



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Coordinación de Estudios de Posgrado
Facultad de Biología

Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas

Área Temática en Ecología y Conservación

**“CABALLOS DEL PLEISTOCENO Y SUS
PALEOAMBIENTES EN DOS CUENCAS DE
MICHOACAN, MÉXICO”**

Tesis

PARA OBTENER ELGRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Alejandro Hiram Marín Leyva

TUTOR

Dr. Javier Ponce Saavedra

CO-TUTORAS

Dra. María Luisa García Zepeda

Dra. María Teresa Alberdi Alonso

Morelia, Michoacán Julio del 2011

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia por todo su apoyo incondicional durante mi formación profesional y personal, a quienes debo todo lo que soy.

A mi papá Roberto por todo su apoyo, en mis proyectos y metas por extraños, locos y difíciles que sean, por ser un ejemplo de superación personal y profesional que espero algún día poder alcanzar.

A mi mamá Zaida por todo su apoyo, consejos, cuidados, cariño y palabras de aliento durante toda mi vida.

A mis hermanos Beto, Rene y Omar con los que puedo contar siempre, por sus consejos, amistad, apoyo y excelentes momentos.

A mi pequeño sobrino Mikel por su cariño y alegría.

A mi abuelo Dani por todas sus anécdotas y sabiduría, y a mi abuela Ofelia por todos sus cariños.

A mis, tí@s, prim@s y sobrín@s, espero poder ser un pequeño buen ejemplo para ellos.

A los seres queridos que nos ya no están físicamente con nosotros, especialmente a mi abuelo Rosendo Leyva, a quien le hubiera gustado que le platicara sobre los caballos de antes, sé que me cuida y apoya donde sea que este.

A Gamera

A esa persona especial que ha estado conmigo durante este último año.

Se lo dedico a todas las personas y seres queridos, a Dios por darme oportunidad de estar y disfrutar de la vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, a la Facultad de Biología, a la Coordinación de la Investigación Científica y a la Coordinación General de Estudios de Postgrado en especial a Dr. Medardo Serna y sus colaboradores por todo su apoyo.

Agradezco la Organización Especial de Investigación de La Piedad de Cabañas y sus colaboradores, en especial al Profesor Fernando Tejada por abrirnos las puertas de su museo y permitirnos usar parte de su material para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco al Museo Nacional de Ciencias Naturales y al Consejo Superior de Investigación Científica de Madrid, España, por permitirme realizar una estancia de investigación en sus instalaciones, agradezco en especial a Patricia Pérez curadora la colección de Paleontología, a las especialistas Paloma Gutiérrez y Blanca Gómez del laboratorio de Restauración, a la Dra. Soledad Domingo por sus conocimientos en Tafonomía, y a los nuevos amigos que hice cuando estuve por allá Susana, Rafa y Manolo.

Agradezco al departamento de Arqueozoología del Instituto Nacional de Antropología e Historia por estar siempre abierto para mí.

Agradezco al Dr. Javier Ponce mi Tutor por toda su, gestión, tiempo, conocimiento, aportaciones y revisiones durante todo el trabajo y sobre todo en la parte final del mismo.

A la Dra. María Luisa García Zepeda, co-asesora de tesis, por darme la oportunidad de seguir adentrándome en la Paleobiología, por su apoyo, gestión, enseñanzas, espacio, tiempo, y amistad usted merece toda mi admiración y respeto.

A la Dra. María Teresa Alberdi, co-asesora por, por todas haberme dado la oportunidad de ampliar y conocer nuevos horizontes tanto en lo profesional como personal, por su disponibilidad, sabiduría, enseñanzas, aportaciones y revisiones, durante todo el trabajo.

Al Dr. Joaquín Arroyo Cabrales por brindarme abrir las puertas del INAH, su disponibilidad, espacio, tiempo, comentarios, revisiones y aportaciones a todo mi trabajo.

Al M.C. J. Ramón López García, por sus conocimientos, espacio, tiempo, esfuerzo, amistad e impulso en la docencia.

Al Dr. Víctor Hugo Garduño Monroy, por sus conocimientos en geología, geoquímica, por su espacio, tiempo, apoyo en la revisión y observaciones en la realización de este proyecto.

Agradezco al Lic. Elías Gonzales, por todo su apoyo.

A los colaboradores de la OEI, los alumnos de la optativa de la Dr. Luisa.

A Lili por todo su apoyo administrativo.

Agradezco a mis amigos y compañeros Beré, Canek, Dulce, Ramón, Misael, Abel y Roberto que me han sido un gran apoyo durante pasados dos años y medio.

Agradezco a todas las personas que me hayan ayudado como Purificación, Emilie, entre otras, y que de alguna manera directa o indirecta colaboraran para el desarrollo y culminación de este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN.....	VII
SUMMARY	IX
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	6
Capítulo. I.....	7
Estratigrafía y sedimentología del yacimiento fosilífero de La Cinta-Portalitos en la zona norte del lago de Cuitzeo, Michoacán, México.	7
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
RESULTADOS	15
DISCUSIÓN.....	28
CONCLUSIONES	30
AGRADECIMIENTOS.....	31
LITERATURA CITADA.....	31
Capítulo. II	34
Estratigrafía y sedimentología del yacimiento fosilífero de La Piedad-Santa Ana, Michoacán y Guanajuato, México.....	34
RESUMEN	34
ABSTRACT	34
INTRODUCCIÓN	35
MATERIALES Y METODOS.....	36

RESULTADOS	40
DISCUSIÓN.....	46
CONCLUSIÓN.....	46
AGRADECIMIENTOS.....	46
LITERATURA CITADA.....	46
Capítulo III.	48
Reconstrucción paleoambiental del Pleistoceno tardío-Holoceno con análisis geoquímicos, en la zona norte del lago de Cuitzeo, Michoacán, México.....	48
RESUMEN	48
ABSTRACT	49
INTRODUCCION	50
MATERIALES Y METODOS.....	51
RESULTADOS	53
DISCUSION.....	64
CONCLUSIONES	68
AGRADECIMIENTOS.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	69
Capítulo IV.	71
Caballos del Pleistoceno y sus paleoambientes en dos yacimientos fosilíferos en el centro occidente de México.	71
RESUMEN	71
ABSTRACT	72
INTRODUCCIÓN	73
MATERIALES Y MÉTODOS.....	77
RESULTADOS	90
PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA	114

DISCUSIÓN.....	132
CONCLUSIONES	135
AGRADECIMIENTOS.....	136
LITERATURA CITADA.....	136
DISCUSION GENERAL	140
CONCLUSIONES GENERALES	147
LITERATURA CITADA.....	150

RESUMEN

En el presente trabajo se estudiaron las poblaciones de équidos de dos localidades de Michoacán y Guanajuato pertenecientes a la cuenca Lerma-Chapala; la localidad de La Cinta-Portalitos que forma parte de la cuenca de Cuitzeo y la localidad de La Piedad-Santa Ana en la zona conurbada de La Piedad en Michoacán y Santa Ana Pacueco en Pénjamo, Guanajuato. Se utilizaron las técnicas tradicionales en el estudio paleontológico y los análisis morfométricos complementados con análisis multivariantes para elaborar un listado de especies de caballos, específicamente para el género *Equus* en ambos sitios; así como reconstruir su paleoambiente con base en las evidencias estratigráficas, sedimentológicas, geoquímicas y paleobiológicas.

Las localidades en estudio se encuentran en el centro occidente de México en la porción central del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano, específicamente dentro del denominado Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (Hasenaka y Carmichael, 1985). Forman parte de la región hidrológica del Lerma-Chapala, ambas localizadas entre los 19°30' y 20°30' de latitud Norte y 100° 45' y 102° 08' de longitud Oeste, con una altura sobre el nivel del mar entre 1677 y 1836 metros.

La geología local de La Cinta-Portalitos en resumen son depósitos lacustres, fluvio-lacustres y volcánicos, mientras que en La Piedad-Santa Ana la geología local se resume en niveles aluviales y volcánicos. La cercanía geográfica podría hacer que se compartiera la misma fauna durante el Pleistoceno con historias tafonómicas diversas en ambos sitios debido a las diferencias en morfología y geología influidas principalmente por el tectonismo y vulcanismo.

En la parte N del paleolago de Cuitzeo (La Cinta-Portalitos) se observan seis facies confirmadas por la estratigrafía de detalle, sedimentología, DRX Y PED-FRX, la facies I ca. 28 Ka a 24 Ka AP, diatomita (energía baja) lago estable, la facies II ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP, asociada con vulcanismo (monogenético) de tipo andesítico (energía media) y perturbación ambiental dentro y fuera del lago y cierre del lago. La facies III ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP, arena-arcillosa (energía media) de fluctuación en los niveles del lago, erosión, salinidad media y condiciones disaeróbicas. La facies IV ca. 23 Ka a 21 Ka AP, fluvio-lacustres de microconglomerado (energía media), con clastos de ignimbríta y restos fósiles de vertebrados del Pleistoceno tardío y alta precipitación. La facies V ca. 21.5 Ka a 15.5 Ka AP, diatomita (energía baja) con altas concentraciones de Si indica estabilidad y aumento en la comunidad fitoplanctónica. Una de las trincheras pertenecía a la zona litoral del lago endorreico. La facies VI ca. 15 Ka hasta la actualidad, de limo (energía baja) con gran erosión, condiciones disaeróbicas, precipitación de óxidos de Fe y estabilización de suelo.

En La Cinta-Portalitos con base en los resultados de este estudio se podría concluir que la causa de muerte del gran número de vertebrados depositados en la facies

IV, podría ser una serie de episodios volcánicos que se presentaron en la facies II, los que generaron cambios en las condiciones ambientales en esta porción del lago, dentro y fuera del mismo, aunado a las condiciones de frío y sequía de la última era glacial.

La zona de La Piedad-Santa Ana era una planicie de inundación del río Lerma con intermitencia de energía que pasaba de la depositación de sedimentos finos a medianos. Los restos de La Piedad-Santa Ana sufrieron poco transporte por lo que se conservaron mejor los fósiles de las extremidades (metacarpos y metatarsos).

En ambas localidades se identifican las especies del género *Equus* y sus estimaciones de masa corporal, a partir de análisis morfométricos de elementos craneales (premolares y molares) y postcraneales (metápodos, astrágalos y falanges del tercer dedo), y el uso de técnicas de análisis estadísticos bivariantes y multivariantes. Se comparan los resultados con otros estudios realizados; corroborando la presencia de tres especies de équidos para la zona de estudio: *Equus mexicanus*, una especie robusta con una masa corporal estimada de 476.69 kg, a partir de una falange encontrada en La Piedad-Santa Ana. En El Cedral, se estimó para esta especie una masa corporal promedio de 512.52 kg (+SD 112.58) (n=36) usando el 1FIII5 y un promedio de 456.23 kg (+SD 56.21) (n=10) utilizando MCIII13. *Equus conversidens* una especie mediana y robusta de 344.7 kg de masa corporal promedio (+SD 123.06) (n=2) en La Cinta-Portalitos usando 1FIII5. Con el mismo hueso, las estimaciones fueron de 297.3 kg (+SD 72.03) (n=7) en La Piedad-Santa Ana y 308.17 kg (+SD 87.45) (n= 9) en El Cedral. Para esta misma especie, usando el MCIII13, se estimó una masa corporal de 229.49 kg (n=1) en La Piedad-Santa Ana y 282.52 kg (n= 1) en El Cedral.

Equus sp. nov. una especie pequeña y grácil de masa corporal promedio de 145.52kg (+SD 69.08) (n= 7) en La Cinta-Portalitos y 140.72 kg (+SD 31.28) (n=31) en El Cedral usando la 1FIII5; mientras que con MCIII13 se obtuvo una estimación de 126.03 kg (+SD 56.56) (n=3) en La Piedad-Santa Ana y 146.99 kg (+SD 36.65) (n=9) en El Cedral. También se logró inferir con base en la presencia de extremidades robustas, la presencia de grupos de caballos que habitaron zonas de suelos húmedos y climas más cálidos en áreas montañosas y cerradas; mientras que la presencia de grupos de talla pequeña con extremidades más gráciles, indicarían que habitaron en zonas de suelos duros, climas fríos y en ambientes abiertos.

Es probable que las localidades La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana, se caracterizaran por la presencia de grandes pastizales, con un clima más seco que el actual, con vegetación boscosa (quizá pino-encino) en las zonas altas de las cuencas, lo que concuerda con la presencia de restos fósiles en ambas localidades de *Bison* sp., *Camelops*, *Odocoileus* y *Mamachas columbi* que se sabe habitaron en bosques y pastizales.

SUMMARY

In this paper we studied populations of horses from two localities in Michoacán and Guanajuato belonging to the Lerma-Chapala basin, the locality of La Cinta-Portalitos as part of the basin Cuitzeo and the place of La Piedad-Santa Ana in the metropolitan area of La Piedad in Michoacán and Santa Ana Pacueco in Penjamo, Guanajuato. Using in this study traditional techniques of paleontology and morphometric analysis complemented by multivariate analysis to develop a list of species of horses, specifically the genus *Equus* at both sites, as well as rebuild their paleoenvironment based on stratigraphic evidence, sedimentological, geochemical and paleobiological.

The study locations are in west central Mexico in the central of the Trans-Mexican Volcanic Belt, specifically named in the Michoacán-Guanajuato volcanic field (Hasenaka and Carmichael, 1985). They are part of the hydrological region Lerma-Chapala, both located between 19 ° 30 'and 20 ° 30' north latitude and 100 ° 45 'and 102 ° 08' West longitude, with a height above sea level between 1677 and 1836 meters.

Local geology of La Cinta-Portalitos in short are lacustrine, fluvio-lacustrine and volcanic deposits, while in La Piedad-Santa Ana local geology is summarized in alluvial and volcanic levels. Geographical proximity may make them share the same fauna during the Pleistocene with different taphonomic histories at both sites due to differences in morphology and geology influenced mainly by tectonism and volcanism.

In the N part of the paleolake Cuitzeo (La Cinta-Portalitos), observed six facies confirmed by the detailed stratigraphy, sedimentology, PED-XRF and XRD, the facies I ca. 28 Ka to 24 Ka BP, diatomite (low energy) stable lake, facies II ca. 25.5 Ka to 22 Ka BP, associated with volcanism (monogenetic) of andesitic type (medium energy) and environmental disturbance in and out of the lake and close to the lake. Facies III ca. 25.5 Ka to 22 Ka BP, sand-clay (mean energy), fluctuation in lake levels, erosion, salinity and environment with disaerobic conditions. Facies IV ca. 23 Ka to 21 Ka BP, fluvial-lacustrine microconglomerate (medium energy), with clasts of ignimbrite and vertebrate fossils of late Pleistocene and high rainfall. Facies V ca. 21.5 Ka to 15.5 Ka AP, diatomite (low energy) with high concentrations of Si indicates stability and increase of the phytoplankton community. One of the trenches belonged to the littoral zone of Lake endorheic. Facies VI ca. 15 Ka to the present, silt (low energy) with high erosion disaerobic conditions, precipitation of Fe oxides and soil stabilization.

In the La Cinta-Portalitos based on the results of this study could conclude that the cause of death of many vertebrates deposited in the facies IV could be a series of volcanic events that occurred in facies II, which generated changes in environmental conditions in this portion of the lake, inside and outside of it, coupled with drought and cold conditions of the last ice age.

The area of La Piedad-Santa Ana was a flood plain of the River Lerma intermittently energy passing from the deposition of fine sediment to medium. The remains of La Piedad-Santa Ana suffered little transport that is best preserved fossils of the extremities (metacarpals and metatarsals).

For both localities I present the results of the analysis of two fossil deposits from late Pleistocene in the west-central Mexico. Identify species of the genus *Equus* and body mass estimates, based on morphometric analysis of cranial elements (premolars and molars) and postcranial (metacarpals, metatarsals, astragalus and phalanges of the third finger), and the use of statistical analysis techniques bivariate and multivariate. We compare the results with other studies, confirming the presence of three species of horses for the study area: *Equus mexicanus*, a big and robust species with a body mass estimate of 476.69 kg, from a phalanx found in La Piedad-Santa Ana. In El Cedral, this species was estimated have an average body mass of 512.52 kg (+ SD 112.58) (n = 36) using the 1FIII5 and an average of 456.23 kg (+ SD 56.21) (n = 10) using MCIII13. *Equus conversidens* a median and robust species with an average of body mass 344.7 kg (+ SD 123.06) (n = 2) in La Cinta-Portalitos using the 1FIII5. With the same bone, the estimates were 297.3 kg (+ SD 72.03) (n = 7) in La Piedad-Santa Ana and 308.17 kg (+ SD 87.45) (n = 9) in El Cedral. For that species, using the MCIII13, the estimated of body mass is 229.49 kg (n = 1) in La Piedad-Santa Ana and 282.52 kg (n = 1) in El Cedral.

Equus sp. nov. a small and graceful species of 145.52kg average body mass (+ SD 69.08) (n = 7) in La Cinta-Portalitos and 140.72 kg (+ - SD 31.28) (n = 31) in El Cedral using the 1FIII5, while with the MCIII13 the estimates were 126.03 kg (+ SD 56.56) (n = 3) in La Piedad-Santa Ana and 146.99 kg (+ SD 36.65) (n = 9) in El Cedral. It was also possible to infer based on the presence of robust extremities, the presence of groups of horses that lived in areas with moist soil and warmer climates in mountainous areas and closed environment, while the presence of clusters of small size with slender extremities, indicate that lived in areas with hard floors, cold climates and open environment.

It is likely that La Cinta-Portalitos locations and La Piedad-Santa Ana, were characterized by the presence of large grasslands, with a drier climate than today, with woody vegetation (perhaps pine-oak) in the upper watershed areas This is consistent with the presence of fossils in both sites of *Bison*, *Camelops*, *Odocoileus* and *Mammuthus Columbi* is known that they lived in forests and grasslands.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La región central de México es una de las provincias geológicas más interesantes por sus lagos y volcanes, los que han forjado una arquitectura única y atractiva en el mundo por haber sido el escenario histórico del desarrollo de grandes y pequeños vertebrados.

Esta región presenta una gran cantidad de cuencas lacustres, muchas de ellas situadas en fosas tectónicas. Dichas cuencas son realmente importantes debido a que han sido el medio sedimentario propicio para la fosilización y conservación de restos de vertebrados del Pleistoceno como caballos, camellos, bisontes y mamutes, que por sus características proporcionan información, sobre hábitos de vida, relaciones con otros organismos, centros de origen etc., información que ayuda en la reconstrucción de los paleoambientes de estas cuencas.

Para la zona norte de la Cuenca de Cuitzeo, Arellano y Azcón (1949), realizaron las primeras colectas de material fosilífero para el Estado de Michoacán en la localidad del Rancho la Goleta y la región de la paleocuenca de Charo. Entre el material fósil colectado se encuentran restos de Proboscídeos y molares de caballos los cuales fueron identificados como *Nannipus* cf. *Moctezuma* Leidy y *Plesippus* sp. sugiriendo una edad del Blancano, ratificado por Repenning (1962) con la fauna del Rancho La Goleta y un espécimen de ardilla gigante de tierra *Paenemarmota barbouri* a la que se le considera representativa de esta edad (Plioceno tardío) y por Carranza-Castañeda (1976, 1992), en el mismo Rancho La Goleta con una mastofauna compuesta por roedores, lagomorfos, artiodáctilos, perisodáctilos y proboscídeos, destacando la presencia de *Rhynchotherium falconeri* que permite su correlación con la formación Blancano del Llano Estacado de Texas además de la colecta de *Equus (Dolichohippus) simplicidens*, especie considerada índice estratigráfico del Blancano; mientras que en los estratos superiores se colectó material considerado estratigráficamente característico del Pleistoceno (*Mammuthus* y *Equus* cf. *Conversidens*).

Existen abundantes lentes de ceniza volcánica, algunos de los cuales fueron fechados por el método de K-Ar, habiéndose obtenido una edad de 3.6 Ma. Este resultado permite asignar la edad de estos sedimentos al Blancano temprano (Plioceno tardío), correlacionables con los sedimentos del área de Rancho Viejo y el Arroyo El Tanque de San Miguel de Allende, donde también se fecharon las cenizas volcánicas. López-García (2008) en la región Indaparapeo-Charo encontró un “Hiatus” volcánico del Mioceno al Plioceno y restos fósiles de los géneros *Rhynchotherium*, *Equus* y *Megalotypus* con una edad del Blancano, así como un nuevo registro de un pez fosilizado en ceniza volcánica.

Para la zona Norte de Cuitzeo son escasos los estudios paleontológicos entre ellos se encuentran los de García-Reyes (2004) quien reporta para La Cinta, Michoacán dos géneros *Equus* y *Mammuthus* y García-Zepeda (2006) quien para la misma localidad

reporta los siguientes taxa: *Bison* cf. *B. bison*, *Camelops hesternus*, *Platygonus* sp., *Urocyon* sp., *Lepus* sp., *Neotoma* cf. *N. tlapacoyana*, *Sigmodon hispidus* y *Microtus* sp. y *Cuvieronius* (género también reportado en Tzintzunzan, Michoacán por Robles-Camacho *et al.*, 2010). La edad propuesta a toda esta fauna fue Pleistoceno tardío (Rancholabreano). Posteriormente Pérez y Godínez (2007) realizaron un trabajo de pequeños vertebrados fósiles para la zona Norte de la cuenca de Cuitzeo en el cual reportan las especies de la Clase Mammalia; *Sigmodon hispidus*, *Neotoma albigula*, *Neotoma palatina*, *Microtus mexicanus*, *Microtus quasiater*, y *Spermophilus mexicanus*, de la clase Amphibia; cf. *Rana pipiens*, cf. *Ambystoma maculatum*, de la clase Reptilia: cf. *Elaphe guttata*.

Al hacer un análisis de los estudios paleontológicos de la cuenca de Cuitzeo se observa que representan dos edades, para la zona sur se encuentra la fauna más antigua Blancano (Plioceno tardío) y al norte La Cinta Rancholabreano (Pleistoceno tardío). De los taxa descubiertos, los más importantes y útiles desde un punto de vista estratigráfico son los équidos; debido a que proporcionan información sobre la edad de los sedimentos y sobre las condiciones ambientales. Sin embargo son pocos los estudios paleontológicos y estratigráficos sobre todo para la zona norte, debido posiblemente al escaso conocimiento que existe entre la población sobre la importancia y aplicación que tiene el material fósil, o tal vez a la falta de especialistas en este campo.

Israde-Alcántara y Garduño-Monroy (1999), escriben que en la subcuenca de Charo-Morelia se distinguen tres grandes unidades estratigráficas: a) el complejo volcánico de la Sierra de Mil Cumbres, Mioceno tardío, b). La secuencia Charo, Mioceno tardío-Plioceno y Pleistoceno y c) Los sistemas volcánicos y aluviales del Cuaternario tardío.

La subcuenca Charo-Morelia se ubica dentro del sistema semigraben de Cuitzeo, localizada al sur del lago y a una altitud de 1880 msnm. La mencionada subcuenca es el resultado de la actividad del sistema de fallas Morelia-Acambay (Suter *et al.*, 1992), originadas por el basculamiento de los bloques hacia el sur y por el levantamiento de los bordes de la subcuenca. Los depósitos lacustres y fluviolacustres de la secuencia Charo afloran por decenas de kilómetros, sobre el complejo volcánico Mil Cumbres con orientación E-O.

Por otro lado se tiene que a partir de datos gravimétricos, se puede observar que entre las subcuencas de Charo-Morelia y la de Cuitzeo existe un semigraben que presenta un relleno de rocas sedimentarias y epiclásticas de más de 1,500 m (Arredondo 1983 y Israde-Alcántara *et al.*, 1992).

Considerando los diferentes estudios que se han realizado para la región (Garduño-Monroy *et al.*, 1992, 1997; Garduño-Monroy y Negrin, 1992, Pasquaré *et al.*, 1991, Israde-Alcántara, 1992, 1993, 1995, 1999, Israde-Alcántara I y Garduño-Monroy

1999, Israde-Alcántara *et al.*, 2002, 2010a, 2010b), se sabe que el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) o Arco Volcánico Mexicano (AVM), según Garduño-Monroy *et al.* (1992) tiene su origen en el Oligoceno (38–23 Ma) a partir del vulcanismo de la Sierra Madre Occidental (SMO); caracterizado por coladas andesíticas y basálticas que afloran al Sur de Morelia (Pasquaré *et al.*, 1991). Posteriormente, se presentan sucesiones de andesitas observadas al Sur y Oeste de la ciudad de Morelia que corresponden al Mioceno inferior y al Mioceno medio (23–12 Ma). Es en esta fase en la que se origina el vaso lacustre de aguas tranquilas y alto contenido de nutrientes. En este mismo rango de tiempo, posterior a la fase de cuencas y montañas, se presenta una fase trascurrente, en donde se tiene un lago rico en detritus, que en conjunto con los terrígenos ocasionarán que el lago se convierta en una llanura aluvial.

En el Mioceno medio y superior (12–5 Ma) el vulcanismo continúa y atraviesa el centro de México a la altura del paralelo 19°, formando así un CVTM más acorde al que se observa actualmente. Las rocas fechadas con esta edad se presentan en el área de Morelia y Cuitzeo. Mientras, el lago se transforma en una llanura aluvial que posteriormente se expande en una dirección ENE–OSO y NO–SE (fase de transtensión) alcanzando una mayor profundidad y un cierto nivel de turbidez ocasionada por los arrastres de las corrientes que llegan al lago (Istrade-Alcántara *et al.*, 1992).

El Plioceno y Cuaternario (5–0 Ma) se caracterizan por la reducción de la actividad volcánica y la formación de conos de lava (volcanes monogenéticos). En este periodo se originó el complejo volcánico de los Azufres y el paleolago de Cuitzeo en Michoacán. Para el Plioceno medio el paleolago sufre una migración hacia el Norte y un basculamiento SE. Mientras, en la zona septentrional se produce una nueva depresión que dará origen al actual lago de Cuitzeo. Finalmente durante el Pleistoceno (1 Ma) el lago sufre una distensión N-S, fragmentándose en cuerpos de agua con condiciones particulares cada uno. En este último evento (Pleistoceno–Holoceno), se conforma la geometría actual del lago (Istrade-Alcántara *et al.*, 1992).

Los estudios geoquímicos son relativamente recientes. Nesbitt en 1996 realizó un estudio de la composición de los sedimentos en rocas sedimentarias en la cuenca de Guys Bight, Canadá. Quien encontró en su sitio de estudio que los feldespatos y cuarzo decrecen cuando aumenta el intemperismo. La remoción en masa de los elementos intensamente meteorizados desarrollado sobre la roca de origen, seguida de otra remoción provocada por los regímenes fluviales, enriquecen la arena en cuarzos en relación al feldespato (en comparación con la roca fuente). También encontró que la meteorización química es más importante que la abrasión en minerales arcillosos, que son los minerales dominantes de los lodos (componentes máficos, MgO y FeO de arenas finas y fangos), que se enriquecen con base en el promedio de arenas gruesas. El SiO₂ es menor en este tipo de lodos, por lo tanto se llega a la conclusión de que los principales minerales máficos de la roca son preferentemente concentrados en los lodos.

Haberle *et al.* (2000), investigaron las condiciones geoquímicas durante el Holoceno de un lago en el sur de Chile, en éste mencionan que las capas de cenizas volcánicas de tefra de la cuenca Laguna Miranda, pudieron haber causado daños a la vegetación a través de procesos mecánicos y químicos tales como defoliación y posterior ausencia prolongada de las hojas debido a gases nocivos y lluvias ácidas y por lo tanto, modificaron las condiciones edáficas con la adición de nutrientes minerales y de arena, así como de partículas de tamaño limoso después de la deposición de tefra, alterando el equilibrio de nutrientes dentro de la regeneración del bosque.

Young (2001) compara los registros geoquímicos de depósitos del Pleistoceno y del Paleoproterozoico, y menciona que las Argilitas ricas en Hierro del Paleoproterozoico pueden ser formadas como resultado de la reacción de agua con altas concentraciones de Fe y bajos contenidos de Oxígeno en la atmósfera. La ausencia de Fe en varvas de Pleistoceno podría deberse a la baja cantidad de Fe en agua bien oxigenadas. El agotamiento severo de Ca en Argilitas Paleoproterozoicas podría ser explicado como resultado de un intemperismo agresivo, además de un enriquecimiento de CO₂ en la atmósfera y el de un ambiente glacial frío.

Franciski-Bilinski (2003) estudió un sistema semi-cerrado en Suecia y menciona que la cantidad de SiO₂ (59-72%) apunta a que la meteorización de la roca ácida y las rocas metamórficas (gneis) formaron estos sedimentos, corroborado por la composición mineralógica de los sedimentos la cual refleja los efectos acumulativos de la composición de las rocas madres, la erosión química, el intemperismo, erosión hidráulica, y a la abrasión.

Roy (2007) investigó las características mineralógicas y térmicas de sedimentos en una región semiárida del O de la India, sitio de varias evaporitas y minerales detríticos. Menciona que en los ambientes hipersalinos la precipitación de carbonato de calcio marca la primera etapa de incremento de la salinidad (aridez) y continúa hasta la precipitación de yeso (que normalmente se produce en una fase mucho más alta de salinidad). En lugares con condiciones climáticas semiáridas e hipersalinos en un ambiente alcalino la reducción de Fe se mantiene estable (debido al Eh o potencial redox que es negativo) y por lo tanto está disponible para su incorporación en neo-formaciones autigénicas por ejemplo, en proto-dolomitas la presencia de carbono orgánico, Fe, proto-dolomita y la ausencia de yeso en sedimentos caracterizan un medio ambiente reductor. El mismo autor en (2008), analizó la litoestratigrafía, mineralogía y concentración de elementos mayores así como trazas en una trinchera de un paleoago de Pachepadra en el NO de India. Los resultados determinan que las proporciones de los elementos solubles hidrolizados (Na/Al y Na/Ti) indica la meteorización química de las fracciones detríticas. Las proporciones de Ca/Mg y Sr/Ba sugieren variación de carbonato de evaporitas clásticas; mientras que la distribución de Si/Al y Zr/Al marcan flujos de terrígenos y entradas aéreas en un ambiente árido.

La meteorización química dominante en climas húmedos puede tomar Na y Ca de clastos, mientras que Al y Ti (hidrolizados) se enriquecen en los minerales de arcilla y en silicatos, por lo tanto las proporciones de los hidrolizados de álcalis (Na/Al, Na/Ti) y los sedimentos de carbonatos libres de Ca (Ca/Ti y Ca/Al), indican la meteorización química de clásticos y muestran un valor más bajo durante las fases húmedas, mientras que en fases de sequía estos valores se incrementan.

Roy (2009) presenta la estratigrafía, mineralogía, la geoquímica multi-elemental y el contenido de carbono orgánico e inorgánico, en un perfil sedimentario de 255 cm de profundidad del lago de Tecocomulco en el NE en la cuenca de México, mencionando que la abundancia mineralogía, las relaciones entre elementos, el índice químico de alteración (CIA), la abundancia de CO₃ y Corg divide el perfil en zonas geoquímicas y permite comprender mejor las erupciones volcánicas y las fases de los diferentes eventos paleohidrológicos durante los últimos 31 Ka AP.

En Michoacán este sería el primer trabajo sobre zonas geoquímicas en sedimentos lacustres con base en la concentración de elementos químicos.

Los caballos son originarios y tienen su principal diversificación en Norteamérica, siendo el género *Equus* el representante más moderno que caracteriza la fauna del Pleistoceno. Se dispersaron hacia Sudamérica y Asia durante la época Plioceno-Pleistoceno y a pesar de su extinción en México hace aproximadamente unos 10,000 mil años, sus restos fósiles están presentes en sedimentos de la región central del país (MacFadden, 2005).

En varias localidades de la región central de México se han encontrado restos fósiles de caballos, los sitios más conocidos son El Cedazo, en el estado de Aguascalientes y El Cedral, en San Luis Potosí.

En el presente trabajo se estudiaron las poblaciones de équidos de dos localidades de Michoacán y Guanajuato pertenecientes a la cuenca Lerma-Chapala; la localidad de La Cinta-Portalitos que forma parte de la cuenca de Cuitzeo y la localidad de La Piedad-Santa Ana en la zona conurbada de La Piedad en Michoacán y Santa Ana Pacueco en Pénjamo, Guanajuato. Se utilizaron las técnicas tradicionales en el estudio paleontológico y los análisis morfométricos complementados con análisis multivariantes para elaborar un listado de especies de caballos, específicamente para el género *Equus* en ambos sitios; así como reconstruir su paleoambiente con base en las evidencias estratigráficas, sedimentológicas, geoquímicas y paleobiológicas.

La hipótesis es que en la zona de estudio coexistieron al menos tres especies de caballos los que de acuerdo con las características de sus extremidades, pudieron habitar ambientes diferentes.

OBJETIVOS

Objetivo general: Estudiar las especies de caballos del Pleistoceno y sus paleoambientes, en dos cuencas de Michoacán; con la finalidad de recabar nuevos datos sobre la evolución de las poblaciones de équidos en el Centro de México.

Objetivos específicos

1. Realizar la estratigrafía, la sedimentología, la geoquímica y la correlación estratigráfica de los yacimientos fosilíferos de dos cuencas de Michoacán (La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana).
2. Elaborar un listado de caballos fósiles que habitaron las dos cuencas en estudio.
3. Hacer la reconstrucción de los paleoambientes en base a la estratigrafía sedimentología, geoquímica y a partir de algunos caracteres anatómicos de las extremidades del registro fósil de los caballos encontrados en dichas cuencas.

Capítulo. I

Estratigrafía y sedimentología del yacimiento fosilífero de La Cinta-Portalitos en la zona norte del lago de Cuitzeo, Michoacán, México.

Alejandro H. Marín-Leyva¹, María Luisa García-Zepeda¹, J. Ramón López-García¹, Víctor H. Garduño-Monroy², Javier Ponce-Saavedra³, María Teresa Alberdi⁴, Joaquín Arroyo-Cabrales⁵

¹Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo Laboratorio de Paleontología. Edif. R 2°. Piso. Ciudad Universitaria, C. P.58060, Morelia, Michoacán. vajozero@hotmail.com

²Facultad de Biología, UMSNH, Laboratorio de Entomología “Biol. Sócrates Cisneros Paz”. Edif. B4 2°. Piso. Ciudad Universitaria. C.P. 58060, Morelia, Michoacán.javierpon@gmail.com

³Departamento de Geología, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, UMSNH. Edif. U, Ciudad Universitaria, C. P. 58060, Morelia, Michoacán. vgmonroy@umich.mx

⁴Departamento de Paleobiología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España. malberdi@mncn.csic.es

⁵Laboratorio de Arqueozoología “M. en C. Ticul Álvarez Solórzano”, INAH, México D.F. arromatu@hotmail.com

RESUMEN

En la zona norte del actual lago de Cuitzeo ubicado en el centro de México, mediante la geología local, geomorfología, el estudio estratigráfico de detalle y sedimentológico de ocho trincheras, del yacimiento fosilífero La Cinta-Portalitos, se documentan seis facies lacustres, fluvio-lacustres y eventos volcánicos. Las facies I ca. 28 Ka y 24 Ka AP, de lago estable con diatomita y energía, las facies II ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP, vulcanismo (monogenético), de energía media y causante del cierre del lago (endorreico), las facies III ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP, arena-arcillosa, energía media de fluctuación en los niveles del lago, las facies IV ca. 23 Ka a 21 Ka AP, fluvio-lacustres de microconglomerado, energía media, con clastos de ignimbríta y restos fósiles de vertebrados del Pleistoceno tardío alta humedad y desborde del lago (exorreico), las facies V ca. 21.5 Ka a 15.5 Ka AP, lago endorreico con diatomita, energía baja, las facies VI ca. 15 Ka hasta la actualidad, de limo, energía baja, actividad humana. El lago paso de ser una cuenca exorreica a una endorreica suscitándose este fenómeno en el final de las facies I y el inicio de las facies II, así mismo se identifico un periodo posterior de cuenca exorreica (desborde del lago) durante el final de las facies III y el inicio de las facies IV que pudo haber sido un evento único o de largo plazo. Debido a que el horizonte fosilífero se encontró en facies fluvio-lacustres por encima de las facies volcánicas y de inestabilidad, se podría inferir que la posible causa de muerte y depósito de los restos orgánicos de las facies IV estaría ligada a la inestabilidad volcánica y tectónica de la cuenca presentes en las facies II y III.

Palabras Claves: Cuenca de Cuitzeo, Estratigrafía, Sedimentología, La Cinta-Portalitos, Facies.

ABSTRACT

This work was made in the northern of Lake Cuitzeo located in central Mexico. Using local geology, geomorphology, stratigraphic and sedimentological studies in eight columns from the fossil bonebed of La Cinta-Portalitos, we identified six facies: lacustrine, fluvial-lacustrine facies, and volcanic events. The facies I *ca.* 28 Ka to 24 Ka BP, diatomite, low energy and stable lake; facies II *ca.* 25.5 Ka to 22 Ka BP, Volcanism (monogenetic), medium energy and causing the closure of the lake (endorheic); facies III *ca.* 25.5 Ka to 22 Ka BP, sand-clay, medium energy of fluctuating lake levels; the facies IV *ca.* 23 Ka to 21 Ka BP, fluvial-lacustrine micro-conglomerate, medium energy, with clasts of ignimbrite and vertebrate fossils of late Pleistocene high humidity and flooding of the lake (exorheic); facies V *ca.* 21.5 and 15.5 Ka BP, diatomite, low energy, endorheic lake; facies VI *ca.* 15 Ka to the present, silt, low energy, human activity. The time that the lake basin changed from exorheic to endorheic was identify at the end of facies I and the start of facies II, a later period of exorheic basin during the final of the facies III and the start of facies IV is also documented and this phenomenon may have been a single or long term event. Based on the results of this study, and because the fossiliferous horizon was found in the fluvial-lacustrine facies above the volcanic and instability facies, the possible cause of death and deposition of the organic remains of facies IV could be possibly related to volcanic and tectonic instability of the basin facies present in the II and III.

Keywords: Cuitzeo Basin, Stratigraphy, sedimentology, La Cinta-Portalitos, Facies.

INTRODUCCIÓN

La estratigrafía se define según Dabrio y Hernando (2003) como el estudio e interpretación de la composición, naturaleza, génesis, distribución temporal y espacial de los depósitos sedimentarios y demás rocas asociadas; así como de sucesos y fenómenos relacionados con ellas, mientras que la sedimentología según Nichols (2009), es el estudio de los procesos de formación, transporte y deposición del material que se acumula como sedimento en ambientes continentales y marinos y eventualmente forma rocas sedimentarias.

La estratigrafía y sedimentología se basan en conceptos geológicos, como el principio de la superposición, el de horizontalidad original; de continuidad lateral; de actualismo; de uniformismo; de identidad paleontológica; de fragmentos incluidos a sí como los, fenómenos de la persistencia de facies, de la discontinuidad del registro estratigráfico, de la interdependencia de sucesos (Dabrio y Hernando, 2003 y Nichols, 2009).

Los estratos se forman y acumulan en zonas de diferentes tamaños denominadas cuencas sedimentarias, sus materiales de relleno registran la evolución paleogeográfica de la misma. Los rellenos de estas zonas de deposición no son solo sedimentos, también existen etapas de omisión que son momentos de no deposición que pueden registrar erosión, que están relacionados con actividad tectónica o ausencia de esta misma (Arche, 1992).

En la descripción de las rocas sedimentarias o ambientes de depósito, se usa frecuentemente el término de “facies” que según Selley (1970) y Reading y Levell (1996) es un cuerpo rocoso que se distinguen de otro por su geometría, litología, estructura sedimentaria, distribución de paleocorrientes y fósiles asociados que reflejan las condiciones en las cuales se formó.

La determinación de las facies está ligado con la correlación estratigráfica la cual según la *Guía Estratigráfica Internacional* se divide en tres tipos: *correlación litológica*, que demuestra la correspondencia de caracteres litológicos y de posición litoestratigráfica, *correlación por contenido fosilífero*, que demuestra su correspondencia por sus fósiles y posición bioestratigráfica y la *correlación cronológica*, que es la correspondencia de edad y posición cronoestratigráfica (Dabrio y Hernando, 2003).

Los estudios estratigráficos realizados en la cuenca de Cuitzeo son en su mayoría para la zona sur del actual lago de Cuitzeo (Charo) y solo algunos se presentan para la zona norte (La Cinta).

Suter, *et al.*, 1992 mencionan que la subcuenca Charo-Morelia se ubica dentro del sistema semigraben de Cuitzeo, y que se origina por el basculamiento de los bloques hacia el sur y por el levantamiento de los bordes de la subcuenca y que los depósitos

lacustres y fluviolacustres de la secuencia Charo afloran por decenas de kilómetros, sobre el complejo volcánico Mil Cumbres con orientación E-O.

Arredondo (1983) e Israde-Alcántara, *et al.* (1992) encuentran a partir de datos gravimétricos, que entre las subcuencas de Charo-Morelia y la de Cuitzeo existe un semigraben que presenta un relleno de rocas sedimentarias y epiclásticas de más de 1,500 m.

Onida *et al.* (1995), presenta los resultados de estudios estratigráficos, geológicos y micropaleontológicos sobre la cuenca de Charo, lo que permite realizar la reconstrucción estratigráfica, sedimentológica y vulcanotectónica, así como la evolución climática de esta cuenca, mencionando que la Unidad Charo se ubica en la parte superior, y los sedimentos de esta paleocuenca, presentan una edad Mioceno superior-Pleistoceno, los cuales se caracterizan por una alternancia de litofácies de ambientes lacustres (arcilla, limo y diatomita) y litofácies de ambientes fluviales (arena y grava) con espesores de hasta 80 m en la parte central, que se reducen gradualmente hacia los márgenes, colmatados por un depósito de caída predominantemente ácido, atribuible a la actividad Plio-Cuaternaria del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano.

Istrade-Alcántara y Garduño-Monroy, (1999), escriben que en la sub cuenca de Charo-Morelia se distinguen tres grandes unidades estratigráficas: a). el complejo volcánico de la Sierra de Mil Cumbres, Mioceno tardío, b). La secuencia Charo, Mioceno tardío-Plioceno y Pleistoceno y c). Los sistemas volcánicos y aluviales del Cuaternario tardío. Estos mismo autores siguieron una edad de formación del lago de Cuitzeo del Mioceno-Superior (8 ± 2 Ma), basados en las lavas andesíticas que subyacen en forma discordante a los depósitos lacustres mencionando también que el ambiente sedimentario va desde los costeros de aguas bajas a profundas (Istrade-Alcántara, 1999).

Istrade-Alcántara *et al.* (2002), realiza una reconstrucción del paleoambiente durante el Cuaternario tardío en el lago de Cuitzeo, con las diatomeas, dataciones y estratigrafía de un núcleo de 27m en el centro del mismo, donde estimas una edad de *ca.* 120 Ka AP, donde en el registro observan tres depósitos volcánicos *in situ* de una edad aproximada de *ca.* 120 Ka, 35 Ka y 25 Ka AP, además mencionan que la litología característica del núcleo está conformada por una serie de sedimentos color gris a gris verdoso de textura suave en los que predominan arcillas plásticas, seguidas por limos y escasos limos arenosos que se intercalan con diatomitas y cenizas volcánicas. También distinguen tres fases lacustres, dividida en zona I (A y B) *ca.* 100 Ka a 50 Ka AP, zona II (A con dos discontinuidades, B con una discontinuidad y C) *ca.* 50 Ka a 17 Ka AP y la zona III *ca.* 17 Ka AP a la actualidad.

García-Zepeda (2006), realizó un estudio paleontológico y estratigráfico en la zona Norte de la Cuenca de Cuitzeo “La Cinta”, donde encuentra diferentes taxa de origen

Norteamericano de una edad Rancholabreana y 4 facies lacustres y fluvio-lacustres que se alternan, de la base a la cima,

En un estudio reciente de Israde-Alcántara *et al.* (2010) sobre la evolución paleolimnológica del lago de Cuitzeo, durante el Pleistoceno–Holoceno con base en un núcleo de 27 m, perforado en el depocentro del lago y en cuatro trincheras en las zonas proximales recientemente expuestas por el retroceso del lago, encontraron que las arcillas, limos y lodos diatomáceos fueron el material dominante en el núcleo, mientras que en las trincheras dominan facies fluviales intercaladas con depósitos volcanoclásticos re-trabajados, depósitos de cenizas y tobas de caída aérea depositados en agua y en paleosuelos, además estos autores definen VI zonas paleoambientales, zona I ca. 130 Ka a 90 Ka AP, zona II ca. 98 Ka 93.5 Ka AP, zona III ca. 93 Ka 53 Ka AP, zona IV ca. 53 Ka a 35 Ka AP. Zona V ca. 35 Ka a 18 Ka AP y zona VI ca. 17.5 Ka al presente.

Con estos trabajos se puede observar que el lago de Cuitzeo está formado en una depresión asimétrica, ya que hacia el occidente está conformada por un semigraben con bloques basculados hacia el sur asociado con fallas subhorizontales. El oriente del lago se aloja en un graben simétrico. Tanto el graben como el semigraben conforman una cuenca sedimentaria con posibles columnas de más de 250 m de profundidad, según la información geofísica (Israde-Alcántara *et al.*, 1992). Las facies fluviales y lacustres del lago de Cuitzeo más antiguas se encuentran en la zona sur en Charo (Israde-Alcántara 1995, García-López, 2008) y en la zona norte (La Cinta-Portalitos), afloran sedimentos más recientes Pleistoceno-Holoceno (García-Zepeda, 2006).

En el presente trabajo mediante la estratigrafía de detalle, análisis granulométricos y modelos digitales de terreno, se realiza una interpretación estratigráfica y sedimentológica del yacimiento fosilífero de La Cinta-Portalitos, ubicado en la zona norte del actual lago de Cuitzeo, con la finalidad de conocer la energía de depositación, el tipo de proceso sedimentario y la correlación estratigráfica de 8 trincheras en la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La Cinta-Portalitos, Michoacán y Guanajuato se ubica dentro de la cuenca de Cuitzeo, entre las coordenadas 20° 05' 09" de Latitud Norte y 101° 09' 31" de Longitud Oeste, en el borde Norte del lago de Cuitzeo, lugar donde se observa un contraste morfológico, al NE coladas de lava y centros volcánicos, al Sur la depresión lacustre (García-Reyes, 2004) (Fig. 1). La cuenca de lago de Cuitzeo pertenece a la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, se consideraba originalmente endorreica pero fue modificada por la construcción de un canal que comunica el lago de Cuitzeo con la laguna

de Yuriria (Mendivil *et al.*, 1980), que le ha llevado a formar parte de una cuenca exorreica.

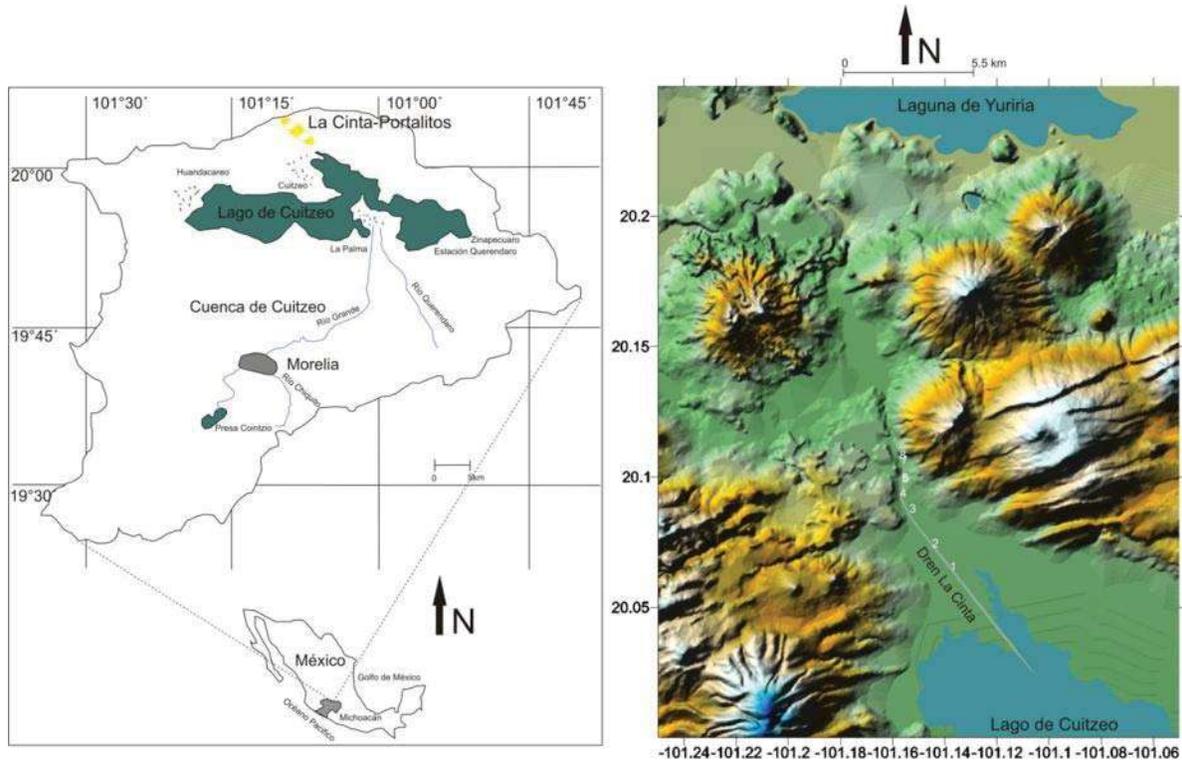


Figura 1. Izquierda a derecha La Cinta-Portalitos en relación a la cuenca de Cuitzeo, ubicación de las trincheras estudiadas en la zona norte del lago de Cuitzeo.

El clima predominante en la cuenca de Cuitzeo corresponde al templado con lluvias en verano; sin embargo la distribución espacial de la precipitación y la temperatura indica que la cuenca se ubica en la zona transicional entre los climas templados secos y climas templados húmedos, esta variación corresponde a un incremento en la amplitud de relieve de la cuenca. La precipitación media anual es de 841.9 mm, pero es muy variable. La temperatura media anual es de 17.3 °C (Mendoza, 2002). La presencia de montañas y vegetación en las partes altas de la cuenca implica una mayor precipitación con respecto a las partes bajas, donde las lluvias son más esporádicas (Velázquez, 2003).

La fauna característica de la región se conforma por, Ardilla (*Sciurus aureogaster*), Coyote (*Canis latrans*), Conejo (*Sylvilagus floridanus*) y Mapache (*Procyon lotor*). En las partes bajas como lo son las áreas de cultivo de Charo y Álvaro Obregón se encuentran: Tlacuache (*Didelphys virginiana*), Tejón (*Nasua narica*), Armadillo (*Dasypus novemcinctus*) y Zorrillo (*Mephitis macroura*), de los repites algunas lagartijas y serpientes (Camacho y López, 1995) mientras que la vegetación es de tipo matorral subtropical es la comunidad característica del área de estudio. Se desarrolla en suelos someros y pedregosos. Aparece en lomeríos con pendiente pronunciada. La mayor parte de esta comunidad se localiza en

las laderas de los cerros que no están convertidas en parcelas agrícolas, se caracteriza por ser una vegetación secundaria que se manifiesta por lo general en forma de matorral o bosquecillo, en la cual el papel primordial le corresponde al cazahuate (*Ipomoea murucoides*), al huizache (*Acacia farnesiana*), al nopal (*Opuntia* sp.), al tepame (*Acacia pennatula*), al palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*) y al palo prieto (*Lysiloma microphylla*) (*Acacia schaffneri*, *Bursera fagaroides*, *B. cuneata*. e Arbustos como *Croton* sp., *Florestiera* sp., *Irecine* sp., *Salviasp.*, *Tridax* sp. (Rzedowski y Calderón 1987, Guevara 1995 en Velázquez, 2003).

Geomorfología

Se elaboró un Modelo Digital de elevaciones partiendo de la carta topográfica F14C83 de INEGI a escala 1:50,000 1999. Se utilizó el software Surfer 9 de Golden Software Inc., para hacer un modelo digital de elevaciones.

Geología local

Para la determinación de las unidades geológicas, esta se realizó con la literatura pertinente (Garduño-Monroy *et al.*, 1992 y Mendoza, 2002) la carta Geológico-Minera: Morelia, E14-1, Michoacán, Edo. de México, Guanajuato, Esc. 1:250,000 publicada en 1998 y Querétaro, F14-10 Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Estado de México, Esc. 1:250,000 publicada 1999 y con la ayuda del geólogo Dr. Víctor Hugo Garduño Monroy del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Estratigrafía

Se utilizó una máquina retroexcavadora para excavar ocho trincheras en La Cinta-Portalitos. También se utilizaron picos y palas para limpiar las trincheras y hacer excavaciones de menor profundidad (Fig. 1).

Se describieron las columnas estratigráficas y se ubicaron los estratos con restos fósiles, diferenciando cada estrato con base en los cambios de litología, coloración, textura, estructura, tipo de contacto, granulometría, espesor, orientación de clastos y diámetros de clastos (López-García, 2008).

Con una pala pequeña y una espátula se tomaron muestras de sedimento de aproximadamente 1 kg en cada estrato distinguible, colocándolos en recipientes de plástico transparente con una etiqueta en la que se anotaron los siguientes datos: Localidad, número de muestra de acuerdo al estrato, fecha y colector.

Sedimentología

El estudio granulométrico se hizo para tres trincheras que se consideraron como representativas de la zona. Las muestras de sedimento de cada uno de los estratos

tomadas en campo se prepararon y procesaron de acuerdo con la técnica usada por López-García (2008) y consiste en:

1. Para seleccionar la muestra se realizó el cuarteo, procedimiento que consiste en depositar aproximadamente un 1 kg de la muestra sobre una hoja de papel liso y brillante y formar un cono; se aplastó el cono en su parte superior y se forma un disco, el cual se dividió en cuartos con ayuda de una espátula; se desecharon dos de los cuartos opuestos y se conservaron los restantes. Se repitió el procedimiento con el material hasta obtener 600g de muestra.
2. Se verificó con un microscopio estereoscópico, que los granos de la muestra se encontraran completamente disgregados.
3. Una vez seleccionado, cuarteado y disgregado, el material fue secado en el horno o en una estufa Imperial Varnstead Lab-Line modelo 3471 a una temperatura promedio de 90°C hasta eliminar el exceso de humedad, para posteriormente pesarla y obtener la cantidad de 300g, suficiente para obtener la información necesaria para el presente trabajo.
4. Con el material a temperatura ambiente, se rectificó el peso de 300g y para evitar la presencia de algún tipo de agregados en la muestra. Posteriormente se colocaron los sedimentos en suspensión hasta que los materiales se desintegraron por completo, lo que duró de uno a siete días.
5. Una vez disgregado completamente el material se lavó, utilizando un tamiz No. 200 (0.074 mm) en el que se colocaron los sedimentos y se les agregó agua completamente limpia, con la finalidad de que los sedimentos menores a este diámetro (arcillas), pasaran a través de este tamiz y en él quedarán contenidas las partículas de diámetro mayor, las que en este tipo de análisis son consideradas como arenas.
6. Dado que los sedimentos obtenidos presentaron un exceso de agua, se colocaron en un recipiente y se dejaron reposar para que se sedimentaran, después se retiró el exceso de agua y se procedió al secado de la muestra en una estufa a una temperatura promedio de 90°C hasta eliminar el exceso de humedad.
7. Una vez que la muestra se secó, se procedió al tamizado de la manera siguiente:
 - a. Se pesó la muestra en una Balanza electrónica de precisión 0.01g, Radwag modelo PS1200/C2, y se registró el peso en el formato correspondiente. Se utilizaron 300g como "Peso Inicial" de muestra.

- b. Se depositó la muestra sobre la columna de tamices (ordenados de mayor a menor graduación) y se agitaron por 10 minutos, con ayuda de un agitador mecánico RX 29-10, W.S.Tyler.
- c. Se retiraron los tamices del agitador mecánico y la cantidad de muestra retenida en cada tamiz se depositó cuidadosamente sobre una hoja limpia de papel liso y suave (lo que ayuda a reducir la pérdida de material por adhesión producto de electricidad estática).
- d. Se limpió la malla de cada tamiz invirtiéndolo rápidamente y golpeándolo suavemente sobre cada hoja de papel. El tamiz se limpió además con un cepillo o brocha mientras está invertido sobre el papel.
- e. Se pesó por separado la fracción retenida en cada uno de los tamices y se anotó en el formato para posteriormente determinar el peso, porcentaje y pérdida del material, lo que se realizó mediante la utilización de una Hoja de cálculo (Microsoft Office Excel 2007).
- f. Se procedió a la determinación de los parámetros granulométricos y se graficó la curva de frecuencia acumulada de la distribución de tamaños.

RESULTADOS

Geomorfología

Dentro de la zona de estudio la geomorfología se agrupó en las zonas A, B, C y D, que se describen a continuación.

Zona A: Se localiza en el sector NE del área de estudio con elevaciones que van de 1840 a 2300 msnm, está ocupado por edificios volcánicos de tipo semiescudo los cuales están afectados por un fallamiento de tipo normal que le confiere un drenaje en parte paralelo de dirección NE-SO y además con resto de drenaje radial en los edificios del cerro Blanco, que va de una altura de 1750 a 2350 msnm sobre este cerro cruzan fallas de tipo normal así como algunas fracturas, presentando un rumbo de flujo de las rocas ígneas hacia el norte. Esta zona constituye el flanco norte de graben o depresión de Cuitzeo.

