

## Descripción taxonómica y estudio de isótopos estables ( $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ ) de *Mammuth americanum* (Kerr, 1792) (Proboscidea, Mammuthidae) del Blancano (Plio-Pleistoceno) de Santa Fe del Río, (Michoacán, México)

### *Taxonomic description and stable isotope study ( $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ ) of *Mammuth americanum* (Kerr, 1792) (Proboscidea, Mammuthidae) from the Blancan (Plio-Pleistocene) of Santa Fe del Río, (Michoacán, México)*

Lystad Gray, Robert D.<sup>1,\*</sup>; Marín-Leyva, Alejandro H.<sup>1</sup>; Arroyo-Cabrales, Joaquín<sup>2</sup>; García-Zepeda, M. Luisa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Paleontología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edif. R 2° Piso, Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

<sup>2</sup>Laboratorio de Arqueozoología “M. en C. Ticul Álvarez Solórzano”, Subdirección de laboratorio y Apoyo Académico, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Moneda #16, Col. Centro, 06060, Ciudad de México, México.

\*robert.lystad@umich.mx

#### Resumen

Se registra la presencia de *Mammuth americanum* para la localidad de Santa Fe del Río de temporalidad Blancano. Este es el registro más viejo para México y el primero para Michoacán. Se realizó un estudio de isótopos estables de carbono y oxígeno a un molar inferior (m1) para conocer las preferencias de alimentación y hábitat. El ejemplar muestra una dieta mixta, aunque en general sus hábitos paleoecológicos indican que su dieta era preferentemente ramoneadora. Llegaban a ser migratorios nómadas y se trasladaban grandes distancias, lo que puede justificar el cambio del hábitat y la dieta que llegaban a presentar durante su vida. Con base a los resultados se puede inferir que Santa Fe del Río (Michoacán) presentaba ambientes de praderas mixtas de plantas  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_4$  con una temperatura promedio anual aproximada de 19.9°C.

**Palabras clave:** mastodonte americano, dieta mixta, Michoacán, molar.

#### Abstract

The presence of *Mammuth americanum* is recorded for the Blancan site of Santa Fe del Río. This would be the oldest confirmed record for Mexico and the first for Michoacan. A stable isotope study of carbon and oxygen was done to an inferior molar (m1) to know the eating and habitat preferences. The specimen shows it had a mixed diet, even if in general the paleoecological habits indicate that the diet of the species was predominantly a browsing one. They were sometimes migratory nomads and traveled great distances, which could justify the change in habits and diet that they presented during their lifetime. Based on the results it is possible to infer that Santa Fe del Río (Michoacán) presented a habitat with mixed grasslands with  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  plants and it had an annual average temperature of approximately 19.9°C.

**Keywords:** American mastodon, mixed diet, Michoacan, molar.

**Cómo citar / How to cite:** Lystad Gray R. D.; Marín-Leyva, A. H.; Arroyo-Cabrales J.; García-Zepeda M. L. (2024). Descripción taxonómica y estudio de isótopos estables ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ ) de *Mammuth americanum* (Kerr, 1792) (Proboscidea, Mammuthidae) del Blancano (Plio-Pleistoceno) de Santa Fe del Río, (Michoacán, México). *Paleontología Mexicana*, 13(2), 157-165.

Manuscrito recibido: Julio 20, 2023.

Manuscrito corregido: Marzo 20, 2024.

Manuscrito aceptado: Marzo 22, 2024.



## 1. Introducción

En América del Norte se conocen tres familias de proboscidos extintos que son: Elephantidae (mamuts), Gomphotheriidae (gonfoterios) y Mammutidae (mastodontes) (Bravo-Cuevas *et al.*, 2015). La menos conocida es la familia Mammutidae; la especie *Mammut americanum* (Kerr, 1792) se encuentra dentro de esta familia, sus registros son escasos para México y en general para América del Norte. A pesar de que sus restos no sean abundantes, geográficamente su registro es extenso. Se encuentran en Alaska, Canadá, Estados Unidos, México y Honduras (Kurtén y Anderson, 1980; Lucas y Alvarado, 1991; Saunders, 1996; Graham, 2001; Lange, 2002). Recientemente se realizó un estudio exhaustivo sobre la anatomía de los especímenes del género *Mammut* en América del Norte. Se registró una nueva especie para Estados Unidos llamada *Mammut pacificus* para el Pleistoceno, con presencia principalmente en el estado de California y dos localidades de Idaho; se caracteriza por tener diferencias en los molares, vértebras, fémur y defensas (Dooley Jr. *et al.*, 2019). En Estados Unidos se conocen ejemplares de *M. americanum* desde el Plioceno y se tiene registro en los estados de California (Jefferson, 1991), Florida (Webb y Wilkins, 1984), Nevada (Kelly, 1994), Washington (Gustafson, 1978) y Kansas (Hibbard, 1944; Hibbard y Riggs, 1949). El registro más antiguo del mastodonte en América es de 3.75 Ma del estado de Washington y en Florida se conocen 3 especies de mastodontes *Zygodolophodon tapiroides* (Cuvier, 1817) del Mioceno (12 Ma~), *Mammut sellardsi* (Simpson, 1930) del Plioceno temprano (5 Ma~) y *Mammut americanum* del Plioceno tardío (2.5 Ma~) y Pleistoceno (Green, 2002).

Para México se conocen 26 registros en 17 localidades, todas se encuentran sobre los 1500 m.s.n.m., los registros son del Pleistoceno principalmente del Rancholabreano y en menor cantidad del Irvingtoniano (Polaco *et al.*, 2001; Corona, 2013; Morales García y Bravo-Cuevas, 2014; Pérez-Crespo *et al.*, 2019). Los estados con registro de *M. americanum* son: Tamaulipas, San Luis Potosí, Nuevo León, Zacatecas, Aguascalientes, Hidalgo, Puebla, Estado de México, Morelos y Sonora (Polaco *et al.*, 2001; Corona, 2013; Morales García y Bravo-Cuevas, 2014). Sin embargo, no se conocen registros para el Blancano. Existe un registro de *M. americanum* para lo que parece ser el Plio-Pleistoceno (Blancano) de Hidalgo, el problema es que tiene un contexto estratigráfico incierto (Morales García y Bravo-Cuevas, 2014).

En este trabajo se analiza la morfología, morfometría y composición de isótopos estables de carbono y oxígeno de un ejemplar dental asignado a *M. americanum* de Santa Fe del Río encontrado en un estrato fosilífero de sedimentos lacustres en el que se identificaron taxones índice pertenecientes al Blancano (*Nannippus peninsulatus*, *Equus* sp. cf. *Equus simplicidens* y *Sigmodon minor*), esto con la finalidad de realizar una revisión

taxonómica e inferencias paleobiológicas acerca del comportamiento alimenticio y de hábitat de este espécimen.

