

Reconstrucción del paleoclima entre el Clásico y Posclásico del sitio La Malinche, Tenancingo, Estado de México.

Mayra L. García-Bernal¹, Mariana Castañeda-Casas² y J. Alberto Cruz³

¹Centro Universitario UAEM Tenancingo, Código postal 52400, Tenancingo, Estado de México, E-mail: <mayra.garciab7721@gmail.com>, ²Autor de Correspondencia, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, Moneda 16, Col. Centro, Ciudad de México, 06060, México. E-mail <cruzsilvajac@yahoo.com.mx>

Resumen

El interés en los estudios paleoecológicos está creciendo en la actualidad debido al cambio climático actual, por lo que se esperaría que la investigación arqueológica proporcione información sobre los cambios ambientales que ocurrieron en el pasado y que puedan compararse con el presente. Sin embargo, a pesar del desarrollo de herramientas tecnológicas basadas en la biogeografía y el nicho ecológico, su aplicación en la arqueología reciente es escasa y nula en los estudios mexicanos. Para mostrar el alcance que puede tener este tipo de investigación, se realizó un análisis para reconstruir el paleoambiente del sitio arqueológico La Malinche, Tenancingo, Estado de México, con base en información de 13 géneros vegetales recuperados. Se utilizaron bases de datos digitales para obtener datos de presencia, procesar un modelo de nicho ecológico y reconstruir el clima en diferentes períodos de La Malinche, utilizando el método de rango ecogeográfico mutuo. Los resultados sugieren cambios climáticos regionales breves entre el Clásico Medio y el Posclásico Medio-tardío, donde las condiciones fueron más cálidas y húmedas que en otros períodos. Este estudio apoya una hipótesis ambiental confiable para comprender cómo el ser humano interactuó con su entorno en el pasado.

Palabras clave: arqueobotánica, palinología, modelos de distribución de especies, México.

Abstract

The interest in palaeoecological studies is growing due to current climate change, then it would be expected that archaeological investigation would provide information on environmental changes that occurred in the past and that can be compared with the present. However, despite the development of technological tools based on biogeography and the ecological niche, its application in recent archaeology is scarce and null in Mexican studies. To show the scope that this kind of investigation may have, an analysis to reconstruct the paleoenvironment of the archaeological site La Malinche, Tenancingo, State of Mexico, was carried out,

based on information from 13 recovered plant genera. Digital databases were used to obtain presence data, process an ecological niche model, and reconstruct the climate in different periods of La Malinche, using the mutual ecogeographic range method. The results suggest brief regional climate changes between Middle Classic and Middle-Late Postclassic, where conditions were warmer and wetter than other periods. This study supports a reliable environmental hypothesis to understand how the human being interacted with his environment in the past.

Keywords: archaeobotany, palinology, species distribution models, Mexico.

Introducción

La paleoecología se encarga de poner a prueba la teoría ecológica actual en el tiempo geológico, para tratar de reconstruir la vida de los organismos en el pasado y los ambientes donde habitaban, infiriendo como era la estructura de la vegetación y el clima en épocas pasadas (Louys, 2012). Una forma de acercarse a la reconstrucción de los ambientes del pasado es a través de análisis palinológicos que utilizan restos de polen y esporas, para describir los cambios de la vegetación y el clima; debido a que los granos de polen producidos por las plantas se incorporan por el viento a cuerpos de agua y en los sedimentos del suelo. Los factores que influyen en el transporte del polen son el tamaño, forma, densidad, posición de los granos y distribución de las plantas, así como las condiciones climáticas de la época (Gerald, 1999).

La vegetación es un elemento fundamental dentro del medio ambiente, ésta, se va a caracterizar por su composición, su distribución, su organización espacial y sobre todo por su relación con fenómenos de la naturaleza como la temperatura y la precipitación (Gerald, 1999). Una forma de analizar datos geográficos localizables espacialmente es a través de la geografía cuantitativa, cuya idea central es que, a pesar de la complejidad y la diversidad de los fenómenos espaciales, existen patrones que permiten explicarlos (Madrid y Ortiz, 2005).

Muchas de las reconstrucciones paleoambientales en México, en contextos arqueológicos y holocénicos, están basadas en análisis polínicos (Metcalf et al, 2000; Ludlow-Wiechers et al, 2005; McClung de Tapia, 2015; Dedrick et al, 2020; Lozano-García et al, 2021; Ortega-Guerrero et al, 2021) donde se usa la información de los taxa presentes en las excavaciones arqueológicas, la abundancia y/o porcentaje de presencia analizados con diagramas estratigráficos o análisis de similitud entre las diferentes capas de sedimento analizadas (Pearsall, 2018). El estudio de polen tiene una gran tradición de colecta de datos con bases disponibles en línea como PalDat (www.paldat.org), la Base de datos de polen canadiense ("<http://www.lcp.uottawa.ca/data/cpd/>") y la base de datos de polen europeo ("<http://www.europeanpollendatabase.net>"), por mencionar algunas (Smith, 2021). Por lo que el uso de la palinología en arqueología en México ha mostrado variaciones climáticas durante el establecimiento de los primeros pobladores (Sedov et al, 2010; Acosta-Ochoa et al, 2013; Acosta et al, 2018), los

estudios de cambio de uso de suelo desde épocas prehispánicas en el centro del país (McClung de Tapia, 2015; Borejsza et al, 2017) y el uso de plantas por parte de las culturas teotihuacanas (Vásquez-Alonso et al, 2014; McClung de Tapia y Martínez-Yrizar, 2017).

Existen estudios paleoclimáticos basados en restos polínicos que utilizan la información del nicho climático de los taxa encontrados (e.g. Correa-Metrio et al, 2012), donde se utilizó la información del nicho climático y la distribución geográfica de las especies fósiles para reconstruir el paleoclima del Mioceno (23 millones de años AP) de México (Hernández-Hernández et al, 2020). Esto es debido a que el clima es el principal factor ecológico que a escala regional influye y se expresa principalmente en los cambios de la flora. La variabilidad climática, la precipitación, las condiciones térmicas, el agua, la luz, la humedad y las condiciones del suelo son los factores que determinan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los índices climáticos contribuyen a conocer la relación entre las condiciones climáticas de un área y las formaciones vegetales (Duval et al, 2015).

Algunos estudios han explorado utilizar herramientas geográficas en arqueología para inferir las condiciones ambientales que pudieron intervenir en el establecimiento de sociedades en el pasado (Burg y Howey, 2020; Rafuse, 2021). En el presente trabajo se utilizaron los análisis polínicos del sitio arqueológico La Malinche, México, se combinaron con la información del nicho climático y la distribución de los restos de plantas identificados con el polen, con el objetivo de reconocer los cambios y la variabilidad del paleoclima del sitio arqueológico a través del tiempo, así como las características ambientales que permitieron el desarrollo de la vegetación de la época prehispánica contrastándolo con el tipo de vegetación identificado en el año 2014. Y con ello, acercarnos a una pequeña fracción de conocimiento de cómo era el medio ambiente en el pasado, lo que nos llevaría a realizar nuevas preguntas de investigación que nos aporten información para entender la interacción, relación, domesticación, cosmovisión, uso y consumo, así como las actividades de una sociedad con su medio ambiente.

Sitio de estudio

El sitio arqueológico La Malinche se encuentra ubicado al sur del Estado de México en las coordenadas 18.922025° de latitud norte y 99.592856° longitud oeste, entre los 2200 y 2700 msnm (Figura 1). Geográficamente colinda al norte con Tenango del Valle y Joquicingo, al este con parte de Joquicingo y Malinalco, al sur con Zumpahuacán y al oeste con Villa Guerrero (INEGI, 2009) (Figura 1).

La Malinche se ha clasificado dentro de una tipología de sitios regional como un sitio de primer orden, tiene una extensión mayor a 138 ha, la densidad de material cerámico es alta, existe una adaptación topográfica del cerro que ocupa diferentes edificaciones y estructuras. Los montículos están dispuestos de forma nucleada, la arquitectura pública exhibe el dominio y el control que pudo haber tenido en la región de lo que hoy es Tenancingo (Miranda, 2013). El cerro fue

modificado para la construcción de terrazas de cultivo y habitacionales. Se han registrado 21 elementos como petrograbados, arquitectura monolítica y pintura rupestre con una ocupación del Preclásico Superior (400 a.C. – 200 d.C.) hasta el Posclásico Tardío (1200 – 1521 d.C.) (Palma-Linares, 2014, 2019; Zúñiga, 2010).

