

## Estratigrafía y paleoambiente asociados a un Gomphoteriidae (*Cuvieronius hyodon*) en Tzintzuntzan, Michoacán, México

**Jasinto Robles-Camacho<sup>1,6,\*</sup>, Pedro Corona-Chávez<sup>2</sup>, Miguel Morales-Gómez<sup>3</sup>, Ana Fabiola Guzmán<sup>4</sup>, Óscar J. Polaco<sup>4,†</sup>, Gabriela Domínguez-Vázquez<sup>5</sup>, Isabel Israde-Alcántara<sup>2</sup> y Arturo Oliveros-Morales<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Arqueometría del Occidente, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro INAH Michoacán, Av. Madero oriente 799, Centro, 58000 Morelia, Michoacán, México.

<sup>2</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Francisco J. Mújica s/n, Cd. Universitaria, 58030 Morelia, Michoacán, México.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería en Geociencias, Av. Tecnológico 201, Zona El Gigante, 61650 Tacámbaro, Michoacán, México.

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Antropología e Historia, Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, Moneda 16, Centro, 06060 México, D. F.

<sup>5</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología, Francisco J. Mújica s/n, Cd. Universitaria, 58030 Morelia, Michoacán, México.

<sup>6</sup>Centro de Investigaciones en Óptica, A. C., Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia, A.P. 1-948, 37000 León, Guanajuato, México.

\*jasinto\_robles@yahoo.com

†Dedicamos este trabajo a la memoria de Óscar J. Polaco (1952-2009).

### RESUMEN

Se presenta la descripción estratigráfica, petrográfica y del contenido de polen de la columna volcánico-sedimentaria fluvial de la Barranca Rancho Viejo, ubicada al suroeste del poblado de Tzintzuntzan y al norte de Pátzcuaro. Esta columna contiene horizontes que alojan restos vegetales y fragmentos óseos, entre los que destaca una mandíbula bien preservada de un gonfoterio, la cual fue recuperada de un depósito de lahar intercalado con una sucesión piroclástica asociada al volcanismo monogenético basáltico del Cerro Catio. Con base en la morfología dentaria, la especie ha sido clasificada como *Cuvieronius hyodon*. La descripción estratigráfica indica que el depósito de lahar en donde fueron encontrados los fragmentos, estuvo asociado a depósitos de caída, escasos flujos piroclásticos y un derrame basáltico de olivino±ortopiroxeno emplazados en la cercanía de una cuenca fluvial restringida a la porción septentrional del Lago de Pátzcuaro. El análisis isotópico de <sup>14</sup>C de un fragmento leñoso carbonizado, encontrado en un horizonte subyacente al que contenía la mandíbula, arrojó una edad de 26 ka ± 190 AP. Las relaciones estratigráficas permiten asignar esta edad del Pleistoceno tardío al gonfoterio, así como al evento volcánico basáltico del Cerro Catio.

El estudio petrográfico y polínico de los sedimentos muestra que la actividad volcánica estuvo caracterizada por una intensidad variable, con periodos recurrentes de calma hasta su extinción definitiva. Las condiciones climáticas húmedas favorecieron el proceso de desvitrificación de las cenizas volcánicas generando un material felsefídico-criptocristalino propicio para la recuperación gradual y desarrollo de una vegetación de *Fraxinus*, *Acer*, *Corylus*, *Ulmus*, *Betula* y *Juglans*. De acuerdo con otros autores, se concluye que el paleoambiente dominante en el Lago de Pátzcuaro durante el Pleistoceno tardío corresponde a un clima similar pero más frío que el actual, donde vivió mastofauna terrestre que

*aprovechó la relativa abundancia de una vegetación mesófila, la cual fue aparentemente perturbada por las exhalaciones asociadas al volcanismo monogenético en esta parte del Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato.*

*Palabras clave: gonfoterio, Cuvieronius hyodon, volcanismo monogenético, paleoambiente fluvial, Pleistoceno tardío, Tzintzuntzan, Lago de Pátzcuaro, México.*

## ABSTRACT

*The stratigraphic, petrographic and pollinic description of the fluvial volcanic-sedimentary column of the Barranca Rancho Viejo, Tzintzuntzan and north of the Pátzcuaro lake is presented. This column contains vegetation remnants and bone fragments, including a well preserved jaw of a gomphothere, which was recovered from a volcanic lahar deposit intercalated with fluvial deposits and a pyroclastic succession associated to the basaltic monogenetic volcanism of the Cerro Catio. On the basis of the dental morphology, the gomphothere has been classified as *Cuvieronius hyodon*. The stratigraphic description indicates that the deposit of this lahar was associated to a volcanic succession with a predominant pyroclastic fall, scarce pyroclastic flows and a basal basaltic lava flow with olivine ± orthopyroxene. The complete volcanic sequence was emplaced within a fluvial endorreic basin restricted to the northern portion of the Pátzcuaro lake. Isotopic <sup>14</sup>C analysis of a woody fragment found in a horizon underlying the fossil fragments, provided an age of 26 ky ± 190 BP. This late Pleistocene age can be assigned to the gomphothere as well as to the basaltic volcanic event of the Cerro Catio.*

*Petrographic and pollinic studies of the sediments and basaltic tephra show that the volcanic activity was characterized by variable intensity, with recurrent waning periods, followed by volcanic quiescence. Moist climatic conditions favored the devitrification process of the volcanic ash and the weathering of other minerals, which provided good conditions for recovering of the mesophilic vegetation: *Fraxinus*, *Acer*, *Corylus*, *Ulmus*, *Betula*, and *Juglans*. In agreement with other authors, we conclude that the preponderant paleoenvironment of the Pátzcuaro lake during late Pleistocene was similar, although colder, to present-day climate. In this paleoenvironment, the presence of the terrestrial mammals was favored by the availability of relatively abundant mesophytic vegetation, which was seemingly perturbed by the volcanic exhalations associated to the monogenetic volcanism of the Michoacán-Guanajuato volcanic field..*

*Key words: gomphothere, Cuvieronius hyodon, monogenetic volcanism, fluvial paleoenvironment, late Pleistocene, Tzintzuntzan, Pátzcuaro Lake, Mexico.*

## INTRODUCCIÓN

La era Cenozoica, la de los mamíferos, es la mejor representada en el registro fósil de México, en particular el periodo Cuaternario, y de éste la época pleistocénica (e.g., Montellano-Ballesteros y Arroyo-Cabrales, 2002; Montellano-Ballesteros y Jiménez-Hidalgo, 2006). Esto es debido a la superficialidad de muchos de los depósitos, los cuales no han sido erosionados intensamente ni ocultados por los sedimentos holocénicos, donde además el factor paleoambiental ha jugado un papel importante para su preservación o parcial desintegración. A pesar de que esa riqueza de mamíferos fósiles se ha reportado y descrito desde el siglo XVI (e.g., Arroyo-Cabrales *et al.*, 2003), el entendimiento de los fenómenos geológicos y de los paisajes generados contemporáneamente en las localidades de los hallazgos es tratado con mayor profundidad sólo en los años recientes.

Particularmente los gonfoterios son un componente de la fauna pleistocénica cuyos registros eran aislados, pero el incremento considerable en el número de sus localidades en los últimos años (e.g., Arroyo-Cabrales *et al.*, 2007), ha per-

mitido un mejor conocimiento de su distribución geográfica y evolución hasta su extinción. La familia Gomphoteriidae es una rama ancestral del orden Proboscidea que arribó a América del Norte procedente de Asia en el Mioceno medio, tiempo en el cual en esta área del continente hubo seis géneros distintos evolucionando, pero también declinando paulatinamente su diversidad hasta tener sólo dos géneros en el Pleistoceno tardío (Lambert, 1996; Arroyo-Cabrales *et al.*, 2007). Concomitante al mejor conocimiento de la distribución de los gonfoterios en México se encuentra la reciente hipótesis sobre la existencia de un “corredor occidental” en nuestro país, que incluye también el centro de México. Este concepto en realidad pretende destacar que los gonfoterios y mastodontes no están distribuidos en la vertiente atlántica de México. Esta hipótesis sugiere la ocupación preferente del territorio centro-occidental por estos mamíferos, dada la distribución geográfica de los hallazgos, aparentemente favorecida por la presencia de amplias llanuras y lagos asociados a condiciones climáticas más húmedas que las de las rutas migratorias orientales (Alberdi y Corona, 2005; Arroyo-Cabrales *et al.*, 2009).

Michoacán forma parte de ese corredor y en esta

entidad se había documentado la presencia de gonfoterios en al menos cinco localidades, hasta el reporte reciente de un hallazgo de material de *Cuvieronius hyodon* recuperado en la cuenca del Lago de Pátzcuaro (Robles-Camacho et al., 2009). Este hallazgo reviste particular importancia por representar un nuevo elemento faunístico que enriquecerá las interpretaciones para una cuenca en donde las secuencias lacustres de origen tectónico-volcánico (Israde-Alcántara et al., 2005; 2008 y referencias ahí citadas) han sido ampliamente estudiadas con fines paleoambientales (Garduño-Monroy et al., 1997; Bradbury, 2000; Telford et al., 2004; Israde-Alcántara et al., 2005; Newton et al., 2005; Metcalfe et al., 2007). Aunque la cuenca cuenta actualmente con una longitud máxima de 20 km y un área de 130 km<sup>2</sup> (Chacón-Torres, 1993), se considera que la forma, la sedimentación, el volumen de agua y la altura podrían haber variado en relación con la actividad volcánica y una serie de levantamientos tectónicos regionales y locales (Garduño-Monroy et al., 2004; Israde-Alcántara et al., 2005), entre los cuales es relevante la recurrente aparición de los aparatos volcánicos monogenéticos (Hasenaka y Carmichael, 1985; Newton et al., 2005). El registro estratigráfico en esta cuenca cubriría todo el Rancholabreano, con unidades que representan por lo menos a los últimos 48,000 años (Bradbury, 2000), formadas en un clima relativamente frío y húmedo (Bradbury, 2000; Metcalfe et al., 2007).

Además de la descripción de los restos de *Cuvieronius*, en este artículo se presenta la descripción estratigráfica detallada, petrográfica y polínica de la columna volcánico-sedimentaria fluvial de la zona de Barranca Rancho Viejo, lugar donde estaba alojado el fósil, con la finalidad de interpretar el paleoambiente previo, contemporáneo y posterior al depósito donde se hizo el hallazgo. Asimismo, se revisan las relaciones geológicas regionales y locales para reconocer las etapas volcánicas en la región y su relación directa con la sedimentación fluvial del yacimiento fósil. Con base en los datos obtenidos se plantean algunas aportaciones paleoambientales para el Pleistoceno tardío en correlación con otros trabajos estratigráficos y geocronológicos previos en la cuenca del Lago de Pátzcuaro y en general en la parte central del país.

