



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS

**RECONSTRUCCIÓN PALEOECOLÓGICA EN EL LAGO DE
ZACAPU, MICHOACÁN DURANTE PLEISTOCENO TARDÍO-
HOLOCENO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS EN EL ÁREA TEMÁTICA DE
ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN.**

PRESENTA:

LAURA ALFONSINA CHANG MARTÍNEZ

DIRECTORES DE TESIS:

Dra. Gabriela Domínguez Vázquez

Dra. Isabel Israde Alcántara

Morelia, Michoacán. Marzo 2012



A mis padres, gracias a ellos existe la presente.

A mis hermanas Karen y Oyuki y a mi hermano Alfonso.

por siempre desearme lo mejor.

A mi novio Juan Felipe, por su amor en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora, Dra. Gabriela Domínguez Vázquez por su asesoría y críticas.

Al Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy, por ayudarme en la obtención de los datos de geoquímica e interpretación de los mismos, también le agradezco por tiempo para revisiones, consejos y amistad.

Y a todos los demás integrantes de la mesa sinodal por estar presente en el seguimiento de la tesis.

A Juan Felipe Charre Medellin, por su invaluable ayuda en campo y animarme en todo momento.

A mis compañeros del laboratorio por las discusiones elevadas y terrenas: Verónica, Susana, Dulce y Valerio.

A Cloe por su amistad y por qué siempre hubo palabras de aliento para seguir con el trabajo.

A la Dra. Olivia Martínez por su ayuda en la obtención de los datos de geoquímica y por el equipo prestado así como alegrarme con su simpatía.

A Luis Ramírez por prestar el vehículo para la obtención de muestras y acompañarme a campo por ellas junto a Karen Chang y Juan Charre

A CONACyT por la beca 239247 otorgada durante los dos años de Maestría.

A CONACyT por el apoyo para el desarrollo del trabajo de tesis a través del proyecto Evolución vulcano sedimentaria de las cuencas lacustres neogenas-holocénicas del occidente del Cinturón Volcánico Transmexicano y su influencia en la planificación del territorio; clave 84981-V2 Ciencia básico CONACYT convocatoria 2007.

*Saber que no se sabe, eso es humildad.
Pensar que uno sabe lo que no sabe, eso es enfermedad.*

Lao-tsé

Contenido

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 7 |
| I. INTRODUCCIÓN | 10 |
| II. MARCO TEORICO. | 12 |
| III. OBJETIVO GENERAL..... | 19 |
| 3.1 Objetivo específico | 19 |
| IV. HIPÓTESIS | 19 |
| V. ÁREA DE ESTUDIO | 20 |
| 5.1 Región Biogeográfica | 26 |
| 5.2 Vegetación | 26 |
| VI. METODOLOGÍA..... | 29 |
| 6.1. Trabajo De Campo..... | 29 |
| 6.2. Ubicación de trincheras (Soria-Caballero, 2010) | 29 |
| 6.3. Obtención de las muestras. | 30 |
| 6.4. Análisis de contenido de carbono (Soria-Caballero, 2010) | 31 |
| 6.5. Técnica para calcular el porcentaje de carbono total..... | 31 |
| 6.5.1. Técnica para calcular el porcentaje de carbono inorgánico (TIC)..... | 31 |
| 6.5.2. Cálculo del porcentaje de carbono orgánico (TOC) | 32 |
| 6.6. Susceptibilidad Magnética..... | 33 |
| 6.7. Análisis palinológico | 33 |
| 6.8. Análisis de la vegetación | 34 |
| 6.9. Análisis geoquímico | 34 |
| 6.10. Análisis estadístico | 35 |
| 6.11. Análisis de Correspondencia Canónica | 36 |
| VII.RESULTADOS | 37 |
| 7.1 Estratigrafía..... | 37 |
| 7.2 Análisis Geoquímico..... | 44 |
| 7.3 Análisis Palinológico | 51 |
| 7.4 Relación Del Registro Polínico Con El Ambiente..... | 59 |
| 7.4.1 Análisis de Correspondencia Canónica | 59 |

| | |
|---|----|
| 7.5 Análisis De La Vegetación | 59 |
| VIII. DISCUSION E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 63 |
| 8.1 Trinchera ³ > 40 000 A.P..... | 63 |
| 8.2 La Noria. Entre 40 000- 30 000 años A.P..... | 66 |
| 8.3 El Pozo < 30 000 años A.P. | 67 |
| 8.4 El Invernadero..... | 68 |
| IX. IMPLICACIONES CLIMATOLÓGICAS | 71 |
| X. CONCLUSIONES | 72 |
| Anexo 1. Método para la obtención de granos para sedimento..... | 73 |
| LITERATURA CITADA | 75 |

RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio palinológico en cuatro trincheras ubicadas en la antigua laguna de Zacapu, que abarcan los últimos 40,000 años A.P. aproximadamente. Con la finalidad de documentar cambios paleoambientales y paleoclimáticos a través de la estructura y composición de la vegetación durante el Pleistoceno tardío-Holoceno. El sistema lacustre de Zacapu cuenta con 260 Km², se localiza en la zona de depresiones lacustres del Cinturón Volcánico Transmexicano, en el límite entre la Zona Volcánica Pliocénica y el CVTM. Pertenece a una de las cuencas hidrológicas más importantes del país, en la región hidrográfica Lerma – Santiago. La principal fuente de agua era una serie de arroyos permanentes adicionados a la escorrentía superficial estacional, además de algunos manantiales que nacen al pie de los flujos de lava basáltica. Las altitudes de la cubeta lacustre fluctúan alrededor de la cota de 1980 msnm y el fondo de la cuenca se ubica en 1975 msnm. En el área de estudio, se presenta de manera general tres tipos de vegetación; Bosque de Pino, Bosque de encino y Matorral subtropical. Se ubicó el área de Lomas agrícolas en la localidad de Cantabria corresponde a una zona altamente deformada por actividad tectónica histórica en la región de Zacapu y ha estado sujeta a la influencia de actividades antropogénicas desde tiempos prehispánicos. Y la toma de las muestras se basó en un estudio de la zona de Cantabria con fines de un estudio de Paleosismología, se realizó un Levantamiento de Microtopografía en el área de las Lomas. Los puntos levantados permiten obtener curvas hasta cada 20 cm de equidistancia. De cada una de las trincheras excavadas, se muestrearon las paredes a cada 10 cm o a cada cambio relevante. Para el análisis polínico se tomó una muestra de 1cm³ para cada profundidad tomada y se prosiguió con la técnica de extracción de polen, de las mismas muestras se realizaron los métodos adecuados para obtener los totales de carbono inorgánico y orgánico, la susceptibilidad magnética, geoquímica. Posteriormente a los datos obtenidos se le aplicaron análisis estadísticos multivariados que debido a la pobreza en el contenido de polen no permitieron generar valores significativos.

Se obtuvo la estratigrafía de cada trinchera la más antigua con una edad de > 40, 000 “Trinchera 3” con una profundidad de 320 cm, en esta columna se observan tres unidades diferentes a grandes rasgos se encontró principalmente conformada por diatomita y ceniza volcánica. Dentro de la geoquímica y en conjunto con la susceptibilidad magnética se

encontraron valores con porcentajes altos de elementos máficos (Rb, K y Zr) y la susceptibilidad magnética se registra un aumento de los porcentajes sugiriendo un periodo menos húmedo. Por último se registra hacia la cima un incremento de la susceptibilidad magnética así como de los elementos félsicos Mn, Ti, Fe, Ca y Sr este incremento como parte de un mayor aporte pluvial hacia la cuenca. Dentro del registro polínico se registro en general tres grupos el Bosque templado, Bosque Mesófilo y la vegetación herbácea. A lo largo de la columna se mostro que la vegetación en general se encontraba en un dosel más o menos abierto. El bosque templado dominado por *Pinus* ocupa hasta el 100% en algunas partes, seguido de *Quercus* y *Alnus* con máximos de 20% y 10% respectivamente. En los elementos del bosque mesófilo, se encontró a *Taxodium* y Betulaceae con 40%, y presencia de *Fraxinus*, *Salix* y Ulmaceae. En la vegetación herbácea dominada por Gramineae de hasta 100% en algunos sitios, seguido por Compositae y Euphorbiceae con 40%. Hacia los 39 200 A.P., la estratigrafía cambia con elementos de diatomita en la parte de la base mezclada con ceniza volcánica y material limo arcilloso, en esta trinchera se observan sucesivos eventos volcánicos y en la representación de los elementos medidos encontramos un aumento en las relaciones de Ca/Ti, Sr/Ti, y Mn/Ti, debido a los elementos biogénicos comprendidos en el sistema. Los elementos arbóreos dominantes en el bosque templado son *Pinus*, *Quercus*, *Cupressus*, *Alnus* y *Abies*; el Pino es el elemento abundante y dominante con máximos de 60% en algunas profundidades con altos valores también se observa a *Quercus* 35-40%, y *Alnus* de 20-25%. En cuanto al bosque mesófilo se observa dominando por *Fraxinus*, y con presencia en menor abundancia de Betulaceae, Ericaceae, Meliaceae, *Liquidambar*, *Ulmus* y Ulmaceae. El bosque tropical dominado por Leguminosae con máximos de 20%, y presencia de *Prosopis*, Mimosoideae, Anacardiaceae, Malpighiaceae y *Acacia*. En la vegetación herbácea se encontró la mayor diversidad de taxas y estaba dominada por Gramineae 60% y Compositae 20%, siguiendo Chenopodiaceae, y presencia de Rubiaceae, Solanaceae, Cyperaceae, *Croton*, Sterculeaceae, Onagraceae, *Peperomia* y Euphorbiaceae. En el periodo comprendido de <30, 000 A.P. al presente se observa alto contenido biogénico en la base junto con material limo-arcilloso que precede a una capa de ceniza volcánica amplia interrumpiendo el registro polínico, y que después de este se observan múltiples eventos, la historia estratigráfica de esta parte del registro se observa que se encuentra un alto retrabajamiento en la zona que no

permite observar los cambios de la vegetación en secuencia. La geoquímica marca los eventos volcánicos, en el análisis polínico los elementos templados estuvieron dominados por *Pinus* con 80%, seguido de *Alnus* 20% y presencia de *Quercus* y *Fraxinus*. El bosque tropical fue dominado por Leguminosae 10% y *Celtis*. Y en la vegetación herbácea solo se encontró a Gramineae y Compositae. En la zona más recientes, el bosque templado estuvo dominado por *Pinus* 90%, seguido por *Alnus* de 20% y *Cupressus*. En el bosque tropical Leguminosae fue la familia más representativas con 45%, seguido por Mimosoideae 20%, Ulmaceae 15% y finalmente Betulaceae. La vegetación herbácea dominada principalmente por Gramineae 40%, Compositae y Chenopodiaceae con 10%. En el registro polínico más reciente se observó el bosque templado representado por *Pinus*, y presencia de *Cupressus*, *Abies*, *Fraxinus* y *Alnus*. El bosque mesófilo se observó *Tilia*, Betulaceae, Ulmaceae, *Taxodium*, Rhamnaceae, Leguminosae, Mimosoideae, Rubiaceae. Los elementos herbáceos dominados por Gramineae con 90%, seguido por Urticaceae 45%, Chenopodiaceae y Compositae; se encontró a Solanaceae, Labiateae y *Peperomia*. Y en los cultivados se encontró a Cucurbitaceae pero de manera muy abundante llegando hasta los 80%. En general se observan una etapa con vegetación abierta en la parte más antigua que se va haciendo más húmeda y abundante hacia los 39 200 A.P., manteniéndose abierta en casi toda la sedimentación estudiada. Y que sin embargo cabe añadir las reservas de la interpretación de la vegetación observada debido a que la pobreza de la abundancia encontrada en el polen, puede comprender una gama de factores desde la sedimentación hasta posibles pérdidas y daños debido a incendios.

I. INTRODUCCIÓN

El estado de Michoacán es parte del variado sistema fisiográfico que se encuentra en el país. Esta compleja fisiografía es el resultado de los procesos geológicos y climáticos que han ocurrido a través del tiempo, y han configurando la morfología del estado labrando los diferentes relieves (Israde-Alcántara *et. al.*, 2010). En el Estado se observa la influencia de tres regiones fisiográficas: la Sierra Madre del Sur, las costas del Pacífico y el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM), siendo este último el de mayor impacto sobre las geoformas de Michoacán (Garduño-Monroy, 2005). Los volcanes del CVTM interactúan con las fosas tectónicas que dominan el paisaje, donde el clima ha permitido de manera natural el mantenimiento de ríos y lagos particularmente en la zona norte de Michoacán. El sistema lacustre de Zacapu pertenece a esta franja volcánica del estado, al igual que los sistemas cercanos de Pátzcuaro, Cuitzeo y Zirahuén, donde es común ver afloramiento de sedimentos lacustres levantados por efecto de la tectónica y/o el vulcanismo (Metcalf, 1992, Israde-Alcántara, 2005, Soria-Caballero, 2010).

Zacapu se encuentra al sur de la cuenca del Lerma-Santiago, y al norte en el límite de la Zona Volcánica Pliocénica. Su formación está relacionada con el desarrollo de tectónica distensiva desde el Plioceno superior hasta el Pleistoceno (3–1 M.a.) (Demant *et al*, 1992; Gómez–Tuena *et al*, 2005). Posee un área de 261 km² y fue una cuenca hidrológicamente cerrada cuya fuente de agua eran algunos arroyos permanentes, la escorrentía superficial estacional y algunos manantiales, el origen del lago se cree es tectónico (Soria-Caballero, 2010). Actualmente el lago posee un lago remanente cuya salida de agua está representada por el río Angulo que la conecta con el río Lerma y es abastecido por varios manantiales, su profundidad máxima es 12.5 m y la mínima 2 m dependiendo de la zona dentro del Lago y la época del año, aunque se sabe que fue más profundo en el pasado (Medina, 1993). Actualmente la zona de la ciénega es una llanura uniforme, ligeramente inclinada al norte y aún se conserva un cuerpo de agua llamado Lago de Zacapu.

Los lagos tienen el potencial de almacenar registros y el lago de Zacapu no es la excepción, siendo un lago con un dosel amplio la información que genera es más regional. Los registros se pueden observar a través de los restos de organismos como diatomeas, ostrácodos y polen entre otros indicadores que son depositados en los sedimentos por grandes períodos de tiempo, haciendo posible estudiar los cambios en el ambiente, la evidencia de los efectos del cambio climático e impacto humano. Los sedimentos de un lago se forman por la acumulación de materiales arrastrados (alóctonos), limos, arenas, fragmentos de roca y materiales autóctonos (minerales evaporíticos) así como materia orgánica (restos animales y vegetales (Margalef, 1983; Soria-Caballero, 2010).

Las reconstrucciones paleoambientales a través de los sedimentos lacustres han sido de gran importancia para el entendimiento de las variaciones ambientales del pasado, para realizarlo de la manera más confiable posible es necesario utilizar relaciones entre varios indicadores que generan información particular los cuales en conjunto nos ayuda a descifrar sistemas ambientales complejos del pasado (Metcalfé *et al.*, 1989; Lozano-García *et al.*, 1993, 2007; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1994, 1998; Xelhuantzi-López, 1994; Caballero y Ortega-Guerrero, 1998; Caballero, 1995, 2001; Bradbury, 2000; Caballero *et al.*, 2001, 2002; Broström *et al.*, 2004).

En este estudio se pretende reconstruir la evolución ambiental alrededor del lago de Zacapu, el análisis polínico a partir de polen fósil extraído de sedimentos (Faegri e Iversen, 1989). La presencia y abundancia de polen dependerá de la producción, dispersión, vegetación circundante y de las propiedades del sistema lacustre en el que se encuentre, así como el tipo de material depositado, la tasa de sedimentación y las fluctuaciones en el nivel del lago (Berglund, 2003).

II. MARCO TEORICO.

El Pleistoceno inició hace aproximadamente 2.4 millones de años A.P., es caracterizado por la presencia de ciclos de glaciación e interglaciar, en él se encuentra registrado el Último Glacial Máximo hace aproximadamente 18,000 años, en este ciclo con base en la composición polínica de los sedimentos de lagos se describieron los estadios para la última transición glacial. Este período terminal del Pleistoceno fue para las zonas tropicales una fase de inestabilidad climática (Gasse *et al.*, 1990; Islebe y Van Der Borg, 1995). La glaciación del Pleistoceno no solo afectó los niveles del océano, muchos lagos sobre todo en las zonas nórdicas, tuvieron cambios en su producción y en su mayoría tenían una capa de hielo que los recubría, observándose baja y en algunos casos nula producción en el interior de los lagos, esta capa de hielo se retiró en el Holoceno dando paso a una mayor productividad y en los lagos en los que no existía productividad se restableció la vida (Roberts, 1998).

En México durante el Pleistoceno tardío los registros polínicos de los lagos del centro sugieren la dominancia de extensas comunidades de bosque de pino y encino con elementos como *Pinus*, *Quercus* y *Alnus*, así como una amplia cobertura de bosque mesófilo compuestos por géneros como: *Carya*, *Fagus*, *Engelhardtia*, *Liquidámbar*, *Alchornea*, *Tilia* y *Carpinus*. Estos elementos junto con otras evidencias durante este período sugieren la dominancia de un clima templado-húmedo (Metcalfé, 1982; Lozano-García *et al.*, 1993, 2007).