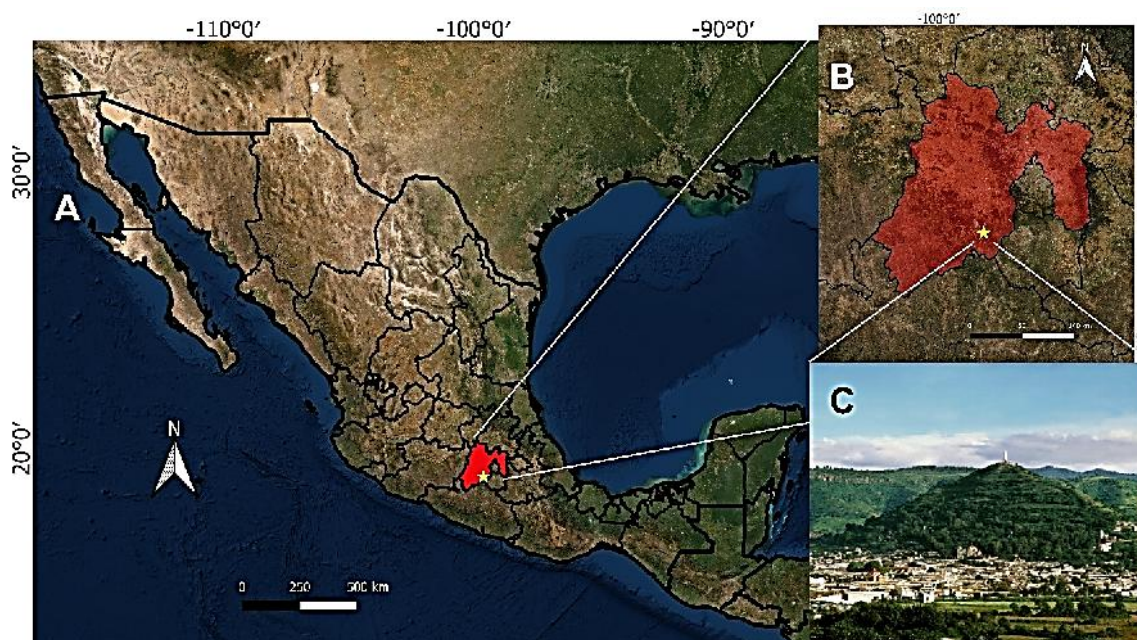


Figura 1. - Ubicación del sitio arqueológico La Malinche en la República Mexicana (A), al sur del Estado de México (B) y con una vista panorámica del Valle de Tenancingo (C). Fotografía de la vista panorámica tomada de Miranda (2013).

Se cuenta con los registros pioneros del sitio realizados por Enrique Juan Palacios (1925), Roque Ceballos (1942) y Horacio Corona Olea (1948), que incluyen diversas descripciones, dibujos de los petrograbados y las pinturas rupestres, posteriormente en el año 2009 se realizaron estudios formales de recorrido de superficie a nivel regional en el área de Tenancingo (Palma-Linares, 2018). El primer estudio arqueobiológico del sitio de La Malinche lo realizó Castañeda (2015, 2016) donde se llevó a cabo el análisis de material polínico de Tenancingo y Villa Guerrero.

Materiales y Métodos

Taxa utilizados

Los datos provienen del proyecto “*Estudio arqueopalínológico de las terrazas del sitio La Malinche, Tenancingo, Estado de México*” realizado por Castañeda (2015). Se identificaron dos tipos de terrazas dentro del sitio arqueológico: 1) de tipo habitacional porque se encuentran cerca del área nuclear, y 2) las destinadas a cultivos y subsistencia agrícola. El área de muestreo

seleccionada para las excavaciones fueron las terrazas de uso habitacional por la cercanía al sitio arqueológico, este tipo de terrazas se conforman por la casa-habitación y un *calmilli* (pequeñas huertas donde se encontraban las plantas elementales para cubrir las necesidades de alimentación). Se eligieron la terraza sur y la terraza norte porque en el área sur no había presencia de cultivos y el área norte sí contaba con zonas de cultivo que se trabajaban de manera activa para el año en el que se llevó a cabo la investigación de Castañeda (2015). Se realizaron excavaciones intensivas en dichas áreas, con un pozo de sondeo de 1 x 1 m hasta llegar a capa estéril. Se tomó la metodología de excavación arqueológica por estratigrafía para recuperar la información necesaria, así como las muestras de sedimentos (Castañeda, 2015). Se realizó una base de datos con los tipos polínicos identificados por Castañeda (2015), de los cuales se seleccionaron los tipos de polen identificados a nivel de género (este nivel taxonómico contiene información más precisa de los taxa), por cada capa estratigráfica de ambas unidades (pozos) de excavación, obteniendo un total de 13 géneros, presentes en los registros palinológicos del sitio (Tabla 1).

Pozo 1				
Capa estratigráfica	Profundidad (cm)	Cronología relativa	Polen identificado	Porcentaje de representatividad
Superficial	0	Postclásico medio y tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.)	<i>Acacia</i>	1%
			<i>Juniperus</i>	6%
			<i>Casuarina</i>	<1%
			<i>Mimosa</i>	6%
			<i>Pinus</i>	2%
			<i>Zea mays</i>	2%
Capa 1	3	Clásico medio (Teotenango 650-750 d.C.)	<i>Acacia</i>	1%
			<i>Alnus</i>	<1%
			<i>Juniperus</i>	5%
			<i>Fraxinus</i>	1.50%
			<i>Mimosa</i>	1%
			<i>Quercus</i>	< 1%

Capa 2	7	Clásico medio (Teotenango 650-750 d.C.)	<i>Casuarina</i>	< 1%
			<i>Fraxinus</i>	1.50%
			<i>Pinus</i>	< 1%
			<i>Quercus</i>	2%
Capa 3	20	Formativo medio al superior (Malinalco 1200 a.C. - -200 d.C.)	<i>Juniperus</i>	3%
			<i>Casuarina</i>	< 1%
			<i>Fraxinus</i>	< 1%
			<i>Quercus</i>	1.50%
Capa 4	29	Clásico medio (Teotenango 650-750 d.C.)	<i>Juniperus</i>	3%
Capa 5	32	Clásico medio (Teotenango 650-750 d.C.)	<i>Alnus</i>	3%
			<i>Bursera</i>	< 1%
			<i>Juniperus</i>	3.50%
			<i>Fraxinus</i>	<1%
			<i>Pinus</i>	< 1%
Capa 6	43	Clásico medio (Teotenango 650-750 d.C.)	<i>Alnus</i>	2%
			<i>Juniperus</i>	2%
			<i>Pinus</i>	<1%
			<i>Salix</i>	<1%
			<i>Quercus</i>	1%
Capa 7	53	Clásico medio (Teotenango 650-750 d.C.)	<i>Alnus</i>	2%
			<i>Casuarina</i>	<1%

Capa 8	63	Clásico medio periodo 1 agua en Teotenango 650-750 d.C.	<i>Pinus</i>	<1%
Pozo 2				
Capa estratigráfica	Profundidad (cm)	Cronología relativa	Polen identificado	Porcentaje de representatividad
Superficial	0	Postclásico medio y tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.)	<i>Alnus</i>	3%
			<i>Cucurbita</i>	2%
			<i>Juniperus</i>	5%
			<i>Mimosa</i>	5%
			<i>Pinus</i>	4%
			<i>Quercus</i>	8%
			<i>Zea mays</i>	1%
Capa 1	11	Clásico medio (Teotenango 650-750 d.C.)	<i>Alnus</i>	<1%
			<i>Fraxinus</i>	<1%
			<i>Quercus</i>	3%
Capa 2	15	Postclásico medio y tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.)	<i>Cucurbita</i>	<1%
			<i>Juniperus</i>	<1%
			<i>Pinus</i>	2%
			<i>Quercus</i>	<1%
Capa 3	33	Fase III (Malinalco 400 a.C.- -200 d.C.) Formativo superior	<i>Cupressus</i>	4%

			<i>Pinus</i>	<1%
			<i>Quercus</i>	3%
Capa 4	37	Clásico y Postclásico (Xochicalco 200 d.C. -1420 d.C.)	Identificación a n de familia	
Capa 5	46	Postclásico medio y tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.)	<i>Alnus</i>	<1%
			<i>Cupressus</i>	1%
			<i>Fraxinus</i>	2%
			<i>Pinus</i>	< 1%
			<i>Quercus</i>	2%
Capa 6	57	Postclásico medio y tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.)	<i>Cupressus</i>	3%
			<i>Juniperus</i>	2%
			<i>Fraxinus</i>	<1%
			<i>Pinus</i>	1%
			<i>Quercus</i>	1%

Tabla 1.- Taxa identificados a nivel de género en el material polínico del sitio La Malinche por Castañeda (2015).

Modelos de distribución potencial

Para realizar los modelos de distribución de los 13 géneros identificados por Castañeda (2015), se obtuvieron los datos de presencia de la base de datos digital *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, 2021). Los registros de presencia se obtuvieron con base en los siguientes criterios: nombre científico, especímenes preservados y asociado a coordenadas geográficas. Los datos obtenidos fueron procesados en el programa *Wallace* (Kass et al, 2018), el cual es un código de uso abierto y gratuito, permite la descarga y carga de datos que hace flexible la adquisición de información. En su interfaz cuenta con un mapa interactivo, tablas ordenables y un visualizador de datos. La plataforma está diseñada para facilitar la investigación de la biodiversidad espacial y generar modelos que proporcionen una estimación de las especies de acuerdo con las condiciones ambientales (Kass et al, 2018).