### 1.1 Paleoecología de *Mammut americanum* en México

*M. americanum* posee molares con coronas altas por lo que se ha inferido que su dieta es de tipo ramoneadora (Green *et al.*, 2005). La mayoría de los marcadores biogeoquímicos de carbono y oxígeno corroboran esta teoría. Sin embargo, un estudio de isótopos estables en especímenes fósiles de Ontario, Canadá, en huesos y molares de mamuts (*Mammuthus*) y mastodontes (*Mammut*) muestra que esto no es necesariamente cierto para todas las poblaciones de *Mammut* (Metcalf *et al.*, 2013).

Se han realizado estudios de isótopos estables en *M. americanum* previamente. Los resultados obtenidos por Bravo-Cuevas *et al.* (2015) en dos molares de *M. americanum* del Pleistoceno del estado de Hidalgo, muestra que el ejemplar consumía 16% de plantas C<sub>4</sub> y el resto del porcentaje corresponde al consumo de plantas C<sub>3</sub>, lo que indica que tenía una dieta preferentemente ramoneadora. Los resultados de *M. americanum* de Florida obtenidos por Koch *et al.* (1998) también son consistentes con una dieta ramoneadora. Otro estudio se realizó por Pérez-Crespo *et al.* (2019) en ejemplares de este mastodonte provenientes de La Amapola (San Luis Potosí) y El Fin del Mundo (Sonora), los resultados provenientes de La Amapola muestran la dieta de tres ejemplares, dos con dieta C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub> (mixta) y uno con dieta de plantas C<sub>3</sub> (ramoneadora), los resultados de El Fin del Mundo muestran la dieta de cinco ejemplares, todos ellos con dieta C<sub>3</sub>.

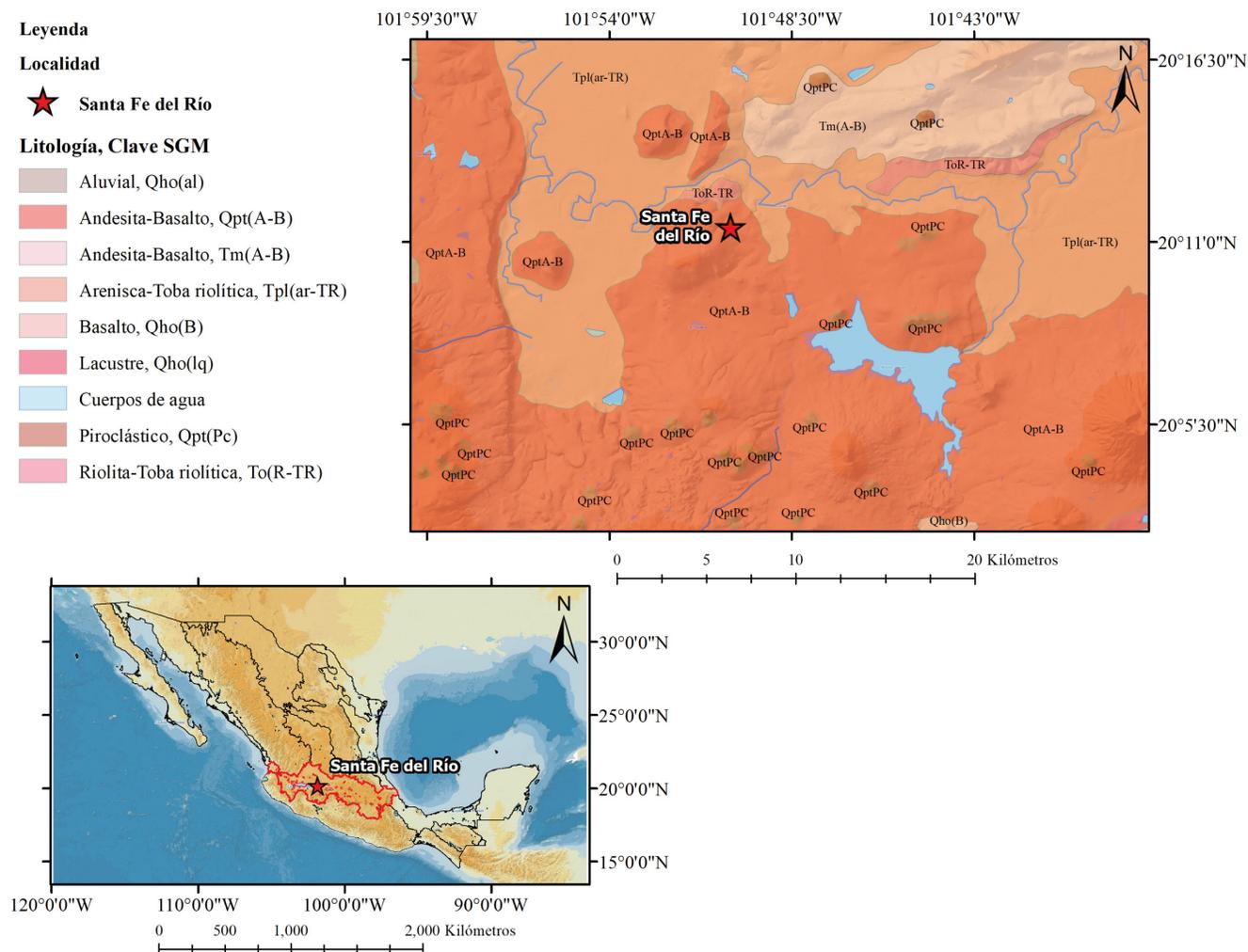
## 2. Área de estudio

El ejemplar se colectó en el estado de Michoacán, municipio de Penjamillo, la localidad se conoce con el nombre del pueblo en el que se encontró Santa Fe del Río. La altitud es de 1771 m s. n. m., con coordenadas 20°11'27", Latitud Norte y 101°50'20", Longitud Oeste. El yacimiento se encuentra en la cuenca del Bajo Lerma, dentro de la provincia fisiográfica del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), en el campo volcánico de Michoacán-Guanajuato, ubicada en un banco de materiales donde se levantó una sección estratigráfica (Figuras 1 y 2).

