

Importancia, técnicas de recolecta y procesos curatoriales de pequeños vertebrados e invertebrados continentales fósiles

Importance, collection techniques and curatorial processes of small fossil continental vertebrates and invertebrates

Jiménez Hidalgo, Eduardo^{1*}; Pacheco Castro, Adolfo^{2,3*}; Cruz, J. Alberto^{4,5*}; Guerrero Arenas, Rosalía^{1*}

¹Laboratorio de Paleobiología, Instituto de Recursos, campus Puerto Escondido, Universidad del Mar, km 2.5 Carretera Puerto Escondido-Sola de Vega, C.P. 71985, Puerto Escondido, Oaxaca.

²Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias s/n; Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230, Querétaro.

³Department of Vertebrate Paleontology, Natural History Museum of Los Angeles, 900 Exposition Blvd., Los Angeles, CA, 90007.

⁴Centro de Investigación Paleontológica Quinametzin, Coordinación Nacional de Arqueología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Córdoba 45, Ciudad de México, C.P. 06700.

⁵La Brea Tar Pits and Museum, Los Angeles, California, 5801 Wilshire Blvd., Los Angeles, CA, 90036.

* eduardojh@zicatela.umar.mx; apacheco@nhm.org; cruzsilvajac@yahoo.com.mx; rosaliaga@zicatela.umar.mx

Resumen

Los pequeños vertebrados e invertebrados continentales generalmente no se toman en cuenta en los estudios paleontológicos de México, a pesar de que tienen una gran importancia en la reconstrucción paleoambiental, en los estudios evolutivos, biogeográficos y bioestratigráficos. Su estudio en el país es un área de oportunidad, dado que hasta el momento se han realizado muy pocas investigaciones con ellos. En este artículo ejemplificamos su importancia con base en el registro fósil mexicano y, adicionalmente, describimos algunas técnicas de recolecta y resguardo que hemos utilizado en nuestras investigaciones.

Palabras clave: microvertebrados, microinvertebrados, recolecta, resguardo, tamizado en húmedo, tamizado en seco.

Abstract

Usually, the continental small vertebrates and invertebrates are not considered in the Mexican paleontological research, despite their great importance in paleoenvironmental reconstruction, evolutionary, biogeographic and biostratigraphy studies. Their study in this country is an area of opportunity, given that very few investigations have been carried out with them. In this paper, we exemplify their importance based on the Mexican fossil record and additionally, we describe some collecting and safeguarding techniques that we have used in our research.

Keywords: dry sieving, collecting, microvertebrates, microinvertebrates, screenwashing, safeguarding.

Cómo citar / How to cite: Jiménez Hidalgo, E., Pacheco Castro, A., Cruz, J. A., & Guerrero Arenas, R. (2024). Importancia, técnicas de recolecta y procesos curatoriales de pequeños vertebrados e invertebrados continentales fósiles. *Paleontología Mexicana*, 13(2), 141–155.

Manuscrito recibido: Febrero 20, 2024.

Manuscrito corregido: Junio 20, 2024.

Manuscrito aceptado: Junio 21, 2024.



1. Introducción

En la paleontología, el estudio de animales de gran tamaño siempre ha sido una tendencia debido a que generan mayor interés y que, por sus dimensiones, es más fácil observarlos en el campo. Por ejemplo, los grandes ammonites de hasta 2.5 m de la especie *Parapuzosia seppenradensis* (Vermeij, 2016), los cuales vivieron durante el Mesozoico junto con los dinosaurios; otros organismos muy llamativos por su gran tamaño son el saurópodo *Argentinosaurus huinculensis* de aproximadamente 40 m, o el famoso *Tyrannosaurus rex* con sus 7700 kg de masa corporal (Vermeij, 2016). Después de la extinción de los dinosaurios tenemos a los mamíferos grandes, considerados megafauna, como los mamutes (*Mammuthus*), perezosos gigantes (*Eremotherium*), los dientes de sable (*Smilodon*), o los rinocerontes sin cuernos (*Paraceratherium*) (Stuart, 2021), así como los reptiles gigantes, tales como titanoboa (*Titanoboa*) (Head et al., 2009), el varano gigante (*Megalania*) (Molnar, 2004) o aves con una envergadura entre 6–7 m del género *Pelagornis* (Ksepka, 2014).

La falta de registros de fauna más pequeña es producto de técnicas de muestreo en campo inadecuadas en sedimentos con restos de megafauna o, a que los objetivos de investigación generalmente no involucran su estudio (Ritcher et al., 2024). Sin embargo, el estudio de los organismos pequeños (que generalmente acompañan a los hallazgos de grandes fósiles), ha demostrado ser muy importante, pues la mayor parte de la diversidad de vertebrados e invertebrados actuales son de talla pequeña, por lo que su estudio ayuda a entender cómo se estructuran las comunidades faunísticas, y con ello, permiten tener un mejor entendimiento de los ecosistemas, el clima, y las peculiaridades en el ambiente. Además, el estudio de microfósiles puede ayudarnos a entender patrones biogeográficos debido a que presentan una movilidad reducida, y no hacían grandes travesías como la megafauna, la cual podía viajar más de 150 km (Hoppe y Koch, 2007), como los mamutes, con registros de hasta 250 km (Bonhof y Pryor, 2022).

De manera tradicional, se han considerado microfósiles a todos aquellos restos de organismos de tamaño pequeño, los cuales se estudian con ayuda de lupas o microscopios (Molina, 2017). En el caso de los microinvertebrados continentales, los más comunes incluyen, ostrácodos, gasterópodos y bivalvos. Los anfibios como ranas, salamandras y cecilias; reptiles como lagartijas, tortugas y serpientes; mamíferos como roedores, conejos, murciélagos, musarañas, y la mayoría de las aves se consideran microvertebrados. En los mamíferos existen dos propuestas: por un lado, se consideran todos los que tienen una masa corporal igual o menor a 150 g, ya que originalmente se consideró que el búho *Tyto alba* fue el responsable de las acumulaciones de pequeños mamíferos estudiados en el Cuaternario de Sudáfrica y en estos estudios se propuso ese límite de masa de 150 g (Avery, 2007). Por otro lado, se toma como límite

superior una masa corporal de 500 g de los miembros de los órdenes Rodentia, Lagomorpha, Chiroptera y Eulipotyphla (“insectívoros”) (Sánchez-López et al., 2023).

Los pequeños vertebrados e invertebrados fósiles son buenos indicadores paleoambientales dado que generalmente son estenotópicos (organismos con un intervalo pequeño de tolerancia a distintas variables ambientales) y están adaptados a los ambientes locales (Faith y Lyman, 2019). También son fundamentales en estudios evolutivos y bioestratigráficos, dada la corta duración cronológica de sus especies.

Este trabajo está especialmente dirigido a los estudiantes que se inician en la ciencia de la paleontología. Los objetivos son resaltar el uso de microfósiles en estudios paleoambientales y paleobiológicos, así como la descripción de algunos métodos que hemos utilizado y modificado de las técnicas originales para la colecta y procesamiento de sedimentos en sitios paleontológicos de nuestro país.

2. La importancia de los microfósiles continentales

El uso de pequeños mamíferos, anfibios, reptiles y aves ha permitido inferir el paleoambiente de sitios paleontológicos con presencia de megafauna. Reptiles y mamíferos medianos y pequeños permitieron conocer cómo ha cambiado el clima en la región Pampeana en Argentina, con condiciones más frías y secas durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano y el Holoceno Medio, que posteriormente cambiaron a más cálidas y húmedas como en la actualidad (Cruz et al., 2021). También, el uso de anfibios y reptiles ayudaron a inferir las condiciones climáticas y ambientales donde habitó uno de nuestros antepasados, el *Homo antecesor* en España (Blain et al., 2009). En México, ambos grupos se utilizaron para determinar que durante el Pleistoceno, en los alrededores de gruta de Loltún, existió un mosaico de vegetación no análogo al presente y se infirió una temperatura media anual de 25.33° C y una precipitación media anual de 1183.7 mm (Cruz et al., 2016).

De igual forma, se sabe que los mamíferos tienen ciertas características morfológicas que varían dependiendo del ambiente donde habitan, y por ello, la cuantificación de estos rasgos y su comparación con sus contrapartes de las faunas actuales permite determinar parámetros cuantitativos de variables ambientales como, por ejemplo, la temperatura media anual, a partir del valor de hipsodoncia (altura de la corona) de un conjunto de roedores fósiles (Schap et al., 2021).

Entre los taxones más comunes de encontrar en depósitos continentales están los moluscos (bivalvos y gasterópodos) y los crustáceos (ostrácodos; en menor medida, cladóceros). Ambos grupos constituyen una fuente invaluable de información para la reconstrucción de ambientes del pasado.

Debido a que los moluscos prácticamente se encuentran en todo tipo de ambientes (Neubauer, 2023), sus

fósiles se encuentran en diversos depósitos continentales, marinos y transicionales. Su ubicuidad y la facilidad de su preservación permiten usarlos también como indicadores ambientales. Otro aspecto es su tamaño: los moluscos dulceacuícolas y terrestres (bivalvos y gasterópodos) suelen ser de tamaño medio a pequeño; los de menor tamaño se consideran proxies para ciertas condiciones ambientales, ya que los organismos pequeños tienen tolerancias ambientales menores y por ello, se adaptan a condiciones ambientales locales (Quiroz-Barroso *et al.*, 2024). Además, los organismos pequeños no tienen altas tasas de dispersión si el medio no es favorable (Lowe y Walker, 2014).

Si bien ambos grupos se usan como indicadores ambientales, las condiciones que refieren no son las mismas. Por un lado, los gasterópodos terrestres pueden ofrecer información sobre tipo de vegetación y condiciones de los suelos (Quiroz-Barroso *et al.*, 2024). Los bivalvos y caracoles dulceacuícolas, por otro lado, permiten reconstruir las condiciones hidrodinámicas de cuerpos de agua (De Francesco y Hassan, 2009).

Los ostrácodos (Crustacea) se han empleado tradicionalmente en estudios paleoclimáticos, ya que la temperatura es uno de los factores que controlan la distribución geográfica de estos organismos (Horne *et al.*, 2012). En particular, en los ostrácodos dulceacuícolas puede usarse la información derivada de los taxones identificados, así como los parámetros geoquímicos de su caparazón (Horne *et al.*, 2012).