Zona B: Constituida por vulcanismo monogenético y volcanes tipo semiescudo, volcanes de lava ceniza y MAARS. En esta zona, el drenaje es de tipo radial obedeciendo a la geometría de los edificios volcánicos, perdiendo su geometría en las zonas de coladas de lava (Malpaís) del cerro Poruyo. Se observan los picos más altos del cerro Santiago (1810-2250 msnm) y cerro Capulín (1850-2350 msnm), ubicados hacia el NE. El Cerro Prieto ubicado al NO con sus picos más altos constituidos de brechas volcánicas. El drenaje radial siempre se encuentra cortado por el paralelo de las fallas NE-SW.

Zona C: Localizada al SO de La Cinta tiene una característica más penetrativa que en las anteriores zonas, es decir afecta a rocas volcánicas más antiguas, se observa drenaje de tipo radial profundo en el cerro Manuna el cual en su flanco sur es cortado por una falla E-O. En el sector del río Cuanamuco el drenaje es alterado por el vulcanismo monogenético. Al norte de esta zona el drenaje es dendrítico y paralelo pero siempre más penetrativo que en las zonas anteriores. En el cerro el Melón ubicado al SO (1810-2250 msnm) se observan en la parte más alta brechas de tipo volcánico.

Zona D: En la porción de la cuenca, el patrón de drenaje se encuentra fuertemente alterado por la actividad agrícola de riego, la cual se ubica principalmente en la porción sur del lago.

Antes de la construcción del dren o canal La Cinta, la cuenca de Cuitzeo se consideraba una cuenca endorreica pero utilizando un modelo de curvas de nivel del terreno se llegó a la conclusión, que desde el punto de vista geomorfológico la localidad estudiada La Cinta-Portalitos (La Cinta; Michoacán y Portalitos; Guanajuato) correspondía a un cauce fluvial que corría de sur a norte, presentando una salida natural del antiguo lago de Cuitzeo durante el Plioceno-Pleistoceno, este curso de agua fluvial fue interrumpido por una colada de lava en la parte norte (Portalitos) (Fig. 2).

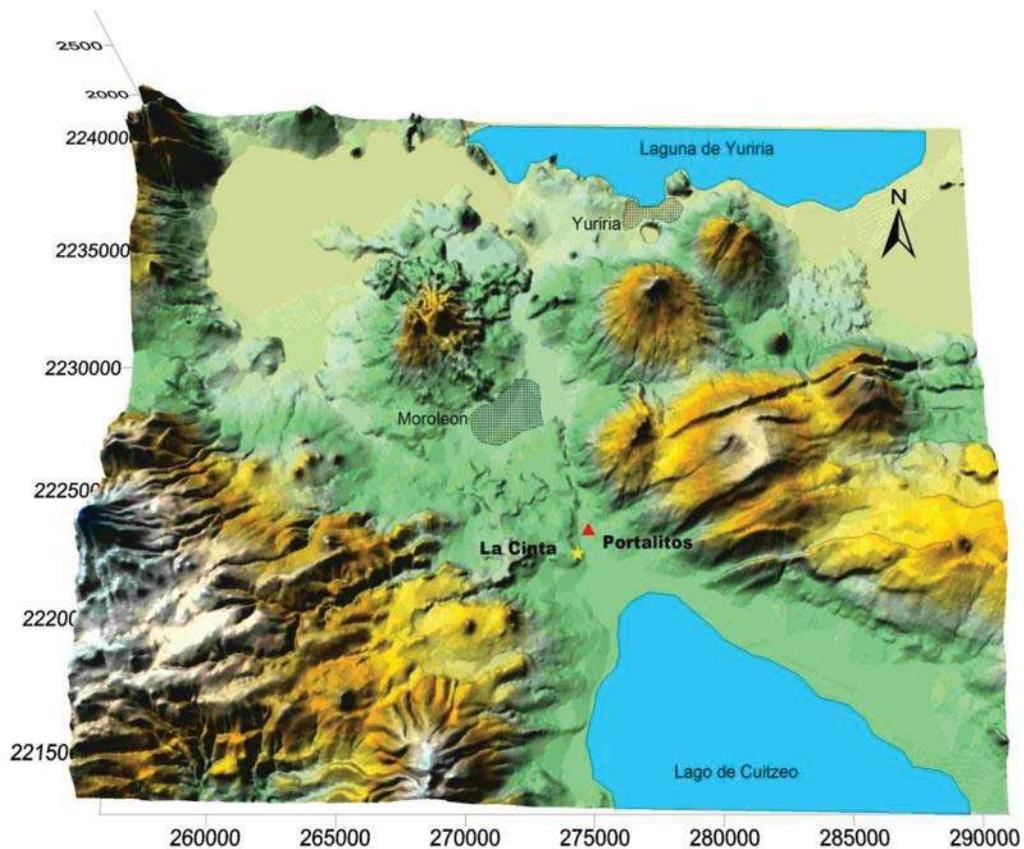


Figura. 2 Geomorfología de la zona Norte del lago Cuitzeo.

Geología local

La Geología de la región de la Cinta-Portalitos puede ser resumida en las siguientes unidades:

1. Unidad volcánica de la Sierra (Huandacareo o Cuitzeo): En ella afloran unidades andesíticas y de tipo ignimbrítico, ambas cubiertas por productos de volcanes semiescudo andesíticos o basálticos. Toda esta unidad se encuentra fallada por estructuras de tipo normal NE-SW. Ya en La Cinta se observa un vulcanismo monogenético cuyas lavas y cenizas convirtieron a la cuenca de Cuitzeo de una Cuenca exorreica a una endorreica durante el Pleistoceno.

2. Unidad Sierra de Santa Ana Maya: Se observan grandes edificios de andesitas severamente fallados en un corredor NE-SW. Se compone de una serie de centros volcánicos de tipo andesíticos severamente fallados en un corredor NE-SW que están formados de alternancia de lavas, brechas, escoria y cenizas. Cerca de los aparatos los espesores de piroclastos son más importantes. Cuando los conos son visibles se observa un drenaje radial, toda esta unidad está basculada hacia el sur y se encuentra formando parte del basamento local del lago de Cuitzeo.

3. Unidad Yuríria: Hacia el Norte y antes del lago de Yuríria, se establecieron tres grandes edificios andesíticos tipo semiescudo, alguna alimentación de ellos generó a aparatos hidromagmáticos que se desarrollaron más hacia el Valle de Santiago, seguramente en la interacción agua magma.

4. Unidad La Cinta-Portalitos: Contemporáneamente a este vulcanismo se llevó a cabo el depósito de las secuencias lacustres y fluviales del lago de Cuitzeo. En las columnas levantadas en La Cinta-Portalitos destacan los productos del vulcanismo monogenético que provinieron de la Sierra (Huandacareo o Cuitzeo).

La geología de La Cinta-Portalitos se resume en una alternancia de actividad volcánica y depósitos lacustres y fluvio-lacustres. Los primeros responden a un vulcanismo de tipo monogenético compuesto de productos piroclásticos (arenas volcánicas) que alternan con los sedimentos lacustres. Es un derrame de esta secuencia, el que hace cambiar en el Pleistoceno tardío al lago de Cuitzeo de una cuenca exorreica a una endorreica.

El sitio de estudio está cubierto por suelos y/o depósitos de detritos y colusiones con restos de cerámica (Fig. 3).

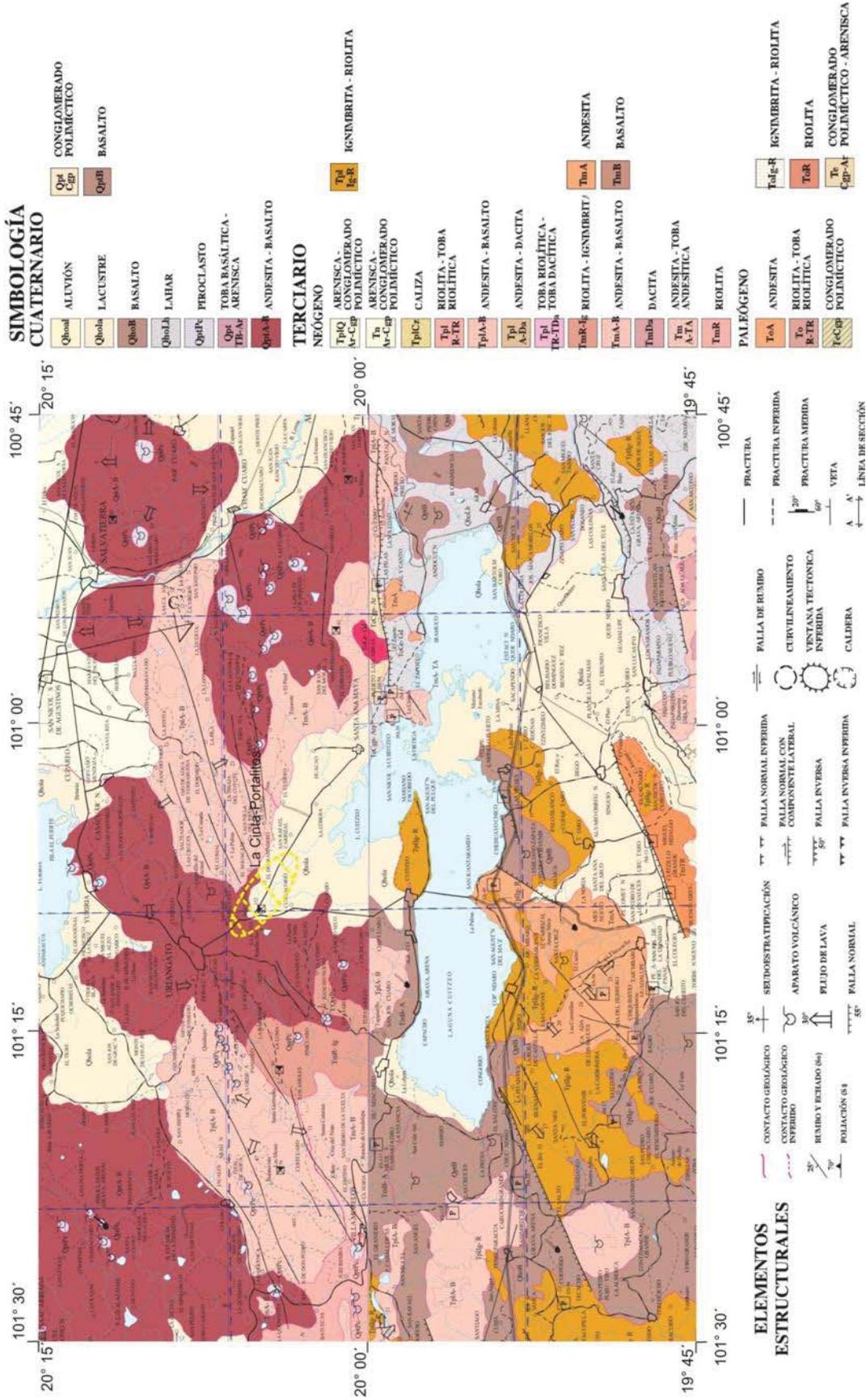


Figura 3. Geología local del lago de Cuitzeo (Tomado y modificado de la carta Geológico-Minera: Morelia, E14-1, Michoacán, Edo. de México, Guanajuato, Esc. 1:250,000 1998 y Querétaro, F 14-10 Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Esc. 1:250,000 1999).

Estratigrafía de La Cinta-Portalitos

Se describen los estratos de la base a la cima de las 8 columnas de detalle realizadas a lo largo del canal La cinta en dirección S-N.

Trinchera 1 “Cerca del Puente Autopista”, profundidad 389 cm (Fig. 4).

Coordenadas N 20° 03' 51.54" W 101° 08' 12.91"

- E1.** 32 cm de diatomita color verde oscuro con un contacto superior transicional.
- E2.** 26 cm de arcilla color marrón con un contacto superior ligeramente erosionado.
- E3.** 44 cm de un microconglomerado de matriz arcillo-arenosa con pequeños clastos de pumita color marrón con un contacto superior transicional con restos fósiles de pequeños vertebrados y fragmentos de hueso de macrovertebrados.
- E4.** 47 cm de una arcilla color marrón con nódulos de oxidación con un contacto superior transicional.
- E5.** 38 cm de una arcilla con lentes de arena fina color marrón con materia orgánica y un contacto superior ligeramente erosionado.
- E6.** 34 cm de una arcilla con lentes de arena ligeramente más gruesa que el estrato inferior de color marrón claro con lentes de diatomita.
- E7.** 58 cm de Limo-arcilloso de color marrón con un contacto transicional.
- E8.** 40 cm de una arena-limosa color marrón con abundante materia orgánica (laminar) y pequeños clastos de pómez redondeados.
- E9.** 50 cm de un limo-arcilloso color marrón claro con concreciones blanquecinas y negras de montmorillonita.
- E10.** 20cm de un limo color oscuro con raíces.

Trinchera 2 “Cerca Nopal”, profundidad 428 cm (Fig. 4)

Coordenadas N 20°04' 24.23" W 101° 08' 40.39"

- E1.** 30 cm de diatomita color verde con un contacto transicional.
- E2.** 40 cm de arena-arcillosa color marrón con clastos basálticos y un contacto superior transicional.
- E3.** 28 cm de arcilla color marrón
- E4.** 17 cm de arcilla-arenosa color marrón con pequeños clastos con un contacto superior erosionado.

- E5.** 32 cm de un microconglomerado color marrón con fragmentos de roca y fósiles (*Mammuthus* y *Equus*) con un contacto superior transicional.
- E6.** 20 cm de una diatomita color marrón con lentes de oxidación contacto superior transicional.
- E7.** 97 cm de una diatomita masiva marrón con presencia de grietas en las que se ha depositado arcilla negra montmorillonita contacto superior transicional.
- E8.** 74 cm de arcilla-limosa color blanquecino con un contacto superior transicional.
- E9.** 60 cm de un limo oscuro contacto superior neto.
- E10.** 30 cm de suelo Limo.

Trinchera 3 “La Palapa”, profundidad 404 cm (Fig. 4).

Coordenadas N 20°05' 10.80" W 101° 09' 11.58"

- E1.** 20 cm de arena volcánica color café con un contacto superior transicional.
- E2.** 25 cm de una toba volcánica (ceniza) color negro con un contacto superior neto.
- E3.** 15 cm de arcilla-limosa color café claro con lentes de diatomita (2 cm) con un contacto superior erosionado.
- E4.** 17 cm de arena volcánica (ceniza) oscura con lentes de arcilla gris y un contacto superior ligeramente erosionado.
- E5.** 36 cm de arcilla-limosa color café claro con nódulos de oxidación con un contacto superior erosionado.
- E6.** 10 cm de arena fina color amarilla con lentes de arena más fina.
- E7.** 30 cm de microconglomerado con una matriz de arcilla con abundantes restos fósiles (fragmentos de molar de *Equus* y un falange de *Odocoileus*) color café lechoso con nódulos oxidados y un contacto superior transicional.
- E8.** 175 cm de diatomita color café claro con un contacto superior transicional.
- E9.** 50 cm de un limo-arcilloso color café claro con un contacto superior transicional.
- E10.** 26 cm de un limo-arcilloso color oscuro con materia orgánica y raíces.

Trinchera 4 “Portalitos”, profundidad 505 cm (Fig. 4).

Coordenadas N 20° 05' 31.38" W 101° 09' 23.54"

- E1.** 75 cm de arcilla-limosa color café claro con concreciones blancas de calcio y nódulos oxidados amarillos con un contacto superior transicional.
- E2.** 47 cm de diatomita color café lechoso con un contacto superior erosionado.
- E3.** 21 cm de un microconglomerado de matriz arcillo-arenosa de color café con clastos volcánicos y la presencia restos fósiles (molar inferior, un fragmento de distal de 1FIII y un fragmento proximal de metacarpo *Equus* y un molar de *Mammuthus*)
- E4.** 102 de diatomita de color blanquecino con materia orgánica y un contacto superior transicional.
- E5.** 55 cm de arcilla-limosa color oscuro con cerámica y un contacto superior ligeramente erosionado.
- E6.** 38 cm de limo marrón oscuro contacto superior transicional.
- E7.** 40 cm de limo marrón oscuro contacto superior transicional.
- E8.** 42 cm de limo-arenoso marrón oscuro con un contacto superior ligeramente erosionado.
- E9.** 11 cm de arena-limosa marrón claro con un contacto superior transicional.
- E10.** 37 cm de arcilla-limosa marrón oscuro con raíces con un contacto superior transicional.
- E11.** 37 cm de suelo limo-arcilloso marrón oscuro con materia orgánica (raíces).

Trinchera 5 “Portalitos 05”, profundidad 408 cm (Fig. 4).

Coordenadas N 20° 05' 52.44" W 101° 09' 22.14"

- E1.** 35 cm de microconglomerado de matriz areno-arcillosa de color amarillento con pequeños clastos, con un contacto superior neto
- E2.** 23 cm de ceniza volcánica poco consolidada grano grueso color café verdosa con un contacto superior transicional.
- E3.** 10 cm de microconglomerado de arena volcánica con arena fluvial de color amarillento con un contacto superior transicional.
- E4.** 15 cm de ceniza bien consolidada, de color café verdosa, con un contacto superior neto.
- E5.** 55 cm de arcilla, de color café lechoso, concreciones oscuras, con un contacto superior transicional.

E6. 100 cm de arcilla, nódulos carbonato, color café claro, con un contacto superior transicional.

E7. 60 cm de limo-arcilloso color oscuro mezclado contacto transicional.

E8. 15 cm de limo color café oscuro, con un contacto superior transicional.

E9. 25 cm de limo de color rojizo, con nódulos oxidados oxidación, con un contacto superior transicional.

E10. 70 cm de limo de color oscuro, suelo.

Trinchera 6 “Portalitos 06”, profundidad 364cm (Fig. 4).

Coordenadas N 20° 05' 54.06" W 101° 09' 20.7"

E1. 92 cm de ceniza volcánica consolidada de color gris-verdoso, con un contacto superior neto

E2. 10 cm de microconglomerado de una matriz areno-arcillosa de color amarillento, con pequeños y fragmento de hueso fosilizados (articulación distal de un metápodo de *Equus*) con un contacto superior transicional.

E3. 21 cm de microconglomerado de una matriz areno-arcillosa (color amarillenta) y rocas ígneas de gran dimensión aprox. 20 cm de diámetro los clastos de tipo andesítico (color gris claro), con un contacto superior neto.

E4. 63 cm de arcilla, con arena semiconsolidada, color café claro con un contacto superior transicional.

E5. 18 cm de limo color café oscuro, con pequeños clastos y manchas de oxidación con un contacto superior transicional.

E6. 160 cm de limo de color café oscuro suelo.

Trinchera 7 “Buena Vista 1”, profundidad 435 cm (Fig. 4).

Coordenadas N 20° 06' 19.08" W 101° 09' 22.22"

E1. 110 cm de diatomita de color café marrón, con concreciones de carbonato de calcio, con un contacto superior erosionado.

E2. 20 cm de microconglomerado de matriz arcillo-limosa de color amarillento con arenas finas y grandes clastos de rocas volcánicas (hasta 50cm de diámetro) y restos fósiles (astillas y fragmentos de hueso de macrovertebrados) con un contacto superior neto.

E3. 150 cm de arcilla con brecha diatomítica color café claro, con concreciones de carbonato de calcio y materia orgánica con un contacto superior transicional.

E4. 25 cm de arcilla-limosa de color café claro ha oscuro, interdigitaciones del estrato inferior y superior, contacto superior transicional.

E5. 125 cm de limo oscuro con lentes de oxidación de color rojizo.

Trinchera 8 “Buena Vista 2”, profundidad 435 cm (Fig. 4).

Coordenadas N 20° 06' 24.66" W 101° 09' 24.96"

E1. 70 cm de arcilla de color café claro, con intercalaciones de diatomita y arenas finas con un contacto superior fuertemente erosionado.

E2. 35 cm de microconglomerado de matriz arcillo-limosa de color amarillento con arenas finas ha gruesas de tipo riolíticas y grandes clastos de rocas volcánicas basálticos (hasta 50cm de diámetro) y restos fósiles (astillas y fragmentos de hueso de macrovertebrados) con un contacto superior neto.

E3. 100 cm de arcilla de color oscuro con clastos de tamaño medio (hasta 5cm de diámetro) contacto superior transicional.

E4. 70 cm de arcilla-limosa de color oscuro, con presencia de fragmentos de cerámica en la base, contacto superior erosionado.

E5. 100 cm de macroconglomerado con clastos de roca volcánica (clastos de hasta 30cm de diámetro) con una matriz de limo, con un contacto superior transicional.

E6. 60 cm de limo oscuro (suelo) con abundante materia orgánica

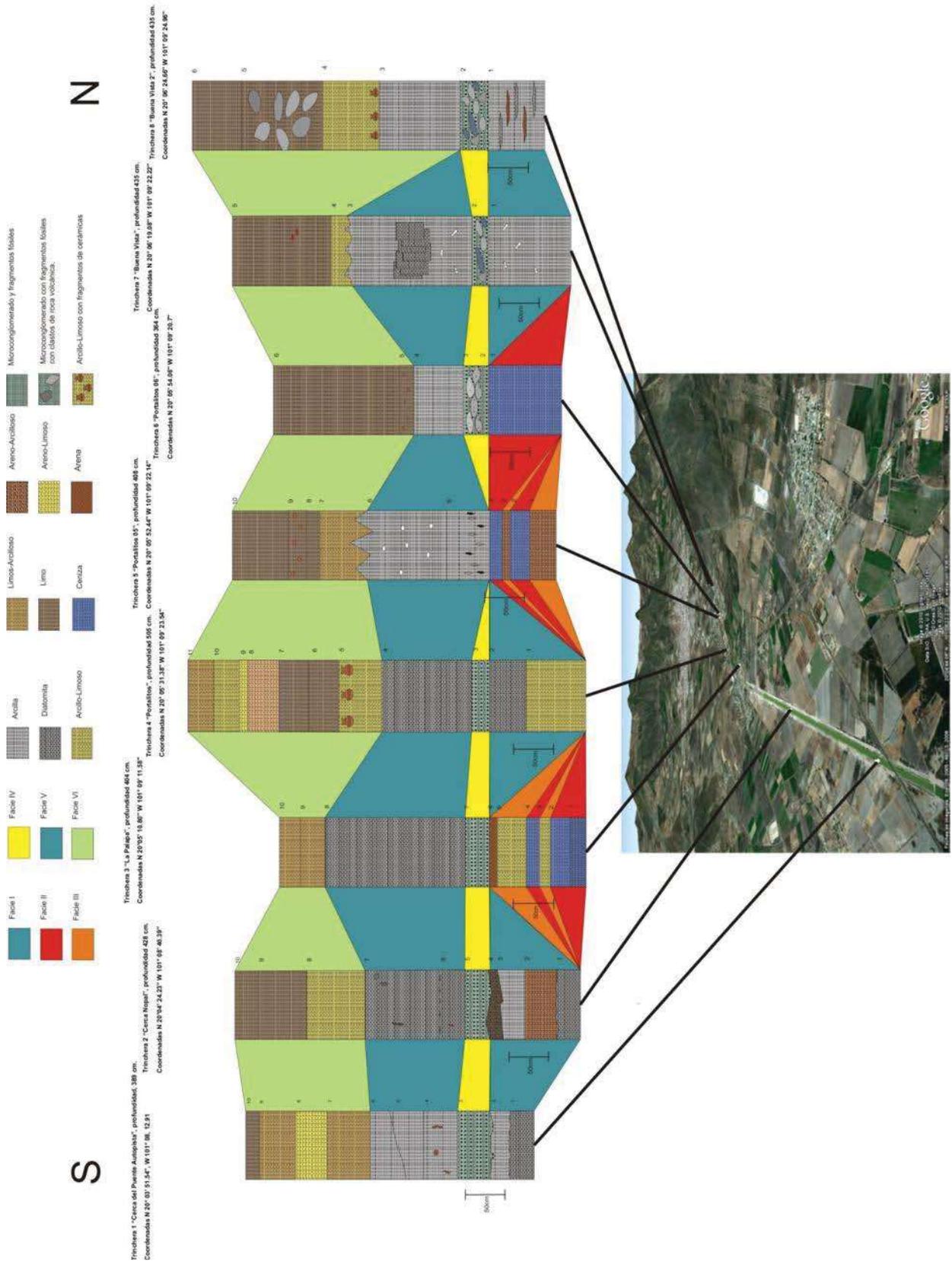


Figura 4. Correlación estratigráfica de La Cinta-Portalitos.

Sedimentología de La Cinta-Portalitos.

Trinchera 1 “Cerca del Puente Autopista”, profundidad 389 cm (Fig. 5).

En la figura 5 en la parte de la basal se observa un ambiente de energía baja (estratos 1 y 2) seguido de un nivel de energía de media a baja donde se presentan partículas medianas y restos fósiles de microvertebrados (estrato 3) posiblemente debido a causa de una pequeña corriente de agua, en los siguientes niveles el lago se mantiene estable con una baja energía (estratos 4, 5, 6), seguido de niveles de energía baja-media donde se inicia la depositación de partículas ligeramente más gruesas que las arcillas presencia de limos (estratos 7 y 8) continuando con la depositación en el nivel superior de partículas de diferentes tamaños lo que nos indica una media-alta energía (estrato 9).

Trinchera 3 “La Palapa”, profundidad 414 cm (Fig. 5).

En la parte basal se observa la depositación de sedimentos volcánicos (arena y ceniza volcánica) lo cual nos indica una energía media (estratos 1 y 2), seguido por un declive en la energía que va de media a baja con la presencia de un nivel de arcillas (estrato 3), continuado por un aumento pronunciado de energía media con la depositación de sedimentos volcánicos (ceniza) estrato 4, seguido nuevamente de un nivel de baja energía de arcillas (estrato 5), posteriormente un nivel de baja energía con partículas de tamaño medio (estrato 6), siguiente nivel presenta energía baja-media con partículas de diferentes diámetros y restos fósiles de macro y microvertebrados (estrato 7), se continúa por un nivel de baja energía y estabilidad (estrato 8), que es interrumpido por lo niveles superiores que contienen gran cantidad de limos y partículas grandes dándose un cambio de energía de media-alta (estratos 9 y 10).

Trinchera 5 “Portalitos 05”, profundidad 408 cm (Fig. 5).

Coordenadas N 20° 05' 52.44" W 101° 09' 22.14"

En la figura 5 para esta trinchera en la parte inferior se observan dos niveles de energía media de partículas areno-arcillosas fluvio-lacustres (estratos 1 y 3) intercaladas entre dos niveles de media energía de arenas volcánicas (estratos 2 y 4), seguidas de cuatro niveles de baja energía (estratos 5, 6, 7 y 8), seguido por un nivel de baja energía con mayor presencia de limos (estrato 9), finalizando con un estrato de baja energía con la presencia de algunos clastos de roca con un diámetro menor a 1 cm y restos de materia orgánica (nivel 10).

Correlación de edades

Tomando las edades radiocarbónicas y la cota de la altura del núcleo que presenta Israde-Alcántara *et al.* (2010) se propone una correlación de dicho trabajo con las trincheras de La Cinta-Portalitos del presente estudio.

Considerando que la columna de Israde-Alcántara *et al.* (2010) inició a los 1838 msnm y que nuestras columnas iniciaron a 1837 msnm, se establece una correlación de edades que se presenta en la figura 6, en la que se les asigna una edad que va desde ca. 32,565 años AP a la actualidad, comprendiendo los últimos 20 Ka del Pleistoceno tardío y todo el Holoceno, atravesando la fase del último máximo glaciario (ca. 22 Ka a 18Ka AP) Caballero-Miranda (1997) y el Younger Dryas (Smith *et al.*, 1997).

Asumiendo tasas de sedimentación constantes entre las fechas disponibles de Israde-Alcántara *et al.* (2010), se encontró una correlación lineal entre las dataciones y la profundidad ($R^2=0.8943$). Posteriormente, usando el contacto inferior y superior de cada una de las facies en estudio y mediante la ecuación de predicción obtenida, fueron calculadas las edades aproximadas que delimitan cada facies, obteniendo los siguientes resultados: Las facies I fueron las más antiguas entre ca. 28 Ka y 24 Ka AP; las facies II entre ca. 25.5 Ka y 22 Ka AP; las facies III muy similar a la anterior entre ca. 25.5 Ka y 22 Ka AP; las facies IV entre ca. 23 Ka y 21 Ka AP; las facies V entre ca. 21.5 Ka y 15.5 Ka AP y la facies VI desde ca. 15 Ka hasta la actualidad (Fig. 6).

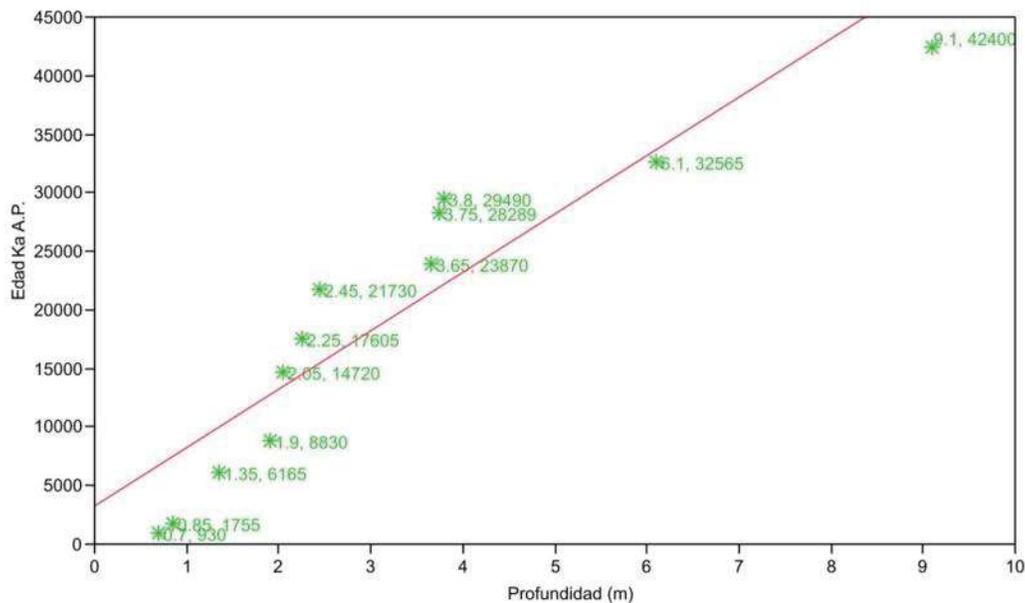


Figura 6. Correlación lineal entre la profundidad y las edades de Israde-Alcántara *et al.* 2010, los asteriscos marcan la profundidad y la edad.

DISCUSIÓN

La correlación estratigráfica se realizó con una dirección S-N, observándose seis facies lacustres, fluviolacustres y de actividad volcánica y no cuatro como menciona (García-Zepeda, 2006) en la zona norte del lago de Cuitzeo durante el Pleistoceno tardío.

Las facies están basadas en su textura, color, origen de material sedimentológico y energía de depósito las cuales son las siguientes: facies de lago estable y profundo, seguida de facies volcánica (vulcanismo monogenético) de tipo andesítico, continuando con facies de restablecimiento del lago e inestabilidad erosiva, proseguida por una facies fluvial en la cual encontramos restos fósiles, nuevamente otra facies de lago estable y finalmente una facies somera.

Facies I Lago Estable

Facies de estabilidad, en la parte S (Trinchera 1 y 2) en la parte N (Trinchera 7 y 8) del área de estudio, como basamento de estas columnas se encuentran espesores de diatomita grandes y sedimentos finos de baja energía en promedio 52 cm. Con base en las edades de Israde-Alcántara *et al.* (2010) se calculó que 150 cm de diatomeas se depositan en aproximadamente 10 Ka por lo que para las trincheras en estudio la depositación duro cerca de 3.7 Ka, y podría tener una edad entre ca. 28 Ka y 24 Ka AP, lo que indica que era un lago estable.

El contacto inferior de esta facies no se observa. El contacto superior es tipo erosivo con canales fluviales en dirección S-N y eventualmente SW-NE, o de tipo volcánico con cenizas y arenas medianas andesíticas (Fig. 4).

Facies II Volcánica

Facies de vulcanismo monogenético, se concentra en las trincheras centrales de la parte norte del paleolago Cuitzeo, donde se encuentran dos diferentes tipos de depósitos: arenas y cenizas volcánicas de color oscuro tipo andesítico de mediana energía (Ver capítulo, III) intercaladas con la facies de restablecimiento del lago e inestabilidad erosiva, materiales que modificaron las condiciones del lago.

El contacto inferior de esta facies es horizontal de arcillas y diatomitas. El contacto superior transicional de restablecimiento del lago con arcillas-arenosas o areno-arcillosas o tipo erosivo con canales fluviales en dirección S-N y eventualmente SO-NE (Fig. 4).

Con base en el Modelo Digital de Terreno (Fig. 2) y el depósito de estos sedimentos volcánicos, se infiere que el lago pasó a ser de exorreico a endorreico por causa de estos fenómenos.

Facies III restablecimiento del lago e inestabilidad erosiva

Facies de restablecimiento e inestabilidad erosiva, son depósitos areno-arcillosos o arcillo-arenosos de media-baja energía, debido a la mezcla de arena de origen volcánico evidencia de procesos erosivos y arcilla autógena.

Esta facies se intercala entre los niveles de actividad volcánica (facies II) además por las arcillas se deduce que el lago tiende a recuperar su tirante de agua y su estabilidad.

El contacto inferior es horizontal, de actividad volcánica. El contacto superior es tipo erosivo con canales fluviales en dirección S-N y eventualmente SO-NE (Fig. 4).

Facies IV Fluvio-Lacustre

Facies fluvio-lacustre (Flujo gravítico turbidítico) de mediana a alta energía de microconglomerado de una matriz arcillo-arenosa con clastos de ignimbrita de tipo riolítico (Ver capítulo, III), donde se observan abundantes restos fósiles de color oscuro con sus caras lustrosas de macrovertebrados (García Zepeda, 2006 y Marín-Leyva, 2008) y microvertebrados (Pérez y Godínez, 2008) del Pleistoceno tardío (~160 Ka a ~10 Ka *sensu* Woodburne, 2004); organismos que perecieron probablemente a causa de la perturbación ambiental provocada por la actividad volcánica de la facies II y fueron retransportados en esta Facies.

Con base en la correlación de las columnas en estudio, las edades y núcleo de Israde-Alcántara *et al.* (2010), a los restos se les atribuye una edad de entre ~32, 565 y ~18,500 años AP, a esta facies se le infiere una edad de entre ca. 23 Ka y 21 Ka AP que coincide con el último máximo glaciar y que presenta similitud con el comportamiento del lago de Chalco en este periodo (Caballero-Miranda, 1997), registrando una mayor humedad y aumento en el nivel lacustre y desborde del mismo.

Los clastos de origen riolítico (Ver capítulo, III) que originalmente se encuentran en rocas que afloran en la zona sur del lago (Fig. 2), indican que la dirección del canal fosilífero es de S a N siendo La Cinta-Portalitos (cota 1840 msnm) una área de salida de agua del lago, indicando que la cuenca sufrió un cambio de endorreica a exorreica de poca duración.

Para la zona norte se observa este canal fluvio-lacustre entre los espacios de un macroconglomerado de rocas andesíticas que podría ser parte de un flujo de escombros del NE. El contacto inferior es de tipo erosivo, formando claramente canales; su contacto superior es horizontal (Fig. 4).

Facies V Lago estable

La facies de nueva estabilidad, son sedimentos de diatomita de gran espesor en promedio de 110 cm y baja energía, con base en las edades Israde-Alcántara *et al.* (2010) se calculó que para las trincheras en estudio la depositación duró cerca de 8 ka y podrían tener una antigüedad de entre ca. 21.5 Ka y 15.5 Ka AP (Fig. 4).

Todo parece indicar que el lago estable de la primera facies habría sufrido una interrupción con el arribo de la facies II, III y IV, ya que nuevamente se presenta diatomita, muy laminada y de baja densidad. En la base se observan interdigitaciones o lentes de arenas muy finas. En la base de todas las columnas se observó, la transición de un microconglomerado a las unidades de diatomita de color café claro (Fig. 4).

Facies VI Deceso del lago y suelos residuales

La Facies V “culminación del lago”, depósitos de limo, limo-arcilloso, arcillo-limoso y concreciones de espesor promedio de 116 cm de color café oscuro hasta café rojizo de baja energía. Con base en las edades Israde-Alcántara *et al.* (2010) se calculó que 50 cm de limo se depositan en aproximadamente ~2.5 ka por lo que para las trincheras en estudio la depositación duró cerca de ~5.5 ka y podrían tener una edad desde ca. 15 Ka AP hasta la actualidad, estas facies se caracteriza por la depositación de sedimentos de origen alóctono como los grandes clastos volcánicos andesíticos del NE de la trinchera 8 y nódulos de oxidación de color rojizo que nos demuestran que era también una zona de planicie aluvial de alta erosión y nivel somero del lago, confirmado por presencia óxidos y por lo mencionado por Israde-Alcántara *et al.* (2010), además se tiene registro de cerámica lo que nos indica la presencia del hombre (Fig. 4).

CONCLUSIONES

Con base en evidencias estratigráficas y sedimentológicas, se lograron definir seis facies en la zona norte del lago de Cuitzeo, las facies I ca. 28 Ka a 24 Ka AP, diatomita, energía baja y lago estable, la facies II ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP, asociada con vulcanismo (monogenético), energía media y cierre del lago (endorreico), las facies III ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP, arena-arcillosa, energía media de fluctuación en los niveles del lago, las facies IV ca. 23 Ka a 21 Ka AP, fluvio-lacustres de microconglomerado, energía media, con clastos de ignimbrita y restos fósiles de vertebrados del Pleistoceno, alta humedad y desborde del lago (exorreico), las facies V ca. 21.5 Ka a 15.5 Ka AP, diatomita, energía baja, lago endorreico, las facies VI ca. 15 Ka hasta la actualidad, de limo, energía baja, actividad humana.

Con base a las evidencias morfológicas y geológicas, se identifica el momento en el que el lago paso de ser una cuenca exorreica a una endorreica suscitándose este fenómeno

en el final de la facies I y el inicio de las facies II, así mismo se identificó un periodo posterior de cuenca exorreica durante el final de las facies III y el inicio de las facies IV que pudo haber sido un evento único o de largo plazo, pero por el alcance de este trabajo no es posible definirlo.

El horizonte fosilífero se encontró en facies fluvio-lacustres por encima de la facies volcánica y de inestabilidad, lo que podría indicar que la muerte y depósito de estos restos orgánicos de las facies IV estaría ligada a la inestabilidad tectónica y volcánica de la cuenca presentes en las facies II y III.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Coordinación de la Investigación Científica de esa institución por el apoyo financiero.

El primer autor agradece al CONACyT por la beca para estudios de maestría de los que surge el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

Arche, A. 1992. **Sedimentología Volumen I**. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Madrid, España. pp.542

Arredondo, F.J., 1983, **Levantamiento gravimétrico en la zona central de la Laguna de Cuitzeo, Michoacán**: México, D.F., Comisión Federal de Electricidad, Informe 29/83 G.P.G, 11 p

Dabrio, J. C. y Hernando S. 2003. **Estratigrafía**. Universidad Complutense de Madrid. La Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid, España. pp. 382

Caballero-Miranda, M. E. 1997. **Reconstrucción Paleolimnológica del lago de Chalco, México, Durante el Último Máximo Glaciar-El Registro de Diatomeas entre 34,000 y 15, 000 años A.P.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. v. 14. núm. 1. pp. 91-100

García-Zepeda, M. L. 2006. **Nuovi dati Paleontologici dalla depressione lacustre di Cuitzeo Michoacán, México**: Università degli studi di Firenze, Italia, tesis doctoral: pp.115.

Garduño-Monroy, V. H y Negrín J. 1992. **Magmatismo, hiatos y tectonismo de la sierra Madre Occidental y del Cinturón Volcánico Mexicano**. Geofísica Internacional, 33, 4. pp. 417-429

Israde-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V.H. y Ferrari, M., 1992, El **origen transtensivo de la depresión del lago de Cuitzeo, México**, in VIII Congreso Latinoamericano de Geología, Actas de las sesiones científicas; Salamanca, España, v. 4, p.127-131

Israde-Alcántara, I., 1995. **Bacini lacustri del settore centrale dell'Arco Vulcanico Mexicano; stratigrafia et evoluzione sedimentaria basata sulle diatomee**: Milano, Italia, Università degli studi de Milano, tesis de doctorado, 254 p

Israde-Alcántara, I. 1999. **El Terciario tardío, de la Sub-Cuenca de Charo, Michoacán, México Paleoambientes y Vertebrados Fósiles**". Morelia, Mich; México, UMSNH, Facultad de Biología. Tesis de Licenciatura. pp. 113.

Israde-Alcántara I., Garduño-Monroy V.H. 1999. **Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting. The evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin systeme (Central wester Michoacan, Mexico)**. *Palaecogeography, Palaoclimatology, Palaecology* V. 15, n. 1-3, pp. 209-227.

Israde-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V.H., Ortega-Murillo, R., 2002, **Paleoambiente lacustre del Cuaternario tardío en el centro del lago de Cuitzeo**: *Hidrobiologica*, 2, 61-78.

Israde-Alcántara I. Velázquez-Durán R. Lozano García Ma. Domínguez Vázquez G. Garduño-Monroy V. H. 2010. **Evolución Paleolimnológica del Lago Cuitzeo, Michoacán durante el Pleistoceno-Holoceno**. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* v. 62, núm. 3, pp. 345-357

Lopez-Garcia, J. R. 2008. **Estudio estratigráfico, sedimentológico y paleontológico de la region de Indaparapeo-Charo, Paleolago de Cuitzeo, Mich., México**. Morelia, Mich; México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de investigaciones metalúrgicas, tesis Maestría, pp.209

Mendivil, R., Cortés A., Cuevas G., y García C. 1980. **Algunos aspectos fisicoquímicos y consideraciones sobre la pesca en el Lago de Cuitzeo Michoacán**. (Estudio trimestral 1976-1977), memorias. Segundo Simposio Latinoamericano de Acuicultura. T. III. pp. 1747-1782.

Mendoza, C.M.E. 2002. **Implicaciones del cambio de cobertura y uso del suelo en el Balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo**. Universidad Nacional Autónoma de México Postgrado en Ciencias de La Tierra. Instituto de Geofísica. Tesis de Doctorado pp. 186.

Nichols G. 2009. **Sedimentology and Stratigraphy**. Wiley-Blackwell. Second Edition. Oxford United Kingdom. pp. 419

Onida M., Sabatini D., Israde-Alcantara I., Garduño V.H.,1995, **Evoluzione del Bacino Lacustre Neogenico di Charo (Michoacan, Messico)**. *Rendiconti. Istituto Lombardo, Academia di Scienze e Lettere*. Vol. 129. Fasc. 2. pp 325-341.

Reading, H. G. Levell, B. K. 1996. **Control on the sedimentary record In: Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy** (Ed. Reading, H. G.) Blackwell Science, Oxford United Kingdom. pp. 5-36

Selley, R. C. 1970. **Ancient sedimentary environments**. Chapman & Hall. pp. 237

Smith J, E., Risk M, J., Schwarcz H, P., McConnaughey T, A., 1997, **Rapid climate change in the North Atlantic during the Younger Dryas recorded by deep-sea corals**: *Nature* 386, 818-820

Suter, M.; Quintero, O., y Johnson, C.A., 1992, **Active faults and state of stress in the central part of the Mexican Volcanic Belt—the Venta de Bravo fault**: Journal of Geophysical Research, 97, p.11,983-11,994.

Velásquez D.R. 2003. **Evolución Paleoambiental del Lago de Cuitzeo durante el Pleistoceno Tardío: Historia de la vegetación e implicaciones paleoclimáticas**. Morelia, Mich; México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de investigaciones metalúrgicas, tesis Maestría, pp.181.

Michael O. Woodburne M. O., 2004. **Late Cretaceous and Cenozoic Mammals of North America: Biostratigraphy and Geochronology**: Columbia University Press, New York, pp. 391.

Capítulo. II

Estratigrafía y sedimentología del yacimiento fosilífero de La Piedad-Santa Ana, Michoacán y Guanajuato, México.

Alejandro H. Marín-Leyva¹, María Luisa García-Zepeda¹, J. Ramón López-García¹, Javier Ponce-Saavedra², María Teresa Alberdi³, Joaquín Arroyo-Cabrales⁴, Víctor H. Garduño-Monroy⁵

¹Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo Laboratorio de Paleontología. Edif. R 2°. Piso. Ciudad Universitaria, C. P.58060, Morelia, Michoacán. vajozero@hotmail.com

²Facultad de Biología, UMSNH, Laboratorio de Entomología “Biol. Sócrates Cisneros Paz”. Edif. B4 2°. Piso. Ciudad Universitaria. C.P. 58060, Morelia, Michoacán.javierpon@gmail.com

⁵Departamento de Geología, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, UMSNH. Edif. U, Ciudad Universitaria, C. P. 58060, Morelia, Michoacán. vgmonroy@umich.mx

³Departamento de Paleobiología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España. malberdi@mncn.csic.es

⁴Laboratorio de Arqueozoología “M. en C. Ticul Álvarez Solórzano”, INAH, México D.F. arromatu@hotmail.com

RESUMEN

La Piedad-Santa Ana se encuentra en los límites del municipio de La Piedad de Cabadas, Michoacán y Santa Pacueco de Pénjamo, Guanajuato; ambos sitios forman parte de del Cinturón Volcánico Transmexicano y de la cuenca hidrográfica de Lerma-Chapala. Mediante la geología local, geomorfología, el estudio estratigráfico y sedimentológico de una columna en este yacimiento fosilífero, indican que esta área era una cuenca fluvial, con intercalación de sedimentos finos con medianos representando cambios de energía en el sistema, con lo que río Lerma en algún momento sobrepasaba sus niveles y se escurría sobre la gran planicie de La Piedad, creando una zona inundación y humedales que atraían a la fauna Pleistocénica. El nivel donde se encontraron los fósiles está formado por limo que indica baja energía, por lo que se deduce que los restos de La Piedad-Santa Ana sufrieron poco acarreo y se encuentran en mejor estado de conservación por la presencia de huesos largos completos, en relación con "La Cinta-Portalitos", lo que sugiere que las condiciones tafonómicas eran diferentes en cada localidad.

Palabras clave: La Piedad-Santa Ana, Estratigrafía, Sedimentología.

ABSTRACT

La Piedad-Santa Ana is located in the boundaries of the municipality of La Piedad de Cabadas, Michoacán and Santa Pacueco Penjamo, Guanajuato; both sites are part of Trans-Mexican Volcanic Belt and the watershed of the Lerma-Chapala. Through the local geology, geomorphology, stratigraphic and sedimentological study of a column in the fossil

deposits indicate that this area was a indicate that this area was a river basin, with interleaving of fine sediments and medium representing energy changes in the system, which Lerma River eventually surpassed levels and slipped on the great plain of La Piedad, creating a flood zone and wetlands that attracted Pleistocene fauna. The level where the fossils were found is formed by silt indicates low energy, so it follows that the remains of La Piedad-Santa Ana suffered little haul and are better preserved by the presence of complete long bones in relation to "La Cinta-Portalitos," suggesting that the taphonomic conditions were different in each locality.

Keywords: La Piedad-Santa Ana, Stratigraphy, Sedimentology.

INTRODUCCIÓN

La estratigrafía se define según Dabrio y Hernando (2003) como el estudio e interpretación de la composición, naturaleza, génesis, distribución temporal y espacial de los depósitos sedimentarios y demás rocas asociadas; así como de sucesos y fenómenos relacionados con ellas, mientras que la sedimentología según Nichols (2009), es el estudio de los procesos de formación, transporte y deposición del material que se acumula como sedimento en ambientes continentales y marinos y eventualmente forma rocas sedimentarias.

La estratigrafía y sedimentología se basan en conceptos geológicos, como el principio de la superposición, el de horizontalidad original; de continuidad lateral; de actualismo; de uniformismo; de identidad paleontología; de fragmentos incluidos a si como los, fenómenos de la persistencia de facies, de la discontinuidad del registro estratigráfico, de la interdependencia de sucesos (Dabrio y Hernando, 2003 y Nichols, 2009).

Los estratos se forman y acumulan en zonas de diferentes tamaños denominadas cuencas sedimentarias, sus materiales de relleno registran la evolución paleogeográfica de la misma. Los rellenos de estas zonas de deposición no son solo sedimentos, también existen etapas de omisión que son momentos de no deposición que pueden registrar erosión, que están relacionados con actividad tectónica o ausencia de esta misma (Arche, 1992).

En la descripción de las rocas sedimentarias o ambientes de depósito, se usa frecuentemente el término de "facies" que según Selley (1970) y Reading y Levell (1996) es un cuerpo rocoso que se distinguen de otro por su geometría, litología, estructura sedimentaria, distribución de paleocorrientes y fósiles asociados que reflejan las condiciones en las cuales se formó.

La determinación de las facies está ligado con la correlación estratigráfica la cual según la *Guía Estratigráfica Internacional* se divide en tres tipos: *correlación litológica*, que demuestra la correspondencia de caracteres litológicos y de posición litoestratigráfica,

correlación por contenido fosilífero, que demuestra su correspondencia por su fósiles y posición bioestratigrafía y la *correlación cronológica*, que es la correspondencia de edad y posición cronoestratigráfica (Dabrio y Hernando, 2003).

En el presente trabajo mediante la estratigrafía de detalle, análisis granulométricos y modelos digitales de terreno, se realiza una interpretación estratigráfica y sedimentológica del yacimiento fosilífero de La Piedad-Santa Ana ubicado entre el estado de Michoacán y Guanajuato en el bajo Lerma con la finalidad de conocer la energía de depositación, el tipo de proceso sedimentario.

Este representa el primer trabajo formal en el yacimiento, aportando información que servirá como base para estudios futuros.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del área de estudio

La localidad a la que se hará referencia como La Piedad-Santa Ana se localiza al borde de la ribera del río Lerma compartiendo los límites municipales de Pénjamo, Guanajuato y La Piedad, Michoacán entre las coordenadas 102°02' - 101°54' N y 20° 23' - 20°19'W, en la zona conurbada entre estas poblaciones (Fig. 1).

El clima preponderante en el área es semicálido subhúmedo, con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual del 700 milímetros y temperaturas que oscilan de 3 a 38.5° C (Pérez, 2006).

La fauna actual la conforman la liebre, zorrillo (*Mephitis macroura*), comadreja (*Mustela frenata*), ardilla (*Sciurus aureogaster*), coyote (*Canis latrans*), tuza (*Thomomys umbrinus*), tordo (*Molothrus bonariensis*), torcaza (*Columba palumbus*), bagre (*Ictalurus dugesii*) y carpa (*Carassius auratus*) (Gobierno del Estado de Michoacán, 2009). La vegetación es característica de las praderas, con arbustos grandes y árboles pequeños de dos a cinco metros de altura. Entre la variedad de árboles se encuentran algunos elementos del bosque tropical caducifolio como el mezquite (*Prosopis laevigata*), huamúchil (*Pithecellobium dulce*), cazahuates (*Ipomoea murucoides*), uña de gato (*Uncaria tomentosa*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*) y huizache (*Acacia farnesiana*) además de árboles y arbustos varios como el pino (*Pinus* sp), jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), trueno (*Ternstroemia* sp.), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), sabino (*Taxodium mucronatum*) y encino (*Quercus* sp) (Pérez, 2006).

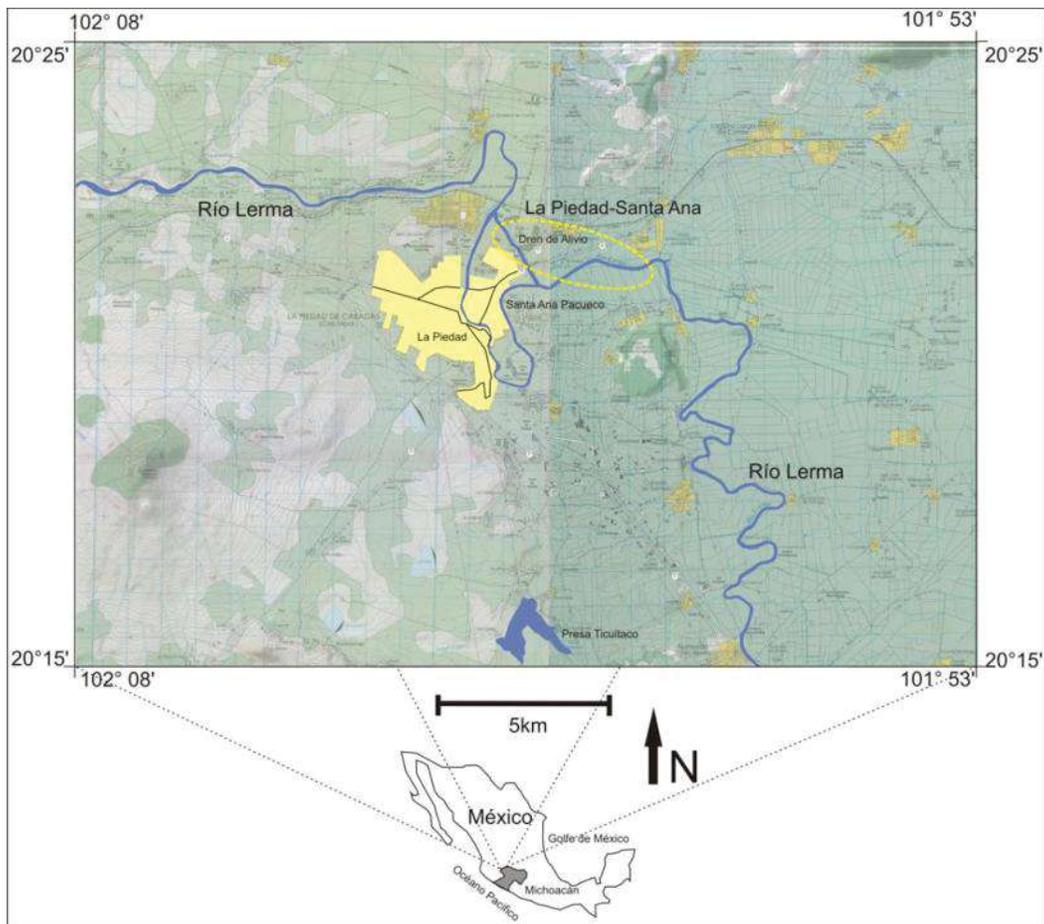


Figura 1. Ubicación de La Piedad-Santa Ana.

Geomorfología

Se elaboró un Modelo Digital de elevaciones partiendo de la de la Carta Topográfica de INEGI F13D79 Escala 1:50,000 (La Piedad de Cabadas) publicada 1999 y F14C71 Escala 1:50,000 (Penjamo) publicada 1999. Se utilizó el software Surfer 9 de Golden Software Inc., para hacer un modelo digital de elevaciones.

Geología local

Para la determinación de las unidades geológicas, esta se realizó con la Carta Geológico-Minera: Querétaro, F14-10 Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Estado de México, Esc. 1:250,000 publicada 1999 y Guadalajara, F13-12 Jalisco, Michoacán y Guanajuato, Esc. 1:250,000 publicada 2000, y con la ayuda del geólogo Dr. Víctor Hugo Garduño Monroy del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Estratigrafía

Se utilizaron picos y palas para excavar y limpiar una trinchera en La Piedad-Santa Ana.

Se describió la columna estratigráfica y se ubicaron los estratos con restos fósiles, diferenciando cada estrato con base en los cambios de litología, coloración, textura, estructura, tipo de contacto, granulometría, espesor, orientación de clastos y diámetros de clastos (López-García, 2008).

Con una pala pequeña y una espátula se tomaron muestras de sedimento de aproximadamente 1 kg en cada estrato distinguible colocándolos en recipientes de plástico transparente con una etiqueta en la que se anotaron los siguientes datos: Localidad, número de muestra de acuerdo al estrato, fecha y colector.

Sedimentología

Para los estudios granulométricos se utilizaron muestras de sedimento de cada uno de los estratos tomadas en campo y se prepararon y procesaron de acuerdo con la técnica usada por López-García (2008) y que consiste en:

1. Para seleccionar la muestra se realizó el cuarteo, procedimiento que consiste en depositar aproximadamente un 1 kg de la muestra sobre una hoja de papel liso y brillante y formar un cono; se aplastó el cono en su parte superior y se forma un disco, el cual se dividió en cuartos con ayuda de una espátula; se desecharon dos de los cuartos opuestos y se conservaron los restantes. Se repitió el procedimiento con el material hasta obtener 600g de muestra.
2. Se verificó con un microscopio estereoscópico, que los granos de la muestra se encontraran completamente disgregados.
3. Una vez seleccionado, cuarteado y disgregado, el material fue secado en el horno o en una estufa Imperial Varnstead Lab-Line modelo 3471 a una temperatura promedio de 90°C hasta eliminar el exceso de humedad, para posteriormente pesarla y obtener la cantidad de 300g, suficiente para obtener la información necesaria para el presente trabajo.
4. Con el material a temperatura ambiente, se rectificó el peso de 300g y para evitar la presencia de algún tipo de agregados en la muestra. Posteriormente se colocaron los sedimentos en suspensión hasta que los materiales se desintegraron por completo, lo que duró de uno a siete días.
5. Una vez disgregado completamente el material se lavó, utilizando un tamiz No. 200 (0.074 mm) en el que se colocaron los sedimentos y se les agregó agua

completamente limpia, con la finalidad de que los sedimentos menores a este diámetro (arcillas), pasaran a través de este tamiz y en él quedaran contenidas las partículas de diámetro mayor, las que en este tipo de análisis son consideradas como arenas.