## 3. Material y métodos

### 3.1. Colecta e identificación del material fósil

Se llevaron a cabo salidas de campo para la extracción de restos fósiles en la localidad referida. El ejemplar fósil colectado (UM 2025), fue extraído del



**Figura 1.** Mapa de Santa Fe del Río. Abreviaturas: QHo(al) Cuaternario Holoceno (Aluvial) Qpt(A-B) Cuaternario Pleistoceno (Andesita-Basalto) Tm(A-B) Neógeno Mioceno (Andesita-Basalto) Tpl(ar-TR) Neógeno Plioceno (Arenisca-Toba riolítica) Qho(B) Cuaternario Holoceno (Basalto) Qho(lq) Cuaternario Holoceno (Lacustre) Qpt(Pc) Cuaternario Pleistoceno (Piroclástico) To(R-TR) Paleógeno Oligoceno (Riolita-Toba riolítica).

paredón para transportarse al laboratorio junto con diversos restos fósiles. Los restos obtenidos se concentraron para su posterior identificación y estudio en el laboratorio de Paleontología de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). El material se comparó con especímenes de *M. americanum* reportados en Osborn (1942), Green (2002), Bravo-Cuevas *et al.* (2015) y Dooley Jr. *et al.* (2019).

### 3.2. Análisis de isótopos estables

Se realizó un estudio de marcadores biogeoquímicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  en un molar m1 inferior izquierdo siguiendo la metodología propuesta por Koch *et al.* (1998) y Pérez-Crespo *et al.* (2009, 2012). La extracción del esmalte se realizó siguiendo a Marín-Leyva *et al.* (2021). Se usó un motor dental de bajas revoluciones con una fresa de punta de diamante. La muestra fue tomada de

la cúspide distolingual derecha entre los 20 y 40 mm de altura y 5 mm de ancho sobre la figura oclusal en dirección hacia la raíz (Koch *et al.*, 1998; Hoppe *et al.*, 2004). Se colectaron entre 5 y 10 miligramos de polvo de esmalte y fue depositado en viales de microcentrífuga de 2 ml.

La preparación carbonatada del esmalte dental se hizo siguiendo la propuesta del “*Stable Isotopes Laboratory Earth and Planetary Sciences*” de la Universidad de California Santa Cruz que se menciona a continuación: entre 5 y 10 mg de esmalte dental fueron tratados con 30% de peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) por 24 horas. Las muestras se lavaron 5 veces en  $\text{H}_2\text{O}$  (Milli-Q) y se sumergieron por 24 horas en una solución buffer de 1 M de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y acetato de calcio  $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  con un pH de 5. Posteriormente se lavó con agua (Milli-Q) 5 veces, el sólido resultante fue liofilizado a  $-40^\circ\text{C}$  y presurizado a  $25 \times 10^{-3}$  Mbar por 24 h.

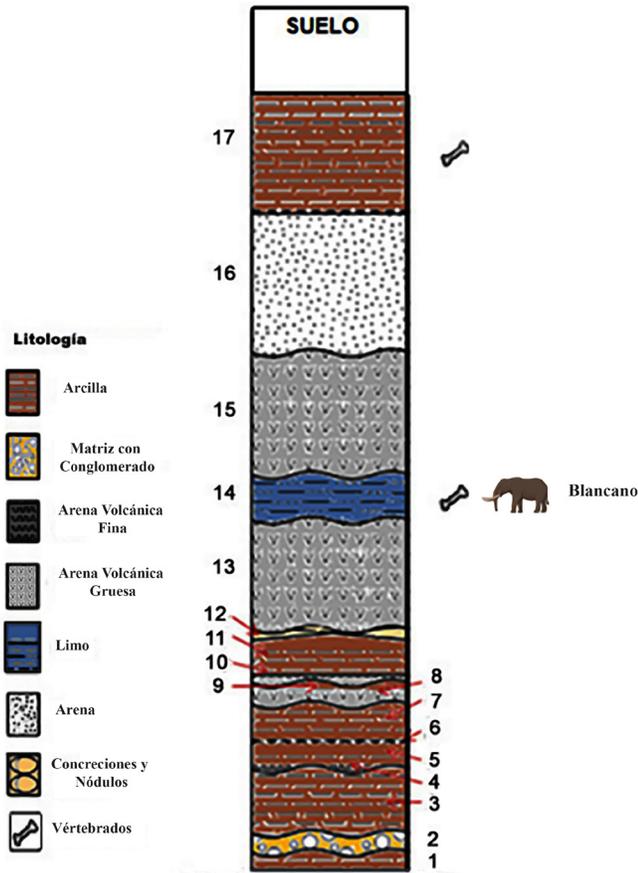


Figura 2. Columna estratigráfica de Santa Fe del Río. Estrato fosilífero del Blancano indicado por *M. americanum*.

La muestra fue analizada para conocer la proporción de isótopos de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  por medio de un biodigestor, usando un vial individual Thermo Scientific Kiel IV interfaseado con un espectrómetro de masas de relación isotópica (IRMS) Thermo Scientific MAT-253 de entrada dual. Durante la secuencia de ejecución, se utiliza un estándar de calibrado interno Carrera Marble (CM,  $\delta^{13}\text{C} = 2.05\text{‰}$  y  $\delta^{18}\text{O} = -1.91\text{‰}$ ) para corregir los datos de la escala interna. Después, se utilizan los estándares NBS-18 ( $\delta^{13}\text{C} = -5.02\text{‰}$  y  $\delta^{18}\text{O} = -23.19\text{‰}$ ), Carrera Marble (CM,  $\delta^{13}\text{C} = 2.05\text{‰}$  y  $\delta^{18}\text{O} = -1.91\text{‰}$ ), y Atlantis II ( $\delta^{13}\text{C} = 1.02\text{‰}$  y  $\delta^{18}\text{O} = -3.35\text{‰}$ ) para corregir el efecto de estiramiento y escala de la fuente. Los valores de delta corregidos se expresan en relación con los estándares internacionales VPDB (Vienna PeeDee Belenmite) para el  $\delta^{13}\text{C}$  y el  $\delta^{18}\text{O}$ . La precisión a largo plazo del estándar interno es normalmente mejor que 0.03 permil  $\delta^{13}\text{C}$  y 0.06 permil  $\delta^{13}\text{C}$  (1s).

Los valores de isótopos de carbono se utilizaron para inferir la dieta, uso de hábitat y el ambiente de la muestra de *M. americanum* considerando la categorización propuesta por Domingo *et al.* (2013) (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías de dieta y tipo de hábitat propuestas por Domingo *et al.*, 2013 para el Pleistoceno.