En el ámbito biogeográfico, los vertebrados pequeños no voladores han mostrado cambios en su distribución en el pasado. Actualmente, la distribución más sureña de las tortugas de desierto del género *Gopherus* está en la parte este de San Luis Potosí y el norte de Veracruz (Vogt y Legler, 2013). Sin embargo, durante el Pleistoceno el registro fósil indica la presencia de estas tortugas más hacia el sur de México en los estados de Hidalgo, Puebla y Oaxaca (Tovar y Montellano, 2006; Cruz *et al.*, 2009; Medina-Castañeda *et al.*, 2022), hasta aproximadamente 470 km más al sur de su distribución actual.

Con respecto a los microinvertebrados, el estudio de las localidades del Pleistoceno Tardío de la Mixteca Alta de Oaxaca, permitió identificar a los gasterópodos *Paralaoma vitreum* y *Euconulus fulvus*, cuya distribución actual en el primer taxón se restringe a la zona montañosa de Veracruz, así como al oeste de Nuevo León y Tamaulipas, y en el caso del segundo, actualmente se distribuye en Baja California Norte, Chihuahua y Sonora, a más de 1300 km al norte del registro pleistocénico de Oaxaca (Guerrero-Arenas *et al.*, 2013). También como parte de las investigaciones en el Pleistoceno de la Mixteca, se identificó material del roedor de los volcanes *Neotomodon alstoni*, el cual actualmente se distribuye a lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana, a más de 220 km al norte del registro fósil oaxaqueño (Guerrero Arenas, 2013).

La importancia biogeográfica de los pequeños vertebrados ha llevado a que las aves (Weir *et al.*, 2009), la

herpetofauna (Vanzolini y Heyer, 1985) y los pequeños mamíferos formen parte importante en los estudios del Gran Intercambio Biótico Americano (GABI, *Great American Biotic Interchange*). Este es el proceso biogeográfico más importante del Cenozoico tardío en América, en el que los continentes norteamericano y sudamericano (los cuales estuvieron aislados durante 100 millones de años) se conectaron a través del puente terrestre panameño hace aproximadamente cinco millones de años. Aunado a esto, eventos climáticos regidos por periodos glaciares e interglaciares motivaron una movilización de la biota terrestre desde América del Sur hacia Norteamérica y viceversa (Woodburne, 2010; Pelegrin *et al.*, 2018).

Durante el GABI, organismos que se originaron y/o diversificaron en México terminaron siendo integrantes fundamentales de las faunas sudamericanas. Ejemplo de esto son los camélidos de la tribu Lamini (Jiménez-Hidalgo y Carranza-Castañeda, 2010), pecaríes, tapires, y una importante diversidad de carnívoros (*Felis*, *Puma*, *Panthera*, *Smilodon*, *Arctotherium*, *Canis*, *Lontra*), los cuales ocuparon eficientemente las redes tróficas de prácticamente todos los ecosistemas terrestres en Sudamérica (Pelegrin *et al.*, 2018; Domingo *et al.*, 2020). Sin embargo, la mayoría de los registros de fauna que establecen los eventos faunísticos del GABI son animales de talla media o megafauna, y en menor medida se conoce el registro fósil de mamíferos pequeños (menores a los 5 kg). Pocos son los registros de migrantes de talla pequeña, pero éstos son muy relevantes. Tal es el caso de *Conepatus sanmiguelensis*, un zorrillo recolectado en San Miguel de Allende, Guanajuato, en sedimentos del Henfiliano tardío (~5 Ma) que corresponde al *Conepatus* más antiguo conocido de Norteamérica, el cual está relacionado con el origen de los zorritos sudamericanos (Wang y Carranza-Castañeda, 2008).

En este sentido, el linaje norteamericano más exitoso durante el GABI es el de los roedores cricétidos sigmodontinos, que por sí mismos corresponden al 20 % de la diversidad actual de mamíferos en toda Sudamérica, con aproximadamente 80 géneros y 400 especies (Pardiñas *et al.*, 2002). Se sabe, con base en modelos de sistemática filogenética de especies actuales, que esta impresionante diversidad inició durante las primeras etapas del GABI (Parada *et al.*, 2013), pero se conocen pocas evidencias de este origen temprano en el registro fósil de Sudamérica, el cual es muy escaso durante el Mioceno tardío (5 a 4 Ma). Apenas se han colectado un par de roedores fósiles (*Kraglievichimys* y *Reithrodon*), contrastando dramáticamente con la riqueza del registro de finales del Pleistoceno-Holoceno (Pardiñas *et al.*, 2002; Barbière *et al.*, 2019). Por ello, el descubrimiento de cualquier roedor cricétido del Mioceno tardío-Plioceno es relevante (Verzi y Montalvo, 2008; Prevosti y Pardiñas, 2009).

En nuestro país, el registro de roedores cricétidos sigmodontinos es común durante el Mioceno tardío-Plioceno temprano. Esto lo sabemos gracias a los trabajos

de prospección y colecta de microvertebrados utilizando técnicas de tamizado, comúnmente conocidas como *screenwashing*. Estas investigaciones comenzaron en nuestro país como una extensión del trabajo de prospección y recolecta realizado en localidades de Estados Unidos de América (E.U.A.), donde los proyectos enfocados en la recolecta de pequeños vertebrados han tenido una continuidad por más de un lustro (Whistler *et al.*, 2009; Martin *et al.*, 2022). Así, las primeras investigaciones enfocadas en microvertebrados se realizaron en el norte del país y han continuado en el centro y sur del mismo.

En el norte de México destacan las localidades de Yepómera y La Concha en Chihuahua, en las cuales el *University of Arizona Laboratory of Paleontology* extrajo 4.5 toneladas de sedimentos para su tamizado en húmedo, colectando una importantísima diversidad de roedores (Cricetidae, Sciuridae, Geomyidae), murciélagos (Vespertilionidae) y musarañas (Soricidae). Entre éstos, destacan los roedores cricétidos del género *Copemys* y *Prosigmodon*, los cuales están relacionados con los linajes de roedores del oeste de E.U.A., del centro de México y de los sigmodontinos sudamericanos (Jacobs y Lindsay, 1981; Lindsay y Jacobs, 1985).

En Sonora se encuentra otro importante sitio de interés paleontológico de micromamíferos que corresponde a El Golfo de Santa Clara (El Golfo Badlands). Esta área paleontológica es conocida desde 1938, y en las últimas décadas ha sido prospectada de forma sistemática por el *Arizona Western College*, el *George C. Page Museum* y personal de la Reserva de la Biósfera. En esta vasta área existen varios micrositos en los que se recolecta por tamizado en húmedo, en los cuales se ha extraído una microfauna muy diversa con presencia de lagomorfos (Leporidae), roedores (Sciuridae, Geomyidae, Heteromyidae, Castoridae y Cricetidae), musarañas (Soricidae), así como aves (Ciconiiformes, Anseriformes, Accipitriiformes, Galliformes, Gruiformes, Strigiformes), reptiles (Chelonia y Squamata), anfibios (Bufonidae y Ranidae) y bivalvos (Unionidae). Además, es la única localidad en México donde se reporta la presencia de puercoespines (*Coendou*, Erethizontidae), los cuales representan la migración de pequeños roedores sudamericanos que llegaron a México durante el Irvingtoniano (Croxen *et al.*, 2007; Sussman *et al.*, 2016).

En el centro de México, el trabajo paleontológico de microvertebrados en las cuencas de San Miguel de Allende, Guanajuato, y la cuenca de Tecolotlán, Jalisco, ha sido realizado principalmente por el Laboratorio de Paleontología del Centro de Geociencias, UNAM, donde se han desarrollado proyectos de prospección y recolección de material usando métodos de tamizado en seco y tamizado en húmedo. Se ha reportado una importante diversidad de pequeños mamíferos, reptiles, anfibios, peces y aves del Mioceno tardío–Plioceno. En estos registros destaca la diversidad de roedores, tales como Sciuridae (*Spermophilus*, *Cynomys*, *Ammospermophilus* y *Paenemarmota*), Geomyidae (*Cratogeomys*, *Geomys* y

Prodipodomys) y Cricetidae, donde está la mayor riqueza de especies tanto de neotominos (*Baiomys*, *Bensonomys*, *Postcopemys* y *Neotoma*), como de sigmodontinos (*Prosigmodon* y *Sigmodon*) (Carranza-Castañeda y Walton, 1992; Carranza-Castañeda, 2006; Pacheco-Castro *et al.*, 2019).

Estos esfuerzos han resultado en el desarrollo de una de las mejores colecciones de pequeños mamíferos del Mioceno tardío–Plioceno en México hasta el momento.

Los pequeños mamíferos, y especialmente los roedores, son muy útiles en la correlación bioestratigráfica de localidades ubicadas en distintos puntos geográficos, ya que sus taxones están ampliamente distribuidos, evolucionan rápidamente y pueden recuperarse muestras grandes (Martín, 1979). En el Mioceno–Plioceno de México, los pequeños mamíferos han permitido establecer correlaciones bioestratigráficas con faunas de localidades en Estados Unidos y Sudamérica (Carranza-Castañeda y Walton 1992; Carranza-Castañeda, 2006; Pacheco-Castro *et al.*, 2019). Este trabajo no solo contribuye a la comprensión de las comunidades faunísticas de pequeños vertebrados, sino que plantea importantes hipótesis sobre el reemplazo faunístico durante cambios climáticos y biológicos, tales como el GABI, los cuales son, en gran parte, responsables de nuestra diversidad actual.