6. Dado que los sedimentos obtenidos presentaron un exceso de agua, se colocaron en un recipiente y se dejaron reposar para que se sedimentaran, después se retiró el exceso de agua y se procedió al secado de la muestra en una estufa a una temperatura promedio de 90°C hasta eliminar el exceso de humedad.

7. Una vez que la muestra se secó, se procedió al tamizado de la manera siguiente:

a. Se pesó la muestra en una Balanza electrónica de precisión 0.01g, Radwag modelo PS1200/C2, y se registró el peso en el formato correspondiente. Se utilizaron 300g como "Peso Inicial" de muestra.

b. Se depositó la muestra sobre la columna de tamices (ordenados de mayor a menor graduación) y se agitaron por 10 minutos, con ayuda de un agitador mecánico RX 29-10, W.S.Tyler.

c. Se retiraron los tamices del agitador mecánico y la cantidad de muestra retenida en cada tamiz se depositó cuidadosamente sobre una hoja limpia de papel liso y suave (lo que ayuda a reducir la pérdida de material por adhesión producto de electricidad estática).

d. Se limpió la malla de cada tamiz invirtiéndolo rápidamente y golpeándolo suavemente sobre cada hoja de papel. El tamiz se limpió además con un cepillo o brocha mientras está invertido sobre el papel.

e. Se pesó por separado la fracción retenida en cada uno de los tamices y se anotó en el formato para posteriormente determinar el peso, porcentaje y pérdida del material, lo que se realizó mediante la utilización de una Hoja de cálculo (Microsoft Office Excel 2007).

f. Se procedió a la determinación de los parámetros granulométricos y se graficó la curva de frecuencia acumulada de la distribución de tamaños.

RESULTADOS

Geomorfología

Debido a los múltiples accidentes geográficos que presentan los municipios de La Piedad y Pénjamo, el relieve del suelo es en extremo variado e irregular (Pérez, 2006). Hacia el NE en el valle de La Piedad que colinda con el bajío de Guanajuato, los terrenos son bajos y llanos y sólo se observan algunas elevaciones en Las Peñas (1,850 msnm) y Laguna Larga de Cortez (1,750 msnm) (Carta Topográfica de INEGI F14C71 Escala 1:50,000 (Pénjamo) publicada 1999)

Hacia el NO el río Lerma forma su cauce entre montes y colinas que colindan con la región de los Altos de Jalisco (Pérez, 2006), y por el O las laderas descienden rumbo a Yurécuaro encontrándose con la extensa planicie de la ciénaga de Chapala.

Por el SO como una avanzada de la sierra Tarasca se observa el cerro grande o de Cujaruato (2,500 msnm) y en el centro bajando hacia el E y el S se extiende una alta y ondulada meseta (1,850-1,700 msnm), cuyas tierras erosionadas por la lluvia persiste una modesta agricultura temporal; ligeramente más al S se encuentra el cerro de la Cruz, el del Zapote, el del Muerto y poco más lejos el cerro de Zaragoza (Pérez, 2006, Carta Topográfica de INEGI F13D79 Escala 1:50,000 (La Piedad de Cabadas) publicada 1999).

En el SE se encuentra la mesa de Acuitzio (1,840 msnm) y una extensa planicie donde se abre paso el río Lerma hacia el S descendiendo hacia Numarán (Carta Topográfica de INEGI F14C71 Escala 1:50,000 (Pénjamo) publicada 1999) (Fig. 2).

Geología Local

Geológicamente, la región se localiza en la porción central del Cinturón Volcánico Transmexicano, específicamente dentro del denominado Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (Hasenaka y Carmichael, 1985).

Predomina el vulcanismo Plio-Cuaternario generado por la subducción de la placa de Cocos (Pardo y Suárez, 1995). En el NE se encuentran afloramientos de tipo andesítico-basáltico, en forma de toba, arenisca y flujos piroclásticos con edades desde el Terciario hasta el Cuaternario, así como Tobas riolíticas del Terciario. En el NO afloran sedimento de tipo riolítico en forma de tobas y areniscas con edades desde el Paleógeno hasta Neógeno, y en el área de estudio se presentan sedimentos de tipo aluvión Cuaternario. En el SE afloran predominantemente sedimentos de tipo andesítico-basáltico y arenisca, con edades desde el Terciario hasta el Cuaternario. En el SO predominan los afloramientos de sedimentos basáltico-andesítico y cercano al área de estudio se presentan sedimentos de tipo aluvión Cuaternario (Carta Geológico-Minera: F14-10 Esc. 1:250,000 1999 y F13-12 Esc. 1:250,000 2000) (Fig. 3).

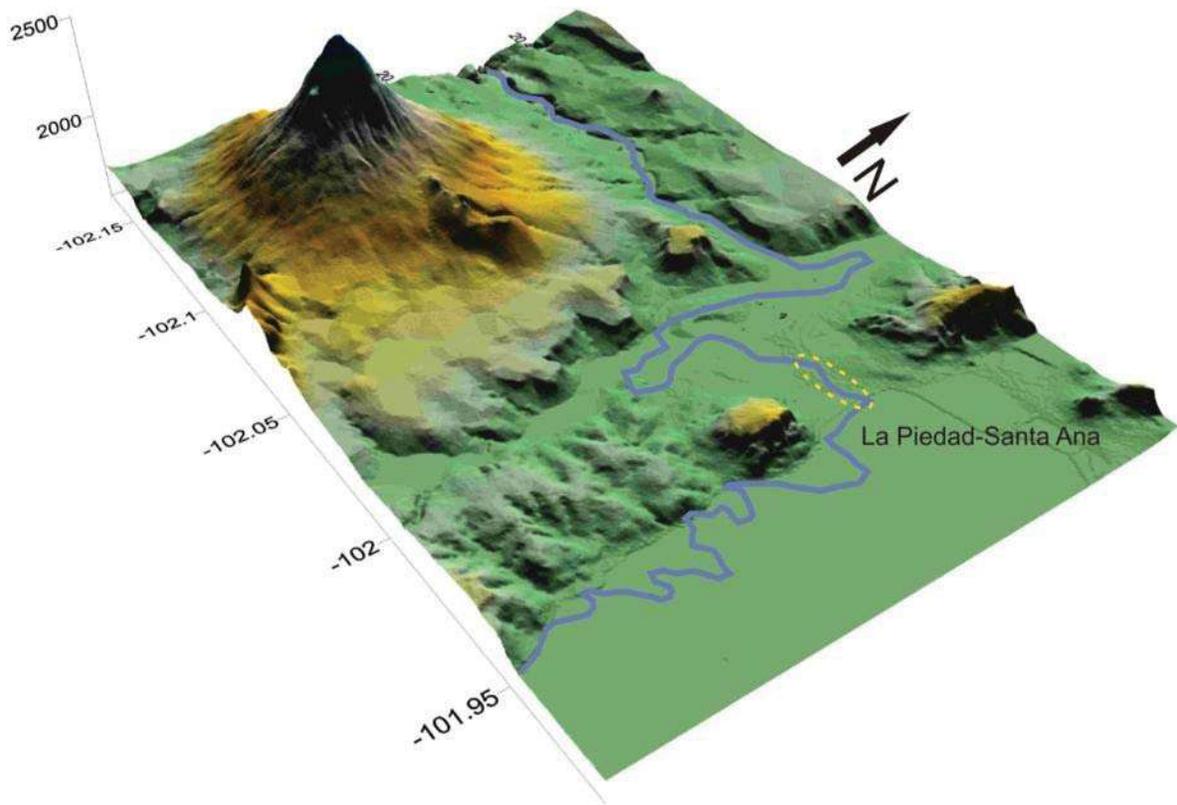


Figura 2. Geomorfología de La Piedad-Santa Ana.

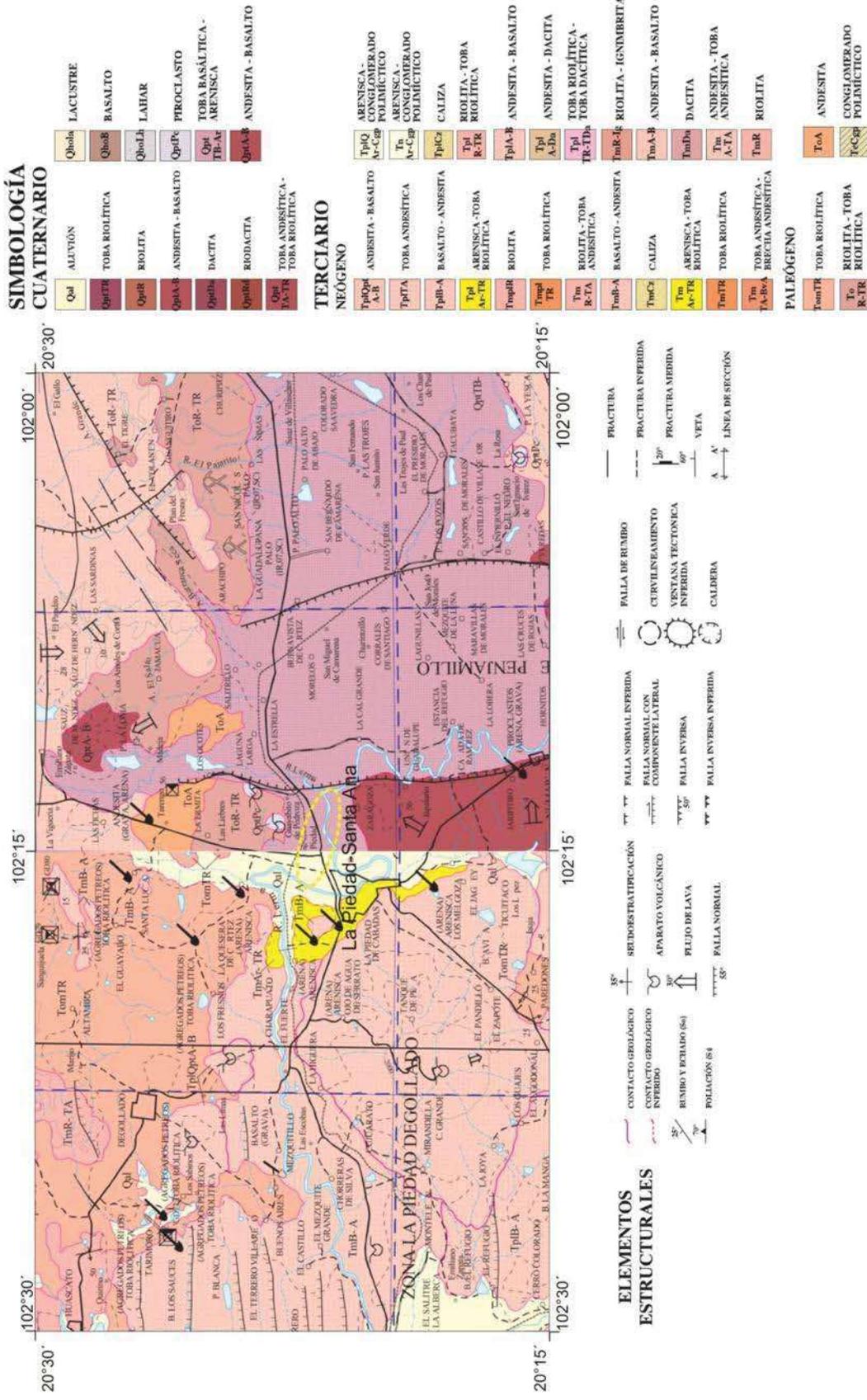


Figura 3. Geología local de La Piedad de Cabadas, Michoacán, Santa Ana Pacueco, Guanajuato (Tomado y modificado de la Carta Geológico-Minera: Querétaro, F14-10 Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Estado de México, Esc. 1:250,000 publicada 1999 y Guadaluajara, F13-12 Jalisco, Michoacán y Guanajuato, Esc. 1:250,000 publicada 2000)

Estratigrafía de La Piedad-Santa Ana

Se presenta la descripción de los 10 estratos identificados, de la base a la cima de la columna de detalle realizada en La Piedad-Santa Ana, en la ubicación designada como **Emplazamiento "B"**, con una profundidad de 177cm y localizado en la coordenadas N 20°21'38.03" W 101°58'12.42" (Fig. 4).

E1. Toba volcánica (ceniza) verde grisáceo con impresiones y restos carbonizados de hojas de *Salix* y clastos de piedra pómez con diámetro mayor de 3 cm y poca presencia de nódulos oxidados.

E2. 15 cm de arena gris claro poco consolidada con un contacto superior ligeramente erosionado.

E3. 30 cm de limo-arcilloso color gris, con un contacto superior transicional.

E4. 10 cm de limo oxidado color café lechoso, con un contacto superior fuertemente erosionado.

E5. 2 cm nivel oxidado fuertemente erosionado en ambos contactos.

E6. 6 cm canal de limo color blanquecino, poco compacto.

E7. 5 cm de limo color café lechoso con un contacto superior erosionado.

E8. 1 cm canal con presencia de oxidación.

E9. 43 cm limo color café blanquecino, homogénea semiconsolidado con presencia de restos fósiles.

E10. 70 cm limo masivo color café.

Sedimentología

Del estudio granulométrico se lograron identificar las condiciones de energía en el momento del depósito.

En la figura 5 se observan eventos intermitentes que fluctúan entre los cambios de energía media-baja (estratos 2, 3, 4, 8, 9, 10), con lo que se infiere se trataba de una zona con periodos de calma que permitieron el depósito de partículas finas, interrumpidos por eventos energía media, que transportaban partículas de mediano tamaño (arenas). El estrato 1 (ceniza volcánica con alto grado de consolidación), seguida por un estrato 2 de energía media con un gran contenido de arenas e inmediatamente el estrato que oscila de media a baja energía, continuando con el estrato 4, en el cual se mantiene la oscilación de media a baja energía. Los estratos 5, 6 y 7 presentaban un alto grado de consolidación y no se analizaron. El estrato 8 presentó baja energía, seguido por el estrato 9 que oscila en valores que sugieren mayor energía que en el estrato anterior, y es en este estrato donde se localizan los restos fósiles, lo que nos indica poco acarreo de los mismos. En el

siguiente estrato se repite el patrón general de esta columna con oscilación de media a baja energía (Fig. 5).

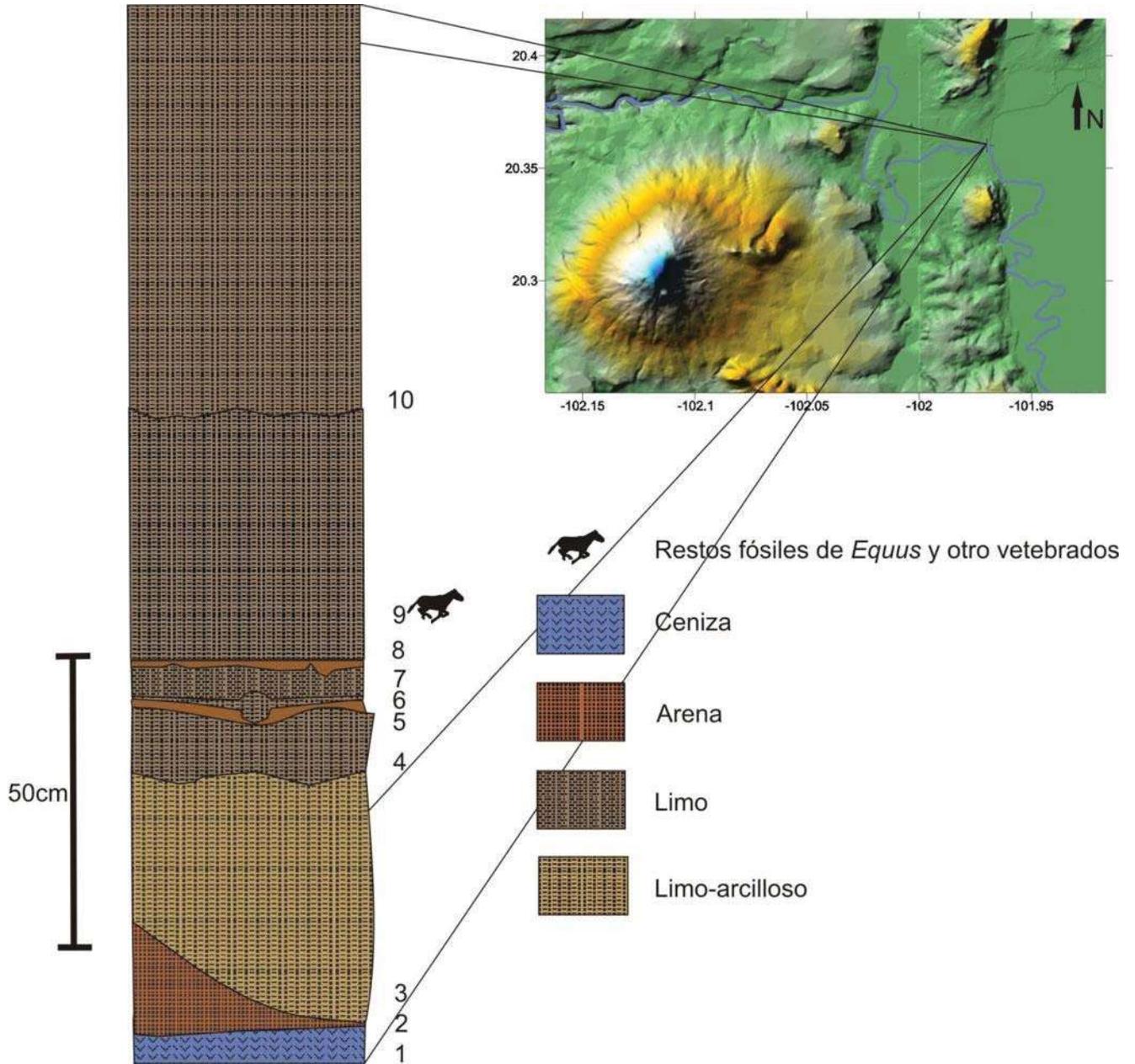


Figura 4. Emplazamiento B La Piedad-Santa Ana, profundidad 177cm.

DISCUSIÓN

En La Piedad-Santa Ana la columna estratigráfica y la sedimentología granulometría de la misma, indican que esta área era una cuenca fluvial, mientras que la intercalación de sedimentos finos con medianos, representan cambios de energía en el sistema, por lo que es aceptable interpretar que el río en algún momento sobrepasaba sus niveles y se escurría sobre la gran planicie de La Piedad, creando una zona inundación y humedales que atraían a la fauna Pleistocénica del Ranchobreano como *Mammuthus columbi*, *Bison*, *Camelops* (García-Zepeda *et al.*, 2009).

El nivel donde se encontraron los fósiles está formado por un limo que indica baja energía, por lo que los restos de La Piedad-Santa Ana sufrieron poco acarreo y se encuentran en mejor estado de conservación, por esto es que se encontraron más elementos largos de extremidades como metacarpos y metatarsos, lo que sugiere que las condiciones tafonómicas eran diferentes a las de La Cinta-Portalitos (Ver capítulo I).

CONCLUSIÓN

La zona de La Piedad-Santa Ana era una cuenca fluvial con planicie de inundación del río Lerma, con intermitencia de energía que pasaba de la depositación de sedimentos finos a medianos y predominancia de baja energía, lo que permitió una mejor conservación de los fósiles en comparación con los yacimientos de La Cinta-Portalitos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Coordinación de la Investigación Científica de esa institución por el apoyo financiero.

El primer autor agradece al CONACyT por la beca para estudios de maestría de los que surge el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

Álvarez, T. 1965. **Catálogo paleomastozoológico mexicano: México D.F. Instituto Nacional de Antropología e Historia**, pp. 47-52.

Arroyo Z. J. 2010. Proyecto: **Construcción del anillo periférico oriente tramo: E.C. La Piedad-Irapuato a E.C. La Piedad-Zamora del Km 0+000 al 14+000**. pp.278. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/mich/estudios/2010/16MI2010VD024.pdf> [con acceso el 1 de Junio 2010]

Arche, A. 1992. **Sedimentología Volumen I**. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Madrid, España. pp.542

Dabrio, J. C. y Hernando S. 2003. **Estratigrafía**. Universidad Complutense de Madrid. La Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid, España. pp. 382

- García-Zepeda M. L., Tejeda Alvarado F., Marín-Leyva A. H., Fuentes-Farías A. L. López-García J. R. 2009. **Mastofauna del Pleistoceno Tardío de La Piedad, Michoacán**. Encuentro Nacional sobre diversidad, conservación y restauración ecológica en México.
- Hasenaka T. y Carmichael I.S.E., 1985. **A compilation of location size and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacán-Guanajuato volcanic field central Mexico**. Geofis. Int. 24. pp.577-608.
- Gobierno del Estado de Michoacán. 2009. **Enciclopedia de los Municipios de México, Michoacán, La Piedad Cabadas**. [web en línea]. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/mpios/16069a.htm> [con acceso el 15 de Junio 2009]
- Lopez-García, J. R. 2008. **Estudio estratigráfico, sedimentológico y paleontológico de la región de Indaparapeo-Charo, Paleolago de Cuitzeo, Mich., México**. Morelia, Mich; México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de investigaciones metalúrgicas, tesis Maestría, pp.209
- Nichols G. 2009. **Sedimentology and Stratigraphy**. Wiley-Blackwell. Second Edition. Oxford United Kingdom. pp. 419
- Pardo M. y Suárez G. (1995). **Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: seismic and tectonic implication**. J. Geofis. Res. 100 pp. 12357- 12373.
- Perez Espejo, R. 2006. **Granjas porcinas y medio ambiente. Contaminación del agua de La Piedad Michoacán**. UNAM, SEMARNAT, P y V, México D.F. pp.201
- Reading, H. G. Levell, B. K. 1996. **Control on the sedimentary record In: Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy** (Ed. Reading, H. G.) Blackwell Science, Oxford United Kingdom. pp. 5-36
- Selley, R. C. 1970. **Ancient sedimentary environments**. Chapman & Hall. pp. 237
- Silva J. T., Estrada F., Ochoa S. y Cruz G., 2006. **Propuesta Metodológica Para La Ubicación de Áreas e Disposición e Residuos Sólidos Urbanos**. Rev. Int. Contam. Ambient, v. 22 no.4. pp. 147-156.

Capítulo III.

Reconstrucción paleoambiental del Pleistoceno tardío-Holoceno con análisis geoquímicos, en la zona norte del lago de Cuitzeo, Michoacán, México.

Enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.

Alejandro H. Marín-Leyva¹, Víctor H. Garduño-Monroy², María Luisa García-Zepeda¹, J. Ramón López-García¹, Javier Ponce-Saavedra³, María Teresa Alberdi⁴, Joaquín Arroyo-Cabrales⁵

¹Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo Laboratorio de Paleontología. Edif. R 2°. Piso. Ciudad Universitaria, C. P.58060, Morelia, Michoacán. vajozero@hotmail.com

²Departamento de Geología, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, UMSNH. Edif. U, Ciudad Universitaria, C. P. 58060, Morelia, Michoacán. vgmonroy@umich.mx

³Facultad de Biología, UMSNH, Laboratorio de Entomología “Biol. Sócrates Cisneros Paz”. Edif. B4 2°. Piso. Ciudad Universitaria. C.P. 58060, Morelia, Michoacán. javierpon@gmail.com

⁴Departamento de Paleobiología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España. malberdi@mncn.csic.es

⁵Laboratorio de Arqueozoología “M. en C. Ticul Álvarez Solórzano”, INAH, México D.F. arromatu@hotmail.com

RESUMEN

La estratigrafía de detalle, la sedimentología, la mineralogía a partir de análisis de Difracción de Rayos X y la concentración de algunos elementos químicos mediante Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X, fueron estudiados a partir de dos columnas estratigráficas que se ubican en la zona Norte del paleolago de Cuitzeo, en el occidente del Cinturón Volcánico Transmexicano, con la finalidad de entender las diferentes facies lacustres durante el Pleistoceno-Holoceno. Con base en agrupaciones realizadas mediante análisis estadísticos multivariados (Análisis de Componentes Principales y Análisis discriminante) de la concentraciones de elementos (Si, Al, Fe, Na, Ca, Mg, K, Ti, P, S, Mn, Sr, Ba, V, Zr) y relaciones como (Na/Al, Si/Al, Si/P, P/S, Ca/Mg, Ca/Al, Fe/Mn, Fe/Ti, Sr/Ba, Fe/Al, K+Na/Al, Na+K/Si) donde se lograron distinguir cinco facies lacustres con diferentes interacciones entre el agua, tipo y origen de sedimento. Las facies I ca. 26 Ka a 23 Ka AP de arena volcánica (energía media) de tipo andesítico, indica entrada de sedimentos y un incremento en la concentración en la mayor parte de los elementos químicos. Las facies II ca. 26 Ka a 22 Ka AP de arena volcánica y arcilla autógena (energía media), indica erosión, salinidad media y condiciones disaeróbicas. Las facies III ca. 21 Ka a 19.5 Ka AP fluvio-lacustre de microconglomerado (energía media), con clastos de ignimbrita y restos fósiles de vertebrados del Pleistoceno tardío y dilución en la concentración de casi todos los elementos mayores, indica alta precipitación, con excepción del Na, P y Ca y la relación (P/S) que están ligados con la cantidad de elementos fósiles. Las facies IV ca. 21 Ka a 13 Ka AP diatomita (energía baja) con altas concentraciones de Si indica estabilidad y aumento en la comunidad fitoplanctónica, además de valores altos de la relación Ca/Al y Sr/Ba que demuestran en unas de las

trincheras su pertenencia a la zona litoral. La facie V ca. 13 Ka a 7 Ka AP limo (energía baja) con altos valores de Al, Ti, Mn, Fe y Zr y en las relaciones (Fe/Al), indican gran erosión, condiciones disaeróbicas, precipitación de óxidos de Fe y estabilización de suelo. Con base en los resultados de este estudio se podría concluir que la causa de muerte del gran número de vertebrados depositados en la facies III, podría ser una serie de episodios volcánicos que se presentaron en la facies I, los que generaron cambios en las condiciones ambientales en esta porción del lago, dentro y fuera del mismo, aunado a las condiciones de frío y sequía de la última era glaciaria.

Palabras clave: Paleolago de Cuitzeo, Fluorescencia de Rayos X, Cinco facies.

ABSTRACT

The stratigraphy of detail, sedimentology, mineralogy from analysis of X-ray diffraction and the concentration of some chemical elements by X-rays fluorescence spectrometry were studied from two stratigraphic columns that are located in the northern part of paleolake Cuitzeo in the Trans-Mexican Volcanic Belt, in order to understand the various lake facies during the Pleistocene-Holocene. Groupings based on multivariate statistical analysis carried out by (Principal Components Analysis and Discriminant Analysis) of the concentrations of elements (Si, Al, Fe, Na, Ca, Mg, K, Ti, P, S, Mn, Sr, Ba, V, Zr) and relations like (Na/Al, Si/Al, Si/P, P/S, Ca/Mg, Ca/Al, Fe/Mn, Fe/Ti, Sr/Ba, Fe/Al, K+Na/Al, Na+K/Si) we were able to distinguish lacustrine facies five with different interactions with water, sediment type and origin. The facies I ca. 26 Ka to 23 Ka BP volcanic sand (medium energy) of andesitic type, sediment input and indicates an increase in concentration in most of the chemical elements. Facies II ca. 26 to 22 Ka BP welded volcanic sand and clay (average energy) indicates erosion, salinity and environment with disaerobic conditions. The facies III ca. 21 Ka to 19.5 Ka BP fluvio-lacustrine microconglomerate (medium energy), with clasts of ignimbrite and vertebrate fossils from the late Pleistocene and dilution in the concentration of almost all major elements, indicating high rainfall, with the exception of Na, P and Ca and the ratio (P/S) that are linked to the amount of fossil elements. The facies IV ca. 21 Ka to 13 Ka BP diatomites (low energy) with high concentration of Si indicates stability and increase in the phytoplankton community, as well as high values of Ca/Al and Sr/Ba showing in some of the membership in the trenches littoral zone. The facie V ca. Ka 13 and 7 Ka BP silt (low energy) with high values of Al, Ti, Mn, Fe and Zr and relationships (Fe / Al) indicate high erosion disaerobic conditions, precipitation of Fe oxides and soil stabilization. Based on the results of this study could conclude that the cause of death of many vertebrates deposited facies III, could be a series of volcanic events that occurred in the facies I, which generated changes in environmental conditions in this portion of the lake, inside and outside of it, coupled with drought and cold conditions of the last ice age.

Keywords: Paleolake Cuitzeo, X-ray fluorescence, five facies.

INTRODUCCION

Por su origen los lagos se pueden dividir en tres categorías, los formados por procesos glaciares, tectónicos y fluviales. En México los lagos más importantes se ubican entre los paralelos 19° y 21°, donde la geología responde a la tectónica de convergencia entre las placas de Cocos y de Norteamérica, las cuales han ocasionado una zona de arco volcánico que convive con fallas normales E-O. En esta zona se han formado los lagos de Cuitzeo, Chapala, Pátzcuaro, y otros (Israde-Alcántara *et al.*, 2010a).

Los lagos entonces, son los receptores de terrígenos y de procesos limnológicos que van a formar nuevos procesos exógenos. Los elementos químicos que se encuentran en los sedimentos de los lagos reflejan el material autógeno (ciclos biogeoquímicos, diatomeas) y el alógeno (ceniza), este último modificando sustancialmente a los lagos. La geoquímica en los terrígenos de depósitos lacustres es producto de la interacción de entradas de corrientes de agua (ríos y subterráneas), precipitación, vegetación, aire y procesos internos, todos estos fenómenos estrechamente ligados al clima (Cohen, 2003).

Las depresiones lacustres más conocidas por su extensión en el centro-occidente de México son: Ixtlahuaca, Acámbaro, Acambay, Sayula y Charo, actualmente agotadas; sin embargo sus depósitos indican que albergaron una abundante flora y fauna (Israde-Alcántara *et al.*, 2010). Cuitzeo, Pátzcuaro, Zacapu y Chapala son lagos que se encuentran activos y en sus márgenes laterales afloran sedimentos lacustres elevados por efectos tectónicos (Israde-Alcántara y Garduño-Monroy, 1999).

El lago de Cuitzeo ha sido objeto de diversos estudios geológicos (Pasquarè *et al.*, 1991), geomorfológicos (Mendoza, 2002) y de evolución de la cuenca (Garduño-Monroy y Negrín, 1992, Israde-Alcántara, 1993, Israde-Alcántara, 1995, Israde-Alcántara, 1996, Israde-Alcántara y Garduño-Monroy, 1999, Israde-Alcántara *et al.* 2002, Israde-Alcántara *et al.* (a) y Israde-Alcántara *et al.* (b) 2010).

En el presente trabajo mediante el uso de estratigrafía de detalle, sedimentología, PED-FRX, DRX y métodos estadísticos multivariados, se realizó un análisis de los terrígenos de dos trincheras de la zona norte del lago de Cuitzeo, con la finalidad de hacer una reconstrucción paleoambiental de esta zona, durante el Pleistoceno-Holoceno, utilizando los criterios de Cohen, 2003 y algunos trabajos de Roy (2007) y Roy *et al.* (2008, 2009).

MATERIALES Y METODOS

Descripción de área

La cuenca lacustre de Cuitzeo es la segunda más grande del centro de México, ubicada en la región norte del estado de Michoacán, pertenece a la provincia del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), con una forma alargada en dirección E-O, una extensión de 3675 km² y una altura media 1836-1838 msnm (Fig. 1).

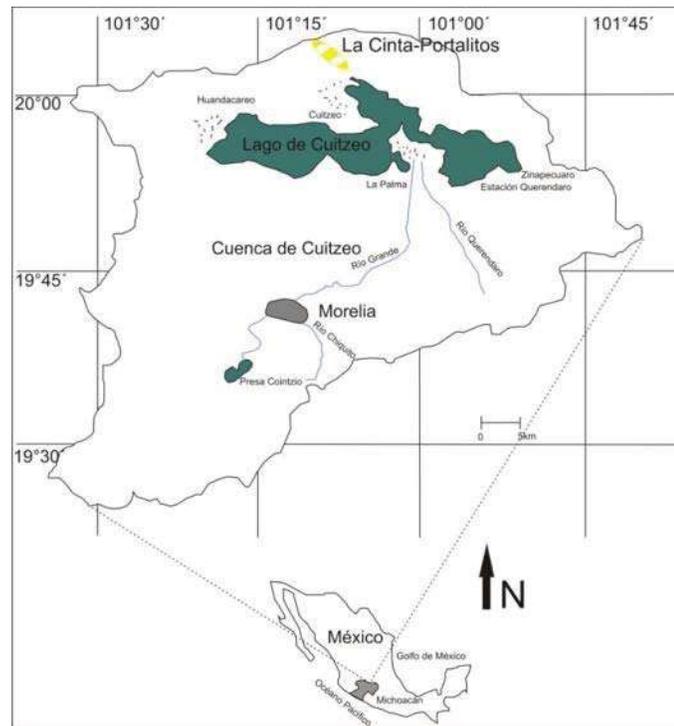


Figura 1. Ubicación de la cuenca de Cuitzeo y del área de estudio La Cinta-Portalitos, Michoacán y Guanajuato.

En el sector sur del lago (Charo), afloran las secuencias lacustres y fluviolacustres más antiguas de la cuenca (Mioceno) (Garduño-Monroy *et al.*, 1999).

En la zona norte (La Cinta-Portalitos), afloran sedimentos más recientes Pleistoceno-Holoceno (García-Zepeda, 2006).

El trabajo de campo consistió en el levantamiento de detalle de varias columnas estratigráficas en la zona norte del lago de Cuitzeo, seleccionando dos por ser las más completas en estudios previos. En cada cambio litológico importante de las columnas se realizó un análisis granulométrico *sensu* López-García (2008).

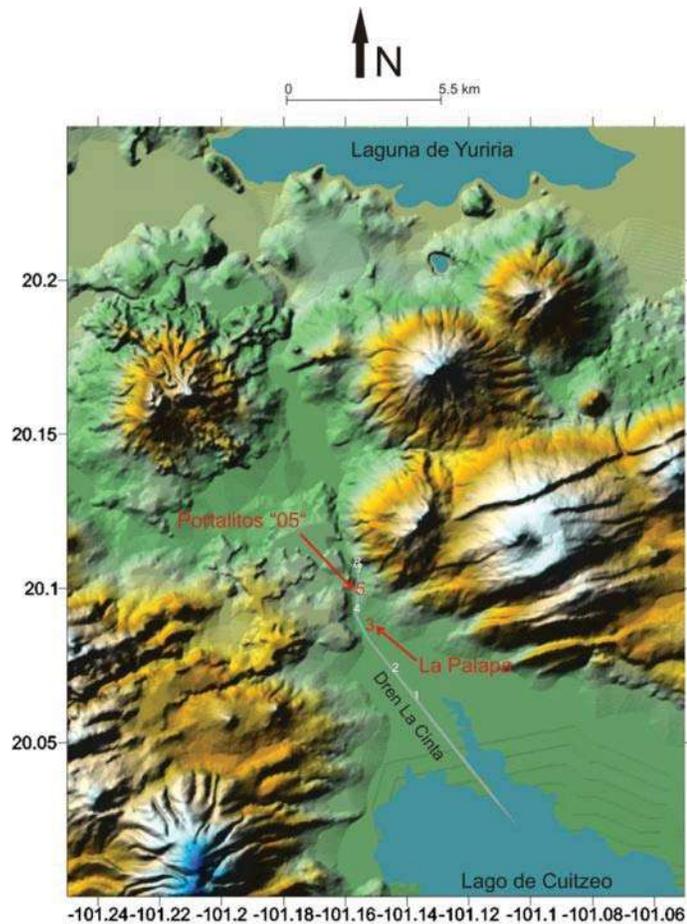


Figura 2. Modelo digital de elevaciones y ubicación de las trincheras estratigráficas en estudio, resaltando la trinchera 3 “La Palapa” y la trinchera 5 “Portalitos 05”.

Análisis geoquímicos

Los análisis geoquímicos de Difracción de Rayos X (DRX) se realizaron en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC, Madrid, España) con un Difractómetro marca Philips PW 1830 Cu $K\alpha = 1.54051$; un escáner angular calibrado a 3° de $65^\circ 2\theta$ con un registrador digital Philips PW 1710. Los difractogramas obtenidos de las muestras se estudiaron con el software XPowder (Versión 2008) tanto para el análisis cualitativo como cuantitativo.

Los análisis de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (FRX) se realizaron en Instituto de Físico Matemáticas (IFM) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), México, con un Espectrómetro Fluorescencia de Rayos X polarizados marca Spectro modelo Xepos III, con un Tubo de rayos X con un ánodo de Pb de potencia

máxima de 50W y voltaje máximo de 50Kv, Pico de la relación de antecedentes Mn K α -Linie>5000:1 con una resolución espectral de Mn α ≤160eV. 6.

Los resultados obtenidos en porcentaje de concentración elemental de las muestras se graficó usando el software Grapher 8, y se estudiaron estadísticamente con el software (JMP 7.0 SAS Institute Inc. y SPSS 14.0 SPSS Inc.). Mediante el uso de métodos multivariados como el Análisis de Componentes Principales (ACP) se exploraron los posibles grupos de estratos formados con base en la concentración de los elementos químicos presentes y se hizo un Análisis de la Función Discriminante (AD) para corroborar la clasificación generada en los ACP, validar la agrupación y evaluar la importancia de las variables utilizadas en la conformación de los grupos.

RESULTADOS

Se levantaron, 8 perfiles estratigráficos en la zona de estudio (Fig. 2), de los cuales, por su representatividad, se describen detalladamente dos de ellos.

Análisis estratigráfico, granulométrico y geoquímico.

Después de un levantamiento descriptivo de detalle, se hizo una correlación de la estratigrafía, granulometría, los análisis PED-FRX y DRX, para los estratos de las columnas en estudio obteniendo la siguiente información:

1. Columna “La Palapa”, 404 cm.

N 20°05' 10.80" W 101° 09' 11.58"

Unidad 1, 20 cm de espesor de arena consolidada de mediana energía; color negro; alto contenido de Na, Al, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Sr, Zr, Ba; moderadas concentraciones de Mg, V, Fe y bajo contenido de Si en relación a los otros estratos. Los valores altos en las relaciones Na/Al, Ca/Mg, Ca/Al, K+Na/Al y Na+K/Si, confirman que este estrato es una ceniza volcánica.

Unidad 2, 25 cm de espesor de arena bien consolidada; mediana energía; color oscuro (tipo andesítico) (Fig. 7 y 10); concentración alta de Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Ba y baja en Si con relación a los otros estratos; valores altos en las relaciones Na/Al, Ca/Mg, Ca/Al, K+Na/Al y Na+K/Si, reafirmando la presencia de ceniza volcánica.

Unidad 3, 15 cm de espesor de arcilla-arenosa; baja energía; color café con lentes de arcilla diatomita; altas concentraciones de Mg, V, Fe; moderadas concentraciones de Na, Al, Si, Ti, Zr, y bajas concentraciones de P, S, K, Ca, Mn, Sr, Ba; altos valores en la

relaciones Si/P, Fe/Mn, Fe/Ti, Sr/Ba, indicando una mezcla de arcilla autógena (diatomita) con arena.

Unidad 4 de 17 cm de espesor de arena bien consolidada; mediana energía; color oscuro (tipo andesítico) (Fig. 8 y 10); altas concentraciones de Na, Al, P, S, K, Ca, Ti, V, Mn, Sr, Zr, Ba; moderadas concentraciones de V y Fe; bajas concentraciones de Si en relación a los otros estratos; altos valores en las relaciones Na/Al, Ca/Mg, Ca/Al, K+Na/Al y Na+K/Si, propias de una unidad volcánica.

Unidad 5, 36 cm de espesor de arcilla-limosa; baja energía; color café claro con nódulos de oxidación; altas concentraciones de Mg; moderadas concentraciones de Na, Al, Si, Ti, V y Fe; bajas concentraciones de P, S, K, Ca, Mn, Sr, Zr, Ba; altos valores en las relaciones Si/P, Fe/Mn, Fe/Ti, Sr/Ba, similar a la unidad tres.

Unidad 6, 10 cm de espesor de arena sin consolidar; baja-media energía; color amarillento; altas concentraciones de Mg, Al, V; moderadas concentraciones de Na, Mg, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr y Ba; valores moderados en las relaciones Fe/Mn y Fe/Al, indicando la entrada de elementos alóctonos producto de procesos erosivos.

Unidad 7, 30 cm de espesor de un microconglomerado; baja-media energía; con clastos de ignimbrita de tipo riolítico (diámetro <0.5 cm) de matriz arcillosa y abundantes restos fósiles de macro y microvertebrados; altas concentraciones de Si; moderadas concentraciones de P, K, Ca, Mn y bajas concentraciones de Na, Mg, Al, S, Ti, V, Fe, Sr, Zr, Ba; alto valor en la relación P/S indican dilución de los elementos presentes y humedad.

Unidad 8 de 175 cm de espesor; baja energía; diatomita; color café lechoso; alta concentración de Si; moderadas concentraciones de Mn y bajas concentraciones de Na, Mg, Al, P, S, K, Ca; Ti, V, Fe, Sr, Zr, Ba; altos valores en las relaciones Si/P y Si/Al y moderado de P/S.

Debido a que las muestras de los estratos 9 y 10 se contaminaron, no fue posible realizar el PED-FRX para obtener los valores concentración de elementos.

Observando la gráfica de PED-FRX de “La Palapa”, trinchera más cercana al lago actual, se observan dos zonas geoquímicas principales, la parte basal con grandes aumentos y decrecimientos de todos los elementos, seguida de una estabilización de la mayoría de los elementos, con excepción del Si que se incrementa de manera considerable en relación con las unidades basales (Fig. 3, Cuadro 1).

2. Columna "Portalitos 05", 408cm

N 20° 05' 52.44" W 101° 09' 22.14"

Unidad 1, 35 cm de espesor de arena con poca arcilla; mediana energía; color amarillento y con pequeños clastos; altas concentraciones de Na, Al, K, V; moderadas concentraciones de P, S, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Ba y bajas concentraciones de Si, (en relación con los demás estratos); alto valor en la relación Sr/Ba y moderado de Na+K/Si, lo que indica entrada de sedimentos alóctonos al lago producto de procesos erosivos.

Unidad 2, 23 cm de espesor de arena gruesa bien consolidada; mediana energía; color verde; altas concentraciones de Na, Al, P, S, K, Ca, Ti, Sr, Ba; moderadas concentraciones de V, Mn, Fe, y bajas concentraciones de Si, (en relación con los demás estratos); valores altos en las relaciones Na/Al, Ca/Mg, K+Na/Al y Na+K/Si, confirmando que esta unidad es una ceniza volcánica.

Unidad 3, 10 cm de espesor de arena con poca arcilla; mediana energía; color amarillento; altas concentraciones de Na, Al, K, V; moderadas concentraciones de Mg, Si, P, S, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Ba; valor alto en la relación Sr/Ba y moderado de Na+K/Si, similar a la unidad 1.

Unidad 4, 15 cm de espesor de arena gruesa bien consolidada; mediana energía; color verde; altas concentraciones de Na, Al, P, S, K, Ca, V, Fe, Sr, Ba; moderadas concentraciones de Mg, Ti, Mn, Zr y bajas concentraciones de Si, (en relación con los demás estratos); altos valores en las relaciones Na/Al, Fe/Al, K+Na/Al y Na+K/Si, similar a la unidad 2.

Unidad 5, 55 cm de espesor de diatomita; baja energía; color café claro con altas concentraciones de Si, Ca y Mn; moderadas concentraciones de Mg, P, Sr, V y bajas concentraciones de Na, Al, S, K, Ti, Fe, Zr, Ba; altos valores en las relaciones Si/Al, P/S, Ca/Al, Sr/Ba.

Unidad 6, 100 cm de espesor de diatomita; baja energía; color café claro con nódulos de carbonatos; altas concentraciones de Mg, Ca; moderadas concentraciones de Si, P, K, Sr y bajas concentraciones de Na, Al, S, Ti, V, Mn, Fe, Zr, Ba; altos valores en las relaciones Si/Al, Ca/Al, Fe/Mn y Sr/Ba similar a la unidad 5
Unidad 7, 60 cm de espesor de limo-arcilloso; baja energía; color oscuro; altas concentraciones de Mg, K; moderadas concentraciones de Si, Al, Fe, y bajas concentraciones de Na, P, S, Ca, Ti, V, Mn, Sr, Zr, B; altos valores de las relaciones Si/P, P/S, Fe/Mn y Fe/Ti, indicando la entrada de elementos alóctonos por procesos erosivos.

Unidad 8, 15 cm de espesor de limo; baja energía; color café oscuro; altas concentraciones de Si, moderadas concentraciones de Na, Mg, K, Ca, Sr, Zr, Ba y bajas concentraciones de Al, Fe, Ti, P, S, V, Mn; alto valor en la relación Si/P.

Unidad 9, 25 cm de espesor de limo; baja energía; color rojizo con nódulos de oxidación; altas concentraciones de Al, Ti, V, Mn, Fe, Zr; moderadas concentraciones de Na, Mg, Si, P, S, K, Ba y bajas concentraciones de Ca y Sr; alto valor de la relación Fe/Al.

Unidad 10, 70 cm de espesor de limo; baja energía; color rojizo; altas concentraciones de Al, Ti, V, Mn, Fe, Zr; moderadas concentraciones de Si, P, S, Ba y bajas concentraciones de Na, Mg, K, Ca, Sr; alto valor de la relación Fe/Al, similar al estrato 9.

Observando la gráfica de PED-FRX de “Portalitos 05”, trinchera más alejada al lago actual, se observa en la parte basal un aumento y descenso en la mayoría de los elementos, en la parte media de la columna se presenta una estabilización en el nivel de gran parte de los elementos, a excepción de un incremento del Si; en la parte superior existe un ligero acrecentamiento en algunos elementos como el Al, Fe, Ti, Mn, V y Zr (Fig. 4, Cuadro 2).

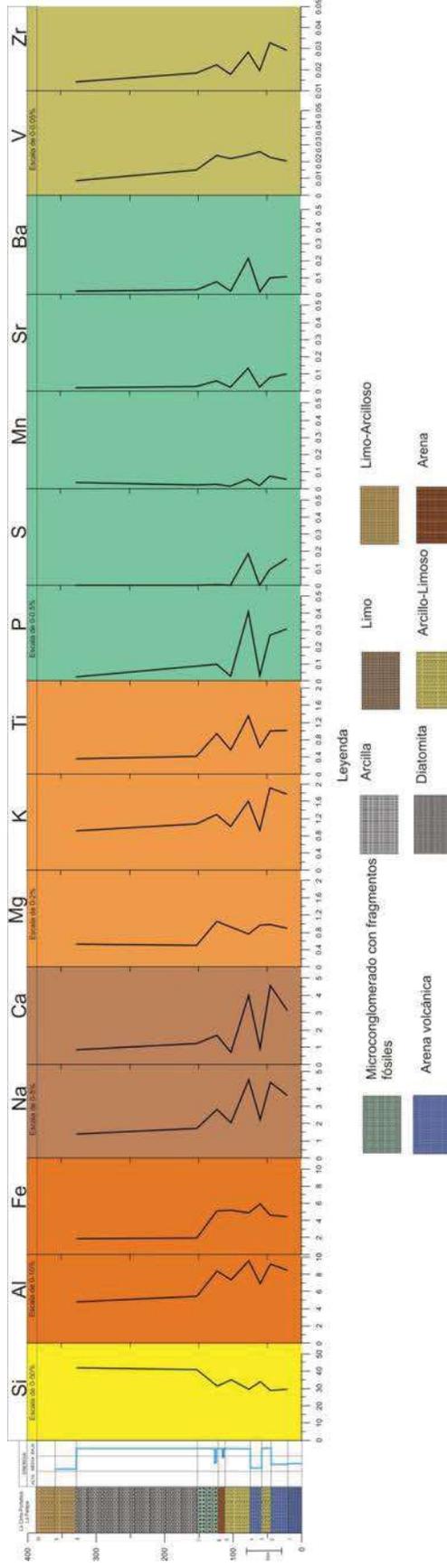


Figura 3. Análisis PED-FRX que muestra la concentración de elementos químicos de la trinchera de “La Palapa”. De izquierda a derecha, columna estratigráfica, gráfica general de energía de depósito. De color amarillo concentraciones de 0-50%, naranja concentraciones de 0-10%, color café concentraciones de 0-5%, color café claro concentraciones de 0-2%, color azul concentraciones de 0-0.5%, color verde concentraciones de 0-0.05%.

Cuadro 1. Relaciones de concentración de elementos químicos de PED-FRX de la trinchera “La Palapa”.

	Na/Al	Si/Al	Si/P	P/S	Ca/Mg	Ca/Al	Fe/Mn	Fe/Ti	Sr/Ba	Fe/Al	(K+Na/Al)	(Na+K/Si)
Estrato 8	0.29	8.79	1661.26	126.50	1.57	0.18	52.30	5.30	0.83	0.40	0.48	0.06
Estrato 7	0.32	7.52	475.58	428.00	2.37	0.22	79.12	4.64	0.97	0.36	0.52	0.07
Estrato 6	0.34	3.74	319.01	15.17	1.59	0.20	183.66	5.43	0.80	0.61	0.49	0.13
Estrato 5	0.28	4.76	1361.52	128.90	0.78	0.10	320.40	9.09	1.20	0.70	0.42	0.09
Estrato 4	0.48	3.09	72.46	2.19	5.19	0.42	84.46	3.61	0.63	0.51	0.64	0.21
Estrato 3	0.33	4.88	1092.12	154.15	0.96	0.13	313.10	9.57	1.39	0.86	0.46	0.09
Estrato 2	0.48	3.14	106.92	2.89	4.65	0.50	61.84	4.55	0.79	0.50	0.69	0.22
Estrato 1	0.43	3.48	96.02	1.97	3.45	0.37	78.32	4.38	0.96	0.53	0.64	0.18

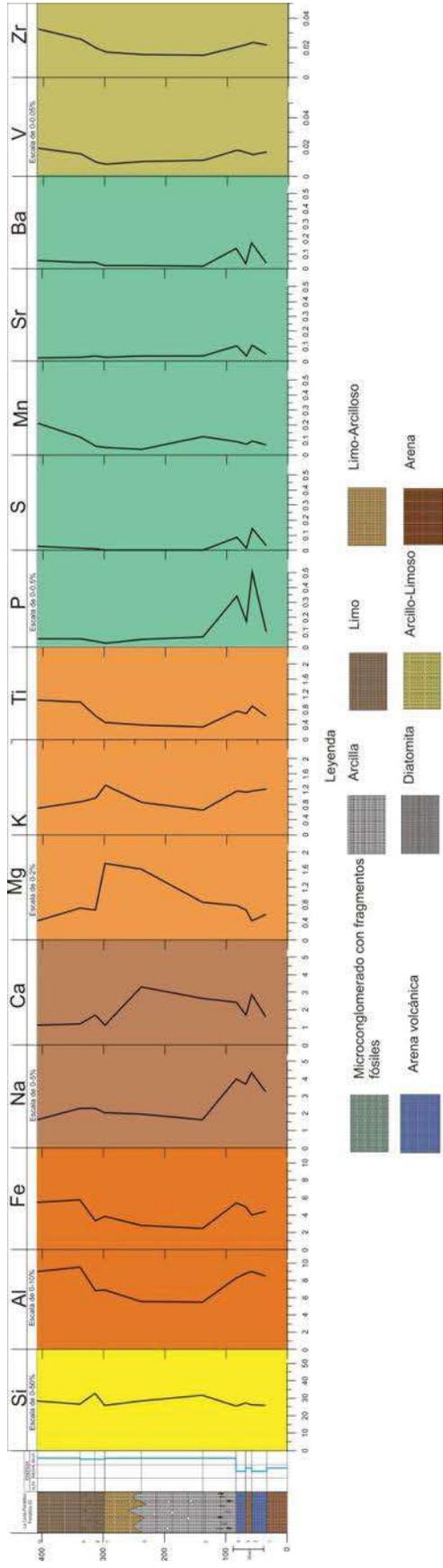


Figura 4. Análisis PED-FRX que muestra la concentración de elementos químicos de la trinchera de “Portalitos 05” de izquierda a derecha, columna estratigráfica, gráfica general de energía de depósito. De color amarillo concentraciones de 0-50%, naranja concentraciones de 0-10%, color café concentraciones de 0-5%, color café claro concentraciones de 0-2%, color azul concentraciones de 0-0.5%, color verde concentraciones de 0-0.05%.

Cuadro 2. Relaciones de concentración de elementos químicos de PED-FRX de la trinchera “Portalitos 05”.

	Na/Al	Si/Al	Si/P	P/S	Ca/Mg	Ca/Al	Fe/Mn	Fe/Ti	Sr/Ba	Fe/Al	(K+Na/Al)	(Na+K/Si)
Estrato 10	0.18	3.13	494.06	2.16	2.61	0.13	25.81	5.24	0.38	0.60	0.26	0.08
Estrato 9	0.24	2.79	461.00	4.34	1.63	0.12	47.69	5.82	0.60	0.61	0.33	0.12
Estrato 8	0.34	4.82	884.41	3.71	2.51	0.25	57.37	5.25	0.82	0.48	0.48	0.10
Estrato 7	0.29	3.73	970.20	132.55	0.64	0.16	75.05	8.29	1.22	0.55	0.48	0.13
Estrato 6	0.35	5.11	525.48	61.33	2.05	0.59	76.07	7.27	1.64	0.51	0.51	0.10
Estrato 5	0.30	5.74	461.63	342.05	3.10	0.48	20.03	7.17	1.95	0.45	0.42	0.07
Estrato 4	0.48	3.08	73.79	3.95	3.08	0.29	61.35	7.09	0.77	0.65	0.62	0.20
Estrato 3	0.42	3.08	159.56	14.51	2.49	0.19	67.65	7.14	1.06	0.56	0.54	0.18
Estrato 2	0.48	2.88	51.60	3.44	6.54	0.32	41.37	4.39	0.63	0.44	0.61	0.21
Estrato 1	0.38	3.03	250.05	3.30	2.76	0.19	64.94	7.02	1.15	0.52	0.52	0.17

Grupos geoquímicos

Análisis multivariados

Usando los valores de concentración de 15 elementos (Si, Al, Fe, Na, Ca, Mg, K, Ti, P; S, Mn, Sr, Ba, V, Zr) en 19 muestras de sedimento de las columnas estratigráficas en estudio y mediante Análisis de Componentes Principales y Análisis Discriminantes canónicos, se pudieron diferenciar cuatro grupos o zonas geoquímicas.

Análisis de Componentes Principales.

Los resultados del ACP de los valores de la concentración de los elementos químicos, en las columnas estratigráficas de “La Palapa” y “Portalitos 05”, indican que los dos primeros componentes acumulan el 69.6% de la varianza. El componente principal uno reúne el 54.09% de la varianza explicada y las variables que conforman este componente son: Na, Al, Si, P, S, K, Ti, V, Sr, Zr, Ba, mientras que el componente dos explica el 15.59% de la varianza, y las variables Mg, Ca, Mn y Fe son las de mayor peso explicativo en este componente (Cuadro 3, Fig.5).

Cuadro 3. Número de componente, eigenvalor, porcentaje y porcentaje acumulado de los valores de concentración de elementos químicos de las columnas estratigráficas de “La Palapa” y “Portalitos 05” provenientes del ACP.

Numero	Eigenvalor	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	8.1139	54.093	54.093
2	2.3390	15.593	69.686

Con los datos analizados se encontraron cuatro grupos geoquímicos:

Grupo Uno: Usando el primer componente se reúnen los estratos 1, 2 y 4 de “La Palapa” y 2 y 4 de “Portalitos 05”, los cuales presentan altas concentraciones de Na, P, S, K, Ti, V, Sr, Ba, y Zr, así como bajas concentraciones de Si (con relación a los otros estratos). Con las variables del componente 2, presentan altas concentraciones de Mg, Ca, Mn y Fe (Fig. 5).

Grupo Dos: Usando el primer componente se reúnen los estratos 3, 5 y 6 de “La Palapa” y 1 y 3 de “Portalitos 05”, los cuales presentan altas concentraciones de Al, V, moderadas concentraciones de Na, Si, P, S, K, Ti, Sr, Zr, concentraciones de bajas a medias de Ba. Con las variables del componente 2, presentan altas concentraciones de Fe y moderadas concentraciones de Mg, Ca y Mn (Fig. 5).

Grupo Tres: Usando el primer componente se reúnen los estratos 7 y 8 de “La Palapa” y 5, 6, 7 y 8 de “Portalitos 05”, los cuales presentan altas concentraciones de Si, moderadas concentraciones de P, Sr, y bajas concentraciones de Na, Al, S, K, Ti, V, Zr, Ba. Con las variables del componente 2, presentan altas concentraciones de Mg, moderadas concentraciones de Ca y bajas concentraciones de Mn y Fe (Fig. 5).