Dieta	Hábitat	Valores $\delta^{13}\text{C}$
$\text{C}_3$	Bosque de dosel cerrado	< -14.5
$\text{C}_3$	Bosque méxico (humedad moderada)	-14.5 a -9.5
$\text{C}_3$	Bosque xérico (humedad baja)	-9.5 a -6.5
$\text{C}_2/\text{C}_4$	Pradera $\text{C}_2/\text{C}_4$	-6.5 a -1.5
$\text{C}_4$	Pradera $\text{C}_4$	> -1.5

Para estimar el equivalente moderno (Equ.mod) de su composición dietética se siguió a Kohn y McKay (2010) y Domingo *et al.* (2013) usando la siguiente ecuación:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta; Equ.mod}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{hojas}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{atm.modCO}_2} - \delta^{13}\text{C}_{\text{atm.antCO}_2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En el que:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{hojas}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{diente}} - 14.1\text{‰}$  (enriquecimiento de dieta de bioapatita Cerling y Harris 1999),  $\delta^{13}\text{C}_{\text{atm.modCO}_2} = -8\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{atm.antCO}_2} = -6.5\text{‰}$  (Tippie *et al.*, 2010).

Para calcular la temperatura media anual en grados Celsius los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$  VPDB fueron convertidos a VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) usando la fórmula de Faure (1977):

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3} \text{ VSMOW} = 1.030901 * \delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3} \text{ VPDB} + 30.91 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Posteriormente los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$  (VSMOW) se convirtieron a valores equivalentes de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  (VSMOW) siguiendo a Iacumin *et al.* (1996):

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3} \text{ VSMOW} - 33.63/0.998 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Finalmente, de los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  VSMOW se obtuvo la temperatura media anual (TMA) en grados Celsius. Se usó la ecuación de Rozanski *et al.* (1993):

$$\text{TMA (}^\circ\text{C)} = \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} \text{ VSMOW} + 12.68/0.36 \quad (\text{R}^2 = 0.72) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Los valores de isótopos estables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  del ejemplar en estudio se compararon con individuos de *M. americanum* de América del Norte (Tabla 2) usando un gráfico bivalente.

## 4. Resultados

### 4.1. Paleontología sistemática

Clase: Mammalia (Linnaeus, 1758)  
Orden: Proboscidea (Illiger, 1811)

**Tabla 2.** Valores de isótopos estables de *M. americanum* de Santa Fe del Río comparados con distintas localidades de América del Norte.

País	Número de Catálogo	Valores de $\delta^{13}\text{C}$	Valores de $\delta^{18}\text{O}$	Localidad	Edad	NALMA	Referencia
Sta. Fe del Río	UM 2025	-6.11 ‰	-2.67 ‰	Santa Fe del Río	Plioceno	Blancano	En este estudio
México	UAHMP-311	-11.87 ‰	-4.44 ‰	Hidalgo	Pleistoceno	Rancholabreano	Bravo-Cuevas <i>et al.</i> (2015).
	UAHMP-311	-8.25 ‰	-4.18 ‰	Hidalgo	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9.5 ‰	-4.5 ‰	Rancho La Amapola	Pleistoceno	Rancholabreano	Pérez-Crespo <i>et al.</i> (2019).
	Indet.	-8.7 ‰	-3.9 ‰	Rancho La Amapola	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-7.2 ‰	-4.7 ‰	Rancho La Amapola	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9.2 ‰	-4.6 ‰	Rancho La Amapola	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9 ‰	-4.9 ‰	Fin del Mundo	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9 ‰	-4.9 ‰	Fin del Mundo	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9.5 ‰	-4.6 ‰	Fin del Mundo	Pleistoceno	Rancholabreano	
	Indet.	-9.5 ‰	-5.6 ‰	Fin del Mundo	Pleistoceno	Rancholabreano	
Canadá	ON3	-9.8 ‰	-5.4 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	Metcalfe <i>et al.</i> (2013).
	ON4	-11.3 ‰	-10.6 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON7	-11.2 ‰	-12.2 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON9	-10.1 ‰	-9.5 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON16a	-11.3 ‰	-15.4 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON5a	-10.5 ‰	-11.1 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
	ON3	-10.9 ‰	-9.3 ‰	Ontario	Pleistoceno	Rancholabreano	
EUA	NY3	-11.8 ‰	-10.6 ‰	Nueva York	Pleistoceno	Rancholabreano	
	NY4	-11.3 ‰	-10.0 ‰	Nueva York	Pleistoceno	Rancholabreano	
	* N=44	-11.2 ‰	-1.03 ‰	Florida	Pleistoceno	Rancholabreano	Pérez-Crespo <i>et al.</i> (2016).

N= número de muestra.

\*Nota: Los valores de isótopos estables pertenecen a 44 ejemplares de distintas localidades de Florida en Estados Unidos de América mencionados en Pérez-Crespo *et al.*, 2016.

Familia: Mammutidae (Hay, 1922)  
 Género: *Mammuth* (Blumenbach, 1799)

*Mammuth americanum* (Kerr, 1792)  
 Figura 3

**Sinonimias:**

- Mastodon americanus* (Kerr, 1792) en Osborn 1942 p. 168 lám. 113, p. 169 lám. 114.
- Elephas americanus* (Kerr, 1792) en Osborn 1942 p. 168 (sin figura).
- Mammuth ohioticum* (Blumenbach, 1799) en Osborn 1942 p. 168 lám. 113, p. 169 lám. 114.
- Mastodon giganteum* (Cuvier, 1817) p. 232-234 (sin figura).
- Tetracaulodon mastodontoideum* (Godman, 1830) p. 478-475, lám. 17, lám 18
- Trilophodon ohioticus* (Leidy, 1868) p. 174-176 (sin figura).
- Mammuth progenium* (Hay, 1914) en Osborn 1942 p. 172. lám 118.

**Diagnosis:** los molares de *M. americanum* Dp4, dp4, M1, m1, M2 y m2 son trilofodontos. Las crestas son progresivamente elevadas y lofodontas. El cíngulo es ligeramente más fuerte en la parte interna que en la externa. Cada lofo es bilobulado. Presenta un surco medial marcado que divide a lo largo los tres lofos (Osborn, 1942). Los molares superiores son generalmente más anchos buco-lingualmente y el cíngulo es más marcado que en los molares inferiores (Hillson, 2005). El dibujo oclusal de los lóbulos internos superiores y los lóbulos externos inferiores poseen una figura muy rudimentaria en forma de trébol en los molares (Osborn, 1942).

**Descripción:** molar inferior izquierdo m1 con un patrón oclusal simple, tiene un surco medial que va a lo largo de la muela. El molar es trilofodonto con crestas alineadas y elevadas, con un cíngulo marcado, cada lofo es bilobulado. El ancho es de 65.5 mm y el largo de 103.4 mm. Con parte de la raíz presente. El molar presenta un grado alto de desgaste.