## ÁREA DE ESTUDIO

El sitio paleontológico se localiza a 3.5 km al suroeste de la comunidad de Tzintzuntzan, en el municipio del mismo nombre, en la porción oriental del Lago de Pátzcuaro; coordenadas geográficas 19°35'27.2469" Norte, 101°35'13.6830" Oeste (Figura 1). El fósil se encontraba en una de las paredes de una cárcava conocida como Barranca Rancho Viejo.

Esta área se encuentra en el sector central del Cinturón Volcánico Transmexicano (Ferrari, 2000; Gómez-Tuena et al., 2005), específicamente en el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (CVMG; Hasenaka y Carmichael,

1985; Hasenaka, 1994). El CVMG tiene una historia registrada  $\leq 2$  Ma y es una de las regiones con volcanismo monogenético más extensas del mundo, con más de 900 conos cineríticos. Las estructuras de fallas y fracturas, aún activas, han jugado un papel muy importante en la distribución del magmatismo e inestabilidad de taludes en las cuencas (Garduño-Monroy et al., 1997, 2004 y referencias ahí citadas). Los detalles de la petrología, estructural y tectónica del CVMG pueden ser consultada en las referencias citadas y en las revisiones hechas por Garduño-Monroy et al. (1997), Newton et al. (2005) y Erlund et al. (in press).

Los aparatos volcánicos cercanos al lago están aparentemente distribuidos a lo largo de estructuras lineales con una orientación NNE-SSO y E-O. Un examen cuidadoso de las características del paisaje actual del lago sugiere una delimitación de la cuenca y de la ribera dependientes de las geoformas de los aparatos volcánicos. Resulta por lo tanto posible, como señalan algunos autores (De Buen, 1944), que los límites nororientales del lago se hayan formado por la aparición de un embalse causado por el emplazamiento gradual del sistema volcánico de la Sierra del Zirate, bloqueando la conexión con el paleosistema del río Lerma. Asimismo, se observa en la región norte que la característica forma de "C" del lago de Pátzcuaro se debe a una continuidad colineal con el perímetro de las geoformas circulares de los volcanes en semiescudo de los cerros Tariqueri, Yahuarato (en la parte interna de la "C") y El Bosque (en la parte noroccidental), los cuales además están caracterizados por tener una geoforma cónica, de pendiente fuerte, drenaje radial concéntrico (Figuras 1 y 2), una composición andesítica (ortopiroxeno±olivino) y una textura porfídica y traquítica.

El paisaje en la porción sur del lago es diverso y contrastante, se observa un paisaje abierto, típico de llanura de inundación que contiene depósitos lacustres y cenizas volcánicas asociados a una mayor concentración de conos cineríticos, con un diámetro <1 km, incluyendo todas las islas (excepto Jarácuaro). Las lavas asociadas a estos aparatos volcánicos tienen una composición basáltica con olivino ± ortopiroxeno ± clinopiroxeno. Es importante señalar que estas diferencias geomorfológicas y de distribución del volcanismo son también coherentes con la batimetría y muy probablemente con el régimen de sedimentación del lago, en donde la zona norte tiene una subcuenca restringida más profunda ( $\geq 15$  m), mientras que, al sur, el lago ha permanecido relativamente poco profundo ( $\leq 7$  m) (De Buen, 1944).

Considerando la interdependencia morfogenética de los volcanes Yahuarato y Tariqueri con el lago, así como su edad de 540 ka (Figuras 1 y 2; Ban et al., 1992), se sugiere que este evento de volcanismo andesítico en semiescudo predataría la configuración hidrológica regional en forma de "C" del Lago de Pátzcuaro, ya que habría estrechado aún más la llanura de inundación al "estrangular" la porción norte para formar una subcuenca durante el inicio del Pleistoceno tardío (Illinoiano, Figuras 1 y 2). Sin duda, este evento habría cambiado la hidrodinámica regional de la

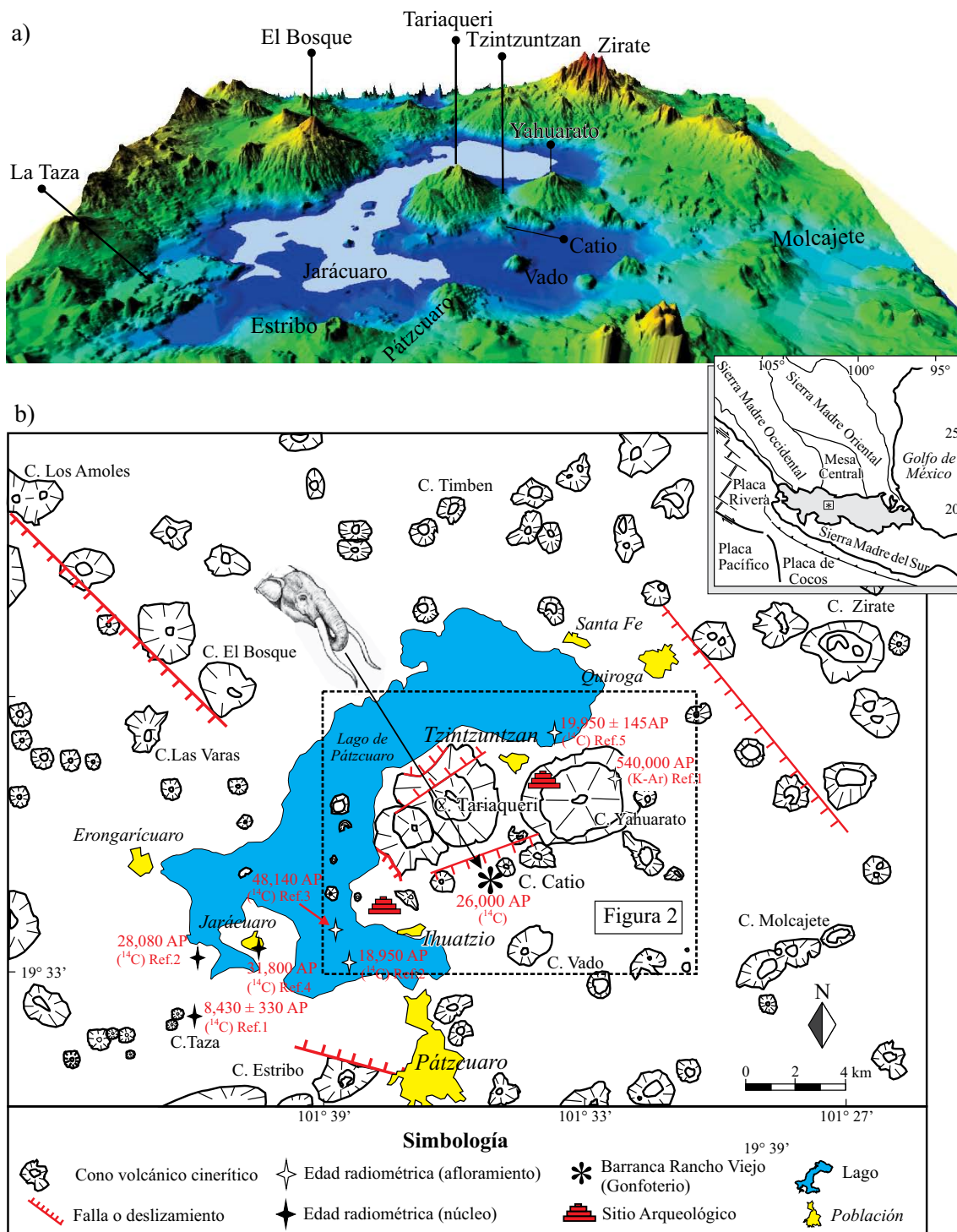


Figura 1. Marco geológico regional de la localidad paleontológica. La ubicación de los aparatos volcánicos fue trazada considerando las características fisiográficas. Las edades compiladas fueron obtenidas tanto de afloramientos, como de pozos o trincheras. Referencias, asterisco: este estudio; 1: Ban *et al.* (1992); 2: Israde-Alcántara *et al.* (2005); 3: Bradbury (2000), profundidad 21.5 m; 4, 6: Terret (2000); profundidad 0.70 m, Ohara *et al.* (1993), profundidad 2.5 m, en Israde-Alcántara *et al.* (2005); 5: Metcalfe *et al.* (2007), profundidad 2.5 m; 7: Fisher (2007), profundidad 0.8 m.

cuenca, dividiéndola en dos porciones, sirviendo así como un horizonte basal índice (*marker*) para los procesos de sedimentación fluvio-lacustre a partir del Sangamoniano.

Con base en su composición litológica, su estructura y textura, así como en la evolución de las geoformas posterup-

tivas (Valentine *et al.*, 2006; Riggs y Duffield, 2008), es posible identificar al menos otros tres posibles eventos volcánicos posteriores al sistema Yahuarato-Tariaqueri (Figura 2): i) conos andesíticos de textura traquítica con olivino-ortopiroxeno y domos dacíticos con derrames y flujos

