventos históricos, por el isótopo de plomo 210 (^{210}Pb) menos conocido en la arqueología.

Las investigaciones geoarqueológicas y reconstrucciones paleoambientales son numerosas alrededor del mundo –magníficamente resumidas en Dincauze (2000), Rapp and Hill (1998), y Waters (1992), entre otros– y nos han aproximado paulatinamente al mejor entendimiento de cómo sociedades previas enfrentaron su entorno. La aplicación de estudios multidisciplinarios se ha convertido en las últimas décadas en una de las herramientas más poderosas para descifrar más claramente esta relación. A continuación, hago una síntesis de los grupos más relevantes en la micropaleontología y su uso en la geoarqueología, así como la aplicación de métodos geoquímicos útiles a este propósito.

Algunas herramientas importantes

Ostracoda (Crustácea)

Los ostrácodos son crustáceos microscópicos que oscilan entre 0.5 y 2 mm de talla, algunos pueden alcanzar los 8 mm. Contrario a otros crustáceos, están provistos de un caparazón bivalvo de calcita (carbonato de calcio). Su cuerpo consiste en un tronco segmentado con 5-8 pares de apéndices (extremidades) que utilizan para desplazarse, atrapar alimentos de su medio, y para reproducirse –si son anfígónicos: hembra/macho; algunas especies son partenogenéticas: reproducción somática asexual. Dado que en el contexto geoarqueológico los ostrácodos son considerados fósiles o subfósiles, solo sus partes duras (el caparazón) se preservan al registro geológico y son, por ende, las más importantes para quienes estudiamos microfósiles.

Son uno de los grupos más antiguos en el registro geológico –presentes desde el Ordovícico (500 millones de años)–, y diversos con más de 65 000 especies fósiles y vivientes (más de 20 000 vivientes y más de 8 000 descritas) (Horne *et al.*, 2002). Como otros artrópodos, crecen por ecdisis (nueve mudas), desarrollan ornamentación específica (lisa, reticulada, estriada, puntuada, con o sin canales visibles a veces cribados) con frecuencia modificada por el ambiente y tienen formas variadas: arriñonada, subrectangular, subtrapezoidal o triangular. Secretan su caparazón a partir de la epidermis, por lo que atrapan gran cantidad de elementos traza útiles en análisis bioquímicos (Bodergat, 1985).

Los ostrácodos de aguas continentales (no marinos) son sensibles a las características del agua –temperatura, salinidad, composición química, oxígeno disuelto, entre otras. Se les encuentra en aguas dulces, salobres e hipersalinas; tanto en lagos como en humedales, manantiales y corrientes, incluyendo canales de irrigación, presas y represas (Palacios-Fest, 2002). Su distribución geográfica está regulada por la altitud, latitud y barreras naturales, entre otros factores, por lo que sus requerimientos ecológicos son de gran importancia en la reconstrucción de paleoambientes y para entender la relación del ser humano con su entorno. Para conocer más sobre este grupo, véase Horne *et al.* (2002).

Cladocera (Crustácea)

El grupo de los cladóceros incluye cuatro infraórdenes: Anomopoda, Ctenopoda, Onychopoda, y Haplopoda.¹ En la actualidad se conocen cerca de 620 especies

¹ <www.itis.gov>, consultado el 19 de octubre de 2016.

en el grupo. Existentes desde el Paleozoico, su registro geológico, sin embargo, es mejor conocido a partir del Mesozoico medio hasta el presente (Kittel *et al.*, 2014).

Los cladóceros son microcrustáceos que oscilan en tallas entre 0.6 y 2 mm –algunos exceden los 18 mm– (Fryer, 1993). El cuerpo está encapsulado en una membrana quitinosa secretada por el caparazón bivalvo, plegado en sí mismo y constituido por lípidos, fluidos corporales, quitina y pigmentos que pueden atrapar ciertos minerales como fósforo, calcio, estroncio, sodio y hierro (Punt, 2014). Como otros artrópodos crece por ecdisis (aproximadamente siete estadios; excepto los quiródidos que solo requieren dos estadios). Aunque puede existir la reproducción sexual, la mayoría son partenogénéticos. Ocasionalmente dan paso a la primera para renovar su carga genética, a esto se le conoce como partenogénesis cíclica (Dodson y Frey, 2001).

Los parámetros ambientales regulan la distribución y abundancia de las especies. Algunas son euritópicas (amplio rango de condiciones ecológicas), mientras que otras son estenotópicas (ámbitos restringidos). A este grupo se le encuentra en lagos, estanques (naturales y artificiales) en los que prevalecen condiciones lénticas (aguas calmas de flujo lento) o lólicas (corrientes) (Kittel *et al.*, 2014). Son un componente importante en la cadena trófica. Además, son sensibles a la presencia de fitoplancton y de depredadores más que a la composición química del agua, salinidad o temperatura (aunque esta última puede influir en su reproducción). Los cambios en el microhábitat, debidos a las fluctuaciones en el nivel del cuerpo de agua, afecta la estructura poblacional y diversidad de los cladóceros. La mayoría de las especies forman parte del zooplancton en aguas abiertas (libres nadadoras). Algunas de ellas viven entre la vegetación subacuática, es decir, son nectónicas (Kohrola y Rautio, 2006). Para más información véase a Dodson y Frey (2001).

Mollusca

Los moluscos incluyen más de 85 000 especies vivientes y otras 70 000 fósiles (Ponder y Lindberg, 2008). Habitan ambientes marinos, aguas continentales y terrestres, lo que favorece su amplia diversidad. De las nueve clases conocidas, dos son importantes para la geoarqueología, los bivalvos (*Bivalvia*) compuesto por almejas y mejillones; y los gasterópodos univalvos (*Gastropoda*: caracoles y lapas).

Compuestos por un cuerpo blando no segmentado, poseen un pie muscular, región cefálica, masa visceral y un manto carnosos que secreta el exoesqueleto proteínico y aragonita (carbonato de calcio). Los grupos más comunes en ambientes continentales incluyen representantes de las dos subclases de gasterópodos: *Prosobranchia* y *Pulmonata*. Entre los bivalvos (exclusivamente

acuáticos) destacan las Superfamilias Unionacea y Sphaeriacea dentro del Orden Eulamellibranchia de la Clase Pelecypoda (Dillon, 2000).