Grupo Cuatro: Usando el primer componente se reúnen los estratos 9 y 10 de “Portalitos 05”, los cuales presentan altas concentraciones de Al, Ti, Zr, moderadas concentraciones de Na, Si, P, S, V, Sr, Ba, bajas concentraciones de K, con el componente 2 altas concentraciones de Mn y Fe, y bajas concentraciones de Mg y Ca (Fig. 5).

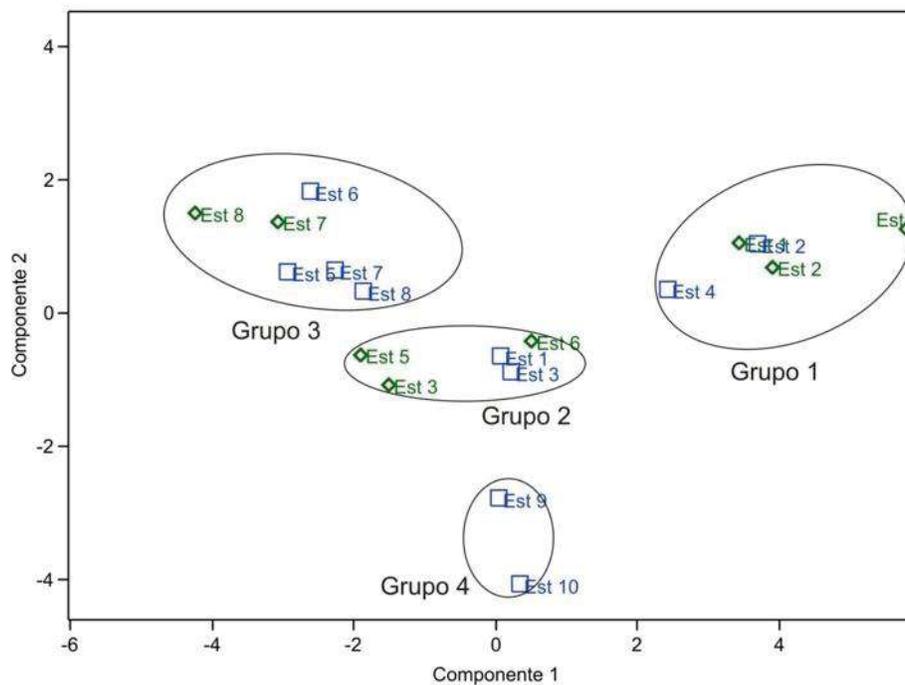


Figura 5. Componentes principales 1 y 2 de los valores de concentración de elementos químicos de las columnas estratigráficas de “La Palapa” y “Portalitos 05”. Los cuadrados azules representan la columna de “Portalitos 05”, Los rombos de color verde representan la columna de “La Palapa”, las elipses representan el grupo al que pertenece a cada unidad.

Análisis Discriminante

Los resultados del Análisis Discriminante indican una clasificación correcta del 100% de la agrupación original y del 94.4% por tabulación cruzada de los grupos geoquímicos en sedimentos lacustres obtenidos en los ACP (Fig. 6).

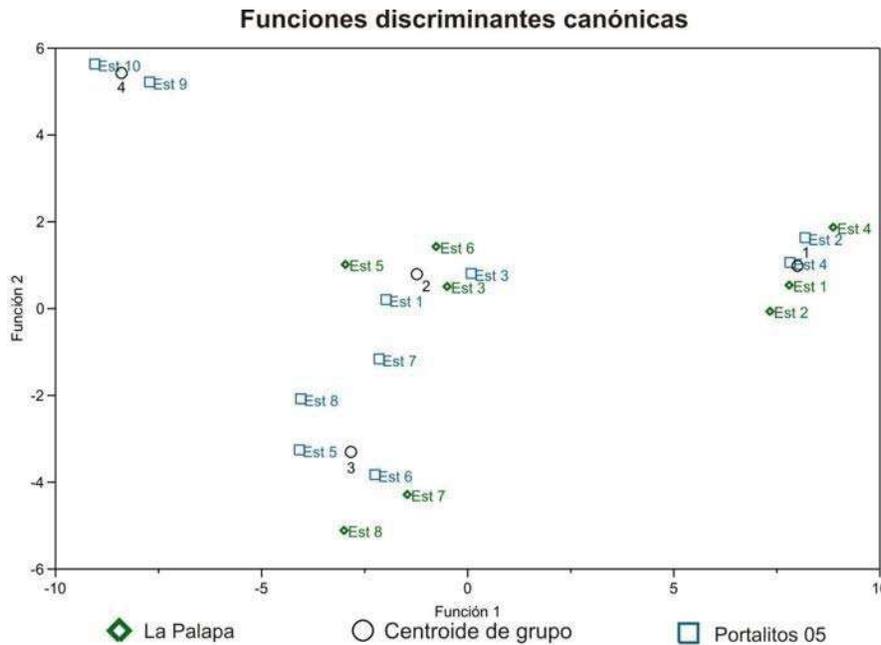


Figura 6. Análisis Discriminante de los valores de concentración de elementos químicos de las columnas estratigráficas de “La Palapa” y “Portalitos 05”. Los cuadrados azules representan la columna de “Portalitos 05”, Los romboides de color verde representan la columna de La Palapa y los círculos los centroides de grupo.

Mineralogía

Debido a su litología y la presencia de restos fósiles, se analizaron tres diferentes niveles de la columna “La Palapa” mediante un DRX para conocer su composición mineralógica, donde se pueden observar dos grupos de minerales: a) minerales de tipo andesítico (Fig. 7, 8 y 10) y b) minerales de tipo riolítico (Fig. 9 y 10).

Los minerales andesíticos se encuentran en los horizontes 2 y 4 presentan una fracción de componentes amorfos (~20-23%), las fases minerales son predominantemente feldespáticas de tipo Albita (~65-70%) y menos de tipo sanidina y algo de cuarzo (~1%). Los componentes restantes son filosilicatos (~6-10%) (Fig. 7, 8 y 10).

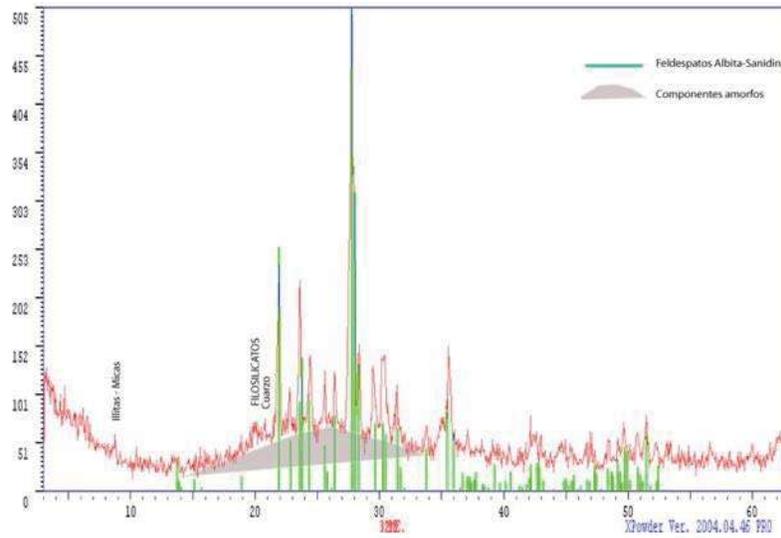


Figura 7. Difractograma de la unidad 2 de la trinchera “La Palapa”.

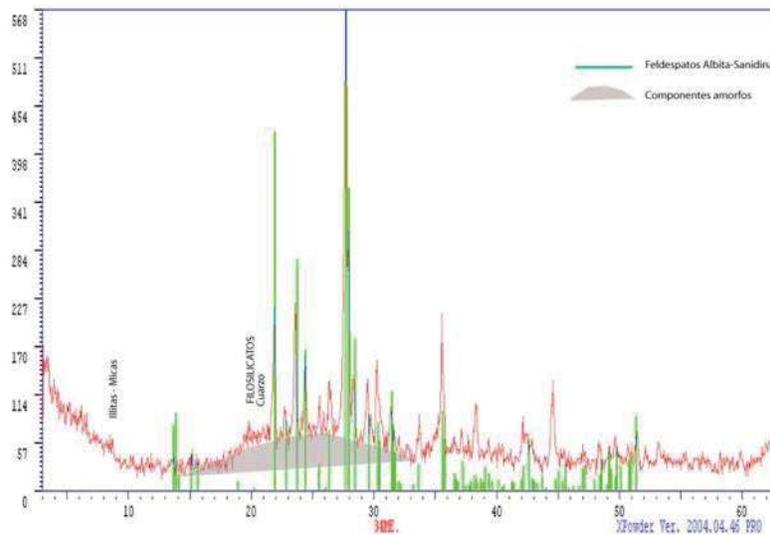


Figura 8. Difractograma de la unidad 4 de la trinchera “La Palapa”.

Los minerales riolíticos se encuentran en el horizonte 7 acompañados de abundantes restos fósiles, donde presentan una fracción de componentes amorfos (~16%), mientras que las restantes fases minerales son predominantemente feldespáticas de tipo Albita (~30%) y menos de tipo sanidina. Destaca una mayor proporción de cuarzo (~8%) y de Cristobalita (~6%) el cual es un polimorfo del cuarzo; siendo significativa la presencia de filosilicatos (Fig. 9 y 10).

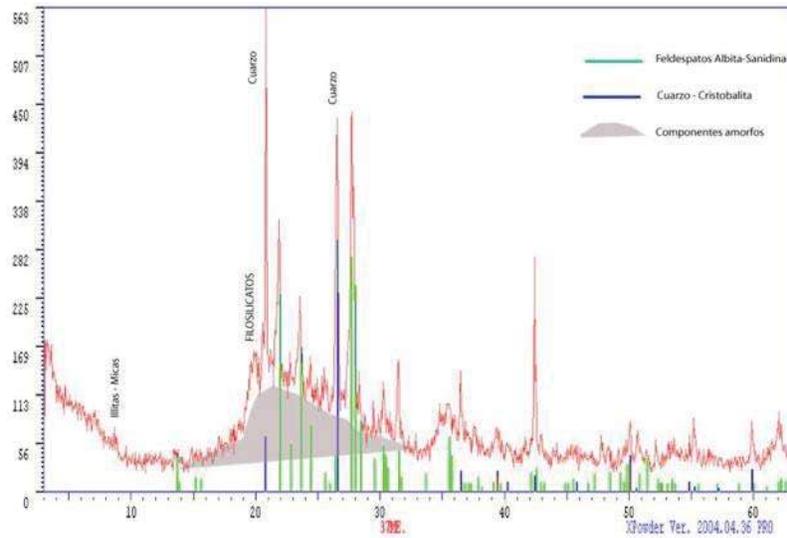


Figura 9. Difractograma de la unidad 7 de la trinchera “La Palapa”.

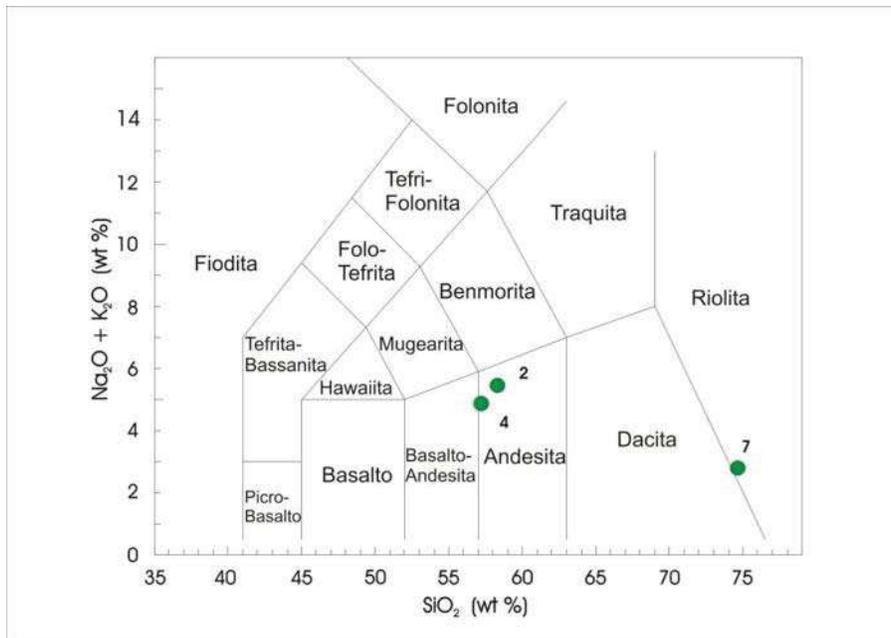


Figura 10. Análisis geoquímico (DRX) de los niveles (2, 4 y 7) donde se observa la posición de las muestra en relación a el tipo de sedimentos que la componen.

Correlación de edades

Tomando las edades radiométricas y la cota de la altura del núcleo que presenta Israde-Alcántara *et al.* (2010b), se propone una correlación de dicho trabajo con las trincheras del presente estudio. Considerando que la columna de Israde-Alcántara *et al.*

(2010b) inició a los 1838 msnm y que nuestras columnas iniciaron a 1837 msnm, se establece una correlación de edades que se presentan en la figura 11, en la que se les asigna una edad que va desde ca. 32, 565 años AP a la actualidad, comprendiendo los últimos 20 ka del Pleistoceno tardío y todo el Holoceno (Fig.11).

Asumiendo tasas de sedimentación constantes entre las fechas disponibles de Israde-Alcántara *et al.* (2010b), se hizo una correlación lineal entre las dataciones y la profundidad (R^2 0.8943). Posteriormente, usando el contacto inferior y superior de cada Facie en estudio y mediante la ecuación de predicción obtenida, fueron calculadas las fechas aproximadas que delimitan cada facies obteniendo los siguientes resultados: La facies I fue la más antigua entre ca. 26 Ka a 23 Ka AP; la Facie II muy similar entre ca. 26 Ka a 22 Ka AP; la Facie III entre ca. 21 Ka a 19.5 Ka AP; y la Facie IV entre ca. 21 Ka a 13 Ka AP y la Facie V entre ca. 13 Ka a 7 Ka AP (Fig.11).

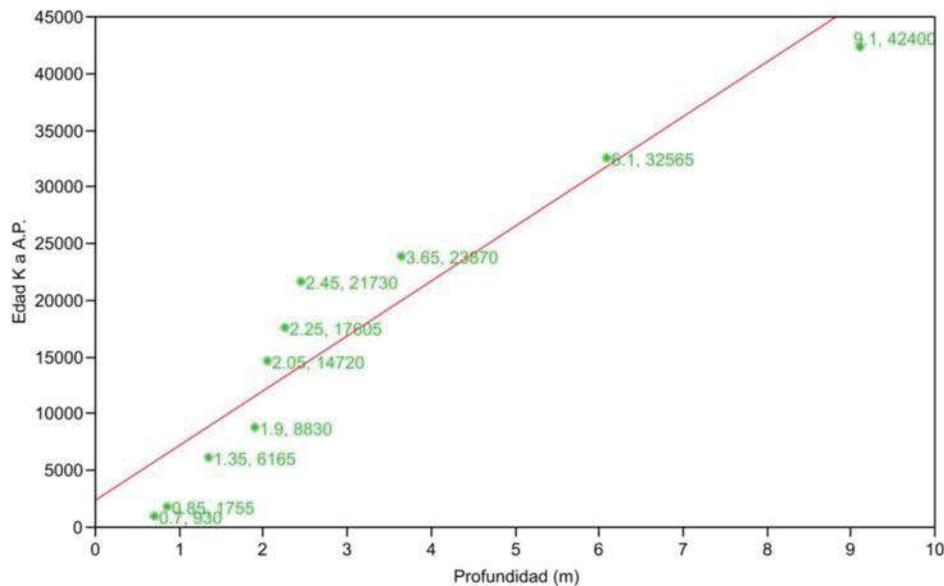


Figura 11. Correlación lineal entre la profundidad y las edades de Israde-Alcántara *et al.* (2010b). Los asteriscos marcan la edad y su profundidad.

DISCUSION

Con base en los grupos geoquímicos producto de los análisis multivariantes, la estratigrafía, la sedimentología, los PED-FRX y DRX, se identificaron 5 facies lacustres.

La facies I "Volcánica" (vulcanismo monogenético) reúne el grupo 1 de los ACP y AD; son depósitos de arena de origen volcánico de mediana energía de tipo andesítico DRX (Fig. 7, 8 y 10); generando modificaciones en las condiciones del lago, donde se han identificado Na, Ca, K, Mg, Mn, Al, P, S, Fe, Ti, V, Sr, Ba y Zr en altas concentraciones

que podría estar relacionada a un incremento en la salinidad (Cohen, 2003). Los altos valores relativos de las relaciones $K+Na/Al$ y $Na+K/Si$ están vinculados con sedimentos volcánicos, y las relaciones Na/Al y Ca/Mg según Roy (2008), están ligadas a una alta evaporación y entrada de sedimentos por procesos eólicos, por lo que la depositación de cenizas pudo haber causado un decrecimiento en el nivel del tirante de agua en esa zona del lago y el cierre del mismo por los derrames de lava, transformando la cuenca en endorreica. La ausencia de restos orgánicos visibles coincide con lo que Israde-Alcántara *et al.* (2010b) define como Zona V y asigna una edad de ca. 35 Ka a 18 Ka AP (Fig. 12), donde los registros de polen y diatomeas son escasos, atribuyéndolo a una perturbación provocada por actividad volcánica que modificó las condiciones dentro y fuera del lago, afectando tanto a la flora como la fauna.

La facies II “aumento en los niveles de fluctuación del lago”, reúne el grupo 2 de los ACP y AD, son depósitos areno-arcilloso de media-baja energía, debido a la mezcla de arena de origen volcánico evidencia de procesos erosivos y arcilla autógena, esto apoyado por la alta concentración de Al, Fe y V, moderada concentración de Na, Mg, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Sr y Zr que podrían estar vinculados a una salinidad intermedia y erosión (Cohen, 2003), por lo que se infiere que la cuenca aún era endorreica. Estas facies muestra altos valores relativos en las relaciones Si/P , Fe/Mn , Fe/Ti , Sr/Ba y moderados de $K+Na/Al$ y $Na+K/Si$, estos últimos indican la entrada de sedimentos de origen volcánico. La relación Fe/Mn puede ser interpretada como condiciones disaeróbicas (Cohen, 2003), además de la ausencia de restos orgánicos visibles que indican condiciones poco favorables para el desarrollo de organismos en el lago.

La facies III fluvio-lacustre a la que pertenece la unidad 7 de “La Palapa”, tenía mediana energía, con un depósito de microconglomerado, con clastos de ignimbríta de tipo riolítico (Fig. 9 y 10), abundantes restos fósiles de macro y microvertebrados del Pleistoceno tardío o Rancholabreano (~160 Ka a ~10 Ka *sensu* Woodburne, 2004 en García-Zepeda, 2006), organismos que perecieron probablemente a causa de la perturbación ambiental provocada por la actividad volcánica de la facie I y fueron retransportados en esta facies. Con base en la correlación de las columnas en estudio, las edades y núcleo de Israde-Alcántara *et al.* (2010b), a los restos fósiles se les atribuye una edad de entre ~32, 565 y ~18,500 años AP y a estas facies se le infiere una edad de entre ca. 21 Ka y 19.5 Ka AP que coincide con el último máximo glaciar y presenta similitud con el comportamiento del lago de Chalco en este periodo (Caballero-Miranda, 1997), registrando una mayor humedad y aumento en el nivel lacustre (Fig. 11 y 12).

Debido a la dilución en la concentración de casi todos los elementos mayores y debido a la mediana energía, se deducen niveles altos de humedad posiblemente producto de un periodo de excesos de precipitación pluvial. Las moderadas concentraciones de Na, P y Ca y el alto valor relativo en la relación (P/S) está ligado con

la cantidad de elementos fósiles que se presentan en esta unidad, y los clastos de origen riolítico (Figura 9 y 10) que originalmente se encuentran en rocas que afloran en la zona sur del lago (Ver capítulo I), indican que la dirección del canal fosilífero es de S a N siendo La Cinta-Portalitos (cota 1840 msnm) una área de salida de agua del lago, indicando que la cuenca sufrió un cambio de endorreica a exorreica.

La facies IV lago “estable y somero”, reúne el grupo 3 de los ACP y AD; son sedimentos de diatomita de gran espesor en promedio de 110 cm y baja energía, que con base en las edades Israde-Alcántara *et al.* (2010b), se calculó que 150 cm de diatomea se depositan en aproximadamente ~10 Ka, por lo que para las trincheras en estudio la depositación duró cerca de ~8 Ka y podrían tener una antigüedad de entre ca. 21 Ka y 13 Ka AP (Fig. 11).

Las unidades de estas facies presentan altas concentraciones de Si y valores relativos altos en las relaciones Si/P y P/S que en nuestro estudio podrían ser un indicador de productividad y bajos niveles de K+Na/Al y Na+K/Si, los cuales están relacionados con sedimentos volcánicos, mostrando la nula entrada de estos, lo que indica estabilidad en el lago. La alta concentración de Si está vinculada con la presencia de diatomeas, lo que muestra un aumento en la comunidad fitoplanctónica del lago como en la Zona VI de Israde-Alcántara *et al.* (2010b); mientras que las bajas concentraciones de los otros elementos muestra poca erosión en la cuenca y la poca entrada de sedimentos alóctonos.

En las unidades 5 y 6 de la columna “Portalitos 05”, se encuentran valores altos de la relación Ca/Al y Sr/Ba que según Roy (2008), presentan bajos valores en fases húmedas y se encuentran en rocas evaporíticas (carbonatos y yeso), lo que indica que estas unidades sufrían momentos de desecación, por lo que se infiere que esta trinchera pertenecía a la zona litoral y que el lago comenzó a perder su tirante de agua en esta ubicación, lo que demostraría un cierre de la cuenca.

La facies V “culminación del lago”, reúne el grupo 4 de los ACP y AD, depósitos de limo de espesor promedio de 42 cm de color rojizo de baja energía. Con base en las edades Israde-Alcántara *et al.* (2010b), se calculó que 50 cm de limo se depositan en aproximadamente ~2.5 Ka por lo que para las trincheras en estudio la depositación duró cerca de ~2 Ka y podrían tener una edad de entre ca. 13 Ka y 7 Ka AP.

Las unidades presentan altos valores de Al, Ti, Mn, Fe y Zr y en las relaciones Fe/Al, indican gran erosión, la cual introdujo sedimentos alóctonos al lago, condiciones disaeróbicas dentro de la cuenca con suelos de humedales y precipitación de óxidos de Fe (Pennington *et al.*, 1972), señalando además un periodo de clima cálido y estabilización de suelo (Cohen, 2003).

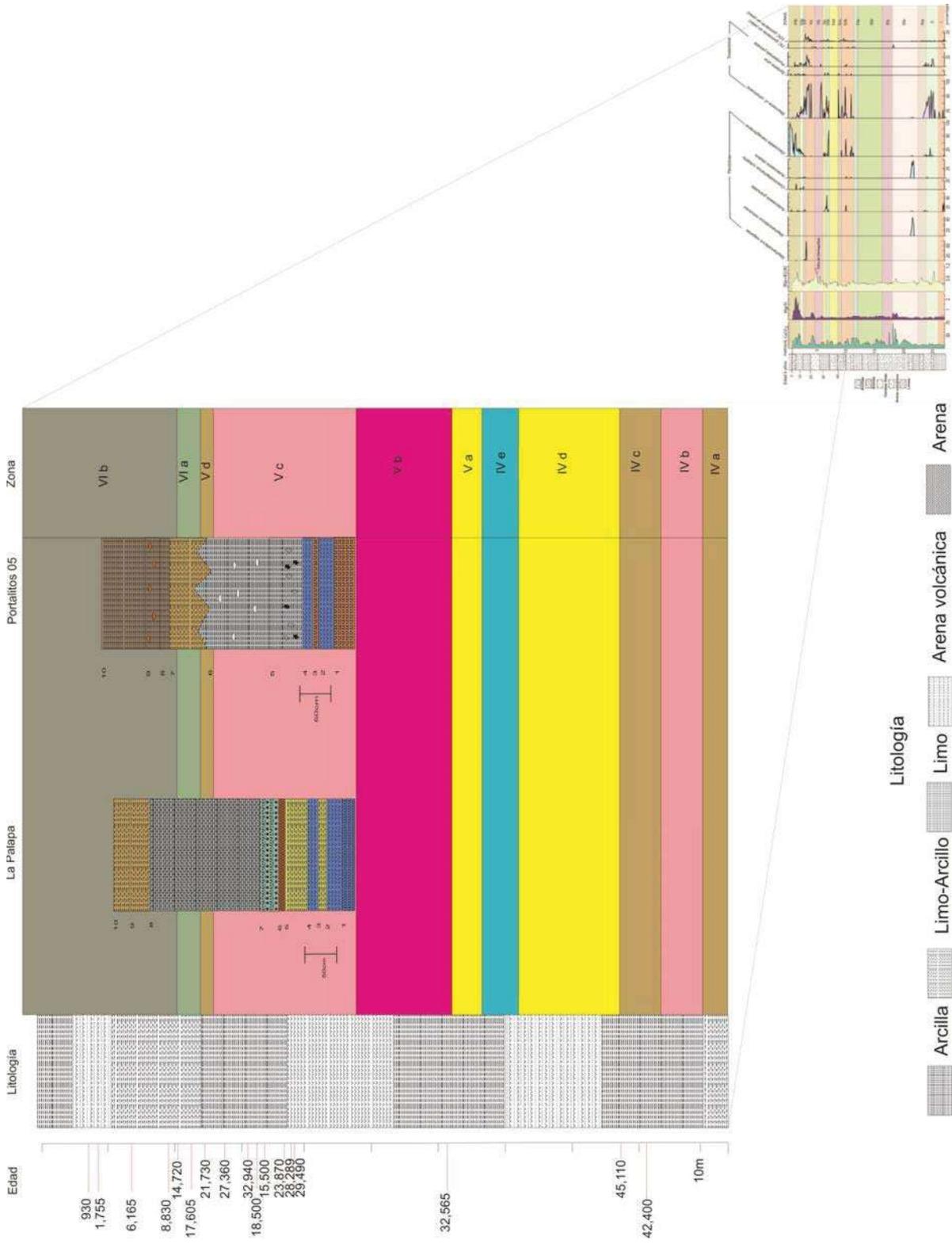


Figura 12. Columnas de La Cinta-Portaitos (“La Palapa” y “Portaitos 05”) en correlación con el núcleo de Israde-Alcántara *et al.* (2010).

CONCLUSIONES

Los análisis multivariados como ACP apoyado con el AD permiten realizar agrupaciones y hacer correlaciones estratigráficas estadísticas basadas en concentraciones de los elementos químicos mediante un PED-FRX.

Con base en los grupos de los ACP y AD, la estratigrafía de detalle, sedimentología, DRX y PED-FRX, se pudieron diferenciar 5 facies lacustres en los sedimentos de dos trincheras, la Facie I asociada con vulcanismo (monogenético) andesítico y perturbación ambiental dentro y fuera del lago (alta salinidad, evaporación y destrucción de la comunidad fitoplanctónica y vegetal) y cierre del lago endorreico; la Facie II de fluctuación en los niveles del lago y mediana erosión; la Facie III de tipo fluvio-lacustre de gran humedad con presencia de restos fósiles de macrovertebrados y microvertebrados en un lago exorreico; la Facie IV de lago estable y somero donde la zona norte del estudio comenzaba a ser el litoral del lago en un lago endorreico y la Facie V con un bajo nivel de agua y formación de suelos con humedad recurrente y entrada de sedimentos alóctonos por erosión.

En el presente estudio se puede apreciar que durante la fase final del Pleistoceno tardío y el Holoceno, el lago ha pasado de ser exorreico a endorreico y viceversa por lo menos una vez en este lapso, asociado a diversos factores ambientales como el tectonismo, el vulcanismo y condiciones atmosféricas, lo que evidencia la inestabilidad de la cuenca.

Con base en los resultados de este estudio, se puede concluir que la causa de muerte del gran número de vertebrados de las facies III podría ser la serie de episodios volcánicos que se presentaron ca. 26 Ka a 23 Ka AP, cuyos productos explosivos y de caída generaron cambios importantes en esta porción del lago, ocasionando así un cambio de condiciones ambientales dentro y fuera del lago, por un aumento en la salinidad, erosión, destrucción de la cobertura vegetal, aunado al frío y sequía de la última era glacial (Caballero-Miranda, 1997; Israde-Alcántara *et al.*, 2010b) que existía en ese momento del tiempo geológico.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Coordinación de la Investigación Científica de esa institución por el apoyo financiero; al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y al Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid España, por los Análisis de Difracción de Rayos X y al Instituto de Física y Matemáticas de la UMSNH por los Análisis de Fluorescencia de Rayos X. Se agradece también al Instituto de Antropología e Historia por su apoyo y colaboración.

El primer autor agradece al CONACyT por la beca para estudios de maestría de los que surge el presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Caballero-Miranda, M. E., 1997, **Reconstrucción Paleolimnológica del lago de Chalco, México, Durante el Último Máximo Glaciar-El Registro de Diatomeas entre 34,000 y 15, 000 años A.P.**: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 14 (1), 91-100.
- Cohen, A. S. 2003, **Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems.**, Oxford University Press, New York, 500 pp.
- García-Zepeda, M. L., 2006, **Nuovi dati Paleontologici dalla depressione lacustre di Cuitzeo Michoacán, México**, Università degli studi di Firenze, Italia, tesis doctoral, 115 pp.
- Garduño-Monroy, V.H, Negrín, J.L. 1992, **Magmatismo, hiatus y tectonismo de la Sierra Madre Occidental y del Cinturón Volcánico Mexicano**: Geofísica Internacional, 31, 417-429.
- Garduño-Monroy, V. H., Corona-Chavez, P., Israde-Alcantara, I, Mennella L., Arreygue, E., Bigioggero, B., Y, Chiesa S., 1999, **Carta Geológica de Michoacán, Escala 1:250, 000**: Secretaria de Difusión y Extensión Universitaria, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México, 111 pp.
- Istrade-Alcántara, I., 1993, **Diatomeas neogenes de sector central del Cinturón Volcánico Mexicano (lago de Cuitzeo) y su relación con la evolución Vulcano-Tectónica**: First International conference on climatic change in México. pp. 69-70.
- Istrade-Alcántara I., 1995, **Bacini Lacustri dal Settore Centrale dall'arco vulcanico messicano. Stratigrafia ed evoluzione vulcanotettonica basata sulle diatomee**: Milán, Università degli Studi di Milano, tesis doctoral, 254 p.
- Istrade-Alcántara, I. y Cervantes, H. F., 1996, **Evolución del Lago de Cuitzeo en el Cuaternario, datos preliminares**, en IX Coloquio de paleobotánica y Palinología, Memorias IMP, pp.110.
- Istrade, A. I., 1999, **El Terciario tardío, de la Sub-Cuenca de Charo, Michoacán, México Paleoambientes y Vertebrados Fósiles**, Morelia, Mich; México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de biología, tesis de Licenciatura, 113 pp.
- Istrade-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V.H., 1999, **Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting. The evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin systeme (Central wester Michoacan, Mexico)**: Palaecogeography, Palaoclimatology, Palaecology 151, 209-227.
- Istrade-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V.H., Ortega-Murillo, R., 2002, **Paleoambiente lacustre del Cuaternario tardío en el centro del lago de Cuitzeo**: Hidrobiologica, 12 (1), pp.61-78.
- (a)Istrade-Alcantara, I., Miller, W. E., Garduño-Monroy, V. H., Barron J., Rodriguez-Pascua, M. A., 2010, **Palaeoenvironmental significance of diatom and vetebrate fossils from Late Cenozoic tectonic basins in west-central México:A review**: Quaternay International 219, pp. 79-94
- (b)Istrade-Alcántara, I., Velázquez-Durán, R., Lozano García Ma., Domínguez Vázquez, G., Garduño-Monroy, V. H., 2010, **Evolución Paleolimnológica del Lago Cuitzeo, Michoacán durante el Pleistoceno-Holoceno**: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 62 (3), pp. 345-357.
- López-García, J. R., 2008, **Estudio estratigráfico, sedimentológico y paleontológico de la region de Indaparapeo-Charo, Paleolago de Cuitzeo, Mich., México**. Morelia, Mich; México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de investigaciones metalúrgicas, tesis Maestría, 129 pp.

- Mendoza, C.M.E., 2002, **Implicaciones del cambio de cobertura y uso del suelo en el Balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo**, Mexico D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Postgrado en Ciencias de La Tierra, Instituto de Geofísica, tesis doctorado, 186 pp.
- Pasquarè G., Ferrari L., Garduño-Monroy, V.H., Tibaldi A., Vezzoli L., 1991, **Geology of the Central sector of Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacan**: Geological society of America Map and Chart series, MCH072, 22 pp.
- Pennington W., Haworth E., Bonny A.P., Lishman J.P., 1972, **Lake sediments in northern Scotland**, Philosophical Transactions of the Royal Society of London B 264, pp.191-294.
- Roy, P. D., 2007, **Thermal Characteristics of the Near-Surface Playa Sediments from the Thar Desert, Rajasthan**: Journal-Geological Society of India, 69 (4), pp. 781-787
- Roy, P. D., Smykatz-Kloss, W., Morton O., 2008, **Geochemical zones and reconstruction of late Holocene environments from shallow core sediments of the Pachapadra paleo-lake, Thar Desert, India**: Chemie der Erde–Geochemistry, 68 (3), pp.313-322
- Roy, P. D., Caballero, M., Lozano, R., Pi, T., Morton, O., 2009, **Late Pleistoceno-Holocene geochemical history inferred from Lake Tecocomulco sediments, Basin of México, México**: Geochemical Journal, 43, pp. 49-64

Capítulo IV.

Caballos del Pleistoceno y sus paleoambientes en dos yacimientos fosilíferos en el centro occidente de México.

Alejandro H. Marín-Leyva¹, María Teresa Alberdi³, Joaquín Arroyo-Cabrales⁴, María Luisa García-Zepeda¹, J. Ramón López-García¹, Javier Ponce-Saavedra².

¹Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo Laboratorio de Paleontología. Edif. R 2°. Piso. Ciudad Universitaria, C. P.58060, Morelia, Michoacán. vajozero@hotmail.com

²Facultad de Biología, UMSNH, Laboratorio de Entomología “Biol. Sócrates Cisneros Paz”. Edif. B4 2°. Piso. Ciudad Universitaria. C.P. 58060, Morelia, Michoacán.javierpon@gmail.com

³Departamento de Paleobiología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España. malberdi@mncn.csic.es

⁴Laboratorio de Arqueozoología “M. en C. Ticul Álvarez Solórzano”, INAH, México D.F. arromatu@hotmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo se presentan los resultados del análisis de dos yacimientos fosilíferos del Pleistoceno tardío en el centro occidente de México. Se identifican las especies del género *Equus* y sus estimaciones de masa corporal, a partir de análisis morfométricos de elementos craneales (premolares y molares) y postcraneales (metápodos, astrágalos y falanges del tercer dedo), y el uso de técnicas de análisis estadísticos bivariantes y multivariantes. Se comparan los resultados con otros estudios realizados; corroborando la presencia de tres especies de équidos para la zona de estudio: *Equus mexicanus*, una especie robusta con una masa corporal estimada de 476.69 kg, a partir de una falange encontrada en La Piedad-Santa Ana. En El Cedral, se estimó para esta especie una masa corporal promedio de 512.52 kg (+SD 112.58) (n=36) usando el 1FIII5 y un promedio de 456.23 kg (+SD 56.21) (n=10) utilizando MCIII13. *Equus conversidens* una especie mediana y robusta de 344.7 kg de masa corporal promedio (+SD 123.06) (n=2) en La Cinta-Portalitos usando 1FIII5. Con el mismo hueso, las estimaciones fueron de 297.3 kg (+SD 72.03) (n=7) en La Piedad-Santa Ana y 308.17 kg (+SD 87.45) (n= 9) en El Cedral. Para esta misma especie, usando el MCIII13, se estimó una masa corporal de 229.49 kg (n=1) en La Piedad-Santa Ana y 282.52 kg (n= 1) en El Cedral.

Equus sp. nov. una especie pequeña y grácil de masa corporal promedio de 145.52kg (+SD 69.08) (n= 7) en La Cinta-Portalitos y 140.72 kg (+SD 31.28) (n=31) en El Cedral usando la 1FIII5; mientras que con MCIII13 se obtuvo una estimación de 126.03 kg (+SD 56.56) (n=3) en La Piedad-Santa Ana y 146.99 kg (+SD 36.65) (n=9)en El Cedral. También se logró inferir con base en la presencia de extremidades robustas, la presencia de grupos de caballos que habitaron zonas de suelos húmedos y climas más cálidos en áreas montañosas y cerradas; mientras que la presencia de grupos de talla

pequeña con extremidades más gráciles, indicarían que habitaron en zonas de suelos duros, climas fríos y en ambientes abiertos.

Es probable que las localidades La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana, se caracterizaran por la presencia de grandes pastizales, con un clima más seco que el actual, con vegetación boscosa (quizá pino-encino) en las zonas altas de las cuencas, lo que concuerda con la presencia de restos fósiles en ambas localidades de *Bison*, *Camelops*, *Odocoileus* y *Mammuthus columbi* que se sabe habitaron en bosques y pastizales.

Palabras Clave: Centro Occidente, Pleistoceno tardío, *Equus*, análisis morfométricos, tres especies.

ABSTRACT

This paper presents the results of the analysis of two fossil deposits from late Pleistocene in the west-central Mexico. Identify species of the genus *Equus* and body mass estimates, based on morphometric analysis of cranial elements (premolars and molars) and postcranial (metacarpals, metatarsals, astragalus and phalanges of the third finger), and the use of statistical analysis techniques bivariate and multivariate. We compare the results with other studies, confirming the presence of three species of horses for the study area: *Equus mexicanus*, a big and robust species with a body mass estimate of 476.69 kg, from a phalanx found in La Piedad-Santa Ana. In El Cedral, this species was estimated have an average body mass of 512.52 kg (+ SD 112.58) (n = 36) using the 1FIII5 and an average of 456.23 kg (+ SD 56.21) (n = 10) using MCIII13. *Equus conversidens* a median and robust species with an average of body mass 344.7 kg (+ SD 123.06) (n = 2) in La Cinta-Portalitos using the 1FIII5. With the same bone, the estimates were 297.3 kg (+ SD 72.03) (n = 7) in La Piedad-Santa Ana and 308.17 kg (+ SD 87.45) (n = 9) in El Cedral. For that species, using the MCIII13, the estimated of body mass is 229.49 kg (n = 1) in La Piedad-Santa Ana and 282.52 kg (n = 1) in El Cedral.

Equus sp. nov. a small and graceful species of 145.52kg average body mass (+ SD 69.08) (n = 7) in La Cinta-Portalitos and 140.72 kg (+ - SD 31.28) (n = 31) in El Cedral using the 1FIII5, while with the MCIII13 the estimates were 126.03 kg (+ SD 56.56) (n = 3) in La Piedad-Santa Ana and 146.99 kg (+ SD 36.65) (n = 9) in El Cedral. It was also possible to infer based on the presence of robust extremities, the presence of groups of horses that lived in areas with moist soil and warmer climates in mountainous areas and closed environment, while the presence of clusters of small size with slender extremities, indicate that lived in areas with hard floors, cold climates and open environment.

It is likely that La Cinta-Portalitos locations and La Piedad-Santa Ana, were characterized by the presence of large grasslands, with a drier climate than today, with woody vegetation (perhaps pine-oak) in the upper watershed areas This is consistent with the presence of fossils in both sites of *Bison*, *Camelops*, *Odocoileus* and *Mammuthus Columbi* is known that they lived in forests and grasslands.

Keywords: West-Central, late Pleistocene, *Equus*, morphometric analysis, three species.

INTRODUCCIÓN

La región central de México es una de las provincias geológicas más interesantes por sus lagos y volcanes, los que han forjado una arquitectura única y atractiva en el mundo por haber sido el escenario histórico del desarrollo de grandes y pequeños vertebrados.

Esta región presenta una gran cantidad de cuencas lacustres, muchas de ellas situadas en fosas tectónicas, dichas cuencas son realmente importantes debido a que han sido el medio sedimentario propicio para la fosilización y conservación de restos de vertebrados del Pleistoceno, como caballos, camellos, bisontes y mamutes, vertebrados que por sus características proporcionan información, sobre hábitos de vida, relaciones con otros organismos, centros de origen *etc.*, información que ayuda en la reconstrucción de los paleoambientes de estas cuencas.

Los caballos, originarios de América del norte, tienen su principal diversificación en Norteamérica, siendo el género *Equus* el representante más moderno que caracteriza la fauna del Pleistoceno; además, se dispersaron hacia Sudamérica y Asia durante la época Plioceno-Pleistoceno y a pesar de su extinción en México hace aproximadamente unos 10,000 mil años, sus restos fósiles están presentes en sedimentos de la región central de éste país (MacFadden, 2005). Los équidos son un grupo de gran importancia paleontológica, sus restos fósiles han sido estudiados desde el siglo XIX hasta el presente, mediante la utilización de técnicas básicas de paleontología (MacFadden, 1992).

En varias localidades de la región central de México se han restos fósiles de caballos, los sitios más conocidos son El Cedazo, Aguascalientes y El Cedral, San Luis Potosí.

En Norteamérica Winans (1989) realizó un estudio basado en análisis multivariantes de caracteres cuantitativos y cualitativos del cráneo, la mandíbula y los metápodos de équidos con los que propone la clasificación de las especies del género *Equus* de América del Norte en cinco grandes grupos: (1) *E. simplicidens* (Blancano temprano); (2) *E. scotti* (Blancano tardío a Rancholabreano); (3) *E. laurentius* (Rancholabreano); (4) *E. francisci* (Irvingtoniano a Rancholabreano); y (5) *E. alaskae* (Irvingtoniano a Rancholabreano); sin embargo, la autora no decide si dichos grupos tendrían nivel específico o superior o si los define como grupo-especie. Azzaroli (1995) presenta una sinopsis de caballos del género *Equus* del periodo Cuaternario donde reconoce trece especies de *Equus* usando características de sus esqueletos, cráneos, dentición y huesos de las extremidades. Con esto concluye que el ancestro común de los caballos del Pleistoceno es *E. simplicidens* del Blancano. Para México en edades del Irvingtoniano-Rancholabreano, reporta la presencia de estas especies: *E. niobrarenis* Hay, 1913; *E. conversidens* Owen, 1869; *E. pacificus* Leidy, 1868; syn: *E. mexicanus* Hibbard, 1955; *E. francisci* Hay, 1915; *E. occidentalis* Merriam, 1913.

En Sudamérica Prado y Alberdi (1994) realizaron una revisión cuantitativa del género *Equus* sudamericano: subgénero *Amerhippus* Hoffstetter, 1950. Usando análisis estadísticos multivariantes de elementos craneales y postcraneales, además de características morfológicas de la dentición y el cráneo, reconocieron cinco especies de *Equus* (*Amerhippus*): (1) *E. (A.) andium* Branco, 1883, (2) *E. (A.) insulatus* Ameghino, 1904, (3) *E. (A.) neogeus* Luna, 1840, (4) *E. (A.) santaeelenae* Spillmann, 1983, (5) *E. (A.) lasallei* Daniel, 1948 y concluyeron que los metápodos de *Equus* en general presentan adaptaciones que pueden estar relacionadas con el tipo de suelo o ambiente; los caballos con extremidades robustas (más anchas y más cortas) están relacionadas a un clima más húmedo y frío en ambientes más boscosos o algo cerrados mientras que los caballos con extremidades gráciles (largas y delgadas) se relacionan con climas más áridos y fríos en ambientes más abiertos.

En México, los restos de caballos se han documentado desde mediados del siglo XIX en que Owen (1869) describió la especie *Equus conversidens* a partir de fotografías de materiales procedentes de la Cuenca de México.

En el Valle de Tequixquiac, México, Hibbard (1955) encontró restos de diferentes órdenes de la clase Mammalia (Edentata, Rodentia, Carnivora, Ursidae, Proboscidea, Artiodactyla y Perissodactyla). Para la familia Equidae reporta *Equus conversidens*; *Equus (Plesippus) crenidens* Cope, 1884 y *Equus (Hesperohippus) mexicanus*. En Aguascalientes Mooser (1958) consideró la presencia de 10 diferentes especies y de una subespecie de équidos, de las cuales seis eran nuevas en el registro fósil norteamericano *Asinus conversidens*, *Onager zoyatalis*, *O. arellanoi*, *O. altidens*, *O. hibbardi*, *Asinus aguascalentensis*, *Equus caballus*, *E. c. laurentius*, *E. parastylidens* y *O. oviedo*. En esta misma localidad Álvarez (1965) ubicó estas especies dentro del género *Equus* quedando como: *E. conversiden*, *E. zoyatali*, *E. altidens*, *E. hibbardi*, *E. aguascalentensis*, *E. caballus*, *E. laurentius*, *E. parastylidens*, y *E. oviedo*.

Años más tarde en el Cedazo, Aguascalientes, Mooser y Dalquest (1975) propusieron la reagrupación de las 10 especies originales del primer autor en siete, todas dentro del género *Equus* y referidas a la edad Rancholabreana o Ilioiniana del Pleistoceno tardío: *Equus conversidens*, *E. excelsus*, *E. caballus*, *E. parastylidens*, *E. mexicanus*, *E. calobatus* y *E. tau*. Las especies fósiles de caballos determinadas por Mooser y Dalquest (1975) para el Cedazo, Aguascalientes, fueron agrupadas por Ferrusquía-Villafranca (1978) en *Equus* sp.

A finales de la década de los ochentas Álvarez y Ocaña (1987) sinonimizaron las 27 especies de caballos descritas para México con aquellas descritas para el resto de América del Norte y se redujo a nueve el número total de especies en el país. Para estos autores siguieron siendo válidas *E. calobatus*, *E. conversidens*, *E. excelsus*, *E. parastylidens* y *E. tau*. *E. mexicanus* y *Onager zoyatalis* fueron sinonimizados con *E. pacificus* y *Equus francisci*, respectivamente.

En 1991 Schafer y Dalquest compararon los molares inferiores de dos localidades del Pleistoceno, una en México (Cedazo) y otra en Texas (Slaton). Definieron que los ectofléxidos profundos y los linguaflexidos en forma de "V" son característicos de las

cebras mientras que el patrón de ectofléxidos poco profundos y linguaflexidos en forma de “U”, se consideran de los grupos de caballos sensu stricto. Sin embargo los caballos de extremidades gráciles o “stilt-legged horses” de Norteamérica se caracteriza por tener ectofléxidos poco profundos y linguaflexidos en forma de “V”, y encontraron que esa combinación de caracteres no está restringida a ese grupo. En los resultados de su estudio no se encontraron cebras en Slaton pero sí caballos sensu stricto. En el Cedazo estos restos fueron poco frecuentes y además se encontraron restos de cebras y caballos de extremidades gráciles.

A mediados de la década de los noventa en el Cedazo, Aguascalientes, donde Reynoso-Rosales y Montellano-Ballesteros (1994) plantearon la hipótesis de que no es posible la presencia de dos o más équidos en un área geográfica, se analizaron las curvas de distribución de frecuencia del tamaño (diámetro anteroposterior, transversal, longitud del protocono de molares y premolares), así como la frecuencia de los patrones dentales demostrándose la homogeneidad en ambas muestras lo que permitió concluir que los équidos del Cedazo pertenecen a una única población a la que se le asigna a la especie *Equus conversidens* Owen, que está bien representada en el Pleistoceno de México.

En la localidad de El Cedral, al norte de San Luis Potosí, Alberdi *et al.* (2003) discuten el máximo número de especies que pueden habitar una localidad en el Pleistoceno mexicano, realizando análisis estadísticos multivariantes (Análisis de Componentes Principales y Análisis de Discriminantes) de material craneal y postcraneal de *Equus*, observan la presencia de una forma de tamaño grande, otra de talla mediana y una de talla pequeña, que ellos le asignan provisionalmente el nombre de *Equus mexicanus* para los caballo de talla grande, y *Equus conversidens* para los caballos de talla media, dejando los caballos de talla pequeña como *Equus* sp.

En la cuenca de Moctezuma, en Sonora, Carranza-Castañeda y Roldán-Quintana (2007) determinan a partir de un premolar p/4 derecho y un molar m/2 derecho la presencia de *Equus excelsus* Leidy, 1858 y partir de un molar m/2 izquierdo la existencia de *Equus conversidens* Owen, 1869. Estos caballos se encontraban estratigráficamente asociados con *Bison* sp., que refieren a la edad Illinoiana.

Melgarejo-Damian y Montellano-Ballesteros (2008) realizaron una diferenciación cuantitativa de los caballos del Pleistoceno en México, donde estudiaron los restos de diferentes localidades centrándose en El Cedazo (San Luis Potosí), El Cedral (Aguascalientes) y Tequixquiac (Estado de México). Usando métodos estadísticos multivariados encontraron en El Cedral tres grupos de tallas (grande, mediano y pequeño) mientras que en El Cedazo y Tequixquiac se encontraron dos diferentes grupos (grande y mediano). Se asignaron a *Equus mexicanus* los de talla grande, *Equus conversidens* para la talla media y *Equus tau* para la talla pequeña.

El último trabajo sobre El Cedazo, Aguascalientes, es el de Barrón *et al.* (2008) mediante un software que integra un procesador digital de imágenes, y usando (ACP) (AD) y con caballos actuales como control analiza el patrón oclusal de los dientes de équidos P/3 con el mismo grado de desgaste de individuos del Cedazo, agrupan por un

lado a los caballos actuales e indican la presencia de dos morfotipos en los fósiles, por lo que al menos dos diferentes especies de caballos habitaban en la localidad del Cedazo.

Para la zona sur del actual lago de Cuitzeo, Arellano y Azcón (1949), realizaron las primeras colectas de material fosilífero para el Estado de Michoacán en la localidad del Rancho la Goleta y la región de la paleocuena de Charo. Entre el material fósil colectado fueron identificados caballos tridáctilos como *Nannipus* cf. *moctezuma* Leidy y monodáctilos como *Plesippus* sp., sugiriendo una edad del Blancano. Carranza-Castañeda (1992) en el Rancho La Goleta registró material correspondiente a *Equus* (*Dolichohippus*) *simplicidens*, especie considerada índice estratigráfico del Blancano, mientras que en los estratos superiores se colectó material de *Equus* cf. *conversidens*, considerado estratigráficamente característico del Pleistoceno.

Para la zona, el trabajo más reciente es el de López-García (2008) en la región Indaparapeo-Charo quien en un "Hiatus" volcánico del Mioceno al Plioceno registra restos fósiles de *Equus* sp. también con una edad del Blancano.

Para la zona norte del actual lago de Cuitzeo, García-Reyes (2004) y García Zepeda (2006) reportan para La Cinta, el género *Equus*, con una edad propuesta del Pleistoceno tardío (Rancholabreano).

En aspectos paleoecológicos, Eisenmann (1984) usando datos osteológicos y ecológicos de *Equus* modernos de África y Asia encontró relación entre tres características anatómicas y tres ambientales, los segmentos distales de las extremidades largos o cortos que se relacionan con ambientes abiertos o cerrados, las terceras falanges estrechas o anchas relacionadas con suelos duros o blandos y metápodos gráciles o robustos con condiciones secas o húmedas, y a su vez estas condiciones se pueden combinar entre ellas, ella definió que *E. stenonis vireti* y *E. mauritanicus* vivían en un ambiente cerrado, húmedo y de suelos blandos, mientras que *E. numidicus* debió vivir bajo condiciones secas. *E. tabei* habitó un medio abierto con suelo plano y duro. También menciona que los huesos de extremidades distales son valiosos para argumentar interpretaciones paleoecológicas precisas.

Pérez Crespo *et al.* (2009) infirieron la dieta y hábitat de tres especies de caballos y de un *Mammuthus columbi* procedentes de El Cedral, San Luis Potosí, México, mediante análisis de isótopos estables de ^{13}C y ^{18}O en el apatito del esmalte dental, donde observaron que los análisis de isótopos en los équidos tienen un intervalo que va de individuos con dieta mixta de plantas con patrón fotosintético C3 (árboles, arbustos y plantas herbáceas) y C4 (hierbas y los juncos tropicales) como *Equus mexicanus* a aquellos que se alimentan de plantas C4 como *Equus conversidens* y *Equus* sp. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de El Cedral comparados con otras localidades de Norteamérica, revelan que los caballos y el mamut habitaban una zona abierta de pastizales y/o sabanas.

Bravo-Cuevas *et al.* (2011) compararon material craneal y dental perteneciente a équidos pleistocénicos de la zona suroriental de Hidalgo que asignan a *Equus conversidens*. Además interpretaron el hábito alimentario mediante el método de mesodesgaste, el cual reveló que el patrón de desgaste, es similar a la especie pacedora

reciente *Bison bison*. Menciona también que los équidos de Hidalgo tenían una dieta conformada por recursos abrasivos con un alto contenido de sílice y/o fitolitos (pastos, polvo y/o arena). Los hábitos alimenticios propuestos son prueba de zonas de vegetación abierta, aunado a esto, las formas herbívoras asociadas al registro de caballos indican que, además de áreas con predominancia de pastos y otras herbáceas, también existieron zonas más arboladas.

En los últimos años se han realizado estudios basados en ADN mitocondrial para dar una perspectiva molecular sobre la sistemática, evolución y distribución de los caballos del Pleistoceno en Norteamérica (Wenistock et al., 2005).

En el presente trabajo se pretende estudiar las poblaciones de équidos de dos localidades de Michoacán pertenecientes a la cuenca Lerma-Chapala, la localidad de La Cinta-Portalitos que forma parte de la cuenca de Cuitzeo y la localidad de La Piedad-Santa Ana; así como reconstruir su paleoambiente con base en las evidencias estratigráficas, sedimentológicas, geoquímicas y paleobiológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Cinta-Portalitos

La cuenca de lago de Cuitzeo pertenece a la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, se consideraba originalmente endorreica, fue modificada por la construcción de un canal que comunica el lago de Cuitzeo con la laguna de Yuríria (Mendivil *et al.*, 1980), este desemboca en el río Lerma, lo que ha llevado a formar parte de una cuenca exorreica. Actualmente el canal se modificó y se le dio el nombre de dren La Cinta (Ceballos *et al.*, 1994).

La Cinta-Portalitos, Michoacán y Guanajuato, se ubica dentro de la cuenca de Cuitzeo, entre las coordenadas 20° 05' 09" de Latitud Norte y 101° 09' 31" de Longitud Oeste, en el borde Norte del lago de Cuitzeo, lugar donde se observa un contraste morfológico, al NE coladas de lava y centros volcánicos, al Sur la depresión lacustre (García-Reyes, 2004) (Fig. 1).

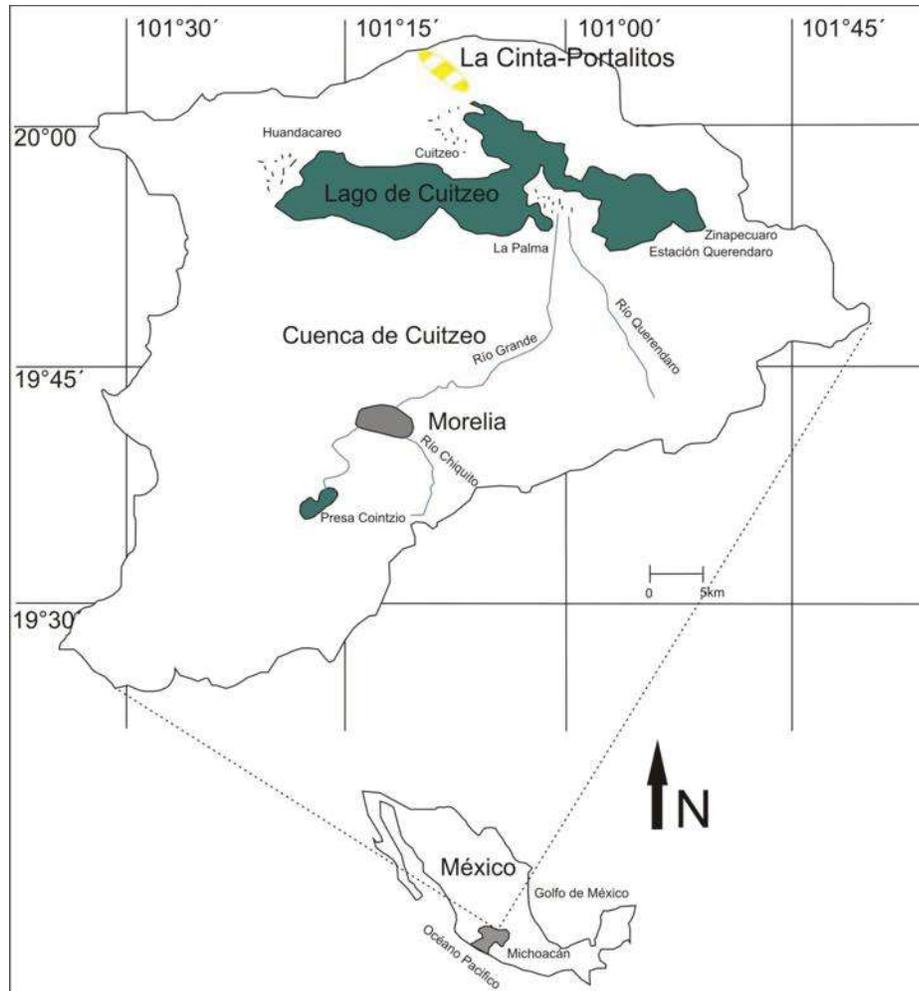


Figura 1. Ubicación de La Cinta-Portalitos, Michoacán y Guanajuato.