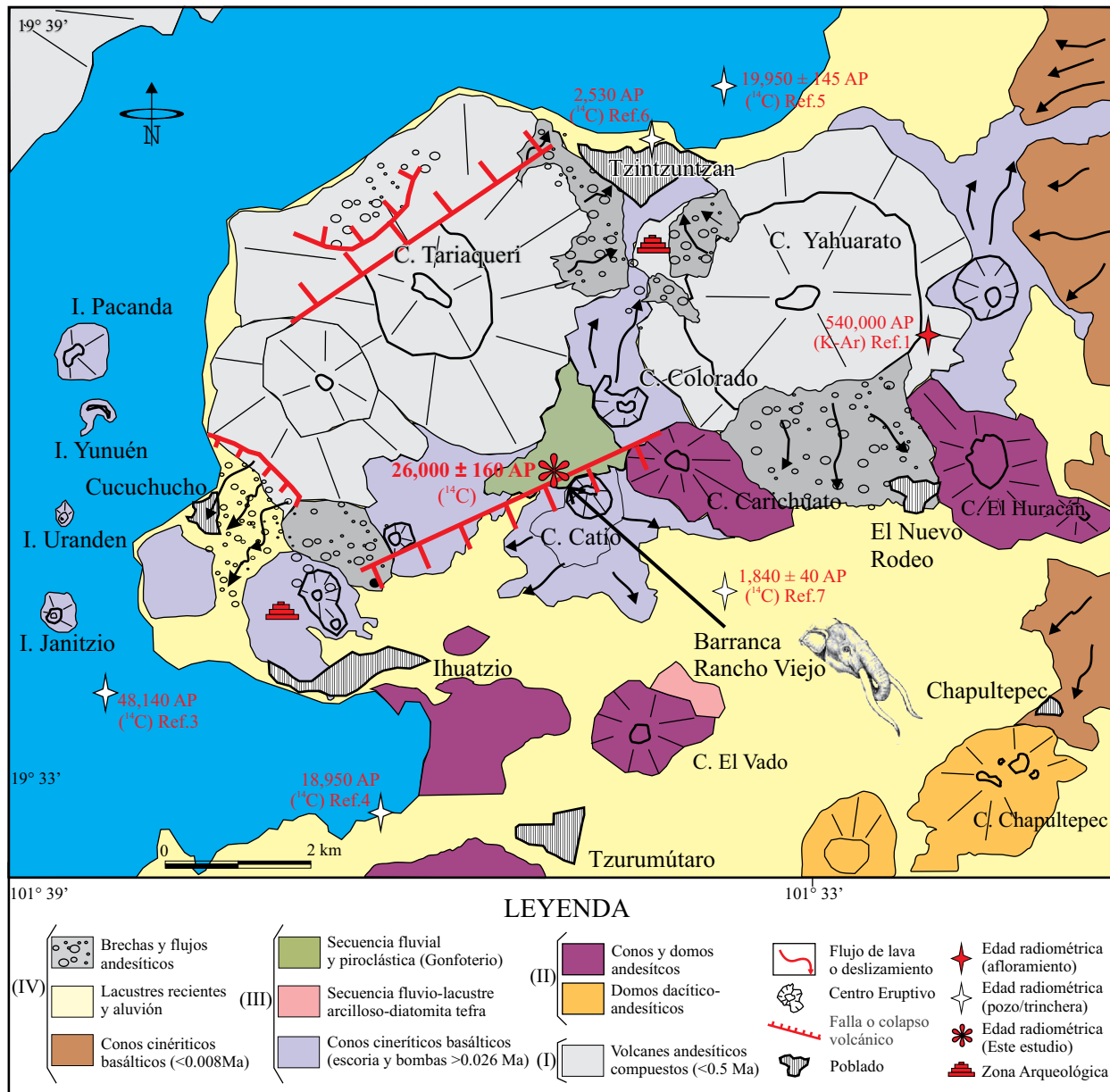


Figura 2. Mapa geológico de la porción norte del lago de Pátzcuaro. Nótese la ubicación de la localidad paleontológica en la Barranca Rancho Viejo. Ver referencias para las edades compiladas en el pie de la Figura 1 y en el texto.

piroclásticos asociados, que contienen material juvenil con anfíbol-biotita (*e.g.*, Carichuato, Vado y Chapultepec.); *ii*) conos cineríticos de escoria, depósitos de caída y derrames basálticos de menor volumen con textura traquítica/pilotáxica con olivino-ortopiroxeno-clinopiroxeno (*e.g.*, Santa Cruz, Ihuatzio, Catio), y *iii*) conos y derrames basáltico-andesíticos asociados a eventos contemporáneos de depósitos de caída, escorias de flujo y derrames (84 ka, La Taza; Ban *et al.*, 1992 y Rancho Seco).

Si bien sólo existen fechas de dos eventos volcánicos en la zona, las edades por radiocarbono de los sedimentos lacustres que están intercalados con cenizas volcánicas han permitido correlacionar y constreñir periodos con variaciones químico-biológicas de la sedimentación con algunos

eventos volcánicos de la cuenca de Pátzcuaro (Newton *et al.*, 2005).

Cabe aclarar que sólo una parte de estos sedimentos documentan la parte final del Pleistoceno (Wisconsiniano), ya que la mayoría corresponden al Holoceno. La edad más antigua de sedimentación es de 48 ka y fue obtenida de un núcleo de 13 m de profundidad al sur de Janitzio (Bradbury, 2000). Otro periodo que parece estar bien definido se sitúa entre 33 y 13 ka (Israde-Alcántara *et al.*, 2005; Metcalfe *et al.*, 2007), el cual está representado en las columnas expuestas en las cercanías de Arócutin y Jarácuaro (Bradbury, 2000; Israde-Alcántara *et al.*, 2005), así como en algunos núcleos en la misma zona y al norte de Tzintzuntzan (Metcalfe *et al.*, 2007).

Hasta el momento no existen edades radiométricas del Sangamoniano para algún aparato volcánico específico. Las evidencias de la actividad volcánica en esta edad del Pleistoceno tardío corresponden a la intercalación de horizontes de ceniza de edades mayores a 18,000 años (Newton *et al.*, 2005) y posiblemente a la existencia de volcanismo paroxismal recurrente activo hasta el Reciente. De hecho, en la cuenca de Pátzcuaro se habrían emplazado por lo menos 16 conos cineríticos durante el Holoceno (Newton *et al.*, 2005).

Finalmente, en la parte central del área de estudio aflora una serie de conos cineríticos (Cerrito Colorado, Lomas Jaranicuteni, Catio, Santa Cruz) de composición basáltica con olivino  $\pm$  ortopiroxeno, alineados este-oeste y asociados a una serie de secuencias volcanosedimentarias. Al oriente del cerro Vado ha sido identificada una secuencia fluvio-lacustre con diatomitas (Figura 2), mientras que en la barranca Rancho Viejo, localidad del hallazgo del gonfoterio, se observa una secuencia sedimentaria fluvial intercalada con los productos piroclásticos y derrames del cono monogénico del cerro Catio.

## MATERIAL Y MÉTODO ANALÍTICO

El mapa geológico que se presenta (Figura 2) fue realizado por el método tradicional, partiendo de la interpretación de fotos a color, a escala 1:40,000, del vuelo de esta zona (INEGI, febrero de 2007), el cual fue vertido en una base topográfica digital georeferenciada. Mediante trabajo de campo se realizó la verificación de los contactos y la interpretación de los eventos volcánicos regionales y locales asociados a las secuencias fluvio-lacustres, el cual se apoyó, en particular, con el levantamiento en detalle de la columna estratigráfica que contenía los restos del gonfoterio.

Se procedió a la preparación de las muestras de roca y sedimentos para su análisis petrográfico. Con la finalidad de obtener otros elementos regionales y paleoambientales para la cartografía de detalle, durante el muestreo fue considerada una serie de rocas volcánicas, sedimentos y depósitos de ceniza pertenecientes a un área más extensa. Se identificaron las texturas y los minerales modales en las rocas consolidadas, mientras que en el caso de los sedimentos se determinaron el nivel de intemperismo, la madurez sedimentológica de los minerales, líticos y vidrio, así como el nivel de desvitrificación de las cenizas volcánicas.

Para el análisis polínico se prepararon laminillas especiales con la técnica de Faegri e Iversen (1989) usando las muestras de sedimento de la columna. La información obtenida se presenta en forma de diagrama polínico en donde se grafica el porcentaje relativo de las comunidades vegetales identificadas en cada muestra analizada. Finalmente, el depósito inmediatamente subyacente al nivel del hallazgo paleontológico se fechó indirectamente a través de un

fragmento de tronco parcialmente carbonizado de aproximadamente 12 cm de largo y 3–4 cm de espesor. La muestra fue enviada al laboratorio Nacional de Ciencias del Océano (NOSAMS) para el análisis isotópico de  $^{14}\text{C}$  con la técnica de espectrometría de aceleración de masas. El impreso de una hoja en los sedimentos donde fue encontrado el gonfoterio fue analizada desde el punto de vista taxonómico y asignada su clasificación como se describe más adelante.

En cuanto al gonfoterio, éste se encontraba aflorando parcialmente en una de las paredes de la cárcava. Para impedir el deterioro ocasionado por visitantes de la zona, sus restos fueron extraídos en un bloque de matriz de aproximadamente 1 m<sup>3</sup>, llevándose al gabinete para ser excavado, limpiado, consolidado y restaurado. La nomenclatura dental empleada es la utilizada en México para este grupo, *e.g.*, la mandíbula y sus molares fueron medidos siguiendo los criterios de Ficarelli *et al.* (1993) y de Alberdi *et al.* (2002). Las dimensiones del ejemplar de Tzintzuntzan fueron comparadas con las de ejemplares de otras localidades de México (Lucas y González León, 1997; Alberdi y Corona, 2005), de Sudamérica (Frassinetti y Alberdi, 2000; Alberdi *et al.*, 2004) y de Nuevo México (Montellano-Ballesteros, 2002); esta comparación métrica se muestra a manera de gráficas, aunque en los casos en los que no hubiese información sobre la anchura por lófidio, se usó la anchura máxima para graficar cada caso. La edad relativa del fósil (juvenil, adulto, viejo) de Tzintzuntzan se estableció siguiendo la propuesta de Laurito Mora (1988), la cual considera el desgaste de los diferentes dientes molariformes.

## RESULTADOS

### La sucesión volcánico-sedimentaria fluvial de Barranca Rancho Viejo (SBRV)

La secuencia litoestratigráfica de la SBRV descansa discordantemente sobre los derrames de lava de la ladera sureste del volcán Tariaquerí (Figura 3). Se expone en planos subhorizontales con rumbo N16E y con una ligera inclinación de 2–5° hacia el sureste (Figura 4a), lo cual sugiere que su exposición actual se debe a un basculamiento relacionado a una estructura de extensión (Figura 2). La columna compuesta tiene alrededor de 65 m de espesor y está constituida predominantemente por depósitos piroclásticos de caída con la interdigitación de conglomerados y areniscas conglomeráticas mal consolidadas, así como un derrame basáltico en su porción basal. Para su descripción se realizó un muestreo sistemático y se determinaron los porcentajes mineralógicos modales (Tabla 1), la textura y la forma de los constituyentes con la finalidad de identificar sus posibles relaciones de procedencia.