En Michoacán han sido estudiados paleolimnológicamente los lagos de Pátzcuaro, Zirahuén, Zacapu y Tacámbaro cuyo registro abarca el Pleistoceno tardío y el Holoceno (Watts y Bradbury, 1982; Bradbury, 1989; 2000; Ortega *et al.*, 2002, 2010; Davies *et al.*, 2005; Metcalfé *et al.*, 2007; Israde-Alcántara *et al.*, 2002, 2010). En Cuitzeo, en un núcleo de 27 metros, con una edad de 42,400 A.P. medidos con radiocarbono e infiriéndose en la base aproximadamente 121, 000 A.P., se realizó una reconstrucción generada a partir de varios indicadores, entre ellos geoquímica, diatomeas, polen así como el contenido de carbón orgánico e inorgánico. En la constitución polínica encontraron distintos taxos agrupados por afinidades ecológicas, entre estos taxones se encuentra *Abies*, que ayudó a definir un bosque de oyamel, *Pinus*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Quercus*, *Alnus* y *Buddleia*, para un bosque de pino-encino de condiciones húmedas y templadas, y como elementos de un bosque mesófilo se

incluyó a *Liquidambar*, *Junglas*, *Fraxinus*, *Corylus-Carpinus* y *Betula*. Se registraron 187 taxa polínicos a lo largo de la secuencia, durante los últimos 100 000 años se presentaron cinco fases relativamente húmedas, En los 53,000 a los 35,000 A.P., hubo un aumento de la temperatura y alta humedad, estableciéndose *Alnus*, *Junglas* y *Fraxinus* como integrantes del bosque húmedo, en las partes bajas de la cuenca se establecen climas semisecos, y comunidades xéricas, desarrollándose matorral arbóreo con *Bursera*, *Agavaceae* e *Ipomea*. Entre los 35,000 – 18,000 se encuentra la última fase de la glaciación, incluyendo del glacial temprano al glacial tardío. En esta etapa no aparece una representación completa de los conjuntos polínicos y de diatomeas, ya que se presenta una fase de actividad volcánica que interrumpe el registro, pero se ve reflejado el disturbio en la vegetación (Israde-Alcántara *et. al.*, 2010; Wendt, 1989).

En Zacapu, Soria-Caballero (2010), infirió cinco etapas importantes en el registro sedimentario del área de las Lomas: la primera etapa sugiere un cuerpo de agua profundo ubicado en >40,000 años A.P, caracterizado por el depósito de diatomitas intercaladas con al menos cinco capas de ceniza volcánica probablemente relacionadas a la misma cantidad de eventos. La segunda etapa sugiere un lago químicamente más concentrado, somero de aguas con pH básico y se identifica por una serie de capas limosas con abundante presencia de organismos calcificados (gasterópodos, bivalvos y ostrácodos) mezcladas con dos a tres niveles de cenizas volcánicas negras; probablemente esta etapa pueda asociarse con un mayor ingreso de sedimentos al cuerpo de agua, o bien con un aumento en el régimen de evaporación de la zona. La tercera etapa se refiere a un evento volcánico de gran magnitud representado por un depósito de ceniza volcánica negra y fina; la cuarta etapa corresponde a una serie de capas laminares limo-arcillosas intercaladas con estratos de ceniza volcánica negra, afectados por actividad tectónica, la cual provocó plegamientos y slumps. Las etapas dos, tres y cuatro se han ubicado en un período de tiempo mayor a 30,000 años y menor a 40,000 años A.P. La quinta y última etapa ha sido interpretada como sedimentos retrabajados por actividades humanas, en los cuales se mezclan capas de ceniza volcánica, arcillas y limos con altos contenidos de materia orgánica y fragmentos de cerámica y obsidiana, que se asignan al Holoceno-Reciente; durante esta etapa se infiere la ausencia progresiva de flujos de agua en la zona. Ortega *et al.* (2002), en general para este periodo observa condiciones relativamente

húmedas entre 52,000 – 35,000 años A.P. y tendencia a condiciones secas hacia los 25,000 años A.P. que culminan con un *hiatus* en la sedimentación (Israde-Alcántara, *et. al.*, 2010). La actividad volcánica de la región es muy constante interrumpiendo el registro de la sedimentación. Sin embargo, por la presencia de marcadores preservados en algunos niveles hay evidencia de que estos ambientes secos continuaron durante el máximo glacial. . En general, las evidencias (Ortega, 2002) permitieron distinguir condiciones de humedad de aproximadamente 52,000 años A.P. hasta cerca de 39,000 años A.P., y una disminución de las mismas durante los 28,000 y 25,000 años A.P., durante este período se pueden ver indicios de grandes modificaciones por efecto tectónico y volcánico pero no de manera muy concluyente para la existencia de un hiato o bien que el tectonismo o volcanismo sean la causa de la discontinuidad observada.

En estudios realizados por Metcalfe en 1989, 1992, sugiere que hace 30,000 años A.P. el lago de Zacapu fue un extenso lago que se fue reduciendo desde los 26,000 años A.P. hasta los 5000 años A.P. estos cambios también se ven reflejados en modificaciones de las características de la sedimentación del lago, la secuencia sedimentaria fue dividida en seis unidades estratigráficas y en ella se encontraron limos, arcillas y mezclas intercaladas con materiales volcanoclásticos. La base de la secuencia, mostró sedimentos de color marrón y marrón oscuro con abundantes restos de gasterópodos y ostrácodos. En las siguientes unidades existen fases de ceniza, intercaladas con arcilla y facies rojizas indicando horizontes oxidados. En la superficie se encontró goethita y hematita, indicando diferentes condiciones climáticas pues la goethita se forma en condiciones de humedad en sitios relativamente frescos y orgánicos, mientras que hematita se desarrolla en condiciones secas. En este análisis también observaron cambios en la tasa de sedimentación en el lago, entre los 34,840 y 24,400 años A.P

Entre 35,000 y 18,000 en Zacapu, Chalco y Lerma, al occidente y al oriente del lago de Cuitzeo las evidencias de los conjuntos polínicos y de diatomeas sugieren condiciones con tendencia a secas (Caballero y Ortega, 1998).

Al término del Pleistoceno e inicios del Holoceno, varias zonas del centro de México se caracterizaron por una gran actividad volcánica que ocasionó importantes cambios ambientales locales asociados a la devastación del paisaje y el depósito de grandes volúmenes

de sedimentos volcanoclásticos. El Holoceno se caracteriza por ser el periodo en el que se establecieron en general las condiciones ambientales que persisten hasta hoy en día, con pequeñas variaciones en su transcurso que son visibles en estudios de alta resolución, como el Cálido Medieval, la Edad de Hielo y algunos procesos como las sequías registradas para México, por ejemplo la sequía maya (Domínguez-Vázquez *et. al.*, 2004).

En el noreste de Europa y en muchas otras partes del mundo, las temperaturas de los veranos modernos se estabilizaron en los primeros 1000 años del Holoceno y el aumento de las temperaturas produjo una respuesta rápida en las capas de hielo más pequeñas y glaciares de valle (Roberts, 1998).

Durante el lapso de 11,000 a 8000 años A.P. las temperaturas aumentaron, pero prevalecieron condiciones secas y niveles lacustres bajos en Pátzcuaro (Bradbury, 2000) y Zacapu (Ortega *et al.*, 2002) o lagos secos como Cuitzeo (Israde-Alcántara *et al.*, 2002). Por otro lado, el volumen de hielo en el hemisferio norte tardó en derretirse, el retroceso del hielo causó aumento en los niveles del mar en 55 m, hace aproximadamente 11,500 A.P., y hace aprox. 6,000 años A.P. la elevación del nivel del mar actual se estableció (Tooley y Shennan, 1987; Fairbanks, 1989; Chappell y Polach, 1991). En la ex-ciénega de Zacapu, el análisis palinológico del Holoceno sugiere ambientes templados (Xelhuantzi-López; 1994; 1995). Se observa un clima templado húmedo o subhúmedo entre 8200 y 7400, mientras en Cuitzeo se reconoce un clima templado subhúmedo en la parte alta y templado seco en las áreas bajas y colindantes con el lago. Entre 7400 y 4700 en Zacapu se reporta un clima semi-seco templado de 4700 al presente, Xelhuantzi-López (1995) menciona un clima subhúmedo y templado para Zacapu, mientras que para Cuitzeo la curva climática parte de un clima templado semiseco hacia un clima templado subhúmedo que declina en las últimas décadas hacia un ambiente más seco. En el lago de Pátzcuaro, Bradbury (2000) sugiere un clima templado seco a los 4700 A.P.

El Lago de Zacapu ha sido un pantano desde los últimos 7000 años A.P. y que en los últimos 5000 años particularmente ha tenido un clima templado subhúmedo. Xelhuantzi-López en 1994, especifica que un cambio climático no puede ser la única causa de la modificación de los niveles del lago. En los lagos de Cuitzeo y Zacapu los niveles fueron

bajos e incluso los lagos desaparecieron por algunos períodos, mientras que en Pátzcuaro se mantuvieron relativamente estables y altos (Caballero y Ortega, 1998; Caballero *et. al.*, 2001, 2002; Ortega *et al.*, 2002).

Entre 8000 y 6000 años parece haber ocurrido un período húmedo en algunos lagos (Zacapu, Yuriria, Cuitzeo y un poco antes en Pátzcuaro). Para los últimos miles de años la interpretación de cambios climáticos por medio de sedimentos lacustres se complica debido a la creciente influencia de las comunidades humanas, sobre todo en los últimos 3000 años (Lozano-García y Xelhuantzi-López, 1997; Lozano-García *et. al.*, 2007). La introducción de la agricultura en la región centro-occidente se registra por la presencia de polen de *Zea mays* (maíz) en el lago de Pátzcuaro hace unos 4000 años (Bradbury *et. al.*, 2000, 2006). Asimismo la deforestación y los incendios asociados a la expansión de la agricultura ocasionaron un incremento de la erosión, que se evidencia por un aumento de la sedimentación en los lagos (Burry, 2001). Entre 5000 y 4000 años A.P. el nivel del lago muestra una tendencia a la recuperación. Sucesivamente hacia 2230 años A.P (Metcalfé y O'Hara 1992) la flora lacustre indica la presencia de un lago profundo tendencialmente frío.

Metcalfé (1992) presenta la interpretación paleolimnológica obtenida por las diatomeas en dos zonas, la primera con una profundidad de 3.85 metros y la segunda con una profundidad de 4.10 metros. La autora concluye que entre cerca de 8000 años y menos de 3000 años A.P. existieron en Zacapu aguas someras o cenagosas, con un pH variable, sin grandes cambios en el nivel del lago durante los últimos 8000 años. Para el Holoceno medio se manifiestan condiciones secas, particularmente entre cerca de 4,000 y 4800 A.P. El Holoceno tardío se caracterizó por el aumento de carbono orgánico, aunque no está claro si es el resultado de una mejoría climática o de actividades humanas recientes. A finales del Pleistoceno de manera contradictoria a los registros centrales en México, se infiere la presencia de humedad para esta época y la infravaloración de tectonismo e hidrología subterránea en la interpretación de las variaciones climáticas de nivel del lago en esta cuenca.

(Metcalfé, 1992 y Metcalfé *et. al.*, 2006) señalaron en un estudio en el Lago de Zacapu y sitios asociados, que el registro de diatomeas pudo ser más afectado por la influencia antropogénica que por la química total del agua, reduciendo el valor de las muestras de

diatomeas modernas colectadas para proveer análogos para la interpretación de material pre-disturbio. Concluyó que en un área densamente poblada, con alto grado de disturbio antropogénico es poco probable que las asociaciones modernas de diatomeas provean análogos válidos para material pre-disturbio.

De acuerdo con Xelhuantzi-López (1994) antes de 8000 A.P.) Zacapu se caracterizó por un clima templado, húmedo a subhúmedo, con elementos de pino, encino, *Alnus*, pastizales y herbáceas en la vegetación. El cambio a pradera puede reflejar la destrucción parcial de la cobertura de árboles por erupciones volcánicas y caída de ceniza. Entre los 8000–7000 A. P. se observan capas deformadas y estratos de cenizas volcánicas que se reflejan en el registro de susceptibilidad magnética (grandes picos sucesivos), diatomeas y polen cambios en la flora. Se trata de una serie de erupciones volcánicas seguidas de actividad tectónica que afectaron la geomorfología e hidrología, esto resultó en la intensificación de la erosión. En los 7000 – 6000 A.P. los registros de polen y diatomeas indicaron reducción de humedad y cambio gradual a clima templado semi-árido más marcado al final del período. El área de la ciénega se redujo a agua eutrófica somera y los pastizales cubrieron las Lomas. El máximo descenso del nivel del agua hasta los 4000 A.P. indica clima seco y ciénega somera y alcalina, después alrededor la ciénega se expande de nuevo y regresan condiciones climáticas subhúmedas.

Hacia los 2000 A.P. el clima se volvió más húmedo y se desarrollaron zonas de aguas abiertas en la ciénega, el polen señala aumento de pastizales. Se registra presencia humana, piedras exóticas y navajas de basalto, se cree que esta presencia en los lagos del centro-occidente de México como Chalco (Lozano- García, *et. al.*, 1993, 2007; Caballero y Ortega, 1998) y Chignahuapan (Caballero, 2002), incluyendo Zacapu y Pátzcuaro, generaron tres períodos de erosión acelerada; el primero, de 3,600 a 3,100 años A.P., estaría relacionado con el inicio del cultivo de maíz bajo un clima húmedo; el segundo, más severo, entre 2,500 y 1,200 A.P., al parecer se relaciona con el desarrollo de las civilizaciones del Preclásico Tardío y el Clásico Temprano durante una fase relativamente seca; y el tercero, desde hace unos 850 años y hasta hoy, es el más severo de todos (Xelhuantzi-López, 1991).

El abandono de las Lomas fue alrededor de 1100–1000 A.P., debido a la escasez de agua y fueron reocupadas y cultivadas antes de la Conquista en 1521. Se concluyó que en el caso de la cuenca de Zacapu, han predominado las condiciones de ciénega durante los últimos 8000 años, con dos episodios marcados de bajo nivel del lago a 2800 – 2400 y 1100 años A.P.

La Cuenca de Zacapu fue estudiada desde el punto de vista geológico por Silva-Mora (1979) y fue retomada por Demant (1992), con el propósito de establecer la dinámica de los asentamientos prehispánicos en el contexto ambiental con fines arqueológicos, en el que se conjuntaron entre otros, trabajos geológicos (Demant, 1992; Israde-Alcántara, 2005), de tasa de sedimentación (De Los Ríos, 1994) y geomorfológicos (Tricart, 1994). Donde se asume que el antiguo lago de Zacapu, hacia el siglo XIX ya estaba convertido en un pantano y componiendo una llanura uniforme, con una inclinación hacia el norte. El lago se caracteriza por una doble disimetría y se muestran hacia el este formaciones lacustres que pasan a acumulaciones aluviales y posteriormente a valles de todos tipos. Así como macizos de colinas, altas y baja.

III. OBJETIVO GENERAL

Reconstruir la evolución climática en la cuenca de Zacapu a través de su efecto en la estructura y composición de la vegetación durante el Pleistoceno tardío-Holoceno utilizando principalmente el análisis polínico comparándolo con otros indicadores.

3.1 Objetivo específico

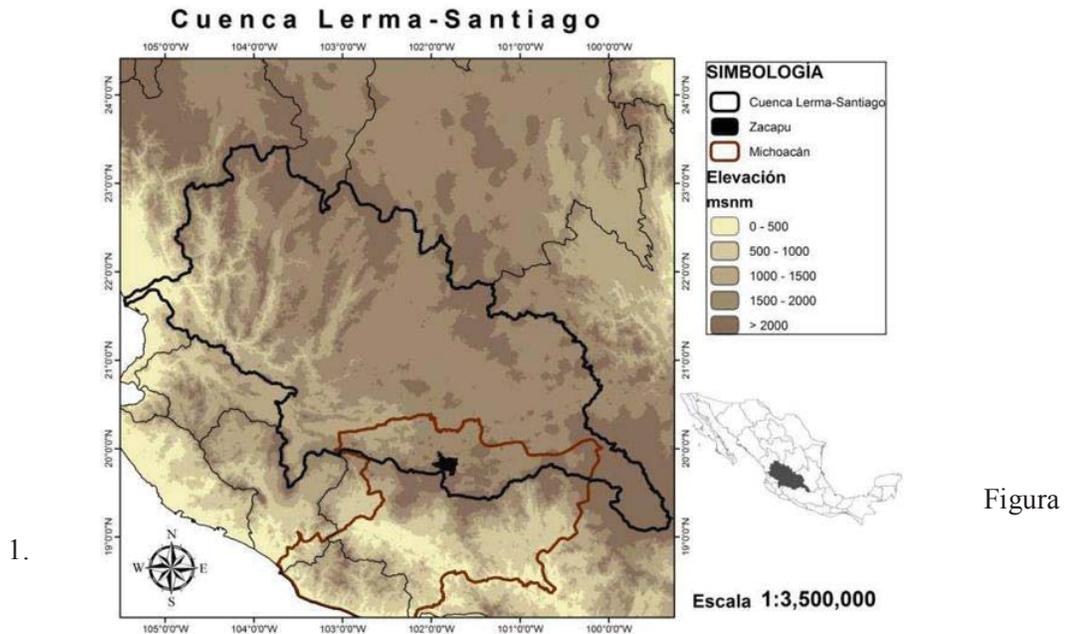
- Describir los diferentes tipos de vegetación que prevalecían durante el Pleistoceno tardío y Holoceno en la cuenca de Zacapu.
- Determinar el efecto de los cambios climáticos pleistocénicos sobre la estructura y composición de la vegetación.

IV. HIPÓTESIS

Las variaciones climáticas ocurridas durante el Pleistoceno terminal y Holoceno se verán reflejadas en los cambios en la composición polínica fósil producidas por la vegetación extinta y los indicadores alternos a usarse corroboraran la información obtenida por el polen.

V. ÁREA DE ESTUDIO

El sistema lacustre de Zacapu (Fig. 3 y 4) cuenta con 260 Km², se localiza en la zona de depresiones lacustres del Cinturón Volcánico Transmexicano, en el límite entre la Zona Volcánica Pliocénica y el CVTM. Pertenece a una de las cuencas hidrológicas más importantes del país, en la región hidrográfica Lerma – Santiago (Fig. 1), dentro de la subcuenca Lerma –Chápala (Fig. 2) (CNA, 1998), en el estado de Michoacán. La principal fuente de agua era una serie de arroyos permanentes adicionados a la escorrentía superficial estacional, además de algunos manantiales que nacen al pie de los flujos de lava basáltica. Las altitudes de la cubeta lacustre fluctúan alrededor de la cota de 1980 msnm y el fondo de la cuenca se ubica en 1975 msnm. La antigua orilla de la Ciénega podría estar en 1978 msnm y el nivel máximo del agua en esta zona alcanzaría la cota de 1985 msnm (Soria-Caballero, 2010; Medina 1993).



Delimitación de Zacapu con respecto a la cuenca Lerma-Santiago en el país.