Los datos de presencia fueron depurados al eliminar los registros duplicados y los puntos que se encontraban a menos de 1km de distancia entre sí. Posteriormente, se obtuvieron los datos ambientales a partir de las 19 variables bioclimáticas de WorldClim (Fick y Hijman, 2017), con una resolución de 30 arc sec (~1km). El área de calibración del modelo correspondió a un radio de 1000 km alrededor del sitio La Malinche para involucrar diferentes tipos de vegetación y una variedad climática representativa de la República Mexicana, en los alrededores del sitio arqueológico. Posteriormente, para cada género se realizó el modelo utilizando el polígono convexo mínimo entre los puntos de presencia de cada género con un buffer de 0.5 grados y 10 000 puntos de pseudoausencias (background). Se realizó la partición (k = 4) de los datos de ocurrencia dentro del polígono, se utilizó el algoritmo de Maxnet (implementado en Wallace) seleccionando las clases de entidad del modelo: L (linear), Q (quadratic), H (hinge), P (product), con un multiplicador de regularización de 1 y eliminando el *clamping*. Para validar los modelos se escogieron aquellos con el mayor valor del área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés) y la menor tasa de omisión (OR, por sus siglas en inglés). Finalmente, los modelos se hicieron binarios (1 = condiciones óptimas para la presencia del género, 0 = condiciones no óptimas para la presencia del género) utilizando el 10 percentil *training presence* (Figura 2).

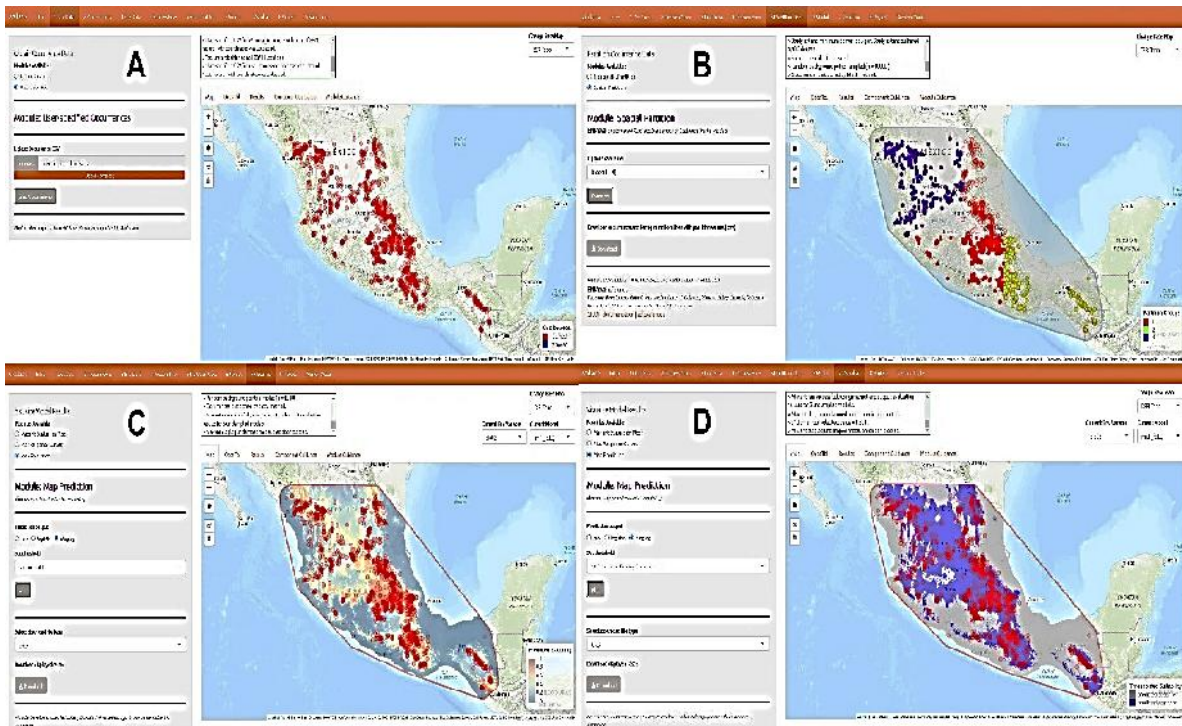


Figura 2.- Uso del programa Wallace para realizar modelos de distribución a partir de datos de presencia y variables climáticas. Se muestra el modelo de distribución de *Juniperus* con A) los datos de presencia, B) el modelo con base en el polígono mínimo convexo y la partición de los datos que se usarán en la evaluación, C) el modelo de distribución potencial reflejando la idoneidad para la presencia de la especie (rojo = mayor idoneidad, azul = menor idoneidad) y D) el mapa binario con las condiciones óptimas (azul) y no óptimas (gris).

Reconstrucción paleoclimática

En el sistema de información geográfica QGIS Desktop 3.16.3 (QGIS, 2021), se utilizaron los mapas binarios tipo raster de cada género obtenidos en Wallace. Los mapas de distribución fueron solapados para encontrar el intervalo ecogeográfico mutuo (Blain et al, 2009; Hernández-Hernández et al, 2020), cuya área representa las condiciones climáticas óptimas para que habite el conjunto de géneros encontrados en cada estrato de la excavación arqueológica (Figura 3). El solapamiento se realizó sumando las capas por nivel estratigráfico y correlacionarlas con un traslape de presencia o ausencia de la especie. Se identificó el polígono con la mayor coincidencia. El archivo ráster de solapamiento se convirtió en formato vectorial, para poligonizar el ráster. Este procedimiento se realizó para todos los tipos polínicos presentes en cada nivel estratigráfico y los dos pozos de excavación.

El polígono del intervalo ecogeográfico mutuo se trabajó posteriormente en el software R (R Core Team, 2021), para el análisis estadístico y gráfico de base de datos. Se utilizó para extraer los valores de las variables climáticas bio 1 (temperatura promedio anual [TPA]) y bio 12 (precipitación anual [PA]) (Figura 3), utilizando los paquetes raster (Hijmans et al, 2021), rgdal (Bivand et al, 2021), sf (Pebesma, 2018), lattice extra (Sarkar y Andrews, 2019) y sp (Pebesma et al, 2021). Este procedimiento se realizó para todos los polígonos que representan un intervalo ecogeográfico mutuo para cada capa estratigráfica en cada pozo de excavación.

Las bases de datos obtenidas se procesaron en R para realizar gráficos de *boxplots* (diagramas de caja) de cada variable (TPA y PA) en cada capa estratigráfica. Los *boxplots* son una representación gráfica que permite resumir las características principales de los datos como la posición, dispersión, asimetría entre otros, e identificar la presencia de valores atípicos. La interpretación de estos diagramas de basa en cuartiles de 25%, la caja representa el 50% de los datos centrales con una línea al interior que representa la mediana de los datos mostrando los cambios y las variaciones de la temperatura y la precipitación (R Core Team, 2021).

Resultados

Pozo de excavación 1

Según Castañeda (2015), este pozo se ubica en la terraza noroeste. Se registraron 7 capas estratigráficas más sedimento proveniente de una vasija encontrada a 63 cm de profundidad. De acuerdo con la cronología relativa del análisis cerámico de la excavación de los pozos de sondeo en la capa superficial se registraron los tipos cerámicos negro sobre rojo matlatzinca el cual corresponde al Postclásico Medio y Tardío Tenango (1162-1476 d.C.) Calixtlahuaca (1100-1520 d.C.). En la capa 1 (3 cm) y 2 (7 cm) se halló el tipo cerámico café pulido, Clásico Medio Teotenango (650-750 d.C.). En la capa 3 (20 cm) anaranjado con pulido diferencial, Formativo Medio Superior Malinalco (1200 a.C.- 200 d.C.). En la capa

4 (29 cm), capa 5 (32 cm), capa 6 (43 cm) y capa 7 (53 cm) se halló cerámica café pulido correspondiente al Clásico Medio Teotenango (650-750 d.C.).