**Material examinado:** UM 2025 (molar inferior izquierdo m1) (Figura 3).

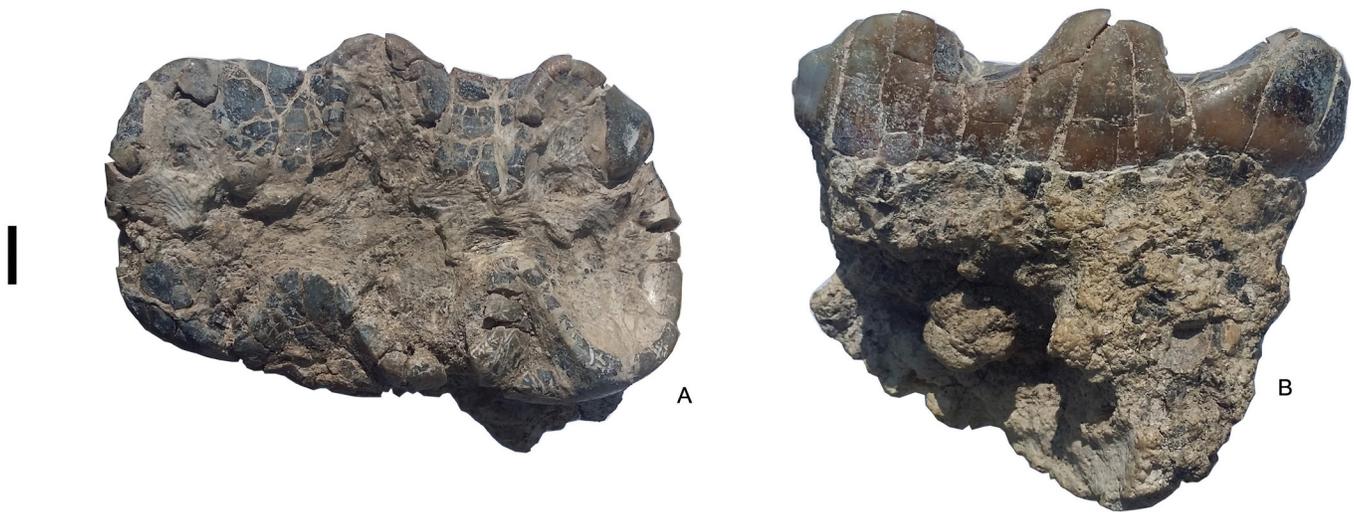


Figura 3. Molar m1 del ejemplar (UM 225) de *Mammuthus americanus*. A) Vista oclusal. B) Vista labial. La escala representa 1 cm.

**Distribución:** Se conocen localidades desde Alaska hasta el centro de México (Green, 2002). En Estados Unidos se conocen seis localidades del Blancano en los estados de California (Jefferson, 1991), Florida (Webb y Wilkins, 1984), Nevada (Kelly, 1994), Washington (Gustafson, 1978) y dos para Kansas (Hibbard, 1944; Hibbard y Riggs, 1949). Para México se conocen 26 especímenes en 17 localidades sobre los 1500 m s. n. m., la mayoría se encuentran al este del país, los registros son del Rancholabreano e Irvingtoniano (Polaco *et al.*, 2001; Corona, 2013; Morales García y Bravo-Cuevas, 2014; Pérez-Crespo *et al.*, 2019).

**Discusión:** Es posible diferenciar los molares de un mastodonte de los de un mamut fácilmente, ya que los primeros poseen lofos muy marcados y *Mammuthus* tiene molares laminares y aplanados (Green, 2002). Aunque los gonfoterios también poseen lofos, estos son más numerosos y tienden a ser más redondeados con forma de crestas (Green, 2002), el cingulo sobresale más allá de los lofos en los molares de gonfoterios, sobre todo los M2-m2 con los que pudiera llegar a confundirse cuando el desgaste es alto (Green, 2002). Los molares del mastodonte *Zygodon* son un poco más delgados y las coronas son más bajas, además poseen pequeñas cúspides accesorias que *M. americanus* no posee, la figura oclusal de los mastodontes tendió a hacerse más simple a lo largo de su trayecto evolutivo (Green, 2002).

Las medidas de *M. americanus* comparadas en el trabajo de Dooley Jr. *et al.* (2019) son consistentes con las del molar m1 inferior izquierdo de Santa Fe del Río.

#### 4.2. Isótopos estables (Carbono y Oxígeno)

Los resultados obtenidos de isótopos estables en el ejemplar (UM 225) de *Mammuthus americanus* son los siguientes:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_3}$  VPDB (-6.11 ‰),  $\delta^{13}\text{C}_{\text{hoja}}$  (-20.21 ‰) y  $\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta; Equ.mod}}$  (-21.71 ‰) y para el  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$  VPDB (-2.67

‰),  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$  VSMOW (28.16 ‰),  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  VSMOW (-5.48 ‰) y TMA (19.99 °C).

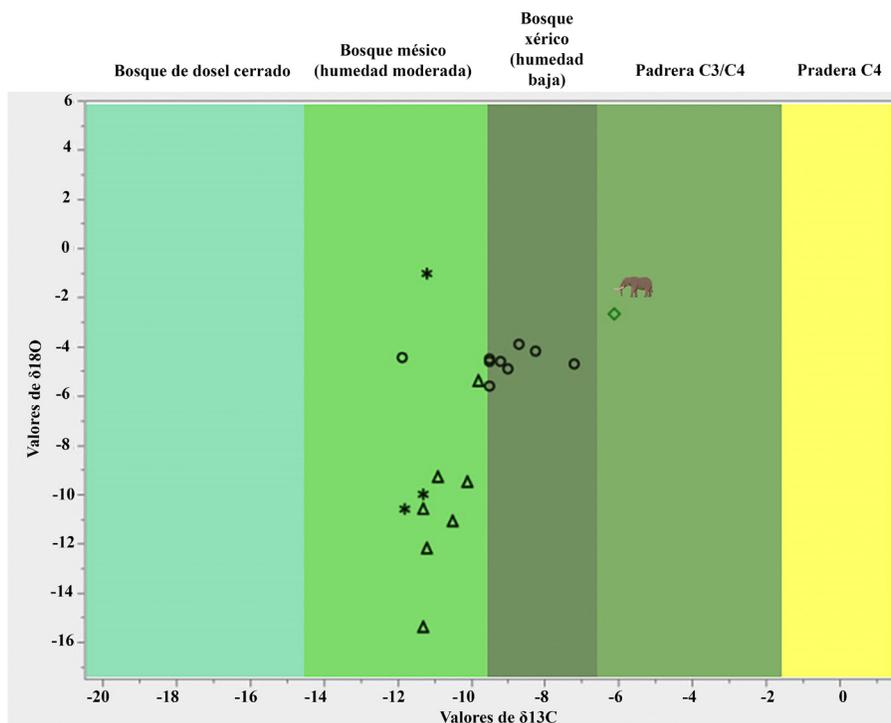
Se observa también en la Figura 4 que los individuos de *M. americanus* del Rancholabreano muestran una dieta con un mayor consumo de plantas  $\text{C}_3$ , habitando preferentemente bosques mésicos y xéricos, en relación con el individuo de Santa Fe del Río del Blancano que tiene una dieta mixta en un ambiente de pradera.