La parte basal de la sucesión está constituida por arenas conglomeráticas intercaladas con limos y aglomerados basálticos de matriz limo-arenosa mal consolidados. Los clastos varían de subredondeados a angulosos y proba-

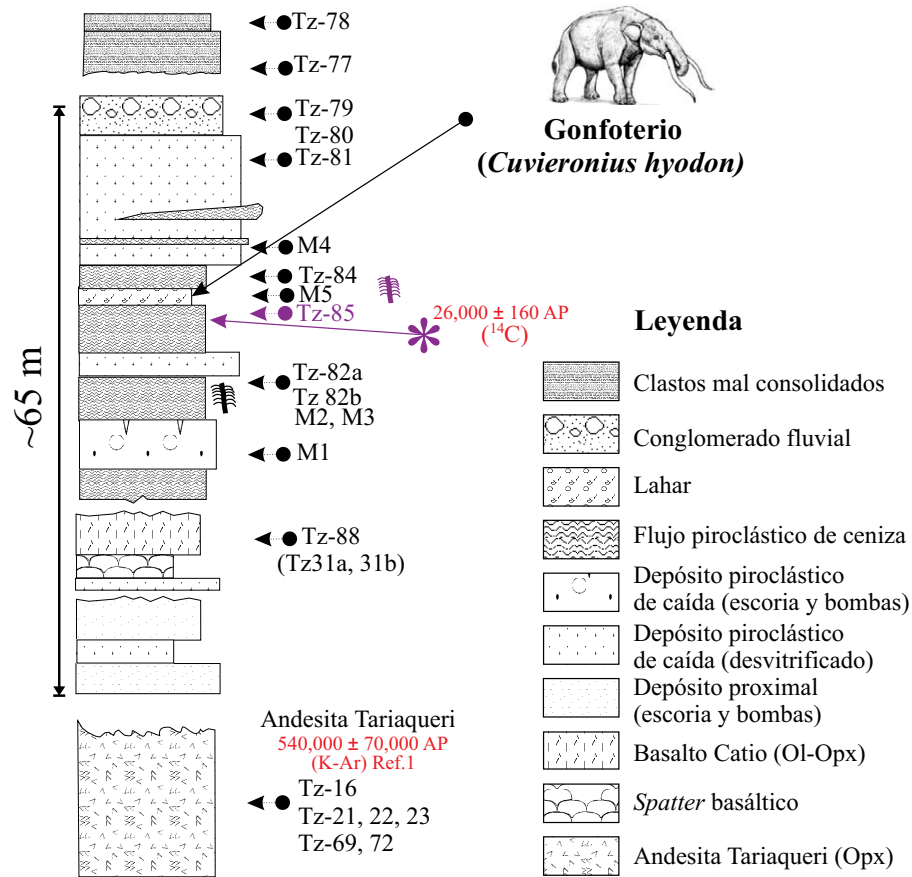


Figura 3. Columna estratigráfica de la localidad paleontológica en la Barranca Rancho Viejo (SBRV); incluye la ubicación del nivel en que se encontró la mandíbula del *Cuvieronius hyodon* y de la muestra fechada con el método de  $^{14}\text{C}$  para este estudio, así como de las muestras estudiadas al microscopio. Ver referencias para otras edades en el pie de la Figura 1 y en el texto.

blemente están relacionados a las primeras efusiones del volcán Catio.

Los conglomerados se encuentran sobreyacidos por un depósito de saplicaduras (*spatter*) de lava de aproximadamente 5–7 m de espesor, el cual subyace a los derrames de lava con estructuras de flujo hacia el lago (sur-sureste). Los basaltos tienen una estructura vesicular y presentan una textura traquíitico-fluidal con una matriz fina de plagioclasa anortítica con fenocristales de olivino (TZ-88; Figura 4g). Los derrames basálticos subyacen discordantemente a una serie de capas de color amarillo ocre y naranja que consisten en la alternancia de depósitos de flujos de escombros y de depósitos piroclásticos de caída de escorias con abundantes bombas, y horizontes de caída de granulometría de lapilli y ceniza (<10%). Las capas presentan una clara estratificación y en algunos casos pueden observarse estructuras gradadas y fragmentos de materia orgánica de troncos y hojas. Los horizontes de tefra, de procedencia incierta, se presentan en capas de aproximadamente 20 cm de espesor y con un aspecto terroso por desvitrificación. La textura es ocasionalmente vítrea y compacta, con un pequeño contenido de cristales de plagioclasa. Las muestras TZ-82a y TZ-82b han sido

clasificadas petrográficamente como toba vítreo-cristalina de composición basáltico-andesítica (vidrio+plagioclasa+ferromagnesianos+óxidos). Las concentraciones de fitolitos y polen pueden alcanzar en algunos casos hasta el 6% del total de la muestra. La capa superior de esta secuencia (TZ-85) se presenta muy compacta. Se identificaron microscópicamente concentraciones >60 % de vidrio de composición química intermedia con minerales accesorios (óxidos, silicatos). Sin embargo, es conveniente mencionar que las texturas del vidrio presentan formas difusas de desvitrificación (felsofidico) con una abundante proporción de fitolitos (5–8%; Figura 4c). La edad de  $^{14}\text{C}$  obtenida para un fragmento de madera colectado en este estrato corresponde a  $26,000 \pm 190$  AP.

El siguiente horizonte estratigráfico de la sucesión es un paquete de ~1.35 m de espesor, el cual está constituido principalmente por un depósito generado por un lahar e interdigitado con horizontes delgados (1–2 cm) de vitrófidos oscuros. La matriz está constituida por material limo-arenoso que soporta a líticos del tamaño de gravas y a bombas volcánicas. Este es el horizonte de donde se extrajeron los restos de megafauna (Figura 4b) y posee un alto contenido de materia orgánica, principalmente

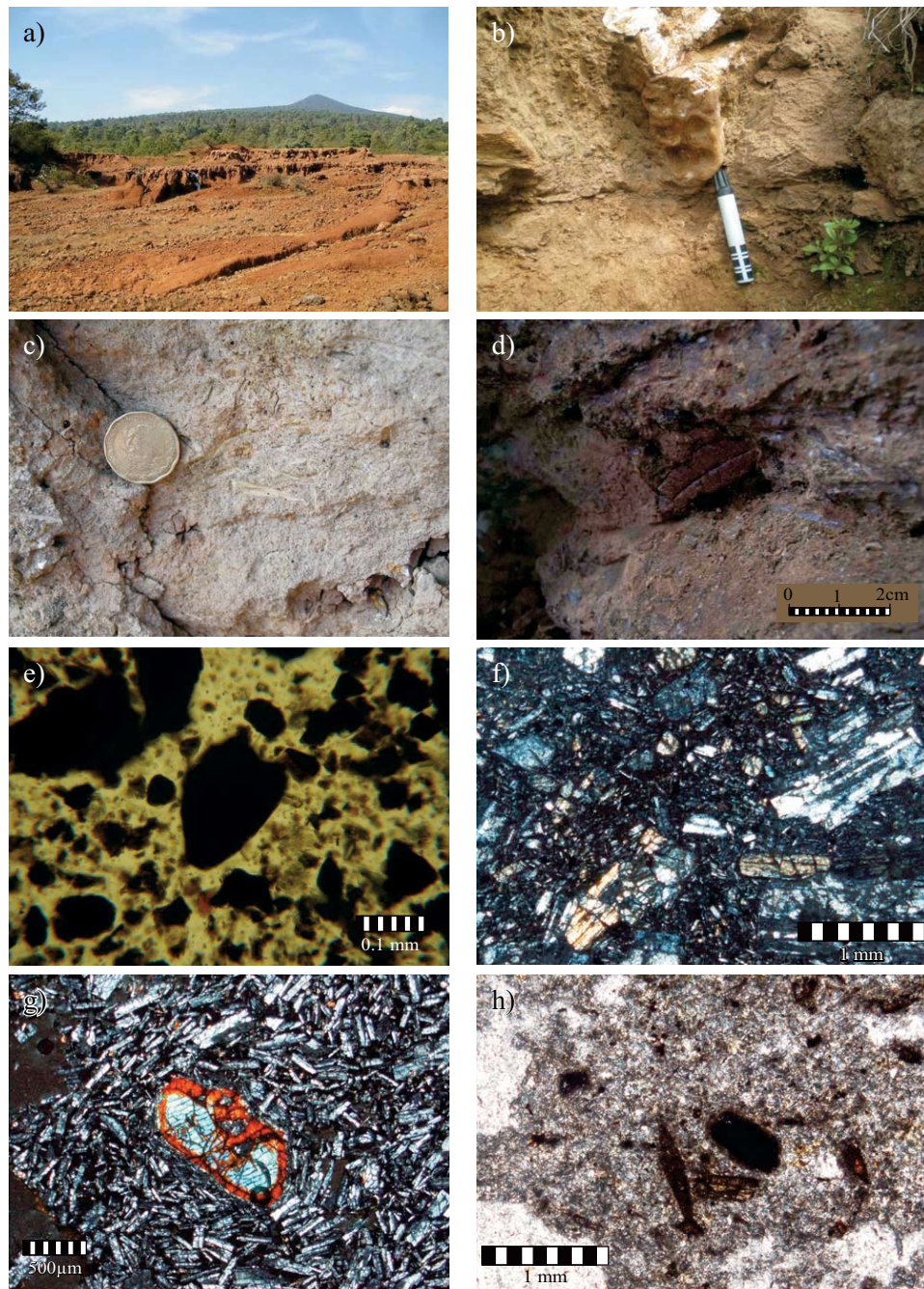


Figura 4. Detalles de la localidad paleontológica, de los macrofósiles y de las características petrográficas de algunas muestras. a) Vista noroeste de la Barranca Rancho Viejo, con la cima del cerro Tariaqueri al fondo. b) Vista parcial inferior de la mandíbula del *Cuvieronius hyodon* todavía *in situ* en el afloramiento. c) Horizonte del lahar (TZ-85) con restos de troncos y hojas. d) Impresión de hoja del género *Ulmus* recuperada de la matriz que contenía la mandíbula (muestra M5). e) Fotomicrografía de los sedimentos de la muestra TZ-85; nótese las formas de los fragmentos sub-angulosos a sub-redondeados de vidrio. Luz polarizada (10X). f) Fotomicrografía de una muestra de un derrame andesítico del cerro Tariaqueri (muestra TZ-16). Notar la textura porfídica y los fenocristales de plagioclasa y ortopiroxeno. Luz polarizada (2X). g) Fotomicrografía de una muestra del derrame basáltico del Cerro Catio (muestra TZ-88). Notar la textura traquítica de la matriz y el fenocristal de olivino con borde de oxidación iddingsítico. Luz polarizada (2X). h) Fotomicrografía de una muestra de ignimbrita félsica del cerro Chapultepec (muestra TZ-12a). Notar la matriz de vidrio, así como fenocristales de anfíbol y biotita oxidados.

constituida por fragmentos de tallos, raíces e impresiones de hojas (Figura 4d).

Posteriormente y en forma ascendente, se presenta una serie de alternancias de depósitos de caída con algunos flujos piroclásticos que exponen formas de arrastre debido a

la cercanía con el centro eruptivo del volcán Catio (~500 m). El material es completamente vítreo-cristalino, aunque está parcialmente desvitrificado. En la muestra TZ-84, se observa plagioclasa sódica, cuarzo y ferromagnesianos oxidados. Se estima que la desvitrificación de la matriz es de un 6% y



Tabla 1. Relaciones porcentuales de los componentes mineralógicos, vidrio y fitolitos visibles hasta un aumento de 50X.