Las asociaciones de moluscos en los sedimentos reflejan las propiedades físicas y químicas del agua, velocidad de corriente, turbidez, entre otros (Rutherford, 2000; Dillon y Stewart, 2003). Por ejemplo, la presencia de formas juveniles en una muestra es interpretada como el resultado de su arribo durante la estación cálida o conforme aumentan las temperaturas (Rutherford, 2000). Cuando la población encuentra condiciones estables y alcanzan la madurez, se presume que el sistema la sostuvo por un periodo prolongado. Algunas especies como *Pisidium sp.* y *Ferrissia hendersoni* requieren aguas lólicas, bien oxigenadas y con pH de neutro a alcalino, libres de contaminación. Por el contrario, otras especies como *Planorbella scalaris* y *Physella virgata* pueden tolerar condiciones lénticas, de baja oxigenación —pero no disóxicas—, eutróficas y con cierto grado de contaminación orgánica (Dillon y Stewart, 2003). En Dillon (2000) el lector encontrará información más detallada.

Charales (Charophyta)

Parte del reino vegetal, las algas calcáreas o carófitas son comunes en sistemas acuáticos asociados a sitios arqueológicos. Estas son algas pequeñas (de 30 a 120 cm), ramificadas que habitan aguas dulces enriquecidas en carbonatos. Characeae o Charophyta son un grupo extraño que se caracterizan por tener gametos femenino (arquegonio) y masculino (anteridio) que al reproducirse producen un cigoto (girogonito) que se calcifica y preserva al registro geológico (García, 1994). Existen desde el periodo Silúrico superior (Grambast, 1974) y se conocen 400 especies vivientes.

Viven en aguas someras a menos de 60 cm de profundidad (raramente más profundas) en lagos, estanques y corrientes lénticas, relativamente alcalinas. Una propiedad importante es que se les considera colonizadores primarios, es decir, están entre las primeras formas en asentarse en un ambiente (Allen, 1950). Ecológicamente, las carófitas promueven la claridad del agua, atraen a los peces y estabilizan el sustrato sedimentario. Habitualmente, tienen un ciclo de vida corto entre la primavera y finales del verano, durante periodos cálidos, especialmente en hábitats efímeros (Allen, 1950). Las condiciones eutróficas son una limitante importante para su desarrollo (John *et al.*, 2002). Su valor en los estudios geoarqueológicos radica en la posibilidad de la preservación de los girogonitos como fósiles y que ocasionalmente partes de la pared de la oóspora

se conservan, también, particularmente en sedimentos cuaternarios. Suelen ser abundantes en sistemas lacustres, en represas y canales de irrigación. Son excelentes indicadores bioestratigráficos y paleoambientales, lo que los hace útiles en la reconstrucción de condiciones paleolimnológicas y paleoclimáticas (García, 1994). El lector puede consultar a García (1994) para más información.

Diatomeas (Bacillariophyta)

Las diatomeas son algas silíceas microscópicas de la División Bacillariophyta. La pared de sílice bivalva (frústulas) recubre la célula. La frústula consiste de dos valvas altamente ornamentadas de diversas formas –Centrales y Pennales– (Round *et al.*, 1990). La compleja morfología de las frústulas refleja el hábitat al cual cada especie se ha adaptado. Estos organismos tienen tallas que oscilan entre los 2 y 500 μm (0.5 mm). Se les encuentra donde el agua y la luz sean suficientes; y son un componente importante de la cadena alimentaria (Starrat, 2011). Sensibles a la hidroquímica, las diatomeas son valiosas en el estudio de ambientes modernos y pasados. Muchas especies tienen rangos de pH y salinidad restringidos, así como otros parámetros (e.g., concentración de nutrientes, sedimentos en suspensión, flujo, elevación, o perturbación humana) (Stoermer y Smol, 1999).

En el registro geológico, las frústulas fosilizadas son el único elemento que nos queda para reconstruir los ambientes. Condiciones de baja energía favorecen su rápido enterramiento y preservación (Mannon, 1987). Asimismo, su alta diversidad las hace invaluable para hacer reconstrucciones de alta resolución inclusive para reconocer subambientes (o microambientes) (Starrat, 2011). Sin embargo, este mismo factor nos impone limitaciones dado que consume mucho tiempo identificar apropiadamente a las especies. Reconocer sus requerimientos ecológicos también es valioso pero complicado (Battarbee, 1986). Las frústulas son fácilmente retrabajadas y bioturbadas, por lo que identificar las características tafonómicas de la asociación floral es crucial para lograr un análisis certero (Starrat, 2011). Para detalles sobre este grupo el lector puede consultar Stoermer y Smol (1999).

Palinología

El estudio de los palinomorfos (polen y esporas) es una de las herramientas más importantes en paleoecología. El análisis estratigráfico del polen contribuye al entendimiento de la biocronoestratigrafía de ambientes en un contexto local y regional. Debido a la gran diversidad de formas y especies, el lector es referido a los trabajos de Punt y Clarke (1976), y Traverse (2007), entre otros. En cuanto

a los métodos, el lector puede consultar Faegri e Iversen (1964, 1975), Moore y Webb (1978) y Birks y Birks (1980).

Pequeños y abundantes, los palinomorfos ocurren en todos los ámbitos de los sistemas geográfico y climático. Por su composición química (esporopolenina) y ubicuidad, persisten en el registro geológico mejor que otros grupos aquí descritos. Debido a su diversidad morfológica y distribución geográfica son uno de los grupos predilectos de los especialistas.

Al igual que otras herramientas paleoecológicas, la palinología es de mucha importancia en la geoarqueología porque contribuye a resolver problemas del entorno y hábitos de consumo de los habitantes del sitio en cuestión. Ello ha propiciado que a partir de mediados del siglo xx veamos un amplio desarrollo de métodos cuantitativos para medir la presencia y diversidad de palinomorfos asociados a la actividad humana (Berglund y Ralska-Jasiewiczowa, 1986). Con frecuencia, la compleja relación antrópica con el ambiente queda de manifiesto en los conjuntos de polen donde las especies introducidas pueden enmascarar a las nativas (en las páginas siguientes se documentan algunos ejemplos).

Los palinomorfos se dispersan pasivamente, ya sea por el viento o el agua, y pueden aparecer a una gran distancia de su origen. Otras pueden ser transportadas por la fauna permitiendo la expansión local o regional de la especie. Los organismos polinizadores juegan un papel crucial en la dispersión de algunas especies, por ejemplo, las especies arbóreas se dispersan a grandes distancias mediante el viento, en tanto que las especies arbustivas o pastizales son transportadas por animales y polinizadores a distancias más cortas. Dado que las especies se caracterizan por mecanismos especializados de dispersión, la proporción representativa varía de un sitio a otro (Faegri e Iversen, 1989).

Así, tenemos que en una gran cuenca lacustre el polen arbóreo llega de las regiones montañosas circundantes en grandes cantidades, ya sea transportadas por aire o por agua, y se mezcla con las formas arbustivas ribereñas o acuáticas. Su permanencia estable puede ser alterada por los organismos excavadores que destruyen la estratificación. Por otra parte, una ciénaga recibe el polen principalmente dentro de sus inmediaciones, con menor influencia externa (Dincauze, 2000).