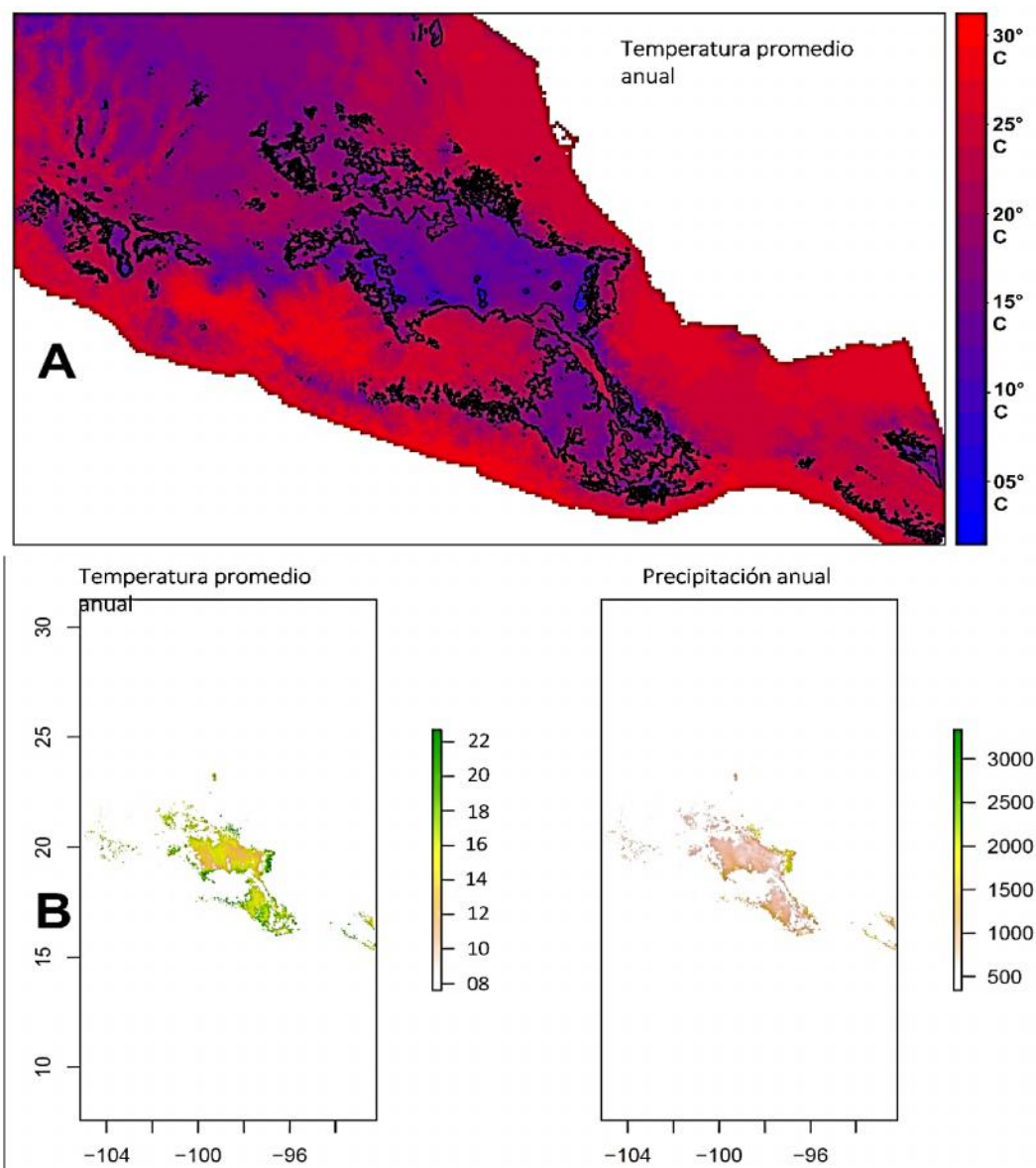


Figura 3.- Polígono del intervalo ecogeográfico mutuo obtenidos en el programa R, que contiene A) el área de solapamiento de distribución de todos los géneros presentes en la capa de superficie del pozo 1 y que se utilizó para extraer B) los valores climáticos de temperatura promedio y precipitación anuales.

En el Pozo 1 la variable de TPA (temperatura promedio anual) presenta una variación mínima de 12° a 21° C y máxima de 16° a 24° C, la dispersión de los datos se encuentra en una mediana que va de 18.8° a 21.1°. En la capa 6 del Pozo 1, se observó un cambio muy evidente en la variabilidad de los datos específicamente los valores mínimos van de 12° a 21° y los máximos van de 16° a 22° (Tabla 2, Figura 4). La segunda variable PA (precipitación anual) presenta una variación mínima que va de 450 mm a 1700 mm y una variación máxima de 1800

mm a 2450 mm, la mediana en los datos va 900 mm a 1000 mm (Tabla 2, Figura 4).

Pozo 1 TPA (°C)

Estrato	Edad	Min.	1 cuartil	Media	3 cuartil	Max.
Superficial	1162-1476 d.C.	12.0	16.0	17.0	19.0	22.0
Capa 1	650-750 d.C.	12.0	16.1	17.1	19.0	22.1
Capa 2	650-750 d.C.	12.0	17.0	17.8	22.0	24.5
Capa 3	1200 a.C.-200 d.C.	12.0	16.0	17.0	19.0	22.1
Capa 4	650-750 d.C.	12.0	16.0	17.0	19.0	22.1
Capa 5	650-750 d.C.	12.0	16.0	17.0	19.1	22.1
Capa 6	650-750 d.C.	21.9	21.0	21.1	21.2	22.0
Capa 7	650-750 d.C.	12.0	16.0	17.0	19.0	22.1
Capa 8	650-750 d.C.	13.0	17.0	20.2	21.0	22.0

Pozo 1 PA (mm)

Superficial	1162-1476 d.C.	500.0	800.0	1000.0	1400.0	2200.0
Capa 1	650-750 d.C.	470.0	760.0	1000.0	1400.0	2200.0
Capa 2	650-750 d.C.	450.0	750.0	900.0	1100.0	2000.0
Capa 3	1200 a.C.-200 d.C.	500.0	750.0	1000.0	1300.0	2000.0
Capa 4	650-750 d.C.	500.0	600.0	1000.0	1300.0	1900.0
Capa 5	650-750 d.C.	470.0	600.0	900.0	1000.0	2000.0
Capa 6	650-750 d.C.	1700.0	1750.0	1800.0	1850.0	2000.0
Capa 7	650-750 d.C.	470.0	600.0	900.0	1000.0	1800.0
Capa 8	650-750 d.C.	500.0	850.0	1500.0	1900.0	2450.0

Tabla 2.- Valores paleoclimáticos de temperatura promedio anual (TPA) y precipitación anual (PA) para el Pozo 1 de excavación del sitio arqueológico La Malinche. Min. = valores mínimos, Max. = valores máximos.

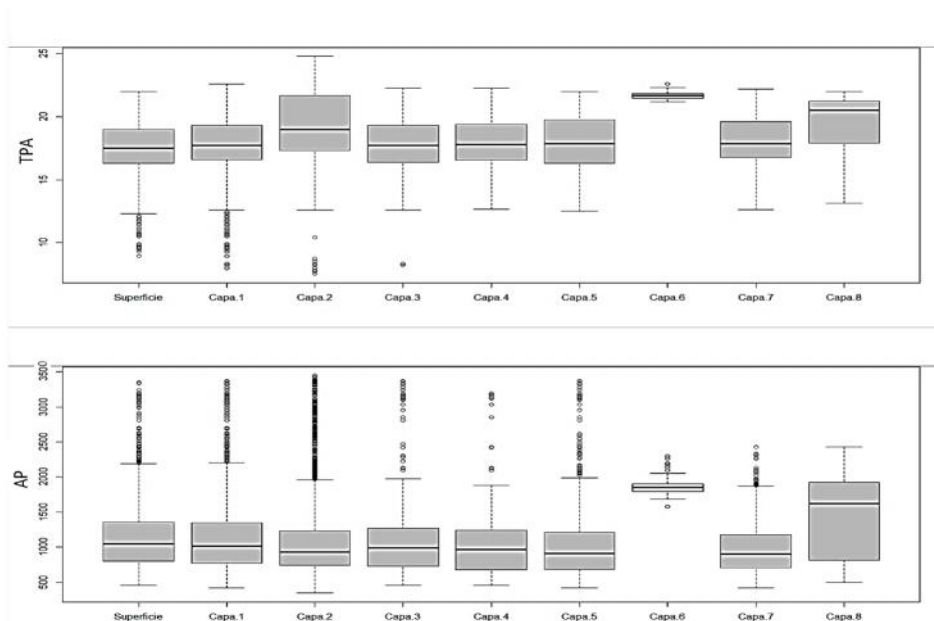


Figura 4.- Boxplot de la temperatura promedio anual (TPA) y precipitación anual (PA) del pozo de excavación 1 del sitio arqueológico La Malinche, a través del tiempo (datos en el cuadro 2).

Se observa que la temperatura promedio anual es constante (alrededor de los 17°C) a lo largo del tiempo, excepto para las capas 8, 6 y 2 (Teotenango 650-750 d.C.), donde la temperatura se eleva 20.2°C, 21.1°C y 17.8 °C, respectivamente; indicando condiciones más cálidas para el Clásico Medio con respecto al Postclásico Medio y Tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.) y al Formativo Medio al Superior (Malinalco 1200 a.C.-200 d.C.) (Figura 5). En cuanto a la precipitación anual, esta también es constante (entre los 900-1000 mm en promedio) excepto en la capa 8 y la capa 6 donde aumenta a 1500 mm y 1800 mm, respectivamente; indicando condiciones más húmedas para el Clásico Medio (Teotenango 650-750 d.C.) con respecto al Postclásico Medio y Tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.) y al Formativo Medio al Superior (Malinalco 1200 a.C.-200 d.C.) (Figura 5).

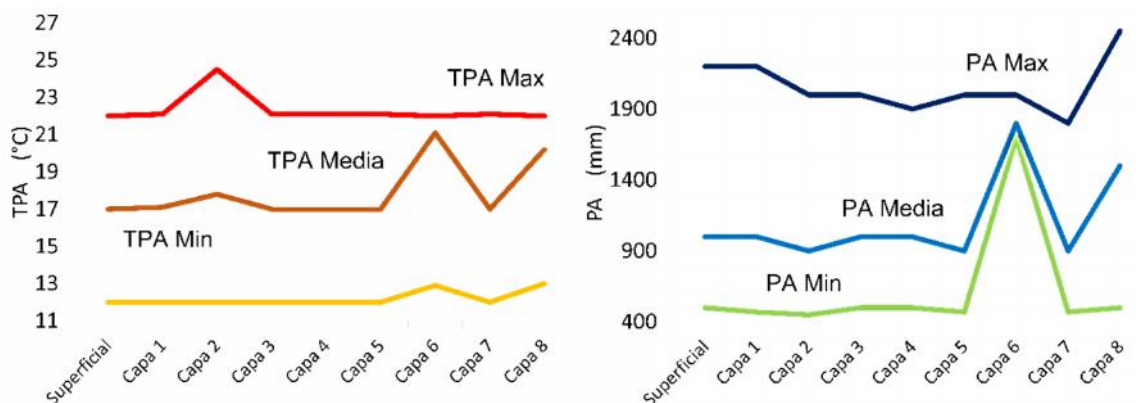


Figura 5.- Variación de la temperatura promedio anual (TPA) y la precipitación anual (PA) a través de las diferentes capas del pozo de excavación 1. Min = valores mínimos, Max = valores máximos.