El clima predominante en la cuenca de Cuitzeo corresponde al templado con lluvias en verano; sin embargo la distribución espacial de la precipitación y la temperatura indica que la cuenca se ubica en la zona transicional entre los climas templados secos y climas templados húmedos, esta variación corresponde a un incremento en la amplitud de relieve de la cuenca. La precipitación media anual es de 841.9 mm, pero es muy variable. La temperatura media anual es de 17.3 °C (Mendoza, 2002). La presencia de montañas y vegetación en las partes altas de la cuenca implica una mayor precipitación con respecto a las partes bajas, donde las lluvias son más esporádicas (Velázquez, 2003).

La fauna actual de la región se conforma por, Ardilla (*Sciurus aureogaster*), Coyote (*Canis latrans*), Conejo (*Sylvilagus floridanus*) y Mapache (*Procyon lotor*). En las partes bajas como lo son las áreas de cultivo de Charo y Álvaro Obregón se encuentran: Tlacuache (*Didelphys virginiana*), Tejón (*Nasua narica*), Armadillo (*Dasypos novemcinctus*) y Zorrillo (*Mephitis macroura*), de los repites algunas lagartijas y serpientes (Camacho y López, 1995), mientras que la vegetación es de tipo matorral subtropical que

típicamente se desarrolla en suelos someros y pedregosos. La mayor parte de esta comunidad se localiza en las laderas de los cerros y se caracteriza por ser una vegetación secundaria que se manifiesta por lo general en forma de matorral o bosquecillo, en la cual el papel primordial le corresponde al cazahuate (*Ipomoea murucoides*), al huizache (*Acacia farnesiana*), al nopal (*Opuntia* sp.), al tepame (*Acacia pennatula*), al palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*) y al palo prieto (*Lysiloma microphylla*) (*Acacia schaffneri*, *Bursera fagaroides*, *B. cuneata*. e Arbustos como *Croton* sp., *Florestiera* sp., *Irecine* sp., *Salvia* sp., *Tridax* sp. (Rzedowski y Calderón 1987, Guevara 1995 en Velásquez, 2003)

La Piedad-Santa Ana

La localidad a la que se hará referencia como La Piedad-Santa Ana se localiza al borde de la ribera del río Lerma compartiendo los límites municipales de Pénjamo, Guanajuato y La Piedad, Michoacán entre las coordenadas 102°02´-101°54´ N y 20° 23´-20°19´W, en la zona conurbada entre estas poblaciones (Fig. 2).

El clima preponderante en el área es semicálido subhúmedo, con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual del 700 milímetros y temperaturas que oscilan de 3 a 38.5° C (Pérez, 2006).

La fauna actual la conforman la liebre, zorrillo (*Mephitis macroura*), comadreja (*Mustela frenata*), ardilla (*Sciurus aureogaster*), coyote (*Canis latrans*), tuza (*Thomomys umbrinus*), tordo (*Molothrus bonariensis*), torcaza (*Columba palumbus*), bagre (*Ictalurus dugesii*) y carpa (*Carassius auratus*) (Gobierno del Estado de Michoacán, 2009). La vegetación es característica de las praderas, con arbustos grandes y árboles pequeños de dos a cinco metros de altura. Entre la variedad de árboles se encuentran algunos elementos del bosque tropical caducifolio como el mezquite (*Prosopis laevigata*), huamúchil (*Pithecellobium dulce*), cazahuates (*Ipomoea murucoides*), uña de gato (*Uncaria tomentosa*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*) y huizache (*Acacia farnesiana*) además de árboles y arbustos varios como el pino (*Pinus* sp), jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), trueno (*Ternstroemia* sp.), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), sabino (*Taxodium mucronatum*) y encino (*Quercus* sp) (Pérez, 2006).

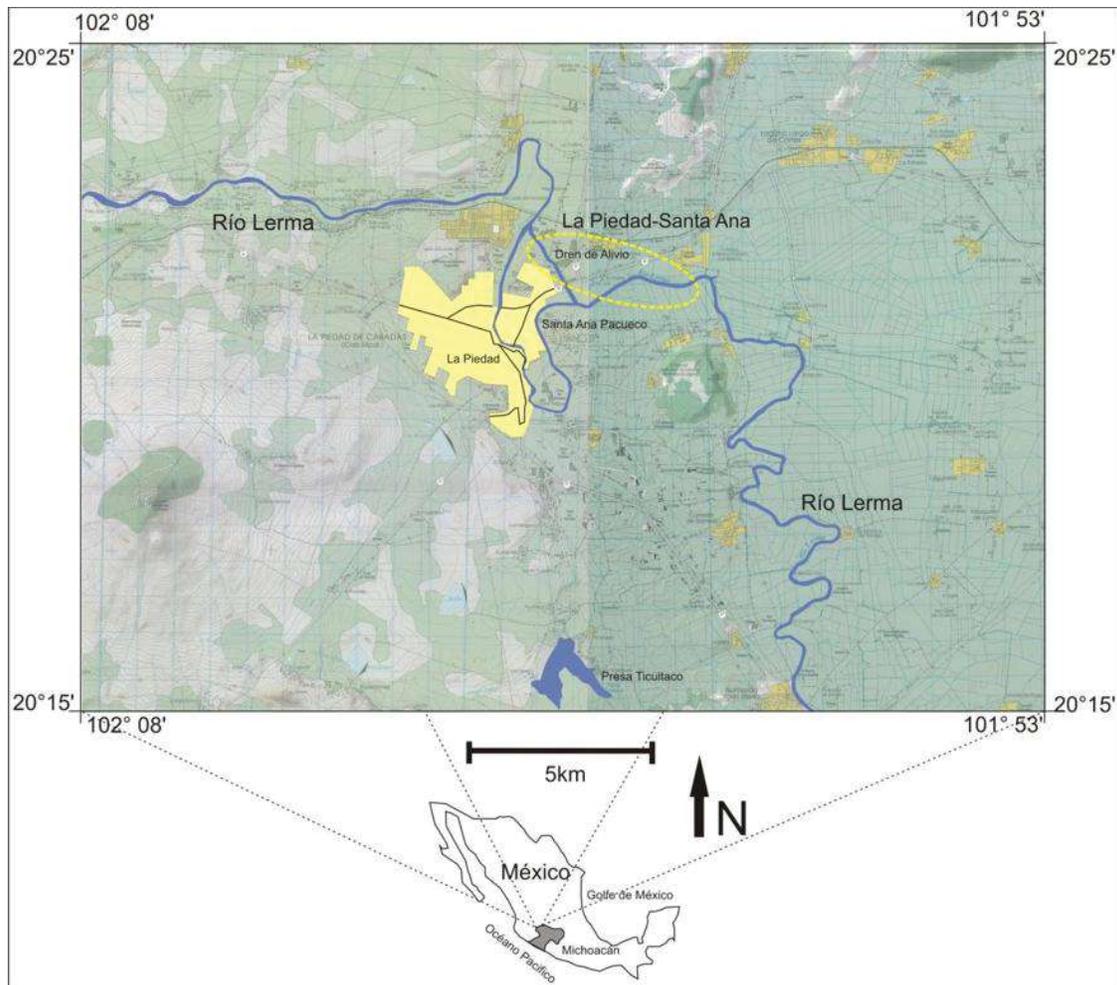


Figura 2. Ubicación de localidad La Piedad-Santa Ana

Revisión de colecciones Paleontológicas

Se visitaron y revisó material de las colecciones paleontológicas del Departamento de Arqueozoología del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) en la ciudad de México, Facultad de Biología de la UMSNH y el Museo de Nacional de Ciencias Naturales CSIC Madrid, España además de consultar la base de datos Paleontology Data Base, para recabar la mayor cantidad posible de información sobre fósiles de caballos para nuestras zonas de estudio o equivalentes temporales.

Recolecta de material Fósil

Una vez ubicado el estrato donde se encontraron fósiles, se procedió a una recolecta directa, si el estado de conservación era bueno; de lo contrario se aplicó la técnica de escayola (Meléndez, 1977).

Limpieza del material fósil

Antes de la determinación del material fósil se procedió a hacer una limpieza mecánica, la cual consistió en quitar el sedimento sobrante que no forma parte del fósil, con la utilización de cepillos de fibras suaves, grabadores e instrumental odontológico.

El material recolectado en la localidad de La Cinta-Portalitos se etiquetó asignándole una clave compuesta por dos letras iniciales que corresponden a Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UM) y un número que corresponde al catálogo de fósiles de la Colección Paleontológica de la Facultad de Biología, donde se depositó el material. El material que se encuentra en la colección particular de la organización especial de investigación con sede en La Piedad de Cabadas, Michoacán, se etiquetó asignándole una clave compuesta por 5 letras iniciales que corresponde a Colección Paleontológica de la Organización Especial de Investigación (CPOEI) y un número que corresponde al catálogo de fósiles de dicha colección.

Determinación del material

La determinación taxonómica se realizó mediante la comparación de ejemplares fósiles de museos y colecciones paleontológicas nacionales e internacionales y con la literatura pertinente (Winans, 1989; Prado y Alberdi, 1994; y Alberdi *et al.*, 2003) así como la ayuda de paleontólogos como el Dr. Joaquín Arroyo Cabrales del INAH y la Dra. María Teresa Alberdi del Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC en Madrid, España. Se usaron también variables morfométricas de los fósiles de caballos siguiendo las recomendaciones de la “Hipparion Conference” celebrada en New York Noviembre de 1981 (Eisenmann *et al.*, 1988), para después ser sometidos a análisis estadísticos y con los resultados llegar a la determinación taxonómica.

Medidas de elementos craneales y postcraneales

Además de los restos dentarios disponibles, se seleccionaron aquellos restos del esqueleto apendicular que tienen más importancia y están más implicados en las relaciones del animal con el medio y pueden suministrar un número importante de inferencias en relación con el hábitat donde vivían estos caballos, así como el tamaño del animal, su peso, etc.

Para la obtención de las variables cuantitativas de premolares y molares, así como de las piezas fósiles del aparato apendicular se siguieron las recomendaciones de la “Hipparion Conference” (Ver Eisenmann *et al.*, 1988), todas las medidas están expresadas en milímetros. Del aparato apendicular se han seleccionado los metacarpianos III (MCIII), astrágalos (AST), metatarsianos III (MTIII) y falanges (1FIII, 2FIII, 3FIII) que en general están mejor representados (Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8,9 y 10).

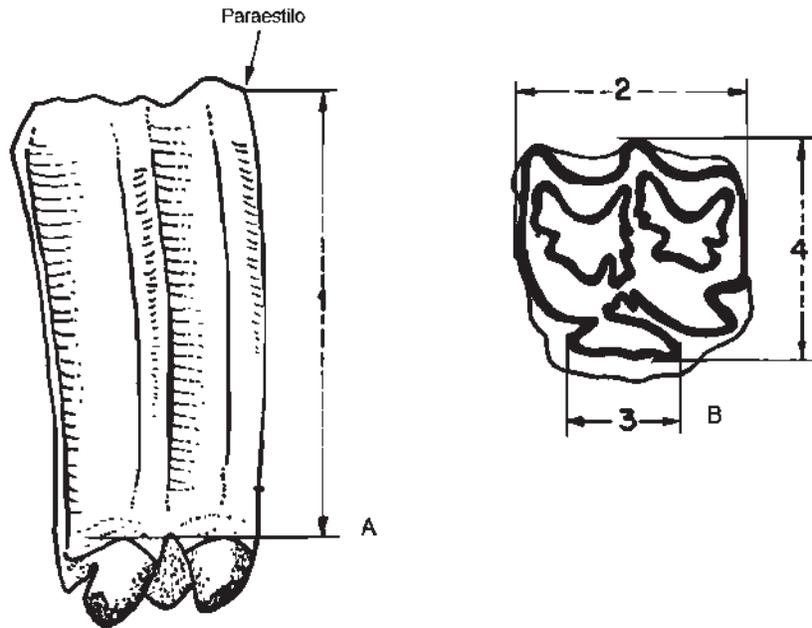


Figura 3. Molares y premolares superiores de *Equus*, A) Vista labial; B) Vista oclusal; 1= Altura máxima 2= Longitud oclusal; 3= Longitud del protocono, 4=Anchura oclusal. (Modificado de Eisenmann *et al.*, 1988).

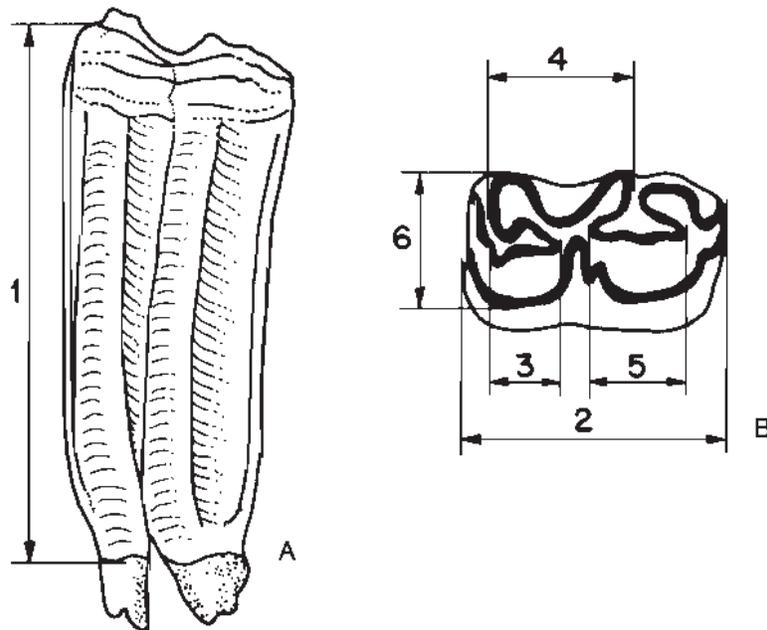


Figura 4. Molares y premolares inferiores de *Equus* A) Vista lingual; B) Vista oclusal; 1= Altura máxima; 2= Longitud oclusal; 3= Longitud del prefléxico; 4= Longitud del lazo o nudo (metaconido-metastílido); 5= Longitud del postfléxico; 6= Anchura oclusal (Modificado de Eisenmann *et al.*, 1988).

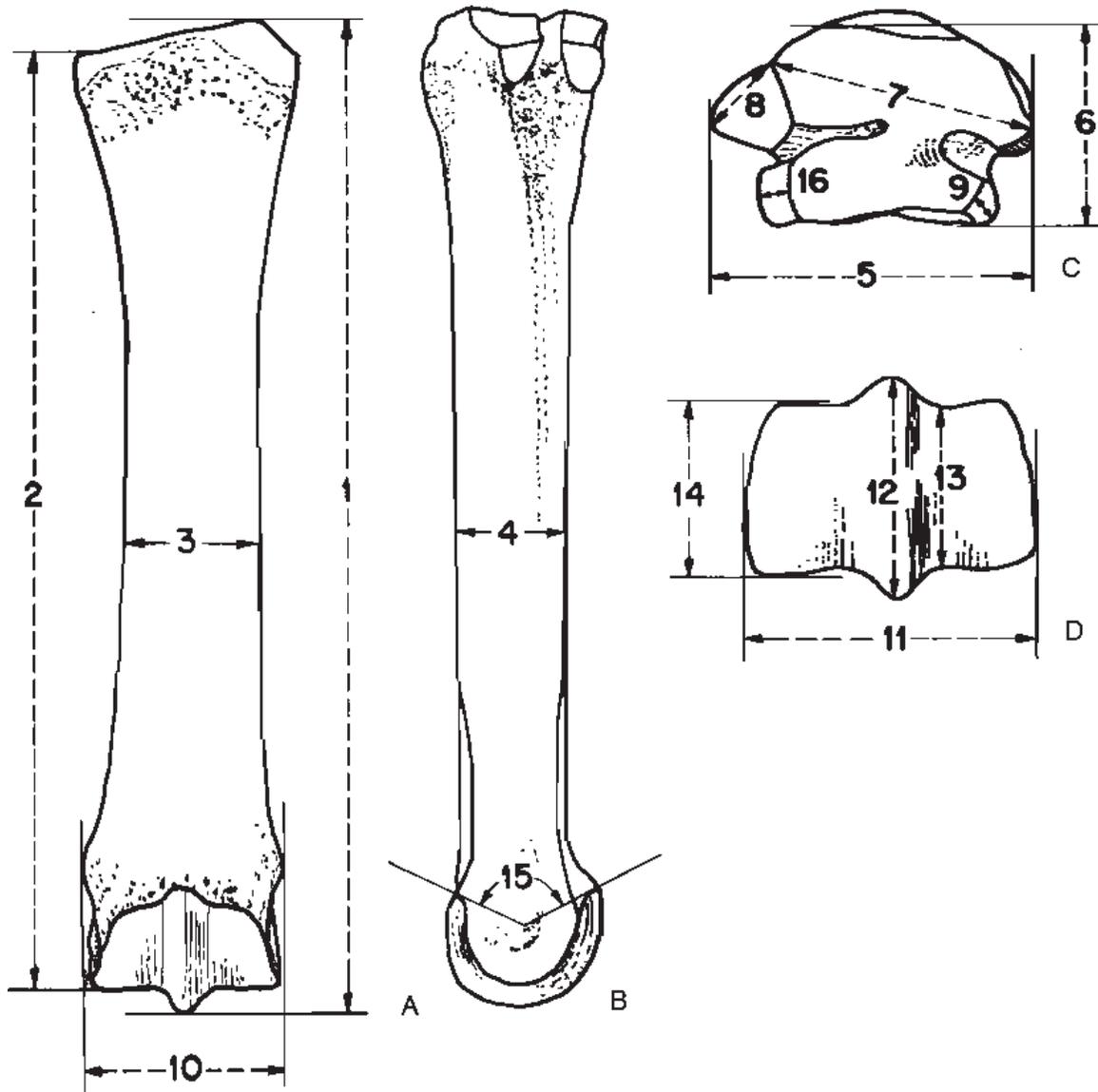


Figura 5. Tercer Metacarpal (MCIII). A) Vista anterior, B) Vista lateral, C) Vista de la superficie proximal, D) Vista de la articulación distal; 1= Longitud máxima; 2= Longitud medial; 3= Anchura mínima en la diáfisis; 4= Profundidad mínima a nivel de la diáfisis; 5= Anchura proximal articular; 6= Profundidad proximal articular; 7= Diámetro máximo de la faceta articular para el 3º carpal; 8= Diámetro de la faceta anterior articular para el 4º carpal; 9= Diámetro de la faceta articular para el 2º carpal; 10= Anchura máxima distal supra-articular; 11= Anchura máxima distal articular; 12= Máxima profundidad distal de la quilla; 13= Profundidad mínima distal del cóndilo lateral; 14= Profundidad máxima distal del cóndilo medial; 15= Angulo dorso-volar de la quilla; 16= Diámetro de la faceta posterior para el 4º carpal (Modificado de Eisenmann *et al.*, 1988).

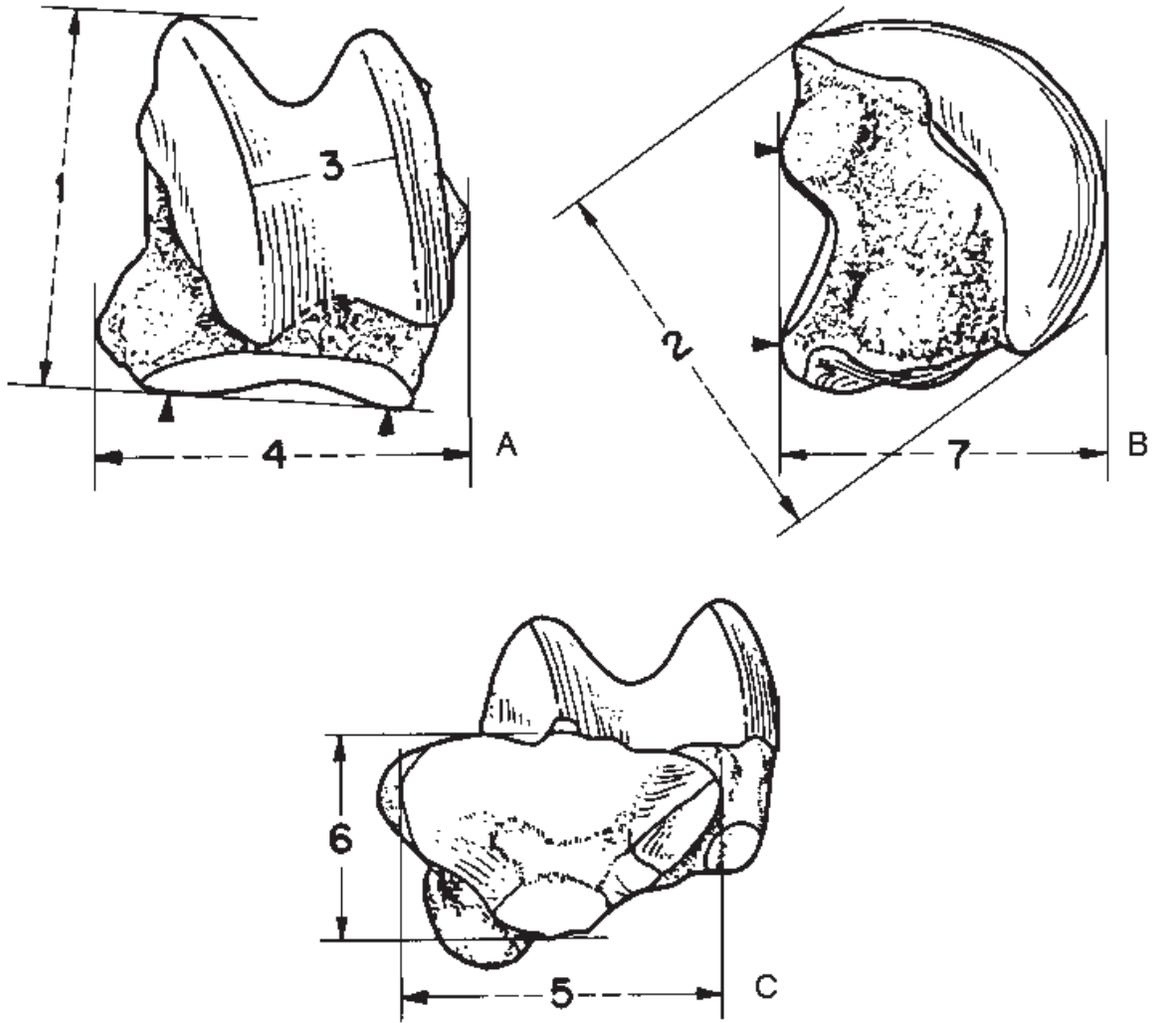


Figura 6. Astrágalos de *Equus*. A) Vista anterior, B) Vista medial; C) Vista distal; 1= Longitud máxima; 2= Diámetro máximo del cóndilo medial; 3= Anchura de la trochlea; 4= Anchura máxima; 5= Anchura articular distal, 6= Profundidad articular distal; 7= Máxima profundidad medial (Modificado de Eisenmann *et al.*, 1988).

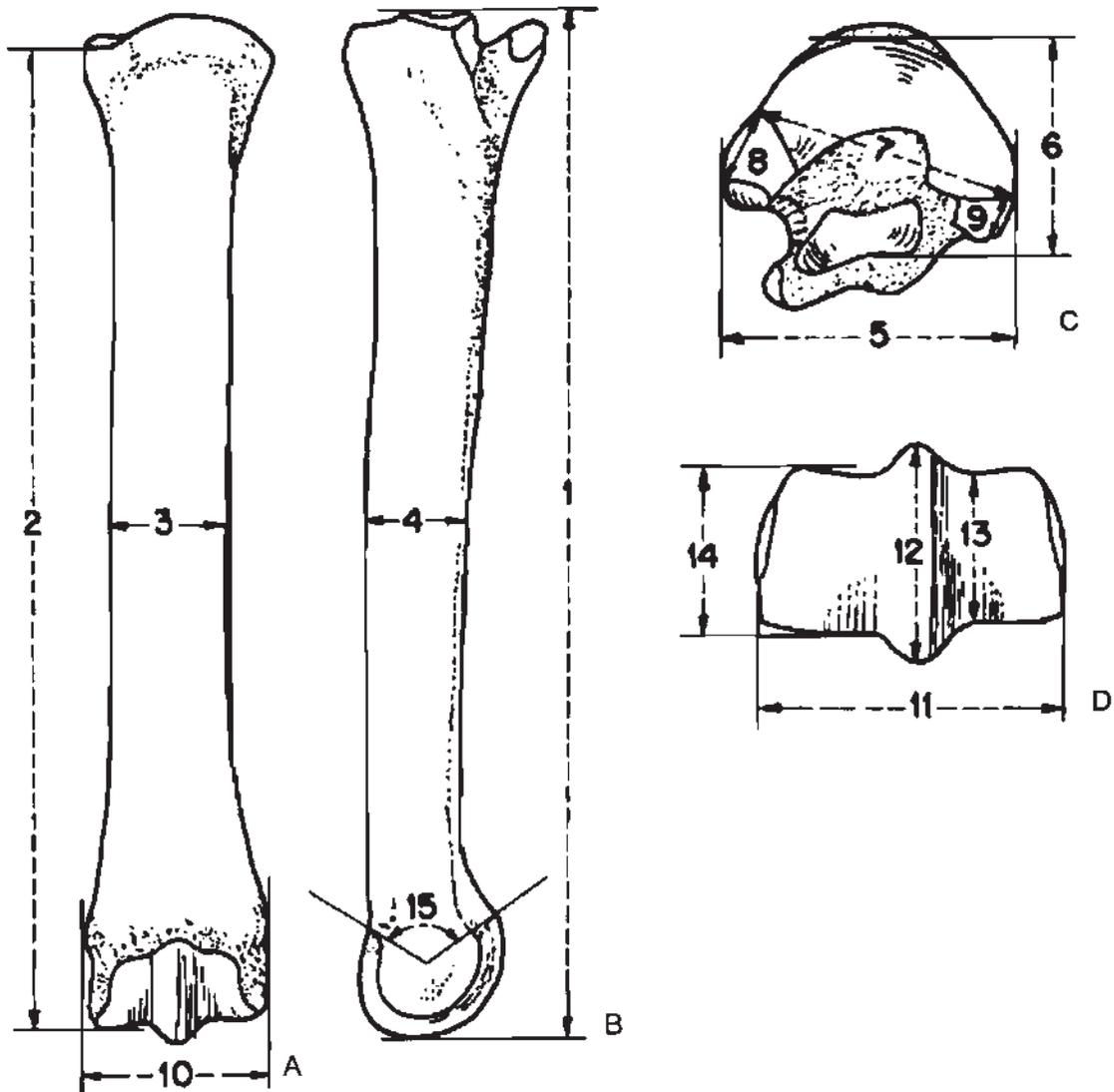


Figura 7. Tercer metatarsal (MTIII): A) Vista anterior; B) Vista lateral; C) Vista de la superficie proximal; D) Vista de la articulación distal; 1= Longitud máxima; 2= Longitud medial; 3= Anchura mínima en la diáfisis; 4= Profundidad mínima a nivel de la diáfisis; 5= Anchura proximal articular; 6= Profundidad proximal articular; 7= Diámetro máximo de la faceta articular para el 3º tarsal; 8= Diámetro de la faceta articular para el 4º tarsal; 9= Diámetro de la faceta articular para el 2º tarsal; 10= Anchura máxima distal supra-articular; 11= Anchura máxima distal articular; 12= Máxima profundidad distal de la quilla; 13= Profundidad mínima distal del cóndilo lateral; 14= Profundidad máxima distal del cóndilo medial; 15= Ángulo dorso-volar de la quilla (Modificado de Eisenmann *et al.*, 1988).

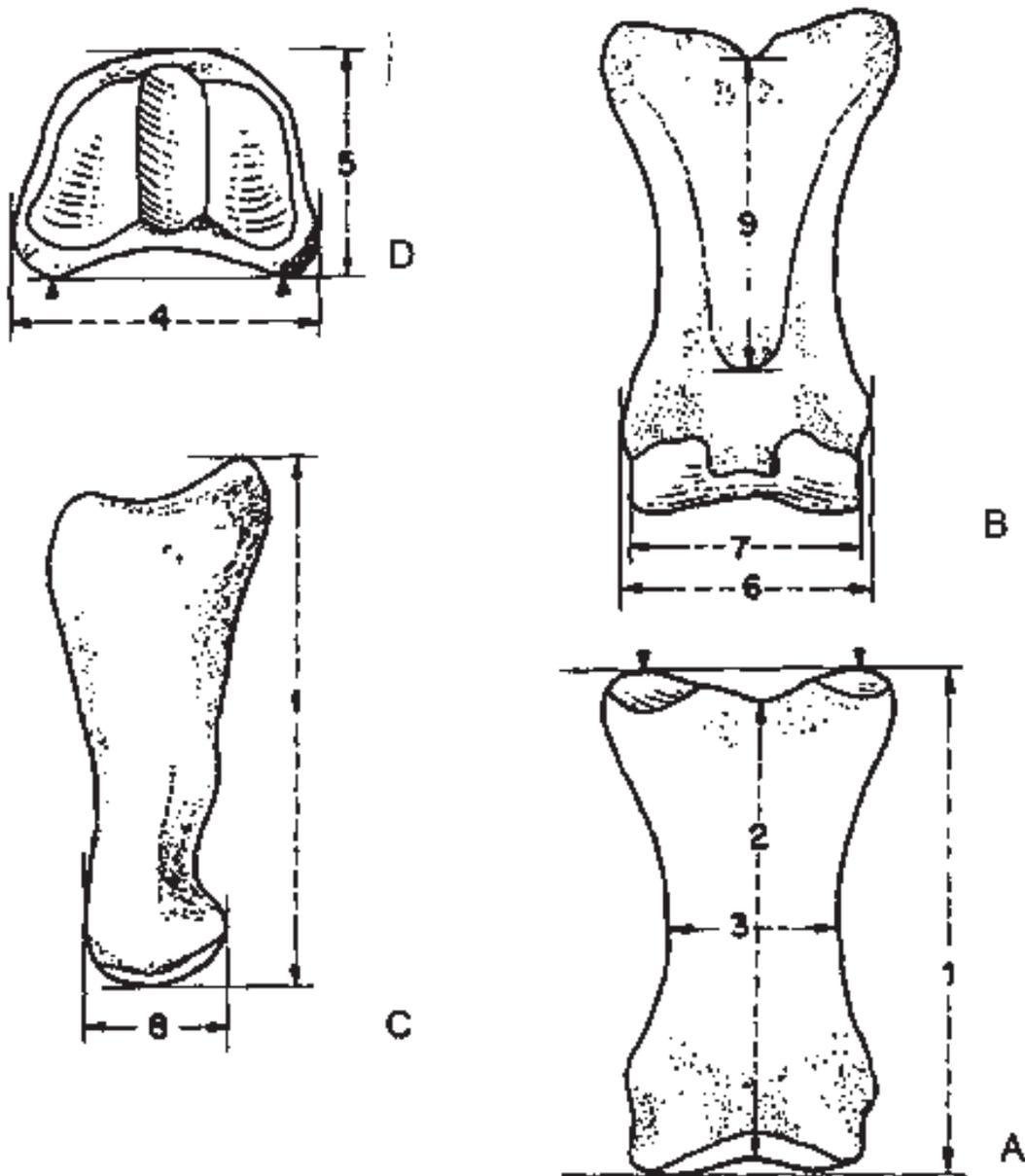


Figura 8. Primera falange del tercer dedo (1FIII) de *Equus*. A) Vista anterior; B) Vista posterior; C) Vista lateral; D) Vista de la superficie proximal; 1= Longitud máxima.; 2= Longitud Anterior; 3= Anchura mínima en la diáfisis; 4= Anchura proximal; 5= Profundidad proximal; 6= Anchura distal a nivel de la tuberosidad; 7= Anchura articular distal; 8= Profundidad articular distal; 9= Longitud mínima del *trigonum phalangis* (Modificado de Eisenmann *et al.*, 1988).

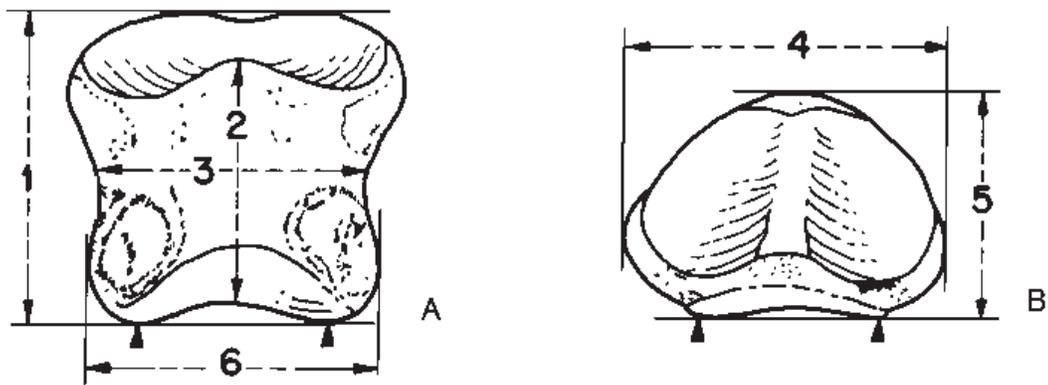


Figura 9. Segunda falange del tercer dedo (2FIII) de *Equus*. A) Vista anterior; B) Vista de la superficie proximal; 1= Longitud máxima; 2= Longitud anterior; 3= Anchura mínima en la diáfisis; 4= Anchura máxima proximal; 5= Profundidad máxima proximal; 6= Anchura máxima distal articular (Modificado de Eisenmann *et al.*, 1988).

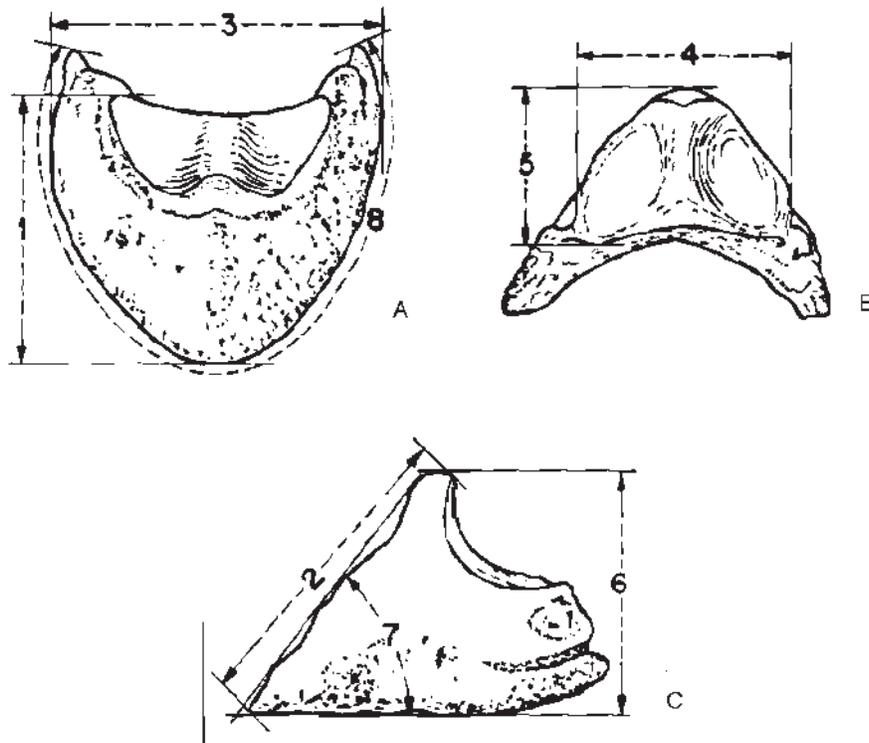


Figura 10. Tercera falange del tercer dedo (3FIII) de *Equus*. A) Vista anterior; B) Vista proximal; C) Vista lateral; 1= Longitud desde el borde posterior de la superficie articular hasta la punta de la falange; 2= Longitud anterior; 3= Anchura máxima; 4= Anchura articular; 5= Profundidad articular; 6= Altura máxima; 7= Ángulo entre la planta y la línea dorsal de la falange; 8= Circunferencia de la planta (Modificado de Eisenmann *et al.*, 1988).

Índice de gracilidad

Para estimar la gracilidad de las especies que se encuentran en nuestras localidades y hacer inferencias sobre su hábitat basado sobre todo en los elementos distales de las extremidades (MCIII, MTIII, 1FIII, 2FIII y 3FIII) se realizaron dos estimaciones de gracilidad usando los Metacarpos y los Metatarsos:

El Índice de gracilidad de Prado y Alberdi (1994):

$$(IG1) = \frac{\text{Ancho mínimo (3)} * 100}{\text{Longitud máxima (1)}}$$

, que sirve como indicador para el hábitat donde vivían los animales (más abierto o más boscoso, suelo más duro o más suave) y el Índice de gracilidad propuesto por Winans (1989):

$$\text{Índice de gracilidad (IG2)} = \frac{\text{Longitud máxima (1)}}{\text{Anchura proximal articular (5)}}$$

que considera el resultado de este índice como un carácter que representa gracilidad o robustez en las extremidades. Los valores mayores o menores de los metápodos los utiliza para la clasificación de sus grupos de caballos: (1) *E. simplicidens* (IG2 en MCIII < 5.0 y MTIII < 6.0); (2) *E. scotti* (IG2 en MCIII < 5.0 y MTIII < 6.0); (3) *E. laurentius* (IG2 en MCIII < 5.0 y MTIII < 6.0); (4) *E. francisci* (IG2 en MCIII > 5.0 y MTIII > 6.0, conjunto que incluye todos los caballos de extremidades gráciles); y (5) *E. alaskae* (IG2 en MCIII < 5.0 y MTIII < 6.0). En base a esto se comprueba la gracilidad o robustez de los caballos de este estudio así como su posible correspondencia a unos de los grupos de Winans.

Estimación de masa corporal

Siguiendo a Alberdi *et al.* (1995), se estimó la masa corporal de los caballos de La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana y para comparar, material de El Cedral (San Luis Potosí). Dado que ellos establecen que las variables que mejor se ajustan a la recta de regresión para la estimación del peso son 1FIII5 y MCIII13. La variable 5 de la primera falange del tercer dedo (1FIII5: anchura proximal antero-posterior; $r = 0.991$, %R = 98.25, Pendiente = 3.476 y Intercepto = -6.548), y la variable 13 del tercer metacarpo (MCIII13: profundidad mínima distal del cóndilo lateral; $r = 0.982$, %R = 96.61, Pendiente = 3.056 y Intercepto = -4.313), se ha estimado los pesos, siempre que se ha podido, con ambas variables 1FIII5 y MCIII13.

$$\text{Ln}Y = \text{Ln}a + b (\text{Ln} X)$$

LnY= Masa corporal en logaritmo natural

Ln a= Intercepto literatura

b= Pendiente literatura

LnX= Ln de la variable

Dando estos valores de cada variable en logaritmo natural (Ln) y sustituidos en la ecuación de regresión y reemplazando los valores correspondientes de la PENDIENTE y el INTERCEPTO en la tabla 3 y 4 de Alberdi *et al.* (1995), se obtuvo el resultado de esta operación en logaritmo natural que elevado exponencialmente nos da como resultado la estimación de la masa corporal en kilogramos del individuo al que perteneció el elemento en estudio.

Análisis estadísticos

Después de haber identificado y medido cada una de las variables morfométricas (Ver Figuras 3, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10) de los restos fósiles, se generó una matriz de datos que se utilizó para llevar a cabo análisis estadísticos bivariantes y multivariantes con la finalidad de completar el estudio de la variabilidad de los mismos y tratar de identificarlos taxonómicamente. Se contó con la base de datos de otras localidades mexicanas (concretamente de El Cedral, SLP, cedida amablemente por MT Alberdi, MNCN) lo que permitió ampliar los conocimientos sobre los équidos mexicanos así como complementar los análisis comparativos. En dicha base de datos se incluyeron las medidas de premolares y molares superiores e inferiores, MCIII, AST, MTIII, 1FIII y 2FIII de dicha localidad.

Elementos craneales y mandibulares

No hubo restos del cráneo y solo se tuvo un fragmento de mandíbula. Los restos dentarios superiores e inferiores presentan una alta variabilidad, característica de los équidos que tienen dientes con coronas altas (hipsodontos), que varían a lo largo de la vida del animal por el desgaste progresivo de dichos elementos. Con los dientes superiores e inferiores: premolares (P/3 P/4 y p/3 p/4) y molares (M/1 M/2 y m/1 m/2) se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) con el fin de explorar las relaciones entre ellos. También se hicieron análisis bivariantes de longitud y anchura de los dientes en la base (≈1cm de la base de la corona) con el fin de acotar al máximo los límites de la variabilidad individual.

Elementos postcraneales

Con las matrices generadas por los parámetros o variables morfométricas de aquellos elementos postcraneales más numerosos y representativos, como son: MCIII, AST, MTIII, 1FIII y 2FIII se llevaron a cabo también Análisis de Componentes Principales (ACP) de los elementos postcraneales más numerosos de La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana para explorar las relaciones entre los distintos restos de unas poblaciones con otras de manera que se pueda observar su distribución en el espacio muestral y la agrupación entre ellos. Con el resultado se evaluaron los porcentajes de varianza acumulada de al menos los dos primeros componentes principales, para tener la mayor explicación posible.

Una vez visualizados los resultados obtenidos del Análisis de Componentes Principales y a la vista de ellos, se realizó un Análisis Discriminantes (AD) para los elementos MCIII, AST, 1FIII y 2FIII. Se incluyeron los restos ya clasificados de El Cedral (Alberdi *et al.*, *in litteris*) como material comparativo con el fin de observar cómo se distribuyen los ejemplares de La Cinta y La Piedad frente a los restos de El Cedral ya conocidos.

Dado que se tuvo una matriz de datos con grupos ya clasificados, se considero como grupo externo a los elementos estudiados en este trabajo de La Cinta y La Piedad, con el fin de examinar cómo se agrupan con respecto a los restos ya conocidos.

En el caso del MTIII el AD se llevó a cabo con los grupos, analizando el grado de diferencias entre los grupos resultantes del ACP con el fin de evaluar la clasificación correcta de estos últimos conjuntamente con los de El Cedral. Se tiene en cuenta que entre los restos de El Cedral no hay ningún metatarsiano completo asignado a la talla media.

Para todos los análisis estadísticos se han utilizado los software STATISTICA 7.0, JMP 7.0 de SAS Institute y SPSS 11.5 Inc.

RESULTADOS

Análisis estadísticos de elementos fósiles

Análisis estadísticos de los elementos craneales (dientes aislados superiores).

Análisis bivariante de P2 superiores.

En el análisis bivariante de los P2 superiores se contrastan las variables longitud y anchura en la base. Se observa que cuatro dientes: dos de La Cinta-Portalitos (*UM 128 P2 I*, *UM 167 P2 D*) y dos restos de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 83 P2 D*, *CPOEI 57 P2 I*) conforman un grupo de dimensiones similares que podrían pertenecer a animales de talla mediana; un fósil de La Cinta-Portalitos (*UM 92 P2 D*) podría pertenecer al grupo de talla grande (Fig.11).

Análisis multivariante de P3/4 superiores.

Los resultados del análisis de componentes principales de los (P3/4 superiores) indican que los dos primeros componentes acumulan el 93.43% de la varianza, el componente uno reúne el 82.27% de la varianza prácticamente todas la variables principalmente (longitud en la base y anchura oclusal), explican la forma y tamaño de la superficie oclusal mientras que el componente dos explica el 11.16% de la varianza, la variable (longitud del protocono) es la única que influye, en mucho menos medida, en el segundo componente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de componente, eigenvalor, porcentaje y porcentaje acumulado de los (P3/4 superiores).

Numero	Eigenvalor	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	4.1135	82.270	82.270
2	0.5582	11.164	93.434
3	0.1943	3.885	97.319
4	0.1036	2.072	99.391
5	0.0304	0.609	100.000

Con el primer componente observamos la presencia de tres grupos de restos, en donde cuatro restos: tres de La Cinta-Portalitos (*UM 148 P3/4 D*, *UM 186 P3/4 D*, *UM 530 P3/4 I*) y un resto de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI37 P3/P4I*) se agrupan dentro de la talla grande de El Cedral; 25 fósiles: 21 de La Cinta-Portalitos (*UM 450 P3/4 I*, *UM 98 P3/4 I*, *UM 191 P3/4 I*, *UM 107 P3/4 D **, *UM 111 P3/4 D*, *UM 158 P3/4 D*, *UM 283 P3/4 D*, *UM 161 P3/4 I*, *UM 414 P3/4 I*, *UM 449 P3/4 I*, *UM 333 P3/4 I*, *UM 340 P3/4 I*, *UM 146 P3/4 D*, *UM 126 P3/4 D*, *UM 134 P3/4 D*, *UM 150 P3/4 D*, *UM 447 P3/4 D*, *UM 151 P3/4 I*, *UM 523 P3/4 I*, *UM 527 P3/4 I*, *UM 173 P3/4 I*) y cuatro de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI36 P3/4D*, *CPOEI40 P3/4D*, *CPOEI-187 P3/4 I*, *CPOEI38 P3/4 I*) se agrupan con la talla media de El Cedral; y 15 restos: 12 de La Cinta-Portalitos (*UM 149 P3/4 I*, *UM 180 P3/4 I*, *UM 188 P3/4 I*, *UM 106 P3/4 I*, *UM 136 P3/4 I*, *UM 115 P3/4 D*, *UM 139 P3/4 D*, *UM 153 P3/4 D*, *UM 147 P3/4 I*, *UM 149 P3/4 I*, *UM 163 P3/4 I*, *UM 524 P3/4 I*) y tres de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 82 P3/4 I*, *CPOEI56 P3/4 I*, *CPOEI-189 P3/4 D*) se agrupan dentro de la talla pequeña de El Cedral (Fig.12).

*UM 107 P3/4 D ** es un premolar con características morfológicas cualitativas bien conservadas.

Análisis bivariate de P3/4 superiores.

En el análisis bivariate de los P3/4 superiores se contrastan las variables longitud y anchura en la base. Se observa que dos dientes: uno de La Cinta-Portalitos (*UM 530 P3/4*) y un resto de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 37 P3/4*) se sitúan entre los de talla grande de El Cedral; 26 fósiles: 22 de La Cinta-Portalitos (*UM 450 P3/4 I*, *UM 185 P3/4*, *UM 191 P3/4 I*, *UM 95 P3/4 D*, *UM 107 P3/4 D **, *UM 111 P3/4 D*, *UM 125 P3/4 D*, *UM 148 P3/4 D*, *UM 186 P3/4 D*, *UM 182 P3/4 D*, *UM 283 P3/4 D*, *UM 449 P3/4 I*, *UM 333 P3/4 I*, *UM 146 P3/4 D*, *UM 126 P3/4 D*, *UM 134 P3/4 D*, *UM 150 P3/4 D*, *UM 157 P3/4 D*, *UM 447 P3/4 D*, *UM 151 P3/4 I*, *UM 523 P3/4 I*, *UM 527 P3/4 I*) y cuatro de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI35 P3/4D*, *CPOEI36 P3/4 D*, *CPOEI41 P3/4I*, *CPOEI38 P3/4 I*) se sitúan entre los de talla media de El Cedral; y 24 restos: 19 de La Cinta-Portalitos (*UM 144 P3/4 I*, *UM 149 P3/4 I*, *UM 98 P3/4 I*, *UM 158 P3/4 D*, *UM 161 P3/4 I*, *UM 180 P3/4 I*, *UM 188 P3/4 I*, *UM 414 P3/4 I*, *UM 106 P3/4 I*, *UM 136 P3/4 I*, *UM 340 P3/4 I*, *UM 115 P3/4 D*, *UM 139 P3/4 D*, *UM 153 P3/4 D*, *UM 147 P3/4 I*, *UM 149 P3/4 I*, *UM 163 P3/4 I*, *UM 524 P3/4 I*, *UM 173 P3/4 I*) y cinco de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 82 P3/4 I*, *CPOEI40 P3/4 D*,

CPOEI56 P3/4 I, CPOEI-187 P3/4 I, CPOEI-189 P3/4 D) se sitúan entre los de talla pequeña de El Cedral (Fig.12).

Análisis multivariante de M1/2 superiores.

Los dos primeros componentes acumulan el 92.72% de la varianza, el componente uno reúne el 83.9% de la varianza donde prácticamente todas las variables principalmente (anchura en la base y longitud oclusal) explican la forma y tamaño del diente, mientras que el componente dos explica el 8.81% de la varianza, y sólo la variable longitud del protocono influye y en mucho menos medida, en el segundo componente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de componente principal, eigenvalor, porcentaje y porcentaje acumulado de los (M1/2 superiores).

Numero	Eigenvalor	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	4.1955	83.909	83.909
2	0.4409	8.818	92.727
3	0.2212	4.423	97.150
4	0.0808	1.616	98.766
5	0.0617	1.234	100.000

Con el primer componente observamos la presencia de tres grupos de dientes, en donde seis molares: cinco de La Cinta-Portalitos (*UM 101 M1/2 I, UM 110 M1/2 D, UM 272 M1/2 I, UM 97 M1/2 D, UM 526 M1/2 D*) y uno de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-165 M1/2 I*) se agrupan con la talla grande de El Cedral; 22 restos: 19 de La Cinta-Portalitos (*UM 132 M1/2 I *, UM 124 M1/2 I, UM 271 M1/2 I, UM 444 M1/2 I, UM 130 M1/2 I, UM 200 M1/2 I, UM 445 M1/2 I #, UM 109 M1/2 D, UM 129 M1/2 D, UM 94 M1/2 D, UM 341 M1/2 D, UM 442 M1/2 D, UM 337 M1/2 I, UM 169 M1/2 I, UM 339 M1/2 I, UM 175 M1/2 D, UM 522 M1/2 D, UM 525 M1/2 I, UM 528 M1/2 D*) y tres de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-170 M1/2 I, UM 559 M1/2 D, CPOEI-180 M1/2 I*) se agrupan dentro de la talla media de El Cedral; 13 fósiles: siete de La Cinta-Portalitos (*UM 103 M1/2 I #, UM 181 M1/2 I, UM 93 M1/2 I, UM 135 M1/2 I #, UM 282 M1/2 I, UM 174 M1/2 D, UM 529 M1/2 D*) y seis de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 80 M1/2, CPOEI-171 M1/2 D, CPOEI-190 M1/2 D, UM 558 M1/2 D, UM 560 M1/2 I, CPOEI-167 M1/2 I*) se agrupan dentro de la talla pequeña de El Cedral (Fig. 12).

UM 103 M1/2 I #, UM 135 M1/2 I # y UM 445 M1/2 I # son molares con características morfológicas cualitativas bien conservadas.

Análisis bivariante de M1/2 superiores.

En el análisis bivariante de los M1/2 superiores contrasta la longitud y la anchura en la base del diente. Se observa que siete dientes: seis de La Cinta-Portalitos (*UM 101 M1/2 I*, *UM 110 M1/2 D*, *UM 169 M1/2 I*, *UM 97 M1/2 D*, *UM 175 M1/2 D*, *UM 526 M1/2 D*) y uno de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-165 M1/2 I*) se sitúan dentro de la talla grande de El Cedral; 18 restos: 15 de La Cinta-Portalitos (*UM 124 M1/2 I*, *UM 271 M1/2 I*, *UM 444 M1/2 I*, *UM 130 M1/2 I*, *UM 445 M1/2 I #*, *UM 109 M1/2 D*, *UM 129 M1/2 D*, *UM 94 M1/2 D*, *UM 341 M1/2 D*, *UM 337 M1/2 I*, *UM 272 M1/2 I*, *UM 339 M1/2 I*, *UM 522 M1/2 D*, *UM 525 M1/2 I*, *UM 528 M1/2 D*) y tres de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-170 M1/2 I*, *UM 559 M1/2 D*, *CPOEI-180 M1/2 I*) se situán dentro de la talla media de El Cedral; 16 fósiles: diez de La Cinta-Portalitos (*UM 103 M1/2 I #*, *UM 132 M1/2 I **, *UM 181 M1/2 I*, *UM 93 M1/2 I*, *UM 135 M1/2 I #*, *UM 200 M1-2 I*, *UM 282 M1-2 I*, *UM 174 M1-2 D*, *UM 442 M1-2 D*, *UM 529 M1-2 D*) y seis de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 80 M1/2*, *CPOEI-171 M1/2 D*, *CPOEI-190 M1/2 D*, *UM 558 M1/2 D*, *UM 560 M1/2 I*, *CPOEI-167 M1/2 I*) se situán dentro de la talla pequeña de El Cedral (Fig. 12).

Análisis bivariante de M3 superiores.

En el análisis bivariante de los M3 superiores se contrastan las variables longitud y anchura en la base. Se observa que dos dientes: uno La Cinta-Portalitos (*UM 334 M3 D*), y uno de La Piedad-Santa Ana (*UM 567 M3 D*) conforman un grupo de dimensiones similares que podrían pertenecer a animales de talla pequeña; 15 fósiles: 11 de La Cinta-Portalitos (*UM 164 M3 D*, *UM 178 M3 D*, *UM 112 M3 D*, *UM 127 M3 D*, *UM 152 M3 I*, *UM 330 M3 I*, *UM 189 M3 I*, *UM 195 M3 I*, *UM 415 M3 I*, *UM 123 M3 I*, *UM 145 M3 I*) y cuatro de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 158 M3 D*, *UM 557 M3 D*, *CPOEI 51 M3 D*, *CPOEI 42 M3 I*) podrían conformar un grupo de talla mediana; un resto de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 159 M3 D*) conforma pertenece a los restos de talla grande (Fig. 11).

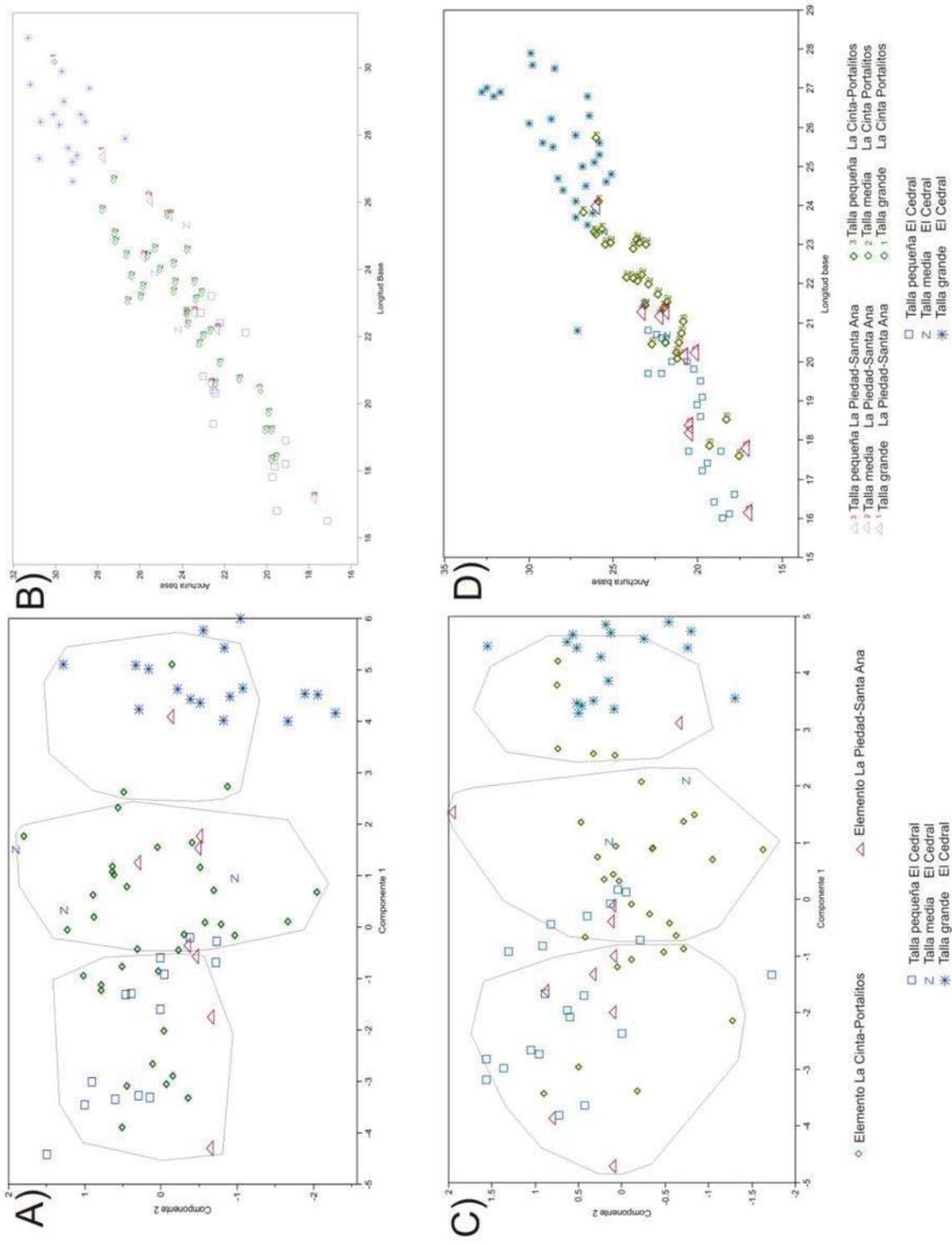


Figura 12. A) ACP de los P3/4, B) BV de los P3/4, C) ACP de los M1/2, D) BV de los M1/2, donde los cuadrados representan la talla pequeña de El Cedral, las "z" la talla mediana de El Cedral, y los asteriscos la talla grande. Los rombos de color verde son dientes de La Cinta-Portallitos, los triángulos de rojo son restos de La Piedad-Santa Ana; diferenciados con números en talla grande (1), media (2) y pequeña (3).