Para estudios del Cuaternario es importante determinar las tasas de colonización y dispersión de las especies, su dinámica de competitividad, las variaciones climáticas y de suelos, la presencia de parásitos y la interferencia antrópica con el paisaje, para interpretar el espectro en un diagrama polínico (Berglund y Ralska-Jasiewiczowa, 1986). En sitios arqueológicos, por ejemplo, los canales de irrigación y represas se colectan una gran cantidad de palinomorfos agrícolas que permiten establecer las fuentes de sustento de las comunidades. No obstante, con frecuencia la identificación de los granos solo

es posible a nivel genérico y si existe más de una forma dentro de un género, por lo que es difícil hacer la identificación. La inclusión de estudios de polen moderno demostró que las lluvias de polen actuales no coinciden con las pasadas, dando pie al problema de falta de modelos analógicos para hacer comparaciones palinológicas. Por lo tanto, es menester ser cauteloso en la interpretación de diagramas polínicos (Faegri e Iversen, 1989).

Fitolitos

Los fitolitos son residuos silíceos producidos por las plantas cuando absorben sílice soluble del agua a través de la raíz y lo transporta al sistema vascular. Son producto de la evaporación y metabolismo que favorece su adhesión a las paredes celulares. Los fitolitos de ópalo son resistentes al intemperismo y son depositados en los suelos al morir la planta. Sin embargo, se fragmentan fácilmente por erosión o alto pH. Comúnmente se preservan *in situ* donde la planta muere, pero pueden ser transportados por animales, en su tracto digestivo, por erosión u otros mecanismos naturales (e.g., viento, agua, hielo) (Yost, 2012).

Existen tres tipos de fitolitos gramíneos: los festucoides, cloridoideos y panicoides. Las formas lisas y alargadas no son útiles en paleoecología, en su lugar, las formas tabuladas representan “fitolitos totales” y junto con aquellos de origen arbóreo y arbustivo son más valiosos (Yost, 2012). Los festucoides (subfamilia Pooideae) se desarrollan en ambientes fríos de climas húmedos. Los cloridoideos (subfamilia Chloridoideae), prefieren los climas cálidos y secos. En los Estados Unidos de América son más comunes en la región sudoeste (Gould y Shaw 1983: 120), mientras que los panicoides (subfamilia Panicoideae) son característicos de climas cálido-húmedos (Twiss 1987: 181). El estudio de estos residuos está rápidamente ganando preferencia en las investigaciones paleoambientales. El lector puede recurrir a Twiss (1987) para mayor información.

Geoquímica (elementos traza, isótopos estables)

A partir de los primeros estudios sobre elementos traza en las valvas de ostrácodos (Chivas *et al.*, 1983) numerosos estudios se han enfocado en el potencial uso de ciertos metales que son incorporados en sus exoesqueletos durante el proceso de calcificación. Entre los metales más utilizados se encuentran el magnesio y el estroncio. Las relaciones Mg/Ca y Sr/Ca en las valvas se atribuye a los efectos metabólicos de incorporación estimulados por factores externos como la temperatura y la salinidad del cuerpo de agua, aunado a su presencia en el agua (Palacios-Fest y Dettman, 2001). Mucha discusión existe sobre si esta relación es biocinética o termodinámica y sobre la

validez de estos metales como indicadores ambientales, pero los investigadores continúan explorando las posibilidades (Dettman y Dwyer, 2012).

Por su parte, los registros de isótopos estables en las valvas de ostrácodos u otros medios han permitido a los especialistas establecer los patrones y momentos de cambio climático en el tiempo y el espacio. Lister (1988), por ejemplo, examinó la desglaciación alpina durante el Holoceno; en tanto que Wrozyña *et al.* (2010) utilizaron isótopos estables para identificar las variaciones de nivel de lago Nam Co, en el Tibet. Mediante las relaciones de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en las valvas de estos crustáceos, los autores establecieron la evolución climática de sus respectivas localidades durante el Cuaternario.

Cómo hemos utilizado estas herramientas

“Contaminación sedimentaria en el Lago Tanganyika, África Oriental y su impacto en las pesquerías: evidencia palinológica y micropaleontológica” (Cohen *et al.*, 2005; Msaky *et al.*, 2005; Palacios-Fest *et al.*, 2005).

A finales del siglo pasado un equipo de geólogos de la Universidad de Arizona, liderados por los doctores Andrew S. Cohen y Manuel R. Palacios-Fest, condujeron investigaciones de corte paleontológico/paleoecológico en ámbitos modernos en la costa nororiental del Lago Tanganyika, África Oriental. Su objetivo fue explicar el impacto que la deforestación en las áreas de drenaje de los ríos Ruzizi, Nyamuseni, Karonge/Kirasa, Mwangongo, Nyasanga, Kahoma, Malagarazi, Lugufu, Kabesi y Lubulungu (de norte a sur) tenían sobre los recursos bióticos de la región y su huella en la sociedad (Figura 1). Si bien este es un estudio actual, las técnicas científicas empleadas incluyeron palinología y micropaleontología entre otras metodologías. Para alcanzar este objetivo, los autores obtuvieron los fechamientos de varios núcleos mediante análisis de radiocarbono e isótopos de ^{210}Pb , para eventos menores de 150 años.

El análisis de microinvertebrados y palinomorfos proporcionó a Msaky *et al.* (2005) y Palacios-Fest *et al.* (2005) un banco de datos de gran valor para determinar los cambios ecológicos sufridos en la cuenca oriental del lago durante el Holoceno tardío. Se compararon los perfiles paleoecológicos de microinvertebrados, principalmente de ostrácodos, pero también de moluscos y espículas de esponja entre núcleos relativamente prístinos en los ríos Nyasanga/Kahama en Tanzania, con aquellos con evidencia de perturbación frente al Río Kabesi en Tanzania y los más perturbados en el norte de Burundi (ríos Nyamuseni/Karonge/Kirasa).