Desde un punto de vista evolutivo, se creería que sólo los fósiles increíblemente preservados, es decir, material casi completo como el encontrado en la cantera Tlayúa, Puebla, México (Applegate *et al.*, 2006), la biota de Jehol, China (Zhou, 2014) o Solnhofen, Alemania, con su característico *Archaeopteryx*, clave en la evolución de las aves (Etter, 2002), son los únicos registros fósiles que los paleontólogos utilizan para entender la evolución de pequeños vertebrados. Sin embargo, se sabe que en reptiles escamosos (lagartijas y serpientes), el material aislado de dentarios, vértebras o huesos del cráneo aislados, retienen caracteres con una buena señal filogenética que nos permite entender la evolución de estos organismos a través del tiempo (Woolley *et al.*, 2022). Algo semejante sucede con los roedores y otros grupos de pequeños mamíferos, donde los rasgos diagnósticos de las especies se encuentran en los dientes aislados, y a partir del estudio de muestras dentales de distintos tiempos es posible determinar patrones evolutivos de largo plazo y eventos de especiación (Korth, 1994; Kimura *et al.*, 2021).

En México, los estratos portadores de varias localidades fosilíferas continentales presentan intercalaciones de cenizas volcánicas, lavas o tobas, por lo que son lugares ideales para llevar a cabo estudios detallados de modelos bioestratigráficos, los cuales incluyen tanto megafauna como microfauna. Esto nos ayuda a establecer con más precisión los límites propuestos en otras latitudes para las edades de mamíferos terrestres de Norteamérica (NALMA, *North American Land Mammal Ages*) o sus subdivisiones (Woodburne, 2004), y por ende, ser aplicables en nuestro país. Además, la precisión cronoestratigráfica permite proponer hipótesis más

robustas sobre la temporalidad de procesos evolutivos, migraciones y extinciones, así como la temporalidad de procesos ambientales, con un impacto en los ecosistemas actuales, tanto a nivel regional como continental.

3. Técnicas de recolecta

Los métodos de colecta de microfósiles más apropiados dependen de las características del estrato de extracción, en los que se busca recolectar material fósil de una buena calidad (Cifelli *et al.*, 1996). En esta sección abordamos las técnicas más comunes y mencionamos algunas otras que puedan ser relevantes en el futuro. En el caso particular del trabajo realizado en México existe una combinación de técnicas que van desde el *pick up* (recolecta en campo o en superficie), el tamizado en seco y el tamizado en húmedo. Entre estas técnicas existen diferencias en la preservación del material fósil. Los fósiles recolectados directamente de la superficie (*pick up*) generalmente son elementos mejor conservados que aquellos que son sometidos a un proceso de tamizado, en el cual un tamizado en seco es menos agresivo que un tamizado en húmedo.

3.1. Localización de estratos portadores

En campo, la manera más práctica de identificar estratos que contengan microfósiles de invertebrados o vertebrados continentales es observar si existen fragmentos de concha o de hueso en los sedimentos (Eaton, 2004; Person, 2015).

Por otro lado, los restos de animales grandes, como la megafauna, son los más fáciles de observar, y al analizar los sedimentos adyacentes donde se encuentran los restos de megafauna es muy probable encontrar microvertebrados y, dependiendo el tipo de ambiente de depósito, también microinvertebrados como gasterópodos (Brattstrom, 1953; Arroyo-Cabrales *et al.*, 2004; Tovar y Montellano, 2006; Cruz *et al.*, 2021; Arroyo-Cabrales y Manzanilla-López, 2022).

La abundancia de la megafauna está relacionada con la capacidad de ser descubierta al momento de realizar una prospección en campo. Las localidades de pequeños vertebrados tienden a contar con una concentración muy elevada de fósiles, por lo que, aunque son una minoría, son sumamente relevantes y con frecuencia son consideradas para el trabajo de recolecta.

Las cuevas o cenotes son buenos sitios para la fosilización de microvertebrados, ya que su presencia se puede deber a la acumulación por ingesta de depredadores como las lechuzas (*Tyto alba*) u otros tipos de depredadores que dejan sus heces. También, al morir en las cuevas, sus contenidos estomacales pueden contener restos de microfauna susceptible a fosilizarse (Maas, 1985; Andrews, 1990; Czaplewski, 2011). La acumulación de microvertebrados se puede deber también a que diversos organismos (murciélagos, peces, algunos

anfibios y reptiles, y varios tipos de aves) viven en las cuevas o las usan como refugio. Finalmente, la acumulación de restos se puede dar por el arrastre debido a las altas precipitaciones (Arroyo-Cabrales *et al.*, 2021).

En el centro y sur de México, los sedimentos que tienen potencial para recolectar pequeños vertebrados corresponden a secuencias sedimentarias que afloran en los márgenes de arroyos y en superficies erosionadas (*badlands*). Éstas se formaron en antiguos ambientes fluviales o lacustres, por lo que es posible encontrar todo tipo de evidencias fósiles, desde icnofósiles hasta esqueletos permineralizados de vertebrados, tales como mamíferos de gran talla.

En estos estratos productores, es común que el material fósil se deposite en la parte inferior, justo después del contacto o superficie de erosión entre los estratos. Se observa una disminución vertical tanto en la densidad como en el tamaño de los fósiles. En algunas localidades, se trata de pequeños sistemas de paleocanales, donde, además de notarse una gradación normal en el tamaño de grano, se observa que los fragmentos de microfósiles más grandes fueron depositados en la parte más profunda del canal (Figura 1). En cambio, otras localidades parecen estar vinculadas a la actividad de un antiguo depredador, posiblemente aves que pudieron acumular un significativo número de egagrópilas. Esta suposición se basa en la alta concentración de fósiles de aves, junto con restos de roedores, peces y anfibios, los cuales pueden llegar a tener una ligera articulación, sin que se observe una contribución considerable de astillas de megafauna. Además, en este material fósil se pueden identificar señales tafonómicas como marcas de digestión, indicativas de la depredación y la muerte previa a la fosilización (Moore, 2012; Lev *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2021).

De la misma forma, la prospección puede tener intermediarios no humanos, ya que algunas localidades están relacionadas con la actividad de hormigas arrieras (*Atta mexicana*), las cuales separan y clasifican minuciosamente partículas mayores a un milímetro para dar estructura a su hormiguero en superficie, entre las cuales incluyen dientes, vértebras y elementos postcraneales de pequeños vertebrados (Shipman y Walker, 1980; Casillas-Ramírez *et al.*, 2023) (Figura 2). Cabe señalar que en esta técnica no hay un control estratigráfico, por lo que debe considerarse con cautela para reconstrucciones ambientales.

3.2. Recolecta en superficie (*Pick up*)

En una recolecta directa de los microfósiles en campo (*pick up*) se debe observar el suelo a la menor distancia posible, y usar herramientas con puntas finas (aguja, palillos) para la remoción del sedimento, así como brochas, pinceles o perillas para soplado, además de algún aglutinante o pegamento que pueda ayudar en la preservación de los fósiles antes de su extracción. En esta técnica, después de ubicar al microfósil, se puede

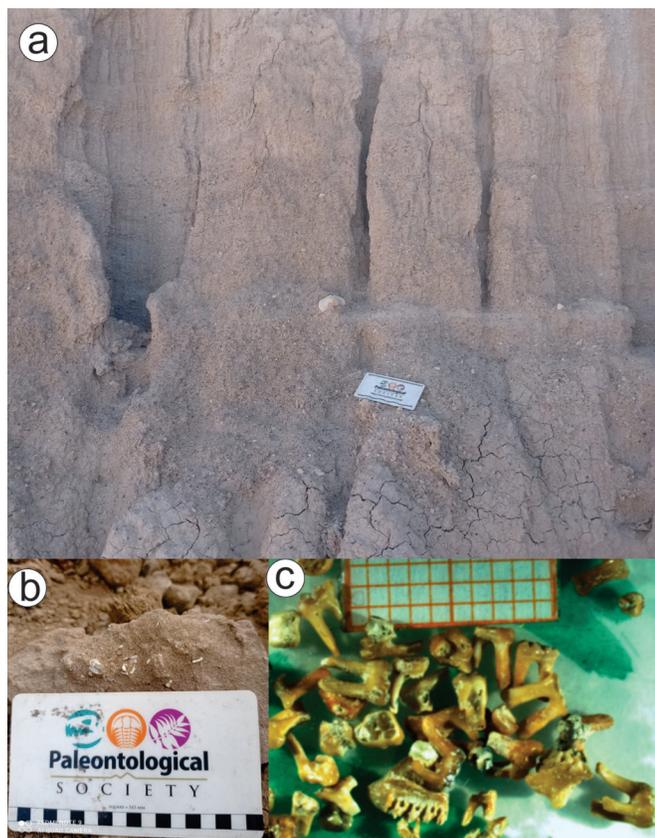


Figura 1. Ejemplo de sedimentos portadores de microfósiles: a) Sedimentos fluviales en la cuenca de Juchipila, Zacatecas. Los microfósiles están en el límite entre el sedimento arenoso y el arcilloso. b) Bloque de arenisca pliocénica de Baja California. Se observan embebidos varios fósiles de un pequeño mamífero. c) Molares de roedores y reptiles del Plioceno de Jalisco que han sido extraídos después del tamizado y triado. Los cuadros tienen un milímetro.

soplar un poco sobre éste para quitar la capa de polvo que pudiera recubrirlo. Posteriormente, se puede utilizar el pegamento, entre los cuales se recomienda el uso de algún polímero diluido en acetona, como el *Paraloid* o *Glyptal*. En casos excepcionales, como ejemplares articulados, es posible considerar la elaboración de una férula de yeso o *jacket* para su extracción y traslado al laboratorio (Figura 3).

Es importante señalar que antes de recoger los ejemplares es necesario observar si tienen características que apoyen su interpretación tafonómica, tales como su distribución en el estrato, si se encuentran asociados otros taxones (*fossil assemblages*) y su diversidad, así como sus características diagenéticas (Tucker, 2003).

Aunque en algunos casos es deseable que los invertebrados y vertebrados se consoliden antes de transportarlos, no siempre es adecuado. Ello porque al momento de verter el consolidante, también se afecta el sedimento que está al interior del ejemplar. Éste tiende a expandirse y puede llegar a romper a las conchas desde el interior, así como los elementos óseos frágiles.



Figura 2. Hormiguero de *Atta mexicana*. a) Vista del hormiguero en campo, cuenca de San Miguel de Allende, Guanajuato. b) Acercamiento del hormiguero donde se observan algunos fragmentos de microfósiles.