Muestra	Vidrio	Alteración	Ferromagnesianos	Plagioclasa	Cuarzo	Oxidos	Oxidos+Polen
Tz-78	70	7	trazas	3	10	5	4
Tz-77	46	8	1	4	25	8	8
Tz-79	58	10	2	2	8	8	12
Tz-81	82	1	6	9	trazas	2	trazas
Tz-84	68	6	8	8	0	2	8
Tz-85	73	8	7	5	trazas	2	5
Tz-82a	70	4	15	3	trazas	6	2
Tz-82b	75	8	6	3	0	6	2
Tz-83	68	2	24	3	0	2	1

se observa argilización en la plagioclasa. La presencia de fitolitos y polen alcanza hasta un 8%.

La siguiente unidad se distribuye a lo largo de todo el pequeño valle que forma el arroyo de la BRV (Figura 2 y 4a). Está constituida por una secuencia interdigitada de depósitos piroclásticos de caída en capas que alcanzan espesores de hasta 4 m, intercalados con horizontes centimétricos de flujos piroclásticos de cenizas. Los depósitos de caída (TZ-81) muestran un grado de desvitrificación variable y en general <6%, con escasos fitolitos y polen (< 2%). Los agregados minerales son plagioclasa, piroxenos y óxidos.

En posición normal se encuentran una serie de depósitos de canal que cubren discordantemente a la unidad antes descrita. Este depósito está integrado por un conglomerado polimítico de clastos redondeados con estructuras de corriente, que muestran una polaridad hacia el sur-sureste o la zona baja del lago. Los clastos son todos de composición volcánica, pero muestran fuentes de distinta composición, desde basáltica y andesítica a dacítica, como las observadas en los cerros Tariaqueri y Chapultepec (Figura 4f y 4h). Aunque se observa una predominancia de los clastos dacíticos y andesíticos, el tamaño y forma de los líticos varía en función de su composición, de tal suerte que los clastos de basalto son redondeados a subredondeados con dimensiones de bloques a guijarros, los de andesita son angulosos a subangulosos, con tamaños de grano de gravas a guijarros y los clastos dacíticos son guijarros subredondeados y se caracterizan por presentar anfíboles bien desarrollados.

Finalmente, en la parte superior de la columna se observa una serie de depósitos clásticos mal consolidados en estratos de 2 a 6 m de espesor, de estructura irregular, los cuales cubren discordantemente a las unidades anteriores. Sin embargo, estos horizontes ocurren con un aspecto discontinuo, lenticular y dimensiones reducidas, limitados aparentemente a depósitos de ladera por acumulación detrítica y efecto de gravedad, derivados directamente de la ladera del cerro Tariaqueri. La composición de la muestra

(TZ-77) presenta un elevado contenido de plagioclasa y cuarzo (30 %), arcillas (esmeclita-halloysita, 10 %) y escasos ferromagnesianos y fitolitos entre 6 % y 8 %.

En síntesis, la procedencia de los clastos de la SBRV es variable: en la zona basal e intermedia predomina un origen volcánico (derrames) y volcanoclástico con algunos depósitos de lahar y está directamente relacionada con las explosiones y efusiones del cerro Catio. En los niveles intermedios la composición es aún basáltica pero predominan los depósitos piroclásticos de caída con una matriz de lapilli y ceniza volcánica fina. En este caso en particular, no podría precisarse aún la fuente de las cenizas que acusan procesos variables de desvitrificación.

Por el contrario, en la cima de la columna aparentemente cambia el régimen de sedimentación con clastos de submaduros a maduros y con una composición dacítica y en menor proporción andesítica.

Asimismo, la procedencia de los clastos félsicos de la porción somital de la SRBV no es fácil de establecer, en cuanto en la actualidad no se observa una fuente cercana. Es importante mencionar que en las laderas del cerro Catio se encuentran, con una relativa frecuencia, fragmentos félsicos similares a los conglomerados. Estos primeros datos sugieren un depocentro con clastos félsicos, en definitiva con un paisaje y proceso de erosión diferente al actual; la altitud y geometría de la paleocuenca fluvial constituye hoy en día un alto estructural relacionado a fallamiento local.

### Palinología de los sedimentos de la columna SBRV

En la Figura 5 se presenta el diagrama polínico de las muestras de la columna estratigráfica de la Figura 3. De acuerdo con éste, la columna ha sido dividida en tres zonas. Para visualizar la importancia de los procesos de desvitrificación del material piroclástico, promovidos principalmente por hidrólisis, y su correspondencia con la abundancia florística, se anexa en el diagrama la cuantificación de vidrio transformado a arcillas (esmeclita) y el contenido de fitolitos.

En la base, la zona I presenta una vegetación abierta con árboles dispersos de *Abies*, *Pinus* y *Quercus* en una matriz de vegetación asociada a un matorral formado por taxa arbustivos y herbáceos como *Acacia*, *Piper*, *Urticaceae*, *Compositae*, *Melastomataceae*, así como abundancia de *Gramineae* y *Cyperaceae*, además de elementos de ambientes húmedos como *Typha*, *Cyperus* y *Chenopodiaceae/Amaranthaceae*. Esta asociación indica que un cuerpo de agua permanente estaba presente en las riberas del lago y zonas susceptibles de inundarse. En la cima de esta zona se observa un incremento en la presencia de *Abies*, asociado con una disminución de los taxa arbustivos y herbáceos, lo que representa un periodo corto de calma relativa en la región.

En la zona II, la base registra climas fríos que gradualmente variaron a temperaturas moderadas; el matorral

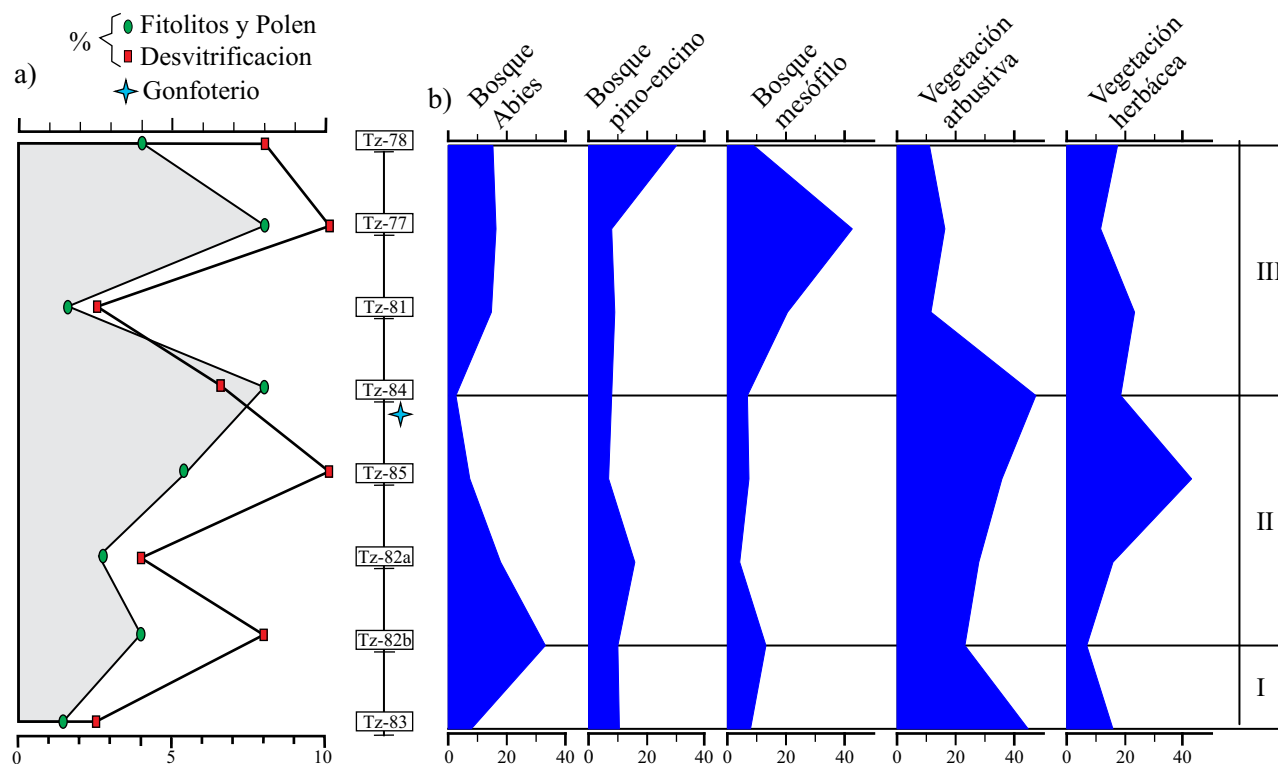


Figura 5. Perfil compuesto de la sucesión estratigráfica de la Sucesión Barranca Rancho Viejo. a) proporciones porcentuales de fitolitos y polen con respecto a la desvitricación de cenizas volcánicas e intemperismo, determinado a partir de la formación de arcillas y agregados criptocristalinos felsosídicos. b) Relaciones porcentuales del polen y su ambiente dominante. Las características microscópicas fueron determinadas en cada una de las muestras que se indican en la parte central de la figura compuesta, donde además se ilustra la posición del hallazgo paleontológico. Fitolitos y polen visibles hasta un aumento de 50X.

de altura tiende a ser sustituido por un bosque de *Abies*, así como por elementos de bosque mesófilo, que se extiende nuevamente sobre las áreas ocupadas por el bosque de *Abies* desarrolladas previamente. Este cambio sugiere que las condiciones de reemplazo de la comunidad vegetal por aumento de la temperatura o de temporadas más prolongadas de sequía, que se presentaban en la zona y que favorecían el desarrollo de matorral se habrían extendido, constituyéndose ésta en la vegetación dominante, aunque persisten elementos arbóreos aislados de *Pinus*, *Quercus*, *Abies*, *Juglans*, *Alnus*, *Betula*, *Ulmus*. De acuerdo con esta descripción, el gonfoterio en estudio habría habitado en un ambiente de clima más templado y paisaje dominado principalmente por matorrales, con escasos árboles; ambos formaban parte de su dieta.