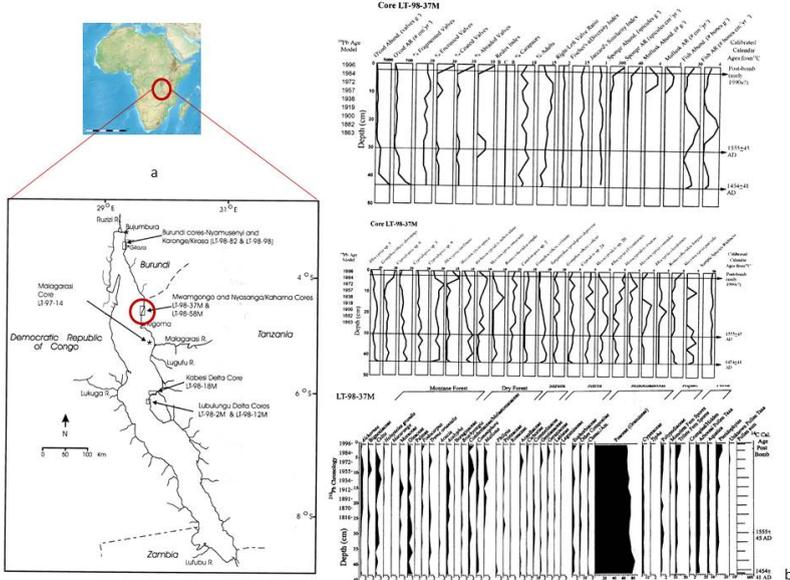


Figura 1. Historia de contaminación sedimentaria en el Lago Tanganyika, África Oriental (Tanzania, Burundi). a) Mapa de localización y ubicación del barreno LT-98-37M discutido en este trabajo. b) Diagramas de microinvertebrados y polen que muestran la historia de reemplazo ecológico en función de la contaminación sedimentaria causada por deforestación (impacto humano) identificada por Cohen *et al.* (2005); Msaky *et al.* (2005) y Palacios-Fest *et al.* (2005). Los diagramas muestran las edades obtenidas por radiocarbono y plomo 210 a ambos extremos de las gráficas. Modificado de Cohen *et al.* (2005); Msaky *et al.* (2005); y Palacios-Fest *et al.* (2005).

History of sedimentary pollution at Lake Tanganyika, East Africa (Tanzania, Burundi). a) General map and location of core LT-98-37M discussed in this paper; (b) microinvertebrates and pollen diagrams showing the ecological replacement in response to sedimentary pollution generated by deforestation (human impact) as identified by Cohen et al. (2005), Msaky et al. (2005), and Palacios-Fest et al. (2005). Diagrams show age control (radiocarbon and lead 210) at each side of the biostratigraphic diagrams. Modified from Cohen et al. (2005), Msaky et al. (2005), and Palacios-Fest (2005).

Los ostrácodos y las espículas de esponja, por ejemplo, tuvieron comportamientos opuestos. Cuando los primeros dominaron durante los largos episodios de estabilidad lacustre, los segundos lo hicieron bajo dos circunstancias diferentes. En el primer caso, aumentaron cuando bajo el nivel

del lago (dos veces durante el Holoceno tardío) y en los últimos 50 años producto del impacto humano. Es durante este periodo que los ostrácodos muestran los cambios faunísticos más drásticos en respuesta a los cambios en los patrones de uso de suelo.

Las variaciones palinológicas, a su vez, reflejaron los cambios vegetativos en las laderas del lago transitando de áreas forestales pre-500 d.C. a pastizales con vegetación arbórea desde 500 d.C. al presente y de zonas forestales a helechos de norte a sur para los mismos periodos. Es decir, los cambios de vegetación en tierra parecen haber estado asociados a las modificaciones antrópicas tanto de mayores núcleos de población al norte y la tala de los bosques de miombo e introducción de cultivos que producen poco polen acompañados de pastizales que producen mucho polen.

Estos estudios de microinvertebrados y palinomorfos indicaron a los autores que los cambios ecológicos registrados en la región subacuática oriental del Lago Tanganyika fueron el resultado de la contaminación sedimentaria producto de la perturbación humana causada durante los últimos 500 años y más específicamente, en los últimos 50 años. En las zonas subacuáticas los microinvertebrados mostraron el paulatino, y a veces abrupto, asolvamiento de los sustratos antes rocosos y ahora lodosos que dieron lugar al reemplazo ecológico de especies. Este proceso se dio en dos etapas. La primera consistió en el cambio sedimentario debido a la erosión de las zonas forestales, y la segunda en el reemplazo ecológico antes dicho. Si bien se trata de un estudio moderno, el mismo nos sirve, con las debidas precauciones, de modelo analógico para interpretar el impacto humano en el pasado.

“Evidencias de la Anomalía Climática Medieval en las Planicies Altas de Texas y sus efectos en las poblaciones humanas: moluscos, ostrácodos, algas calcáreas e isótopos estables” (Palacios-Fest, 2010).

En las planicies altas (*High Plains*) de Texas, en el llamado Texas Panhandle, se localiza el sitio arqueológico 41PT185/C dentro de un pequeño cañón que corta la Formación Ogallala (Quigg *et al.*, 2008). De esta, emana un manantial alimentado por el acuífero de las planicies altas hacia el Upper West Amarillo Creek en las cercanías de Amarillo, Texas (Figura 2). La reconstrucción de ambientes acuáticos antiguos ha permitido a los especialistas reconocer su asociación con asentamientos humanos. Desde el Pleistoceno tardío (ca. 11,500 a.P.) el Texas Panhandle ha sido la residencia de grupos humanos que se movilizaban entre las partes altas y bajas de la región (Johnson y Holliday, 2004). Las evidencias paleontológicas y paleobotánicas nos han permitido entender esta relación en el tiempo. El Upper Amarillo Creek Valley alberga numerosos sitios arqueológicos que muestran uno o más periodos de ocupación

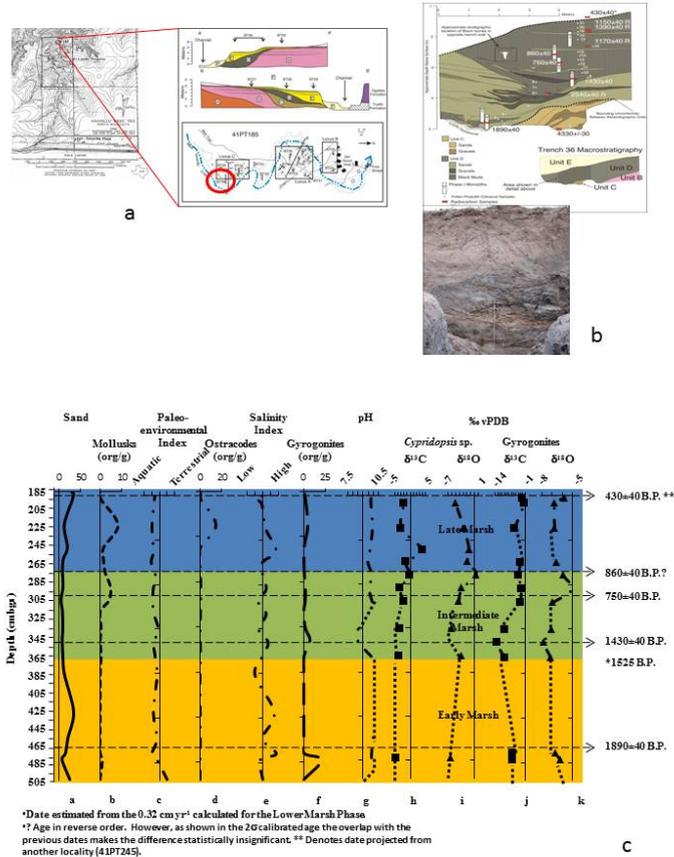


Figura 2.