En el caso de los valores de oxígeno los individuos de Estados Unidos y Canadá muestran valores similares (Tabla 2), mientras que el ejemplar de Santa Fe del Río exhibe valores parecidos a los de otros *M. americanus* de México (Figura 4).

## 5. Discusión

### 5.1. Taxonomía

En el pasado se llegaron a considerar hasta 20 especies dentro del género *Mammuthus* debido a sutiles diferencias anatómicas en molares y defensas. Hoy se interpretan estas diferencias como variación normal dentro de la especie, ya sea entre machos y hembras o entre poblaciones viviendo en diversos hábitats y climas durante el Pleistoceno y Plioceno. Es por esto que las sinonimias pasaron a formar parte de la especie *Mammuthus americanus* y el género se volvió monoespecífico (Green, 2002, 2006). Sin embargo, se registró una especie nueva para Estados Unidos llamada *Mammuthus pacificus*, de molares más delgados que los de la especie *M. americanus*, siendo esta la segunda especie dentro del género, la cual se encuentra restringida para el Pleistoceno (Irvingtoniano y Rancholabreano). Los ejemplares pertenecientes al Blancano permanecieron dentro de la especie *M. americanus*, ya que se cree que la especie *M. pacificus* evolucionó después de esta NALMA (Dooley Jr. *et al.*, 2019). El ejemplar (UM



**Figura 4.** Valores de isótopos estables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  en ejemplares de *M. americanum* de América del Norte. Los valores representados por triángulos negros pertenecen a muestras tomadas en Ontario, Canadá (Metcalf *et al.*, 2013). Los valores representados con asteriscos negros pertenecen a muestras tomadas de Nueva York, EUA (Metcalf *et al.*, 2013). Los valores representados con círculos negros pertenecen a muestras tomadas en México (Bravo-Cuevas *et al.*, 2015 y Pérez-Crespo *et al.*, 2019). El rombo verde representa el valor de Santa Fe del Río.

2025) tiene caracteres diagnósticos que corresponde con la descripción de un molar m1 izquierdo de la especie *Mammuth americanum*, las medidas coinciden con las comparadas en Dooley Jr. *et al.* (2019).

## 5.2. Dieta y hábitat de *Mammuth americanum*

Aunque aún no se sabe mucho sobre la paleoecología de *M. americanum*, este indica que era un animal que prefería hábitats boscosos y cerrados y tenía una dieta ramoneadora, sus preferencias ecológicas en cuanto a vegetación y disponibilidad de agua parecen ser estrictas. Se cree que su registro es escaso debido a los hábitos de vida que tenía, por eso no era muy frecuente que llegara a los sitios de depósito donde podría propiciarse su fosilización. Debido a que las poblaciones de *M. americanum* llegaban a permanecer aisladas, no es raro observar que divergieran morfológicamente en distintas ubicaciones geográficas, especialmente en su dentición. Estudios previos de isótopos estables, microdesgaste, contenido estomacal y asociados de polen y vegetación fósil han contribuido a corroborar que *M. americanum* tenía una dieta principalmente ramoneadora, sin embargo, también se ha evidenciado que, como en otros grupos de proboscidos, estos eran capaces de adaptarse a una dieta variable de ser necesario. Al parecer los mastodontes eran capaces de subsistir entre vegetación de bosque o de tundra, de acuerdo con

las condiciones que se le presentaran (Metcalf *et al.*, 2013; Smith y DeSantis, 2018, 2020).

Asimismo, existe evidencia de que algunas poblaciones de *M. americanum*, eran migratorias nómadas y se trasladaban grandes distancias en busca de recursos, incluso llegaban a consumir pequeñas cantidades de pastos, lo que puede justificar el cambio de hábitat y la dieta que llegaban a presentar durante su vida (Green, 2002; Green *et al.*, 2005; Hoppe y Koch, 2007 y Dooley Jr. *et al.*, 2019).

Los resultados de isótopos estables provenientes del ejemplar (UM 2025) corresponden a los de una dieta mixta y no ramoneadora, esto puede deberse a que el ejemplar posiblemente era migratorio y, al trasladarse de un sitio a otro, tuvo que adaptarse a un tipo de dieta pacedora en busca de alimento, como ha sido documentado en otros mastodontes de Norte América (Hoppe y Koch, 2007; Karpinski *et al.*, 2020 y Miller *et al.*, 2022). Los valores del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  también muestran que este mastodonte, durante la mineralización del diente analizado, habitaba en una pradera compuesta por plantas  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_4$  (Domingo *et al.*, 2013) con una temperatura media anual de  $19.9^\circ\text{C}$ , lo cual podría corresponder a un tipo de clima seco semicálido en un ambiente actual en México, de acuerdo con García (2004). Cabe mencionar que durante el Blancano los ambientes de bosques cerrados empezaban a cambiar por ambientes de zonas abiertas, lo que pudo haber significado que los lugares

donde *M. americanum* se alimentaba cada vez estuvieran más alejados, obligándolo así a trasladarse.

Comparado con trabajos previos, es posible que las diferencias encontradas en el tipo de dieta y preferencia de hábitat en los mastodontes se deba a variaciones en las condiciones ambientales, posiblemente ligadas a múltiples factores como: geográficos (variación latitudinal y altitudinal), climático (periodo glacial o interglacial) y estacionales (vegetación), pero también a diferencias en la temporalidad (Rancholabreano, Irvingtoniano y Blanco), aunque estas hipótesis son difíciles de corroborar debido a que el tamaño de muestra es pequeño.

Sin embargo, es importante resaltar que los registros de esta especie son escasos para el Blanco en América del Norte, específicamente en México. Este sería el primer estudio en esta NALMA que se realiza para *M. americanum* de isótopos estables en el país. Todavía queda mucho por conocer acerca de su distribución y hábitos de vida para esta temporalidad, por lo cual, en un futuro se planea hacer análisis de isótopos estables y radiogénicos en muestras seriadas en este ejemplar para conocer la alimentación, selección de hábitat y patrones de movilidad en un periodo corto de tiempo de la vida del ejemplar (Metcalfe y Longstaffe, 2014; Miller et al., 2022).