La mayoría de las corrientes nacen en las partes altas de los cerros El Tecolote, La Caja y El Pajarito, también contribuyen las corrientes de las serranías situadas al Sur de la Cuenca,

que son alimentadas por lluvias y los cuatro manantiales perennes. La laguna de Zacapu actualmente está representada por un espejo de agua en el margen sur-occidental. La laguna, justo al pie del malpaís, forma una Subcuenca interior situada de 2-4 metros por encima de la ciénega (Moncayo-Estrada, 1996 en Ruiz-Sevilla, 1997). El gradiente altitudinal de la cuenca abarca desde los 1800 hasta los 2400 msnm, y los sitios de muestreo se encuentran entre los 1976 y 1978 msnm. La región del Cinturón Volcánico Transmexicano esta subagrupada en el dominio morfoestructural llamado “Cuencas Lacustres” (Garduño-Monroy, 2005), Zacapu conforma una de estas depresiones, que tuvieron su origen en el Mioceno y que conviven con el vulcanismo del Cuaternario.

Los sitios de muestreo se localizan en el municipio de Zacapu, en la cuenca hidrográfica de la antigua Ciénega de Zacapu, en su margen suroeste, específicamente el área de las Lomas, en el poblado de Cantabria, esta región se dedica actualmente al cultivo de maíz y calabaza. (Fig.3) (Cuadro 1), la zona se caracteriza por ser una acumulación de rocas volcánicas emitidas durante episodios iniciados desde el Terciario (34 Ma.) hasta el Presente.

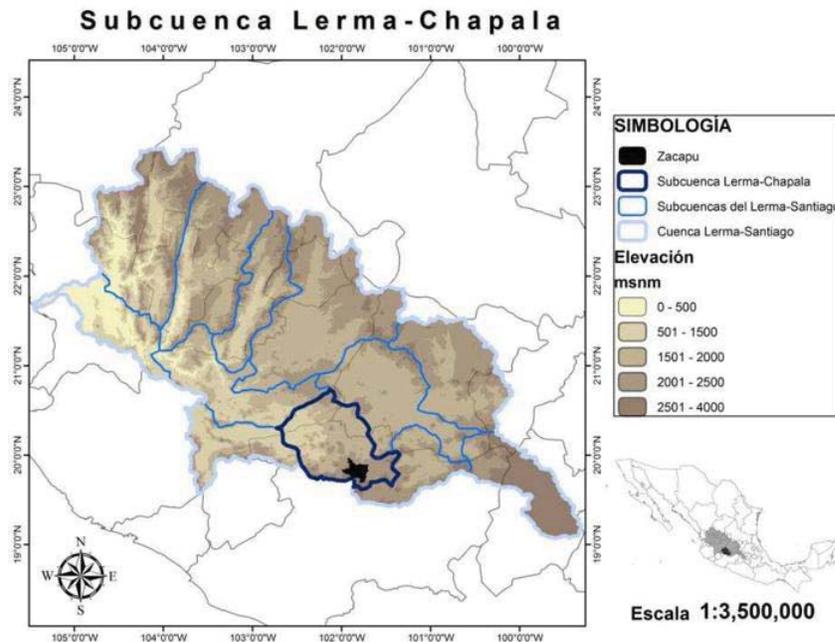


Figura 2. Subcuenta a la que pertenece el Lago de Zacapu.

El clima es C (w₁)(w)b(i'), templado húmedo con lluvias en verano y porcentajes menores al 5% de la anual de lluvias invernales con veranos frescos y poca oscilación en la diferencia de temperatura entre el mes más frío y el más cálido, (García, 1973). La precipitación media anual es de 850 mm ocurriendo principalmente entre junio y septiembre, con una mínima de 433 mm en 1945 y una máxima de 1300 mm en 1967 cuando se inundó la ciénega; mientras que la temperatura media anual es de 17°C (fluctuando de 13°C a 28°C, aunque se han reportado mínimas de 5° bajo cero y máximas de 37°C). Los meses más cálidos van de abril a septiembre. La evaporación total mensual es de 1829 mm. Los meses de heladas se encuentran entre septiembre y abril, aunque las más severas se presentan de noviembre a febrero, "Uno de los rasgos más importantes del clima local es la frecuencia de heladas" que representa 35 días de heladas por año en promedio y que se distribuyen entre octubre y marzo. Los vientos dominantes soplan del suroeste, menos en enero y febrero en los que provienen del noroeste (Fernández y Miranda, 1998).

La depresión de Zacapu parece estar aislada de Cuitzeo y Pátzcuaro por el CVTM y por las sierras con patrones estructurales Este-Oeste (Garduño-Monroy, 2005). Se encuentra limitada al norte por el vulcanismo del cerro El Copalillo cuyos derrames junto con la falla de Villa Jiménez represaron el Lago de Zacapu (Pétrequin, 1994, Israde-Alcántara, 2003).

Este sitio tiene la característica de tener un vulcanismo reciente, que está representado por depósitos de malpaís del sistema Capaxtiro-Brinco del Diablo. Las rocas más antiguas aflorantes en el entorno de la cuenca son andesitas calcoalcalinas de edad miocénica y se observan al oeste de Coeneo, ellas forman parte de la sucesión de Mil Cumbres la cual se extiende ampliamente al sur del lago de Cuitzeo (Silva Mora, 1979). Se definen tres unidades litológicas importantes: Las rocas más antiguas del Plioceno Superior- Cuaternario inferior, afloran al sureste y centro del área, son de composición andesítica-basáltica (TpQab) en forma de derrames de bloques muy fracturados y pedregosos (Cabrera *et. al.*, 2005). La base de los derrames presenta zonas aglomeráticas, brechoides y de lajeamiento horizontal. Sobreyaciendo en forma concordante a la unidad anterior, se presentan ampliamente derrames de rocas de composición andesítica, andesítica-basáltica, brechas, escoria y ceniza volcánica

(malpaís) (Qab). Forman topográficamente derrames de pendientes abruptas y accidentadas que afloran al noroeste y sur del área.

El relieve está conformado por sierras, mesetas y lomeríos. El cerro del Tecolote, es la mayor elevación de la Sierra Tarasca a los 3,365 m de altitud, al suroeste y lo sigue el cerro del Tule a los 3,100 m al oeste de la laguna. Entre el Tule y la ribera oeste, se extiende un malpaís que domina la cuenca entre 100 y 200 m de altura. Al norte del malpaís los relieves de la sierra de Caurio bajan y se abren en múltiples y pequeñas depresiones. Al noroeste, el cerro Brinco del Diablo se eleva a 2,540 m.

Los suelos más importantes de la región son los andosoles; éstos son suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas. Sobreyaciendo estos depósitos se observan ignimbritas también asignadas al Mioceno (Silva Mora, 1979). El fondo de la laguna tiene alta depresión y zonas volcánicas basálticas, principalmente hacia el Noroeste (malpaís) e inmersa en depósitos fluviolacustres y vulcano-sedimentarios, bordeados de vulcanitas con extensión de su ciénega hacia el Este y Noroeste. En la subcuenca del Río Angulo, en las zonas planas (Ciénega) se encuentran los suelos Histosoles, alrededor de la Laguna de Zacapu, los Litosoles y en esta misma subcuenca en las porciones de mayor altitud los suelos son de tipo Andosol.

Dentro de la zona de captación los suelos constituyentes son rocas basálticas ricas en calcio, magnesio, hierro y moderadamente ricas en potasio y calcio, por lo cual los suelos a que dan origen, son muy fértiles y su capa superficial es rica en materia orgánica y nutrientes arcillosos, de color negro o gris; de ahí su buena potencialidad agrícola (Rangel, 1991). A 300 metros al oeste de la laguna, comienza una zona pedregosa formada por cuerpos basálticos en grandes masas, que presenta fracturamiento e intemperismo moderado. Posee una permeabilidad media-alta y los fragmentos son adecuados para mampostería y obtención de grava triturada (Fuentes *et al.*, 1993). Entre los suelos más importantes se pueden mencionar a los Feozem, con unidades de un tercio de la suma lúvicos y háplicos y una clase textural dúrica profunda (Hl + Hh/3).

La química del agua es similar en todo el valle, Mg + Ca + (Na + K) están en proporciones casi iguales, con alto contenido de CO₃/HCO₃ (Metcalf *et al.*, 2000). La

temperatura del agua en superficie es influenciada por la temperatura del aire y va de 14 a 22°C, sin formación de una termoclina en el sentido estricto, clasificándose como un cuerpo de aguas templadas. El pH varía entre 7 y 9.7, por lo que sus aguas tienden a ser ligeramente básicas (Soria-Caballero, 2010; Medina, 1993).

De acuerdo con el estado trófico EPA-NES el Lago se clasifica como un cuerpo oligotrófico con tendencia a la eutroficación, pero poco contaminado. Los análisis de los sedimentos lacustres han indicado que las condiciones limnológicas en el lago son diferentes de las que se presentaron en el área pantanosa de la ciénega (Soria-Caballero, 2010).

Cuadro 1. Coordenadas y Altitud de las trincheras muestreadas.

| Latitud | Longitud | Altitud (msnm) | Nombre de la trinchera |
|------------|-------------|----------------|------------------------|
| 19°50'24'' | 101°44'43'' | 1976 | El Pozo |
| 19°50'30'' | 101°44'30'' | 1978 | La Noria Ca |
| 19°50'28'' | 101°44'30'' | 1977 | Trinchera 3 |
| 19°50'04'' | 101°44'38'' | 1976 | Invernadero |



Figura 3. Lago de Zacapu en la actualidad.

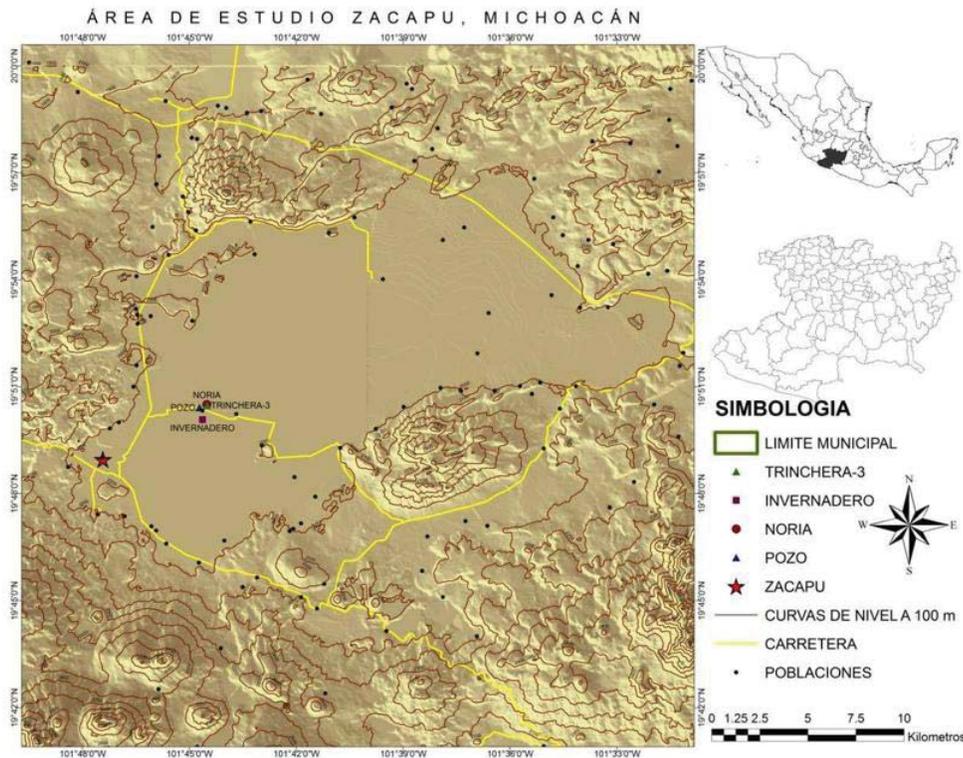


Figura 4. Lago de Zacapu y sitios de muestreo.

El lago de Zacapu junto con el de Cuitzeo son vasos planos extensos donde se produce una mayor evaporación. Por algunos autores, como De Buen (1943), estos cuerpos de agua formaron un único y extenso lago; sin embargo, por sus relaciones estratigráficas y su geometría, se considera que más bien era una serie de cuerpos de agua que se conectaban o aislaban de acuerdo a los procesos tectónicos y volcánicos (Fig.5) (Israde-Alcántara, 2005). La ciénega de Zacapu debió estar conectada con la depresión de Cuitzeo, pero a partir del levantamiento y basculamiento de ésta hacia el sureste, se origino el Lago de Zacapu (Moncayo-Estrada, 1996), esta teoría se sustenta aun mas con la presencia del pez *Hubbsina turneri* (cherehuita), que se origino en el lago de Cuitzeo para después poblar el Lago de Zacapu (Israde-Alcántara, 2005). Dentro de la zona aun que no se tomo muestra de sedimento del sitio pero complementa información del sistema es la presencia de un lago cratérico denominado como La Alberca Zacapu.

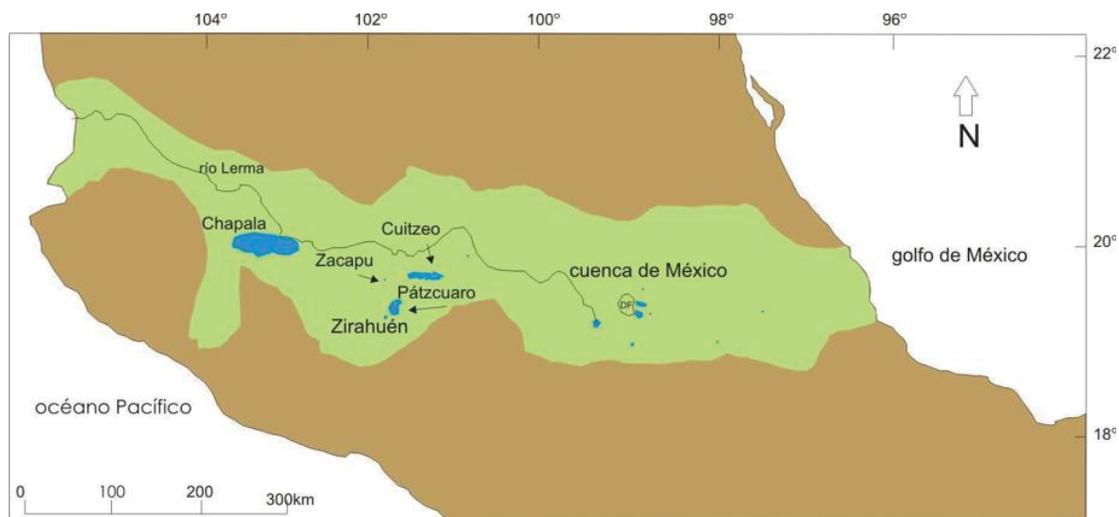


Figura 5. Localización de los lagos más cercanos a Zacapu. Además se ilustran el lago de Chapala, la cuenca de México y el cauce del río Lerma (Tomado de Torres-Rodríguez, 2010).

5.1 Región Biogeográfica

Se encuentra en la región Neártica, sin embargo por la confluencia de las especies de peces, de aves migratorias, plantas y anfibios (ajolotes), se puede considerar a este humedal como una amplia zona transicional, confiriéndole gran importancia ecológica y biogeográfica (Duellman, 1965; Miller y Smith, 1986).

5.2 Vegetación

En el área de estudio, se presenta de manera general tres tipos de vegetación, descrito por Rzedowski (1978; 1993): Bosque de Pino (Fig. 5), sus elementos comúnmente alcanzan alturas entre 10 y 25 metros, prosperan en áreas con climas de tipo templado, templado húmedo, templado subhúmedo, templado frío y templado semifrío; la zona presenta un clima templado subhúmedo, las precipitación varía desde unos 650 a más de 1100 milímetros, crecen en altitudes de hasta 3850 msnm, sin embargo en la zona no se llega a más de 2600 msnm, siendo común *Pinus motezumae*, y *P. pseudostrobus*, además de *P. leiophylla*, que en las partes transicionales más bajas, sobresalen *P. oocarpa* y *P. pringlei*. Como partes de estas comunidades es común encontrar árboles de otros géneros, como *Arbutos*, *Cornus*, *Garría*, *Clethra* y asociaciones en muchas ocasiones con encino (Bosque de Pino-encino), en el estrato

arbustivo lo acompañan *Eupatorium*, *Gnaphalium* y muchas veces en las hierbas se encuentran Labiadas como el género *Salvia* (Carranza, 2005).



Figura 6. Bosque de Pino

Bosque de Encino, este tipo de vegetación se ha observado sobre diversas clases de roca madre, tanto ígnea como sedimentaria, así como en suelos profundos de terrenos aluviales planos, en la actualidad estos terrenos, casi en todos los casos se dedican hoy a la agricultura. No tolera, aparentemente, deficiencias de drenaje, aunque puede crecer a las orillas de arroyos en tierra permanentemente húmeda. Tiene presencia en suelos someros de terrenos muy rocosos e inclinados o de pedregales. Dentro de la composición del suelo podemos encontrar una reacción ácida moderada, con abundante hojarasca y materia orgánica en el horizonte superficial y a menudo a mayor profundidad. Los encinos conviven con especies como *Eupatorium*, *Senecio*, y la familia Labiatae en la composición florística del bosque.

El Matorral Subtropical es una comunidad que cuenta con árboles entre 5 y 10 metros de altura, que en su gran mayoría pierden las hojas durante la época seca del año. Algunos de los árboles característicos de este tipo de vegetación son: copales y papelillos (*Bursera* spp.), parotilla o palo blanco (*Albizia pluriyuga*), cuáquil (*Celtis caudata*), cazahuate o palo bobo (*Ipomoea murucoides*), huizache (*Acacia farnesiana*), tepame (*A. pennatula*), zapote blanco (*Casimiroa edulis*), nogalillo o cueteramba (*Cedrela dugesii*), pochote (*Ceiba aesculifolia*),

capulín blanco o tumín (*Ehretia latifolia*), acibuche u olivo (*Forestiera phillyreoides*), palo dulce o paloduz (*Eysendhartia polystachya*), granjeno (*Condalia velutina*), chupiri (*Euphorbia calyculata*), papelillo (*E. fulva*), entre otros. Es muy común encontrar en esta comunidad prácticas de pastoreo de ganado bovino, caprino y equino, así como la extracción de algunas especies para leña y fabricación de artesanías, y el uso de otras como cercas vivas (Carranza, 2005). Este tipo de vegetación en la zona se encuentra muy deteriorada ya que en muchos casos las practicas mencionadas con anterioridad la han llevado a la degradación y convirtiéndola en vegetación secundaria favoreciendo el aumento de las leguminosas en su mayoría *Acacia* y *Lysiloma*, como gran cantidad de gramíneas.