En la zona III se observa que las condiciones cambian de nuevo. El clima es menos frío y se favorece el desarrollo de un bosque mesófilo con elementos como *Betula*, *Fraxinus*, *Acer*, *Podocarpus*, *Juglans* y *Cyathea*. Este bosque mesófilo, junto con los bosques templados que permanecen en la zona en las partes altas, sustituye al matorral, el cual tiende a desaparecer indicando que las condiciones de disturbio aparentemente han desaparecido, lo que genera condiciones para el desarrollo de un bosque cerrado. Sin embargo, hacia el final de esta zona el bosque mesófilo comienza a desaparecer rápidamente y en su lugar

permanece el bosque de pino-encino, lo cual indica condiciones más secas y frías.

## PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

Familia Gomphotheriidae Cabrera, 1929

Género *Cuvieronius* Osborn, 1923

*Cuvieronius hyodon* (Fischer, 1814)

**Material examinado.** El material corresponde a una mandíbula casi completa con la rama mandibular izquierda dañada (D.P. 5828) y fue registrado en el acervo del Laboratorio de Arqueozoología Mtro. Ticúl Alvarez Solórzano, del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH); actualmente se halla bajo resguardo del Centro INAH Michoacán.

**Descripción.** El hallazgo es una mandíbula en buen estado de conservación (Figura 6b). La rama derecha de la misma está completa (Figura 6c), ya que presenta el proceso coronoides y el cóndilo articular, así como los molares segundo y tercero. La rama izquierda está incompleta (Figura 6c) y ello se debe a que el fósil estuvo expuesto en el perfil por dicho lado: básicamente se encuentran la cara lingual y la parte anterior de la cara labial de la "rama horizontal", el molar segundo y un fragmento anterior del molar tercero.

Los molares segundos presentan tres lófidios: los

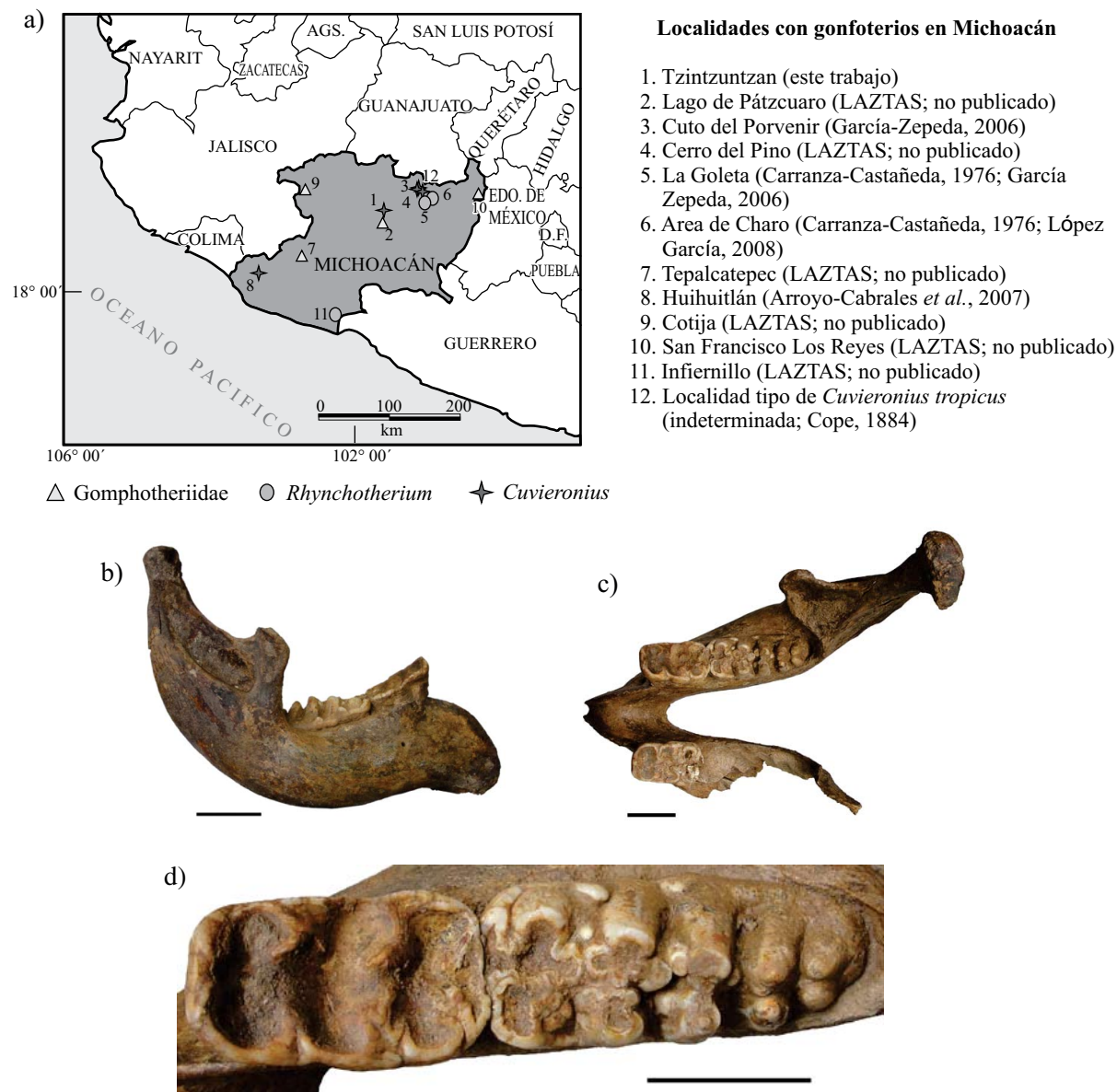


Figura 6. Marco paleontológico. a) Mapa de localidades paleontológicas con gonfoterios en el Estado de Michoacán. b-d) Detalles morfológicos de la mandíbula del *Cuvieronius hyodon* de Tzintzuntzan; b) norma lateral derecha; c) norma superior, con evidencias de destrucción del lado izquierdo; d) detalle de la superficie oclusal de los molares. La línea negra equivale a 10 cm. LAZTAS: referente a elementos no publicados de la colección del Laboratorio de Arqueozoología “M. en C. Ticúl Alvarez Solórzano” del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).

pretritros y postritros, tanto anteriores como posteriores, están muy desgastados y casi no conservan la separación entre los lófidros. El molar tercero presenta cuatro lófidros y un talónido grande, con desgaste claramente observable en los lófidros 1 a 2 y desgaste incipiente en el lófidro 3: la superficie muestra que el pretritrro corresponde a la figura de un trébol irregular, mientras que el postritrro o cónido lingual desarrolla una figura rectangular. Estos últimos presentan las siguientes singularidades: el primer postritrro posee en su parte posterior un cónulo bajo no desgastado y muy elaborado, mientras que en el margen anterior del segundo postritrro hay un pequeño cónulo ligeramente desgastado, y en el margen anterior del tercer postritrro el cónulo anterior

está insinuado; los postritros no adquieren la forma trebolada en ninguno de los tres casos y de esa forma la figura oclusal de los molares mantiene el trébol simple (Figura 6d). El grado de desgaste de estos molares sugiere que la mandíbula perteneció a un individuo adulto maduro.

La sínfisis es abreviada, dirigida hacia abajo y presenta un amplio surco “lingual” anterior; del lado derecho se presentan dos forámenes mentoneanos anteriores y dos posteriores, mientras que en el lado izquierdo hay un único foramen anterior y uno posterior. No existe evidencia de que la mandíbula hubiese poseído defensas en etapas previas de su desarrollo ontogénico. Los ejemplares pertenecientes a este género presentan defensas superiores en espiral y

banda de esmalte siguiendo dicha torsión, una mandíbula brevírostrina sin defensas y con la sínfisis muy corta, y molares con figura oclusal en forma de trébol simple en el pretrito o cóndilo labial, además de que los molares terceros presentan de 4 ½ a 5 ½ lófidios o crestas. Si bien se acepta la existencia de tres especies nominales en México con base en un diferente número de lófidios del m3, la variabilidad que se observa en esta pieza sugiere la existencia de sólo una especie, *Cuvieronius hyodon*.

**Discusión.** Los datos morfométricos de la mandíbula del gonfoterio se proporcionan en la Tabla 2. Las dimensiones de los molares segundos del *Cuvieronius hyodon* de Tzintzuntzan indican que se trata de un ejemplar de talla intermedia, en comparación con las de otros materiales de este género recuperados a lo largo de su área distribución (Figura 7a). Sin embargo, el molar tercero sugiere que se trata de un ejemplar más grande respecto a otros ejemplares mexicanos (Figura 7b). El cóndilo articular es semejante en talla al del holotipo de *Cuvieronius oligobunus*, recuperado en Tequixquiac, Estado de México (Cope, 1884), aunque con una sínfisis mandibular mucho más larga que la de ese mismo ejemplar y del procedente de Rancho Gerardo, Puebla (Montellano-Ballesteros, 2002), lo que sugiere una amplia variación en el género, más claramente distinguible cuando se considera una mayor cantidad de especímenes (Figura 7c). Asimismo, si bien la topografía del tercer molar de la mandíbula de Tzintzuntzan, con algunos cónulos entre los valles de los postritos, no es la más común, es parte de la variación de *Cuvieronius* (e.g., Osborn, 1936; Lucas, 2008).

El sitio de este hallazgo forma parte de las más de diez localidades de gonfoterios reportadas para el estado de Michoacán (Figura 6a). La relevancia del hallazgo del gonfoterio de Tzintzuntzan se fundamenta en su reporte escaso

en esta región. En Michoacán se han reconocido los géneros *Rhyncoterium* (Plioceno) y *Cuvieronius* (Pleistoceno). El material recuperado y objeto del presente estudio es de naturaleza excepcional, tanto por ser uno de los dos yacimientos en esta cuenca, como por su buen estado de conservación debido a la matriz piroclástica que lo contuvo y por ser una de las mandíbulas más o menos completas que se conocen en México. Esto ha permitido igualmente aportar en el reconocimiento de algunas posibles variaciones taxonómicas entre las poblaciones de estos proboscidos, para afinar el número de especies válidas, el intervalo temporal de su existencia y su distribución geográfica, ampliamente discutidos por otros autores (Laurito Mora, 1988; Montellano-Ballesteros, 2002; Arroyo-Cabrales *et al.*, 2007). En relación con las rutas migratorias, la presencia confirmada de un *Cuvieronius hyodon* en Tzintzuntzan favorece hasta ahora la hipótesis del “corredor occidental” propuesto por Alberdi y Corona (2005). Este corredor podría además haber coincidido con la presencia humana temprana, en cuanto comprendería la primera migración masiva de individuos del continente asiático al americano, ocurrida entre 70,000 y 20,000 años AP (Irving, 1985; Pérez-Crespo *et al.*, 2009).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Estudios paleoambientales previos del lago de Pátzcuaro se han basado esencialmente en el estudio de secuencias lacustres, debido a que su objetivo principal ha sido definir la evolución del lago. El estudio de una secuencia fluvial del Pleistoceno tardío, realizado a consecuencia del hallazgo de *Cuvieronius hyodon* y presentado en este trabajo, aporta información complementaria que contribuye al conocimiento de la evolución del paisaje en el área en

Tabla 2. Morfometría de la mandíbula del gonfoterio de Tzintzuntzan (dimensiones en milímetros).