Pozo de excavación 2

Se identificaron 6 capas estratigráficas. De acuerdo con la cronología relativa, en la capa superficial (0 cm) se halló el tipo cerámico negro sobre rojo matlatzinca correspondiente al Postclásico Medio y Tardío Tenango (1162-1476 d.C.) Calixtlahuaca (1100-1520 d.C.). En la capa 1 (11 cm) y capa 2 (15 cm), café pulido, Clásico Medio Teotenango (650-750 d.C.) y Postclásico Medio y Tardío Tenango (1162-1476 d.C.) Calixtlahuaca (1100-1520 d.C.). En la capa 3 (33 cm), se halló rojo pulido, Fase III Malinalco (400 a.C.- 200 d.C.) Formativo Superior. Para la capa 4 (37 cm), anaranjado craquelado, Clásico y Postclásico Xochicalco (200 d.C.-1420 d.C.) y finalmente en las capas 5 (46 cm) capa 6 (57 cm), negro sobre rojo matlatzinca, Postclásico Medio y Tardío Teotenango (1162-1476 d.C.) Calixtlahuaca (1100-1520 d.C.).

En el Pozo 2 la variable de TPA (temperatura) presenta una variación mínima de 12° a 14° y una máxima de 21.5° a 22°, la dispersión de los datos en la mediana va de 18° a 19.5° (Tabla 3, Figura 6). La segunda variable PA (precipitación) presenta valores mínimos de 490 mm a 600 mm, y en sus valores máximos va de 1950 mm a 2200 mm, la mediana va de 900 mm a 1500 mm (Tabla 3, Figura 6). En la capa 2 del Pozo 2 se observó un cambio en la variabilidad de los datos que van de 600 a 2000 mm (Tabla 3, Figura 6).

Pozo 2 TPA (°C)

Estrato	Edad	Min.	1 cuartil	Media	3 cuartil	Max.
Superficial	1162-1476 d.C.	13.0	17.0	18.0	20.0	21.5
Capa 1	650-750 d.C.	13.0	17.1	18.1	20.1	22.3
Capa 2	1162-1476 d.C.	14.5	18.0	19.5	20.0	21.0
Capa 3	400 a.C.-200 d.C.	12.5	16.3	18.0	19.5	22.0
Capa 4	200 d.C. -1420 d.C.	12.5	17.0	18.3	20.0	22.0
Capa 5	1162-1476 d.C.	12.5	16.3	18.0	20.0	21.5
Capa 6	650-750 d.C.	13.0	17.0	18.0	20.0	21.5

Pozo 2 PA (mm)

Superficial	1162-1476 d.C.	490.0	600.0	900.0	1200.0	2000.0
Capa 1	650-750 d.C.	490.0	600.0	900.0	1200.0	1950.0
Capa 2	650-750 d.C.	600.0	900.0	1450.0	1500.0	2000.0
Capa 3	1200 a.C.-200 d.C.	500.0	600.0	1000.0	1400.0	2100.0
Capa 4	1162-1476 d.C.	490.0	600.0	900.0	1200.0	2100.0

Capa 5	650-750 d.C.	499.0	600.0	1000.0	1400.0	2200.0
Capa 6	650-750 d.C.	490.0	600.0	900.0	1200.0	2000.0

Tabla 3.- Valores paleoclimáticos de temperatura promedio anual (TPA) y precipitación anual (PA) para el Pozo 2 de excavación del sitio arqueológico La Malinche. Min. = valores mínimos, Max. = valores máximos.

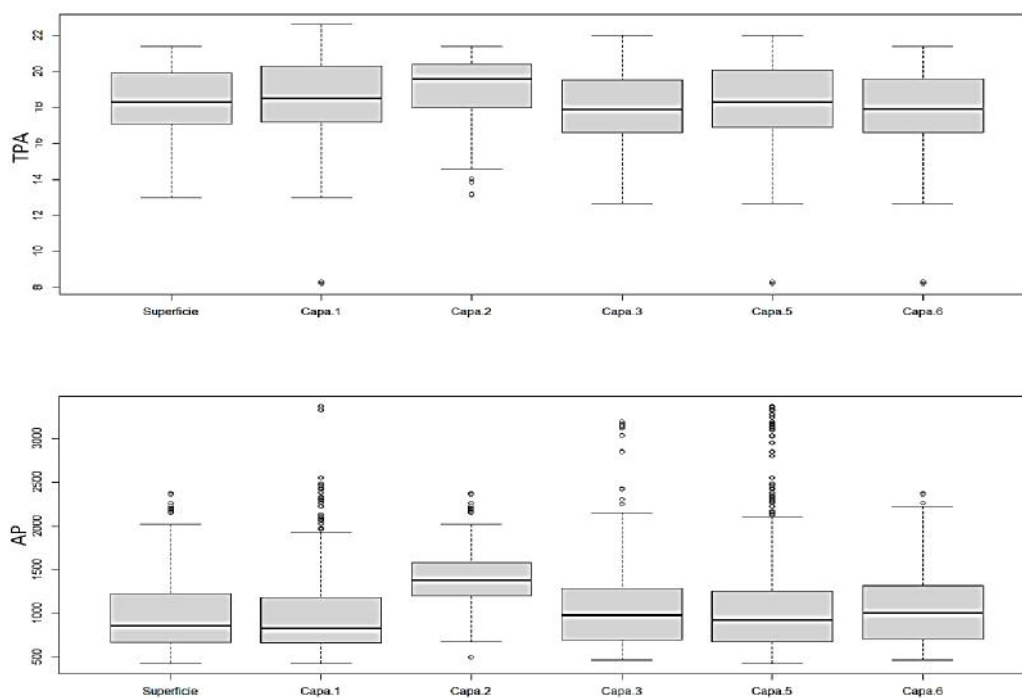


Figura 6.- Boxplot de la temperatura promedio anual (TPA) y precipitación anual (PA) del pozo de excavación 2 del sitio arqueológico La Malinche, a través del tiempo (datos en la Tabla 3).

Se observa que la temperatura promedio anual es constante (alrededor de los 18°C), excepto para la capa 2, donde la temperatura se eleva a 19.5°C, indicando condiciones climáticas más cálidas para el Postclásico Medio y Tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.) con respecto al Clásico Medio (Teotenango 650-750 d.C.), al Formativo Superior Fase III (Malinalco 400 a.C.- 200 d.C.) y al Clásico y Postclásico (Xochicalco 200 d.C. -1420 d.C.) (Figura 7). En cuanto a la precipitación anual, esta también es constante (entre los 900-1000 mm) excepto en la capa 2 donde aumenta a los 1450 mm, indicando condiciones climáticas más húmedas para el Postclásico Medio y Tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.) con respecto al Clásico Medio (Teotenango 650-750 d.C.), al Formativo Superior Fase III (Malinalco 400 a.C.- 200 d.C.) y al Clásico y Postclásico (Xochicalco 200 d.C.-1420 d.C.) (Figura 7).

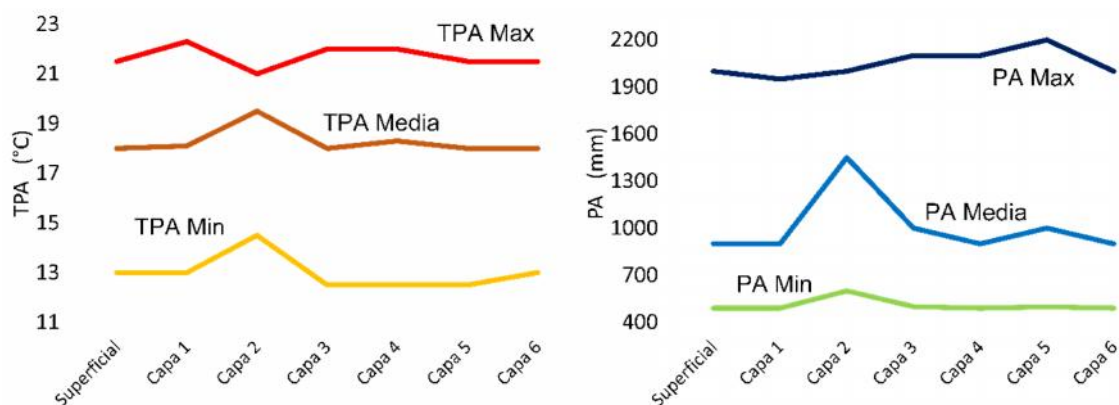


Figura 7.- Variación de la temperatura promedio anual (TPA) y la precipitación anual (PA) a través de las diferentes capas del pozo de excavación 2. Min = valores mínimos, Max = valores máximos.

En ambos pozos se observa que en las capas donde existe un aumento en la temperatura promedio anual, también existe un aumento en la precipitación anual, excepto para la capa 2 del Pozo 2, donde aumenta ligeramente la temperatura promedio anual, pero la precipitación anual permanece constante con respecto a las otras capas.