## 6. Conclusiones

Se registra la presencia de *M. americanum* para la localidad de Santa Fe del Río de temporalidad Blanco (Plio-Pleistoceno). Este es el registro más antiguo confirmado para esta especie en el país y es el primer registro de la especie que se tiene para el estado de Michoacán.

De acuerdo con los datos obtenidos de las muestras de isótopos estables de  $\delta^{13}\text{C}$  (-6.11 ‰) y el  $\delta_{18}\text{O}$  (-2.67 ‰), se concluye que el ejemplar de *M. americanum* de Santa Fe del Río tenía en el momento de la mineralización una dieta mixta en la que predominaban ambientes de pradera de plantas  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_4$  y que la temperatura promedio anual era de 19.9°C aproximadamente.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Francisco Olivares Torres, dueño del terreno, por permitirnos ingresar al mismo. A Dulce Ríos y Samuel Ríos por su apoyo y hospitalidad en Santa Fe del Río cada vez que fuimos. A todos los alumnos, compañeros y amigos que nos apoyaron en las colectas de campo, sin ustedes no habría sido posible. Agradecemos también a la CIC de la UMSNH por apoyar al proyecto “Paleontología y geoquímica del yacimiento Santa Fe del Río Penjamillo Michoacán México implicaciones tafonómicas y paleoambientales”, así como a la Facultad de Biología por el uso de sus instalaciones y materiales. Al laboratorio de la Arqueozoología “M.

en C. Ticul Álvarez Solórzano” INAH. Finalmente agradecemos a dos revisores anónimos que nos ayudaron a mejorar la calidad del artículo.

## Referencias

- Blumenbach, J. F. (1799). *Handbuch der Naturgeschichte* (6<sup>th</sup> ed.). Dietrich, Göttingen.
- Bravo-Cuevas, V. M., Morales-García, N. M., & Cabral-Perdomo, M. A. (2015). Description of mastodons (*Mammuth americanum*) from the late Pleistocene of southeastern Hidalgo, central Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2), 337–347. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-33222015000200015&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222015000200015&lng=es&tlng=en).
- Corona, E. (2013). Localidades del Pleistoceno final en Morelos (México) y su importancia paleoambiental para el poblamiento temprano. *Archaeobios*, 7, 3–10.
- Cuvier, G. (1817). Le règne animal distribué d'après son organisation, pour servir de base à l'histoire naturelle des animaux et d'introduction à l'anatomie comparée (No. QL45 C94). <https://doi.org/10.5962/bhl.title.41460>
- Dooley Jr., A. C., Scott, E., Green, J., Springer, K. B., Dooley, B. S., & Smith, G. J. (2019). *Mammuth pacificus* sp. nov., a newly recognized species of mastodon from the Pleistocene of western North America. *PeerJ*, 7, e6614. <https://doi.org/10.7717/peerj.6614>
- Domingo, L., Koch, P. L., Hernández Fernández, M., Fox, D. L., Domingo, M. S., & Alberdi, M. T. (2013). Late Neogene and early Quaternary paleoenvironmental and paleoclimatic conditions in Southwestern Europe: Isotopic Analyses on Mammalian Taxa. *PLoS One*, 8(5), e63739. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063739>
- Faure, G. (1977). Principles of isotope geology. United States: N. p.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)* (5<sup>a</sup> ed.). México: Instituto de Geografía, UNAM (cd con el programa Modifica).
- Graham, R. W. (2001). Late Quaternary biogeography and extinction of proboscideans in North America. In *The World of Elephants- International Congress*. 707–709.
- Green, L. J. (2002). Fossil species of Florida. *Florida Museum of Natural History*, 1.
- Green, J. L. (2006). Chronocline variation and sexual dimorphism in *Mammuth americanum* (American mastodon) from the Pleistocene of Florida. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History*, 46(2), 29–59.
- Green, J. L., Semperebon, G. M., & Solounias, N. (2005). Reconstructing the palaeodiet of Florida *Mammuth americanum* via low-magnification stereomicroscopy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 223(1–2), 34–48. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.03.026>
- Godman, J. D. (1830). Description of a new genus and new species of extinct mammiferous quadruped. *Transactions of the American Philosophical Society*, 3, 478–485.
- Gustafson, E. P. (1978). The Vertebrate Faunas of the Pliocene Ringold Formation, South-Central Washington. *Bulletin of the Museum of Natural History, University of Oregon*, 23, 1–62
- Hay, O. P. (1914). New genus; *Rhabdobunna*. New Species: *Mammuth prognium*. *The Pleistocene Mammals of Iowa*. Iowa Geological Survey, 662 pp. <https://doi.org/10.17077/2160-5270.1139>
- Hay, O. P. (1922). Further observations on some extinct elephants. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 35, 97–102.
- Hubbard, C. (1944). Two New Mammals from the Middle Pliocene of Seward County, Kansas. *University of Kansas Science Bulletin*, 30(10), p. 107.
- Hubbard, C., & Riggs, E. S. (1949). Upper Pliocene Vertebrates from Keefe Canyon, Meade County, Kansas. *Geological Society America Bulletin*, 60(5), 829–860.