Es preferible, si se cuenta con tiempo suficiente, extraer a los ejemplares y dejarlos secar. La limpieza y separación del sedimento debe realizarse en el laboratorio, muchas veces bajo el microscopio estereoscópico o con lupa.

La recolección en superficie permite obtener elementos muy completos que de otro modo podrían deteriorarse o destruirse durante el tamizado. La cantidad de material que se puede obtener mediante esta técnica es pequeña en comparación con la cantidad de elementos fósiles que se pueden recolectar a través de las técnicas de tamizado.

3.3. Tamizado en seco

La recolecta por tamizado en seco consiste en pasar el sedimento por una o varias mallas sin la utilización de agua. Esto solo es posible con sedimentos que no tienen algún grado de cementación o litificación. Generalmente es posible realizarlo en algunos tipos de sedimentos arenosos, incluidas superficies que tengan algún grado de erosión y también es posible realizarlo con material colectado en hormigueros. Esta técnica es recomendable para obtener elementos mejor conservados que aquellos que pueden ser colectados por un tamizado en agua, ya a que algunos microfósiles pueden ser muy sensibles a su absorción y los compromete estructuralmente, volviéndolos muy vulnerables a que se desintegren. Además, es una técnica ventajosa si la recolección del material fósil se realiza en entornos áridos o con escasez de agua. También es útil si se quiere reducir la cantidad de sedimento a transportar para un posterior tamizado en agua.

Como se mencionó arriba, en algunas ocasiones las hormigas arrieras acumulan microvertebrados en sus hormigueros. Este tipo de depósito es ideal para el tamizado en seco, pues el trabajo de separación de limos y arcillas lo realizan casi en su totalidad las hormigas. Cabe mencionar que la colecta de este sedimento se



Figura 3. Férula de yeso antes de ser extraída del sedimento.

realiza de forma preferencial durante los días más calurosos del verano, cuando las hormigas no se encuentran activas en la superficie y se les procura dejar algún pago azucarado por los desastres ocasionados. Se debe mantener la integridad del hormiguero, separando solo el sedimento a analizar, de tal forma que este proceso de selección de clastos por parte de las hormigas pueda continuar año con año.

3.4. Tamizado en húmedo

Esta técnica implica el lavado del sedimento que contiene microfósiles con agua a través de mallas para separar las partículas más pequeñas, como limos o arcillas. Esta acción puede llevarse a cabo tanto en campo abierto, en cuevas o grutas, si se dispone de una fuente de agua cercana, así como en el laboratorio. Sin embargo, la capacidad de disgregar el sedimento en partículas más pequeñas puede variar según su nivel de cementación o litificación. En algunos casos, esto puede requerir estrategias más complejas, como el uso de ácidos o disolventes (Cifelli *et al.*, 1996).

Uno de los primeros trabajos donde se utilizó tamizado en húmedo para recuperar pequeños vertebrados fue el de Theodore Plieninger en rocas del Mesozoico de Europa en 1847, mientras que, en E.U.A., Wortman fue el primero en tamizar en húmedo en 1891 para el Museo Americano de Historia Natural (Mckenna *et al.*, 1994). El tamizado en húmedo para recuperar microvertebrados se popularizó después de la publicación del método usado por Hibbard (1949) para recolectar mamíferos del Cenozoico tardío en E.U.A.

Durante los últimos 80 años, se han utilizado barriles con una malla en un extremo en el que se vierte agua a presión por mangueras, así como tamices de metal y de madera con diferentes configuraciones y aberturas de malla para procesar grandes cantidades de sedimento. Las fuentes de agua utilizada son principalmente ríos, riachuelos, represas y lagos cercanos

a las localidades fósiles, aunque también se usa agua bombeada a través de mangueras (Ward, 1984; Mckenna *et al.*, 1994; Cifelli *et al.*, 1996; Araújo *et al.*, 2011; Bhat, 2017).

Asimismo, existen estaciones portátiles de tamices, los cuales son cajones con un piso de malla, el cual va disminuyendo en diámetro para clasificar distintos tamaños de partículas. En algunas instalaciones profesionales, como el Laboratorio de Paleontología del Centro de Geociencias, UNAM, se cuenta con una de estas estaciones portátiles, la cual se ensambla con tres cajones que tienen una malla de 1.5 cm, 0.5 cm y 1 mm. La estación se monta sobre un trípode al que se le aplica un movimiento pendular (sube y baja) para permitir que el sedimento caiga por gravedad (Figura 4). Otras estaciones como la mesa de Daams y Freudenthal (1988) (en Minwer-Barakat, 2005) o el tamiz de aluminio de Li y Ni (2021) también son bastante útiles (Figura 4). Actualmente pueden encontrarse incluso piscinas de lavado y cribado (Li y Ni, 2021), las cuales pueden procesar varias toneladas de sedimento al mismo tiempo.

A pesar de su utilidad, no siempre es posible contar con tamices para el campo, ya que se necesitan recursos para construirlos y en general las fuentes de financiamiento no contemplan estos gastos. También, los tamices se necesitan transportar a las cercanías de las localidades fosilíferas, lo que requiere el uso de vehículos grandes (con espacio suficiente), los cuales no siempre están disponibles; y finalmente, se requiere personal para usar los tamices, lo que implica un mayor gasto en las campañas de campo.

Por lo anterior, en nuestro trabajo de campo con microinvertebrados y microvertebrados continentales hemos usado utensilios distintos para tamizar en húmedo. En un estudio reciente, Haiar (2022) utilizó distintos materiales (bolsas de malla de nylon y tamices para pintura) para tamizar en húmedo y evaluó su eficacia para reducir la matriz.

En el caso del Laboratorio de Paleobiología de la Universidad del Mar, usamos las tradicionales bolsas de mandado con una abertura de malla de 1.0 mm (Figura 5) porque son fáciles de conseguir, son baratas, resistentes, ligeras, fáciles de transportar, una sola persona puede manipular varias y casi no ocupan espacio. Para recuperar microfósiles mediante tamizado en húmedo, primero revisamos cuidadosamente los estratos portadores para recolectar manualmente los ejemplares que estén sueltos (*pick up*); de esta forma hemos recuperado hemimandíbulas de roedores y la-certilios, dientes aislados, oogonios y moluscos. Posteriormente se utilizan palas para colocar el sedimento en una carretilla y así transportarlo a las cercanías del riachuelo donde se tamizará. Para ello, se coloca $\frac{1}{4}$ parte de la capacidad de la bolsa de mandado con sedimento, así se evita que la malla se deforme por el exceso de peso. La bolsa se introduce al agua (Figura 5) y el sedimento se puede dejar remojando si es que

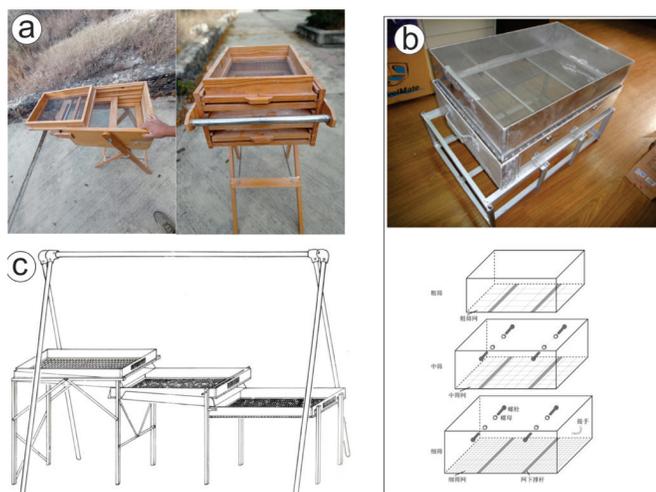


Figura 4. Tipos de tamices empleados en la colecta de microfósiles. a) Tamiz de tres cajones con movimiento vertical desarrollado en el Centro de Geociencias, UNAM. Los tamaños de malla son de 1 cm, 0.5 cm y 1 mm. b) Tamiz de aluminio con tres cajones acoplables (Tomado de Li y Ni, 2021). c) Mesa de Freudenthal (tomado de Minwer-Barakat, 2005).

está muy compactado, agitando suavemente la bolsa para que se moje de manera más efectiva y sin golpear la bolsa contra las rocas para no dañar a los ejemplares y a la bolsa (para evitar roturas y que siga siendo útil). Cuando el sedimento se comienza a disgregar, se puede introducir la mano a la bolsa para agitar el sedimento y que el agua se lleve las partículas más finas de manera más efectiva; cuando el agua ya no está turbia, el sedimento está listo para secarse.

En nuestra experiencia, con los sedimentos procedentes de las localidades del Pleistoceno y el Oligoceno de Oaxaca, el uso de las bolsas de mandado permite reducir la matriz entre un 70 – 75 %, un porcentaje similar a lo reportado por Haiar (2022), por lo que son recomendables como opción de tamizado en húmedo. Generalmente, es necesario realizar un segundo tamizado en húmedo para reducir aún más la cantidad de limos y arcillas de los concentrados que se lavaron inicialmente en campo. En nuestra experiencia, en el segundo lavado el volumen de los concentrados se reduce hasta un 60 – 70 %, dependiendo de la cantidad de sedimentos finos que contenga. Antes de realizar el segundo tamizado es necesario que los concentrados estén completamente secos.

Por su parte, en las investigaciones realizadas en el Cenozoico tardío del centro de México, la recolecta de microfósiles se realiza en estratos que se disgregan fácilmente, para lo cual también se ha adaptado el uso de las bolsas de mandado, las cuales pueden limpiarse fácilmente, ya que la malla es relativamente flexible, impidiendo que los poros se atasquen con las partículas (en relación con las mallas profesionales cuya malla es de acero inoxidable y requiere de un cepillo metálico



Figura 5. Tamizado en húmedo. a) bolsas de mandado con apertura de 1 mm y secado de los concentrados en campo. b) Tamizado de sedimentos en un riachuelo. c) y d) Secado de concentrados en campo con bolsas negras. También se observan las cubetas de plástico con tapa para transportar los concentrados al laboratorio.

después de su uso), tampoco posee aditamentos complejos o sensibles a una reparación. El principal aspecto a considerar es el tamaño de abertura de la malla, el cual es difícil de controlar, aunque en general las mejores bolsas están compuestas por una sola malla (doble malla puede traer problemas en el tamizado) con una abertura de malla de cerca de un milímetro.