Análisis estadísticos de los elementos craneales (dientes aislados inferiores).

Análisis bivariante de p2 Inferiores.

En el análisis bivariante de los p2 inferiores se contrastan las variables longitud y anchura en la base. Se observa que dos dientes: uno La Cinta-Portalitos (*UM 315 p2 I*), y uno de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI98 p2 I*) son un par de dientes con dimensiones similares que podrían pertenecer a animales de talla mediana. Debido al escaso número de muestra los resultados los resultados podrían no ser significativos por lo que su valides debe ser considerada con mucha precaución (Fig. 13).

Análisis multivariante de p3/4 inferiores.

Los dos primeros componentes acumulan el 90.16% de la varianza, el componente uno reúne 79.38% de la varianza prácticamente todas la variables principalmente (anchura oclusal y longitud en la base) influyen y explican la forma y tamaño de la superficie oclusal, mientras que el componente dos explica el 10.77% de la varianza, las variables (longitud del postflexido y ancho en la base) son las que mayormente influyen en este componente pero en menor medida en relación al primero (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de componente principal, eigenvalor, porcentaje y porcentaje acumulado de los (p3/4 inferiores).

Numero	Eigenvalor	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	4.7633	79.388	79.388
2	0.6467	10.778	90.166
3	0.1987	3.312	93.478
4	0.1657	2.762	96.240
5	0.1512	2.521	98.761
6	0.0744	1.239	100.000

Con el primer componente se observa la presencia de tres grupos de dientes, donde 12 restos: seis de La Cinta-Portalitos (*UM 8 p3/4 I*, *UM 295 p3/4 I*, *UM 324 p3/4 I*, *UM 343 p3/4 I*, *UM 297 p3/4 D*, *UM 534 p3/4 I*) y seis de La Piedad-Santa Ana (*COPEI49 p3/4 D*, **CPOEI 76 p3/4 D*, **CPOEI77 p3/4 I*, *CPOEI-177 p3/4 I*, *CPOEI-181 p3/4 D*, *CPOEI-161 p3/4 D*) se agrupan dentro de la talla grande de El Cedral;40 fósiles: 27 de La Cinta-Portalitos (*UM 1 p3/4 I*, *UM 6 p3/4 I*, *UM 49 p3/4 I*, *UM 62 p3/4 I*, *UM 213 p3/4 I*, *UM 217 p3/4 I*, *UM 5 p3/4 I*, *UM 65 p3/4 I*, *UM 228 p3/4 I*, *UM 268 p3/4 I*, *UM 24 p3/4 D*, *UM 26 p3/4D*, *UM 254 p3/4 D*, *UM 363 p3/4 D*, *UM 452 p3/4 D*, *UM 32 p3/4 D*, *UM 435 p3/4 D*, *UM 256 p3/4 I*, *UM 31 p3/4 D*, *UM 325 p3/4 I*, *UM 310 p3/4 I*, *UM 17 p3/4 I*, *UM 345 p3/4 I*, *UM 536 p3/4 I*, *UM 7 p3/4 I*, *UM 385 p3/4 D*,*UM 267 p3/4 D*) y 13 de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 88 p3/4 I*, *CPOEI 92 p3/4 D*, *CPOEI52 p3/4 I*, *CPEOI69 p3/4 D*, **CPOEI75 p3/4 I*, *CPOEI-97 p3/4 I*, *CPOEI-174 p3/4 I*, *CPOEI-169 p3/4 D*, *CPOEI-164 p3/4 D*, *UM 563 p3/4 I*, *UM 569 p3/4 D*, *CPOEI 59 p3/4 I*, *CPOEI 79 p3/4 D*) se agrupan

dentro de la talla mediana de El Cedral; y 23 dientes: 17 de La Cinta-Portalitos (*UM 70 p3/4 I, UM 358 p3/4 I, UM 293 p3/4 I, UM 327 p3/4 I, UM 36 p3/4 D, UM 318 p3/4 D, UM 426 p3/4 D, UM 438 p3/4 D, UM 259 p3/4 I, UM 368 p3/4 D, UM 29 p3/4 D, UM 14 p3/4 I, UM 2 p3/4 I, UM 389 p3/4 D, UM 383 p3/4 D, UM 84 p3/4 D, UM 75 p3/4 D*) y seis de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 8 p3/4 I, CPOEI 89 p3/4 I, CPOEI53 p3/4 D, CPOEI55 p3/4 D, CPOEI64 p3/4 I, UM 565 p3/4 D*) se agrupan dentro de la talla pequeña de El Cedral (Fig. 14).

*UM 521 p3/4 D ** es un premolar con características morfológicas cualitativas bien conservadas y a simple vista de gran tamaño y **CPOEI75 p3/4I, *CPOEI 76 p3/4 D, *CPOEI77 p3/4 I* son premolares con una conservación muy buena y de coloración clara.

Análisis bivariante de p3/4 inferiores.

En el análisis bivariante de los p3/4 inferiores se contrastan las variables longitud y anchura en la base, y se observa que 16 dientes: nueve de La Cinta-Portalitos (*UM 8 p3/4 I, UM 49 p3/4 I, UM 295 p3/4 I, UM 324 p3/4 I, UM 343 p3/4 I, UM 5 p3/4 I, UM 521 p3/4 D *, UM 534 p3/4 I, UM 7 p3/4 I*) y seis de La Piedad-Santa Ana (*COPEI49 p3/4 D, CPEOI69 p3/4 D, *CPOEI 76 p3/4 D, *CPOEI77 p3/4 I, CPOEI-177 p3/4 I, CPOEI-161 p3/4 D*) se sitúan dentro de la talla grande de El Cedral; 21 fósiles: 16 de La Cinta-Portalitos (*UM 6 p3/4 I, UM 62 p3/4 I, UM 213 p3/4 I, UM 217 p3/4 I, UM 228 p3/4 I, UM 268 p3/4 I, UM 24 p3/4 D, UM 26 p3/4 D, UM 218 p3/4 D, UM 297 p3/4 D, UM 32 p3/4 D, UM 256 p3/4 I, UM 325 p3/4 I, UM 14 p3/4 I, UM 385 p3/4 D, UM 267 p3/4 D*) y cinco de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 92 p3/4 D, CPOEI53 p3/4 D, CPOEI-97 p3/4 I, CPOEI-164 p3/4 D, CPOEI 59 p3/4 I*) se sitúan dentro de la talla media de El Cedral; y 40 restos: 27 de La Cinta-Portalitos (*UM 1 p3/4 I, UM 70 p3/4 I, UM 358 p3/4 I, UM 65 p3/4 I, UM 293 p3/4 I, UM 327 p3/4 I, UM 36 p3/4 D, UM 254 p3/4 D, UM 363 p3/4 D, UM 452 p3/4 D, UM 318 p3/4 D, UM 426 p3/4 D, UM 435 p3/4 D, UM 438 p3/4 D, UM 259 p3/4 I, UM 31 p3/4 D, UM 368 p3/4 D, UM 310 p3/4 I, UM 17 p3/4 I, UM 29 p3/4 D, UM 345 p3/4 I, UM 536 p3/4 I, UM 2 p3/4 I, UM 389 p3/4 D, UM 383 p3/4 D, UM 84 p3/4 D, UM 75 p3/4 D*) y 13 de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 87 p3/4 I, CPOEI 88 p3/4 I, CPOEI 89 p3/4 I, CPOEI52 p3/4 I, CPOEI55 p3/4 D, CPOEI64 p3/4 I, *CPOEI75 p3/4 I, CPOEI-174 p3/4 I, CPOEI-169 p3/4 D, UM 563 p3/4 I, UM 565 p3/4 D, UM 569 p3/4 D, CPOEI 79 p3/4 D*) se incluyen entre los de talla pequeña de El Cedral (Fig. 14).

Análisis multivariante de m1/2 inferiores.

Los dos primeros componentes acumulan el 87.91% de la varianza, el componente uno reúne el 72.84% de la varianza prácticamente todas las variables principalmente (longitud en la base y longitud oclusal) influyen y explican la forma y tamaño de la corona del diente, mientras que el componente dos explica el 15.06% de la varianza, las variables (longitud del postflexido y anchura en la base) son las que mayormente influyen en este componente pero en menor medida en relación al primero (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de componente principal, eigenvalor, porcentaje y porcentaje acumulado de los (m1/2 inferiores).

Numero	Eigenvalor	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	4.3709	72.848	72.848
2	0.9038	15.063	87.911
3	0.3517	5.862	93.773
4	0.1936	3.227	97.000
5	0.1062	1.771	98.770
6	0.0738	1.230	100.000

En ACP de los m1/2 inferiores usando el primer componente se observa dos diferentes grupos de restos, 6 fósiles: uno de La Cinta-Portalitos (UM 520 m1/2 D) y cinco de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI46 m1/2 D **, *CPOEI48 m1/2 I*, *CPOEI-178 m1/2 I*, *CPOEI-162 m1/2 I*, *CPOEI-183 m1/2 D*) se agrupan dentro de la talla grande de El Cedral; 16 dientes: 14 de La Cinta-Portalitos (*UM 9 m1/2 I*, *UM 306 m1/2 I*, *UM 63 m1/2 D*, *UM 83 m1/2 D*, *UM 91 m1/2 D*, *UM 248 m1/2 D*, *UM 354 m1/2 I **, *UM 275 m1/2 I*, *UM 221 m1/2 I*, *UM 33 m1/2 D*, *UM 312 m1/2 D*, *UM 533 m1/2 I*, *UM 72 m1/2 I*, *UM 21 m1/2 I*) y dos dientes de La Piedad-Santa Ana (*UM 570 m1/2 D*, *CPOEI 94 m1/2 I*) se agrupan dentro de la talla media de El Cedral; 11 restos: 10 de La Cinta-Portalitos (*UM 4 m1/2 I*, *UM 19 m1/2 I*, *UM 238 m1/2 I*, *UM 35 m1/2 D*, *UM 63 m1/2 D*, *UM 219 m1/2 D*, *UM 287 m1/2 D*, *UM 326 m1/2 D*, *UM 18 m1/2 I*, *UM 532 m1/2 I*) y un resto de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-172 m1/2 I*) se agrupan dentro de la talla pequeña de El Cedral (Fig.14).

*UM 354 m1/2 I ** y *CPOEI46 m1/2 D **, son molares con características morfológicas cualitativas bien conservadas y a simple vista de gran tamaño.

Análisis bivariante de m1/2 inferiores.

En el análisis bivariante de los m1/2 inferiores se contrastan las variables entre la longitud y anchura en la base, y se observa que dos restos de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-162 m1/2 I*, *CPOEI-183 m1/2 D*) se clasifican dentro de la talla grande de El Cedral; 14 fósiles: 10 de La Cinta-Portalitos (*UM 9 m1/2 I*, *UM 306 m1/2 I*, *UM 91 m1/2 D*, *UM 248 m1/2 D*, *UM 221 m1/2 I*, *UM 312 m1/2 D*, *UM 533 m1/2 I*, *UM 72 m1/2 I*, *UM 21 m1/2 I*, *UM 520 m1/2 D*) y cuatro de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI46 m1/2D **, *CPOEI48 m1/2 I*, *CPOEI-178 m1/2 I*, *UM 570 m1/2 D*) se clasifican dentro de la talla media de El Cedral; 16 dientes: 14 de La Cinta-Portalitos (*UM 4 m1/2 I*, *UM 19 m1/2 I*, *UM 238 m1/2 I*, *UM 35 m1/2 D*, *UM 63 m1/2 D*, *UM 83 m1/2 D*, *UM 219 m1/2 D*, *UM 287 m1/2 D*, *UM 326 m1/2 D*, *UM 354 m1/2 I **, *UM 18 m1/2 I*, *UM 275 m1/2 I*, *UM 33 m1/2 D*, *UM 532 m1/2 I*) y dos dientes de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-172 m1/2 I*, *CPOEI 94 m1/2 I*) se clasifican dentro de la talla pequeña de El Cedral (Fig.14).

Análisis bivariante de m3 inferiores.

En el análisis bivariante de los m3 inferiores se contrastan las variables longitud y anchura en la base. Se observa que un diente de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 67 m3 D*) podría pertenecer al grupo de talla pequeña; siete fósiles: seis de La Cinta-Portalitos (*UM 360 m3 D*, *UM 263 m3 D*, *UM 361 m3 D*, *UM 392 m3 D*, *UM 311 m3 I*, *UM 253 m3 I*) y uno de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 73 m3 I*) podrían conformar la talla mediana; y un resto de La Cinta-Portalitos (*UM 301 m3 I*) por sus dimensiones podría ser un resto de talla grande (Fig.13).

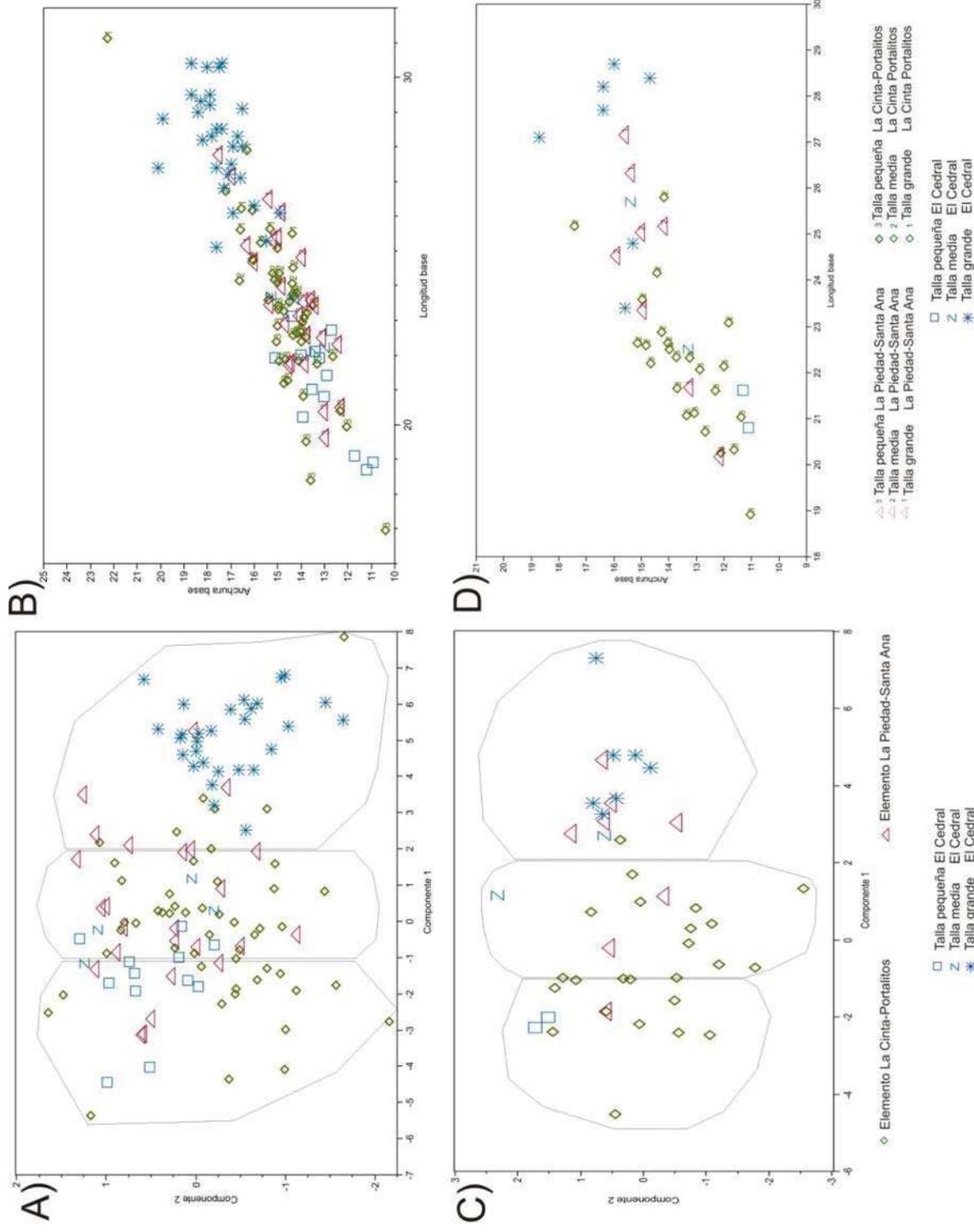


Figura 14. A) ACP de los p3/4, B) BV de los m1/2, C) ACP de los m1/2, D) BV de los m1/2, donde los cuadrados representan la talla pequeña de El Cedral, las “z” la talla mediana de El Cedral, y los asteriscos la talla grande. Los rombos de color verde son dientes de La Cinta-Portaltitos, los triángulos de rojo son restos de La Piedad-Santa Ana; diferenciados con números en talla grande (1), media (2) y pequeña (3).

Análisis estadístico de los elementos postcraneales de Equus.

Análisis de componentes principales de los metacarpos (MCIII).

En los análisis de componentes principales de los MCIII no se incluyen las variables 2, 9, 15 y 16, debido a que la variable 2 daría mucho peso a la longitud y las otras variables por estar generalmente alteradas en la mayoría de los restos o faltar.

Los dos primeros componentes acumulan el 96.21% de la varianza, el componente uno reúne el 92.46% de la varianza prácticamente todas las variables principalmente (profundidad máxima distal del cóndilo medial y anchura máxima distal articular) influyen bastante e indican o explican la forma o tamaño del metacarpo, mientras que el componente dos, que sólo explica el 3.75% de la varianza, la variable (longitud máxima) es la única que influye y en mucha menos medida (Cuadro 5).

Cuadro 5. Eigenvalores, porcentaje y porcentaje acumulado de explicación de la varianza de los tres primeros componentes de MCIII.

Numero	Eigenvalor	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	11.0959	92.465	92.465
2	0.4504	3.753	96.219
3	0.1997	1.665	97.883

Con el primer componente observamos la presencia de tres grupos de restos, un resto de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-3*) se agrupa con la talla media de El Cedral; tres fósiles de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-111*, *CPOEI-93*, *CPOEI-103*) se sitúan entre los de talla pequeña de El Cedral.

El componente dos, separa dos grupos entre los restos más pequeños de El Cedral y La Piedad-Santa Ana, que indicarían una diferencia de gracilidad entre ellos (Fig. 15).

Análisis discriminante de los metacarpos (MCIII).

En los análisis discriminantes realizados sobre los MCIII, los elementos de La Piedad-Santa Ana se incluyen como un grupo externo. Tres de estos elementos (*CPOEI-111MCI*, *CPOEI-93MCII*, *CPOEI-103MCI*) se agrupan con los restos de El Cedral de talla pequeña, mientras que el otro ejemplar (*CPOEI-3MCIII*) se une con los restos de talla media. Los resultados del análisis discriminante indican una clasificación correcta del 100% de la agrupación original y del 95% por crostabulación de los restos de MCIII (Fig. 15).

Análisis de componentes principales de los metatarsos MTIII.

En los análisis de componentes principales de los MTIII no se incluyen las variables 2, 9, 15 debido a que la variable 2 daría mucho peso a la longitud y las otras variables suelen faltar o estar alteradas en la mayoría de los restos.

Los dos primeros componentes acumulan el 94.35% de la varianza, el componente uno reúne el 91.71% de la varianza prácticamente todas las variables principalmente (profundidad máxima distal del cóndilo medial y diámetro máximo de la faceta articular para el tercer tarsal) influyen bastante e indican o explican la forma o tamaño del metatarso, mientras que el componente dos, que sólo explica el 2.63% de la varianza, las variables (diámetro de la faceta articular para el 4º tarsal y anchura mínima en la diáfisis) son las mayormente influyen y en mucha menos medida (Cuadro 6).

Cuadro 6. Eigenvalores, porcentaje y porcentaje acumulado de explicación de la varianza de los tres primeros componentes principales de MTIII.

Numero	Eigenvalor	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	11.0057	91.714	91.714
2	0.3165	2.637	94.351
3	0.2805	2.338	96.689

En el primer componente se observa la presencia de tres grupos de restos, un resto de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-1*) se agrupa con talla grande de El Cedral; un fósil de La Cinta-Portalitos (*UM 1*) que se agrupan con la talla pequeña de El Cedral, y tres restos de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-104*, *CPOEI-150*, *CPOE-100*) intermedios entre estos dos grupos podrían corresponder a la talla media de El Cedral. Esto no lo podemos confirmar ya que esta pieza está prácticamente ausente entre los caballos de talla media de El Cedral (Fig.15).

Análisis discriminante de los metatarsos (MTIII).

En el caso de los análisis discriminantes realizados sobre los MTIII no se realizó el análisis considerando los restos de La Piedad-Santa Ana de talla mediana como grupo externo debido a la falta de restos de MTIII en el grupo de talla mediana de El Cedral. Por ello, agrupamos los restos de esta localidad utilizando los grupos resultantes del ACP. Los resultados de este AD confirman la presencia de tres grupos de caballos en las localidades de La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana, donde el porcentaje de los casos correctamente clasificados originalmente es del 100% y de un 96,4% por crostabulación en los MTIII. Concretamente, el único MTIII de La Cinta-Portalitos (*UM 1*) se ubicó entre los restos de talla pequeña de El Cedral, y los restos de La Piedad-Santa Ana uno de ellos (*CPOEI-1MTIII*) se situó entre los restos de talla grande y los tres restantes (*CPOEI-104MTIII*, *CPOEI-150MTIII*, *CPOE-100MTIII*) se situaron entre los dos grupos anteriores lo que consideramos que representa al grupo de talla media (Fig.15).

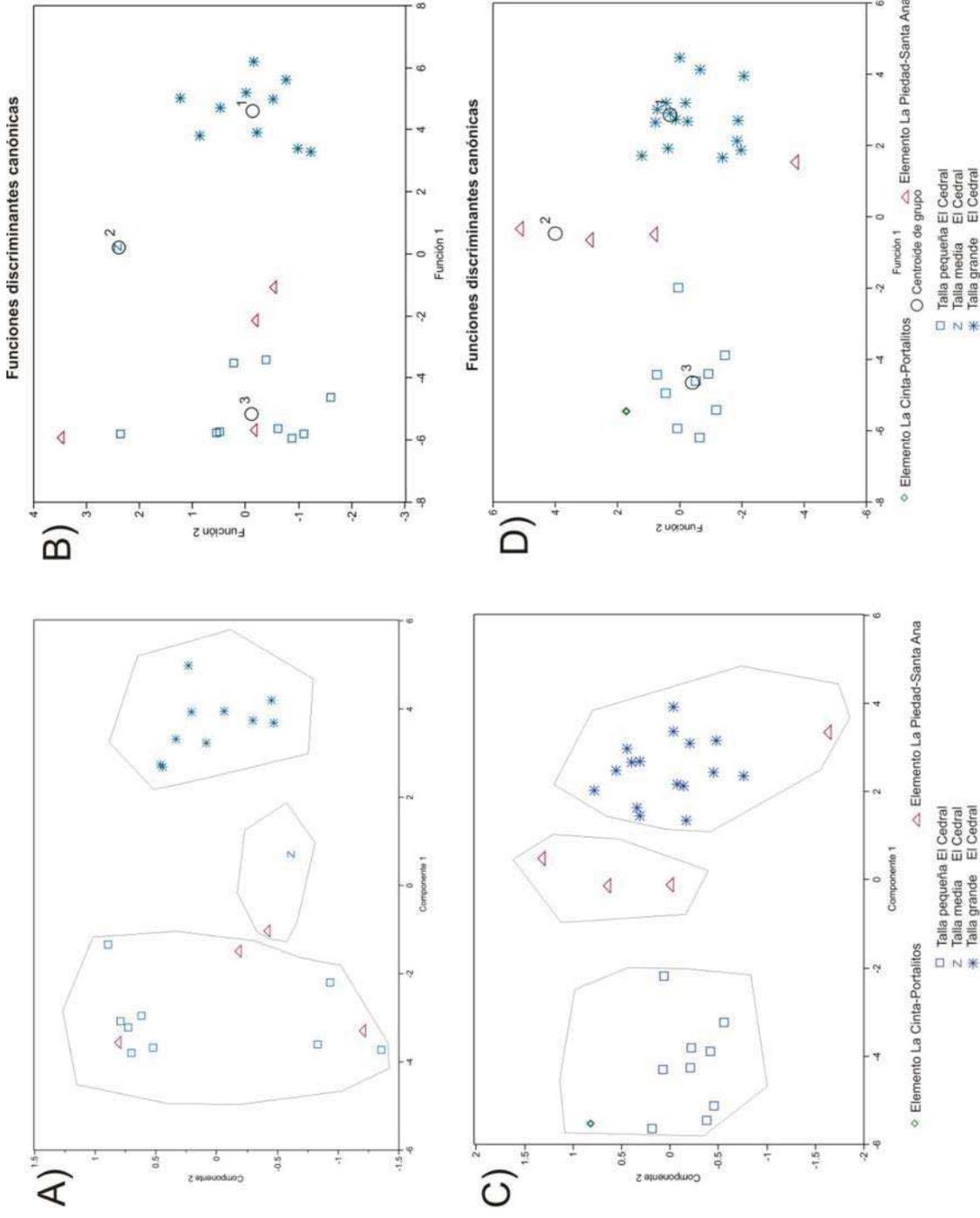


Figura 15. A)=Representación gráfica del ACP de los MCIII, B) Representación gráfica del ACP de los MTIII, D) Representación gráfica del AD de los MTIII, donde los cuadrados representan la talla pequeña de El Cedral, las "z" la talla mediana de El Cedral, y los asteriscos la talla grande. Los rombos de color verde representan los restos de La Cinta-Portalitos, los triángulos de color rojo los restos de La Piedad-Santa Ana y el círculo negro los centroides de grupo.

Análisis de componentes principales de los Astrágalos (AST).

Los dos primeros componentes acumulan el 96.51% de la varianza, el componente uno reúne el 94.50% de la varianza prácticamente todas las variables principalmente (anchura articular distal y anchura máxima) influyen bastante e indican o explica la forma, tamaño del astrágalo, mientras que para el segundo componente con el 2.01% de la varianza e indica que las variables (profundidad articular distal y longitud máxima) y influyen en menor medida (Cuadro 12).

Cuadro 7. Eigenvalores, porcentaje y porcentaje acumulado de explicación de la varianza de los tres primeros componentes principales de AST.

Number	Eigenvalue	Percent	Cum Percent
1	6.6153	94.504	94.504
2	0.1408	2.012	96.516
3	0.0967	1.382	97.898

En el primer componente se observa la presencia de tres grupos de restos, un resto de La Cinta-Portalitos (*UM 510*) se agrupa con la talla grande de El Cedral; 20 restos 16 de La Cinta-Portalitos (*UM 480, UM481, UM482,UM485, UM486, UM488, UM489, UM490, UM 491, UM 2, UM494, UM 542, UM551, UM 543, UM 552*) y cuatro de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI 18, CPOEI 138, CPOEI 143, UM 555*) se agrupan de una forma dispersa con la talla media de El Cedral y cinco fósiles: tres de La Cinta-Portalitos (*UM 484, UM495, UM518*) y dos de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-19,CPEOI-139*) se agrupan con la talla pequeña del Cedral. Se debe considerar que los astrágalos, en general, son muy variables y no muy significativos desde un punto de vista taxonómico (Fig.16).

Análisis discriminante de los Astrágalos (AST).

En los análisis discriminantes realizados sobre los AST, los elementos de La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana se incluyen como grupo externo. Dos restos de La Cinta-Portalitos (*UM 481, UM 510*) se agrupan con los de talla grande de El Cedral, mientras que 22 de estos elementos 18 de La Cinta-Portalitos (*UM 480, UM 482, UM 483, UM 485, UM 486,UM 487, UM 488, UM 489, UM 490, UM 491, UM 492, UM 2, UM 494, UM 519, UM 542,UM 551, UM 543, UM 552*) y cuatro de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-18, CPOEI-138, CPOEI-143, UM 555*) se agrupan dentro de la talla media de El Cedral, por último seis fósiles tres de La Cinta-Portalitos (*UM 484, UM 495, UM 518*) y tres de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-19, CPOEI-139, CPOEI-144*) se sitúan entre los restos de talla pequeña de El Cedral. Los resultados del análisis discriminante indican una clasificación correcta del 100% usando la agrupación original y una clasificación también del 100% de los casos por crostabulación en los restos de AST (Fig.16).

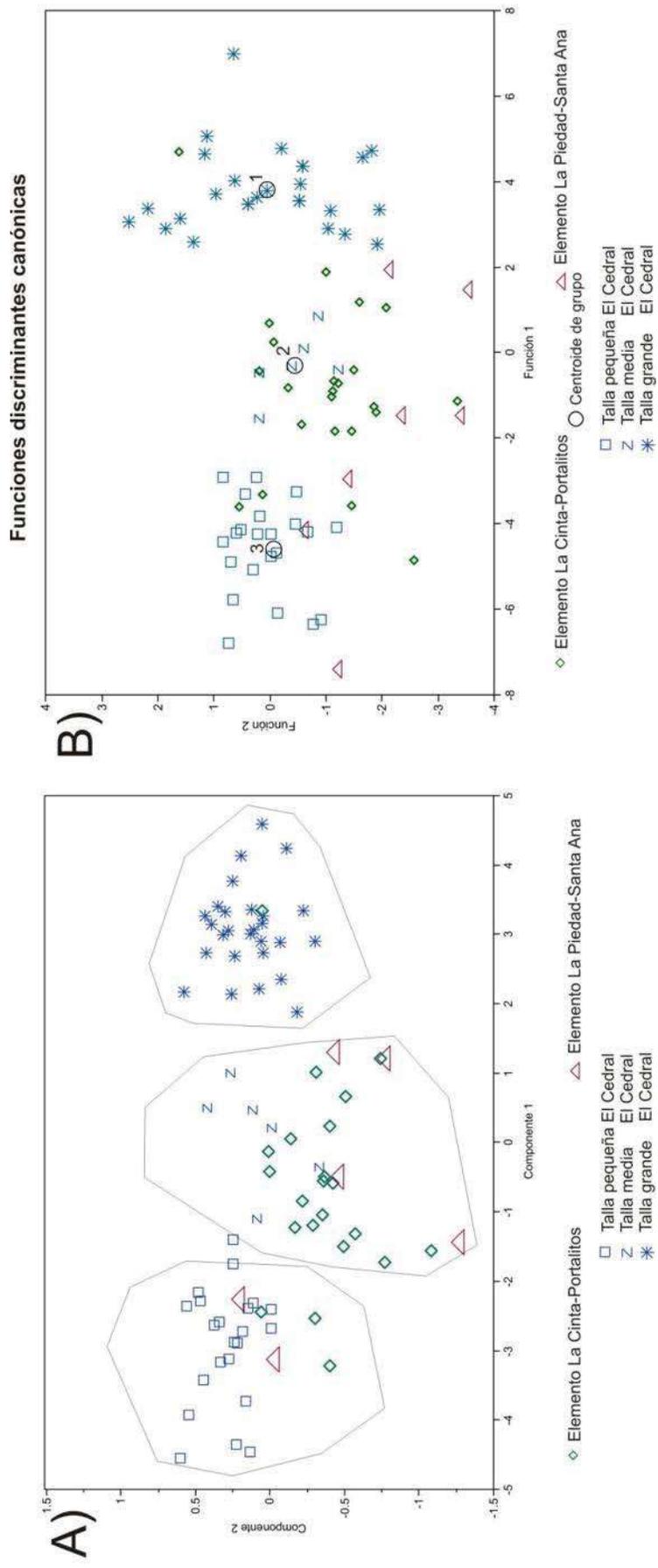


Figura 16. A)=Representación gráfica del ACP de los AST, B) Representación gráfica del AD de los AST, donde los cuadrados representan la talla pequeña de El Cedral, las “z” la talla mediana de El Cedral, y los asteriscos la talla grande. Los rombos de color verde representan los restos de La Cinta-Portailitos, los triángulos de color rojo los restos de La Piedad-Santa Ana y el círculo negro los centroides de grupo.

Análisis de componente principales de las primeras falanges de tercer dedo (1FIII)

En los análisis de componentes principales de la 1FIII no se incluye la variable 2, debido a que la variable 2 daría mucho peso a la longitud, ya que se sumaría a la variable 1.

Los dos primeros componentes acumulan el 95.984% de la varianza, el componente uno reúne el 90.78% de la varianza prácticamente todas las variables principalmente (anchura distal a nivel de la tuberosidad, anchura articular distal y el ancho proximal) influyen bastante e indican o explican la forma o tamaño de la falange, mientras que el componente dos, que sólo explica el 5.196% de la varianza, las variables (Longitud mínima del *trigonum phalangis* y longitud máxima) influyen mayormente en mucha menor medida (Cuadro 8).

Cuadro 8. Eigenvalores, porcentaje y porcentaje acumulado de explicación de la varianza de los tres primeros componentes principales de 1FIII.

Numero	Eigenvalor	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	7.2630	90.788	90.788
2	0.4157	5.196	95.984
3	0.1112	1.464	97.449

Con el primer componente observamos la presencia de tres grupos de restos, dos restos de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-i23*, *UM 553*, *UM 556*) se agrupan en la de talla grande de El Cedral; ocho restos: cuatro de La Cinta-Portalitos (*UM 453*, *UM 454*, *UM 479*, *UM 502*) y cuatro de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-d22*, *CPOEI-113*, *CPOEI-141*, *UM 554*) se agrupan en la talla media de El Cedral; cinco fósiles de La Cinta-Portalitos (*UM 53 I*, *UM 13*, *UM 503*, *UM 511*, *UM 477*) se agrupan dentro de la talla pequeña de El Cedral (Fig.17).

Análisis discriminantes de de las primeras falanges de tercer dedo (1FIII)

En los análisis discriminantes realizados en las 1FIII, los elementos de La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana se incluyen como grupo externo, los resultados confirman la presencia de tres grupos de tallas, donde el porcentaje de casos correctamente clasificados es del 100% usando la agrupación original y del 97.7% por costrabulación. Concretamente una falange de La Piedad-Santa Ana (*UM 556*) se agrupa en la talla grande de El Cedral; mientras nueve falanges: dos restos de La Cinta-Portalitos (*UM454* y *UM 479*) y siete de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-i23*, *CPOEI-d22*, *CPOEI-113*, *CPOEI-135*, *CPOEI-141*, *UM 553*, *UM 554*) se agrupan dentro de la talla media de El Cedral, por último que siete de estos elementos de La Cinta-Portalitos (*UM 453*, *UM 477*, *UM 53 I*, *UM 13*, *UM 503*, *UM 502*, *UM 511*,) se sitúan en la talla pequeña de El Cedral (Fig.17).

Análisis de componentes principales de las segundas falanges del tercer dedo (2FIII).

En los análisis de componentes principales de las 2FIII no se incluyó la variable 2, debido a que la variable 2 daría mucho peso a la longitud.

Los dos primeros componentes acumulan el 98.11% de la varianza, el componente uno reúne el 95.87% de la varianza prácticamente todas las variables principalmente (anchura máxima proximal y anchura mínima en la diáfisis) influyen bastante e indican o explican la forma o tamaño de la falange, mientras que el componente dos, que sólo explica el 2.23% de la varianza, las variables (longitud máxima y anchura máxima distal articular) influyen mayormente en menor medida (Cuadro 9).

Cuadro 9. Eigenvalores, porcentaje y porcentaje acumulado de explicación de la varianza de los tres primeros componentes principales de 2FIII.

Numero	Eigenvalor	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	4.7937	95.874	95.874
2	0.1119	2.238	98.113
3	0.0630	1.261	99.373

Con el primer componente observamos la presencia de tres grupos de restos, dos restos: uno de La Cinta-Portalitos (*UM 544*) y uno de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-146*) se agrupan con la talla grande de El Cedral; 41 restos: 39 de La Cinta-Portalitos (*UM 456, UM 457, UM 458, UM 459, UM 460, UM 461, UM 462, UM 463, UM 464, UM 465, UM 466, UM 467, UM 468, UM 469, UM 470, UM 472, UM 473, UM 474, UM 493, UM 152 Sx, UM153 Sx, UM 154 DX, UM155 Sx, UM156 Sx, UM158 Sx, UM 504, UM 505, UM 506, UM 513, UM 514, UM 515, UM 516, UM 517, UM 451, UM 545, UM 546, UM 547, UM 548, UM 549*) y dos de La Piedad-Santa Ana (*CPEOI- 20, CPOEI-136*) se agrupan dentro de la talla media de El Cedral y cuatro fósiles de La Cinta-Portalitos (*UM 471, UM 507, UM 508, UM 550*) se agrupan dentro de la talla pequeña de El Cedral (Fig.17).

Análisis discriminante de de las segundas falanges del tercer dedo (2FIII).

En los análisis discriminantes realizados sobre las 2FIII, los elementos de La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana se incluyen como un grupo externo. Uno de estos elementos de La Cinta-Portalitos (*UM 544*) se sitúan entre los restos de talla grande de El Cedral, mientras que 39 restos: 37 de La Cinta-Portalitos (*UM 456, UM 457, UM 458, UM 459, UM 460, UM 461, UM 462, UM 463, UM 464, UM 465, UM 466, UM 467, UM 468, UM 469, UM 472, UM 473, UM 474, UM 493, UM 152 Sx, UM153 Sx, UM 154 DX, UM155 Sx, UM156 Sx, UM 504, UM 505, UM 506, UM 513, UM 514, UM 515, UM 516, UM 517, UM 451, UM 545, UM 546, UM 547, UM 548, UM 549*) y dos de La Piedad-Santa Ana (*CPEOI- 20, CPOEI-146*) se agrupan entre los de talla media de El Cedral, por último siete fósiles: seis de La Cinta-Portalitos (*UM 470, UM 471, UM158 Sx, UM 507, UM 508, UM 550*) y uno de La Piedad-Santa Ana (*CPOEI-136*) se sitúan en el grupo de talla pequeña de El Cedral, Los resultados del análisis discriminante indican un porcentaje de los casos correctamente clasificados del 93.3% usando la agrupación original y del 90.0% por costrabulación (Fig.17).

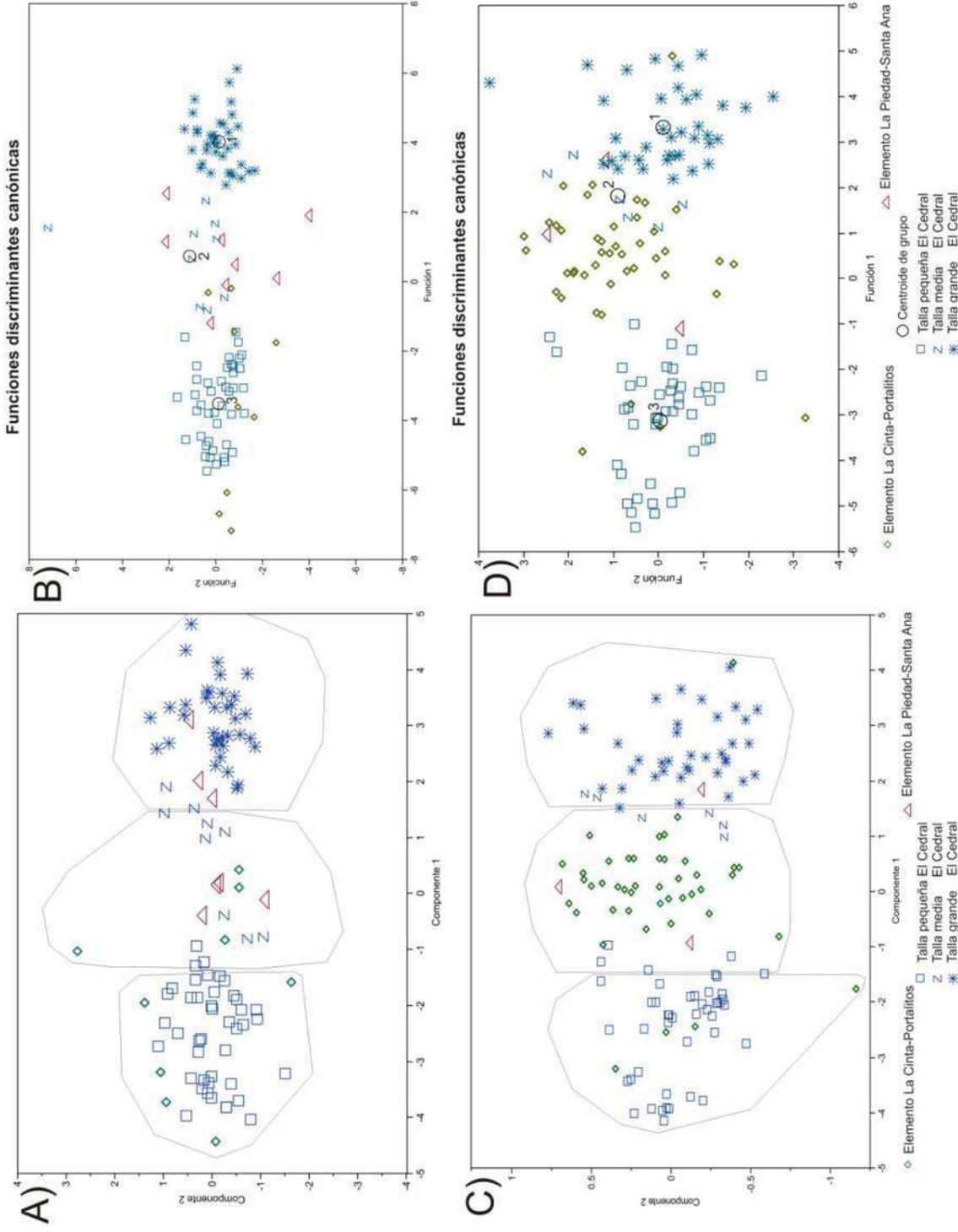


Figura 17. A)=Representación gráfica del ACP de los 1FIII, B) Representación gráfica del ACP de los 2FIII, D) Representación gráfica del AD de los 2FIII, donde los cuadrados representan la talla pequeña de El Cedral, las "z" la talla mediana de El Cedral, y los asteriscos la talla grande. Los rombos de color verde representan los restos de La Cinta-Portalitos, los triángulos de color rojo los restos de La Piedad-Santa Ana y el círculo negro los centroides de grupo.

Estimación de masa corporal de los grupos de *Equus*.

Siguiendo la metodología y estimación del peso de los caballos de Alberdi *et al.* (1995), hemos estimado la masa corporal de los caballos de La Cinta-Portalitos, La Piedad-Santa Ana (Michoacán) y de El Cedral (San Luis Potosí).

Se logró estimar la masa corporal de la talla pequeña, mediana y grande utilizando la variable 1FIII5 y la variable MCIII13 en La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana (Cuadro 10-14).

Cuadro 10. Estimaciones de masa corporal, a partir de la variable 1FIII5 de talla pequeña, para los caballos de La Cinta-Portalitos.

Elemento 1FIII	Localidad	Masa Corporal Kg	Desviación Estándar	Talla
UM 453	La Cinta-Portalitos	149.88		TP
UM 53 I	La Cinta-Portalitos	66.98		TP
UM 13	La Cinta-Portalitos	193.05		TP
UM 503	La Cinta-Portalitos	67.61		TP
UM 502	La Cinta-Portalitos	225.08		TP
UM 511	La Cinta-Portalitos	96.88		TP
UM 477	La Cinta-Portalitos	219.13		TP
Media General		145.52	69.08	

Cuadro 11. Estimaciones de masa corporal, a partir de la variable 1FIII5 de talla media, para los caballos de La Cinta-Portalitos (LC-PT) y La Piedad-Santa Ana (LP-SA).

Elemento 1FIII	Localidad	Masa corporal Kg	Desviación Estándar	Grupo Talla
UM 454	La Cinta-Portalitos	257.68		TM
UM 479	La Cinta-Portalitos	431.72		TM
Media LC-PT		344.7	123.06	
CPOEI-i23	La Piedad-Santa Ana	386.16		TM
CPOEI-d22	La Piedad-Santa Ana	204.51		TM
CPOEI-113	La Piedad-Santa Ana	243.36		TM
CPOEI-135	La Piedad-Santa Ana	369.15		TM
CPOEI-141	La Piedad-Santa Ana	304.23		TM
UM 553	La Piedad-Santa Ana	343.12		TM
UM 554	La Piedad-Santa Ana	230.89		TM
Media LP-SA		297.3	72.03	
Media General		307.87	78.87	

Cuadro 12. Estimación de masa corporal, a partir de la variable 1FIII5 de talla grande, de los caballos de La Piedad-Santa Ana.

Elemento 1FIII	Localidad	Masa corporal Kg	Grupo Talla
UM 556	La Piedad-Santa Ana	476.7	TG

Cuadro 13. Estimaciones de masa corporal, a partir de la variable MCIII13 de talla pequeña, de los caballos de La Piedad-Santa Ana

Elemento MCIII	Localidad	Masa corporal Kg	Grupo Talla
CPOEI-111	La Piedad-Santa Ana	89.06	TP
CPOEI-93MCIII	La Piedad-Santa Ana	97.89	TP
CPOEI-103MCIII	La Piedad-Santa Ana	191.15	TP
Media General		126.03	

Cuadro 14. Estimación de masa corporal, a partir de la variable MCIII13 de talla media, de los caballos de La Piedad-Santa Ana.

Elemento MCIII	Localidad	Masa corporal Kg	Grupo Talla
CPOEI-3	La Piedad-Santa Ana	229.49	TM

Se logró estimar la masa corporal de la talla pequeña, mediana y grande utilizando la variable 1FIII5 y la variable MCIII13 en El Cedral (Cuadro 15-25).

Cuadro 15. Estimaciones de masa corporal, a partir de la variable 1FIII5 de talla grande, para los caballos de El Cedral (EC).

Elemento 1FIII	Localidad	Masa corporal Kg	Desviación Estándar	Talla
DP-5021d	EC	530.88		TG
DP-3092	EC	432.12		TG
DP-4151	EC	530.88		TG
DP-4148	EC	593.31		TG
DP-4132	EC	588.33		TG
DP-4147	EC	629.01		TG
DP-2827	EC	444.19		TG
DP-4164	EC	530.88		TG
DP-4133	EC	710.61		TG
DP-4137	EC	464.84		TG
DP-2924	EC	444.19		TG
DP-4161	EC	416.39		TG
DP-3090	EC	578.46		TG
DP-3093	EC	444.19		TG
DP-4765	EC	830.78		TG
DP-2817	EC	568.71		TG
DP-4748	EC	452.37		TG
DP-3091	EC	469.05		TG
DP-4739	EC	424.20		TG
DP-4753	EC	464.84		TG
DP-3096	EC	408.68		TG
DP-4136	EC	618.65		TG
DP-4766	EC	540.17		TG
DP-4758	EC	588.33		TG
DP-4746	EC	530.88		TG
DP-4754	EC	397.31		TG
DP-2904	EC	811.90		TG
DP-4153	EC	386.16		TG
DP-4756	EC	588.33		TG
DP-3094	EC	350.62		TG
DP-4152	EC	530.88		TG
DP-2891	EC	424.20		TG
DP-4767	EC	464.84		TG
DP-3100	EC	481.84		TG
DP-2098	EC	389.85		TG
DP-3099	EC	389.85		TG
Media General		512.52	112.58	

Cuadro 16. Estimaciones de masa corporal, a partir de la variable 1FIII5 de talla mediana, para los caballos de El Cedral (EC).

Elemento 1FIII	Localidad	Masa corporal Kg	Desviación Estándar	Talla
DP-4159	EC	448.27		TM
DP-2916	EC	283.65		TM
DP-3102	EC	244.42		TM
DP-4143	EC	218.88		TM
DP-2828	EC	393.57		TM
DP-4752	EC	375.24		TM
DP-4755	EC	317.47		TM
DP-4738	EC	177.79		TM
DP-4745	EC	314.28		TM
Media General		308.17	87.45	

Cuadro 17. Estimaciones de masa corporal, a partir de la variable 1FIII5 de talla pequeña, para los caballos de El Cedral (EC).

Elemento 1FIII	Localidad	Masa corporal Kg	Desviación Estándar	Talla
DP-3113	EC	173.59		TP
DP-3109	EC	126.89		TP
DP-4142	EC	218.88		TP
DP-3165	EC	118.76		TP
DP-4134	EC	173.59		TP
DP-4131	EC	163.41		TP
DP-3114	EC	195.30		TP
DP-2892	EC	179.92		TP
DP-3111	EC	153.66		TP
DP-4150	EC	146.16		TP
DP-3108	EC	173.59		TP
DP-3158	EC	126.89		TP
DP-3115	EC	135.41		TP
DP-4138	EC	135.41		TP
DP-3107	EC	177.79		TP
DP-4155	EC	133.68		TP
DP-3168	EC	169.47		TP
DP-2925	EC	137.16		TP
DP-4144	EC	105.08		TP
DP-3168	EC	109.51		TP
DP-3167	EC	109.51		TP
DP-4145	EC	140.72		TP
DP-3166	EC	125.24		TP
DP-3112	EC	140.72		TP
DP-4135	EC	99.37		TP
DP-4141	EC	103.63		TP
DP-4157	EC	102.19		TP
DP-4158	EC	105.08		TP
DP-3171	EC	95.24		TP
DP-4757	EC	157.51		TP
DP-4747	EC	144.33		TP
DP-4736	EC	165.41		TP
DP-4751	EC	173.59		TP

Cuadro 17. (Cont.)

Elemento 1FIll	Localidad	Masa corporal Kg	Desviación Estándar	Talla
DP-4769	EC	140.72		TP
DP-4737	EC	182.06		TP
DP-4740	EC	133.68		TP
DP-4759	EC	128.57		TP
DP-4140	EC	169.47		TP
DP-4761	EC	163.41		TP
DP-4313	EC	77.55		TP
DP-4760	EC	103.63		TP
DP-4742	EC	130.25		TP
DP-4762	EC	105.08		TP
Media General		140.72	31.28	

Cuadro 18. Estimaciones de masa corporal, a partir de la variable MCIII13 de talla grande, para los caballos de El Cedral (EC).

Elemento MCIII	Localidad	Masa corporal Kg	Desviación Estándar	Talla
DP-4026d	EC	532.88		TG
DP-3072i	EC	394.44		TG
DP-4022d	EC	354.33		TG
DP-4679d	EC	460.16		TG
DP-4031i	EC	483.60		TG
DP-4680d	EC	483.60		TG
DP-2964	EC	493.20		TG
DP-4024d	EC	498.05		TG
DP-3070d	EC	446.47		TG
DP-4676d	EC	415.59		TG
Media General		456.23	54.21	

Cuadro 19. Estimaciones de masa corporal, a partir de la variable MCIII13 de talla mediana, para los caballos de El Cedral.

Elemento MCIII	Localidad	Masa corporal Kg	Talla
DP-4681d	EC	282.52	TM

Cuadro 20. Estimaciones de masa corporal, a partir de la variable MCIII de talla pequeña, para los caballos de El Cedral (EC).

Elemento MCIII	Localidad	Masa corporal Kg	Desviación Estándar	Talla
DP-4025d	EC	215.63		TP
DP-4675i	EC	111.86		TP
DP-5005i	EC	91.83		TP
DP-3080i	EC	126.72		TP
DP-2812i	EC	147.09		TP
DP-2954d	EC	158.06		TP
DP-4678d	EC	132.62		TP
DP-2872i	EC	169.56		TP
DP-4677d	EC	169.56		TP
Media General		146.99	36.65	

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

Se determinó la presencia de tres taxa en los restos fósiles analizados, uno de ellos que se considera corresponde a una nueva especie de caballo fósil. De cada uno se presenta una caracterización sistemática.

Orden **Perissodactyla** Owen 1848

Familia **Equidae** Gray 1821

Subfamilia **Equinae** Gray 1821

Tribu **Equini** Gray 1821

Género **Equus** Linnaeus, 1758

Equus mexicanus Hibbard, 1955

Sinónimos:

Equus occidentalis Leidy, 1865

Equus pacificus Leidy, 1868

Equus scotti Gidley, 1900

Equus laurentius Hay, 1913

Holotipo:

Cráneo de un macho viejo casi en perfecto estado, Hibbard 1955, (IGM 48), conservado en Museo Nacional de Historia Natural, tomado de sedimentos de Tajo de Tequixquiac, Estado de México, Edad Rancholabreano.

Edad y distribución geográfica.

Irvingtoniano al Rancholabreano o 1.8 a 0.011 Ma, distribuido en Estados Unidos y México (Winans 1898, Paleobiology Data Base 2010).

Material asignado

P2 (UM 92 D), P3/4 (UM 530 I), M1/2 (UM 101 I, UM 110 D, UM 169 I, UM 97 D, UM 175 D, UM 526 D), M3 (UM 145 I), p3/4 (UM 8 I, UM 49 I, UM 295 I, UM 324 I, UM 343 I, UM 5 I, UM 521 D *, UM 534 I, UM 7 I), m1/2(), m3 (UM 301 I), AST (UM 481 I, UM 510 I), 2FIII (UM 544) provienen de La Cinta-Portalitos.

P3/4 (CPOEI 137 I), M1/2 (CPOEI-165 I), M3 (CPOEI 51 D, CPOEI 42 I), p3/4 (CPOEI 49 D, CPOEI 69 D, *CPOEI 76 D, *CPOEI77 I, CPOEI-177 I, CPOEI-161 D), m1/2 (CPOEI-162 I, CPOEI-183 D), m3(), MTIII (CPOEI-1D), 1FIII (UM 555) provienen de La Piedad-Santa Ana

Descripción (Fig. 18 y 19)

Diente P2 premolar subtriangular de tamaño grande, anterostilo completo, paraestilo delgado sin surco, un mesostilo ancho y con surco, metastilo delgado, una prefoseta ricamente plegada, una postfoseta medianamente plegada, con pliegue caballino, protocono subtriangular con extremos redondeados y la zona lingual cóncava, surco hipoconal poco profundo y medianamente ancho

Dientes P3/4 de talla grande y masiva, paraestilos y mesostilo anchos y con surco, metastilo delgado, foseas de ligeramente a ricamente plegada, con pliegue caballino bien desarrollado, protocono de forma oval alargado con los extremos redondeados y la zona lingual cóncava, surco hipoconal profundo e amplio en la base.

Dientes M1/2 de tamaño grande y masivo, paraestilo y mesostilo delgados y sin surco, prefoseta y postfoseta con plegamiento de medio a alto, con pliegue caballino sencillo o doble bien desarrollado, protocono de forma oval alargada con los extremos redondeados y zona lingual cóncava, surco hipoconal profundo e amplio en la base.

Dientes M3 presentan los estilos, paraestilo y mesostilo anchos sin surco, metastilo delgado, foseas con plegamiento de medio a alto, con pliegue caballino sencillo, protocono oval alargado con extremos redondeados o en punta y la zona lingual plana, con isleta hipoconal.

Dientes inferiores p3/4 de talla grande, con un lazo y un linguaflexido en forma de "U" abierta cuadrangular, metaconido redondeado, metastilido con extremo en punta redondeado, con istmo completo y estrecho, ectoflexido con pliegue caballinido, flexidos ligeramente plegados.

Dientes inferiores m1/2 de talla grande, con un lazo y un linguaflexido en formas de "U" abierta, metaconido redondeado, metastilido con extremo en punta redondeado, ectoflexido penetra ligeramente en el istmo, presenta pliegue caballinido, flexidos medianamente plegados.

Dientes inferiores m3 de talla grande, con un lazo y un linguaflexido con forma de "U" abierta cuadrangular, metaconido globoso semicircular, metastilido con extremo en punta redondeado, el ectoflexido penetra en el istmo y separa los flexidos, presenta pliegue caballinido bien desarrollado, flexidos ligeramente plegados.

MTIII metatarso bien conservado de talla grande y robusta de una coloración oscura, presenta una fractura transversal posiblemente al momento de su extracción, epífisis bien conservadas, se observa la textura original del hueso, se observan las inserciones de los tendones y el surco vascular para la arteria en parte lateral del hueso (Barone 1995).

Índice de gracilidad

MTIII, Prado y Alberdi 1994 (14.78, 1), Winans 1989 (4.93, 1)

AST astrágalos grandes y masivos, longitud máxima casi igual la anchura máxima, ligeramente rodada la tróclea, surco de la tróclea ancho y profundo ligeramente alterado, parte lateral cóndilo lateral erosionado y superficies de inserción de ligamento erosionadas, superficie articulares para el calcáneo definidos y ligeramente alterados, parte distal alargada y ligeramente alterada y superficie de inserción del ligamento erosionada.