- Hillson, S. (2005). *Teeth* (2<sup>nd</sup> ed.). Institute of Archeology. Cambridge university press. 118 pp.
- Hoppe, K. A., & Koch, P. L. (2007). Reconstructing the Migration Patterns of Late Pleistocene Mammals from Northern Florida, USA. *Quaternary Research*, 68, 347–352, <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2007.08.001>
- Hoppe, K. A., Amundson, R., Vavra, M., McClaran, M. P., & Anderson, D. L. (2004). Isotopic analysis of tooth enamel carbonate from modern North American feral horses: implications for paleoenvironmental reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203(3-4), 299–311. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00688-6](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00688-6)
- Iacumin, P., Bocherens, H., Mariotti, A., & Longinelli, A. (1996). An isotopic palaeoenvironmental study of human skeletal remains from the Nile Valley. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 126(1-2), 15–30. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(96)00067-3)
- Illiger, J. K. W. (1811). *Prodromus Systematis Mammalium et Avium: ad ditis terminis zoographicis utriusque classis, eorumque versione germanica: Berlin, Berolini*. Sumptibus C. Salfeld, 301 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.106965>
- Jefferson, G. T. (1991). A catalogue of late Quaternary vertebrates from California. Part two, mammals. *Natural History Museum of Los Angeles County Technical Report*, 7, 1–129.
- Karpinski, E., Hackenberger, D., Zazula, G., Widga, C., Duggan, A. T., Golding, G. B., Kuch, M., Klunk, J., Jass, C. N., Groves, P., Druckenmiller, P., Schubert, B. W., Arroyo-Cabrales, J., Simpson, W. F., Hoganson, J. W., Fisher, D. C., Ho, S. Y. W., MacPhee, R. D. E., & Poinar, H. N. (2020). American Mastodon Mitochondrial Genomes Suggest Multiple Dispersal Events in Response to Pleistocene Climate Oscillations. *Nature communications*, 11, 1–9, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17893-z>
- Kelly, T. S. (1994). *Two Pliocene (Blancan) vertebrate faunas from Douglas County, Nevada*. Museum of Paleontology, University of California.
- Kerr, R. (1792). *The animal kingdom or zoological system, of the celebrated Sir Charles Linnaeus, London*. Complete citation together with C. Linnaeus and J. F. Gmelin, in Osborn 1936, p. 782.
- Koch, P. L., Hoppe, K. A., & Webb, S. D. (1998). The isotopic ecology of late Pleistocene mammals in North America Part 1. Florida: *Chemical Geology*, 152, 119–138. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(98\)00101-6](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(98)00101-6)
- Kohn, M. J., & McKay, M. (2010). Stable isotopes of fossil teeth corroborate key general circulation model predictions for the Last Glacial Maximum in North America. *Geophysical research letters*, 37(22), L22702. <https://doi.org/10.1029/2010GL045404>
- Kurtén, B., & Anderson, E. (1980). *The Pleistocene mammals of North America*. Columbia University Press. <https://doi.org/10.2307/1380422>
- Lange, I. M. (2002). *Ice Age mammals of North America: Missoula, Montana*. Mountain Press Publishing Company.
- Leidy, J. (1868). Notice of some vertebrate remains from Harden Co., Texas. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 174–176.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema Naturae per Regna Tria Naturae. Secundum Classes, Ordines, Genera, Species, cum Characteribus Differentiis Synonymiis Locis*. Editio Decima, Reformata. Laurentii, Stockholm, Salvi, 1.
- Lucas, S. G., & Alvarado, G. E. (1991). El hallazgo más austral de un *Mammuth americanum*: el caso del mastodonte de San Pedro Sula, Honduras. *Revista Geológica de América Central*, 13, 85–89. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i13.13078>
- Marín-Leyva, A. H., Schaaf, P., Solís-Pichardo, G., Hernández-Treviño, T., García-Zepeda, M. L., Ponce-Saavedra, J., & Alberdi, M. T. (2021). Tracking origin, home range, and mobility of Late Pleistocene fossil horses from west-central Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 105, 102926. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102926>
- Metcalfe, J. Z., Longstaffe, F. J., & Hodgins, G. (2013). Proboscideans and paleoenvironments of the Pleistocene Great Lakes: landscape, vegetation, and stable isotopes. *Quaternary Science Reviews*, 76, 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.07.004>
- Metcalfe, J. Z., & Longstaffe, F. J. (2014). Environmental change and seasonal behavior of mastodons in the Great Lakes region inferred from stable isotope analysis. *Quaternary Research*, 82(2), 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.07.002>
- Miller, J. H., Fisher, D. C., Crowley, B. E., Secord, R., & Konomi, B. A. (2022). Male Mastodon Landscape Use Changed with Maturation (Late Pleistocene, North America). *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 119, 1–10, <https://doi.org/10.1073/pnas.2118329119>
- Morales García, N., & Bravo Cuevas, V. (2014). Descripción de un *Mammuth americanum* (Proboscidea, Mammutidae) del Plioceno-Pleistoceno de Santiago de Anaya, Hidalgo, México. *II Simposio de Paleontología en el Sureste de México*.
- Osborn, H. F. (1942). Proboscidea. Vol. 1. *American Museum Press*, 165–189.
- 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.
- Pérez-Crespo, V. A., Arroyo-Cabrales, J., Alva-Valdivia, L. M., Morales-Puente, P., & Cienfuegos-Alvarado, E. (2012). Datos isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) de la fauna pleistocénica de la Laguna de las Cruces, San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(2), 299–307. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742012000200001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742012000200001&lng=es&tlng=es)
- Pérez-Crespo, V. A., Prado, J. L., Alberdi, M. T., Arroyo-Cabrales, J., & Johnson, E. (2016). Diet and habitat for six American Pleistocene proboscidean species using carbon and oxygen stable isotopes. *Ameghiniana*, 53(1), 39–51. <https://doi.org/10.5710/AMGH.02.06.2015.2842>
- Pérez-Crespo, V. A., Morales-Puente, P., Arroyo-Cabrales, J., & Ochoa-Castillo, P. (2019). Paleambiente en cuatro sitios mexicanos del Pleistoceno tardío con actividad humana inferida a partir de la fauna. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(2), 343–358. <https://doi.org/10.18268/bsgm2019v71n2a7>
- Polaco, O. J., Arroyo-Cabrales, J., Corona-M, E., & López-Oliva, J. G. (2001). Octubre. The American Mastodon *Mammuth americanum* in Mexico. In *The World of Elephants-International Congress*, 237–242.
- Rozanski, K., Araguás-Araguás, L., & Gonfiantini, R. (1993). Isotopic patterns in modern global precipitation. *Climate change in continental isotopic records*, 78, 1–36. <https://doi.org/10.1029/GM078p0001>
- Saunders, J. J. (1996). North American Mammutidae. In Shoshani, J., Tassy, P. (eds.), *The Proboscidea: Evolution and Palaeoecology of Elephants and their Relatives*, Great Britain, Oxford University Press, 271–279.
- Simpson, G. G. (1930). Tertiary land mammals of Florida. *Bulletin of the AMNH*, 59(3), 149–211.
- Smith, G. J., & DeSantis, L. R. G. (2018). Dietary Ecology of Pleistocene Mammoths and Mastodons as Inferred from Dental Microwear Textures. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 492, 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.11.024>
- Smith, G. J., & Desantis, L. R. G. (2020). Extinction of North American Cuvieronius (Mammalia: Proboscidea: Gomphotheriidae) Driven by Dietary Resource Competition with Sympatric Mammoths and Mastodons. *Paleobiology*, 46, 41–57. <https://doi.org/10.1017/pab.2020.7>
- Tipple, B. J., Meyers, S. R., & Pagani, M. (2010). Carbon isotope ratio of Cenozoic CO<sub>2</sub>: A comparative evaluation of available geochemical proxies. *Paleoceanography*, 25(3). <https://doi.org/10.1029/2009PA001851>
- Webb, S. D., & Wilkins K. T. (1984). Historical biogeography of Florida Pleistocene mammals. In Genoways, H. H., & Dawson, M. R. (eds.), *Contributions in Quaternary Vertebrate Paleontology: a Volume in Memorial to John E. Guilday*. *Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh, Special Publication 8*, 370–383.