Registro de la Anomalía Climática Medieval y La Pequeña Edad del Hielo en el sitio arqueológico 41PT185/C en el Upper West Amarillo Creek Valley cerca de Amarillo, Texas, Estados Unidos. a) Mapa de localización y ubicación del sitio arqueológico 41PT185/C; b) Diagrama y fotografía de campo de la estratigrafía del sitio; c) Reconstrucción paleoecológica utilizando moluscos, ostrácodos, algas calcáreas e isótopos estables. La bioestratigrafía muestra tres fases de evolución ambiental identificadas como Humedal temprano, Humedal intermedio y Humedal tardío en los últimos 2 000 años. Modificado de Palacios-Fest (2010).

Medieval Climatic Anomaly and Little Ice Age record at the archaeological site 41PT185/C in the Upper West Amarillo Creek Valley, near Amarillo, Texas, USA. a) General map and site 41PT185/C location; b) Schematic and field photography showing the site's stratigraphy; c) paleoecological reconstruction using mollusks, ostracodes, calcareous algae, and stable isotopes. The biostratigraphic diagram displays three phases of environmental evolution over the past 2 000 years. Modified from Palacios-Fest (2010).

antrópica. El ambiente físico contiene diversos grupos biológicos entre los que se encuentran ostrácodos, moluscos y algas calcáreas. El estudio integral de estos grupos y la incorporación del análisis de isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$) de las valvas de ostrácodos (*Cypridopsis* sp.) y girogonitos (*Chara globularis* y *Nitella flexilis*) contribuyeron a la reconstrucción ambiental del sitio arqueológico entre 1890±40 a.P. y 750±40 a.P.

El control geocronológico lo obtuvo Frederick (2008) de cuatro muestras en orden estratigráfico del perfil expuesto en la pared oriental del arroyo mediante el cual se calcularon tasas de sedimentación que oscilaron de 0.32 cm yr⁻¹ al inicio de la formación del humedal (*Early Marsh Phase*) a 0.07 cm yr⁻¹ durante el estadio intermedio (*Intermediate Marsh Phase*) y nuevamente a 0.33 cm yr⁻¹ durante la última etapa del sistema (*Late Marsh Phase*).

La diversidad faunística fue alta tanto en ostrácodos como en moluscos, no así en algas calcáreas. Los ostrácodos incluyeron 15 especies: *Physocypria globula*, *Physocypria pustulosa*, *Candona patzcuaro*, *Fabaeformiscandona caudata*, *Cypridopsis okeechobei*, *Cypridopsis vidua*, *Ilyocypris bradyi*, *Herpetocypris brevicaudata*, *Potamocypris smaragdina*, *Pseudocandona stagnalis*, *Darwinula stevensoni*, *Eucypris meadensis*, *Limnocythere floridensis*, *Cypria ophthalmica* y *Cavernocypris wardi*. Veinte especies de moluscos fueron identificadas: *Physella virgata*, *Physella gyrina aurea*, *Stagnicola elodes*, *Gyraulus parvus*, *Planorbella scalaris*, *Planorbella trivolvis intertexta*, *Planorbella trivolvis lenta*, *Menetus brogniartianus*, *Fossaria cubensis*, *Pseudosuccinea columella*, *Ferrissia hendersoni*, *Somatogyrus walkerianus*, *Pisidium* sp., *Musculium transversum*, *Pupoides* sp. (1 y 2), *Gastrocopta procera*, *Gastrocopta tappaniana*, *Columella simplex* y *Polygyra* sp. En tanto que tres especies de algas calcáreas fueron identificadas: *Chara globularis*, *Chara filiformis* y *Nitella flexilis* (Palacios-Fest, 2010).

Los isótopos estables, por su parte, mostraron variaciones importantes durante las fases intermedia y tardía, ya que en la temprana el registro fósil fue muy pobre. Durante la fase intermedia los isótopos de carbono y oxígeno covariaron sugiriendo un sistema somero y cerrado (sin drenaje de salida), reflejando la Anomalía Climática Medieval. En tanto que la etapa tardía se caracteriza por señales independientes, consistente con un sistema abierto, más profundo y abierto en concordancia con la Pequeña Edad del Hielo.

El registro micropaleontológico e isotópico de los humedales del Upper West Amarillo Creek durante los últimos 2 000 años coincide con los hallazgos en otras regiones de los Estados Unidos (Petersen, 1988; Stine, 1990; Jones *et al.*, 1999) y marcan la transición de la Anomalía Climática Medieval a la Pequeña Edad del Hielo. Desde el punto de vista arqueológico, este estudio

contribuye a comprender los movimientos de las poblaciones humanas en el área en su busca de agua. Mientras el recurso hídrico fue permanente, las poblaciones fueron permanentes y crecientes como lo indican la cantidad de artefactos asociados a ellas. Al declinar el nivel freático y desaparecer el agua superficial, las poblaciones se mudaron a sitios más propicios y así queda demostrado en el contenido arqueológico obtenido del sitio 41PT185/C. Si bien los fósiles e isótopos no muestran impacto antrópico al ambiente, sus variaciones sí demuestran cómo el ambiente afectó a los humanos.

“El registro paleoecológico de Cladóceras (Crustacea, Latreille), Polen y Geo Bioquímica como indicadores de cambio ambiental e impacto humano en Polonia” (Pawlowski *et al.*, 2015).

La identificación y distinción entre cambio climático e impacto humano es difícil de reconocer. Desde el Neolítico la presión antrópica sobre el ambiente ha ido en aumento (Kalicki, 2006; Hoffmann *et al.*, 2008) pero distinguirlo de los procesos naturales contemporáneos es complicado (Zolitschka *et al.*, 2003; Thorndycraft y Benito, 2006, Kittel, 2014). Las zonas pantanosas de Polonia central reúnen características propicias para estudiar e intentar reconocer el uno del otro (Pawlowski *et al.*, 2015). El registro se expande por más de 9 000 años como lo indican los análisis de alta resolución de Cladóceras, polen y geo bioquímica de un barreno fechado por radiocarbono de los suelos en el valle del Río Grabia (Pawlowski *et al.*, 2015) (Figura 3). Aunque fragmentario por las constantes fluctuaciones en el nivel freático, el registro es útil en la reconstrucción ambiental del valle y la identificación de impacto antrópico.