Discusión

El uso de herramientas biogeográficas y ecológicas, como los modelos de distribución de especies o de nicho ecológico en estudios arqueológicos se enfocan en las características ambientales necesarias para los asentamientos humanos (Burg y Howey, 2020; Rafuse, 2021) y sólo existe un trabajo donde se ha aplicado a una planta, en este caso el trigo sarracero (*Fagopyrum esculentum*) en China, para conjuntar la evidencia arqueológica, climática y ambiental (Kryzanska et al, 2021). En estudios paleontológicos el uso de estas herramientas para reconstruir el paleoclima ha tenido buenos resultados con plantas (Hernández-Hernández et al, 2020) y con vertebrados (Smith y Polly, 2013; Cruz et al, 2016, 2021a, Blain et al, 2018, Corona-M. y Cruz-Silva, 2020). En el caso de estudios arqueológicos Cruz et al, (2021b) han utilizado los modelos de nicho ecológico para reconstruir el paleoclima del sitio arqueológico Cueva Tixi en Argentina y con ello inferir las posibles causas de la extinción de dos especies de megafauna en el sitio. Por lo que el uso de estas herramientas en el presente trabajo es el primero realizado con plantas en estudios arqueológicos para el continente americano.

Analizando los 13 géneros de plantas recuperadas de las excavaciones arqueológicas en las terrazas del sitio La Malinche, se reconocieron posibles cambios climáticos que pudieron ocurrir durante el Clásico Medio y el Posclásico Medio-Tardío de la región. Primero, se identificó que para el periodo Clásico Medio, la temperatura promedio anual (17°C) era constante, excepto en la capa 8,

la capa 6 la capa 2, donde la temperatura se eleva a 20.2°C, 21.1°C, lo que indica condiciones más cálidas para ese periodo. Mientras tanto la precipitación anual fue constante (entre los 900-1000 mm en promedio), excepto en la capa 8 y capa 6 donde aumenta a 1500 mm y 1800 mm, indicando condiciones más húmedas.

Para el periodo Postclásico Medio y Tardío (Tenango 1162-1476 d.C.) (Calixtlahuaca 1100-1520 d.C.), la temperatura promedio anual es constante (18°C) excepto para la capa 2, donde la temperatura se eleva a 19.5°C, indicando condiciones más cálidas. La precipitación anual, también es constante (entre los 900-1000 mm) excepto en la capa 2 donde aumenta a los 1450 mm, indicando condiciones climáticas más húmedas. Estos cambios climáticos, aunque no reflejan un cambio en la vegetación evidente (Tabla 1), se puede notar que es en las capas donde el *Pinus* presenta valores de abundancia menores al 1%, indicando un efecto del clima sobre la vegetación, pero con adaptabilidad de este género a aumentos de la temperatura (can Zonneveld et al, 2009). Otra explicación de la variación de la temperatura y la precipitación en La Malinche se debe al efecto de El Niño en el pasado (800-1250 d.C.) que siempre coincide con periodos más húmedos (Rein et al, 2004; Graham et al, 2011), como lo encontrado en este estudio.

De acuerdo con los resultados obtenidos, ahora conocemos los cambios de dos variables que predominan en el desarrollo de la flora. Sin embargo, existen más variables que no han sido analizadas para este caso de estudio, por ejemplo, las condiciones térmicas, las condiciones edafológicas, la hidrografía, topografía, el uso de suelo y vegetación, el uso potencial del suelo y las actividades antropológicas, por mencionar algunas, mismas que también son fundamentales para el desarrollo de la vegetación (Gerald, 1999; Duval et al, 2015).

Por otro lado, la reconstrucción paleoambiental de la historia del medio ambiente de Tenancingo y Villa Guerrero realizado por Castañeda (2015, 2016), presenta que la última glaciación (20,000-11,000 a.C.) provocó cambios con la reducción en los niveles del mar que favorecieron al establecimiento de la flora y la fauna. A principios del Holoceno (10,900 a.C.) el paisaje en el centro de México fue colonizado por elementos de praderas alpinas (Paceae) y posteriormente (7200-6500 a.C.) el paisaje fue ocupado por bosques de coníferas, pastizales alpinos, así como vegetación primaria para el Estado de México. Las condiciones ambientales favorables, la abundancia de recursos vegetales, así como las características orográficas permitieron la llegada de los primeros pobladores a la región Sur del Estado de México. En el sitio arqueológico la Malinche existe evidencia de ocupaciones de cazadores recolectores y pinturas rupestres (Castañeda, 2015).

La mayor expansión de las sociedades agrícolas se dio en el Postclásico Tardío (1100-1521 d.C.), y es justamente a este periodo al que se asocian el sistema de terrazas que tuvo diferentes funciones tanto el sitio arqueológico La Malinche, como en el resto de la región. Dentro de estas funciones fue un sistema de terrazas acondicionado por plataformas, se utilizaron para la construcción de casas antiguas con su *calmilli*, y se ocupó la superficie para el cultivo de especies

agrícolas. Las evidencias palinológicas revelan que las actividades antrópicas modificaron el paisaje introduciendo vegetación agrícola como el maíz, frijol, calabaza y amaranto. Pero las especies que predominaron fueron bosques de coníferas, amate amarillo y maguey (Castañeda, 2015).

Durante el periodo Postclásico (950-1521 d.C.) las poblaciones prehispánicas modificaron la topografía de las terrazas para habitarlas, construyeron un sistema de terrazas dentro del sitio que iba de norte a sur donde se establecieron especies de tipo alimenticio; en este caso, algunos de los géneros analizados en el presente trabajo son: *Zea mays*, *Curcubita*, *Bursera* y *Cupressus*, estas especies se cultivaban desde el periodo Clásico; maíz, calabaza y frijol, así como especies de uso doméstico y medicinal. En comparación con la información climática obtenida podemos inferir que, en este periodo el clima era más cálido y húmedo lo cual propició un desarrollo favorable para las actividades agrícolas. La relación medio ambiente-hombre, genera conductas y procesos que se ven reflejados en el registro arqueológico, su estudio a base de preguntas y teorizaciones nos permite generar hipótesis de cómo pudo haber sido la importancia económica, política, doméstica y medicinal de la flora dentro de las dinámicas sociales y culturales que se dieron en el sitio.

Las principales modificaciones del paisaje en la región se dieron debido al cambio de patrón de asentamiento ocurrido por el proceso de congregación en el área de estudio, durante el siglo XVI. No obstante, se dio la inclusión de diversas especies durante la Colonia (1521-1810 d.C.). Y actualmente el paisaje se encuentra invadido por el sistema económico más importante de la región; la floricultura (Castañeda, 2015). Este tipo de estudios y el uso de nuevas tecnologías puede servir como complemento para entender como interactuaba el ser humano con su ambiente en el pasado.

Al comparar nuestros resultados con los registrados actuales para Tenancingo de Degollado (Estación meteorológica 15121, ("<https://smn.conagua.gob.mx/>") (Tabla 4, Figura 8). Se muestra que los valores de superficie deberían ser similares a los de la estación meteorológica, lo cual se observa para el Pozo 2 con la temperatura promedio anual y con el Pozo 1 para la precipitación anual, lo cual permite tener cierta confianza en el modelo; sin embargo, el que no se infieran de manera precisa los valores de superficie con los actuales, se puede deber a la identificación de los restos de polen en el sitio arqueológico, ya que las identificaciones a nivel de género suelen ser más conservadoras en las posibles predicciones de nicho climático por la falta de información que si suele obtenerse a través de la identificación al nivel de especie (Wiens y Graham, 2005; Wang et al, 2021), las cuales permitirían una mayor especialización en la relación planta-clima (Barros et al, 2020).

Periodo	TPA media	TPAmax	TPAmin	PA media
Actual	18.3	27.3	9.3	1179.8
P1superficie	17.0	22.0	12.0	1000.0
P1C1	17.1	22.1	12.0	1000.0
P1C2	17.8	24.5	12.0	900.0
P1C3	17.0	22.1	12.0	1000.0
P1C4	17.0	22.1	12.0	1000.0
P1C5	17.0	22.1	12.0	900.0
P1C6	21.1	22.0	21.9	1800.0
P1C7	17.0	22.1	12.0	900.0
P1C8	20.2	22.0	13.0	1500.0
P2superficie	18.0	21.5	13.0	900.0
P2C1	18.1	22.3	13.0	900.0
P2C2	19.5	21.0	14.5	1450.0
P2C3	18.0	22.0	12.5	1000.0
P2C5	18.3	22.0	12.5	900.0
P2C6	18.0	21.5	12.5	1000.0

Tabla 4.- Comparación de los valores climáticos, de temperatura promedio anual (TPA) y precipitación anual (PA), actuales de Tenancingo con los obtenidos en la reconstrucción paleoclimática del sitio paleontológico La Malinche en los dos pozos (P) y cada capa estratigráfica (C).