El tamaño de la abertura de malla de las bolsas de mandado puede ser una limitante, ya que los ejemplares muy pequeños (como algas carófitas y ostrácodos) se pueden perder porque pasarían a través de las aberturas. Por ello es importante revisar cuidadosamente los sedimentos fosilíferos y evaluar si es necesario utilizar tamaños de malla más pequeños antes de utilizarlas.

3.5. Lavado con keroseno, ácidos y propiedades flocculantes

En ocasiones, las rocas que contienen fósiles pueden estar más o menos litificadas, lo que afecta la facilidad con la que pueden disgregarse sólo con agua. Para resolver este inconveniente se pueden intentar varios ciclos de tamizado con agua, a veces con la adición de algún detergente comercial (Cifelli *et al.*, 1996). Sin embargo, esto aumenta el riesgo de dañar el material fósil más frágil y que no se disgreguen los clastos de limos y arcillas, que a veces se acumulan alrededor de núcleos de acreción fósiles. Por esta razón, se han desarrollado técnicas de tamizado que emplean disolventes o ácidos para descomponer el cemento que une las partículas y los fósiles (Ward, 1984; Cifelli *et al.*, 1996). Una de

estas técnicas es el lavado del sedimento con keroseno (u otros destilados del petróleo como el diesel). Para esto, se remoja el sedimento en keroseno durante un tiempo variable, dependiendo de la muestra, generalmente entre unos 30 segundos hasta dos horas para sedimentos continentales (Cifelli *et al.*, 1996) y hasta 24 horas para sedimentos marinos (Behringer, 1966). Posteriormente el sedimento se pasa a través de las mallas y luego se pone a secar a la intemperie. Después, si se prefiere, se puede realizar un lavado suave con agua y un tamizado en seco para separar las partículas por tamaño de grano.

Algunos tipos de rocas productoras de microfósiles pueden estar muy consolidadas por los carbonatos cementantes que rellenan los espacios entre sus partículas. Esto es muy común en ambientes marinos o lacustres (calcita y dolomita). En este caso se puede poner a remojar la muestra en ácido acético al 10% o 15 %, cambiando el ácido cada dos o tres días y observando que no exista una degradación de nuestro material. Es preferible que esto se realice en un entorno controlado, al aire libre y en la sombra (Cifelli *et al.*, 1996). Una vez que el ácido comienza a reaccionar, se formarán sales solubles y dióxido de carbono, y observaremos como el material se va disgregando para poder ser pasado por un tamizaje (con un lavado previo en agua).

Las rocas más difíciles de tamizar son aquellas que tienen un tamaño pequeño de partícula, limo-arcilla (aunque hay excepciones como las ilitas), debido a sus propiedades electroestáticas y de intercambio iónico, las cuales pueden resultar en un comportamiento flocular muy fuerte e impermeabilidad. Ello dificulta bastante el trabajo de los paleontólogos al momento de intentar su tamizado (Cifelli *et al.*, 1996).

Esta floculación natural de la arcilla puede verse influenciada por tres factores principales: la salinidad, la temperatura y el pH. Afortunadamente, existen trabajos paleontológicos que han abordado esta problemática y aquí se resumen las observaciones realizadas por Cifelli *et al.*, (1996). Según estos autores, un ligero aumento en la temperatura del agua utilizada para lavar una matriz de arcillas montmorillonitas puede reducir a la mitad el tiempo requerido para su tamizado, pasando de cinco días a 24°C a dos días y medio cuando se lava a 30°C. Además, han observado que el tipo de agua empleado es fundamental para un buen tamizado; el agua marina con altas concentraciones de sales (2000 ppm), no sólo dificulta la desintegración de la matriz, sino que la fortalece, por lo que lo ideal es trabajar con charcos o estanques de agua dulce. Por último, la adición de una base fuerte y alcalina al agua, como el hidróxido de calcio o el hidróxido de potasio, puede alterar la carga superficial y estructural de las arcillas, facilitando su desintegración durante el tamizado.

4. Secado de los concentrados en campo y su transporte al laboratorio

Los concentrados de sedimento resultantes del tamizado en húmedo se secan al sol extendiéndolos en bolsas negras de plástico (Figura 5). Por su color, las bolsas negras absorben el calor del sol y ayudan a que el concentrado se seque más rápido; adicionalmente, las bolsas se lavan y pueden utilizarse múltiples veces.

Una vez que los concentrados están secos o casi secos es posible revisarlos para retirar manualmente los fósiles que se observen. De esta forma se evitará romperlos al vaciar los concentrados en los contenedores para su transporte al laboratorio. Una manera sencilla de transportarlo es usar sacos (costales) de rafia en los que se pueden escribir los datos de campo por fuera e introducir una etiqueta también con los datos, envuelta en una bolsa de plástico para evitar que se moje. También es posible transportar los concentrados y sedimentos en estructuras resistentes como cubetas con tapa (Figura 5). Las cubetas pequeñas de cuatro litros con tapa son muy eficientes, ya que permiten conocer el volumen de sedimento colectado por estrato o sitio paleontológico, no se rompen durante el traslado de los sedimentos (como sucede con las bolsas de plástico) y son reutilizables.

Por otra parte, las cápsulas de gelatina son una opción para la recolección y transporte de ejemplares aislados, como bivalvos articulados o fragmentos de mandíbulas, dientes y poscraneales aislados. Sin embargo, los ejemplares deben estar completamente secos, sin restos de humedad; de lo contrario, se pueden pegar a la cápsula y es difícil separarlos, ya que pueden romperse o fracturarse. Otro material que puede utilizarse son tubos de microcentrífuga de 1.5 ml o 2 ml con tapa a presión (Figura 6). Por su tamaño, estos contenedores son ideales para los moluscos y vertebrados de tamaño mediano y pequeño.

Cuando los ejemplares estén en los contenedores, es posible rellenar el espacio de la cápsula con algodón o papel de baño, de tal forma que el ejemplar no se mueva y se rompa. Como ya se mencionó, los ejemplares deben estar secos ya que son menos frágiles.

5. Etiquetado de materiales colectados en campo

Los documentos en los que se vierte la información sobre las condiciones en que los fósiles fueron hallados es crucial en paleontología. Por un lado, permite la correcta interpretación de los descubrimientos fósiles. Por otro, estos medios constituyen un registro histórico asociado a colecciones y museos.

El etiquetado en campo es un elemento crucial para cualquier tipo de investigación, incluyendo la colecta y análisis de microvertebrados e invertebrados fósiles.



Figura 6. Elementos útiles para transportar y resguardar microfósiles en el laboratorio. a) Placa para montar microfósiles, cápsula de gelatina y tubo de microcentrifuga. b) Cubetas donde se observa el etiquetado en la tapa, en la parte externa y una etiqueta cubierta por una bolsa transparente que se coloca con el sedimento que se transporta.

Generalmente, se le presta poca atención a pesar de que es la que dará más información sobre los materiales en el futuro. Por ello, etiquetar los sedimentos colectados y los materiales recuperados de dichos sedimentos es muy importante. Es recomendable contar con varias etiquetas para los concentrados que se trasladarán al laboratorio, de esta forma es más difícil que se pierda la información. Recomendamos etiquetar el exterior de la cubeta, bolsa o saco, y etiquetar el interior del recipiente con una etiqueta guardada en una bolsa para evitar que se dañe, y si usamos cubetas para transportar el sedimento, también hay que etiquetar la tapa del recipiente (Figura 6).

Aunque parezca que el etiquetado en campo es un paso simple y lógico, hay que considerar ciertos aspectos para que la información no se pierda con el tiempo, especialmente en aquellos materiales (ejemplares y sedimentos) que no van a limpiarse e integrarse en una colección a corto plazo. También es importante considerar que se requiere una mínima inversión de dinero para contar con materiales idóneos y de calidad.

Para las etiquetas deben usarse hojas blancas libres de ácido; hay que evitar las hojas de reúso o de colores,

propaganda u otro tipo de impresión. Con el tiempo, la tinta se pierde y puede afectar los datos. Si los materiales fósiles se almacenan, es común, al cabo de los años e incluso de meses, que las etiquetas se rompan, se deterioran y con ello, la información escrita. Las etiquetas conservadas al interior de muestras de sedimento pueden guardarse dentro de bolsas de plástico, evitando así su deterioro. Los datos deben escribirse a lápiz, nunca con pluma o plumón, ya que si las etiquetas se mojan, la tinta puede correrse y la información será ilegible. Los datos esenciales incluyen la información de la localidad, del(a) colector(a), la fecha de colecta (escribiendo completo el nombre del mes: septiembre, no "sept.", no "09"), y de ser el caso la formación geológica y el nivel estratigráfico. En la libreta de campo deben registrarse las colectas que se llevaron a cabo por día, así como la información de las características de los ejemplares y las localidades (Figura 7).

Dado que el espacio de una etiqueta es limitado, también se debe tener una relación de las colectas con la información que, por espacio, no se incluya en la etiqueta. Una sugerencia es el uso de boletos (tickets) foliados para llevar un control más específico. A cada contenedor o lote de contenedores (si es que se encontraron en un mismo nivel estratigráfico), además de la etiqueta, se le agrega un boleto foliado. La relación de los números, y por ende, de las muestras, se registra en listados, en donde se incluyen los datos taxonómicos del ejemplar, los datos del colector, la localidad y su nivel estratigráfico; si es un lote, se incluye el número de ejemplares (Figura 7), así como otros datos que sean pertinentes.

6. Selección de ejemplares bajo el microscopio

El equipo mínimo para la revisión de concentrados de sedimento bajo el microscopio estereoscópico son pinceles delgados del número 00 (preferentemente de pelo natural para evitar la estática), agujas delgadas y pinzas de disección o pinzas de punta fina. Dependiendo del tamaño y del espacio para almacenaje, se necesitarán recipientes apropiados (tubos de plástico o cápsulas de gelatina) o placas para microfósiles (Figura 6).

Para revisar el sedimento seco para la separación de los micromoluscos y microvertebrados, el sedimento se vacía en placas de Petri. Es preferible revisar una cantidad mínima, con el fin de observarlo detalladamente.