En las orillas de la laguna se pueden encontrar elementos de bosque de galería como: Sabino (*Taxodium mucronatum*) y sauce llorón (*Salix* spp), así como cultivos de maíz en su mayoría (Rzedowski, 1978). La vegetación acuática está conformada por *Cyperus esculentus*, *Phragmites comunis* (Carrizo), *Typha latifolia* (Tule), *Juncus effusus*, así como plantas pertenecientes a los géneros *Ceratophyllum*, *Myriophyllum*, *Potamogeton*, *Maugeotia* y menor cantidad *Sagitaria*, *Scirpus* y *Bidens*. La especie más abundante en los litorales del lago es *Typha latifolia*, especie acuática emergente, de la familia Typhaceae. En los canales encontramos especies medicinales y comestibles como el berro (Zubieta-Rojas, 2004).

VI. METODOLOGÍA

6.1 Trabajo De Campo.

Se realizó una revisión bibliográfica por parte de Soria-Caballero, 2010, y en base a los antecedentes encontrados se procedió a definir la zona de investigación. Se ubicó el área de Lomas agrícolas en la localidad de Cantabria corresponde a una zona altamente deformada por actividad tectónica histórica en la región de Zacapu y ha estado sujeta a la influencia de actividades antropogénicas desde tiempos prehispánicos. De acuerdo con Petrequin (1994), las Lomas formaban una especie de península de tierras bajas que emergían casi 10 m sobre el nivel del pantano y estuvieron cultivadas desde el siglo XVI. Cuando se drenó la ciénega, los hermanos Noriega construyeron aquí su hacienda Cantabria. Por otro lado, Xelhuantzi-López (1994) señaló que el sector de las Lomas se encuentra en una plataforma ribereña, con un área de 20 km² con relieve ligeramente ondulado, sin evidencias de afloramientos rocosos cercanos además del malpaís. Sus pendientes son suaves y alcanzan una elevación máxima de 1989 msnm en Loma Alta.

Soria-Caballero realizó un estudio de la zona de Cantabria con fines de un estudio de Paleosismología, se realizó un Levantamiento de Microtopografía en el área de las Lomas, a cargo del MC. Chávez usando un GPS de precisión marca Leyca. El método consiste en colocar una estación base de GPS y posteriormente, con ayuda de un GPS móvil, se van adquiriendo los puntos con los cuales se van configurando las curvas de nivel. Es muy importante en este trabajo que la persona que haga el levantamiento tenga la sensibilidad del objetivo del estudio. Los puntos levantados permiten obtener curvas hasta cada 20 cm de equidistancia. Utilizando el programa SURFER 8 se hicieron las curvas de nivel con las que se reconocieron la geometría de todas las Lomas. Es claro que en ellas se observa una geometría de ejes de pliegue NNO-SSE y casi simétricos.

6.2. Ubicación de trincheras (Soria-Caballero, 2010)

La primera trinchera se ubicó a un costado de la carretera Cantabria–Zacapu, con coordenadas UTM 212446.7, 2196141.7 y 2.2 m de profundidad, fue levantada el 24 de junio de 2008 y fue identificada con el nombre Pozo Carretera; el segundo perfil geológico fue levantado en una

noria con coordenadas UTM 212819.7 , 2196304.2 y una profundidad de 3.17 m, levantada el 4 de julio de 2008 e identificada con el nombre Noria Cantabria; el tercer perfil geológico fue seleccionado a partir de la excavación de una serie de 10 trincheras levantadas a los costados de un camino de terracería, a casi 100 m de La Noria, con coordenadas UTM 212782.8 a 212864.8 , 2196245.8, realizadas el 8 de diciembre de 2008, fue nombrada Trinchera 3 y posee una profundidad de 2.2 m; el último perfil fue levantado en una trinchera cerca de un invernadero con coordenadas UTM 212590.2 , 2195512.5 y una profundidad de 2.2 m, también en diciembre del 2008 y fue identificada como Invernadero. Como datos adicionales se registró la estratigrafía exhibida en un pozo de casi 3m de profundidad a 200m de la Noria y el cual está destinado al almacenamiento de forraje.

6.3. Obtención de las muestras.

De cada una de las trincheras excavadas, se muestrearon las paredes a cada 10 cm o a cada cambio relevante, usando una espátula metálica que se limpió cuidadosamente entre muestra y muestra, colocando el sedimento en una bolsa debidamente etiquetada con fecha, localidad y número de muestra.

Posteriormente, se realizó un dibujo detallado de los sustratos y contactos observados en las paredes de las trincheras, las características sobresalientes de los sedimentos colectados fueron; su color, litología, contenidos orgánicos, presencia de cerámica, granulometría visible, evidencias de algún evento geológico importante y se llevó un registro fotográfico con escala de las zonas.

La estratigrafía se realizó en conjunto con dos tesis más que se obtuvieron de las mismas muestras en cuatro trincheras, “El Pozo” de 2.20 metros, “La Noria” de 3.20 metros, “Trinchera3” y “Invernadero” de 2.20 metros de profundidad, se realizó la observación de la columna estratigráfica, mediante la excavación de trincheras en sitios del centro de la cuenca con el propósito de analizar los cambios de facies de un sector del lago y determinar si la columna sedimentaria se encontraba in situ.

6.4 Análisis de contenido de carbono (Soria-Caballero, 2010)

Para determinar los contenidos de carbono en las muestras se usó el equipo conocido como Coulómetro (Marca: UIC, Modelo S014) (Fig. 6), cuyo principio de funcionamiento es por la titulación de una solución donde se ha absorbido CO_2 como producto de la calcinación de material analizado ó por descomposición de los carbonatos de la muestra al ser atacados con un ácido.

6.5 Técnica para calcular el porcentaje de carbono total.

Inicialmente se calibra el coulómetro (Marca: UIC, Modelo 5300), primero sin muestra en el horno para que el aparato determine la cantidad de Carbono en el aire, posteriormente se mide la muestra estándar (0.020 g de carbonato de calcio, CaCO_3) por duplicado colocando, uno por uno, los estándares pesados dentro del horno a 900°C hasta su total calcinación y lectura final de porcentaje de Carbono Total (usualmente entre 12 y 14%).



Figura 6. Coulómetro Marca UIC, Modelo S014

Para empezar a analizar las muestras debemos pesar en una balanza analítica de 0.019 a 0.022 g de sedimentos secos, molidos y homogeneizados. Una vez calibrado el aparato, se colocan una a una las muestras en las charolas de cerámica previamente esterilizadas y se procesan en el horno, hasta que arrojen el resultado final que es registrado por una impresora conectada a la computadora central del coulómetro.

6.5.1 Técnica para calcular el porcentaje de carbono inorgánico (TIC)

El equipo usado se llama Módulo de Acidificación (Marca: UIC, Modelo CM5130); para calibrarlo se procede de manera similar que para determinar el nivel de Carbono Total;

primero se procesa un blanco (un tubo solo con agua y ácido) y posteriormente los dos estándares de CaCO_3 (0.020g) (Razo, 2007). Las muestras se pesaron en una balanza analítica, de 0.019 a 0.022 g de sedimentos previamente secados, molidos y homogeneizados, que se colocaron en el tubo disuelto con agua destilada (aprox. 5 ml). El resultado final fue registrado por la impresora.

El Carbono Inorgánico proviene principalmente de compuestos como carbonatos y bicarbonatos, además de compuestos muy raros como los carburos en un porcentaje muy bajo. Es uno de los principales nutrientes del metabolismo fotosintético de algas y macrófitas sumergidas. Su asimilación por el sistema lacustre suele ser por medio del CO_2 y HCO_3^- . La concentración de carbono inorgánico total en las aguas dulces depende del pH (≤ 5 : predomina el CO_2 libre, de 7 a 9: predomina el HCO_3^- y > 9.5 : predomina el CO_3^{2-}) y de la cantidad de carbonato y bicarbonato procedentes de la meteorización de rocas. El contenido de carbono inorgánico en los sedimentos lacustres suele ser muy reducido cuando el lago está en su etapa más productiva y sostiene grandes comunidades animales y vegetales, generalmente suelen ser períodos climáticamente más favorables para el desarrollo de la vida. La concentración de carbono inorgánico aumenta cuando la cuenca presenta comunidades de organismos vegetales y animales menos desarrolladas y cuando existen las condiciones ambientales que permiten la reducción del espejo de agua, permitiendo al CaCO_3 disuelto precipitarse en los sedimentos lacustres (Margalef, 1983).

6.5.2 Cálculo del porcentaje de carbono orgánico (TOC)

Cuando se habla de Carbono Orgánico se está refiriendo a todo aquel que proviene de compuestos orgánicos como plantas, animales, etc. Se obtiene simplemente restando al resultado del porcentaje de Carbono total el resultado del porcentaje de Carbono Inorgánico para cada muestra.

El carbono orgánico está presente en los sistemas acuáticos principalmente en forma soluble y sus fuentes de procedencia son alóctonas, tanto de la zona litoral como de la zona pelágica y autóctonas de la vegetación acuática sumergida. El origen bioquímico del carbono orgánico disuelto es fotosintético. La distribución temporal y espacial del carbono orgánico disuelto está correlacionada con la productividad del lago. En lagos oligotróficos, las entradas de materia orgánica al agua son escasas y hay buenas condiciones de oxigenación, resultando

en la degradación de materia orgánica en vías de sedimentación y por lo tanto, la acumulación de sedimento orgánico es lento. En lagos eutróficos la entrada masiva de materia orgánica produce una rápida sedimentación, menor volumen de oxigenación del agua y acumulación rápida en los sedimentos. Por esta razón, encontramos un aumento en los contenidos de carbono orgánico total en los sedimentos de lagos muy productivos y con elevada cantidad de vegetación, normalmente asociada a períodos climáticos favorables. Y su disminución se puede asociar a la desaparición de fuentes de materia orgánica o clima poco favorable (Robert, 1981).

6.6 Susceptibilidad Magnética

Se realizó la susceptibilidad magnética de los estratos muestreados para ver el grado de magnetización en la muestra e inferir fuentes de aporte, ya que en algunos minerales en especial ferromagnesianos el retrabajamiento por distintos tipos de eventos que generan mayor magnetización de la muestra. Con estos estudios se puede realizar interpretaciones de los distintos factores que controlaron la evolución paleoambiental de la región.

Este método fue realizado en el Instituto de Geología, UNAM, durante una estancia usando un Bartington Magnetic susceptibility meter y un sensor MS2E.

Se midió la susceptibilidad de las cuatro trincheras, a través del sensor, en las muestras previamente pesadas, secas y molidas, este último proceso se hizo en el mismo laboratorio con un mortero de ágata, Las muestras se colocaron en bolsas transparentes, posteriormente se colocó el sensor sobre la bolsa transparente y se espera a que la lectura sea capturada en la computadora por un programa parte del equipo.

6.7 Análisis palinológico

Se obtuvo las muestras de polen de los sedimentos de las cuatro trincheras antes mencionadas en el apartado obtención de muestra, las muestras de suelo tomadas fueron de 1 cm³ de cada 10 cm que se tomaron en campo a partir de la base. Las paredes están descritas estratigráficamente in situ, para conocer los cambios de coloración y de facies de la secuencia sedimentaria que nos permita reconocer etapas de acumulación de material.

El sedimento obtenido se colocó en tubos para llevar a cabo el proceso químico en el laboratorio junto con esporas exóticas como marcador que en este caso es *Lycopodium*

Clavatum, donde se degrada con distintos ácidos el material para poder extraer el polen de los sedimentos, con el Método para la obtención de granos de polen para sedimento (Anexo 1), (Faegri & Iversen, 1989). Se prepararon laminillas montadas en glicerina analizadas con un microscopio óptico y un aumento de 40X, debido a la composición de las muestras y a la dificultad para encontrar polen se definió un conteo de 2000 esporas por muestra incrementando el esfuerzo y comprobando que la muestra no se había derramado durante la preparación o no en porcentajes tan elevados debido a la presencia de la espora en las laminillas leídas. Posteriormente se llevo acabó la identificación de los granos de polen utilizando manuales existentes (Colinvaux *et al.*, 1999; Lozano-García y Martínez, 1990; Palacios-Chávez *et al.*, 1991) y la colección de referencia con que se cuenta.

6.8 Análisis de la vegetación

Se generó un mapa de la cobertura vegetal y uso del suelo, tomando como base el área de la Subcuenca Lerma – Chapala. Los datos fueron obtenidos del Inventario Nacional Forestal del 2000 (CONABIO, 2011). El mapa se elaboró con el programa ArcGis Versión 9.3, y en él se hizo el recorte de la cuenca con la información del inventario forestal y se reclasificaron las categorías asignadas por el inventario. Posteriormente se realizó el muestreo de vegetación en la zona circundante al lago de Zacapu en un gradiente de altitud muestreando en cuadrantes cada 100 m aproximadamente, comenzando con la cuota de 2000 msnm, para los elementos arbóreos se hizo un cuadrante de 10 x 10m se identificaron los individuos que se encontraron dentro del cuadrante, se les tomó altura y diámetro a la altura del pecho (DAP), en el mismo cuadrante se colocó otro más pequeño de 2 x 2 donde se tomó el estrato arbustivo haciéndose la correspondiente identificación, toma de altura y área basal para este caso. Para la cobertura de suelo se hizo un cuadrante de 1 x 1 m y se observó el porcentaje de cobertura y herbáceas presentes.

6.9 Análisis geoquímico

La geoquímica de elementos en sedimentos son usados para entender la evolución de la tierra a través del tiempo, observando la procedencia de elementos por efectos del intemperismo, adsorción, diagénesis y metamorfismo resultando los elementos que se derivan de la

degradación de feldspatos y piroxenos en cationes libres como Ca, Na, K, Fe y Mn (Roy *et al.*, 2009).

A través de los estudios multielementales se pueden observar diferentes tipos de cationes libres de algunos metales que nos indican la degradación, por erosión, precipitación y el origen por arrastre de los sedimentos. El tipo de intemperismo que se lleve a cabo en las rocas circundantes también nos lleva a asociar eventos acontecidos a través de los elementos encontrados en los sedimentos.

Para este análisis se desarrolló en el Laboratorio de Paleoambientes en el Instituto de Geología, UNAM. Usando el equipo de Fluorescencia de rayos X Nitron XL3t de marca Thermo Fisher Scientific (Fig. 7).

Se colocó la misma bolsa utilizada para la susceptibilidad magnética dentro de una caja que hace la refracción, después se limpia la caja y la siguiente muestra a medir para evitar contaminación, luego se coloca en la caja y el equipo genera la siguiente lectura.

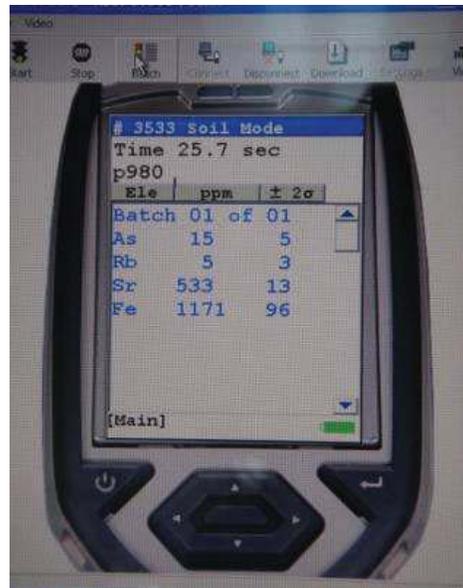


Figura 7. Pantalla que genera con el software del equipo que mide los elementos presentes en la muestra.

6.10 Análisis estadístico

Para generar las gráficas de Susceptibilidad Magnética, los graficas de los datos obtenidos de la Geoquímica y homogenizar las graficas de TIC Y TOC; se utilizó el programa de Grapher 6. Los diagramas polínicos se generaron a partir de las abundancias relativas del polen

encontrado en cada muestra para cada especie identificada y cuantificada y para realizar los diagramas de polen se utilizó el programa C2.

6.11 Análisis de Correspondencia Canónica

Para identificar la respuesta de los taxa encontrados en el análisis palinológico a las variables estimadas; carbón orgánico total, carbón inorgánico y susceptibilidad magnética se llevó a cabo un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) que es un método utilizado para correlacionar relaciones lineares entre dos variables multidimensionales de ordenación directa, relaciona las distribuciones de las especies con variables ambientales (Torres- Rodríguez, 2010). El ACC genera un eje unimodal con respecto a las variables de respuesta (e.g. la ocurrencia o abundancia de las especies) y un eje linear con respecto a las variables predictoras (e.g. hábitat o características ambientales) (Gotelli y Ellison, 2004). En sí, el ACC constriñe (limita) una ordenación de una matriz por medio de una regresión lineal múltiple de las variables de otra matriz, donde la primer matriz generalmente corresponde a las abundancia de especies de los sitios de estudio, mientras que la segunda corresponde a los factores ambientales medidos en las muestras (McCune y Grace 2002).

En este trabajo el ACC fue aplicado sobre dos matrices para cada una de las trincheras, una correspondiente a los conteos del polen (especies) presente en cada una de las muestras de las diferentes profundidades, dadas en abundancia relativa y una matriz conformada por los factores ambientales (Susceptibilidad magnética, CIT% y COT%). Este análisis se realizó con el programa Canoco for Windows 4.51.

VII. RESULTADOS

7.1 Estratigrafía.

La estratigrafía de las cuatro trincheras utilizadas en este trabajo fue originalmente realizada por Soria (2010) pero modificada para fines prácticos ya que se agregó una línea para denotar la escala de profundidad y así comparar los datos obtenidos de los distintos indicadores realizados.

7.1.1 Perfil 1 - Trinchera 3 (1977 msnm).

Con una profundidad de 320 cm, en esta columna se observan tres unidades diferentes, de base a cima: La unidad más superficial de esta columna se trataba de suelo reciente re TRABAJADO con gran contenido de materia orgánica razón por la que no se tomó muestras. Esta porción de suelo en la estratigrafía original comprendía 100 cm de espesor por lo tanto la profundidad de la zona muestreada y aquí representada es de 220 cm.