En su investigación Pawlowski *et al.* (2015) encontraron seis biozonas de Cladóceras con base en la presencia de varias especies pertenecientes a tres familias (Bosminidae, Daphnidae, y Chydoridae). Por su parte, el polen proyectó cinco biozonas locales caracterizadas por especies de hábitats húmedos del género *Alnus* que existen desde hace 8 500 años. Helechos (esporas monoletes) y pastizales (del tipo *Carex*, Cyperaceae), pinos y bosques deciduos (*Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Corylus*) les acompañan. A partir de 1750 d.C. la región ha sido deforestada y *Betula* (fotófila) y Poaceae les reemplazan a partir de entonces. El análisis geobioquímico basado en sílice biógeno (%), concentración de potasio (K, mg kg⁻¹), y carbón orgánico total (TOC, at./at.) emitió siete quimiozonas para el mismo intervalo.

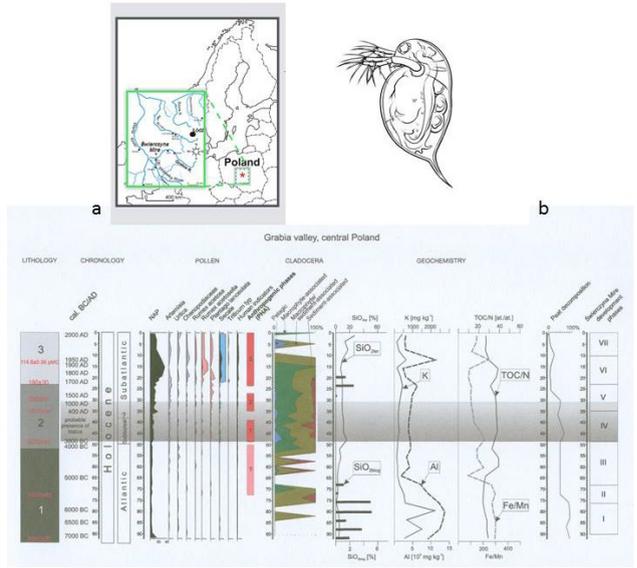


Figura 3. Paleoeecología de Cladóceros en el valle del Río Grabia, Polonia central. a) Mapa de localización del Pantano Świerczyna Mire. b) Esquema de *Daphnia* sp. (Cladóceros). c) Bioestratigrafía del sitio incluyendo Cladóceros, polen y geoquímica. De izquierda a derecha se muestran tres intervalos geocronológicos y fechamientos, polen, Cladóceros, geoquímica, composición de la turba y las biofacies identificadas por Pawlowsky et al. (2015). Modificado de Pawlowski et al. (2015).

Cladocera paleoecology of Grabia River, central Poland. a) General map and location of Świerczyna Mire. b) Schematic of Daphnia sp. (Cladocera). c) Biostratigraphic history including Cladocera, pollen, and geochemistry. From left to right three geochronologic intervals and age control, pollen, Cladocera, geochemistry, peat composition, and biofacies identified by Pawlowsky et al. (2015). Modified from Pawlowsky et al. (2015).

De acuerdo con estos conjuntos, las variaciones en el nivel del agua estuvieron asociadas a cambio climático, pero también influenciadas por las actividades humanas en el área. El Río Grabia desplaza grandes volúmenes de agua anualmente y más aún durante los periodos húmedos del Holoceno cuando la precipitación efectiva incrementó notablemente. Al mismo tiempo incrementaba la deforestación y erosión de suelos por causas antrópicas forzando a los cladóceros a retroceder o avanzar en el ecosistema de conformidad con las variaciones hídricas y sedimentarias que marcaron el cambio ambiental. La distribución cronoestratigráfica de estos organismos permitió a los autores proponer cuatro fases de alternancia climática en el

Pantano Ierchez na: 5800-5500 a.C.; 4500-4300 a.C.; 4200-3800 a.C.; y 400 d.C. Por su parte, la actividad humana dejó una huella clara en, por lo menos, tres fases: 1300 d.C.; 150 d.C.; 1650 d.C.; y el siglo pasado) en combinación con cambio climático. Durante la Edad Media y el siglo XX el efecto antrópico fue más notorio.

De igual manera, el polen responde a los procesos inducidos por los humanos con el incremento de plantas sinantrópicas (por intensificación de la agricultura) y el incremento de minerales en las turbas. La interacción entre los factores bióticos y abióticos (componentes geobioquímicos) son indicadores de inundaciones, influencia del clima o de impacto humano en el ambiente.

“Los fitolitos del sitio arqueológico Las Capas durante el periodo Agrícola temprano en Tucson, Arizona” (Yost 2012).

El sitio arqueológico Las Capas (AZ AA:12:111 [ASM]) en Tucson, Arizona, ha sido objeto de intensas investigaciones geoarqueológicas incluyendo microinvertebrados, geoquímica (Palacios-Fest *et al.*, en revisión), polen y fitolitos. Los resultados de Yost (2012) sobre el análisis de fitolitos en los canales de irrigación y suelos agrícolas de la Fase San Pedro del periodo Agrícola temprano (950-800 a.C.) demostró que estos residuos fueron abundantes y en excelente estado de preservación (Figura 4). Los fitolitos fueron acarreados por limo en suspensión tanto por los canales de irrigación como por las inundaciones que afectaron el área periódicamente, depositándolos en los campos agrícolas.

Si bien, buena parte de estos cristales silíceos proceden de aguas arriba del Río Santa Cruz, las especies de importancia económica como el maíz (*Zea mays*) y la calabaza (*Lagenaria siceraria*) fueron recuperadas de los sedimentos junto con los de plantas C3 (gramíneas), como la cebada (*Hordeum* sp.), lo que sugiere condiciones de bajas temperaturas. Fitolitos de otros miembros de la familia Cucurbitaceae aparecieron en algunas localidades dentro del sitio, pero en general fueron raros.

La presencia de plantas C3 sugiere que su cultivo fue intencional durante el invierno tardío y primavera temprana; cosechados durante el verano en Las Capas. La cebada silvestre (*Hordeum pusillum*) fue domesticada y esta última versión se encuentra en cultivos hechos por los Hohokam, pero no en los del periodo Agrícola temprano. La forma silvestre se ha identificado en sitios contemporáneos al que representa este estudio en el sitio Los Morteros (periodo Arcaico tardío) aproximadamente 5 km al norte de Las Capas (Miksicek, 1989). Algunos fitolitos diagnósticos del género *Phragmites* (juncos) presentes

en algunas áreas de este sitio arqueológico concuerdan con la proximidad del sitio con el Río Santa Cruz, ya que indican suelos húmedos.