1FIII Falange proximal de tamaño grande y robusto, cara dorsal ligeramente convexa, cara palmar (*trigonum phalangis*) bien definido alargado y muy ancho, márgenes laterales bien definidos diáfisis (parte media de la falange) muy ancha, extremidad proximal con forma rectangular (longitud transversal más larga que la anteroposterior) cavidades glenoideas bien definidas, surco intermedio, extremidad distal con los cóndilos bien definidos.

2FIII falange intermedia de tamaño grande y robusto (anchura máxima ligeramente mayor a la longitud máxima) en general bien conservada, cara dorsal ligeramente cóncava, proceso extensorio bien definido, cara palmar cóncava la superficie de inserción definida, superficie articular proximal con un ligera fractura en un lado, superficie distal con los cóndilos definidos ligeramente erosionados.

Barone (1995) menciona que la segunda falange del dedo central del lado dorsal presentan una ligera prominencia rugosa al final de la superficie articular sagital (*Processus extensorius*), es la protuberancia en forma de triangulo en la cara dorsal en la parte proximal.

Estimación de masa corporal

1FIII: 476.69kg, 1 La Piedad-Santa Ana

1FIII: Media 512.52kg, 36 El Cedral

MCIII: Media 456.23kg, 11 El Cedral

Asignación taxonómica

Equus mexicanus fue descrita por Hibbard en (1955), pertenece al grupo de *Equus laurentius* de Winans (1989) caballos del Pleistoceno tardío distribuidos en México y los EUA con extremidades largas y robustas (Winans 1989), y que también es reconocida por Melgarejo-Damián y Montellano-Ballesteros (2008) quienes definieron a la talla grande de su material revisado como *Equus mexicanus*, en Michoacán los huesos de las extremidades corresponden a un caballo robusto, con índices de gracilidad: Prado y Alberdi 1994 (MTIII 14.78, 1), Winans 1989 (MTIII 4.93, 1). Los análisis multivariantes y bivariantes permiten una clara discriminación de los otros dos grupos, basada en dientes inferiores y superiores de una talla grande, un metápodo largo y robusto, astrágalos grandes y robustos a sí como una falange (1FIII) y (2FIII) de gran tamaño, estos mismos análisis nos indican la correspondencia de nuestros escasos elementos de este caballo con los restos de talla grande de El Cedral que Alberdi *et al.* 2003 asignan a *Equus mexicanus*, sin embargo los escasos restos encontrados en nuestras localidades en comparación con los abundantes fósiles de este grupo en El Cedral hace suponer que existió un factor ambiental (alimentación, temperatura y orografía, entre otros) que pudieron marcar la diferencia entre el tamaño de las poblaciones en las regiones citadas.

***Equus conversidens*, Owen 1869**

Sinónimos:

Equus barcenaei Cope, 1884

Equus conversiden leóni, Stock 1953

Onager zoyatalis Mooser, 1959

Holotipo

Owen 1869, MNN-403, Fragmento izquierdo de la maxila con todos los dientes, Valle de México, Edad Rancholabreano.

Edad y distribución geográfica.

Pleistoceno temprano al Rancholabreano o 1.810 a 0.011 Ma, distribuido en Norteamérica, México y América central (Winans 1898, Dalquest 1979, Paleobiology Data Base 2010)

Material asignado

P2 (UM 128 I, UM 167 D); P3/4 (UM 450 I, UM 185 P3-4 I, UM 191 I, UM 95 D, UM 107 D *, UM 111 D, UM 125 D, UM 148 D, UM 186 D, UM 182 D, UM 283 D, UM 449 I, UM 333 I, UM 146 D, UM 126 D, UM 134 D, UM 150 D, UM 157 D, UM 447 D, UM 151 I, UM 523 I, UM 527 I); M1/2 (UM 124 I, UM 271 I, UM 444 I, UM 130 I, UM 445 I #, UM 109 D, UM 129 D, UM 94 D, UM 341 D, UM 337 I, UM 272 I, UM 339 I, UM 522 D, UM 525 I, UM 528 D) M3 (UM 164 D, UM 178 D, UM 112 D, UM 127 D, UM 152 I, UM 330 I, UM 189 I, UM 195 I, UM 415 I, UM 123 I), p2 (UM 315 p 2 I); p3/4 (UM 6 I, UM 62 I, UM 213 I, UM 217 I, UM 228 I, UM 268 I, UM 24 D, UM 26 D, UM 218 D, UM 297 D, UM 32 D, UM 256 I, UM 325 I, UM 14 I, UM 385 D, UM 267 D); m1/2 (UM 9 I, UM 306 I, UM 91 D, UM 248 D, UM 221 I, UM 312 D, UM 533 I, UM 72 I, UM 21 I, UM 520 D); m3 (UM 360 D, UM 263 D, UM 361 D, UM 392 D, UM 311 I, UM 253 I); AST (UM 480, UM 482, UM 483, UM 485, UM 486, UM 487, UM 488, UM 489, UM 490, UM 491, UM 492, UM 2, UM 494, UM 519, UM 542, UM 551, UM 543, UM 552); 1FIII (UM 454, UM 479); 2FIII (UM 456, UM 457, UM 458, UM 459, UM 460, UM 461, UM 462, UM 463, UM 464, UM 465, UM 466, UM 467, UM 468, UM 469, UM 472, UM 473, UM 474, UM 493, UM 152 Sx, UM 153 Sx, UM 154 DX, UM 155 Sx, UM 156 Sx, UM 504, UM 505, UM 506, UM 513, UM 514, UM 515, UM 516, UM 517, UM 451, UM 545, UM 546, UM 547, UM 548, UM 549) provienen de La Cinta-Portalitos.

P2 (CPOEI 83 D, CPOEI 57 I); P3/4 (CPOEI 35 D, CPOEI 36 D, CPOEI 41 D, CPOEI 38 I); M1/2 (CPOEI-170 I, UM 559 D, CPOEI-180 I), M3 (CPOEI 158 D, UM 557 D), p2 (CPOEI 98 p 2 I) p3/4 (CPOEI 92 D, CPOEI 53 D, CPOEI-97 I, CPOEI-164 D, CPOEI 59 I); m1/2 (CPOEI 46 D *, CPOEI 48 I, CPOEI-178 I, UM 570 D), m3 (CPOEI 73

M3 I); MCIII (CPOEI-3 D); MTIII (CPOEI-104 I, CPOEI-150 D, CPOE-100 D); AST (CPOEI-18, CPOEI-138, CPOEI-143, UM 555); 1FIII (CPOEI-i23, CPOEI-d22, CPOEI-113, CPOEI-135, CPOEI-141, UM 553, UM 554); 2FIII (CPEOI- 20, CPOEI-146) provienen de La Piedad-Santa Ana.

Descripción (Fig. 20 y 21)

Diente P2 premolar subtriangular mediano, con el anterostilo completo, parastilo ancho con surco, mesostilo ancho con surco, metastilo delgado, prefoseta ricamente plegada, postfoseta de mediana o altamente plegada, con pliegue caballino sencillo, protocono subtriangular con extremos redondeado y la zona lingual cóncava, surco hipoconal profundo.

Dientes P3/4 de tamaño mediano, con parastilo y mesostilo anchos con surco, metastilo delgado, fosetas de mediana a ricamente plegadas, con pliegue caballino sencillo, protocono de oval o subtriangular con los extremos en redondeados y la zona lingual cóncava, surco hipoconal profundo y amplio.

Dientes M1/2 de talla mediana, paraestilo y mesostilo delgados sin surco, metastilo delgado, fosetas medianamente plegadas, con pliegue caballino, protocono de forma oval con extremos en punta zona lingual cóncava, surco hipoconal profundo y amplio.

Dientes M3 de tamaño medio, con un parastilo y mesostilo delgados sin surco, metastilo delgado, fosetas de mediana a ricamente plegadas, con pliegue caballino, protocono oval alargado con los extremos redondeados y la zona lingual plana o cóncava, sin surco hipoconal, algunos con isleta hipoconal.

Dientes p/2 de talla mediana, con un lazo y un linguaflexido con forma de "V" o "U" abierta, metaconido subtriangular con extremo en punta, metastilido con extremo en punta, con istmo completo, ectoflexido con pliegue caballinido, flexidos de ligeramente a medianamente plegados.

Dientes inferiores p3/4 de tamaño medio, con un lazo y un linguaflexido en forma de "U" o "V" abierta, metaconido redondeado, metastilido con extremo en punta, con istmo completo, ectoflexido la mayoría con pliegue caballinido, flexidos ligeramente plegados.

Dientes inferiores m1/2 de talla mediana, con un lazo y un linguaflexido con forma de "V" abierta o "U" cuadrangular, metaconido redondeado, metastilido con extremo en punta, con istmo semicompleto o completo, ectoflexido penetra ligeramente o totalmente en el istmo y presenta pliegue caballinido, flexidos ligeramente plegados.

Dientes inferiores m3 de tamaño medio, con un lazo y un linguaflexido con forma de "V" o "U" abierta, metaconido semicircular redondeado, metastilido con extremo en punta redondeado, sin istmo o con istmo, el ectoflexido penetra ligeramente o no penetra en el istmo y presenta pliegue caballinido, flexidos ligeramente plegados.

MCIII metacarpo de tamaño pequeño pero robusto de una coloración oscura (café oscuro), con un grado de alteración significativo se observan los bordes del hueso redondeados, las epífisis ligeramente alteradas.

Índice de gracilidad

MCIII, Prado y Alberdi 1994 (14.23, 1), Winans 1989 (4.83,1)

MTIII metatarso de tamaño mediano y robustos, presentan marcas de fracturas y cuarteaduras previas al enterramiento, epífisis bien conservadas, se observa la inserción de los tendones y de la arteria lateral.

Índice de gracilidad

MTIII, Prado y Alberdi 1994 (11.81, 3), Winans (5.66,3)

Astrágalos de tamaño mediano y compacto, altura máxima de tamaño similar al ancho máximo, tróclea, los cóndilos incluido el lateral, y las superficies de inserción bien definidos; el surco de la tróclea es ancho y profundo.

1FIII falange proximal de tamaño pequeño-mediano y robusto, cara dorsal plana, cara palmar (*trigonum phalangis*) bien definido, alargado y ancho y algunos ligeramente erosionados, márgenes laterales bien definidos diáfisis (parte media de la falange) ancha, extremidad proximal con forma rectangular (longitudes anteroposterior y transversal similares), cavidades glenoideas definidas, surco intermedio marcado, extremidad distal con los cóndilos definidos.

2FIII falange intermedia de talla mediana y robusta, (longitud máxima similar a la anchura máxima), cara dorsal plana, proceso extensorio bien definido o ligeramente erosionado, cara palmar cóncava la superficie de inserción definida, superficie articular proximal bien definida con bordes ligeramente erosionados de la cara dorsal, superficie distal con los cóndilos definidos.

Estimación de masa corporal

1FIII: 344.7kg, 2 La Cinta-Portalitos

1FIII: 297.3kg, 7 La Piedad-Santa Ana

1FIII: 308.17kg, 9 El Cedral

MCIII: 229.49kg, 1 La Piedad-Santa Ana

MCIII: 282.52kg, 1 El Cedral

Asignación taxonómica

Esta especie fue descrita por Owen (1869) y le dio el nombre de *Equus conversidens* a la especie porque las filas de dientes del espécimen tipo convergen rostralmente, característica discutida Gidley (1901), en base a material de la cueva de San Josecito, Nuevo León, México Stock (1953) describió una nueva subespecie *Equus conversidens leoni*, lamentablemente los elementos en los que uso para su descripción estaban rotos o altamente restaurados, por lo que no son confiables para la definición de este especie. Hibbard (1955) considera a *Equus tau* como un sinónimo de *Equus conversidens*. La descripción de la subespecie de Stock (1953) *E. conversidens leoni*, demuestra que las diferencias entre la especie tipo y esta subespecie son mínimas o inexistentes, por que corresponde a caracteres variables interespecíficos.

Winans en (1985) lo considera *E. conversidens* como *nomen dubium* debido a la descripción original, e incluye la subespecie *leoni nomen nudum* dentro del grupo de *Equus alaskae* de Winans 1989, con un rango de edad desde el Irvintoniano tardío hasta el Rancholabreano, distribuido desde Alaska, el medio oeste de EUA y México de extremidades pequeñas y robustas (Winans1989).

Melgarejo-Damián y Montellano Ballesteros en (2008) definieron a la talla media de su material revisado como *Equus conversidens*, este taxón es el más ampliamente distribuido en México y validado por diferentes autores (Hibbard 1955, Lundelius y Stevens 1970, Dalquest 1979, Reynoso-Rosales y Montellano-Ballesteros 1994, Azzaroli 1995, Carranza-Castañeda y Roldan-Quintana 2007), en Michoacán los hueso de las extremidades corresponden a un caballo de talla media y más bien robusta, con índices de gracilidad: Prado y Alberdi 1994 (MCIII 14.23, 1) (MTIII 11.81,3), Winans 1989 (MCIII 4.83, 1) (MTIII 5.66,3). Los análisis multivariantes y bivariantes permiten una discriminación de los otros dos grupos, basada en dientes inferiores y superiores de una talla media, los restos del esqueleto apendicular (metacarpo, metatarso, astrágalos, falanges primeras y segundas del dedo central) representan una talla media y más bien robusta, estos análisis indican la correspondencia de la mayoría de nuestros restos con los de talla mediana de El Cedral que Alberdi *et al.* 2003 asignan a *Equus conversidens*, en el MTIII no se tiene registro de esta talla en El Cedral por lo que los restos intermedios entre la talla grande y pequeña de El Cedral encontrados en Michoacán se consideran como *Equus conversidens*.

Los restos de caballos de talla media dominan en los afloramientos michoacanos y están reducido en El Cedral puede ser a causa de variables ambientales, como la alimentación, temperatura y orografía entre otros.

Equus* sp. nov.*Holotipo.**

Esta especie se encuentra en proceso de descripción (Alberdi *et al.*) y se designó como holotipo a un fragmento de rama mandibular formado por dos especímenes: una serie dental derecha p2-m3 (DP-2675 I-2 15), y un segundo fragmento de la sínfisis con la dentición anterior (DP-2674 I-2 8), articulado junto y almacenado en la Colección Paleontológica (DP-INAH) del Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", *Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico* del INAH en la Ciudad de México.

Edad y distribución geográfica.

Rancholabreano o Pleistoceno tardío, en diferentes localidades de México (Alberdi *et al.*, en prep.)

Material asignado

P2 (); P3/4(UM 144 I, UM 149 I, UM 98 I, UM 158 D, UM 161 I, UM 180 I, UM 188 I, UM 414 I, UM 106 I, UM 136 I, UM 340 I, UM 115 D, UM 139 D, UM 153 D, UM 147 I, UM 149 I, UM 163 I, UM 524 I, UM 173 I); M1/2(UM 103 I #, UM 132 I *, UM 181 I, UM 93 I, UM 135 I #, UM 200 I, UM 282 I, UM 174 D, UM 442 D, UM 529 D); M3 (UM 334 D); p2 (); p3/4(UM 1 I, UM 70 I, UM 358 I, UM 65 I, UM 293 I, UM 327 I, UM 36 D, UM 254 D, UM 363 D, UM 452 D, UM 318 D, UM 426 D, UM 435 D, UM 438 D, UM 259 I, UM 31 D, UM 368 D, UM 310 I, UM 17 I, UM 29 D, UM 345 I, UM 536 I, UM 2 I, UM 389 D, UM 383 D, UM 84 D, UM 75 D); m1/2(UM 4 I, UM 19 I, UM 238 I, UM 35 D, UM 63 D, UM 83 D, UM 219 D, UM 287 D, UM 326 D, UM 354 I *, UM 18 I, UM 275 I, UM 33 D, UM 532 I); m3 (); MCIII (); MTIII (UM 1 I); AST (UM 484, UM 495, UM 518); 1FIII (UM 453, UM 477, UM 53 I, UM 13, UM 503, UM 502, UM 511); 2FIII (UM 470, UM 471, UM 158 Sx, UM 507, UM 508, UM 550); provienen de La Cinta-Portalitos.

P2 (); P3/4(CPOEI 82 I, CPOEI40 D, CPOEI56 I, CPOEI-187 I, CPOEI-189 D); M1/2(CPOEI 80 I, CPOEI-171 D, CPOEI-190 D, UM 558 D, UM 560 I, CPOEI-167 I); M3 (UM 567 D); p2 (); p3/4(CPOEI 87 I, CPOEI 88 I, CPOEI 89 I, CPOEI52 I, CPOEI55 D, CPOEI64 I, *CPOEI75 I, CPOEI-174 I, CPOEI-169 D, UM 563 I, UM 565 D, UM 569 D, CPOEI 79 D); m1/2(CPOEI-172 I, CPOEI 94 I); m3 (CPOEI 67 D); MCIII (CPOEI-111MCIII I, CPOEI-93MCIII, CPOEI-103MCIII); MTIII (); AST (CPOEI-19, CPOEI-139, CPOEI-144); 1FIII (); 2FIII (CPOEI-136); provienen de La Piedad-Santa Ana.

Descripción (Fig. 22 y 23)

Dientes P3/4 de talla pequeña, con parastilo y mesostilo anchos con surco, metastilo delgado, fosetas de ligera o medianamente plegada, con o sin pliegue caballino, protocono oval alargado con la zona lingual cóncava, surco hipoconal variable la mayoría profundo y amplio en la base.

Dientes M1/2 de tamaño pequeño, parastilo, mesostilo y metastilo delgado y sin surco, fosetas de ligera a medianamente plegadas, con pliegue caballino, protocono oval alargado con la zona lingual cóncava, surco hipoconal variable profundo e amplio o poco profundo e amplio.

Dientes M3 de talla pequeña, paraestilo, mesostilo y metastilo delgados sin surco, fosetas de ligera a medianamente plegadas, con o sin pliegue caballino, protocono oval alargado con zona lingual convexa, sin surco hipoconal, presenta isleta hipoconal.

Dientes inferiores p3/4 de tamaño pequeño, con un lazo y un linguaflexido con forma de "U" o "V" abierta, metaconido redondeado, metastilido con extremo en punta, con istmo completo y estrecho en algunos caso semicompleto, ectoflexido con pliegue caballinido, flexidos de ligera a medianamente plegados.

Dientes inferiores m1/2 de talla pequeña, con un lazo y un linguaflexido con forma de "U" o "V" abierta, metaconido redondeado, metastilido con extremo en punta redondeado, delgado, con istmo semicompleto o sin istmo, ectoflexido penetra ligeramente o penetra totalmente separando los flexidos y presenta pliegue caballinido, flexidos ligeramente plegados.

Dientes inferiores m3 de tamaño pequeño, con un lazo y un linguaflexido con forma de "V", metaconido globoso semicircular, metastilido globoso con extremo en punta redondeado, el ectoflexido no penetra en el istmo, con pliegue caballinido poco desarrollado, flexidos ligeramente plegados.

MCIII metacarpo de talla pequeña y grácil de coloración oscura (café o negro) buena consolidación, presentan pequeñas fracturas longitudinales previas al enterramiento, las epífisis bien conservadas, parte distal bien conservada, se nota las inserciones de los tendones.

Índice de gracilidad

MCIII Prado y Alberdi 1994 (12.03,3), Winans (5.53, 3)

MTIII metatarso de talla pequeña y grácil de una coloración oscura (negro) y buena consolidación, presenta pequeña marcas de fracturas longitudinales superficiales posiblemente previas al enterramiento, epífisis bien conservadas, se observa la textura

original del hueso, se observa las inserciones de los tendones y de la arteria en la cara lateral del hueso.

Índice de gracilidad

MTIII Prado y Alberdi 1994 (9.01,1), Winans (7.44, 1).

AST astrágalo de talla pequeña y compacta, longitud máxima casi des mismo tamaño que la anchura máxima, tróclea bien conservada, algunos cóndilos ligeramente erosionados, surco de la tróclea bien definido, parte lateral del cóndilo lateral y superficies de inserción de ligamentos sin alteración, superficie articulares para el calcáneo bien definidas, parte distal tanto larga como ancha y la superficie de inserción del ligamento bien definida.

1FIII falange proximal del dedo central de talla pequeña y grácil, cara dorsal convexa o semiconvexa, cara palmar (*trigonum phalangis*) definida, alargado y angosto, en algunos casos ligeramente erosionadas, márgenes laterales reducidos en la diáfisis (parte media de la falange muy delgada), extremidad proximal con forma rectangular o semicuadrada (longitudes anteroposterior y transversal similares), cavidades glenoideas definidas algunos ligeramente erosionadas, surco intermedio definido, extremidad distal cóndilos definidos algunos ligeramente erosionados en los bordes.

2FIII falange intermedia del dedo central de talla pequeña, (longitud máxima similar a la anchura máxima), cara dorsal plana, proceso extensorio bien definido, cara palmar cóncava la superficie de inserción bien definida, superficie articular proximal bien definida, superficie distal con los cóndilos definidos en algunos ligeramente erosionados.

Estimación de masa corporal.

1FIII: Media 145.52, 7 La Cinta-Portalitos

1FIII: Media 140.72, 43 El Cedral

MCIII: Media 126.03, 3 La Piedad-Santa Ana

MCIII: Media 146.99, 9 El Cedral

Asignación taxonómica

Esta especie está siendo descrita por Alberdi *et al.* (en prep.) la descripción se basa en la comparación morfométrica y cualitativa de los sus restos con otras localidades mexicanas y Norteamericanas, donde concluyen que esta es una especie restringida para el Pleistoceno tardío mexicano, además demuestran que son restos de mucho menor talla que los que tiene asignados Winans (1985, 1989) a sus grupos de *E. francisci* o *E. alaskae*.

En Michoacán las extremidades corresponden a caballos gráciles, con índices de gracilidad: Prado y Alberdi (1994) (MCIII 12.03, 3) (MTIII 9.01, 1), Winans (1989) (MCIII 5.53, 3) (MTIII 7.44, 1). Los análisis multivariantes y bivariantes distinguen esta especie del resto de elementos de las localidades estudiadas, basado en dientes inferiores y superiores pequeños, metacarpos y metatarsos pequeños y gráciles, astrágalos pequeños y compactos, falanges proximales pequeñas y muy gráciles, falanges centrales pequeñas gráciles y compactas, estos análisis indican la correspondencia de nuestros casos pequeños con los restos de talla pequeña de El Cedral, que Alberdi *et al.* 2003 identifica preliminarmente como *Equus sp* y que posteriormente Alberdi *et al. in litteris* describen como una nueva especie de *Equus*, por las características morfométricas (gracilidad) los restos estudiados de tallas pequeña de nuestras localidades también se podrían asignar al grupo *Equus francisci* de Winans, (1989) con un rango de edad del Irvingtoniano al Rancholabreano, distribuido desde el medio oeste de EUA hasta México, que agrupa todos los caballos con metápodos gráciles con índice de gracilidad generalmente mayor de 5.0 en MCIII y de 6.0 en MTIII (Winans, 1989) esta autora menciona que los metápodos en este grupo presenta un rango amplio entre el de mayor y el menor tamaño, por lo que existe la posibilidad de que este grupo se subdivida en dos, sin embargo los restos michoacanos son significativamente más pequeños que los analizados por Winans (1985, 1989).

Melgarejo-Damián y Montellano Ballesteros en (2008) asigna a los restos de talla pequeña a *Equus tau* Owen 1869, que es un caballo con un rango de edad del Pleistoceno temprano al Pleistoceno tardío, distribuido desde las planicies en el medio oeste de EUA hasta México, con dientes pequeño y metápodos gráciles y que es sinónimo de *Equus francisci* Hay 1915 (Dalquest 1979), los restos podrían ser asignados a *Equus tau*; sin embargo los metápodos incluidos en este estudio son considerablemente más pequeños y gráciles que los de *Equus francisci* estudiados por Lundelius y Stevens (1970) y que Dalquest 1979 considera como *Equus tau*.

Además se deben estudiar la diferencias en abundancia de los restos de caballos de talla pequeña entre Michoacán y en San Luis Potosí que puede ser a causa de variables ambientales, como las posibilidades dietarias, temperatura, orografía, relaciones interespecíficas, etc.

Es necesario una revisión de todos los caballos de América del Norte para poder definir las relaciones entre ellos y que especies son válidas y cuáles no. Pero que ese es un trabajo que excede los límites de la presente investigación, por lo que ese estudio se debe plantear como un objetivo futuro.

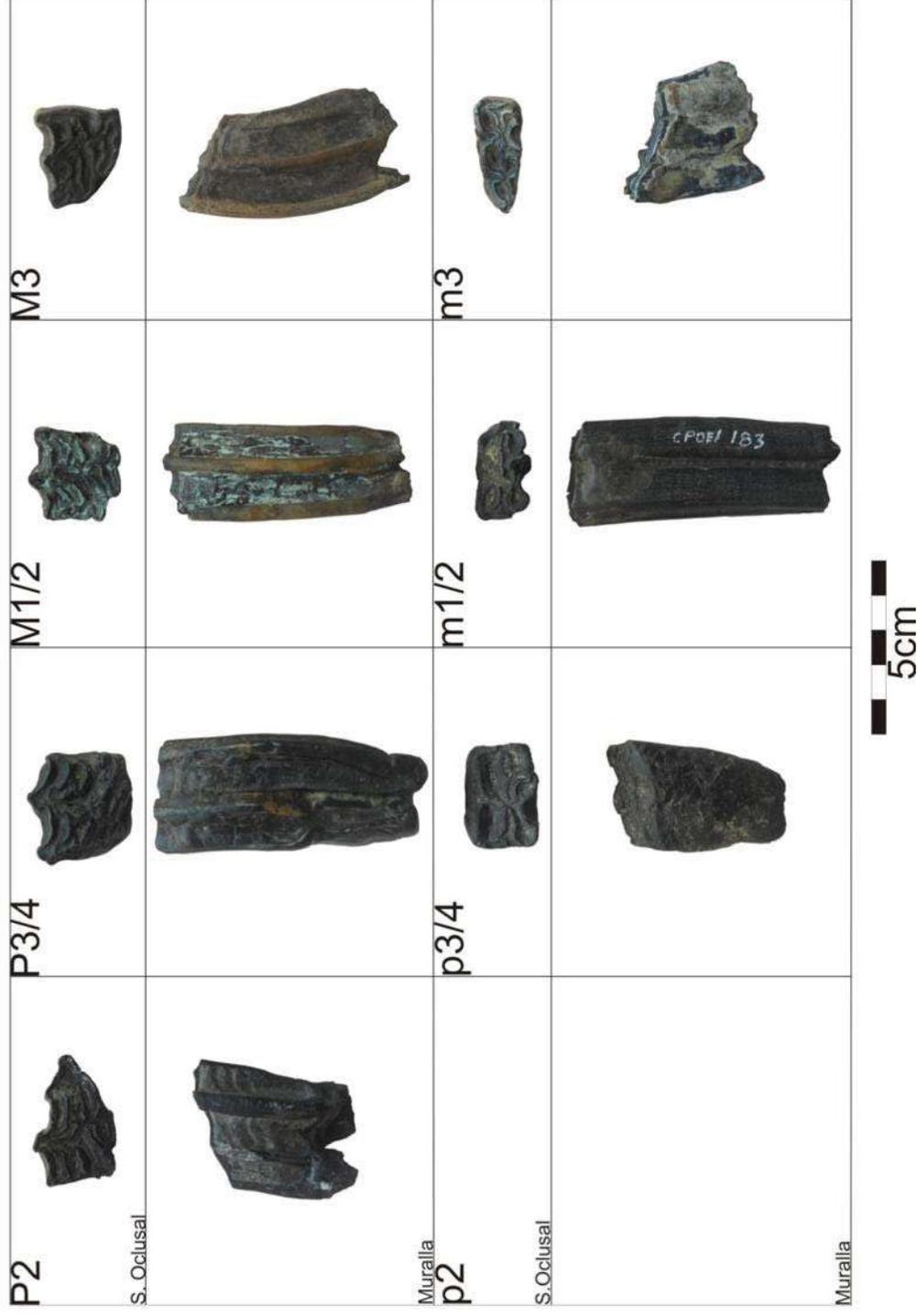


Figura 18. Arriba dientes superiores en vista oclusal y muralla de izquierda a derecha (P2, P3/4, M1/2 yM3), abajo dientes inferiores en vista oclusal y muralla de izquierda a derecha (p3/4, m1/2 y m3) de *Equus mexicanus*.

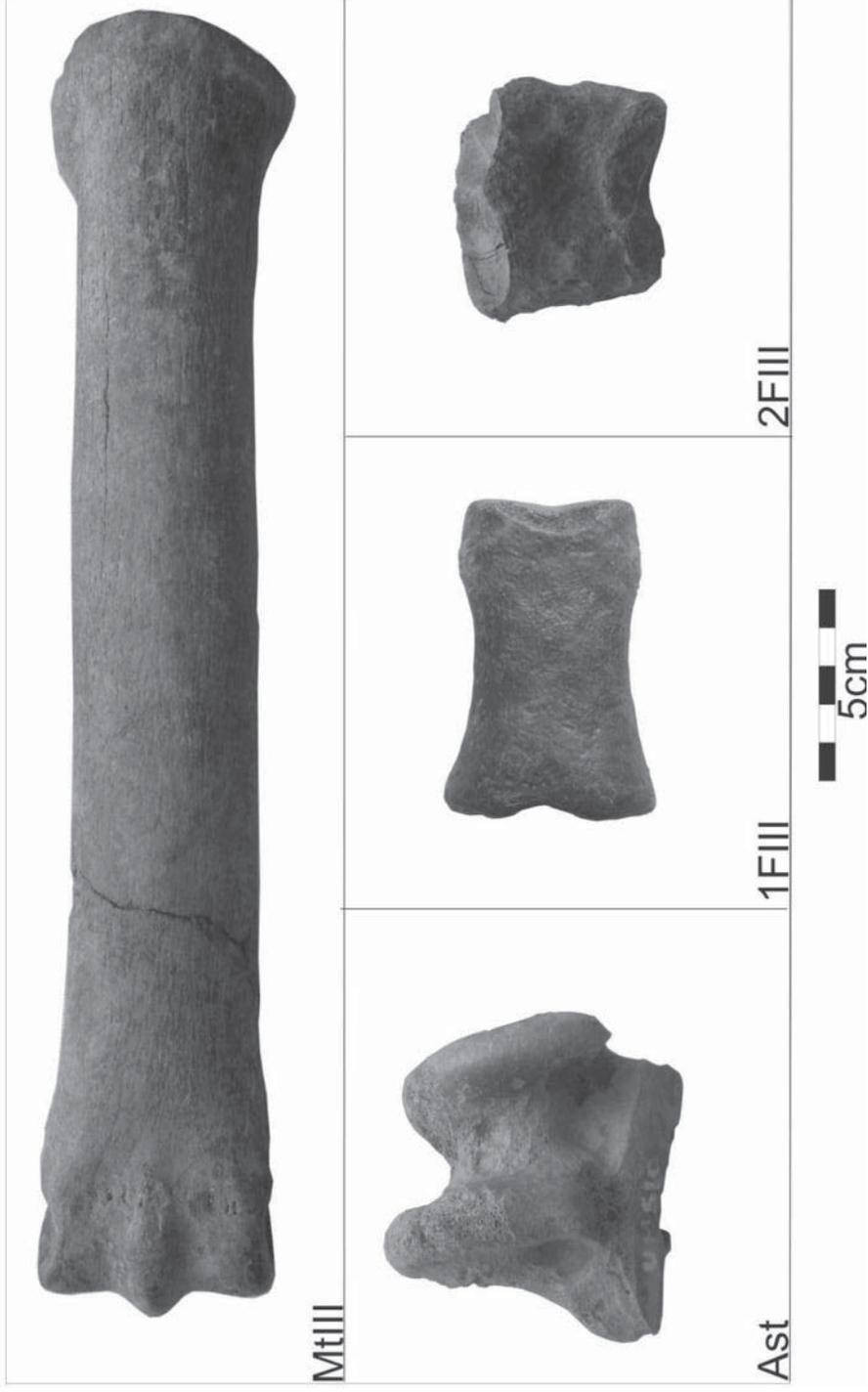


Figura 19. Arriba Metatarso derecho, debajo de izquierda a derecha astrágalo izquierdo, 1FIII y 2FIII de *Equus mexicanus*.

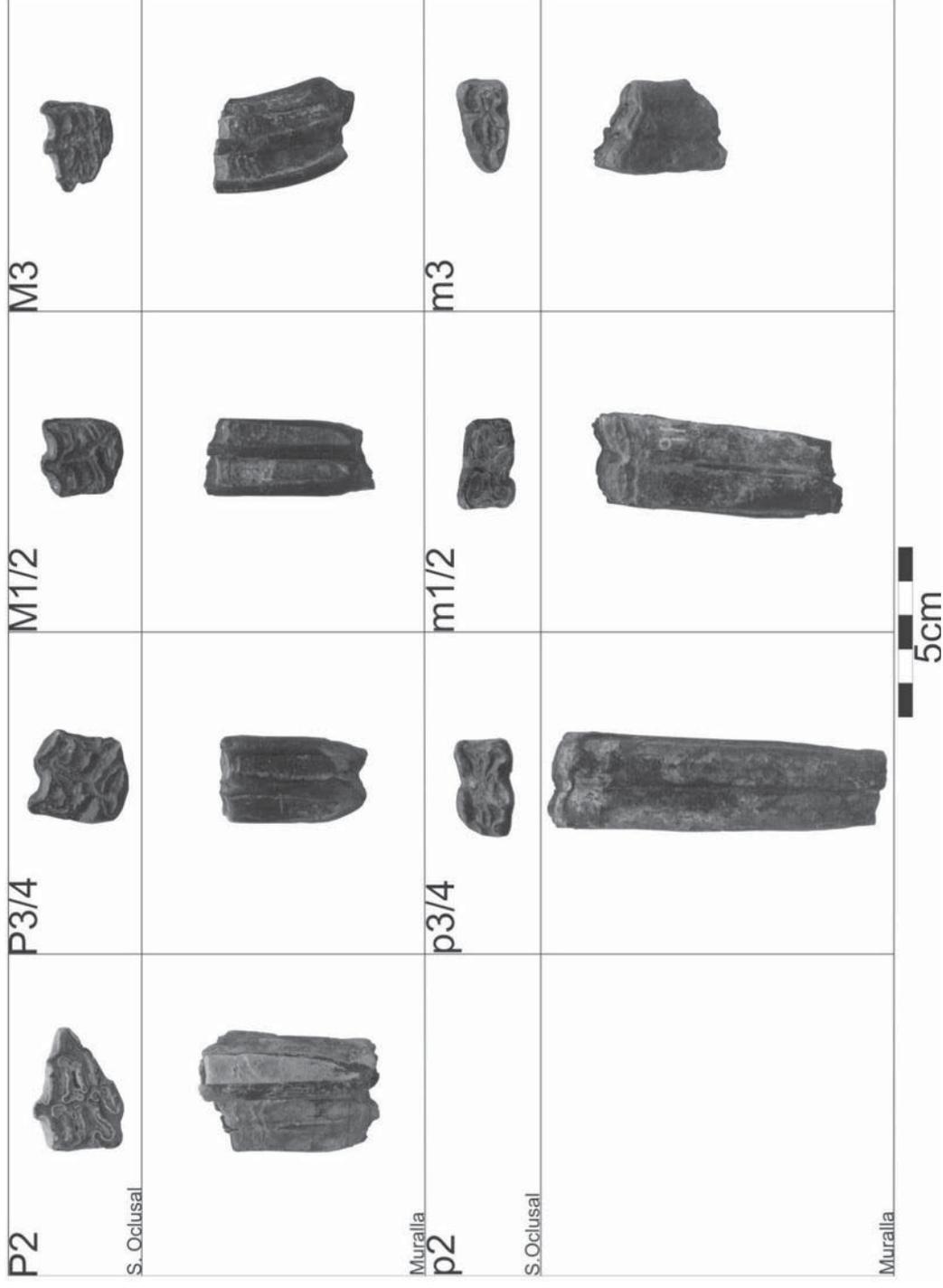


Figura 20. Arriba dientes superiores en vista oclusal y muralla de izquierda a derecha (P2, P3/4, M1/2 y M3), abajo dientes inferiores en vista oclusal y muralla de izquierda a derecha (p3/4, m1/2 y m3) de *Equus conversidens*.



Figura 21. Arriba Metacarpo (MCIII) derecho, Metatarso (MTIII) izquierdo, abajo izquierda a derecha, astrágalo izquierdo, 1FIII y 2FIII de *Equus conversidens*.

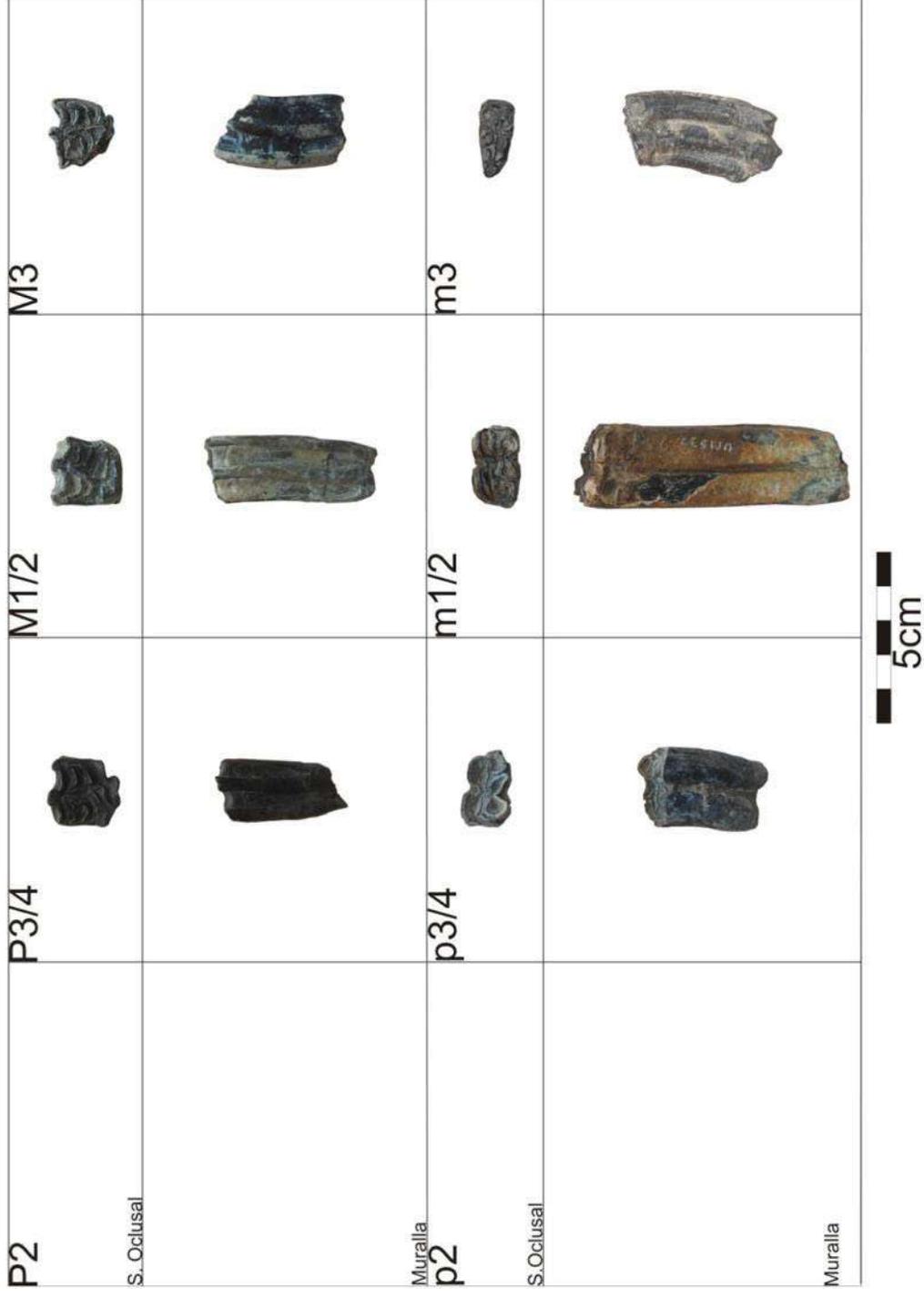


Figura 22. Arriba dientes superiores en vista oclusal y muralla de izquierda a derecha (P3/4, M1/2 yM3), abajo dientes inferiores en vista oclusal y muralla de izquierda a derecha (p3/4, m1/2 y m3) de *Equus cedralensis* Alberdi *et al. in litteris*.

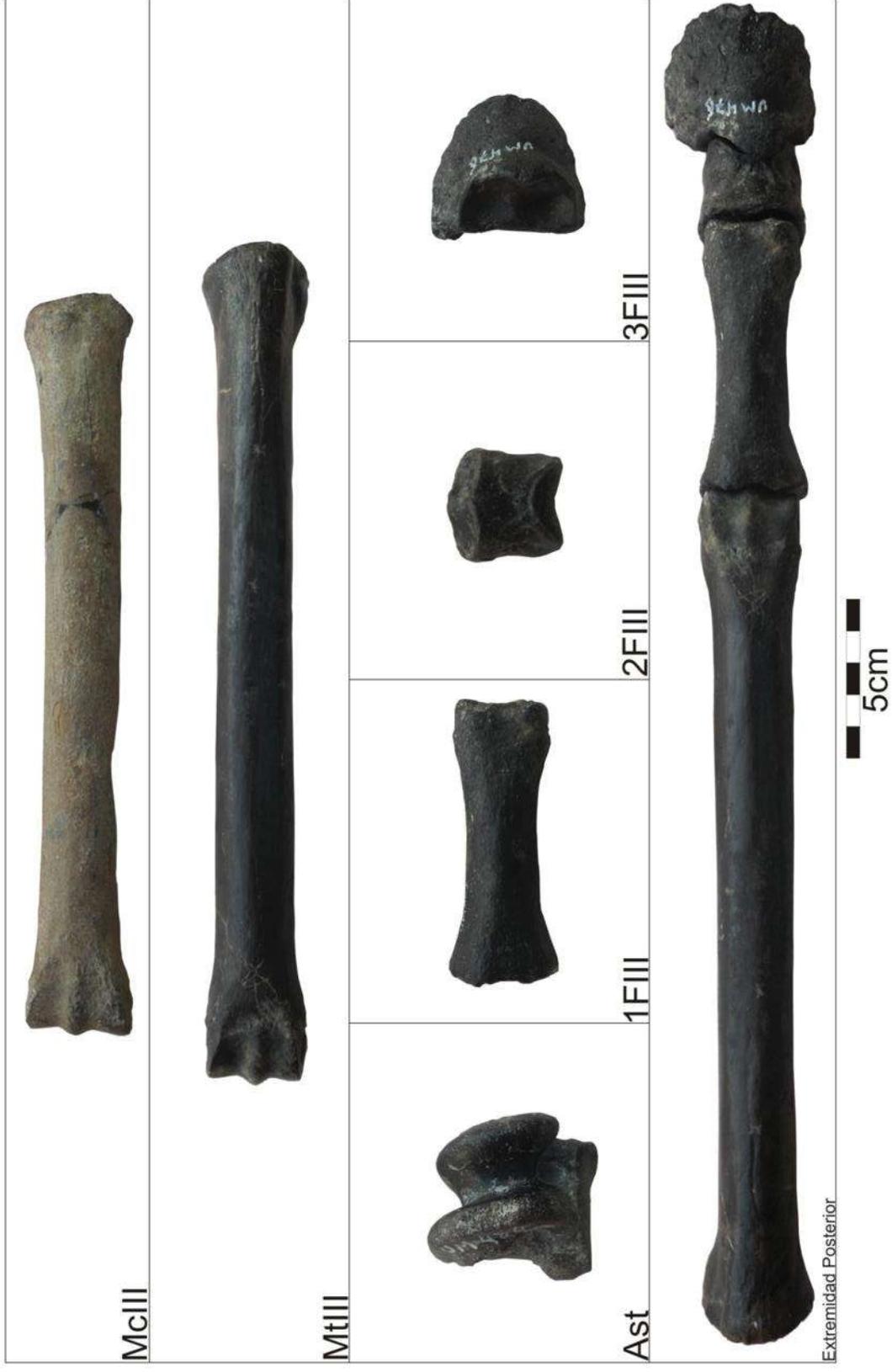


Figura 23. Arriba Metacarpo (McIII) izquierdo, Metatarso (MtIII) izquierdo, abajo izquierda a derecha, astrágalo izquierdo, 1FIII, 2FIII, 3FIII y reconstrucción de extremidad posterior de *Equus cedralensis* Alberdi et al. in litteris.

DISCUSIÓN

Comparación de las estimaciones de masa corporal de las localidades La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana.

Comparando las estimaciones de masa corporal obtenidas usando ambas variables (1FIII5 y MCIII13) para la talla pequeña mediante una prueba de Ji cuadrada ($\text{Prob} > \text{ChiSq } 0.7324$) no se observa evidencia estadística suficiente para comprobar una diferencia en los valores de la estimación de masa corporal obtenidos mediante las dos variables predictivas.

Comparando las estimaciones de masa corporal de tamaño pequeño de La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana mediante una prueba de Ji cuadrada ($\text{Prob} > \text{ChiSq } 0.7324$) no se observa evidencia estadística suficiente para comprobar una diferencia en la masa corporal estimada entre los caballos de tamaño pequeño de ambas localidades. Sin embargo, analizando los datos de masa corporal de talla pequeña se observa que los caballos de menor peso corporal se encuentran en La Cinta-Portalitos (UM 53 I), así como el de mayor masa (UM 502), el rango (158.1kg) entre estas dos estimaciones y la desviación estándar (63.09kg) parece indicar una alta variabilidad de estimación de la masa corporal entre los restos de los caballos de pequeña talla, sobre todo cuando se usa la 1FIII5 que la MCIII13.

Comparando las estimaciones de masa corporal de tamaño mediano del 1FIII de La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana mediante una prueba de Ji cuadrada ($\text{Prob} > \text{ChiSq } 0.3798$) se observa que no existe evidencia estadística suficiente para comprobar una diferencia en la masa corporal estimada en los caballos de tamaño mediano para ambas localidades, sin embargo analizando el rango (227.21kg) y la desviación estándar (78.87kg) y los datos de masa corporal caso por caso, los caballos de menor masa corporal se encuentra en La Piedad-Santa Ana (CPOEI-d22) y los de mayor peso corporal en ambas localidades (UM 479, CPOEI-i23). Se observa en la estimación de masa corporal que el ejemplar (CPOEI-d22) de talla media presenta una masa corporal menor que los ejemplares de talla pequeña (UM 502 y UM 477), lo que indican que la variabilidad de masa corporal es grande. Estos estarían en la zona de solapamiento de la variabilidad de la estimación de la masa corporal entre ambas especies de caballo.

Comparando las estimaciones de masa corporal de la talla pequeña y la talla mediana, de ambas localidades mediante una prueba de Ji Cuadrada ($\text{Prob} > \text{ChiSq } 0.0003$), se observa que existe evidencia estadística suficiente para comprobar una diferencia significativa en la masa corporal estimada para ambas tallas de caballos, con lo que comprobamos que los caballos de la talla mediana son significativamente más pesados que los de la talla pequeña.

Comparación de las estimaciones de masa corporal de las localidades La Cinta-Portalitos, La Piedad-Santa Ana y El Cedral.

Comparando las estimaciones de masa corporal de tamaño pequeño obtenidas mediante 1FIII5 de La Cinta-Portalitos y El Cedral mediante una prueba de Ji cuadrada ($\text{Prob} > \text{ChiSq } 0.6253$) no se observa evidencia estadística suficiente para comprobar una diferencia en la masa corporal estimada entre los caballos de tamaño pequeño de ambas localidades. Sin embargo, analizando los datos de masa corporal de talla pequeña se obtuvo que los caballos de menor peso corporal se encuentran en La Cinta-Portalitos (UM 53 I), así como el de mayor masa (UM 502). El rango que existe entre el caso de menor y mayor peso (158.1kg) y la desviación estándar (36.43kg) muestran una alta variabilidad de estimación de la masa corporal entre los restos de los caballos de pequeña talla de ambas localidades.

Comparando las estimaciones de masa corporal de tamaño mediano obtenidas mediante 1FIII5 La Cinta-Portalitos, La Piedad-Santa Ana y El Cedral mediante una prueba de Ji cuadrada ($\text{Prob} > \text{ChiSq } 0.7192$) se observa que no existe evidencia estadística suficiente para comprobar una diferencia en la masa corporal estimada en los caballos de tamaño mediano para las tres localidades, sin embargo analizando los datos de masa corporal caso por caso, los caballos de menor masa corporal se encuentra en El Cedral (DP-4738) y los de mayor peso corporal también en El Cedral (DP-4159). El rango que existe entre el caso de menor y mayor peso (270.48kg) y la desviación estándar (80.78kg) muestran una alta variabilidad de estimación de la masa corporal entre los restos de los caballos de mediana talla de ambas localidades

Comparando las estimaciones de masa corporal de tamaño pequeño obtenidas mediante MCIII13 de La Piedad-Santa Ana y El Cedral mediante una prueba de Ji cuadrada ($\text{Prob} > \text{ChiSq } 0.4046$) no se observa evidencia estadística suficiente para comprobar una diferencia en la masa corporal estimada entre los caballos de tamaño pequeño de ambas localidades. Sin embargo, analizando los datos de masa corporal de talla mediana se observa que el caballo de menor peso corporal se encuentran en La Piedad-Santa Ana (CPOEI-111), y el de mayor masa en El Cedral (DP-4025d). El rango que existe entre el caso de menor y mayor peso (126kg) y la desviación estándar (40.60) evidencia una alta variabilidad de estimación de la masa corporal entre los restos de los caballos de talla mediana de ambas localidades.

Comparando las estimaciones de masa corporal de las tallas pequeña, mediana y grande de las tres localidades mediante una prueba de Ji cuadrada ($\text{Prob} > \text{ChiSq } 0.0001$), se observa que existe evidencia estadística suficiente para comprobar una diferencia significativa en la masa corporal estimada para las tres tallas de caballos, con lo que comprobamos que los caballos de la talla grande son significativamente más pesados que los de la talla mediana y pequeña, y los de talla mediana significativamente más pesados que los de talla pequeña.

Masa corporal y Paleoecología

Con base en los datos de la estimación de masa corporal y en las consideraciones de Eisenmann (1984), los huesos distales de las extremidades (McIII, MtIII, 1FIII, 2FIII y 3FIII) se podrían deducir consideraciones sobre el medio ambiente en el que posiblemente habitaron estas especies de caballos.

Equus mexicanus caballo de talla grande, de un peso aproximado de 476.69kg, en La Piedad-Santa Ana, 512.52kg en El Cedral usando el 1FIII5 y 456.23kg en El Cedral usando MCIII13, un metatarso largo y robusto, con índices de gracilidad Prado y Alberdi 1994 (14.78, 1), Winans 1989 (4.93, 1), la primera (1FIII) y la segunda (2FIII) falanges centrales son grandes y robustas, y esta última tiene la zona distal muy ancha por lo que la pesuña (3FIII) era muy amplia, basado en estos elementos *E. mexicanus* tenía extremidades largas y robustas así como pezuñas amplias, y comparado con lo que menciona Eisenmann (1984) para *Equus stenonis*, *E. mexicanus* podría haber habitado zonas de suelo húmedo y climas cálidos o fríos en áreas montañosas y cerradas (Bosque) estas suposiciones son consistentes debido a que en La Cinta-Portalitos y en La Piedad-Santa Ana se tienen reportado organismo como *Mammuthus columbi*, *Bison bison*, *Odocoileus virginianus*, *Camelops hesternus* y *Rana pipiens* que habitan y habitaron varios paisajes (sabana, bosque y humedales) (García-Zepeda, 2006 y García-Zepeda *et al.*, 2009).

Equus conversidens caballo de talla mediana, de un peso aproximado de 344.7kg, en La Cinta-Portalitos, de 297.3kg en La Piedad-Santa Ana, 308.17kg en El Cedral, usando el 1FIII5 y 229.49kg en La Piedad-Santa Ana y 282.52kg, en El Cedral usando MCIII13, metápodos medianos y robustos, con índices de gracilidad MCIII, Prado y Alberdi 1994 (14.23, 1), Winans 1989 (4.83,1) y MtIII, Prado y Alberdi 1994 (11.81, 3), Winans (5.66,3), la primera (1FIII) y la segunda (2FIII) falanges centrales son medianas y robustas no se tiene registro de ningún restos de tercera falange (3FIII) pero se deduce que podría ser de una anchura media por la amplitud distal de la 2FIII, basado en estos elementos. *E. conversidens* con extremidades de talla media y robustas y terceras falanges (3FIII) anchas, así como su amplia distribución podría interpretarse como una mayor adaptación de esta especie a distintos tipos de hábitats (Eisenmann, 1994).

Equus sp. nov. era un caballo de talla pequeña, de un peso aproximado de 145.52kg en La Cinta-Portalitos y 140.72kg, en El Cedral usando la 1FIII5 y 126.03kg en La Piedad-Santa Ana y 146.99, 9 en El Cedral usando el MCIII13, metápodos pequeños y gráciles, con índices de gracilidad MCIII Prado y Alberdi 1994 (12.03,3), Winans (5.53, 3) y MtIII Prado y Alberdi 1994 (9.01,1), Winans (7.44, 1), las falanges proximales centrales son muy gráciles en la zona de la diáfisis y las falanges intermedias pequeñas y compactas, existe solo una falange distal de un tamaño pequeño y estrecho, basado en estos elementos *Equus sp.* tenía extremidades largas en relación a su tamaño y metápodos y

falanges proximales altamente gráciles, a si como falanges intermedias pequeñas y estrechas y comparado con lo que menciona Eisenmann (1984) para *E. tabeti*, *Equus sp.* podría haber habitado en zonas de suelos duros y climas fríos o secos en ambientes abiertos (sabana) estas suposiciones son consistentes debido a que en La Cinta-Portalitos y en La Piedad-Santa Ana se tienen reportado organismo que habitan y habitaron varios paisajes (sabana, bosque, y humedales) (García-Zepeda, 2006 y García-Zepeda *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

Los análisis estadísticos arrojan resultados similares en cuanto a la presencia de tres grupos de caballos diferenciados por su tamaño: un grupo de talla pequeña que taxonómicamente referiremos como *Equus cendralensis* una forma dominante de talla mediana *Equus conversidens*, y pocos restos de talla grande *Equus mexicanus* que habitaron ambas localidades del Pleistoceno tardío.

Comparando los resultados en función de la aparición de restos de cada especie en las dos localidades de estudio y la localidad de control (La Cinta-Portalitos, La Piedad-Santa Ana y El Cedral) los caballos de talla grande están mejor representados en la localidad de control, El Cedral, los de talla media dominan en La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana, mientras que la especie pequeña es característica tanto en las localidades estudiadas como en el sitio de control.

Las estimaciones de talla corporal realizadas para los caballos de las dos localidades indican que los pesos de los grupos de caballos estaban bien diferenciados entre las tres especies, como ocurría en la localidad de control (El Cedral).

La estimación del peso, de las tres tallas de caballos estudiados es más ajustada y presenta una variabilidad menor a partir de la variable MCIII13 que de la variable 1FIII5. Estos resultados serían esperables en aquellas localidades donde los caballos presentan una diferencia marcada entre las falanges anteriores y las posteriores, como es el caso de El Cedral y de las dos localidades de estudio que nos ocupan. Esto apunta a la necesidad de utilizar, siempre que se pueda, una u otra variable dependiendo de las características del caballo en estudio.

En relación con la presencia de extremidades robustas en los grupos de caballos se puede deducir que habitaron zonas de suelos húmedos y climas más cálidos en áreas montañosas y más cerradas. La presencia de grupos de talla pequeña con extremidades más gráciles, indicarían que probablemente habitaron en zonas de suelos duros y climas fríos y en ambientes abiertos (Eisenmann 1984).

Es probable que las localidades La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana, se caracterizaran por la presencia de grandes pastizales, con un clima más seco que el actual, con vegetación boscosa quizá pino-encino en las zonas altas de las cuencas, lo

que concuerda con los datos de García-Zepeda (2006), García-Zepeda *et al.* (2009) y Pérez y Godínez (2007), por la presencia de restos fósiles en ambas localidades de *Bison*, *Camelops*, *Odocoileus* y *Mammuthus columbi* que habitarían entre bosques y pastizales

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Coordinación de la Investigación Científica de esa institución por el apoyo financiero; al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid España durante las estancia realizada en el 2010, al Instituto de Antropología e Historia por su apoyo y colaboración, y al profesor Fernando Tejeda Alvarado y la Organización Especial de Investigación de La Piedad.