La unidad “B” de 1.70 m de espesor, compuesto por capas laminares arcillo -limosas de diatomita color café claro a crema, exhibiendo abundantes fragmentos de huesos, vértebras y escamas de pez; el contenido de materia orgánica observado es moderado y es notoria la presencia de gránulos de sedimentos con oxidación amarillo – anaranjada, algunas de estas capas contienen restos vegetales y poco carbón; las diatomitas se encuentran intercaladas entre cinco estratos de cenizas volcánicas, con espesores de 10, 1, 1, 1 y 5 cm respectivamente, de colores blanquecino, negro y gris verdoso, las cuales contienen abundante vidrio volcánico y fragmentos de pómez; a una profundidad de 220 cm se encuentra una capa con estructuras de licuefacción asociadas a colapso, en este caso la ceniza volcánica genera intrusiones en las capas diatomíticas superiores. La unidad “A”, con 60 cm de espesor, se trata de una serie de capas no laminares arcillo - limosas de diatomita color café claro a crema, deformadas, con contenido moderado de fragmentos de huesos, vértebras y escamas de pez; estas capas contienen abundantes restos vegetales y poco carbón; las diatomitas se encuentran intercaladas con un estrato de cenizas volcánicas blancas de 2 cm de espesor y en su base un estrato de 15 cm de espesor formado de ceniza volcánica negra con alto contenido de vidrio volcánico,

mezclada con algunos agregados de diatomita, escasos restos de materia vegetal y oxidación moderada. El contacto de esta unidad con la unidad B es ondulado (Fig. 2).

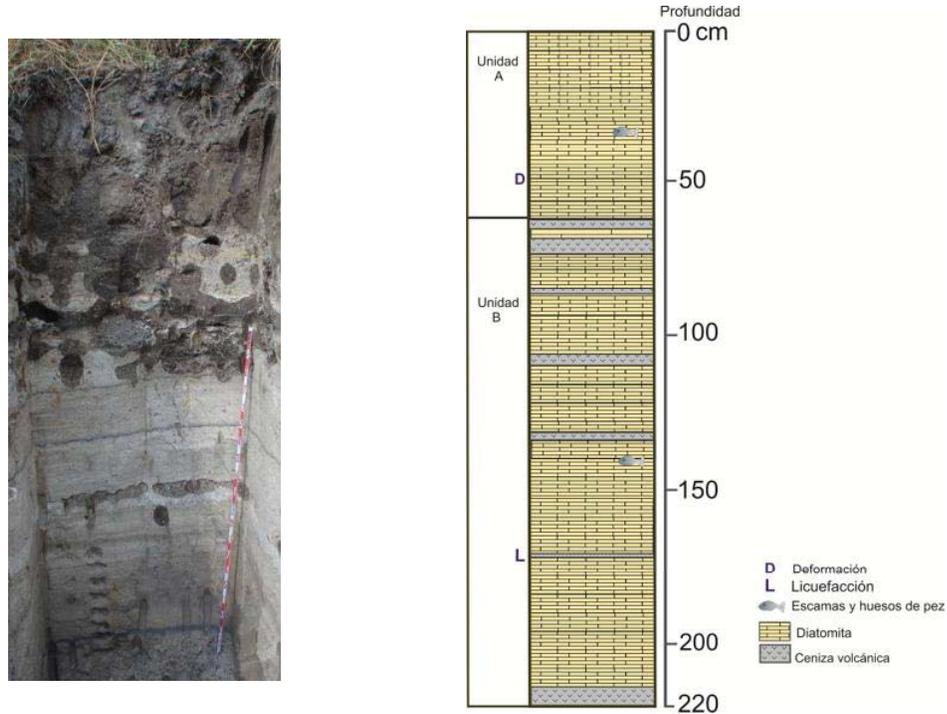


Figura 2. Estratigrafía de la trincher “Trincher 3” y registro fotográfico.

Esta trincher corresponde a procesos de menor energía y mayor profundidad y según edades indicadas por Soria (2010) es de las más antiguas con más de 40 000 años A.P.

7.1.2 Perfil 2 - Noria Cantabria (1978) msnm.

Tiene una profundidad de 3.20 m, en esta columna se observan tres unidades diferentes, de base a cima:

La unidad “C” tiene 170 cm de espesor, organizada en su base por una serie de estratos laminares arcillo – limosos que se intercalan con niveles de diatomita color crema a café claro conteniendo abundantes fragmentos de huesos, vértebras y escamas de pez; estas capas se encuentran intercaladas con 4 estratos de cenizas volcánicas, con espesores de 10, 50, 3 y 4 cm respectivamente, de colores gris oscuro, gris claro verdoso y blanco, las cuales contienen abundante vidrio volcánico y fragmentos de pómez; los niveles de tefra de 10 y 50 cm

muestran estructuras de licuefacción asociadas a colapso, donde la ceniza arenosa de grano medio se mezcla en la ceniza arenosa de grano fino. También se observa deformación de las capas de esta unidad. La edad obtenida a 15 cm de la base de esta unidad fue de 39 200 años A.P. Soria (2010) indica que esta trinchera es la que contiene los sedimentos más antiguos datados con un lago profundo y estable que conforme va avanzando en el tiempo se vuelve somero y de mayor energía, donde los gasterópodos y ostrácodos se vuelven más abundantes y disminuye la cantidad de diatomeas.

La unidad “B” tiene 40 cm de espesor, está formada por una mezcla de arcillas color crema a café claro y lentes de ceniza volcánica blanca grisácea, con presencia de fragmentos de pómez, abundante vidrio volcánico, cuarzo, moderados restos de huesos, escamas y vértebras de pez; comienza a notarse la presencia de organismos gasterópodos pulmonados, pero no de ostrácodos. El contacto de esta unidad con la unidad C es ondulado y ligeramente erosivo.

La unidad “A” posee 110 cm de espesor, se trata de una serie de capas limo -arcillosas grisáceas, mezcladas con ceniza volcánica negra, algunos agregados de diatomita blanca dispersos y pequeños clastos de carbonatos; se registró la presencia de contenidos moderados a abundantes de materia orgánica, algunos fragmentos de huesos, vértebras y escamas de pez, así como gránulos de carbón dispersos y muy escasos.

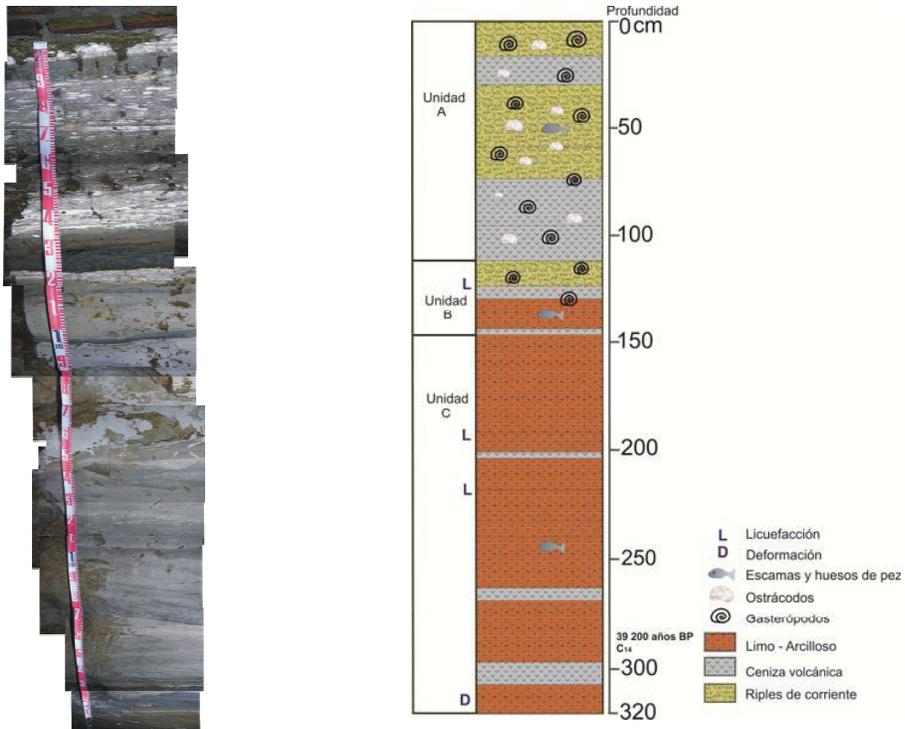


Figura 3. Estratigrafía de la trinchera “La Noria”

Estas capas muestran poblaciones muy abundantes de organismos como ostrácodos, bivalvos y gasterópodos pulmonados, los cuales constituyen hasta el 80% del total en peso de los sedimentos. Este estrato muestra estructuras sedimentarias conocidas como rizaduras de corriente. Su contacto con la unidad “B” es transicional y quizá podrían formar parte de un mismo período de depósito (Fig. 3).

La columna marca en general dos fases una que se encuentra en la base y fue fechada en 39 200 años A.P. y una segunda que inicia en la unidad “B” que se cree es más reciente en la cual el lago tuvo un incremento de energía, menor profundidad y gran cantidad de restos de organismos como gasterópodos y ostrácodos.

7.1.3 Perfil 3 - Pozo Carretera (1976 msnm)

Con una profundidad de 2.20 m, en esta columna se observan tres unidades diferentes, de base a cima:

La unidad “C” posee 60 cm de espesor y está conformada por una serie de capas limo - arcillosas grisáceas, mezcladas con ceniza volcánica negra, se encuentran además algunos agregados de diatomita color crema y pequeños clastos de carbonatos precipitados. Se observan también contenidos moderados a abundantes de materia orgánica, algunos fragmentos de huesos, vértebras y escamas de pez, gránulos de carbón dispersos y poblaciones muy desarrolladas de organismos como ostrácodos, bivalvos y gasterópodos pulmonados, los cuales pueden constituir hasta el 80% de los componentes de los sedimentos; las especies de ostrácodos observadas pertenecen principalmente a cuerpos de agua relativamente profundos y con vegetación acuática asociada, mientras que el más abundante de los gasterópodos correspondió al género *Physa* asociado a cuerpos de agua perennes. En esta secuencia se observan rizaduras de corriente en casi todas las capas. (Fig. 4).

La unidad “B”, un estrato de 1m de espesor formado de ceniza volcánica negra con abundantes fragmentos de vidrio y obsidiana. El contacto de esta unidad con la unidad C es una discordancia erosiva. La unidad “A” posee 60 cm de espesor, la conforman una alternancia de capas laminares arcillo-limosas color café claro mezcladas con ceniza volcánica negra la cual presenta oxidación; se observan pocos fragmentos dispersos de huesos, vértebras y escamas de pez, así como un moderado contenido de vidrio volcánico. En la parte superior de este nivel se encuentran intercalados tres estratos de entre 2 y 5 cm de espesor de ceniza

volcánica negra fina con microfallas, lo cual hace suponer que han sido afectados por actividad tectónica reciente (Fig. 4).

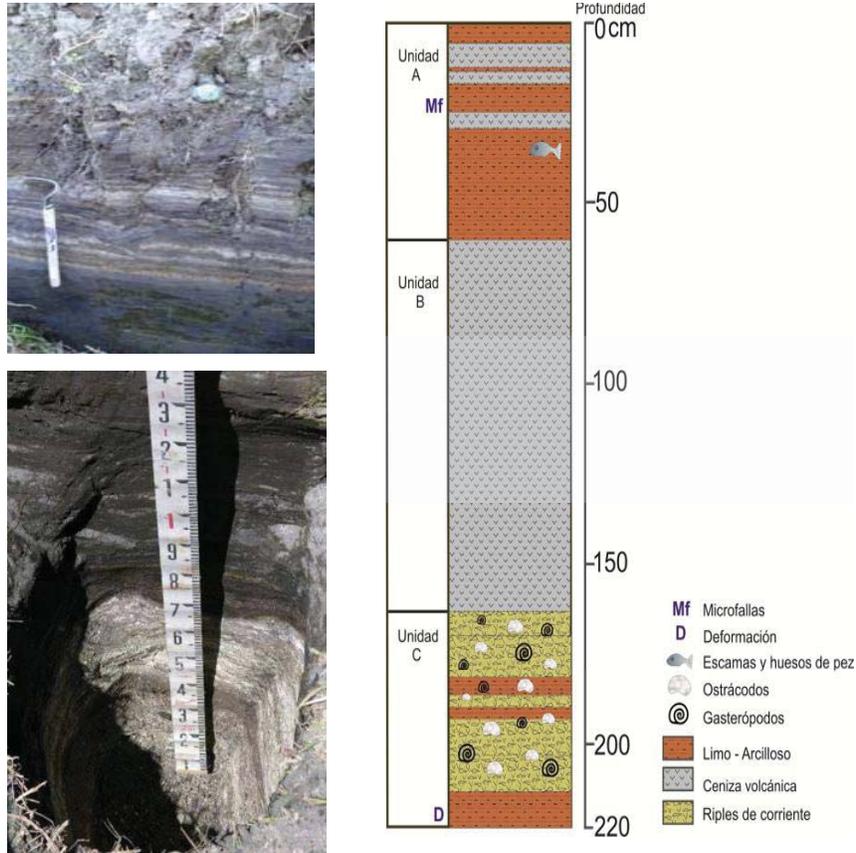


Figura 4. Estratigrafía de la trinchera “El Pozo”

Esta trinchera tiene en su base menos de 40 000 años A.P. y la parte más superficial es mayor a 30 000 años A.P.

7.1.4 Perfil 4 - El Invernadero (1976 msnm).

Con una profundidad de 2.20 m, en esta columna se observan tres unidades diferentes: La unidad “C” tiene 40 cm de espesor, se trata de una serie de capas arcillo - limosas, mezcladas con ceniza volcánica negra, abundante vidrio y niveles de oxidación moderados; también se puede observar contenidos moderados a abundantes de materia orgánica, así como algunos gránulos de carbón dispersos. La edad obtenida a 10 cm de la base fue de 34 500 años A. P. La siguiente unidad “B” es un paquete de 60 cm de espesor, conformado por capas limo -

arcillosas también mezcladas con muy poca ceniza volcánica negra dispersa y pequeños clastos de carbonatos; presenta un contenido moderado de cuarzo, y no se registró la existencia de organismos como ostrácodos y gasterópodos pulmonados. Dichas capas se encuentran intercaladas con tres estratos de cenizas volcánicas negras y otro estrato con estructuras lenticulares de ceniza volcánica grisácea. Su contacto inferior es transicional. Y finalmente la unidad “A” de 12 cm de espesor, es un grupo de capas limosas y limo – arenosas color café claro mezcladas con ceniza volcánica negra la cual presenta oxidación ocre - rojiza moderada; también es moderado el contenido de vidrio volcánico y los agregados de carbonatos. Las capas inferiores muestran abundante contenido de diatomeas y las intermedias de materia orgánica y carbón; mientras que en las capas superiores encontramos abundantes fragmentos de cerámica (Fig. 5). Para esta porción de la columna del invernadero Soria (2010), marca una edad que va de 30 000 años A.P a 10 000 años A.P de base a superficie.

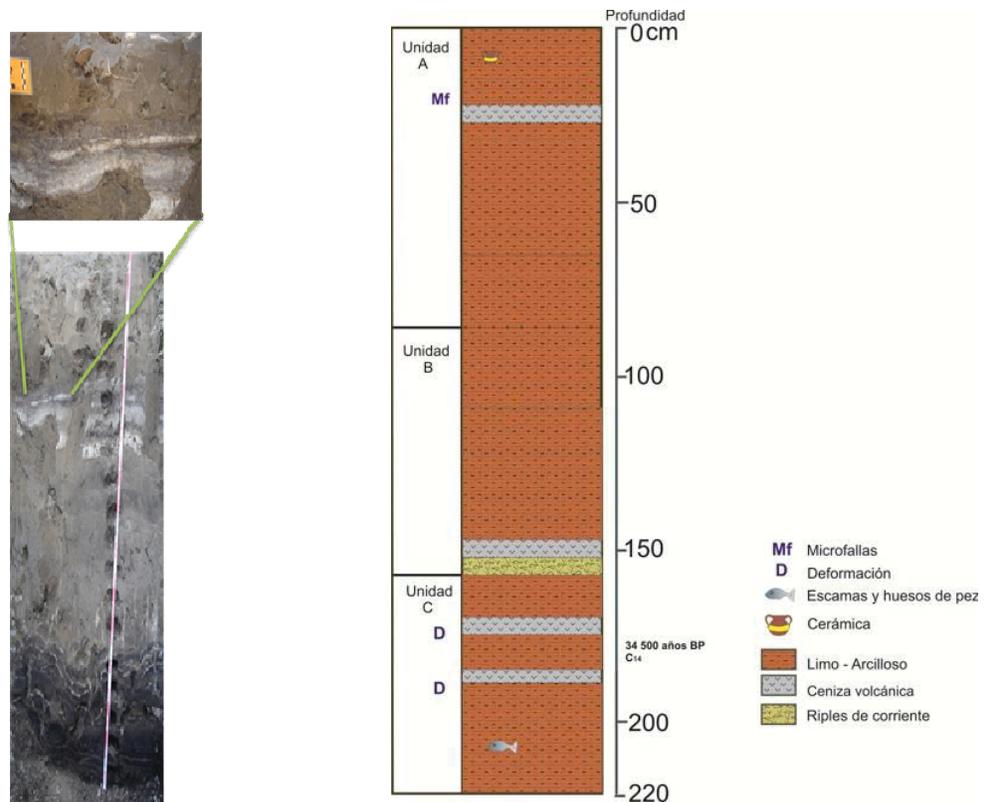


Figura 5. Estratigrafía de la trinchera “El Invernadero”

7.2 Análisis Geoquímico

Los elementos obtenidos se agruparon para cada perfil y se generó un conjunto de tablas en donde se comparan con los resultados de CIT y COT en conjunto con la susceptibilidad magnética, que generan una visión más clara de las relaciones geoquímicas y mineralógicas entre distintos estratos para su sucesiva correlación.

7.2.1 Perfil 1 - Trinchera 3 (1977 msnm).

En esta trinchera se encontraron tres periodos distintivos el primero en la base dentro de los componentes de aporte clástico de origen máfica (Rb, K y Zr) y la susceptibilidad magnética se registra un aumento de los porcentajes sugiriendo un periodo menos húmedo. Un segundo incremento en la susceptibilidad magnética y los elementos clásticos se debe a un evento volcánico registrado a la mitad de la columna. Por último se registra hacia la cima un incremento de la susceptibilidad magnética así como de los elementos félsicos Mn, Ti, Fe, Ca y Sr este incremento como parte de un mayor aporte pluvial hacia la cuenca. (Fig. 6).