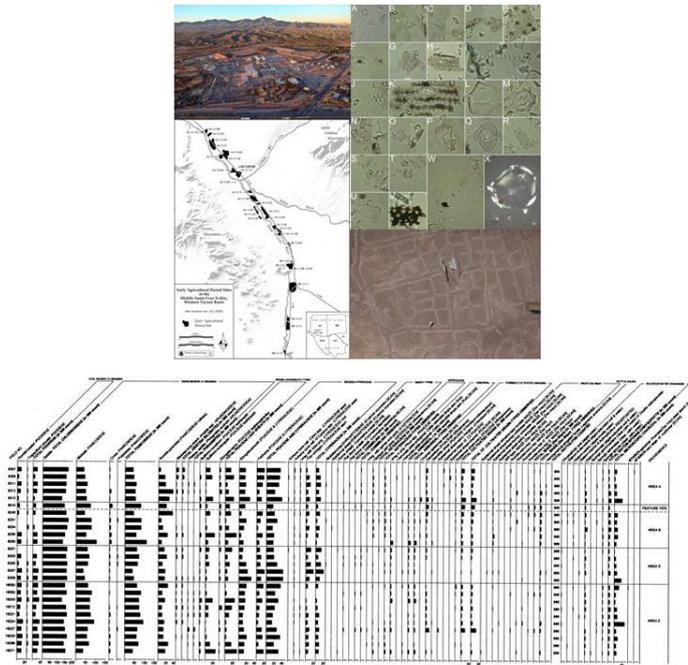


Figura 4. Reconstrucción paleoambiental del sitio arqueológico Las Capas (AZ AA:12:111 [ASM]), Tucson, Arizona, Estados Unidos, utilizando fitolitos. a) Imagen compuesta de vista aérea del sitio, mapa de localización dentro de la cuenca del Río Santa Cruz, imagen aérea de un área agrícola dentro del sitio durante el periodo Agrícola temprano, e imágenes de microscopia compuesta de fitolitos presentes. b) Distribución cronoestratigráfica de los fitolitos identificados por Yost (2012). Modificado de Yost (2012). Imágenes aéreas y mapa cortesía de Henry Wallace y Desert Archaeology, Inc. Fotografías de microscopias y diagrama bioestratigráfico, cortesía de Chad Yost.

Paleoenvironmental reconstruction of Las Capas archaeological site (AZ AA:12:111 [ASM]), Tucson, Arizona, USA using phytoliths. a) Composite images of site's aerial photograph, location map within the Santa Cruz River basin, aerial photograph of an agricultural fields of the Early Agricultural Period, and microscope photographs of some of the phytoliths identified by Yost (2012). Modified from Yost (2012). Aerial photographs and location map courtesy of Henry Wallace and Desert Archaeology, Inc. Microscope photographs and biostratigraphic diagram courtesy of Chad Yost.

El autor concluye, certeramente, que ningún estudio por sí mismo ofrece todas las respuestas, pero cada herramienta científica nos da la oportunidad de enriquecer el acervo de conocimiento sobre los sitios arqueológicos que investigamos. Además, mediante estudios multidisciplinarios es posible integrar un modelo realista de las condiciones ambientales que prevalecieron durante el periodo de ocupación del sitio y, contrariamente, como la actividad humana afectó o ha afectado el ambiente.

Importancia de los estudios paleoambientales

Una de las contribuciones más notables de la paleoecología a la arqueología es la posibilidad de reconocer los efectos de la actividad humana sobre el ambiente. Para entender esta relación es indispensable identificar el papel que nuestra especie ha jugado prehistórica e históricamente. La relación de la especie humana con otras especies (en especial la fauna) es vital por la presión que la primera ejerce sobre la segunda continuamente. Esta, a su vez, tiene un impacto sobre la vegetación y otras especies como lo ejemplifica el estudio neocológico del Lago Tanganyika que, extrapolado al pasado, puede darnos indicios de este tipo de impactos en el tiempo geológico.

En sitios antiguos, como los ejemplificados en esta síntesis, queda de manifiesto la interacción antrópico-ambiental como es el caso del estudio en el Pantano Ierz na en Polonia central o el de los fitolitos agrícolas en Las Capas, Tucson, Arizona. Por otra parte, el estudio en el Upper West Amarillo Creek Valley de Texas, refleja las condiciones que propiciaron las migraciones de poblaciones flotantes en la región durante los últimos 2 000 años. En conclusión, la paleoecología de microfósiles es una herramienta indispensable en el entendimiento de nuestra relación con el ambiente.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento al doctor Mario A. Rivera por la invitación a colaborar con esta investigación. Las figuras que ilustran este trabajo han sido modificadas de los trabajos originales citados en cada caso, por lo que agradezco a dichos autores y sus casas editoriales la autorización para duplicar y combinar sus figuras.

Bibliografía

Allen, G.O., *British Stoneworts (Charophyta): Arbroath*, Great Britain, printed for Haslemere Natural History Society by T. Bunclay, 1950.