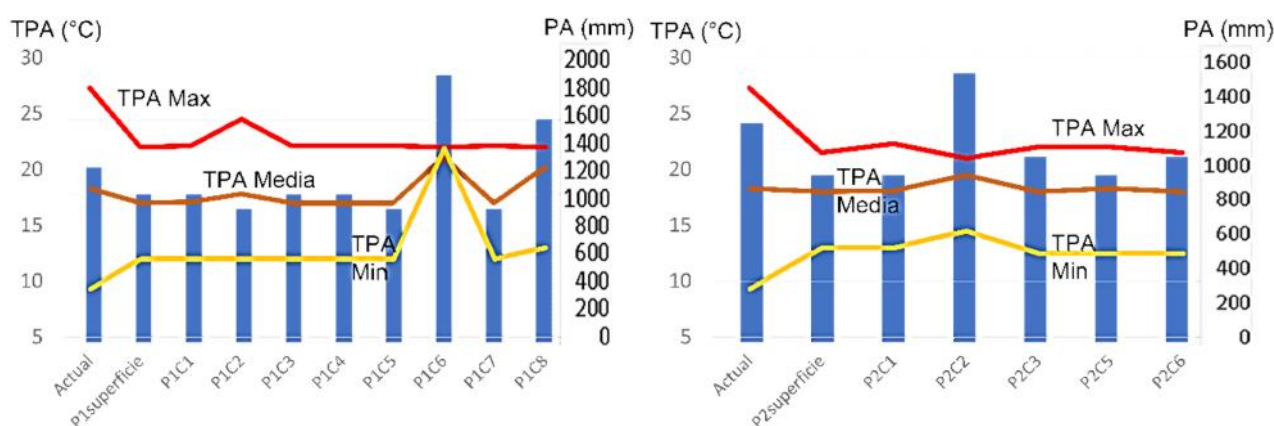


Figura 8.- Comparación de la temperatura promedio anual (TPA, líneas) y la precipitación anual (PA, barras azules) de los diferentes pozos de excavación (P1, P2) y las diferentes capas estratigráficas (C1-8), con los valores actuales en el sitio arqueológico La Malinche (datos en el Cuadro 4).

De acuerdo con la comparación de los valores climáticos de la TPA (temperatura promedio anual) y la PA (precipitación anual) actuales, se observó que la variación y el cambio climático en las capas 8 y 6 del Pozo 1 y la capa 2 del Pozo 2 presentan un aumento en la temperatura entre 1-3°C, lo que es importante ya que actualmente los datos climatológicos actuales cuentan con un promedio de temperatura global que para el año 2020 se registró como el segundo más cálido del registro histórico desde 1880, con una anomalía positiva de 0.98°C, tan solo 0.02°C más fresco que 2016 (CONAGUA,2021). Los datos obtenidos de la estación meteorológica y los registros actuales del sitio muestran una correspondencia relativa de ambas variables analizadas, la temperatura media nacional de 2020 fue de 22.4 °C, con lo cual se igualó a los años 2017 y 2019. Estos se ubicaron como los más cálidos desde 1953, con 1.4 °C por arriba del promedio entre 1981 y 2010 (CONAGUA,2021). La variación de los valores obtenidos del nicho climático y el contraste con los valores actuales permiten inferir que las condiciones climáticas fueron relativamente similares. Pero, actualmente el medio ambiente está siendo afectado de manera directa por el aumento de la contaminación global y las actividades antrópicas que de manera continua provocan afectación y destrucción de los ecosistemas, provocando así cambios en la flora y la fauna.

El contar con nuevas herramientas para la adquisición de datos paleoecológicos que nos permitan inferir el paleoambiente y el paleoclima de los sitios arqueológicos nos proporcionan información de primera mano, para acercarnos al conocimiento de la vida de las sociedades humanas, su medio ambiente, sus recursos naturales, la relación hombre-naturaleza, su concepción cognitiva del paisaje, así como las dinámicas y procesos que pudieron haber aportado para el desarrollo y crecimiento de la vida humana en un espacio-tiempo determinado. Los datos obtenidos en el presente trabajo pueden y deben conjuntarse con los proyectos de investigación que ya se han elaborado en el sitio arqueológico, en especial con el proyecto *Tenancingo* (Palma-Linares, 2014, 2018) y el proyecto "*Estudio arqueopalínológico de las terrazas del sitio La Malinche, Tenancingo, Estado de México*" realizado por Castañeda (2015). De igual forma, la investigación presentada queda abierta a ser refutada, confirmada o complementada, ya que existe una diferencia entre los valores climáticos obtenidos entre ambos pozos de excavación, mismos, que se encuentran en diferentes terrazas dentro del sitio arqueológico y que por diferencias de elevación no se desarrolla la misma vegetación en ambos. Además de que se necesitan excavaciones extensivas para obtener muestras de suelo en espacios como el área de arquitectura pública del sitio, por ejemplo, para entender mejor como se desarrollaba e interactuaba la distribución, presencia o ausencia de la vegetación en el sitio arqueológico con el ser humano.

Conclusiones

Este trabajo reconoce que el uso de herramientas biogeográficas y ecológicas aplicadas a la arqueología permiten recuperar información cuantitativa

de los ambientes del pasado. En donde de acuerdo con las características geográficas, topográficas, hidrológicas, edafológicas y de uso de suelo y vegetación podemos conocer las variaciones y los cambios de las variables del clima, en este caso la TPA (temperatura promedio anual) y la PA (precipitación anual).

Al reconocer posibles cambios climáticos que pudieron haber ocurrido en el sitio arqueológico La Malinche, durante el Clásico Medio y el Posclásico Medio-Tardío de la región (de acuerdo con la cronología relativa de los materiales cerámicos, 650-750 d.C.), podemos inferir que las condiciones fueron más cálidas y húmedas con respecto a otros periodos de tiempo. Los resultados obtenidos de este tipo de estudios deben considerarse como el final de un inicio prometedor que invite a generar nuevas preguntas de investigación que nos lleven a acercarnos a la comprensión y el conocimiento de la vida de las sociedades del pasado, por ejemplo, una identificación más específica de los restos de polen de plantas en el contexto arqueológico permitirá la inferencia y el acercamiento a la identificación de climas de manera más precisa.

Referencias bibliográficas

- Acosta G, Beramendi LE, González G, Rivera I, Eudave I., Hernández E, Sánchez S, Morales P, Cienfuegos E, Otero F (2018): Climate change and peopling of the Neotropics during the Pleistocene-Holocene transition. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 70: 1-19.
- Acosta-Ochoa G, Pérez-Martínez P, Rivera-González I (2013): Metodología para el estudio del procesamiento de plantas en sociedades cazadoras-recolectoras: un estudio de caso. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Humanas* 8: 535-550.
- Barros MJ, Silva-Arias GA, Segatto ALA, Reck-Kortmann M, Fregonezi JN, Diniz-Filho JAF, Freitas LB (2020): Phylogenetic niche conservatism and plant diversification in South American subtropical grasslands along multiple climatic dimensions. *Genetics and Molecular Biology* 43: e20180291.
- Bivand R, Keitt T, Rowlingson B, Pebesma E, Sumner M, Hijmans R, Baston D, Rouault E, Warmerdam F, Ooms J, Rundel C (2021): Package “rgdal”, Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library; <http://rgdal.r-forge.r-project.org>, <https://gdal.org>, <https://proj.org>, <https://r-forge.r-project.org/projects/rgdal/>
- Blain HA, Bailon S, Cuenca-Bescos G, Arsuaga JL, de Castro JMB, Carbonell E (2009): Long-term climate record inferred from early-middle Pleistocene amphibian and squamate reptile assemblages at the Gran Dolina Cave, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution* 56: 55-65.

- Blain H-A, Cruz-Silva JA, Jiménez-Arenas JM, Margari V, Roucoux K (2018): Towards a Middle Pleistocene terrestrial climate reconstruction based on herpetofaunal assemblages from the Iberian Peninsula: State of the art and perspectives. *Quaternary Science Reviews* 191 :167-188.
- Borejsza A, McClung de Tapia E, Vázquez-Selem L, Adriano-Moran C, Castro-Govea R, Rodríguez-López I (2017): Changing rural landscapes of the last three millennia at Santiago Tlalpan, Tlaxcala, Mexico. *Geoarchaeology* 32: 36-63.
- Burg MB, Howey M (2020): Unbinding diversity measures in archaeology using GIS. *Journal of Computer Applications in Archaeology* 3: 170-181.
- Castañeda M (2015): *Estudio arqueopalínológico de las terrazas del sitio La Malinche, Tenancingo, Estado de México*. Universidad Autónoma del Estado de México, Maestría y doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
- Castañeda M (2016): Reconstrucción histórica del paisaje de Tenancingo, Cuicuilco. *Revista de Ciencias Antropológicas* 67: 263-281.
- Ceballos R (1942): *Breve informe La Malinche*. Archivo Técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- CONAGUA, 2021. *Comisión Nacional de Agua* disponible en <https://www.gob.mx/conagua>. Último acceso: 2021 11 10
- Corona-M E, Cruz-Silva JA (2020): Modelling the prehistoric geographical distribution of the genus *Meleagris*. *Quaternary International* 543: 8-15.
- Corona-Olea H (1948): *Breve estudio sobre Tenancingo*. Colección de Investigaciones Tenantzinca, México.
- Correa-Metrio A, Bush MB, Cabrera KR, Sully S, Brenner M, Hodell DA, Escobar J, Guilderson T (2012): Rapid climate change and no-analog vegetation in lowland Central America during the last 86,000 years. *Quaternary Science Reviews* 38: 63-75.
- Cruz JA, Alarcón-D I, Figueroa-Castro DM, Castañeda-Posadas C (2021a): Fossil pigmy rattlesnake inside the mandible of an American mastodon and use of fossil reptiles for the paleoclimatic reconstruction of a Pleistocene locality in Puebla, Mexico. *Quaternary International* 574: 116-126.
- Cruz JA, Arroyo-Cabrales J, Reynoso VH (2016): Reconstructing the paleoenvironment of Loltún Cave, Yucatán, México, with Pleistocene amphibians and reptiles and their paleobiogeographic implications. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 33: 342-354.