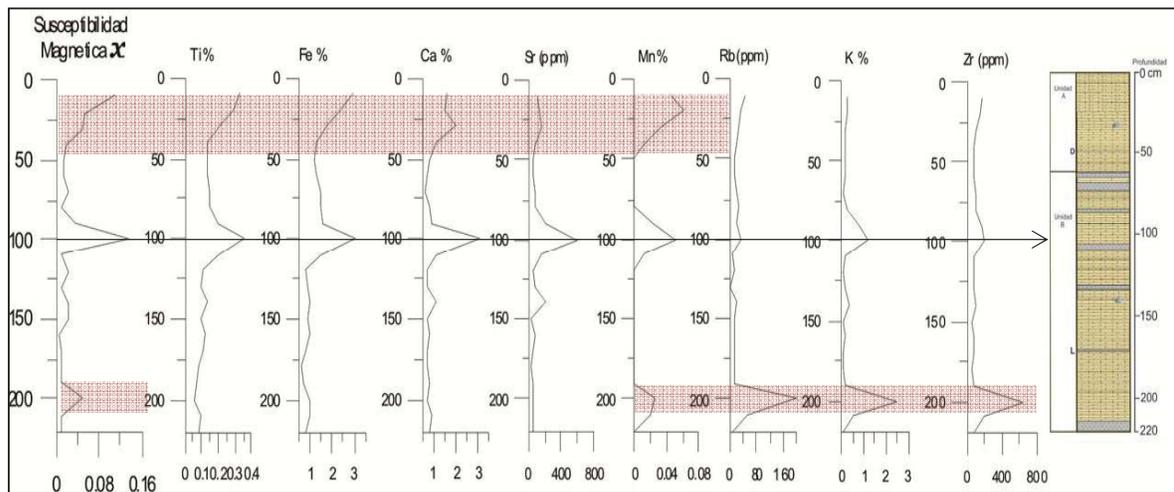


Figura 6. Estratigrafía y geoquímica de la “Trinchera 3”. Susceptibilidad magnética (χ), Componentes clásticos y elementos selectos medidos mediante fluorescencia de rayos X (FRX) en porcentajes de acuerdo a la profundidad.

Para entender el comportamiento de los carbonatos con los elementos encontrados, se generaron relaciones de Ca/Ti, Sr/Ti, Mn/Ti y Fe/Ti. En la trinchera se observa de base a cima un incremento de los carbonatos inorgánicos junto a él incremento de los elementos medidos con los que se forman los carbonatos, como Calcio, Estroncio y Manganeso, presentes en el aporte de material clástico existente, y que al disminuir la humedad se precipitan como carbonatos incrementándose el porcentaje junto con el carbono inorgánico total (CIT) observándose un ambiente más seco.

También se distingue un incremento importante en los porcentajes de Carbono Orgánico Total (COT) hacia la cima de la sucesión estratigráfica dentro mostrando mayor humedad y una relación Fe/Ti en aumento pudiéndose observar un ambiente semianóxico en el lago (Fig. 7).

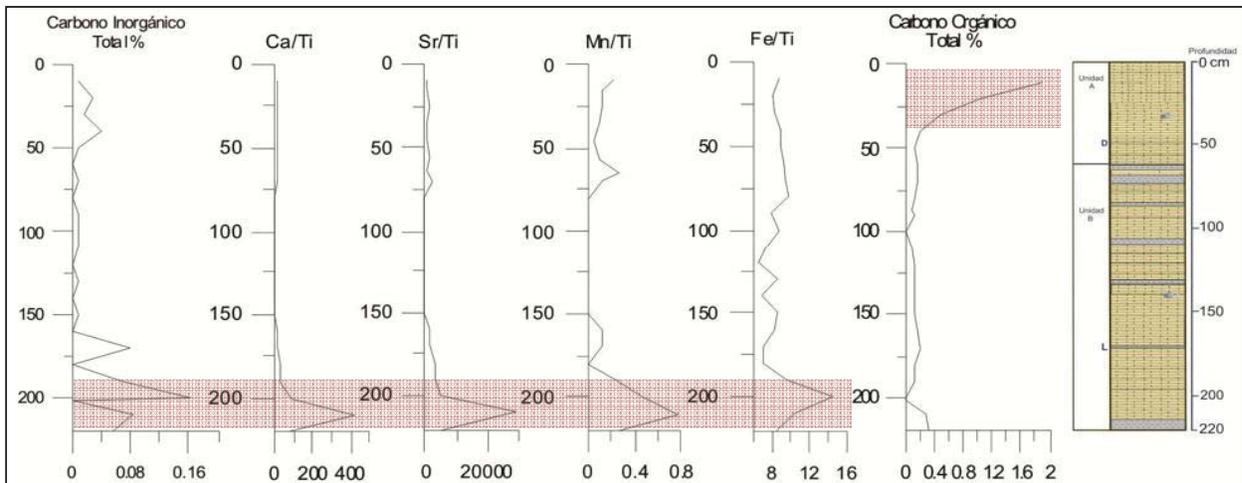


Figura 7. Componentes biogénicos registrados en la “Trinchera 3”; el COT (%) y los componentes carbonatados: CIT (%) y las relaciones entre Ca/Ti, Sr/Ti, y Mn/Ti.

7.2.2 Perfil 2 - Noria Cantabria (1978) msnm

Los valores de susceptibilidad magnética se correlacionan con niveles piroclásticos donde de base a cima el primer evento volcánico incide en el incremento de todos los elementos medidos. Hacia la cima de la secuencia un segundo evento volcánico vuelve a generar incrementos en los porcentajes de los elementos en este caso solo los elementos de procedencia máfica, indicando que el evento pudo haber sido de un lugar lejano al sitio sin embargo la señal llega a la cuenca y se ve reflejada en el aumento de la susceptibilidad magnética. Hacia la cima de la secuencia se observa una alta productividad y una baja en el porcentaje de los elementos clásticos debido a esta. El aumento de Ca y Sr que se asocia con una abundancia de ostrácodos (Fig. 8).

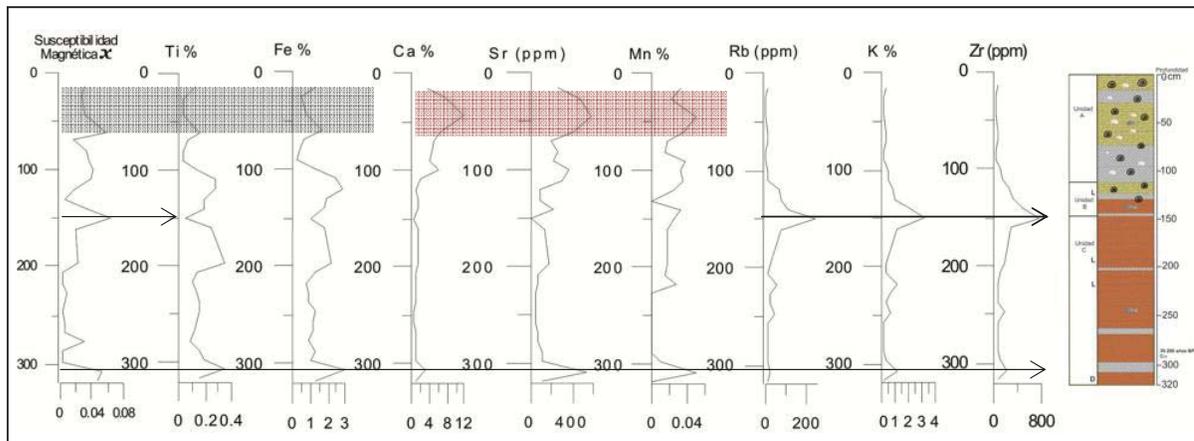


Figura 8. Datos geoquímicos de la columna sedimentaria de la trinchera “Noria Cantabria”. Susceptibilidad magnética (χ), Componentes clásticos y elementos selectos medidos mediante fluorescencia de rayos X (FRX) en porcentajes de acuerdo a la profundidad.

En esta trinchera las relaciones generadas para los elementos (Ca, Sr y Mn) reflejaron valores asociados con el contenido de CIT los cuales se incrementan en la cima debido al aporte biogénicos hacia la cima de la columna lugar donde se encuentra la mayor parte de productividad así como abundancia de valvas de ostrácodos y gasterópodos en correspondencia con el porcentaje de TIC (Fig. 9).

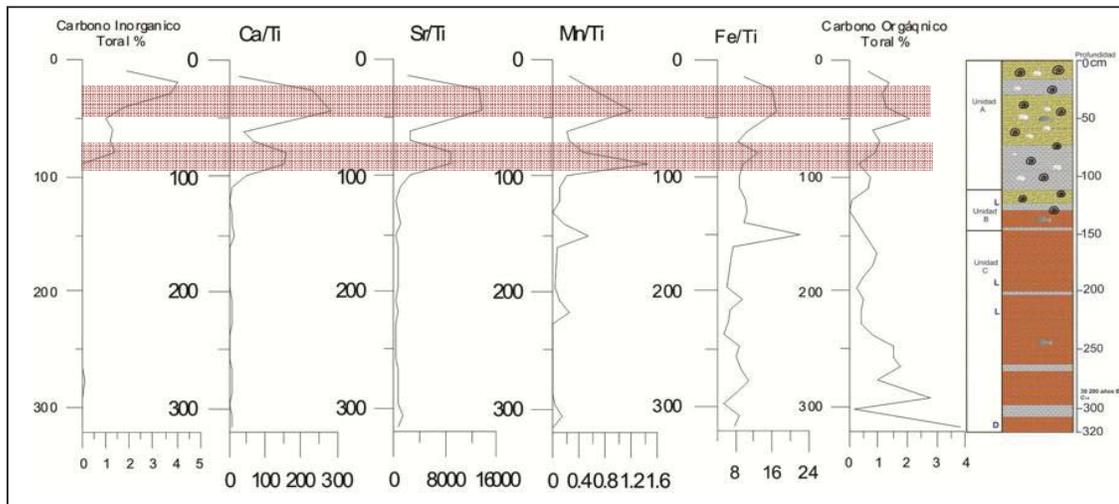


Figura 9. Componentes biogénicos registrados en la “Noria Carrabria”; el COT (%), componentes carbonatados: CIT (%) y las relaciones entre Ca/Ti, Sr/Ti, y Mn/Ti.

7.2.3 Perfil 3 - Pozo Carretera (1976 msnm)

En esta trinchera los elementos clásticos se correlacionan de manera positiva con la susceptibilidad magnética, no se midió esta variable en los niveles de actividad volcánica en el centro de la columna, sin embargo la base y cima de este depósito indican un incremento en Ti Fe y Mn. En general eventos volcánicos se evidencian en gran parte de los elementos medidos (Fig. 10).

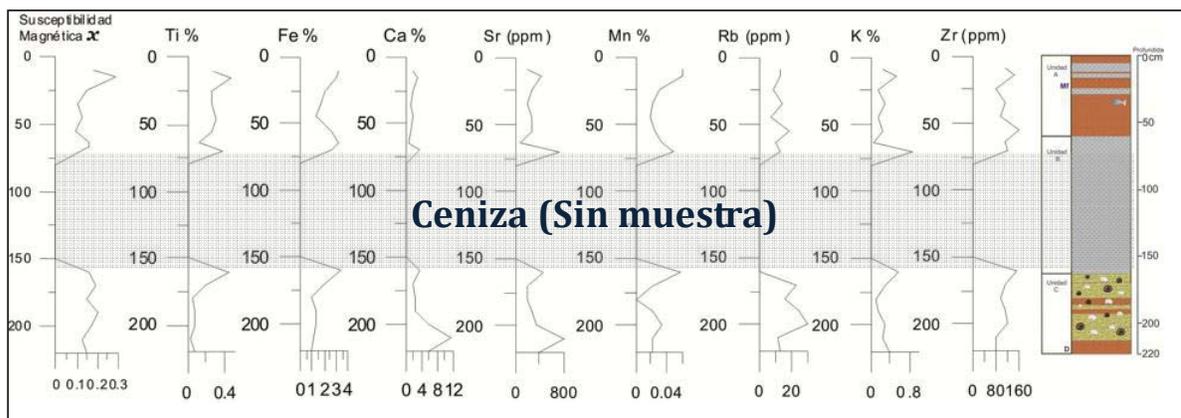


Figura 10. Datos geoquímicos de la columna sedimentaria de la "Pozo". Susceptibilidad magnética (χ), Componentes clásticos y elementos selectos medidos mediante fluorescencia de rayos X (FRX) en porcentajes de acuerdo a la profundidad.

Al igual que en las trincheras anteriores la presencia de elementos Sr, Ca, Fe y Mn en relación con el Ti en la base de la columna estratigráfica se asocia a los restos de ostrácodos y gasterópodos, indicando que CIT está marcado por este componente biogénico, mientras que el Mn y Fe coincide con el COT en la parte superior de la columna considerando un periodo de alta productividad y un ambiente anóxico donde el Fe se oxida y precipita aumentando en relación al Ti (Fig.11).

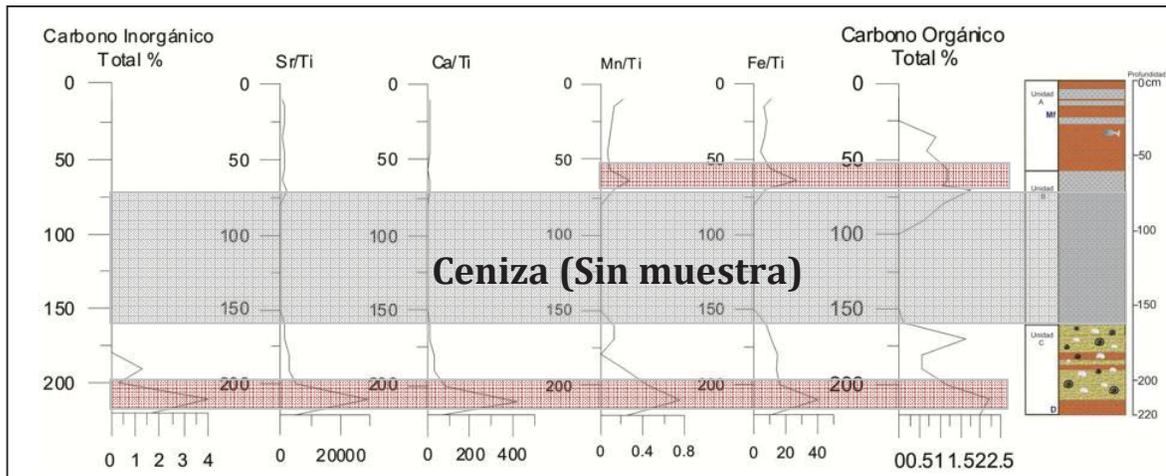


Figura 11. Componentes biogénicos registrados en la “Pozo”; el COT (%) y los componentes carbonatados: CIT (%) y las relaciones entre Ca/Ti, Sr/Ti, y Mn/Ti.

7.2.4 Perfil 4 - El Invernadero (1976 msnm).

Esta trinchera a diferencia de las otras la correspondencia entre los elementos es menor, el incremento de las proporciones en la base de la columna puede indicar un alto grado de retrabajamiento, dados los niveles de mezcla de distintos materiales obtenidos en la estratigrafía, pues no solo existen más cambios en los valores si no que se mantienen en niveles elevados a través de toda la columna, indicando mayor energía en el aporte sin identificar un origen pluvial o eólico (Fig.12).

En cuanto al CIT y COT también se observa un cambio en las correspondencias de valores con las relaciones del Estroncio, Calcio y Manganeso asociados a agregados de carbonatos. En la base de la columna son más importantes los valores de COT mientras que a la cima incrementan los valores de CIT. Resaltan deformaciones sinsedimentarias como microfallas indicando una alta actividad sísmica y volcánica además del efecto antropogénico (cerámica) hacia la cima de la secuencia.

En la base de esta trinchera se observa el efecto de un evento volcánico al parecer de procedencia máfica observándose en el incremento de los elementos Rb, K y Zr.

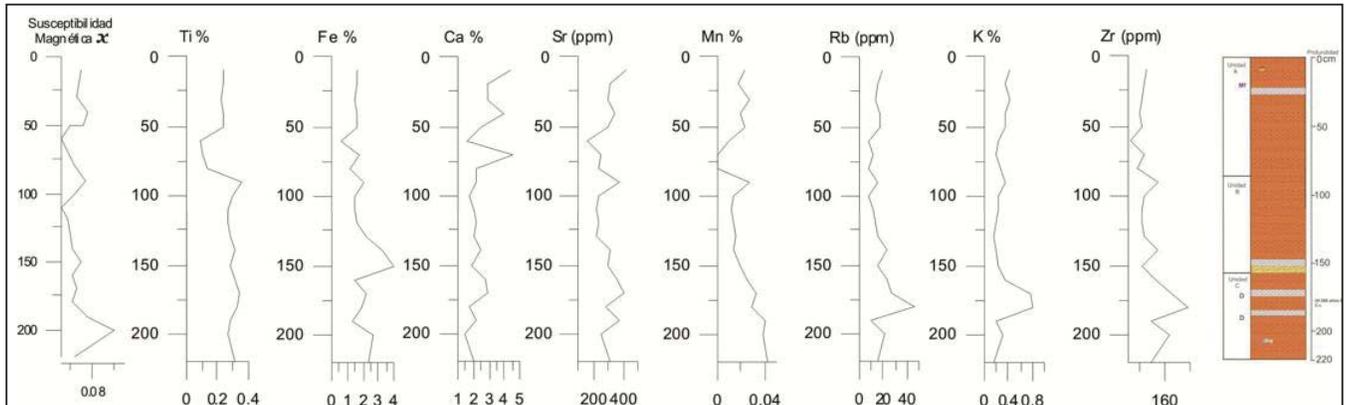


Figura 12. Datos geoquímicos de la sedimentaria de la trinchera “Invernadero”.

Susceptibilidad magnética (χ), Componentes clásticos y elementos selectos medidos mediante fluorescencia de rayos X (FRX) en porcentajes de acuerdo a la profundidad.