El primer autor agradece al CONACyT por la beca para estudios de maestría de los que surge el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Alberdi, M. T. Arroyo-Cabrales, J y Polaco, O. J. 2003. **¿Cuántas especies de caballo hubo en una sola localidad del Pleistoceno Mexicano?:** Revista Española de Paleontología. 18 (2), pp. 205-212.
- Alberdi, M. T. Prado, J. L. y Ortiz-Jaureguizatz E. 1995. **Patterns of body size change in fossil and living Equini (Perissodactyla):** Biological Journal of the Linnean Society, 54. pp. 349-370.
- Álvarez, T. 1965. **Catálogo paleomastozoológico mexicano: México D.F. Instituto Nacional de Antropología e Historia,** pp. 47-52.
- Álvarez, T. y Ocaña, A. 1987. **Nomenclatura específica de los équidos del Pleistoceno de México.** México D. F., Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Anales, V. 3, pp. 125-132.
- Arellano A.R.V. y Azcon, E. 1949. **Pre-Equus horses from Goleta (Morelia) Michoacán.** Geological Society of America, Bulletin 60. 1871. (11).
- Azzaroli Augusto. 1995. **A Sinopsis of the Quaternary species of Equus in North America.** Bolletino della Societa Paleontologica Italiana. pp. 205-221
- Barone, R. 1995. **Anatomia comparate dei mammiferi domestici Volume Primo Osteologia.** Edagricole Italia. pp 690
- Barron-Ortiz C. Riva-Hernandez G. Barron-Corvera R. 2008. **Morphometric analysis of equid cheek teeth using a digital image processor: a case study of Pleistocen Cedazo local fauna equids, Mexico.** Revista Mexicana de ciencias geológicas. v. 25. núm. 2. pp. 334-345
- Bravo-Cuevas, V. M. Jiménez-Hidalgo, E. y Priego-Vargas J. 2011. **Taxonomía y hábito alimentario de Equus conversidens (Perissodactyla, Equidae) del Pleistoceno Tardío**

- (Rancholabreano) de Hidalgo, centro de México.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 28, núm. 1, pp. 65-82
- Camacho, Damián A, y López Hernández R. 1995. **Estudio estratigráfico y paleontológico de la zona paleolacustre del lago de Cuitzeo, Michoacán, México.** Morelia, Mich; México. UMSNH. Facultad de Biología. tesis licenciatura. pp.102
- Carranza-Castañeda, O. 1992. **Una nueva localidad del Hemfiliano Tardío en la Mesa Central de México.** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista, v. 2, Núm. 10. pp. 179-196.
- Carranza-Castañeda, O. y Roldan-Quintana J. 2007. **Mastofauna de la cuenca de Moctezuma Cenozoico tardío de Sonora, México.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 24, núm. 1, pp. 81-88
- Ceballos, C. J. A., Ortega, J. M., Medina, N. M., Martínez. T. Rodríguez, J. y González S. 1994. **Análisis limnológico del lago de Cuitzeo, Michoacán, México.** UMSNH. Acuática 1. Secretaria de difusión cultural. Editorial Universitaria. Biología. México.
- Dalquest ,W. W. 1979. **The little horses (genus *Equus*) of the Pleistocene of North America.** American Midland Naturalist. pp. 241-244
- Eisenmann, V. 1984. **Sur quelques caracteres adaptatifs du squelette d'Equus (Mammalia, Pesissodactyla) et leurs implications paleoecologiques.** Bull. Mus. Natn. Hist. Nat., Paris, 4° ser., 6, section C, n° 2, pp 185-195
- Eisenmann, V, Alberdi M. T, de Giuli C. and Staesche.1988. **Collected papers after the "New York International Hipparion Conference, 1981".** In: **Studyng Fossil Horses, I, Methodology** (Eds. M. Woodburne and P. Sondaar).E.J. Brill Leiden. pp. 72.
- Ferrusquia-Villafranca, I.1978. **Distribution of Cenozoic vertebrate faunas in Middle America and problems of migration between North and South America in Ferrusquia-Villafranca Ismales.** Ed **Conexiones terrestres entre Norte y Sudamérica;** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 101p. 193-329
- García-Reyes, A. 2004. **Estudio estratigráfico y paleontológico de La Cinta Michoacán, México.** Morelia, Mich; México, UMSNH, Facultad de Biología. tesis de Licenciatura: pp. 80.
- García-Zepeda, M. L. 2006. **Nuovi dati Paleontologici dalla depressione lacustre di Cuitzeo Michoacán, México:** Universita degli studi di Firenze, Italia, tesis doctoral: pp.115.
- García-Zepeda M. L., Tejeda Alvarado F., Marín-Leyva A. H., Fuentes-Farías A. L. López-García J. R. 2009. **Mastofauna del Pleistoceno Tardío de La Piedad, Michoacán.** Encuentro Nacional sobre diversidad, conservacion y restauracion ecologica en México.
- Gould, G. C.; McFadden, B. J. 2004. **Gigantism, Dwarfism, and Cope's Rule: "Nothing in Evolution Makes Sense without a Phylogeny"** Bulletin American Museum of natural History, No. 285. pp. 219-237.

- Hibbard, C. J., 1955. **Pleistocene vertebrates from the Upper Becerra (Becerra Superior) Formation, valley of Tequisquiac, Mexico, with notes on the other Pleistocene forms:** University of Michigan, Museum of Paleontology Contributions, v. 12, pp. 47-96
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal del Gobierno del Estado de Michoacán. 2009. **Enciclopedia de los Municipios de México, Michoacán, La Piedad Cabadas.** [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/mpios/16069a.htm>> [con acceso el 15 de Junio 2009]
- Israde-Alcántara, I. 1999. **El Terciario tardío, de la Sub-Cuenca de Charo, Michoacán, México Paleoambientes y Vertebrados Fósiles**". Morelia, Mich; México, UMSNH, Facultad de Biología. Tesis de Licenciatura. pp. 113.
- Lopez-Garcia, J. R. 2008. **Estudio estratigráfico, sedimentológico y paleontológico de la region de Indaparapeo-Charo, Paleolago de Cuitzeo, Mich., México.** Morelia, Mich; México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de investigaciones metalúrgicas, tesis Maestría, pp.209
- Lundelius, E. L; Stevens, M. S. 1970. ***Equus francisci* Hay, a Small Stilt-Legged Horse, Middle Pleistocene of Texas.** Journal of Paleontology. v 44. pp. 148-153
- MacFadden, B. J. 1992. **Fossil Horses, Systematics, Paleobiology, and Evolution of the Family Equidae.** Cambridge University Press. USA. pp. 369
- McFadden, B.J. 2005. **Fossil Horses-Evidence for Evolution.** *Science*. Vol. 307. no. 5716, pp. 1728–1730.
- Melgarejo-Damián M.P. Montella-Ballesteros M. 2008. **Quantitative Differentiation of Pleistocene Horse.** *Paleoenvironments: Vertebrates and Invertebrates*. CRP 25 pp. 184-186
- Mendivil, R., Cortés A., Cuevas G., y García C. 1980. **Algunos aspectos fisicoquímicos y consideraciones sobre la pesca en el Lago de Cuitzeo Michoacán.** (Estudio trimestral 1976-1977), memorias. Segundo Simposio Latinoamericano de Acuicultura. T. III. pp. 1747-1782.
- Mendoza, C.M.E. 2002. **Implicaciones del cambio de cobertura y uso del suelo en el Balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo.** Universidad Nacional Autónoma de México Postgrado en Ciencias de La Tierra. Instituto de Geofísica. Tesis de Doctorado pp. 186.
- Melendez B. 1977. **Paleontología Tomo 1. Parte general e invertebrados.** Paraninfo Segunda Edición. Madrid España. pp. 715
- Mooser, Oswaldo. 1958. **La Fauna "Cedazo" del Pleistoceno en Aguascalientes:** Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología, Anales, V. 29 pp.408-452.
- Mooser, O., Dalquest, W. W. 1975. **Pleistocene mammals from Aguascalientes, central México:** Journal of Mammalogy. V. 56 pp. 781-820.

- Prado L. J., Alberdi M. T. 1994. **A Quantitative Review of the Horses *Equus* from South America**. The Palaentological Association. *Palaeontology*, v. 37, Part 2, pp. 459-481.
- Pérez-Crespo, V. A. Sanchez-Chillón, B. Arroyo-Cabrales, J. Alberdi, M.T. Polaco, O. J. Santos-Moreno, A. Morales-Puente, P. Benammi, M. Cienfuegos-Alvarado, E. 2009. **La dieta y el hábitat del mamut y los caballos del Pleistoceno tardío de El Cedral**. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 26, núm. 2. pp. 347-355
- Pérez, G., M. S. Godínez, G. V. 2007. **Pequeños Vertebrados Fósiles y La Bioestratigrafía de La Cinta, Michoacán y Portalitos, Guanajuato**. Morelia, Mich; México, UMSNH, Facultad de Biología. Tesis de Licenciatura. pp. 93
- Perez Espejo, R. 2006. **Granjas porcinas y medio ambiente. Contaminación del agua de La Piedad Michoacán**. UNAM, SEMARNAT, P y V, México D.F. pp.201
- Reynoso-Rosales, V.H. y Montellano-Ballesteros, M. 1994. **Revisión de los équidos de la Fauna Cedazo del Pleistoceno de Aguascalientes, México**. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11, pp 87-105.
- Schafer T. S. Dalquest W. W. 1991. **Comparison of dental characters of fossil horse in two Pleistocene local faunas**. *The Texas Journal of Science*. Vol. 43. N. 1. pp. 45-49.
- Weinstock, J.; Willerslev, E, *et al.* 2005 **Evolution, Systematic, and Phylogeography of Pleistocene Horses in the New World: A Molecular Perspective**. *PLoS Biology* v. 3 Issue 8 pp.1373-1379.
- Winans, M. C. 1985. **Revision of North American fossil species of the genus *Equus* (Mammalia: Perissodactyla : Equidae)**, University of Texas, Austin Ph. D. Dissertation. pp.
- Winans, M. C. 1989. **A quantitative study of the North America fossil species of the genus *Equus***. In: *The Evolution of the Perissodactyls* (Ed. D.R. Prothero and R. M. Schoch) Oxford University Press, pp.263-297.

DISCUSION GENERAL

Comparación de las localidades fosilíferas

Las localidades en estudio se encuentran en el centro occidente de México en la porción central del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano, específicamente dentro del denominado Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (Hasenaka y Carmichael, 1985). Forman parte de la región hidrológica del Lerma-Chapala, ambas localizadas entre los 19°30' y 20°30' de latitud Norte y 100° 45' y 102° 08' de longitud Oeste, con una altura sobre el nivel del mar entre 1677 y 1836 metros.

La morfología local de ambas aéreas presenta diferencias, en La Cinta-Portalitos existen 4 zonas la primera se localiza en el sector NE tiene edificios volcánicos tipo semiescudo con fallamiento normal formando el norte del graben de Cuitzeo, la segunda en el NO constituida por vulcanismo tipo monogenético y semiescudo, la tercera localizada al SO donde se encuentran rocas volcánicas más antiguas, la cuarta zona S presenta patrón de drenaje alterado por la actividad agrícola de riego. En La Piedad-Santa Ana la morfología del suelo es variada, hacia el NE en el valle de La Piedad que colinda con Guanajuato, los terrenos son bajos y llanos, en el NO el río Lerma forma su cauce entre montes y colinas, en el O las laderas se extiende hacia la planicie de la ciénaga de Chapala, en el SE se observa el cerro Grande.

La geología local de La Cinta-Portalitos en resumen son depósitos lacustres, fluvio-lacustres y volcánicos, mientras que en La Piedad-Santa Ana la geología local se resume en niveles aluviales y volcánicos. La cercanía geográfica podría hacer que se compartiera la misma fauna durante el Pleistoceno con historias tafonómicas diversas en ambos sitios debido a las diferencias en morfología y geología influidas principalmente por el tectonismo y vulcanismo.

Edades de los yacimientos

Las unidades de El Cedral donde se tiene mayor presencia de restos de équidos se encuentran entre las edades de 31.850 Ka y 21.960 Ka (Alberdi *et al.*, 2003), la edad inferida para el yacimiento fosilífero de La Cinta-Portalitos es de entre ca. 23 Ka y 21 Ka AP (Capítulo 1 y 3) con base a los datos radiométricos de Israde-Alcántara *et al.* (2010). Con base en la cercanía geográfica de las localidades michoacanas y las edades de El Cedral, se interpreta que las especies de caballos son del Pleistoceno tardío y que las poblaciones fueron contemporáneas, y quizá desaparecieron aproximadamente en el mismo tiempo en el centro norte de México (El Cedral) y en el centro occidente (La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana).

Zonas estratigráficas, sedimentológicas, geoquímicas y mineralógicas de La Cinta-Portalitos (Fig. 1).

Facies I Lago Estable ca. 28 Ka a 24 Ka AP.

Se encontraron 2 Facies de estabilidad, en la parte S (Trinchera 1 y 2) en la parte N (Trinchera 7 y 8) del área de estudio. Como basamento de estas columnas se encuentran espesores grandes de diatomita y sedimentos finos de baja energía de en promedio 52 cm. Con base en en las edades Israde-Alcántara *et al.* (2010b) se calculó que 150 cm de diatomeas se depositan en aproximadamente ~10 Ka por lo que para las trincheras en estudio la depositación duró cerca de ~3.7 Ka, y podría tener una edad entre ca. 28 Ka y 24 Ka AP, lo que indica que era un lago estable.

Facies II Volcánica ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP.

Se identificó una Facies de vulcanismo monogenético, la cual reúne el grupo 1 de los ACP y AD (Capítulo III). Se concentra en las trincheras centrales de la parte norte del paleolago Cuitzeo, donde se encuentran dos diferentes tipos de depósitos, arenas y cenizas volcánicas de color oscuro tipo andesítico DRX (Fig. 7, 8, 10, Capítulo III) de mediana energía intercaladas con la facies de restablecimiento del lago e inestabilidad erosiva, materiales que modificaron las condiciones del lago, lo que se infiere por la presencia de Na, Ca, K, Mg, Mn, Al, P, S, Fe, Ti, V, Sr, Ba y Zr en altas concentraciones, que podría estar relacionada con un incremento en la salinidad (Cohen, 2003).

Los altos valores relativos de las relaciones $K+Na/Al$ y $Na+K/Si$, están vinculados con sedimentos volcánicos y las relaciones Na/Al y Ca/Mg según Roy (2008), están ligadas a una alta evaporación y entrada de sedimentos por procesos eólicos, por lo que la depositación de cenizas pudo haber causado un decrecimiento en el nivel de tirante de agua en esa zona del lago y el cierre del mismo por los derrames de lava, transformando la cuenca en endorreica.

La ausencia de restos orgánicos visibles coincide con lo que Israde-Alcántara *et al.* (2010b) define como Zona V y asigna una edad de ca. 35 Ka a 18 Ka AP donde los registros de polen y diatomeas son escasos, atribuyéndolo a una perturbación provocada por actividad volcánica que modificó las condiciones dentro y fuera del lago, afectando tanto a la flora como la fauna.

Facies III restablecimiento del lago e inestabilidad erosiva ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP.

Facies de restablecimiento e inestabilidad erosiva, reúne el grupo 2 de los ACP y AD (Capítulo III). Son depósitos areno-arcilloso o arcillo-arenosos de media-baja energía, debido a la mezcla de arena de origen volcánico evidencia de procesos erosivos y arcilla autógena, esto apoyado por la alta concentración de Al, Fe y V, moderada concentración de Na, Mg, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Sr y Zr indica que podrían estar vinculados a una salinidad intermedia y erosión (Cohen, 2003), por lo que se infiere que la cuenca aun era

endorreica. Esta facies muestra altos valores relativos en las relaciones Si/P, Fe/Mn, Fe/Ti, Sr/Ba y moderados de K+Na/Al y Na+K/Si; estos últimos indican la entrada de sedimentos de origen volcánico. La relación Fe/Mn puede ser interpretada como condiciones disaeróbicas (Cohen, 2003). La ausencia de restos orgánicos visibles indican que existían condiciones poco favorables para el desarrollo de organismos en el lago.

Esta facies se intercala entre los niveles de actividad volcánica (facies II); además, por las arcillas se deduce que el lago tendía a recuperar su tirante de agua y su estabilidad.

Facies IV Fluvio-Lacustre ca. 23 Ka a 21 Ka AP.

La Facies fluvio-lacustre (Flujo gravítico turbidítico) de mediana a alta energía, de microconglomerado de una matriz arcillo-arenosa con clastos de ignimbrita de tipo riolítico DRX (Fig. 9 y 10, Capítulo III), presenta abundantes restos fósiles de macrovertebrados y microvertebrados del Pleistoceno tardío (~160 Ka a ~10 Ka *sensu* Woodburne, 2004), de color oscuro y con sus caras lustrosas (García Zepeda, 2006; Marín-Leyva, 2008 y Pérez y Godínez, 2008). Estos organismos perecieron probablemente a causa de la perturbación ambiental provocada por la actividad volcánica de la facies II y fueron retransportados en esta Facies.

Con base en la correlación de las columnas en estudio, las edades y núcleo de Israde-Alcántara *et al.* (2010b), a los restos se les atribuye una edad de entre ~32, 565 y ~18,500 años AP, a esta facies se le infiere una edad de entre ca. 23 Ka y 21 Ka AP que coincide con el último máximo glaciar y que presenta similitud con el comportamiento del lago de Chalco en este periodo (Caballero-Miranda, 1997), registrando una mayor humedad y aumento en el nivel lacustre.

Debido a la dilución en la concentración de casi todos los elementos mayores y a la mediana energía, se deducen niveles altos de humedad, posiblemente producto de uno o varios periodos de excesos de precipitación pluvial. Las moderadas concentraciones de Na, P y Ca y el alto valor relativo en la relación P/S está ligado con la cantidad de elementos fósiles que se presentan en esta unidad, y los clastos de origen riolítico (Fig. 9 y 10, Capítulo III) que originalmente se encuentran en rocas que afloran en la zona sur del lago (Figura 2, Capítulo I), indican que la dirección del canal fosilífero era de S a N siendo La Cinta-Portalitos (cota 1840 msnm) una área de salida de agua del lago, indicándonos que la cuenca sufrió un cambio de endorreica a exorreica.

Facies V Lago estable ca. 21.5 Ka a 15.5 Ka AP.

La facies de nueva estabilidad reúne el grupo 3 de los ACP y AD (Fig. 5 y 6, Capítulo III). Son sedimentos de diatomita de gran espesor en promedio de 110 cm y baja energía, con base en las edades Israde-Alcántara *et al.* (2010b) se calculó que para las trincheras en estudio la depositación duró cerca de ~8 Ka y podrían tener una antigüedad de entre ca. 21.5 Ka y 15.5 Ka AP (Fig. 4, Capítulo 1).

Las unidades de esta Facies presentan altas concentraciones de Si y valores relativos altos en las relaciones Si/P y P/S que en nuestro estudio podrían ser un indicador de productividad y bajos niveles de K+Na/Al y Na+K/Si, los cuales están relacionados con sedimentos volcánicos, mostrando la entrada nula de estos, lo que indica estabilidad en el lago. La alta concentración de Si está vinculada con la presencia de diatomeas, lo que muestra un aumento en la comunidad fitoplanctónica del lago como en la Zona VI de Israde-Alcántara *et al.* (2010b); mientras que las bajas concentraciones de los otros elementos muestran poca erosión en la cuenca y la poca entrada de sedimentos alóctonos. En las unidades 5 y 6 de la columna “Portalitos 05”, se encuentran valores altos de la relación Ca/Al y Sr/Ba que según Roy (2008), lo que indica que estas unidades sufrían momentos de desecación, por lo que se infiere que esta trinchera pertenecía a la zona litoral y que el lago comenzó a perder su tirante de agua en esta ubicación, lo que demostraría un cierre de la cuenca.

Facies VI Deceso del lago y suelos residuales ca. 15 Ka hasta la actualidad.

La Facies V “culminación del lago”, reúne el grupo 4 de los ACP y AD (Capítulo III), depósitos de limo, limo-arcilloso, arcillo-limoso y concreciones de espesor promedio de 116 cm de color café oscuro hasta café rojizo de baja energía. Con base en las edades Israde-Alcántara *et al.* (2010b) se calculó que 50 cm de limo se depositan en aproximadamente ~2.5 ka por lo que para las trincheras en estudio la depositación duró cerca de ~5.5 ka y podrían tener una edad desde ca. 15 Ka AP hasta la actualidad.

Las unidades presentan altos valores de Al, Ti, Mn, Fe y Zr y en las relaciones Fe/Al, indican gran erosión, la cual introdujo sedimentos alóctonos al lago, como los grandes clastos volcánicos andesíticos del NE de la trinchera 8 y condiciones disaeróbicas dentro de la cuenca con suelos de humedales y precipitación de óxidos de Fe (Pennington *et al.*, 1972), señalando además un periodo de clima cálido y estabilización de suelo (Cohen 2003). Además se tiene registro de cerámica lo que nos indica la presencia del hombre (Fig. 4, Capítulo 1).

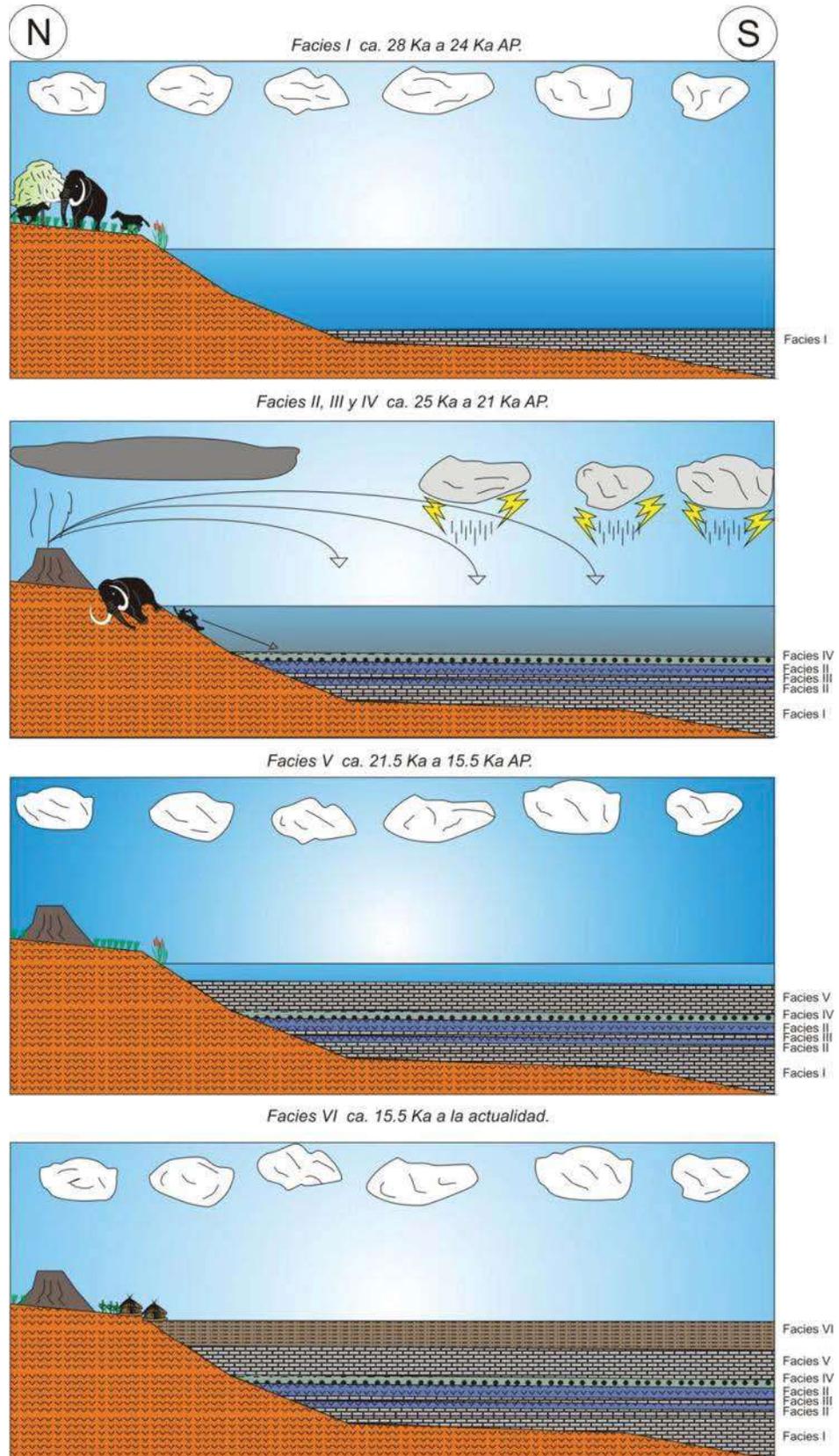


Figura 1. “De arriba hacia abajo”, Evolución de la zona norte del lago de Cuitzeo durante el Pleistoceno-Holoceno.

Interpretación estratigráfica y sedimentológica de La Piedad-Santa Ana (Fig. 2).

En la columna estratigráfica se encuentra una intercalación de sedimentos finos con medianos, representando cambios de energía en el sistema fluvial, por lo que es aceptable interpretar que el río en algún momento sobrepasaba sus niveles y se escurría sobre la gran planicie de La Piedad, creando una zona inundación y humedales que atraían a la fauna Pleistocénica del Ranchobreano como *Mammuthus columbi*, *Bison*, *Camelops* (García-Zepeda *et al.*, 2009).

El nivel donde se encontraron los fósiles está formado por un limo que indica baja energía, por lo que los restos de La Piedad-Santa Ana sufrieron poco acarreo y se encuentran en mejor estado de conservación, por esto es que se encontraron más elementos largos de extremidades como metacarpos y metatarsos, lo que sugiere que las condiciones tafonómicas eran diferentes a las de La Cinta-Portalitos (Ver capítulo I).

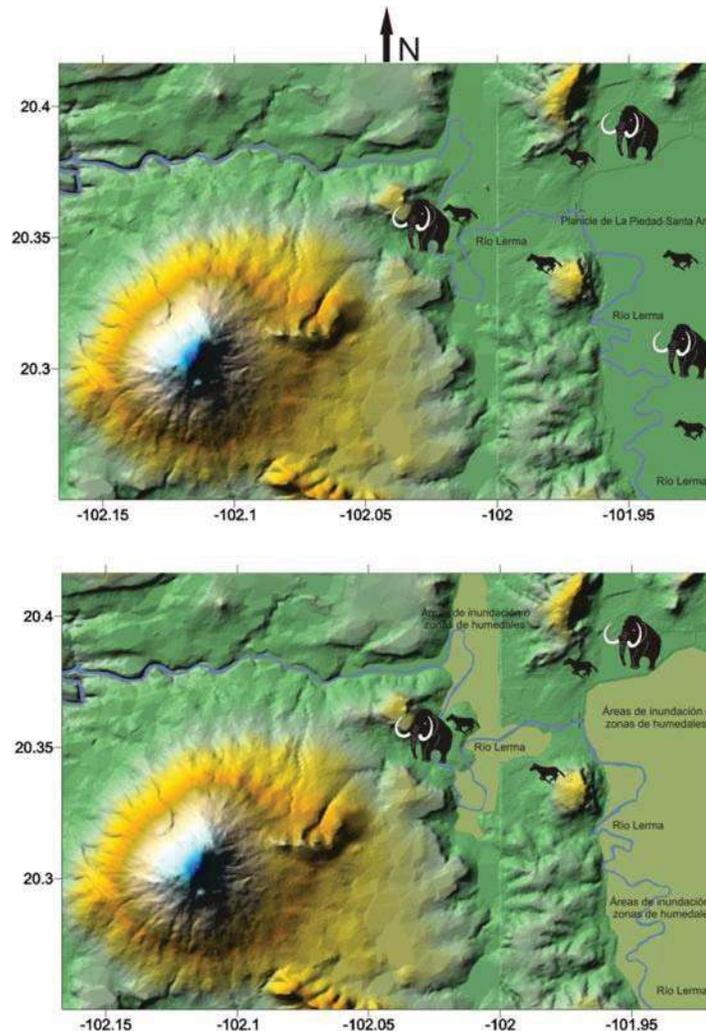


Figura 2. Arriba La Piedad-Santa Ana en un momento de energía baja, abajo La Piedad-Santa Ana en un momento de energía media y las zonas que posiblemente se podrían inundar o formar zonas de humedales.

Paleoambientes de las cuencas en estudio durante el Pleistoceno tardío.

Con base en que en ambas localidades los restos de équidos son los más abundantes en relación a otros taxas, así como la información de los paleoambientes inferidos por las especies registradas de caballos (Capítulo IV), los modelos digitales de terreno (Fig. 2, Capítulo I y II) y en antecedentes como García-Zepeda (2006), Pérez y Godínez (2007) y García-Zepeda *et al.* (2009), se deduce que La Cinta-Portalitos presentaba un ambiente mixto, con zonas de humedales (lago de Cuitzeo) por la presencia de *Ambystoma maculatum*, *Rana pipiens*, así como ambientes abiertos (pastizales) presencia de *Mammuthus columbi*, *Bison bison*, *Sigmodon hispidus*, *Microtus mexicanus*, *Neotoma albigula*, *Spermophilus mexicanus* y *Elaphe guttata* pero con una dominancia mayor de ambientes cerrados bosques o matorrales, inferido por la abundancia relativa mayor de restos de los géneros como *Odocoileus virginianus*, *Camelops hesternus*, *Microtus quasiater* y *Neotoma palatina*.

En La Piedad-Santa Ana se deducen los mismos ambientes, una zona de humedales (rio Lerma y planicies de inundación del mismo), un ambiente cerrado de bosques o matorrales (presencia de *Camelops hesternus*) y una zona dominante de pastizal, debido a una mayor presencia relativa de restos fósiles de *Mammuthus columbi*, y *Bison bison* con relación a La Cinta-Portalitos, además de que en la Fig. 2, Capítulo II, se observa una mayor extensión de la planicie.

Con base en las evidencias morfológicas y morfométricas (Ver capítulo IV) se determino que los restos del caballo de talla pequeña *Equus* sp. nov. representan una nueva especie en el registro paleontológico en el Pleistoceno tardío Rancholabreano, especie que está siendo descrita por Alberdi *et al.* (en prep) con material oseos de El Cedral en el estado de San Luis Potosí, esta nueva especie está fundamentada en que los metápodos se encuentran entre los grupos de *E. francisci* y *E. alaskae* Winans (1989), y que este grupo es significativamente más pequeño que los restos analizados Winans (1985, 1989), Melgarejo-Damián y Montellano Ballesteros en (2008) asigna a los restos de talla pequeña a *Equus tau* Owen 1869, que es un caballo pequeño y que es sinónimo de *Equus francisci* Hay 1915 en Dalquest (1979), los restos podrían ser asignados a *Equus tau*; sin embargo los metápodos incluidos en este estudio son considerablemente más pequeños y gráciles que los de *Equus francisci* estudiados por Lundelius y Stevens (1970) y que Dalquest 1979 considera como *Equus tau*.

CONCLUSIONES GENERALES

En la parte N del paleolago de Cuitzeo se observan seis facies confirmadas por la estratigrafía de detalle, sedimentología, DRX Y PED-FRX, la facies I ca. 28 Ka a 24 Ka AP, diatomita (energía baja) lago estable, la facies II ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP, asociada con vulcanismo (monogenético) de tipo andesítico (energía media) y perturbación ambiental dentro y fuera del lago y cierre del lago. La facies III ca. 25.5 Ka a 22 Ka AP, arena-arcillosa (energía media) de fluctuación en los niveles del lago, erosión, salinidad media y condiciones disaeróbicas. La facies IV ca. 23 Ka a 21 Ka AP, fluvio-lacustres de microconglomerado (energía media), con clastos de ignimbrita y restos fósiles de vertebrados del Pleistoceno tardío y alta precipitación. La facies V ca. 21.5 Ka a 15.5 Ka AP, diatomita (energía baja) con altas concentraciones de Si indica estabilidad y aumento en la comunidad fitoplanctónica. Una de las trincheras pertenecía a la zona litoral del lago endorreico. La facies VI ca. 15 Ka hasta la actualidad, de limo (energía baja) con gran erosión, condiciones disaeróbicas, precipitación de óxidos de Fe y estabilización de suelo

El horizonte fosilífero se encontró en una facies fluvio-lacustre por encima de la facies volcánica y de inestabilidad, los taxa registrados son de una edad Rancholabreana (Pleistoceno tardío).

Los resultados obtenidos permiten concluir que la causa de muerte de gran número de vertebrados depositados en la facies III, podría deberse a los episodios volcánicos que se presentaron ca. 25.5 Ka y 22 Ka AP, cuyos productos explosivos y de caída generaron cambios importantes en esta porción del lago, ocasionando así un cambio de condiciones ambientales dentro y fuera del mismo, por un aumento en la salinidad, erosión, destrucción de la cobertura vegetal, lo que unido al frío y a la sequía de la última era glacial (Caballero-Miranda 1997 e Israde-Alcántara *et al.*, 2010b) que existía en ese momento. Estos restos después fueron retransportados por una corriente turbidítica de dirección S a N, confirmado con los análisis geoquímicos que indican que el vulcanismo *in situ* es de tipo andesítico y el microconglomerado donde se encuentran los fósiles contiene partículas riolíticas registradas al sur de la zona de estudio.

La apertura y cierre de la cuenca de Cuitzeo se asocia a diversos factores ambientales como el tectonismo, el vulcanismo y condiciones atmosféricas, lo que evidencia la gran inestabilidad de la cuenca.

Con base a las evidencias morfológicas y geológicas, se identifica el momento en el que el lago paso de ser una cuenca exorreica a una endorreica suscitándose este fenómeno en el final de la facies I y el inicio de las facies II, así mismo se identifico un periodo posterior de cuenca exorreica durante el final de las facies III y el inicio de las facies IV que pudo haber sido un evento único o de largo plazo, pero por el alcance de este trabajo no es posible definirlo

La corriente que transportó los restos fósiles en La Cinta-Portalitos favoreció el acarreo de piezas de forma compacta y redondeada (dientes, astrágalos y falanges 2FIII), de ahí que exista una mayor abundancia relativa de estas piezas en esta localidad en relación con la otra.

La zona de La Piedad-Santa Ana era una planicie de inundación del río Lerma con intermitencia de energía que pasaba de la depositación de sedimentos finos a medianos. Los restos de La Piedad-Santa Ana sufrieron poco transporte por lo que se conservaron mejor los fósiles de las extremidades (metacarpos y metatarsos).

Los análisis estadísticos arrojan resultados similares en cuanto a la presencia de tres grupos de caballos diferenciados por su tamaño: un grupo de talla pequeña que taxonómicamente referiremos como *Equus sp. nov.* una forma dominante de talla mediana *Equus conversidens*, y pocos restos de talla grande *Equus mexicanus* que habitaron ambas localidades del Pleistoceno tardío.

Comparando los resultados en función de la aparición de restos de cada especie en las dos localidades de estudio y la localidad de control (La Cinta-Portalitos, La Piedad-Santa Ana y El Cedral) los caballos de talla grande están mejor representados en la localidad de control, El Cedral, los de talla media dominan en La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana, mientras que la especie pequeña es característica tanto en las localidades estudiadas como en el sitio de control.

Las estimaciones de talla corporal realizadas para los caballos de las dos localidades indican que los pesos de los grupos de caballos estaban bien diferenciados entre las tres especies, como ocurría en la localidad de control (El Cedral).

La estimación del peso, de las tres tallas de caballos estudiados es más ajustada y presenta una variabilidad menor a partir de la variable MCIII13 que de la variable 1FIII5. Estos resultados serían esperables en aquellas localidades donde los caballos presentan una diferencia marcada entre las falanges anteriores y las posteriores, como es el caso de El Cedral y de las dos localidades de estudio que nos ocupan. Esto apunta a la necesidad de utilizar, siempre que se pueda, una u otra variable dependiendo de las características del caballo en estudio.

En relación con la presencia de extremidades robustas en los grupos de caballos se puede deducir que habitaron zonas de suelos húmedos y climas más cálidos en áreas montañosas y más cerradas. La presencia de grupos de talla pequeña con extremidades más gráciles, indicarían que probablemente habitaron en zonas de suelos duros y climas fríos y en ambientes abiertos (Eisenmann 1984).

Es probable que las localidades La Cinta-Portalitos y La Piedad-Santa Ana, se caracterizaran por la presencia de grandes pastizales, con un clima más seco que el actual, con vegetación boscosa quizá pino-encino en las zonas altas de las cuencas, lo que concuerda con los datos de García-Zepeda (2006), García-Zepeda *et al.* (2009) y Pérez y Godínez (2007), por la presencia de restos fósiles en ambas localidades de *Bison*, *Camelops*, *Odocoileus* y *Mammuthus columbi* que habitarían entre bosques y pastizales.

LITERATURA CITADA

- Alberdi, M. T. Arroyo-Cabrales, J y Polaco, O. J. 2003. **¿Cuántas especies de caballo hubo en una sola localidad del Pleistoceno Mexicano?**: Revista Española de Paleontología. 18 (2), pp. 205-212.
- Alberdi, M. T. Prado, J. L. y Ortiz-Jaureguiz E. 1995. **Patterns of body size change in fossil and living Equini (Perissodactyla)**: Biological Journal of the Linnean Society, 54. pp. 349-370.
- Álvarez, T. 1965. **Catalogo paleomastozoológico mexicano: México D.F. Instituto Nacional de Antropología e Historia**, pp. 47-52.
- Álvarez, T. y Ocaña, A. 1987. **Nomenclatura específica de los équidos del Pleistoceno de México**. México D. F., Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Anales, V. 3, pp. 125-132.
- Arroyo Z. J. 2010. Proyecto: **Construcción del anillo periférico oriente tramo: E.C. La Piedad-Irapuato a E.C. La Piedad-Zamora del Km 0+000 al 14+000**. pp.278. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/mich/estudios/2010/16MI2010VD024.pdf> [con acceso el 1 de Junio 2010]
- Arche, A. 1992. **Sedimentología Volumen I**. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Madrid, España. pp.542
- Arellano A.R.V. y Azcon, E. 1949. **Pre-Equus horses from Goleta (Morelia) Michoacán**. Geological Society of America, Bulletin 60. 1871. (11).
- Azzaroli Augusto. 1995. **A Synopsis of the Quaternary species of Equus in North America**. Bolletino della Societa Paleontologica Italiana. pp. 205-221
- Bates, M.N, Smith A.H. y Cantor, K.P. **Case-control study of bladder cancer and arsenic in drinking water**. Am J Epidemiol. 1995;141. pp. 523–530
- Barone, R. 1995. **Anatomia comparate dei mammiferi domestici Volume Primo Osteologia**. Edagricole Italia. pp 690
- Barron-Ortiz C. Riva-Hernandez G. Barron-Corvera R.2008. **Morphometric analysis of equid cheek teeth using a digital image processor: a case study of Pleistocen Cedazo local fauna equids, Mexico**. Revista Mexicana de ciencias geológicas. v. 25. núm. 2. pp. 334-345
- Bravo-Cuevas, V. M. Jiménez-Hidalgo, E. y Priego-Vargas J. 2011. **Taxonomía y hábito alimentario de Equus conversidens (Perissodactyla, Equidae) del Pleistoceno Tardío (Rancholabreano) de Hidalgo, centro de México**. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 28, núm. 1, pp. 65-82
- Dabrio, J. C. y Hernando S. 2003. **Estratigrafía**. Universidad Complutense de Madrid. La Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid, España. pp. 382
- Caballero-Miranda, M. E. 1997. **Reconstrucción Paleolimnológica del lago de Chalco, México, Durante el Último Máximo Glaciar-El Registro de Diatomeas entre 34,000 y 15, 000 años A.P.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. v. 14. núm. 1. pp. 91-100

- Camacho, Damián A, y López Hernández R. 1995. **Estudio estratigráfico y paleontológico de la zona paleolacustre del lago de Cuitzeo, Michoacán, México**. Morelia, Mich; México. UMSNH. Facultad de Biología. tesis licenciatura. pp.102
- Carranza-Castañeda, O. 1976 - ***Rhynchotherium falconeri* del rancho la Goleta, Michoacán, México**. III Congreso Latinoamericano de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Inst. Geología, Memorias, 5 (3). pp.28.
- Carranza-Castañeda, O. 1992. **Una nueva localidad del Hemfiliano Tardío en la Mesa Central de México**. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista, v. 2, Núm. 10. pp. 179-196.
- Carranza–Castañeda, O. y Roldan–Quintana J. 2007. **Mastofauna de la cuenca de Moctezuma Cenozoico tardío de Sonora, México**. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 24, núm. 1, pp. 81-88
- Ceballos, C. J. A., Ortega, J. M., Medina, N. M., Martínez. T. Rodríguez, J. y González S. 1994. **Análisis limnológico del lago de Cuitzeo, Michoacán, México**. UMSNH. Acuática 1. Secretaria de difusión cultural. Editorial Universitaria. Biología. México.
- Cervantes, H. F e Israde-Alcántara, I. 1997. **Reconstrucción paleoecologica del intervalo comprendido entre los 64,000 a los 116,000 años de del Lago de Cuitzeo basado en la identificación de su flora a diatomeas**. GEOS. Unión Geofísica Mexicana. Boletín informativo v.17. núm. 4. pp. 315
- Cervantes, H. F. (1998). **El intervalo comprendido entre los 116,000 y 64,000 años de historia ambiental del Lago de Cuitzeo con base en el estudio de las diatomeas extraídas de un poso a núcleo continuo**. Morelia, Mich; México, U.M.S.N.H. Facultad de Biología. Tesis de licenciatura.
- Cohen, A. S. 2003. **Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems.**, Oxford University Press, New York, pp 500
- Darragi, F. & Tardy, Y. 1987. **Authigenic trioctahedral smectites controlling pH, alkalinity, silica and magnesium concentrations in alkaline lakes**. Chemical Geology, 63. pp59-72.
- Dalquest ,W. W. 1979. **The little horses (genus *Equus*) of the Pleistocene of North America**. American Midland Naturalist. pp. 241-244
- De Boer, D.H.1994. **Lake sediments as indicators of recent erosional events in an agricultural basin on the Canadian prairies Variability in Stream Erosion and Sediment Transport**. (Proceedings of the Canberra Symposium, December 1994). IAHS Publ. No. 224, 125
- Eisenmann, V. 1984. **Sur quelques caracteres adaptatifs du squelette d'Equus (Mammalia, Pesissodactyla) et leurs implications paleoecologiques**. Bull. Mus. Natn. Hist. Nat., Paris, 4° ser., 6, section C, n° 2, pp 185-195
- Eisenmann, V, Alberdi M. T, de Giuli C. and Staesche.1988. **Collected papers after the "New York International Hipparion Conference, 1981"**. In: **Studyng Fossil Horses, I, Methodology** (Eds. M. Woodburne and P. Sondaar).E.J. Brill Leiden. pp. 72.

- Engstrom, R.D., Wright, H.E. 1984. **Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change**, en Haworth, E.Y., Lund, J.W.G. (ed.), **Lake sediments and environmental history: Minneapolis, Minnesota, EUA**, University of Minnesota Press, pp. 11-67.
- Engstrom D. E. Swaim E. 1986. **The chemistry of lake sediments in time and space**. *Hydrobiologia* 143. pp. 37-44
- Ferrusquia-Villafranca, I.1978. **Distribution of Cenozoic vertebrate faunas in Middle America and problems of migration between North and South America in Ferrusquia-Villafranca Ismales. Ed Conexiones terrestres entre Norte y Sudamérica**; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 101p. 193-329
- Feranec, R. S. 2007. **Ecological generalization during adaptive radiation: evidence from Neogene mammals**. *Evolutionary Ecology Research* 9: pp. 555–577.
- Franciskovis-Bilinski S. Bilinski H. Tibljas D. Hanzel D. 2003. **Estuarine Sediments from the Boreal Region an Indication of Weathering**. *Croatica Chemical Acta*. CCACAA 76(2) pp. 167-176.
- García-Reyes, A. 2004. **Estudio estratigráfico y paleontológico de La Cinta Michoacán, México**. Morelia, Mich; México, UMSNH, Facultad de Biología. tesis de Licenciatura: pp. 80.
- García-Zepeda, M. L. 2006. **Nuovi dati Paleontologici dalla depressione lacustre di Cuitzeo Michoacán, México**: Universita degli studi di Firenze, Italia, tesis doctoral: pp.115.
- García-Zepeda M. L., Tejeda Alvarado F., Marín-Leyva A. H., Fuentes-Farías A. L. López-García J. R. 2009. **Mastofauna del Pleistoceno Tardío de La Piedad, Michoacán**. Encuentro Nacional sobre diversidad, conservacion y restauracion ecologica en México.
- Garduño-Monroy, V. H y Negrín J. 1992. **Magmatismo, hiatos y tectonismo de la sierra Madre Occidental y del Cinturón Volcánico Mexicano**. *Geofísica Internacional*, 33, 4. pp. 417-429
- Garduño-Monroy, V. H., Israde-Alcántara, I, Francalanci, L., Carranza, O., Chiesa, S., Corona, P., Arreyge, E. 1997. **Sedimentology, Volcanims, And Tectonics Of The Southern Margin Of The Lacustrine Basins Of Maravatio And Cuitzeo, Michoacán, México**. General Assembly IAVCEI, Puerto Vallarta, México, pp.23
- Garduño-Monroy, V. H., Israde-Alcántara, I. 1998. **Michoacan lake District. Cuitzeo and Patzcuaro lacustrine Basins, and Los Azufres caldera**. *AMQUA 98. 15th biennial meeting of the American Quaternary Association*. Vallarta, Mexico. Septiembre 5 al 7. 14 pp.
- Garduño-Monroy, V. H., Corona-Chavez P., Israde.Alcantara I, Mennella L., Arreygue, E. Bigioggero B. Y Chiesa S. 1999. **Carta Geológica de Michoacán**. Escala 1:250, 000. Secretaria de Difusión y Extensión Universitaria (UMSNH). Nacional. pp.111
- Gould, G. C.; McFadden, B. J. 2004. **Gigantism, Dwarfism, and Cope's Rule: "Nothing in Evolution Makes Sense without a Phylogeny"** *Bulletin American Museum of natural History*, No. 285. pp. 219-237.

- Haberles S. G. Szeicz J. M. Bennett K. 2000. **Late Holocene vegetation dynamics and lake geochemistry at Laguna Miranda, XI Region, Chile** *Dinámica vegetacional y geoquímica lacustre del Holoceno tardío en Laguna Miranda, XI Región, Chile*. Rev. chil. hist. nat. v.73 n.4 Santiago. pp
- Hasenaka T. y Carmichael I.S.E., 1985. **A compilation of location size and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacán-Guanajuato volcanic field central Mexico**. Geofis. Int. 24. pp.577-608.
- Hibbard, C. J., 1955. **Pleistocene vertebrates from the Upper Becerra (Becerra Superior) Formation, valley of Tequisquiác, Mexico, with notes on the other Pleistocene forms**: University of Michigan, Museum of Paleontology Contributions, v. 12, pp. 47-96
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal del Gobierno del Estado de Michoacán.2009. **Enciclopedia de los Municipios de México, Michoacán, La Piedad Cabadas**. [web en línea]. Disponible desde Internet en:<<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/mpios/16069a.htm>>[con acceso el 15 de Junio 2009]
- Israde-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V.H. y Ferrari, M., 1992, **El origen transtensivo de la depresión del lago de Cuitzeo, México**, in VIII Congreso Latinoamericano de Geología, Actas de las sesiones científicas; Salamanca, España, v. 4, p.127-131
- Israde-Alcántara, I. 1993, **Diatomeas neogenes de sector central del Cinturón Volcánico Mexicano (lago de Cuitzeo) y su relación con la evolución Vulcano-Tectónica**. First international conference on climatic change in México. pp. 69-70.
- Israde-Alcántara, I. 1999. **El Terciario tardío, de la Sub-Cuenca de Charo, Michoacán, México Paleoambientes y Vertebrados Fósiles**". Morelia, Mich; México, UMSNH, Facultad de Biología. Tesis de Licenciatura. pp. 113.
- Israde-Alcántara. I. y Cervantes H. F. 1996. **Evolución del Lago de Cuitzeo en el Cuaternario, datos preliminares. IX**. Coloquio de paleobotánica y Palinología. Memorias IMP. pp.110.
- Israde-Alcántara I., Garduño-Monroy V.H. 1999. **Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting. The evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin systeme (Central wester Michoacan, Mexico)**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology V. 15, n. 1-3, pp. 209-227.
- Israde-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V.H., Ortega-Murillo, R., 2002, **Paleoambiente lacustre del Cuaternario tardío en el centro del lago de Cuitzeo**: Hidrobiologica, 2, 61-78.
- (a)Israde-Alcantara, I., Miller, W. E., Garduño-Monroy, V. H., Barron J., Rodriguez-Pascua, M. A., 2010, **Palaeoenvironmental significance of diatom and vetebrate fossils from Late Cenozoic tectonic basins in west-central México:A review**: Quaternay International 219, pp. 79-94
- (b)Israde-Alcántara, I., Velázquez-Durán, R., Lozano García Ma., Domínguez Vázquez, G., Garduño-Monroy, V. H., 2010, **Evolución Paleolimnológica del Lago Cuitzeo, Michoacán durante el Pleistoceno-Holoceno**: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 62 (3), pp. 345-357.

- Leavitt, P. R., and D. L. Findlay. 1994. **Comparison of fossil pigments with 20 years of phytoplankton data from eutrophic Lake 227**, Experimental Lakes Area, Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51. pp. 2286–2299.
- Lopez-Garcia, J. R. 2008. **Estudio estratigráfico, sedimentológico y paleontológico de la region de Indaparapeo-Charo, Paleolago de Cuitzeo, Mich., México**. Morelia, Mich; México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de investigaciones metalúrgicas, tesis Maestría, pp.209
- Lundelius, E. L; Stevens, M. S. 1970. ***Equus francisci* Hay, a Small Stilt-Legged Horse, Middle Pleistocene of Texas**. *Journal of Paleontology*. v 44. pp. 148-153
- MacFadden, B. J. 1992. **Fossil Horses, Systematics, Paleobiology, and Evolution of the Family Equidae**. Cambridge University Press. USA. pp. 369
- McFadden, B.J. 2005. **Fossil Horses-Evidence for Evolution**. *Science*. Vol. 307. no. 5716, pp. 1728–1730.
- Melgarejo-Damián M.P. Montella-Ballesteros M. 2008. **Quantitative Differentiation of Pleistocene Horse**. *Paleoenvironments: Vertebrates and Invertebrates*.CRP 25 pp. 184-186
- Mendivil, R., Cortés A., Cuevas G., y García C. 1980. **Algunos aspectos fisicoquímicos y consideraciones sobre la pesca en el Lago de Cuitzeo Michoacán**. (Estudio trimestral 1976-1977), memorias. Segundo Simposio Latinoamericano de Acuicultura. T. III. pp. 1747-1782.
- Mendoza, M.E., Bocco G. y López, E. 2001. **Regionalización ecológica, conservación de recursos naturales y ordenamiento territorial en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán**. Informe Técnico. Proyecto No. 98306024. Programa SIMORELOS–CONACYT, México. pp.273
- Mendoza, C.M.E. 2002. **Implicaciones del cambio de cobertura y uso del suelo en el Balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo**. Universidad Nacional Autónoma de México Postgrado en Ciencias de La Tierra. Instituto de Geofísica. Tesis de Doctorado pp. 186.
- Melendez B. 1977. **Paleontología Tomo 1. Parte general e invertebrados**. Paraninfo Segunda Edición. Madrid España. pp. 715
- Miller W. E., Carranza-Castañeda. O. 2001. **Late Cenozoic Mammals from the Basins of Central Mexico**. University, Provo, Utha. Departamento de Geología. UNAM. Instituto de Geología. *Sociedad Paleontológica Italiana*, volumen 40, N° 2. 235-240.
- Mooser, Oswaldo. 1958. **La Fauna “Cedazo” del Pleistoceno en Aguascalientes**: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología, Anales, V. 29 pp.408-452.
- Mooser, O., Dalquest, W. W. 1975. **Pleistocene mammals from Aguascalientes, central México**: *Journal of Mammalogy*. V. 56 pp. 781-820.
- Nesbitt H. W. 1996. **Petrogenesis of sediments in the absence of chemical weathering: effects of abrasion and sorting on bulk composition and mineralogy**. *Sedimentology* 43, 341-358.
- Nichols G. 2009. **Sedimentology and Stratigraphy**. Wiley-Blackwell. Second Edition. Oxford United Kingdom. pp. 419

- Pardo M. y Suárez G. (1995). **Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: seismic and tectonic implication.** J. Geofis. Res. 100 pp. 12357- 12373.
- Pasquaré G., Ferrari L., Garduño V.H., Tibaldi A., Vezzoli L. (1991). **Geologia of the Central sector of Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacán:** Geological society of America Map and series, MCH 072, pp.22
- Prado L. J., Alberdi M. T. 1994. **A Quantitative Review of the Horses *Equus* from South America.** The Palaentological Association. Palaeontology, v. 37, Part 2, pp. 459-481.
- Pennington W. Haworth E. Bonny AP. Lishman JP. 1972. **Lake sediments in northern Scotland.** Philosophical Transactions of the Royal Society of London B 264, pp. 191-294.
- Pérez-Crespo, V. A. Sanchez-Chillón, B. Arroyo-Cabrales, J. Alberdi, M.T. Polaco, O. J. Santos-Moreno, A. Morales-Puente, P. Benammi, M. Cienfuegos-Alvarado, E. 2009. **La dieta y el hábitat del mamut y los caballos del Pleistoceno tardío de El Cedral.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 26, núm. 2. pp. 347-355
- Pérez, G., M. S. Godínez, G. V. 2007. **Pequeños Vertebrados Fósiles y La Bioestratigrafía de La Cinta, Michoacán y Portalitos, Guanajuato.** Morelia, Mich; México, UMSNH, Facultad de Biología. Tesis de Licenciatura. pp. 93
- Perez Espejo, R. 2006. **Granjas porcinas y medio ambiente. Contaminación del agua de La Piedad Michoacán.** UNAM, SEMARNAT, P y V, México D.F. pp.201
- Reading, H. G. Levell, B. K. 1996. **Control on the sedimentary record In: Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy** (Ed. Reading, H. G.) Blackwell Science, Oxford United Kingdom. pp. 5-36
- Repenning C. 1962. **The Giant Ground Squirrel *Paenemarmota*.** Journal of Paleontology. 36(3): 540-556 (78).
- Reynoso-Rosales, V.H. y Montellano-Ballesteros, M. 1994. **Revisión de los équidos de la Fauna Cedazo del Pleistoceno de Aguascalientes, México.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 11, pp 87-105.
- Robles-Camacho, J. Corona-Chavez, P. Morales-Gamez, M. Fabiola Guzman, F. Polaco, O. J. Dominguez-Vazquez, G. Israde-Alcantara, I. Oliveros-Morales A. 2010. **Estratigrafía y paleoambiente asociados a un Gomphoteriidae (*Cuvieronius hyodon*) en Tzintzuntzan, Michoacán, Mexico.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v.27, num.3, pp. 530-544
- Roy, P. D. 2007. **Thermal Characteristics of the Near-Surface Playa Sediments from the Thar Desert, Rajasthan:** Journal-Geological Society of India, v.69 num.4, pp. 781-787
- Roy, P. D., Smykatz-Kloss, W., Morton O. 2008. **Geochemical zones and reconstruction of late Holocene environments from shallow core sediments of the Pachapadra paleo-lake, Thar Desert, India:** Chemie der Erde–Geochemistry, v.68, num.3, pp.313-322

- Roy, P. D., Caballero, M., Lozano, R., Pi, T., Morton, O. 2009. **Late Pleistocene-Holocene geochemical history inferred from Lake Tecocomulco sediments, Basin of México, México**: *Geochemical Journal*, v.43, pp. 49-64
- Schafer T. S. Dalquest W. W. 1991. **Comparison of dental characters of fossil horse in two Pleistocene local faunas**. *The Texas Journal of Science*. Vol. 43. N. 1.pp. 45-49.
- Selley, R. C. 1970. **Ancient sedimentary environments**. Chapman & Hall. pp. 237
- Silva M.L. 1995. **Carta Geológica de México escala 1: 100, 000. Hoja Morelia, 14 Q (2). Resumen de la geología de la hoja Morelia Estado de Michoacán y Guanajuato**. Instituto de geología de la UNAM. pp. 1-25
- Silva J. T., Estrada F., Ochoa S. y Cruz G., 2006. **Propuesta Metodológica Para La Ubicación De Áreas De Disposición De Residuos Sólidos Urbanos**. *Rev. Int. Contam. Ambient*, v. 22 no.4. pp. 147-156.
- Velázquez D.R., Israde A. I., Lozano G. S. 2001. **Significado ecológico de los palinomorfos depositados en el lago de Cuitzeo, Michoacán, durante los últimos 35,000 años**. *Ciencia Nicolaita (UMSNH)* 29: pp. 45-61.
- Velásquez D.R. 2003. **Evolución Paleoambiental del Lago de Cuitzeo durante el Pleistoceno Tardío: Historia de la vegetación e implicaciones paleoclimáticas**. Morelia, Mich; México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de investigaciones metalúrgicas, tesis Maestría, pp.181
- Weinstock, J.; Willerslev, E, *et al.* 2005 **Evolution, Systematic, and Phylogeography of Pleistocene Horses in the New World: A Molecular Perspective**. *PLoS Biology* v. 3 Issue 8 pp.1373-1379.
- Winans, M. C. 1985. **Revision of North American fossil species of the genus Equus (Mammalia: Perissodactyla : Equidae)**., University of Texas, Austin Ph. D. Dissertation. pp.
- Winans, M. C. 1989. **A quantitative study of the North America fossil species of the genus Equus**. In: *The Evolution of the Perissodactyls* (Ed. D.R. Prothero and R. M. Schoch) Oxford University Press, pp.263-297.
- Young G. M. 2001. **Comparative Geochemistry of Pleistocene and Paleoproterozoic (Hurian) Glaciogenic Laminated Deposits: Relevance to Crustal and Atmospheric Composition in the Las 2.4 Ga**. *The Journal of Geology*. v. 109, p. 463-477