Es importante no sacar el sedimento que rellena el interior de las conchas hasta su traslado en el laboratorio. De esta forma, no se rompen durante el traslado. Cuando se retire el sedimento, tiene que realizarse bajo el microscopio. Si el sedimento no se retira, hay riesgo de que los ejemplares se contaminen por la presencia de esporas, semillas o huevecillos de insectos en el sedimento. Dependiendo del ejemplar, hay casos en los que, si se retira completamente el sedimento, las conchas colapsan y el ejemplar se pierde.



Figura 7. Registro de la información en campo y resguardo de pequeños vertebrados e invertebrados. a) Registro de datos en la libreta de campo. b) Resguardo de ejemplares recolectados y su registro en formatos *ad hoc*. c) Ejemplo de formato para registrar los datos de campo durante las colectas. d) Materiales útiles en la recolecta de microfósiles. Cápsula de gelatina, tubo para química clínica y boleto para registro de colectas. e) Ejemplo de resguardo de microvertebrados en cápsulas de gelatina dentro de viales con tapa de corcho en una colección paleontológica.

En el caso de los pequeños vertebrados, también es aconsejable retirar el sedimento y las “costras” de minerales que a veces se presentan, y así poder observar los rasgos morfológicos que auxiliarán en la identificación taxonómica. Para ello hemos usado agujas finas de costura y lancetas, las cuales se pueden afilar múltiples ocasiones. Ambas son muy efectivas para retirar el sedimento de molares de roedor sin dañar los ejemplares. Hay que resaltar que es preferible dejar sedimento sobre los ejemplares fósiles de pequeños vertebrados, si el removerlo implica la posible fractura o destrucción del fósil.

7. Resguardo de los ejemplares fósiles en la colección

Tradicionalmente, los ejemplares de microvertebrados se montan en la cabeza de un alfiler, el cual se encuentra atravesando un corcho y es protegido por un pequeño vial o frasco de cristal. Esto asegura que su manipulación sea a través del corcho sin que exista contacto con el microfósil, ya que por su tamaño se corre el riesgo de que este brinque fuera de la mesa de observación y caiga al piso. Los viales con los ejemplares se almacenan en rejillas de madera (Madsen, 1996).

En el Laboratorio de Paleobiología de la UMAR los pequeños vertebrados y moluscos los resguardamos

de manera semejante a la técnica de Smith (2007): los ejemplares se colocan en cápsulas de gelatina (en vez de rectángulos de polietileno perforados) y cada cápsula o conjuntos de cápsulas con ejemplares contienen una pequeña etiqueta con el número de catálogo por ejemplar; adicionalmente, las cápsulas se guardan en tubos de centrífuga con tapa de rosca o tubos para química clínica y dentro de cada tubo se colocan las etiquetas con los datos de la colección de cada ejemplar (Figura 7). Los tubos se colocan en rejillas de polietileno o se guardan en cajas de manera horizontal. En caso de tener ejemplares más grandes, es posible guardarlos directamente en los tubos, o directamente en cajas, como en el caso de los restos de tortugas fósiles.

En el caso de las placas para montar a los ejemplares de invertebrados, es común usar goma de tragacanto para formar una película que permita pegar y separar a los ejemplares (McLure, 1992; Saraswati y Srinivasan, 2016). Sin embargo, en lugares cálidos, la goma promueve el crecimiento de hongos, hifas y esporas, aun cuando se le agrega un agente antifúngico. Un sustituto barato es usar pegamento blanco diluido con agua (30 – 70%) y adicionar gotas de algún agente antifúngico, como esencia de clavo.

Es aconsejable tener la relación de las placas y los ejemplares montados en cada una en bitácoras. Las placas se enumeran o se les asigna un código, el cual se registra en la bitácora. Además de que la información pueda registrarse de manera escrita, también es deseable que se capture en una base de datos electrónica.

8. Identificación taxonómica

Dependiendo del grupo taxonómico, las herramientas para la identificación de microfósiles continentales varían. En el caso de los pequeños mamíferos, anfibios y reptiles del Plioceno y Pleistoceno, hemos comparado los ejemplares fósiles con los de la literatura especializada para una identificación preliminar y posteriormente se han comparado directamente con los ejemplares resguardados en osteotecas con ejemplares recientes, como la Colección de Referencia del Laboratorio de Aqueozoología “Ticúl Álvarez”, del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), la Colección Nacional de Mamíferos, del Instituto de Biología (IB), UNAM, o la Colección Nacional de Nacional de Anfibios y Reptiles del IB, UNAM. En el caso de ejemplares más antiguos (Oligoceno), además de la literatura especializada, se ha comparado material de pequeños mamíferos con los resguardados en las colecciones paleontológicas del Museo Americano de Historia Natural y del Museo de Historia Natural de la Universidad de Florida, ya que en México las colecciones paleontológicas no cuentan con ejemplares de esta edad; en ambos casos la comparación directa permitió corroborar las identificaciones a nivel genérico.

En relación con algunas familias de gasterópodos, las características de la concha pueden no ser suficientes para identificar a nivel de especie (e incluso de género). En el caso de ciertas familias, como Lymnaeidae o Succineidae, la identificación taxonómica se basa en las características del aparato reproductor, por lo que en el caso de microfósiles de moluscos gran parte del material queda sin identificar. En el caso de los bivalvos, la concha presenta una plasticidad considerable, por lo que es mejor contar con el mayor número posible de ejemplares adultos. Ello permite una identificación de los rasgos diagnósticos de las especies.

Uno de los textos básicos para la identificación de gasterópodos continentales a nivel familia y género es la serie de 28 volúmenes del *Manual of Conchology, structural and systematic: with illustrations of the species; second series: Pulmonata*, de Henry Augustus Pilsbry y George W. Tyron, eminentes naturalistas de finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Esta obra está compuesta por tratados en los que se detallan la anatomía, taxonomía y características de las diferentes familias de gasterópodos continentales. Para el lector interesado, estos tratados están disponibles de manera libre en las bases del *Biodiversity Heritage Library* (www.biodiversitylibrary.org). Otros que permiten la identificación de moluscos, al menos a nivel de familia también se encuentran disponibles en internet (e.g., Fahy, 2003; Perez y Cordeiro, 2008; Brown y Lydeard, 2010; Graf y Cummings, 2009).

9. Recomendaciones finales

Antes de realizar cualquier trabajo de campo es necesario cumplir con los “Lineamientos para la investigación de vestigios o restos fósiles de interés paleontológico en México”, emitidos por el Consejo de Paleontología del INAH (INAH, 2020). Ello para cumplir cabalmente con la normativa actual.

Una recolecta exitosa depende en gran medida de llevar a campo los materiales y equipos adecuados

y suficientes para realizar el registro y recolecta de los grupos de nuestro interés. Estos incluyen tanto el equipo personal, como el equipo de campo (Tabla 1).

10. Perspectivas

El estudio de pequeños vertebrados e invertebrados continentales es un área de oportunidad en el país. Hasta ahora se han realizado muy pocas investigaciones con estos interesantes grupos.

En los estudios que hemos realizado se han podido ubicar y trabajar en localidades muy productivas, con concentraciones elevadas de moluscos continentales y donde se han recuperado de entre 3 a 5 molares de microvertebrados por kilogramo de sedimento. Ello muestra que el trabajo de prospección y recolecta de pequeños invertebrados, mamíferos reptiles, anfibios y aves es importante, ya que tiene relevancia para estudiar patrones de biogeografía histórica, la reconstrucción paleoambiental y la evolución de las comunidades a través del tiempo geológico, con implicaciones a nivel regional y continental. La relevancia de estos registros contribuye al conocimiento de los patrones de reemplazo faunístico y la dinámica evolutiva de los ecosistemas en nuestro país, la cual se caracteriza por su elevada biodiversidad.

Agradecimientos

Al Dr. Carlos Castañeda Posadas por invitarnos a participar en el “Paleoworkshop: Rescate de material paleontológico mexicano” y en este volumen especial. Al Dr. Jorge Genise por enseñarnos hace tiempo sus propuestas para un control de colectas en campo. Al Dr. Oscar Carranza Castañeda por su trabajo con microvertebrados en el centro de México. Gracias todos los estudiantes y colegas que han participado en las campañas de campo del Laboratorio de Paleobiología de la

Tabla 1. Equipo y materiales recomendados para realizar trabajo de campo de índole paleontológica.

Equipo personal	Equipo de campo	
	Para recolecta de superficie	Para tamizado de sedimento
Sombrero, camisa de manga larga, botas de campo, pantalón, guantes, botiquín de primeros auxilios, mochila resistente, libreta de campo con pasta dura, lápices, sacapuntas, gomas.	Brochas de distintos tamaños, puntas diversas para excavar el sedimento (agujas, palillos, picahielos), lupas para observar los fósiles pequeños, contenedores de diversos tamaños para colocar los fósiles, cápsulas de gelatina para los ejemplares pequeños, etiquetas blancas para el control en campo, bolsas plásticas, papel higiénico para envolver los ejemplares más grandes y para la elaboración de férulas de yeso, yeso de artesano o cerámico para el mismo fin, picas geológicas, consolidante.	Tamices con distintas aperturas de malla, bolsas de mandado, palas, picos, contenedores para guardar los fósiles, sacos, carretilla (si hay espacio suficiente), bolsas negras para el secado, plumón indeleble para etiquetar las bolsas y sacos.

UMAR. A las autoridades académicas y administrativas de la Universidad del Mar por su apoyo logístico en los diversos proyectos. A los estudiantes de la Licenciatura en Biología de la Universidad Autónoma de Querétaro por su apoyo en campo. Agradecemos las sugerencias y correcciones de dos árbitros anónimos, las cuales mejoraron este trabajo.

Este artículo forma parte de los productos del proyecto UMAR 2IR2304, el cual fue autorizado por el Consejo de Paleontología del INAH a través del oficio no. 401.IS.3-2023/308. Se agradece el financiamiento de *National Science Foundation* (EAR 843 1949742) y DGAPA PAPPIT (IN 102817), a la Universidad Nacional Autónoma de México, a los proyectos del Cenozoico tardío del centro de México. También se agradece el financiamiento al Ministerio de Ciencia e Innovación de España PID2021-122533NB-I00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE).