- Cruz JA, Prado JL y Arroyo-Cabrales J (2021b): The mutual ecogeographical range and paleoclimatic reconstruction during the Late Pleistocene-Holocene in the Pampas (Argentina) using meso and microvertebrate fossils. *The Holocene* 31: 983-992.
- Dedrick M, Webb EA, McAnany PA, Kumul JMK, Jones JG, Alpuche AIB, Pope C, Russell M (2020): Influential landscapes: Temporal trends in the agricultural use of rejolladas at Tahcabo, Yucatán, Mexico. *Journal of Anthropological Archaeology* 59: 101-175.
- Duval VS, Benedetti GM, Campo AM (2015): Relación clima-vegetación: adaptaciones de la comunidad de jarillar al clima semiárido, Parque Nacional Lihué Calel, provincia de la Pampa, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 88: 33-44.
- Fick SE, Hijmans RJ (2017): WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37: 4302-4315.
- GBIF (2021): Global Biodiversity Information Facility GBIF Occurrence Download <https://www.gbif.org/es/> [Último acceso: 01 11 2021].
<https://doi.org/10.15468/dl.az5kb2>, <https://doi.org/10.15468/dl.w3y9hq>,
<https://doi.org/10.15468/dl.cbak93>, <https://doi.org/10.15468/dl.kfsysc>,
<https://doi.org/10.15468/dl.stzm3a>, <https://doi.org/10.15468/dl.33zrbf>,
<https://doi.org/10.15468/dl.p72g3t>, <https://doi.org/10.15468/dl.3wqzqs>,
<https://doi.org/10.15468/dl.nqftu9>, <https://doi.org/10.15468/dl.e299am>,
<https://doi.org/10.15468/dl.m69s92>, <https://doi.org/10.15468/dl.48zgye>,
<https://doi.org/10.15468/dl.d2bfhw>
- Gerald L (1999): La paleoecología: bases y su aplicación. Recursos Genéticos y Forestales Universidad Veracruzana. *FORESTA Veracruzana*, vol. 1 (N°. 2): 47-50.
- Graham NE, Ammann CM, Fleitmann D, Cobb KM, Luterbacher J (2011): Support for global climate reorganization during the “Medieval Climate Anomaly”. *Climate dynamics* 37: 1217-1245.
- Hernández-Hernández MJ, Cruz JA, Castañeda Posadas C (2020): Paleoclimatic and vegetation reconstruction of the miocene southern Mexico using fossil flowers. *Journal of South American Earth Sciences* 104: 102-827.
- Hijmans RJ, van Etten J, Sumner M, Cheng J, Baston D, Bevan A, Bivand R, Busetto L, Canty M, Fasoli B, Forrest D, Ghosh A, Golicher D, Gray J, Greenberg JA, Hiemstra P, Hingee K, Karney C, Mattiuzzi M, Mosher S, Naimi B, Nowosad J, Pebesma E, Lamigueiro OP, Racine EB, Rowlingson B, Shortridge A, Venables B, Wueest R (2021): Package “raster”, Geographic Data Analysis and Modeling; <https://rspatial.org/raster>

- INEGI (2009): Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tenancingo, México. Clave geoestadística 15088; México: INEGI.
- Kass JM, Vilela B, Aiello Lammens ME, Muscarella R, Merow C, Anderson RP (2018): Wallace: A flexible platform for reproducible modeling of species niches and distributions built for community expansion, *Methods in Ecology and Evolution* 9:1151-1156.
- Krzyzanska M, Hunt HV, Crema ER y Jones MK (2021): Modelling the potential ecological niche of domesticated buckwheat in China: archaeological evidence, environmental constraints and climate change. *Vegetation History and Archaeobotany* 2021: 1-15.
- Louys J (2012): Paleontology in ecology and conservation. Springer Earth System Sciences. Berling.
- Lozano-García S, Figueroa-Rangel B, Sosa-Nájera S, Caballero M, Noren AJ, Metcalfe SE, Tellez-Valdés E, Ortega-Guerrero B (2021): Climatic and anthropogenic influences on vegetation changes during the last 5000 years in a seasonal dry tropical forest at the northern limits of the Neotropics. *The Holocene* 31: 802-813.
- Ludlow-Wiechers B, Almeida-Leñero L, Sugiura Y (2005): Paleoecological and climatic changes of the Upper Lerma Basin, Central Mexico during the Holocene. *Quaternary Research* 72: 59-105.
- Madrid AG, Ortiz LM (2005): *Análisis y síntesis en cartografía: algunos procedimientos*. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.
- Mander L, Punyasena SW (2018): Fossil pollen and spores in paleoecology. In: *Methods in Paleoecology* Editado por Croft DA, Su DF y Simpson SW, Capítulo 11, Pp. 215-234.
- McClung de Tapia E (2015): Holocene paleoenvironment and prehispanic landscape evolution in the Basin of Mexico. *Ancient Mesoamerica* 26: 375-389.
- McClung de Tapia E, Martínez-Yrizar D (2017): The potential of paleoethnobotanical evidence for the study of Teotihuacan foodways. *Archaeological and Anthropological Sciences* 9: 39-50.
- Metcalfe SE, O'Hara SL, Caballero M, Davies SJ (2000): Records of Late Pleistocene–Holocene climatic change in Mexico—a review. *Quaternary Science Reviews* 19: 699-721.

- Miranda R (2013): *Organización espacial en la época prehispánica a través de los estudios de patrón de asentamiento en la Región de Tenancingo, Estado de México*; Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ortega-Guerrero B, Caballero M, Israde-Alcántara I (2021): The Holocene record of Alberca de Tacámbaro, a tropical lake in western Mexico: evidence of orbital and millennial-scale climatic variability. *Journal of Quaternary Science*, 36: 649-663.
- Palacios EJ (1925): Vestigios arqueológicos e históricos de Malinalco y la zona circundante. *Archivo Técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia*.
- Palma-Linares V (2014): Relaciones de poder y dominación entre los Matlatzincas de Tenantzinco. *Estudio de Cultura Otopame* 9: 20-38.
- Palma-Linares V (2018): Historia de la arqueología en el altépetl Tenantzinco: Tenantzinco en el siglo XVI, estudios de patrón de asentamiento en un altépetl rural. Ciudad de México: Primer círculo. *Revista Universitaria* 2: 22-23.
- Palma-Linares, V (2019): Arqueología en el sitio La Malinche. *Revista Universitaria* 2: 22-23.
- Pearsall DM (2018): *Case studies in paleoethnobotany: understanding ancient lifeways through the study of phytoliths, starch, macroremains, and pollen*. London: Routledge.
- Pebesma E (2018): Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal*, 10: 439–446.
- Pebesma E, Bivand R, Rowlingson B, Gomez-Rubio V, Hijmans R, Sumner M, MacQueen D, Lemon J, Lindgren F, O'Brien J, O'Rourke J (2021) Package "sp", Classes and Methods for Spatial Data; <https://github.com/edzer/sp/> <https://edzer.github.io/sp/>
- QGIS Development Team, (2001): QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.
- Rafuse DJ (2021): A Maxent Predictive Model for Hunter-Gatherer Sites in the Southern Pampas, Argentina. *Open Quaternary* 7: 1-6.
- R Core Team (2021): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rein, B, Lückge, A, Sirocko, F (2004): A major Holocene ENSO anomaly during the Medieval period. *Geophysical Research Letters* 31: L1721.

- Sarkar D y Andrews F (2019): Package "latticeExtra", Extra Graphical Utilities Based on Lattice; <http://latticeextra.r-forge.r-project.org/>
- Sedov S, Lozano-García S, Solleiro-Rebolledo E, McClung de Tapia E, Ortega-Guerrero B, Sosa-Najera S (2010): Tepexpan revisited: A multiple proxy of local environmental changes in relation to human occupation from a paleolake shore section in Central Mexico. *Geomorphology* 122: 309-322.
- Smith FA (2021): *Mammalian Paleoecology: using the past to study the present*. Baltimore: JHU Press.
- Smith MR, Polly PD (2013): A reevaluation of the Harrodsburg Crevice fauna (Late Pleistocene of Indiana, U.S.A.) and the climatic implications of its mammals. *Journal of Vertebrate Paleontology* 33:410-420.
- Vázquez-Alonso MT, Bye R, López-Mata L, Pulido-Sala M, Teresa P, McClung de Tapia E, Koch SD (2014): Etnobotánica de la cultura Teotihuacana. *Botanical Sciences* 92: 563-574.
- Wang Q, Li Y, Zou D, Su X, Cai H, Luo A, Jiang K, Zhang X, Xu X, Shrestha N, Wang Z (2021): Phylogenetic niche conservatism and variations in species diversity–climate relationships. *Ecography* 44: 1-13.
- Wiens JJ y Graham CH (2005): Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 36, 519-539.
- Zúñiga B (2010): Registro y delimitación del sitio arqueológico del cerro de La Malinche, Acatzingo de la Piedra, Tenancingo, Estado de México. *Arqueología* 45: 212-233.