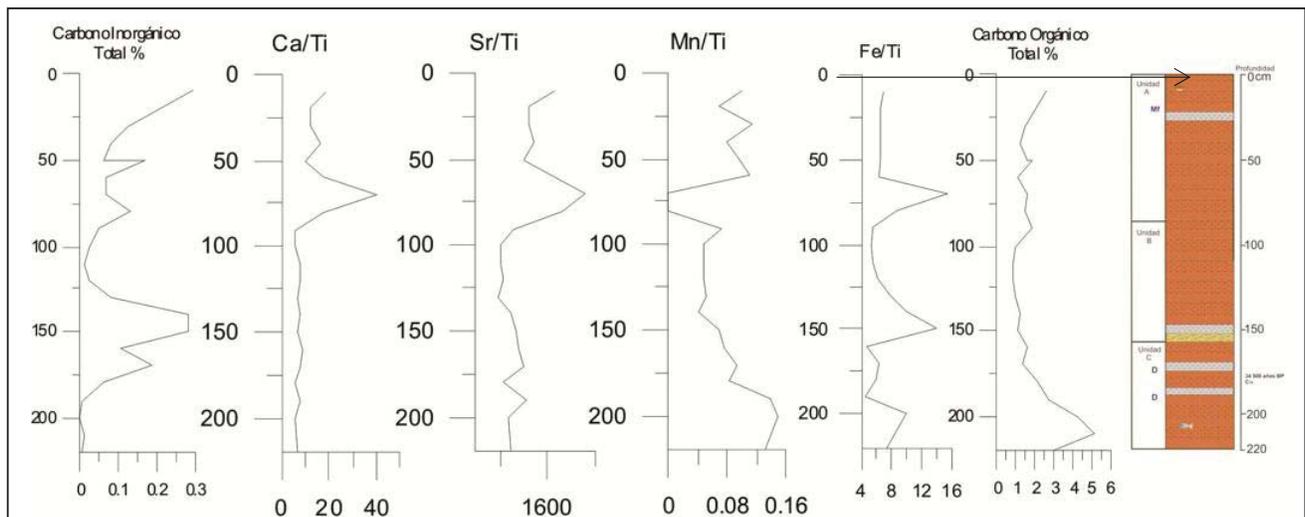


Figura 13. Componentes biogénicos registrados en la “Invernadero”; el COT (%) y los componentes carbonatados: CIT (%) y las relaciones entre Ca/Ti, Sr/Ti, Fe/Ti y Mn/Ti.

7.3 Análisis Palinológico

7.3.1. Perfil 1 - Trinchera 3 (1977 msnm)

Con base en el análisis palinológico en esta trinchera se encontraron un total de 953 granos de polen, que corresponden a 13 tipos polínicos. Debido a que la sedimentación en el lago ha cambiado constantemente y de manera muy irregular no se generaron datos para la tasa de sedimentación del lago.

ZONA II: En esta zona el elemento arbóreo dominante para el bosque templado fue *Pinus* ocupando hasta el 100% en algunas partes, seguido de *Quercus* y *Alnus* con máximos de 20% y 10% respectivamente. En los elementos del bosque mesófilo, se encontró a *Taxodium* y *Betulaceae* con 40%, y presencia de *Fraxinus*, *Salix* y *Ulmaceae*. En la vegetación herbácea dominada por *Gramineae* de hasta 100% en algunos sitios, seguido por *Compositae* y *Euphorbiceae* con 40%.

ZONA I: En esta zona que corresponde a la parte superficial, los elementos templados están representados por *Pinus*, *Alnus* y *Quercus*, donde *Pinus* es el elemento dominante con más del 90%, le sigue *Alnus* y *Quercus* con 20%. la vegetación herbácea está dominada principalmente por *Gramineae* con 40 % y presencia de *Chenopodiaceae*, *Euphobiaceae* y *Compositae* (Fig. 10).

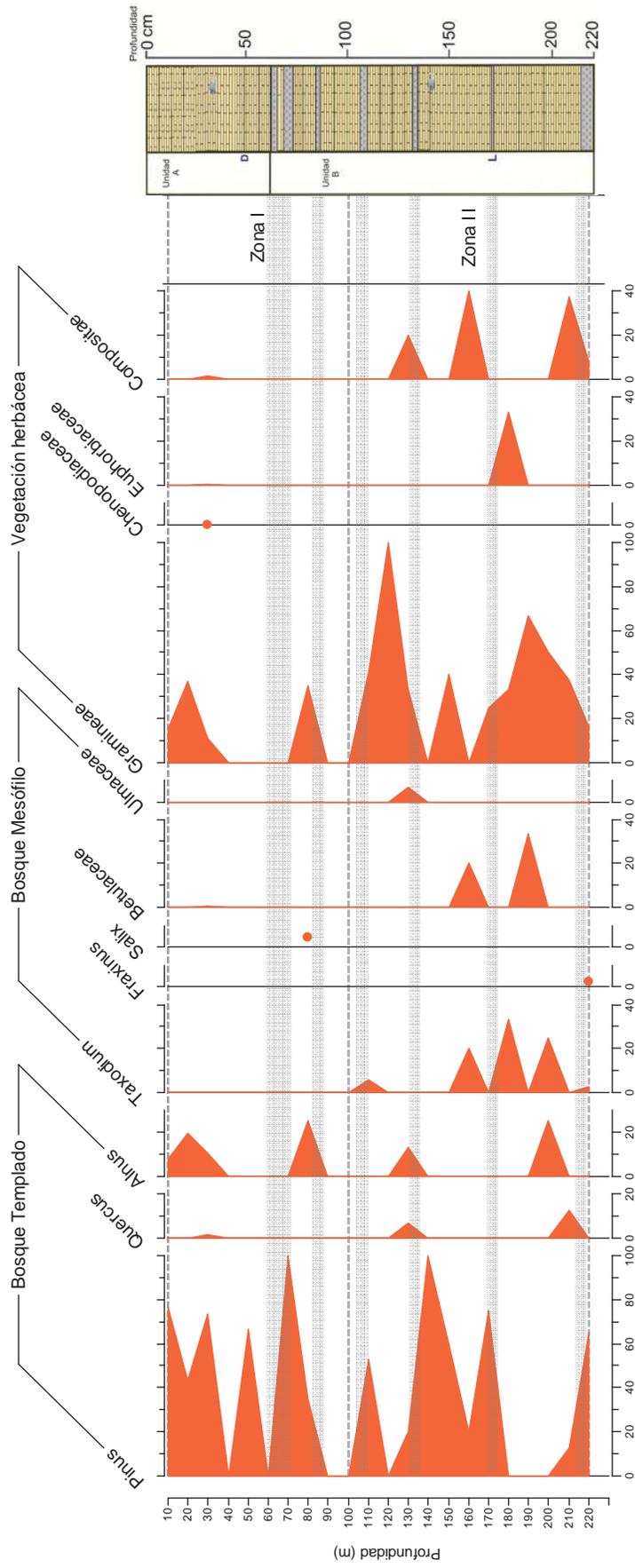


Figura 10. Diagrama palinológico de la vegetación regional del Lago de Zacapu Michoacán. Trincheras 3 correspondiente a > 40 000 años A.P. Los datos de polen se muestran en profundidad y porcentaje de los diferentes taxa encontrados.

7.3.2. Perfil 2 - Noria Cantabria (1978) msnm.

En esta trinchera se encontraron un total 5564 granos de polen que corresponden a 39 taxa polínicos.

ZONA III: Los elementos arbóreos dominantes en el bosque templado son *Pinus*, *Quercus*, *Cupressus*, *Alnus* y *Abies*; el Pino es el elemento abundante y dominante con máximos de 60% en algunas profundidades con altos valores también se observa a *Quercus* 35-40%, y *Alnus* de 20-25%. En cuanto al bosque mesófilo se observa dominando por *Fraxinus*, y con presencia en menor abundancia de Betulaceae, Ericaceae, Meliaceae, *Liquidambar*, *Ulmus* y Ulmaceae. El bosque tropical dominado por Leguminosae con máximos de 20%, y presencia de *Prosopis*, Mimosoideae, Anacardiaceae, Malpighiaceae y *Acacia*. En la vegetación herbácea se encontró la mayor diversidad de taxas y estaba dominada por Gramineae 60% y Compositae 20%, siguiendo Chenopodiaceae, y presencia de Rubiaceae, Solanaceae, Cyperaceae, *Croton*, Sterculiaceae, Onagraceae, *Peperomia* y Euphorbiaceae.

ZONA II: En esta zona dentro de los elementos templados, el taxa dominante fue *Pinus* con 98%, *Quercus* 40% y *Alnus* 25%, y presencia de *Abies* y *Cupressus*. En la parte correspondiente al bosque mesófilo solo se distingue la presencia de Betulaceae y *Fraxinus*. Las herbáceas fueron dominadas por Compositae 80% y Graminae 60%; también se observó presencia de Euphorbiaceae y Onagraceae.

ZONA I: Es una zona abundante en elementos templados, principalmente *Pinus* 90%, seguido de *Quercus* y *Cupressus* con 40% y *Alnus* 20%. Como elementos de bosque mesófilo se encontró presencia de *Ulmus*, Ulmaceae, *Fraxinus* y Betulaceae. En esta zona los elementos tropicales fueron Leguminosea, Mimosoideae, Anacardiaceae y Malpighiaceae. Las hierbas fueron dominadas por la familia Compositae y Gramineae con 25%; y se observa la presencia de taxas herbáceos como Euphorbiceae, *Acalypha*, *Piperonia*, Onagraceae, Cruciferaeae y Solanaceae (Fig. 11).

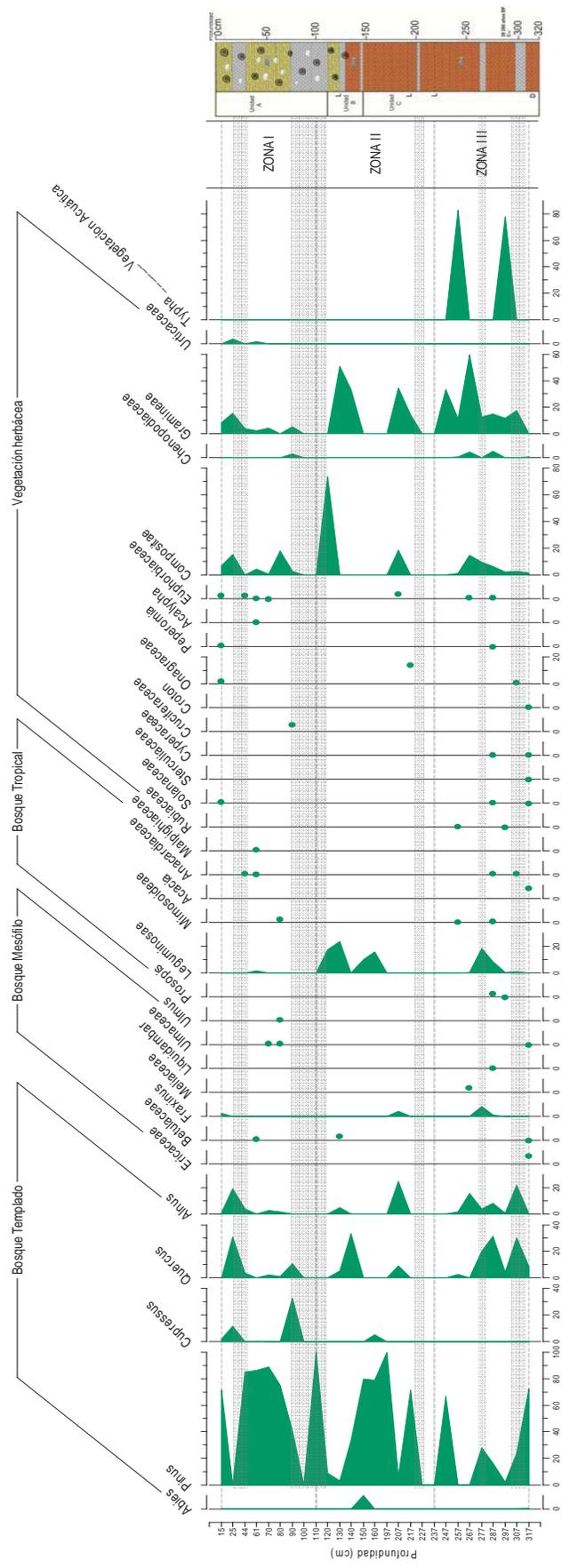


Figura 11. Diagrama palinológico de la vegetación regional del Lago de Zacapu Michoacán. Trinchera ‘La Noria’ con una edad mayor a 40 000 años A.P. Los datos de polen se muestran en profundidad y porcentaje de los diferentes taxa encontrados.

7.3.3 Perfil 3 - Pozo Carretera (1976 msnm)

Esta trinchera se encontraron 294 granos de polen en total, tuvo la menor cantidad de polen encontrada dentro de las cuatro trincheras seleccionadas. Correspondiéndole a 22 taxa.

ZONA III: Esta zona es la más profunda, los elementos templados estuvieron dominados con *Pinus* con 80%, seguido de *Alnus* 20% y presencia de *Quercus* y *Fraxinus*. El bosque tropical fue dominado por Leguminosae 10% y *Celtis*. Y en la vegetación herbácea solo se encontró a Gramineae y Compositae.

ZONA II: Dentro de los elementos del bosque templado solo se encontró a *Pinus* con 80%. No se encontraron elementos pertenecientes al bosque tropical, y en las herbáceas se encontró a Compositae con 40% y 30% de Gramineae. Se registró a un elemento característico de cultivos: Cucurbitaceae con 15% indicando lo reciente que pudo ser esta zona.

ZONA I: La zona más superficial, es la más diversa de todas las zonas y hay elementos en los tres tipos de vegetación encontrados en esta columna. El bosque templado dominado por *Pinus* 90%, seguido por *Alnus* de 20% y *Cupressus*. En el bosque tropical Leguminosae fue la familia más representativas con 45%, seguido por Mimosoideae 20%, Ulmaceae 15% y finalmente Betulaceae. La vegetación herbácea también es diversa Graminea domina con 50%, luego Compositae con 40% en conjunto con la presencia de Onagraceae, *Peperomia* y Euphobiaceae.

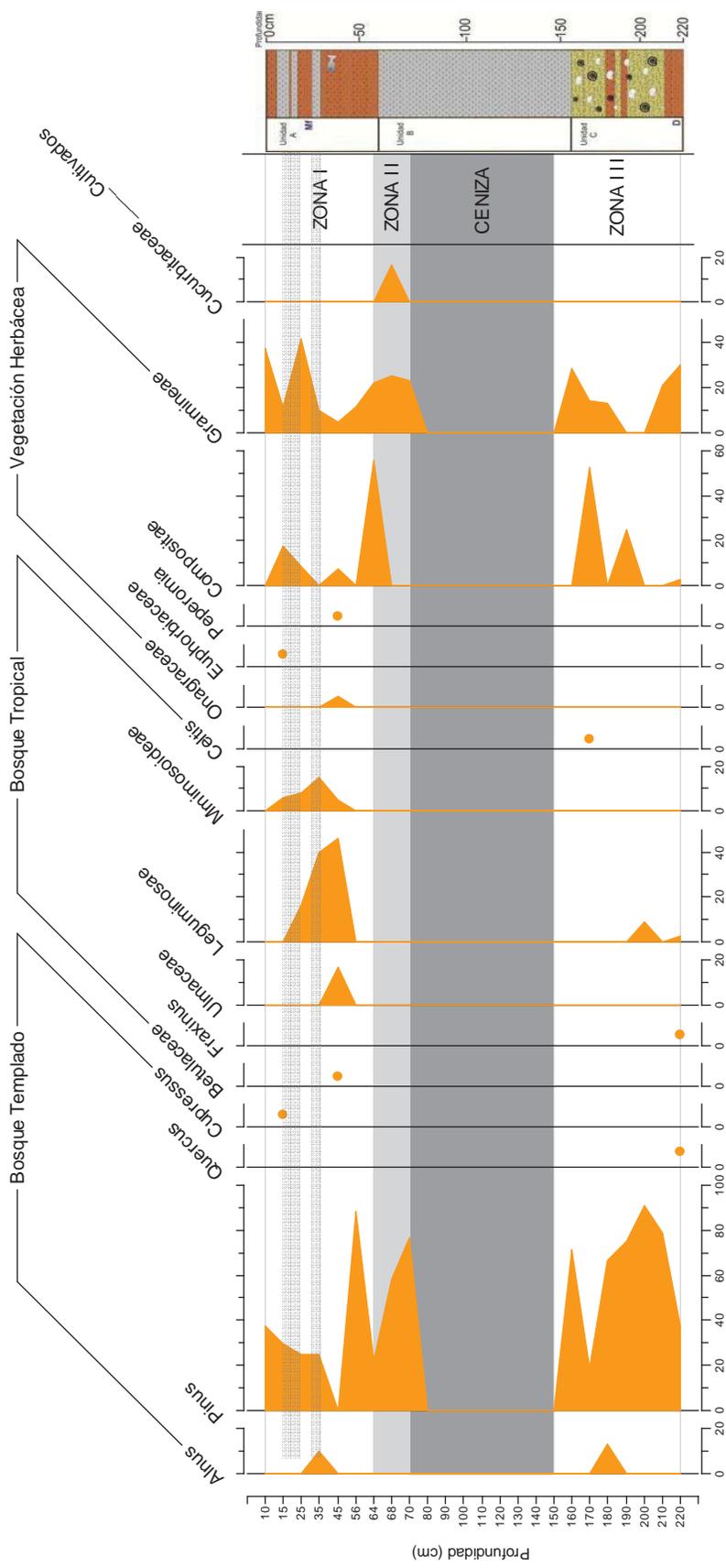


Figura 12. Diagrama palinológico de la vegetación regional del Lago de Zacapu Michoacán. Trinchera “El Pozo” corresponde a una edad > 30 000 a < 40 000 años A.P según Soria (2010) siendo en la parte superior la más joven pues hay una discontinuidad en la edad antes y después de la ceniza. Los datos de polen se muestran en profundidad y porcentaje de los diferentes taxa encontrados. La zona punteada pertenece a una parte de la columna no muestreada pues solo se muestrearon en las orillas de la unidad B constituyendo un estrato de ceniza de casi 70 cm..

7.3.4 Perfil 4 - El Invernadero (1976 msnm).

En esta trinchera se encontraron 33 taxa polínicos con un total de 3694 granos de polen.

ZONA III: El bosque templado está dominado por *Pinus* 50%, seguido por *Cupressus* con 25% y *Alnus* de 15%, se observó la presencia de *Abies* y *Quercus*. El bosque tropical está dominado por *Prosopis* 20%, Leguminosae 15% y la presencia de Mimosoideae. La vegetación herbácea. Dominada principalmente por Gramineae 40%, Compositae y Chenopodiaceae con 10%. Y al final el elemento de cultivo encontrado en esta zona fue el Maíz (*Zea mays*).