Medida	DP- 5828	
Longitud máxima de la mandíbula en el plano oblicuo	750.0	
Longitud máxima de la mandíbula en el plano sagital	665.0	
Altura total	450.0	
Altura de la mandíbula a nivel anterior de la serie molar	168.6	
Altura de la mandíbula a nivel posterior de la serie molar	128.9	
Anchura máxima de la rama ascendente	240.8	
Longitud entre el proceso coronoides y el cóndilo articular (en el punto medio de cada estructura)	265.0	
Longitud del cóndilo articular	60.6	
Anchura del cóndilo articular	112.8	
Longitud entre el borde anterior del alvéolo y el mentón	215.8	
Longitud de la batería dental	300.5	
Longitud sinfisial	144.4	
Altura sinfisial	71.9	
Distancia mínima entre el borde anterointerno de los molares segundos	84.7	
Distancia mínima entre el borde posterointerno de los molares segundos	103.5	
Ángulo que forma el borde lateral de la sínfisis con la superficie oclusal del primer molar	70°	
m2	izquierdo	derecho
Longitud	121.1	123.2

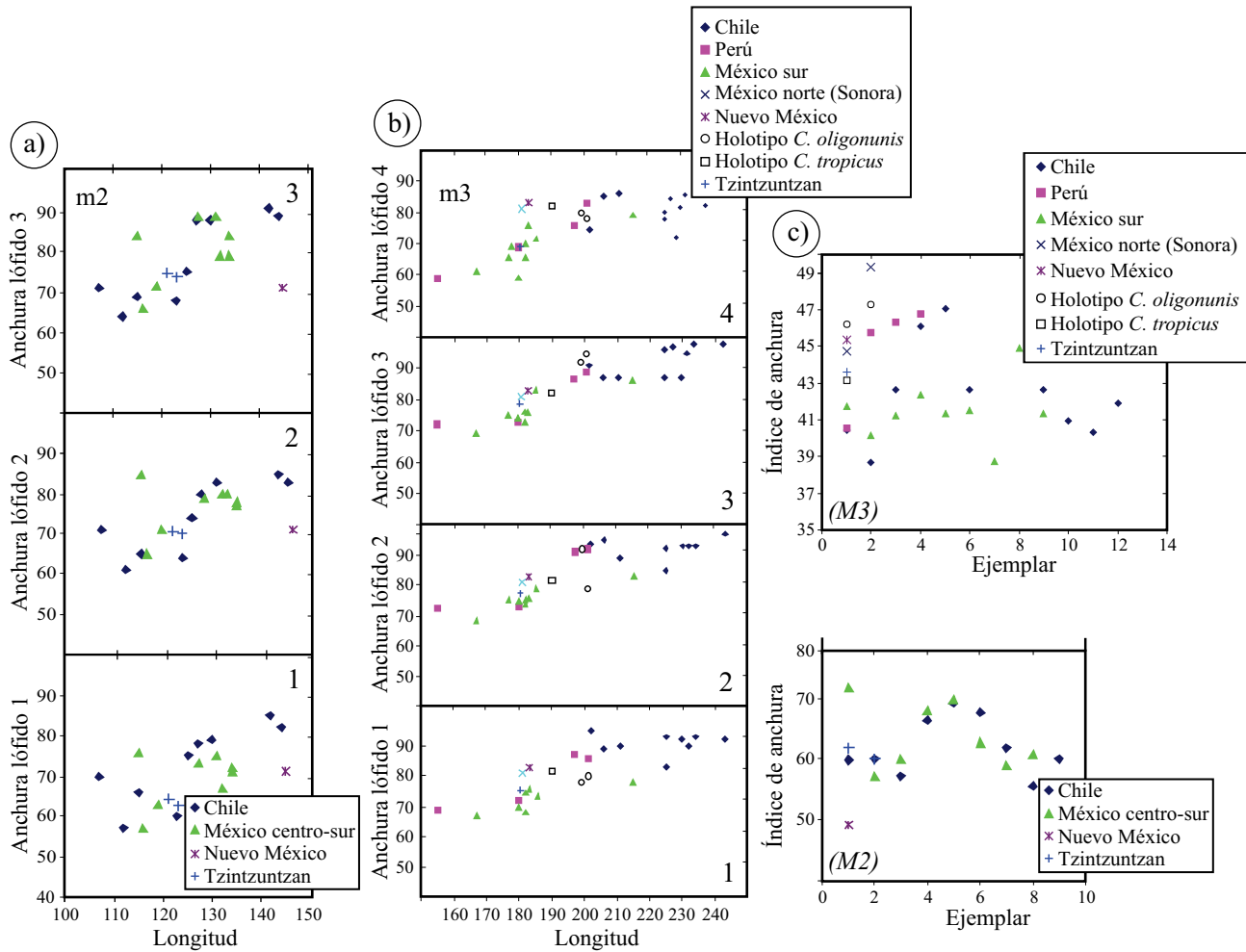


Figura 7. Análisis bivariante de molares del *Cuvieronius hyodon* de Tzintzuntzan y su comparación morfométrica con especímenes de otras localidades de México, Estados Unidos y Sudamérica. a) Molares segundos inferiores. b) Molares terceros inferiores. c) Índice de anchuras. Las comparaciones se basaron en los criterios establecidos por Ficcarelli et al. (1993), Lucas y González León (1997), Frassinetti y Alberdi (2000), Montellano-Ballesteros (2002), Alberdi et al. (2002), Alberdi et al. (2004), Lucas y Alberdi y Corona (2005), como se detalla en el apartado de Material y Método analítico.

dicha época, al utilizar una secuencia que representa un tipo de ambiente distinto. El horizonte fosilífero de la Barranca Rancho Viejo forma parte de una sucesión volcánico-sedimentaria constituida por lavas, depósitos de lahar, flujos piroclásticos y de caída provenientes del mismo aparato volcánico. Las características estratigráficas sugieren que el hábitat del organismo corresponde a una secuencia fluvial con un área restringida a la ladera del preexistente volcán Tariaqueri. La secuencia fluvial tenía un drenaje tributario con una clara polaridad meridional y marginal hacia el paleolago de Pátzcuaro, lo cual indica que el depocentro del lago era similar al actual. Por su parte, las variaciones granulométricas de la SBRV nos indican que el ambiente fluvial, a pesar de ser el de un cauce tributario, contenía algunas pequeñas áreas de inundación.

Datos basados en estudios de polen, una hoja fosilizada de *Ulmus* asociada a numerosos restos de madera inmersa en un estrato volcanosedimentario inferior a la posición de la mandíbula de gonfoterio descrita (zona II; Figura 3, 4b, 5a, 5b), sugieren que el arrastre de los restos del organismo

fue contemporáneo a las emisiones piroclásticas finales del volcán y fue causado en gran parte por un lahar diluido que transportó material con tamaño de arena, limo y escasos bloques, así como restos de una vegetación predominantemente arbustiva y herbácea. Este evento piroclástico, y otros contemporáneos, pudieron haber privado al medio de las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo pleno de bosques de *Abies* y pino-encino, hasta un subsecuente periodo de calma y recuperación, así sugerido por el dominio polínico de bosque mesófilo en la zona III (Figura 5).

En síntesis, y atendiendo a la información polínica integrada en la Figura 5, la coexistencia de cinco comunidades y sus variaciones relativas indican que, en la zona de Barranca Rancho Viejo, el clima contemporáneo al volcanismo del cerro Catio y al depósito paleontológico era frío y húmedo, lo que permitió el desarrollo de bosques de *Abies*, con evolución parcial a un ambiente más propicio para la formación de vegetación abierta, representada principalmente por arbustos y hierbas. En la parte final de esta historia local se aprecian condiciones que favorecieron el

dominio de un bosque mesófilo, hasta las condiciones actuales. Nuestros resultados señalarían por lo tanto un clima más frío y húmedo que el actual, con elevados porcentajes de taxa de vegetación como gramíneas y compuestas, perturbados por actividad volcánica y por las posibles variaciones espacio temporales de la propia subcuenca fluvial, posiblemente relacionadas al levantamiento y otros procesos relativamente locales (e.g., deslizamientos en masa, sismos, volcanismo distal, etc.). En correspondencia con las abundancias relativas de especies vegetales registradas en este lugar, es importante remarcar que las proporciones tanto de la desvitrificación de piroclastos como de la concentración de microflora, y en particular del bosque de *Abies*, muestran un correlación positiva directa (Figura 5), lo cual sugiere que los procesos de intemperismo e hidrólisis actuaron favorecidos por un clima húmedo y de importante precipitación sobre las variaciones de actividad volcánica.

Considerando las relaciones estratigráficas y geológicas del depósito de lahar que subyace al horizonte del hallazgo paleontológico y fue fechado por  $^{14}\text{C}$  en  $26,000 \pm 190$  años, es posible asignar una edad del Rancho Labreano al *Cuvieronius hyodon*, lo cual es apoyado por correlación con la actividad basáltica de olivino±ortopiroxeno del volcán monogenético Cerro Catio. Esta edad coincide con uno de los periodos de sedimentación fluvio-lacustre entre 33 y 13 ka propuesto por varios autores (Bradbury, 2000; Israde-Alcántara *et al.*, 2005; Metcalfe *et al.*, 2007), así como confirma el registro de actividad volcánica para este mismo periodo, como ha sido interpretado por la intercalación de horizontes de tefra en los sedimentos lacustres (Bradbury, 2000; Telford *et al.*, 2004), bajo condiciones climáticas regionales similares a las descritas aquí (Lozano-García y Xelhuantzi-López, 1997; Bradbury, 2000).

## AGRADECIMIENTOS

Al Mtro. José Manuel Mendiola, por su orientación en el proceso inicial de consolidación y limpieza de los huesos y molares, realizado por Sugei Pérez, Verónica Cruz y Alba Barrios, y a Mónica Martínez por la elaboración de material georeferenciado. Agradecemos las correcciones al texto y comentarios valiosos de las especialistas María Teresa Alberdi y Lucia Capra, los cuales han redundado en la calidad de este trabajo. El primer autor agradece asimismo al Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., el tiempo facilitado para la conclusión de este proyecto durante su estancia de investigación.