- Battarbee, R.W., "Chapter 26- Diatom Analysis", in Berglund, B.E. (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, The Blackburn Press, Caldwell, NJ., 1986, pp. 527-570.
- Berglund, B.E. and Ralska-Jasiewiczowa, M., "Chapter 22- Pollen analysis and pollen diagrams", in Berglund, B.E. (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, The Blackburn Press, Caldwell, NJ., 1986, pp. 455-484.
- Birks, H.J.B. and Birks, H.H., *Quaternary Paleocology*, Edward Arnold, London, 1980, 289 pp.
- Bodergat, A.M., "Composition chimique des carapace d'ostracods paramètres du milieu de vie", in Oertli, H.J. (ed.), *Atlas des Ostracods de France*, Bulletin du Centre de Recherche Exploration Production Elf-Aquitaine, Mèmoire, 9, 1985, pp. 319-386.
- Chivas, A.R., DeDeckker, P. and Shelley, J.M.G., "Magnesium, strontium, and barium partitioning in nonmarine ostracode shells and their use in paleoenvironmental reconstructions- A preliminary study", in Maddocks, R.F. (ed.), *Application of Ostracoda*, 8th International Symposium on Ostracoda, University of Houston Geosciences, Houston, 1983, pp. 238-249.
- Dettman, D.L. and Dwyer, G.S., "Chapter 9- The calibration of environmental controls on elemental ratios in ostracod shell calcite: A critical assessment", in Horne, D.J., Holmes, J.A., Rodriguez-Lazaro, J., and Viehberg, F.A. (eds.), *Ostracoda as proxies for Quaternary climate change, Developments in Quaternary Sciences*, núm. 17, 2012, pp. 145-163.
- Dillon, R.T., Jr., *The Ecology of Freshwater Molluscs*, New York, Cambridge University Press, 2000
- Dillon, R.T., Jr., Stewart, T.W., *The freshwater gastropods of South Carolina*, 2003, electronic document, <<http://www.cofc.edu/~FWGNA/FWGSC>>.
- Dincauze, D.F., *Environmental Archaeology: Principles and Practice*, Cambridge University Press, New York, 2000.
- Dodson, S.I. and Frey, D.G., "Cladocera and other Branchiopoda", in Thorp, J.H. and Covich, A.P. (eds.), *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*, Academic Press, New York, 2001, pp. 850-914.
- Faegrie, K. and Iversen, J., *Textbook of pollen analysis*, John Wiley, Muskgaard, Copenhagen, 1964 (1975).
- Faegri, K. and Iversen, J., "Which plant?: Identification keys for the north-west European pollen flora- Chapter 12", (extracted from the Textbook of Pollen Analysis), John Wiley, New York, 1989, 51 pp.
- Fryer, G., (Last Updated). "Cladocera, The Water Fleas", 1993, <<http://www.fiss.purplenet.co.uk/data/Clainfo.HTM>>, accessed May 23, 2016.
- García, A., "Charophyta: their use in paleolimnology", *Journal of Paleolimnology*, no. 10, 1994, pp. 43-52.
- Gould, F.N. and Shaw, R.B., *Grass Systematics*, Texas A&M University Press, College Station, 1983.
- Grambast, L., "Phylogeny of Charophyta", *Taxon*, no. 23, 1974, pp. 463-481.
- Hardesty, D.L., *Ecological anthropology*, New York, John Wiley and Sons, 1977.

- Horne, D., Cohen, A.C. and Martens, K., "Taxonomy, morphology and biology of Quaternary and living Ostracoda", in Holmes, J.A., and Chivas, A.R. (eds.), *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*, AGU Geophysical Monograph 131, Washington, D.C., 2002, pp. 5-36.
- John, D.M., Whitton, B.A. and Brook, A.J., *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*, Cambridge University Press, London, 2002.
- Kittel, P., Muzolf, B., Plociennik, M., Elias, S., Brooks, S.J., Lutyrska, M., Pawlowski, D., Stachowicz-Rybka, R., Wacnik, A., Okupny, D., Glab, Z., and Mueller-Bieniek, A., "A multi-proxy reconstruction from Lutomiersk-Koziowki, Central Poland, in the context of early modern hemp and flax processing", *Jour. Archaeol. Sci.*, no. 50, 2014, pp. 318-337.
- Korhola, A. and Rautio, M., "Chapter 2- Cladocera and other branchiopod crustaceans", in Smol, J.P., Birks, H. John B., and Last, W., (eds.), *Tracking environmental change using lake sediment*, vol. 4, Zoological Indicators, Kluvier Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001.
- Lister, K.H., "Stable isotopes from lacustrine ostracodes as tracers for continental palaeoenvironments", in De Deckker, P., Colin, J.P. and Peypouquet, J.P. (eds.), *Ostracoda in the Earth Sciences*, Elsevier, Amsterdam, 1988, pp. 201-218.
- Mannon, A.M., "Fossil diatoms and their significance in archaeological research", *Oxford Journal of Archaeology*, vol. 6, no. 2, 1987, pp. 131-147.
- Moore, P.D. and Webb, J.A., *An illustrated guide to pollen analysis*, Hodder and Stoughton, London, 1978, 133 pp.
- Palacios-Fest, Manuel R., "Significance of ostracode studies in geoarchaeology: Examples from the United States Southwest", *Kiva*, vol. 68, no. 1, 2002, pp. 49-66.
- Palacios-Fest, M.R. and Dettman, D.L., "Temperature controls monthly variation in ostracode valve Mg/Ca: *Cypridopsis vidua* from a small lake in Sonora, Mexico", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 65, no. 15, 2001, pp. 2499-2507.
- Palacios-Fest, M.R., Dettman, D.L., Vint, J., Nials, F. and Baron, D., in review, "Early Agricultural Period paleohydrochemical history of networked irrigation canals at Las Capas (Site AZ AA:12:753 [ASM])", Tucson, Arizona, Arizona Archaeology.
- Pawlowski, D., Milecka, K., Kittel, P., Woszczyk, M. and Szychalski, W., "Palaeoecological record of natural changes and human impact in a small river valley in Central Poland", *Quaternary International*, no. 370, 2015, pp. 12-28.
- Ponder, W.F., Lindberg, D.R. (eds.), *Phylogeny and Evolution of the Mollusca*, Berkeley, University of California Press, 2008, 481 pp.
- Punt, W. and Clarke, G.C.S., *The northwest European pollen flora*, I- Elsevier Scient. Publ. Com., Amsterdam, 1976.
- Rapp, G. Jr., and Hill, C.L., "Geoarchaeology", *The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation*, Yale University Press, New Haven, 1998.
- Round, F.E., Crawford, R.M. and Mann, D.G., *The Diatoms, Biology and Morphology of the Genera*, Cambridge University Press, 1990, 747 pp.

- Rutherford, J., *Ecology illustrated field guides*, Wilfrid Laurier University, Waterloo, Ontario, 2000, electronic document <<http://info.wlu.ca/~wwwbiol/bio305/Database>>, accessed 20 October 2016.
- Smirnov, N.N., "Chapter 3- Chemical Composition", in Smirnov, N.N. (ed.), *Physiology of the Cladocera*, Tokyo, Academic Press, Elsevier, 2014.
- Starrat, S.W., *Holocene diatom flora and climate history of Medicine Lake*, Northern California, USA, Nova Hedwigia, 2011.
- Stoermer, E.F. and Smol, J.P., *The Diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences*, Cambridge University Press, 1999, 469 pp.
- Traverse, A., "Paleopalynology", *Topics in Geobiology*, volume 28, 2nd edition, 2007.
- Twiss, P.C., "Grass-Opal Phytoliths as Climatic Indicators of the Great Plains Pleistocene", in Johnson, W.C. (ed.), *Quaternary Environments of Kansas*, 5 ed., Kansas Geological Survey Guidebook Series, 1987, pp. 179-188.
- Waters, M.R., *Principles of Geoarchaeology: A North American Perspective*, The University of Arizona Press, Tucson, 1992.
- Wrozyna, C., Frenzel, P., Steeb, P., Zhu, L., van Geldern, R., Mackenzen, A. and Schwab, A., "Stable isotope and ostracode species assemblage evidence for lake level change of Nam Co, southern Tibet, during the past 600 years", *Quaternary International*, no. 212, 2010, pp. 2-13.