Referencias

- Andrews, P. (1990). *Owls, Caves, and Fossils*. University of Chicago Press.
- Applegate, S. P., Espinosa-Arrubarrena, L., Alvarado-Ortega, J., & Benammi, M. (2006). Revision of recent investigations in the Tlayúa Quarry. In F. J. Vega, T. C. Nyborg, M. del C. Perrilliat, M. Montellano-Ballesteros, S. R. S. Cevallos-Ferriz, S. A. Quiroz-Barroso (eds.), *Studies on Mexican Paleontology* (pp. 275–304). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Araújo, R., Natário, C., & Pound, M. (2011). How to mount an inexpensive sieving lab. *Journal of Paleontological Techniques*, 9, 1–8.
- Arroyo-Cabrales, J., Corona-M, E., Polaco, O. J., Cruz-Silva, J. A., Córdova, M., Canto, G., & Basante, O. (2004). Recent Excavations in the Cueva Encantada, Chimalacatlán, Morelos, México. *Current Research in the Pleistocene*, 21, 9–11.
- Arroyo-Cabrales, J., Johnson, E., & Cruz, J. A. (2021). San Josecito Cave and Its Paleoenvironmental Contributions for Quaternary Studies in Mexico. *Quaternary*, 4, 34. <https://doi.org/10.3390/quat4040034>
- Arroyo-Cabrales, J., & Manzanilla López, R. (2022). Giants & airplanes: Mammoths at the airport in Mexico City. *Cranium*, 39(1), 30–39.
- Avery, D. M. (2007). Micromammals as palaeoenvironmental indicators of the southern African Quaternary. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 62(1), 17–23. <https://doi.org/10.1080/00359190709519193>
- Barbieri, F., Ortiz, P. E., & Pardiñas, U. F. J. (2019). The oldest sigmodontine rodent revisited and the age of the first South American cricetids. *Journal of Paleontology*, 93, 368–384. <https://doi.org/10.1017/jpa.2018.74>
- Behringer, M. P. (1966). A study of Microfossils. *The American Biology Teacher*, 28(4), 282–289.
- Bhat, M. (2017). Techniques for systematic collection and processing of vertebrate microfossils from their host mudrocks: a case study from the Upper Triassic Tiki Formation of India. *Journal of the Geological Society of India*, 89, 369–374. <https://doi.org/10.1007/s12594-017-0617-8>
- Blain, H. A., Bailon, S., Cuenca-Bescos, G., Arsuaga, J. L., de Castro, J. M. B., & Carbonell, E. (2009). Long-term climate record inferred from early-middle Pleistocene amphibian and squamate reptile assemblages at the Gran Dolina Cave, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution*, 56(1), 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2008.08.020>
- Bonhof, W. J., & Pryor, A. J. (2022). Proboscideans on parade: A review of the migratory behaviour of elephants, mammoths, and mastodons. *Quaternary Science Reviews*, 277, 107304. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107304>
- Brattstrom, B. H. (1953). The amphibians and reptiles from Rancho La Brea. *Transactions of the San Diego Society of Natural History*, 11, 365–392. <https://doi.org/10.5962/bhl.part.28861>
- Brown, K. M., & Lydeard, C. (2010). Chapter 10 - Mollusca: Gastropoda. En J. H. Thorp, A. P. Covich (eds.), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* (Third Edition, pp. 277–306). Academic Press.
- Carranza-Castañeda, O. (2006). Late Tertiary fossil localities in central Mexico, Between 19°–23°N. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Centro de Geociencias, Publicación Especial*, 4, 45–60.
- Carranza-Castañeda, O., & Walton, A. H. (1992). Cricetid Rodents from The Rancho el Ocote fauna, Late Hemphillian (Pliocene), state of Guanajuato. *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 10, 71–93.
- Casillas-Ramírez, Y. G., Uribe-Mú, C. A., Mora-Núñez, M., & Vásquez-Bolaños, M. (2023). Microvertebrados fósiles asociados a montículos de hormigueros de *Pogonomyrmex barbatus* (Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae) en Jalisco, México. *Dugesiana*, 30, 75–83. <http://dx.doi.org/10.32870/dugesiana.v30i2.7287>
- Cifelli, R. L., Madsen, S. K., & Larson, E. M. (1996). Screenwashing and associated techniques for the recovery of microvertebrate fossils. In R. L. Cifelli (Ed.), *Techniques for recovery and preparation of microvertebrate fossils* (94-4, 1–24). Oklahoma Geological Survey Special Publication.
- Croxen, F. W., Shaw, C. A., & Sussman, D. R. (2007). Pleistocene Geology and Paleontology of the Colorado River Delta at Golfo de Santa Clara, Sonora, Mexico. En *The 2007 Desert Symposium field guide and abstracts, San Diego, California*, R. E. Reynolds (ed.), 84–89
- Cruz, J. A., Arroyo-Cabrales, J., & Viñas-Vallverdú, R. (2009). Late Pleistocene fossil tortoises of Santiago Chazumba, Oaxaca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(2), 225–232.
- Cruz, J. A., Arroyo-Cabrales, J., & Reynoso, V. H., (2016). Reconstructing the paleoenvironment of Loltún Cave, Yucatán, Mexico, with Pleistocene amphibians and reptiles and their paleobiogeographic implications. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33(3), 342–354.
- Cruz, J. A., Prado, J. L., & Arroyo-Cabrales, J. (2021). The mutual ecological range and paleoclimatic reconstruction during the Late Pleistocene-Holocene in the Pampas (Argentina) using meso and microvertebrate fossils. *The Holocene*, 31(6), 983–992. <https://doi.org/10.1177/095968362199465>
- Czaplewski, N. J. (2011). An owl-pellet accumulation of small Pliocene vertebrates from the Verde Formation, Arizona, USA. *Palaeontologia Electronica*, 14, 30A.
- De Francesco, C. G., & Hassan, G. S. (2009). The significance of molluscs as paleoecological indicators of freshwater systems in central-western Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 274(1–2), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.01.003>
- Domingo, L., Tomassini, R. L., Montalvo, C. I., Sanz-Pérez, D., & Alberdi, M. T. (2020). The Great American Biotic Interchange revisited: a new perspective from the stable isotope record of Argentine Pampas fossil mammals. *Science Reports*, 10, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58575-6>
- Eaton, J. G. (2004). New screen-washing approaches to biostratigraphy and paleoecology of nonmarine rocks, Cretaceous of Utah. *Bulletin of Carnegie Museum of Natural History*, 36, 21–30.
- Etter, W. (2002). *Exceptional Fossil Preservation. A Unique View on the Evolution of Marine Life*. Columbia University Press.