## REFERENCIAS

Alberdi, M.T., Corona, E., 2005, Revisión de los gonfoterios en el cenozoico tardío de México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 22(2), 246-260.  
 Alberdi, M.T., Prado, J.L., Cartelle, C., 2002, El registro de Stegomastodon (Mammalia: Gomphotheriidae) en el Pleistoceno superior de

Brasil: Revista Española de Paleontología, 17(2), 217-235.  
 Alberdi, M.T., Prado, J.L., Salas, R., 2004, The Pleistocene Gomphotheriidae (Proboscidea) from Peru: Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen, 231(3), 423-452.  
 Arroyo-Cabrales, J., Polaco, O.J., Johnson, E., Ferrusquía-Villafranca, I., 2010, A perspective on mammal biodiversity and zoogeography in the late Pleistocene of Mexico: Quaternary International, 212(2), 187-197.  
 Arroyo-Cabrales, J., Polaco, O.J., Johnson, E., Guzmán, A.F., 2003, The distribution of the genus *Mammuthus* in Mexico: Deinsea, 9, 27-39.  
 Arroyo-Cabrales, J., Polaco, O.J., Laurito Mora, C., Johnson, E., Alberdi, M.T., Valerio Zamora, A.L., 2007, The proboscideans (Mammalia) from Mesoamerica: Quaternary International, 169-170, 17-23.  
 Ban, M., Hasenaka, T., Delgado-Granados, H., Takaoka, N., 1992, K-Ar ages of lavas from shield volcanoes in the Michoacan-Guanajuato volcanic field, Mexico: Geofísica Internacional, 31(4), 467-473.  
 Bradbury, J.P., 2000, Limnologic history of Lago de Patzcuaro, Michoacan, Mexico, for the past 48,000 years; impacts of climate and man: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 163(1-2), 69-95.  
 Cabrera, A., 1929, Una revisión de los mastodontes argentinos: Revista del Museo de la Plata, 32, 61-144.  
 Carranza-Castañeda, O., 1976, *Rhynchotherium falconeri* del Rancho La Goleta, Michoacán, México (Resumen), en Resúmenes del III Congreso Latinoamericano de Geología: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, p. 28.  
 Chacón-Torres, A., 1993, Pátzcuaro, un lago amenazado: Morelia, México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, tesis de licenciatura, 144 pp.  
 Cope, E.D., 1884, The extinct Mammalia of the Valley of Mexico: Philadelphia, Proceedings of the American Philosophical Society, 22, 1-21.  
 De Buen, F., 1944, Los lagos michoacanos. II Pátzcuaro: Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, 5(1-2), 99-125.  
 Erlund, E.J., Cashman, K.V., Wallace, P.J., Pioli, L., Rosi, M., Johnson, E., Delgado-Granados, H., in press, Compositional evolution of magma from Paricutin Volcano, Mexico: the tephra record: Journal of Volcanology and Geothermal Research, doi:10.1016/j.jvolgeores.2009.09.015.  
 Faegri, K., Iversen, J., 1989, Textbook of Pollen analysis: Chichester, United Kingdom, John Wiley and Sons, 328 pp.  
 Ferrari, L., 2000, Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 53(1), 84-92.  
 Ficcarelli, G., Borselli, V., Moreno-Espinosa, M., Torre, D., 1993, New Haplomastodon findings from the late Pleistocene of northern Ecuador: Geobios, 26(2), 231-240.  
 Frassinetti, D., Alberdi, M.T., 2000, Revisión y estudio de los restos fósiles de mastodontes de Chile (Gomphotheriidae): *Cuvieronius hyodon*, Pleistoceno superior: Estudios Geológicos, 56, 197-208.  
 Fisher, C.T., 2007, Una investigación geoarqueológica en el sureste de la cuenca de Pátzcuaro: Un estudio piloto: Consejo de Arqueología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Informe Técnico Parcial, Temporada 2006, 28 pp.  
 Fischer, G., 1814, Zoognosia. Tabulis synoptice illustrata: Moscow, Typis Nicolai Sergeidis Vsevolozsky, 3, 1-694.  
 García-Zepeda, M.L., 2006, Nouvi dati paleontologici dalla depressione lacustre di Cuitzeo, Michoacan, Messico: Firenze, Italia, Università degli Studi di Firenze, tesi dottorale, 115 pp.  
 Garduño-Monroy, V.H., Israde-Alcántara, I., Francalanci, L., Carranza, O., Chiesa, S., Corona, P., Arreygue, E., 1997, Sedimentology, volcanism and tectonics of the southern margin of the lacustrine basins of Maravatio and Cuitzeo, Mich., Mexico (abstract), en International Association of Vulcanology and Chemistry of the Earth's Interior, General Assembly, Puerto Vallarta, p. 15.  
 Garduño-Monroy, V.H., Rodríguez-Pascua, M.A., Israde-Alcántara, I., 2004, Evidencias paleosísmicas en fallas activas y sedimentos deformados del lago de Pátzcuaro, Jarácuaro, Michoacán, México:

- Geotemas 6, 151-154.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M.T., Ferrari, L., 2005, Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(3), 227-283.
- Hasenaka, T., 1994, Size, distribution and magma output rate for shield volcanoes of the Michoacan-Guanajuato volcanic field, central Mexico: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 63(1-2), 13-31.
- Hasenaka, T., Carmichael, I.S.E., 1985, A compilation of location, size and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacan-Guanajuato volcanic field, central Mexico: Geofísica Internacional, 24(4), 577-607.
- Irving, W.N., 1985, Context and chronology of early man in the Americas: Annual review of anthropology, 14, 529-555.
- Israde-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V.H., Fisher, C.T., Pollard, H.P., Rodríguez-Pascua, M.A., 2005, Lake level change, climate, and the impact of natural events: the role of seismic and volcanic events in the formation of the Lake Patzcuaro Basin, Michoacan, Mexico: Quaternary International, 135(1), 35-46.
- Israde-Alcántara, I., Robles-Camacho, J., Domínguez, J.M., 2008, Beidellite-nontronite clays in Neogene sediments from Cuitzeo-Charo lacustrine basin Michoacan, Mexico, Geological setting and paleoenvironmental implications: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 60(2), 159-171.
- Lambert, W.D., 1996, The biogeography of the gomphoteriid proboscideans of North America, *en* Shoshani, J., Tassy, P. (eds.), The Proboscidea: Evolution and Palaeoecology of Elephants and their Relatives: Oxford, Oxford University Press, 143-148.
- Laurito-Mora, C.A., 1988, Los proboscideos fósiles de Costa Rica y su contexto en la América Central: Vínculos, 14, 29-58.
- López-García, J.R., 2008, Estudio estratigráfico, sedimentológico y paleontológico de la región de Indaparapeo-Charo, Paleolago de Cuitzeo, Mich., México: Morelia, México, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, tesis de maestría, 129 pp.
- Lozano-García, M.D., Xelhuantzi-López, M.S., 1997, Some problems in the Late Quaternary pollen records of central Mexico: basins of Mexico and Zacapu: Quaternary International, 43(4), 117-123.
- Lucas, S.G., 2008, Late Cenozoic vertebrate fossil assemblages from Jalisco, Mexico: New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 44, 51-64.
- Lucas, S.G., González-León, C.M., 1997, Cuvieronius (Mammalia, Proboscidea) de Oquitoa, Sonora: Geología del Noroeste, 2(1), 12-13.
- Metcalfe, S.E., Davies, S.J., Braisby, J.D., Leng, M.J., Newton, A.J., Terrett, N.L., O'Hara, S.L., 2007, Long and short-term change in the Pátzcuaro Basin, central Mexico: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 247(3-4), 272-295.
- Montellano-Ballesteros, M., 2002, New Cuvieronius findings from the Pleistocene of Central Mexico: Journal of Paleontology, 76(3), 578-583.
- Montellano-Ballesteros, M., Arroyo-Cabrales, J., 2002, Avances en los estudios paleomastozoológicos en México: México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colección Científica, 443, 248 pp.
- Montellano-Ballesteros, M., Jiménez-Hidalgo, E., 2006, Mexican fossil mammals, who, where and when?, *en* Vega, F.J., Nyborg, T.G., Perrilliat, M.C., Montellano-Ballesteros, M., Cevallos-Ferriz, S.R.S., Quiróz-Barroso, S.A. (eds.), Studies on Mexican Paleontology: The Netherlands, Springer, 249-273.
- Newton, A.J., Metcalfe, S.E., Davies, S.J., Cook, G., Barker, P., Telford, J., 2005, Late Quaternary volcanic records from lakes of Michoacán, central Mexico: Quaternary Science Reviews, 24(1-2), 91-104.
- Osborn, H.F., 1923, New subfamily, generic and specific stages in the evolution of the Proboscidea: American Museum Novitates, 99, 1-4.
- Osborn, H.F., 1936, Proboscidea: a monograph of the discovery, evolution, migration, and extinction of the mastodons and elephants of the world: New York, The American Museum Press, 802 pp.
- Pérez-Crespo, V.A., Sánchez-Chillón, B., Arroyo-Cabrales, J., Alberdi, M.T., Polaco, O.J., Santos-Moreno, A., Benammi, M., Morales-Puente, P., Cienfuegos-Alvarado, E., 2009, La dieta y el hábitat del mamut y los caballos del Pleistoceno tardío de El Cedral con base en isótopos estables ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ): Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 26(2), 347-355.
- Riggs, N.R., Duffield, W.A., 2008, Record of complex scoria cone eruptive activity at Red Mountain, Arizona, USA, and implications for monogenetic mafic volcanoes: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 178(4), 763-776.
- Robles-Camacho, J., Corona-Chávez, P., Morales-Gámez, M., Guzmán, A.F., Domínguez-Vázquez, G., Israde-Alcántara, I., Oliveros-Morales, A., 2009, A gomphothere from lake Pátzcuaro, Michoacán, México: Current Research in the Pleistocene, 26, 42-44.
- Telford, R.J., Barker, P., Metcalfe, S., Newton, A., 2004, Lacustrine responses to tephra deposition: examples from Mexico: Quaternary Science Reviews, 23(23-24), 2337-2353.
- Valentine, G.A., Perry, F.V., Krier, D., Keating, G.N., Kelley, R.E., Cogbill, A.H., 2006, Small-volume basaltic volcanoes: eruptive products and processes, and post-eruptive geomorphic evolution in Crater Flat (Pleistocene), southern Nevada: Geological Society of America Bulletin, 118(11-12), 1313-1330.

Manuscrito recibido: Marzo 3, 2010

Manuscrito corregido recibido: Junio 16, 2010

Manuscrito aceptado: Agosto 10, 2010