- Fahy, N. E. (2003). Clave de los géneros de moluscos terrestres mexicanos usando caracteres conquiológicos. *Revista de Biología Tropical, Suplemento*, 3, 473–482.
- Faith, J. T., & Lyman, R. L. (2019). *Paleozoology and paleoenvironments: fundamentals, assumptions, techniques*. Cambridge University Press.
- Graf, D. L., & Cummings, K. S. (2009). Actual and alleged freshwater mussels (Mollusca: Bivalvia: Unionoida) from Madagascar and the Mascarenes, with description of a new genus, *Germainaia*. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 158, 221–238.
- Guerrero-Arenas, R. (2013). *Paleobiología de la microfauna pleistocénica en la zona Tamazulapan-Concepción Buenavista, Oaxaca*. [Tesis doctoral no publicada]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Guerrero-Arenas, R., Jiménez-Hidalgo, E., & García-Barrera, P., (2013). New records of temperate mollusks in two Late Pleistocene terrestrial localities from northeastern Oaxaca, Southern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 47, 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.07.008>
- Haiar, B. K. (2022). Examination of nontraditional materials for microvertebrate fossil screenwashing. *Acta Palaeontologica Polonica*, 67(1), 21–25. <https://doi.org/10.4202/app.00952.2021>
- Head, J., Bloch, J., Hastings, A. K., Bourque, J. R., Cadena, E. A., Herrera, F. A., Polly, P. D., & Jaramillo, C. A. (2009). Giant boid snake from the Palaeocene neotropics reveals hotter past equatorial temperatures. *Nature*, 457, 715–717. <https://doi.org/10.1038/nature07671>
- Hibbard, C. W. (1949). Techniques of collecting microvertebrate fossils. *Contributions from the Museum of Paleontology, University of Michigan*, 8(2), 7–19.
- Hoppe, K. A., & Koch, P. L. (2007). Reconstructing the migration patterns of late Pleistocene mammals from northern Florida, USA. *Quaternary Research*, 68(3), 347–352. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2007.08.001>
- Horne, D. J., Holmes, J. A., Rodríguez-Lazaro, J., & Viehberg, F. A. (2012). Ostracoda as proxies for Quaternary climate change: overview and future prospects. *Developments in Quaternary Sciences*, 17(2), 305–315. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53636-5.00018-4>
- Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). (2020). Lineamientos para la investigación de vestigios o restos fósiles de interés paleontológico en México. Disponible en: <https://www.normateca.inah.gob.mx/pdf/01612485398.PDF>
- Jacobs, L. L., & Lindsay, E. H. (1981). Prosigmodon oroscoi, a New Sigmodont Rodent from the Late Tertiary of Mexico. *Journal of Paleontology*, 55, 425–430.
- Jiménez-Hidalgo, E., & Carranza-Castañeda, O. (2010). Blancan camelids from San Miguel de Allende, Guanajuato, central México. *Journal of Paleontology*, 84, 51–65. <https://doi.org/10.1666/08-154.1>
- Kimura, Y., Flynn, L. J., & Jacobs, L. L. (2021). Tempo and Mode: Evidence on a protracted split From a dense fossil record. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 642814. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.642814>
- Korth, W. W. (1994). *The Tertiary record of rodents in North America*. Springer.
- Ksepka, D. T. (2014). Flight performance of the largest volant bird. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(29), 10624–10629. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320297111>
- Lev, M. A., Weinstein-Evron, M., & Yeshurun, R. (2020). Squamate bone taphonomy: A new experimental framework and its application to the Natufian zooarchaeological record. *Scientific Reports*, 10, 9373. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66301-5>
- Li, Q., & Ni, X. J. (2021). Wet Sieving Technique for Collecting Microfossils. *Bio-101*, e1010613. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.1010613>
- Lindsay, E. H., & Jacobs, L. L. (1985). Pliocene small mammal fossils from Chihuahua, Mexico. *Paleontología Mexicana*, 51, 1–53.
- Lowe, J., & Walker, M. (2014). *Reconstructing Quaternary Environments*. Routledge.
- Maas, M. C. (1985). Taphonomy of a late Eocene microvertebrate locality, Wind River basin, Wyoming (U.S.A.). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 52, 123–142. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(85\)90034-3](https://doi.org/10.1016/0031-0182(85)90034-3)
- Madsen S. K. (1996). Some techniques and procedures for microvertebrate preparation. In R. L. Cifelli (ed.), *Techniques for recovery and preparation of microvertebrate fossils* (94–4, 25–36). Oklahoma Geological Survey Special Publication.
- Martin, L. D. (1979). The biostratigraphy of arvicoline rodents in North America. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences and Affiliated Societies*, 313, 91–100.
- Martin, R. A., Fox, D. L., Urevig, A., Dean, M. R. P., Rountrey, A. N., & Peláez-Campomanes, P. (2022). Fluctuation of body mass in cotton rats and pocket gophers during the late Cenozoic in the Meade basin of Kansas: possible influence of the Huckleberry Ridge Ash-fall. *Historical Biology*, 34, 983–994. <https://doi.org/10.1080/08912963.2021.1959576>
- McKenna, M. C., Bleefeld, A. R. & Mellet, J. S. (1994). Microvertebrate collecting: Large-scale wet sieving for fossil microvertebrates in the field. In P. Leiggi, & P. May (Eds), *Vertebrate paleontological techniques*, 1. (pp. 93–111). Cambridge University Press.
- McLure, J. W. (1992). Investigations in Micropaleontology, *Science Activities*, 29(2), 26–29. <https://doi.org/10.1080/00368121.1992.10113023>
- Medina-Castañeda, C. I., Bravo-Cuevas, V. M., & Cruz, J. A. (2022). Turtles from the Late Pleistocene of Hidalgo and Puebla and their paleobiogeographic and paleoclimatic significance. *Quaternary International*, 634, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.07.008>
- Minwer-Barakat, R. (2005). *Roedores e insectívoros del Turoliense Superior y el Plioceno del sector central de la cuenca de Guadix* [Tesis doctoral no publicada]. Universidad de Granada.
- Molina, E. 2017. *Micropaleontología*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Molnar, R. E. (2004). *Dragons in the dust: the paleobiology of the giant monitor lizard Megalania*. Indiana University Press.
- Moore, J. R. (2012). Do terrestrial vertebrate fossil assemblages show consistent taphonomic patterns? *Palaios*, 27, 220–234. <https://doi.org/10.2110/palo.2011.p111-096r>
- Neubauer, T. A. (2023). The fossil record of freshwater Gastropoda—a global review. *Biological Reviews*, 99(1), 177–179. <https://doi.org/10.1111/brv.13016>
- Pacheco-Castro, A., Carranza-Castañeda, O., & Jiménez-Hidalgo, E. (2019). A new species of Sigmodontinae (Rodentia) from the late Hemphillian of central Mexico, and comments on the possible radiation of this group. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36, 321–333. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2019.3.1162>
- Parada, A., Pardiñas, U. F. J., Salazar-Bravo, J., D'Elía, G., & Palma, R. E. (2013). Dating an impressive Neotropical radiation: Molecular time estimates for the Sigmodontinae (Rodentia) provide insights into its historical biogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 66, 968. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.12.001>
- Pardiñas, U. F. J., D'Elía, G., & Ortiz, P. E. (2002). Sigmodontinos fósiles (Rodentia, Muroidea, Sigmodontinae) de América del Sur: Estado actual de su conocimiento y prospectiva. *Mastozoología Neotropical*, 9, 209–252.
- Pelegrin, J. S., Gamboa, S., Menéndez, I., & Hernández-Fernández, M. (2018). paleoambiental de evidencias aportadas por mamíferos y aves neotropicales. *Ecosistemas*, 27(1), 5–17. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1455>
- Perez, K. E., & Cordeiro, J. R. (2008). *A guide for terrestrial gastropod identification*. http://northamericanlandsnails.org/publications/AMS_Workbook_KEP_FINAL.pdf. Consultado en Febrero de 2024.
- Person, J. J. (2015). Microfossils. *Geo News*, 42(2), 6–9.

- Prevosti, F. J., & Pardiñas, U. F. J. (2009). Comment on “The oldest South American Cricetidae (Rodentia) and Mustelidae (Carnivora): Late Miocene faunal turnover in central Argentina and the Great American Biotic Interchange” by D.H. Verzi and C.I. Montalvo. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeontology*, 280, 543547. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.05.021>
- Quiroz-Barroso, S. A., Guerrero-Arenas, R., García-Barrera, P., & Sánchez-Beristain, F. (2024). Mollusca: Bivalvia and Gastropoda. In R. Guerrero-Arenas, & E. Jiménez-Hidalgo (Eds.), *Past Environments of Mexico*, Springer Geology. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51034-2_4
- Richter, A. J., Pickles, B. J., & Barton, B. R. (2024). First reported fossil occurrences of *Phrynosoma* sp. from the Columbia Plateau (Washington State, USA) dated to the Late Pleistocene. *Journal of Quaternary Science*, 2024, 1–11. <https://doi.org/10.1002/jqs.3595>
- Sánchez López, L., Fagoaga, A., & Ruíz-Sánchez, F. J. (2023). Inferencias paleoclimáticas con micromamíferos fósiles: el Plioceno del barranco del gormaget y el Pleistoceno de El Salt (Alcoy). *Isurus*, 15, 4–14.
- Saraswati, P. K., & Srinivasan, M. S. (2016). *Micropaleontology: Principles and applications*. Springer.
- Schap, J. A., Samuels, J. X., & Joyner, T. A. (2021). Ecometric estimation of present and past climate of North America using crown heights of rodents and lagomorphs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 562, 110144. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.110144>
- Shipman, P., & Walker, A. (1980). Bone-collecting by harvesting ants. *Paleobiology*, 6, 496–502.
- Stuart, A. J. (2021). *Vanished giants: the lost world of the Ice Age*. University of Chicago Press.
- Smith, M. (2007). *Vertebrate microfossil storage, the basics, and a new technique*. <https://vertpaleo.org/preparators-pdfs/#collecting-and-field-techniques>. Consultado en Febrero de 2024.
- Smith, K. T., Comay, O., Maul, L., Wegmüller, F., Le Tensorer, J. M., & Dayan, T. (2021). A model of digestive tooth corrosion in lizards: experimental tests and taphonomic implications. *Scientific Reports*, 11, 12877. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92326-5>
- Sussman, D. R., Croxen, F. W., McDonald, H. G., & Shaw, C. A. (2016). Fossil porcupine (Mammalia, Rodentia, Erethizontidae) from El Golfo de Santa Clara, Sonora, Mexico, with a review of the taxonomy of the North American erethizontids. *Contributions in science*, 524, 1–29. <https://doi.org/10.5962/p.241300>
- Tovar, R. E., & Montellano, M. (2006). Pleistocene microvertebrates from Santa Cruz Nuevo, Puebla, Mexico. *Current Research in the Pleistocene*, 23, 72–74.
- Tucker, M. E. (2003). *Sedimentary rocks in the field*. John Wiley & Sons.
- Vanzolini, P. E., & Heyer, W. R. (1985). The American herpetofauna and the interchange. In F. G. Stehli, & S. D. Webb (Eds), *The Great American Biotic Interchange* (pp. 475–487). Plenum Press.
- Vermeij, G. J. (2016) Gigantism and Its Implications for the History of Life. *PLoS ONE*, 11(1), e0146092. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146092>
- Verzi, D. H., & Montalvo, C. I. (2008). The oldest South American Cricetidae (Rodentia) and Mustelidae (Carnivora): Late Miocene faunal turnover in central Argentina and the Great American Biotic Interchange. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 267, 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.07.003>
- Vogt, R. C., & Legler, J. M. (2013). *Turtles of Mexico: Land and Freshwater Forms*. University of California Press.
- Wang, X., & Carranza-Castañeda, O. (2008). Earliest hog-nosed skunk, *Conepatus* (Mephitidae, Carnivora), from the early Pliocene of Guanajuato, Mexico and origin of South American skunks. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 154, 386–407. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2008.00411.x>
- Ward, D. J. (1984). Collecting isolated microvertebrate fossils. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 82(1–2), 245–259.
- Weir, J. T., Bermingham, E., & Schluter, D. (2009). The great American biotic interchange in birds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(51), 21737–21742. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903811106>
- Whistler, D. P., Tedford, R. H., Takeuchi, G. T., Wang, X., Tseng, Z. G., & Perkins, M. E. (2009). Revised Miocene biostratigraphy and biochronology of the Dove Spring Formation, Mojave Desert, California. *Papers on Geology, Vertebrate Paleontology, and Biostratigraphy in honor of Michael O. Woodburne*, 331–362.
- Woodburne, M. O. (2004). *Late Cretaceous and Cenozoic mammals of North America*. Columbia University Press.
- Woodburne, M. O. (2010). The Great American Biotic Interchange: Dispersals, Tectonics, Climate, Sea Level and Holding Pens. *Journal of Mammalian Evolution*, 17, 245–264. <https://doi.org/10.1007%2Fs10914-010-9144-8>
- Woolley, C. H., Thompson, J. R., Wu, Y. H., Bottjer, D. J., & Smith, N. D. (2022). A biased fossil record can preserve reliable phylogenetic signal. *Paleobiology*, 48(3), 480–495. DOI: <https://doi.org/10.1017/pab.2021.45>
- Zhou, Z. (2014). The Jehol Biota, an Early Cretaceous terrestrial Lagerstätte: new discoveries and implications. *National Science Review*, 1(4), 543–559. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwu055>