ZONA II: Se observó a *Pinus* con 80%, luego a *Cupressus* y *Abies* con 20%, y la presencia de *Quercus* y *Fraxinus*. El bosque mesófilo está representado por *Taxodium* de 40%, i la presencia de *Tilia* y Ulmaceae. En el bosque tropical solo se encontró a Sapotaceae. Dentro de las hierbas la más abundante fue Gramineae con 40% y la presencia de Labiateae, Chenopodiaceae y Compositae.

ZONA I: Correspondiente a la superficie de la columna el bosque templado representado aquí contiene 70% de *Pinus*, y presencia de *Cupressus*, *Abies*, *Fraxinus* y *Alnus*. El bsoque mesófilo fue más diverso pero menos abundante por taxa, se presentaron *Tilia*, Betulaceae, Ulmaceae, *Taxodium*, Rhamnaceae, Leguminosae, Mimosoideae, Rubiaceae. Los elementos herbáceos dominadas por Gamianeae con 90%, seguido por Urticaceae 45%, Chenopodiaceae y Compositae; se encontró a Solanaceae, Labiateae y *Peperomia*. Y en los cultivados se encontró a Cucurbitaceae pero de manera muy abundante llegando hasta los 80%.

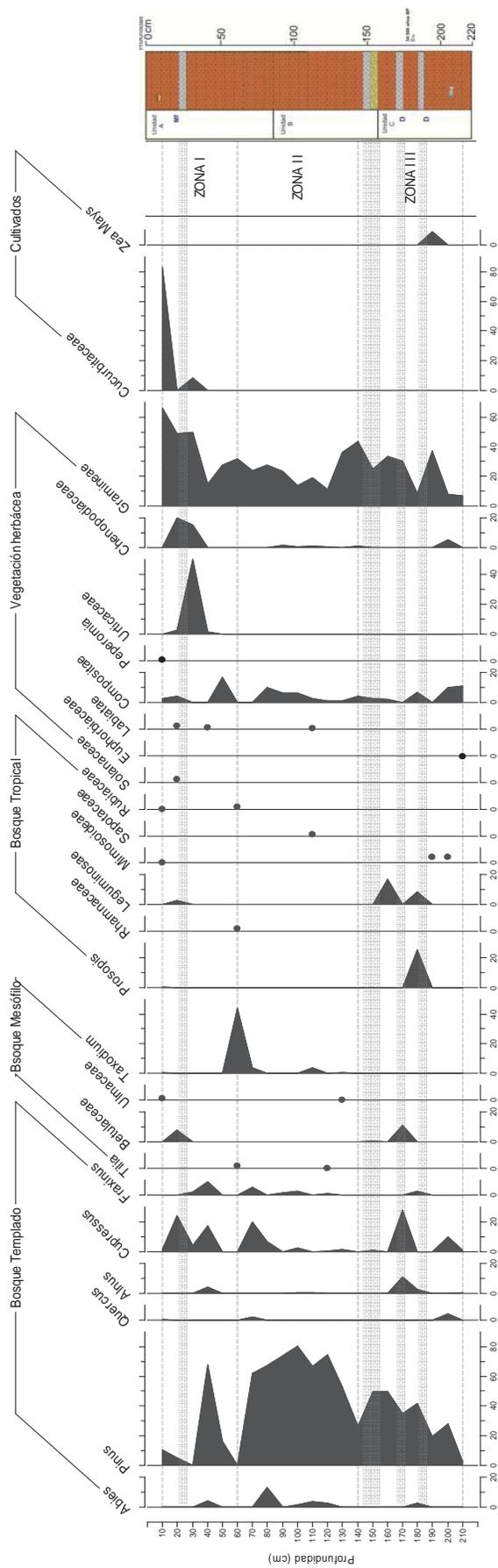


Figura 13. Diagrama palinológico de la vegetación regional del Lago de Zacapu Michoacán. Trinchera ‘El Invernadero’ correspondiente A > 10 000 - < 30 000 años A.P. Los datos de polen se muestran en profundidad y porcentaje de los diferentes taxa encontrados.

7.4 Relación Del Registro Polínico Con El Ambiente

7.4.1 Análisis de Correspondencia Canónica

Para cada una de las trincheras se realizó el análisis de correspondencia canónica para observar las relaciones existentes entre las variables medidas en otros indicadores y las especies encontradas en el análisis polínico, así como la relación encontrada con estas variables entre las diferentes muestras obtenidas.

En general en las trincheras no se generó una buena ordenación ni clasificación de manera significativa tomando valores P mayores a 0.05, siendo así para muestras y especies. Esto se podría deber a un conjunto de factores como los efectos de la alta actividad volcánica en la zona, la múltiple ausencia de valores respecto a las abundancias relativas encontradas de polen, ocasionando un mayor desbalance en el análisis generando sobreestimación de algunos valores y en el caso del Invernadero el contenido de sedimento retrabajado pudo haber arrojado la dispersión de los grupos pues la trinchera se encuentra muy alterada debido al efecto antropogénico.

7.5 Análisis De La Vegetación

A través de este estudio y el mapa generado (Fig. 21) se observó un marcado efecto antropogénico es muy elevado en el que destaca la actividad agrícola en las zonas se dividió a los tipo de vegetación en conservado y perturbado para mostrar el grado de disturbio en el que se encuentra la región y mostrar la diversidad de tipos de vegetación alrededor.

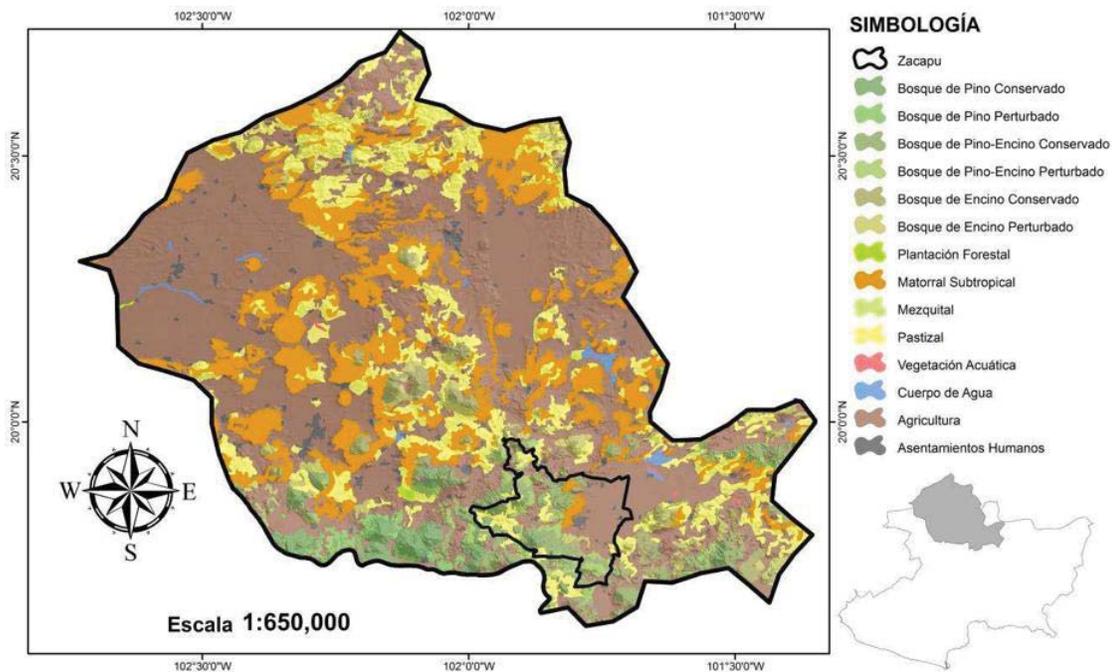


Figura 21. Vegetación y Uso de Suelo de la Subcuenca Lerma- Santiago, región a la que pertenece el Lago de Zacapu. Se ubica la delimitación del municipio y los principales tipos de vegetación y uso de suelo de la región.

Se hizo un total de 6 puntos de verificación alrededor del lago a través del gradiente de altitud Cuadro 2.

Cuadro2. Puntos de verificación de Vegetación.

| Sitio | Coordenadas | | Altiud (msnm) |
|---------------------|-------------|-------------|---------------|
| Trinchera "El Pozo" | 19 50 24 | 101 44 43 | 1976 |
| La escondida | 19 52 57.3 | 101 46 49.6 | 2021 |
| La Angostura | 19 49 38.3 | 101 47 16.4 | 2028 |
| Las canoas 1 | 19 47 56.5 | 101 52 26.1 | 2286 |
| Las Canoas2 | 19 48 06.6 | 101 52 25.7 | 2389 |
| Las Canoas 3 | 19 48 13.2 | 101 52 26 | 2340 |
| Canoas-Zacapu | 19 49 15.9 | 101 51 34.4 | 2307 |

En el análisis arbóreo dentro del cuadrante 10x10, se encontró un total de ocho especies diferentes, *Opuntia Sp.*, *Quercus magnoliifolia* Neé, *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl., *Quercus Rugosa* Neé, *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., *Arbutus xalapensis* Kunth, *Quercus deserticola* Trel. *Quercus Laurina* Bonpl. y *Salix. sp*

Para las los arbustos en el cuadrante de 2x2m se encontró a *Baccharis* L, dominando, *Cleyera* sp. y *Cornus* sp. Para las herbáceas y porcentaje de cobertura de suelo se encontraron en general gramíneas cubriendo entre el 10-30% del área 1x1m.

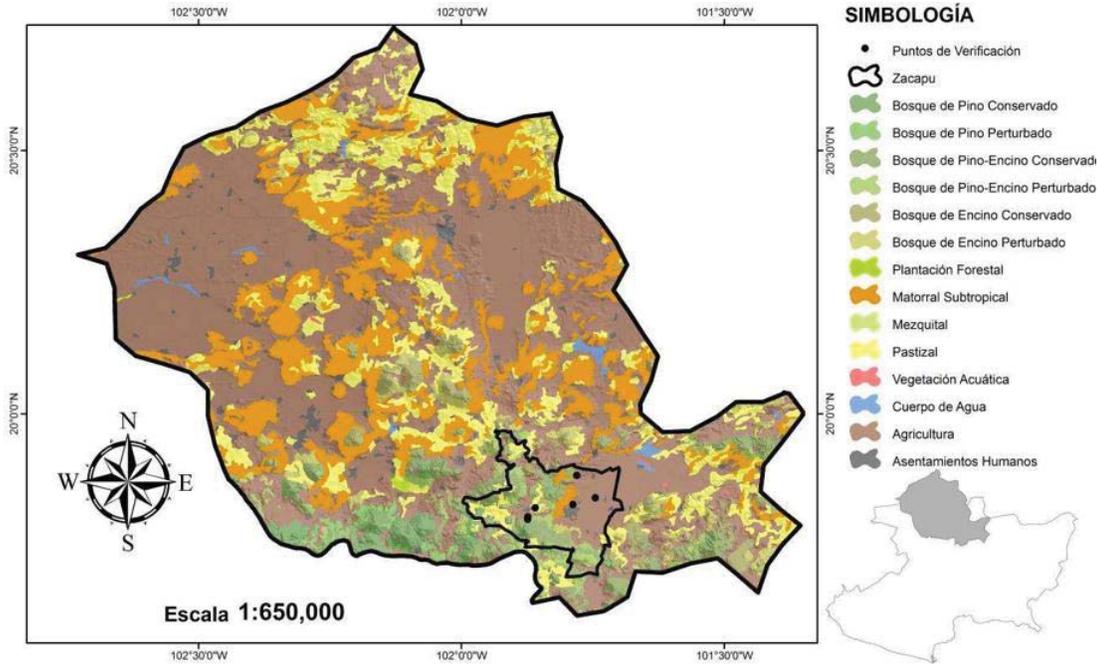


Figura 21. Vegetación y Uso de Suelo de la Subcuenca Lerma- Santiago, región a la que pertenece el Lago de Zacapu. Se ubica la delimitación del municipio y los principales tipos de vegetación y uso de suelo de la región. Con los puntos de verificación antes mencionados.

Para la validación de este mapa de vegetación de la zona los puntos de verificación coincidieron con el tipo de vegetación que el inventario forestal asignó. Pasando de un bosque de Pino- Encino a un Bosque de Pino, de los 2000 a los 2300 msnm.

Se generó un perfil de vegetación a través del gradiente, se distinguieron cinco tipos de vegetación, el primero fue una zona seca de cultivo donde se encuentra la trinchera “El Pozo”, luego se observó un bosque de encino caducifolio con abundantes elementos secundarios los cuales fueron principalmente distribuidos por el ganado de la zona, en la zona del lago actual existe vegetación acuática alrededor y como elemento dominante se encontró el Sauce (*Salix* sp.). Conforme la altitud incrementa la vegetación se convierte en un bosque de encino húmedo con hojas perennes, y una zona de transición entre este bosque de encino y bosque de pino. Al final en la parte más alta del gradiente se encontró a *Pinus* y *Arbutus* (Fig. 22).

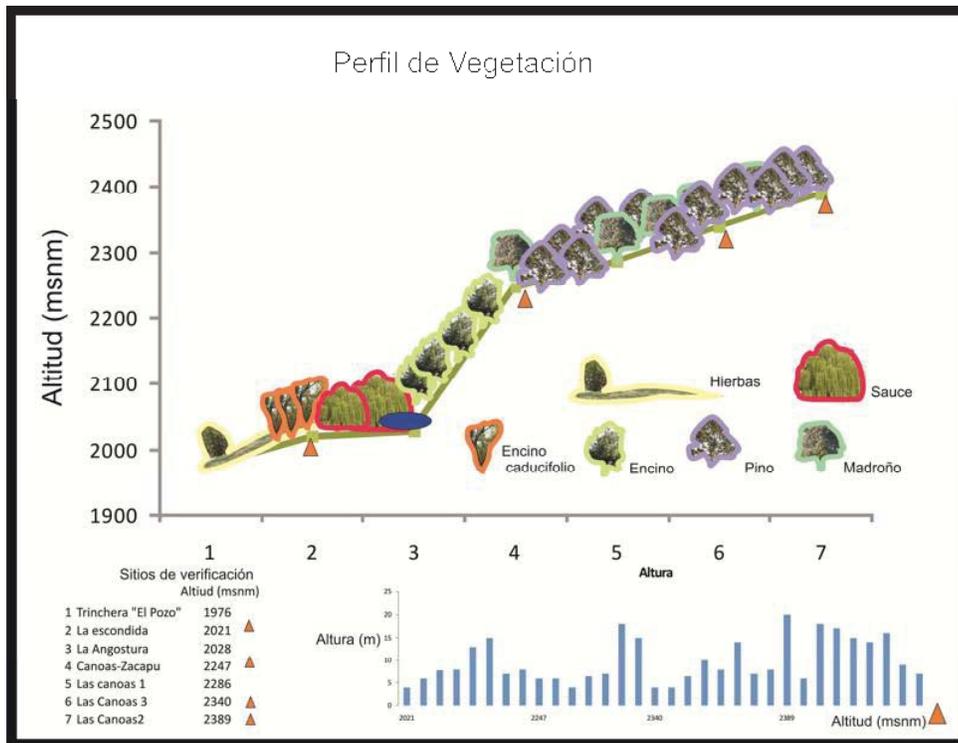


Figura 22. La grafica principal marca el gradiente altitudinal de los sitios observados en donde se colocaron los elementos dominantes de cada tipo de vegetación. Se muestrearon cuatro (▲) de los siete lugares visitados enlistada a la izquierda, donde se observa la altura de los elementos arbóreos medidos en la grafica de barras.

VIII. DISCUSION E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presenta los cambios observados en la secuencia sedimentaria de cada una de las trincheras realizadas. Esta interpretación se basa en los cambios encontrados dentro del análisis realizado con los distintos indicadores medidos.

A pesar de la baja concentración polínica de las muestras, se encontraron suficientes elementos para generar diagramas polínicos, el contenido de polen osciló entre 5564 y 294 granos por muestra, siendo “La Noria” la de mayor contenido por muestra y cuyo contenido de arcilla y limo pudo generar mejores condiciones de perduración de los granos de polen. Al contrario de la “Trinchera 3” y “El pozo” con un total de 953 y 294 granos de polen respectivamente. En estas trincheras la sedimentación fue muy diferente en comparación con las otras dos; en la “Trinchera 3” la diatomita pudo haber sido la causa de falta de polen en general y en “El Pozo” los sucesivos eventos volcánicos no permitieron la permanencia del polen por las altas temperaturas, en esta trinchera no se tomo muestras de polen dentro del sedimento que cubre el evento volcánico de 60 cm aprox.de espesor. Una de las inferencias que se obtienen al observar el espesor del evento es que la erupción se encontraba muy cercana a la zona del muestreo. Este evento también es reportado por Ortega y colaboradores en el 2002, así como la existencia de anteriores y posteriores eventos que al parecer afectaron la permanencia del polen. Debido a estas irregularidades de los constantes eventos volcánicos acontecidos en el sitio, no se obtuvo el influjo de polen para ninguna de las trincheras estudiadas

8.1 Trinchera3 > 40 000 A.P.

Esta trinchera se dividió en dos zonas; la última zona corresponde a la parte más profunda, donde se encontraron elementos de Bosque Mesófilo además del bosque templado y la vegetación herbácea. El establecimiento del Bosque Mesófilo, tiene mucha relación con el tipo de edafología, ya que el Bosque Mesófilo se encuentra sobre todo en litosoles y andosoles poco profundos y pedregosos, resultado de la naturaleza del sustrato geológico, formado por rocas volcánicas cuaternarias, encontrándose en pendientes escarpadas que facilitan su evacuación por el arrastre hídrico lateral (Labat, 1992). Dentro de la sedimentación (Fig. 2) se

observa que en la base de la columna (Unidad B) un periodo seco, donde existen restos de animales como huesos, vertebras y escamas. Baja materia orgánica e incremento en la susceptibilidad magnética así como de elementos máficos que indican mayor arrastre por aporte eólico (Roy *et. al.*, 2010), por lo tanto se necesito de una mayor erosión ya que estos elementos Rb, K, y Zr no se encuentran de manera local dentro del basalto andesítico que rodea la zona por lo tanto debió haber un aumento en el arrastre para que estos llegaran a la cuenca. Esto se corrobora con el aumento en el contenido de TIC generando por una mayor precipitación de los carbonatos y aumento de las relaciones Ca/Ti, Sr/Ti y Mn/Ti principalmente estos carbonatos están presentes en los basaltos y precipitan cuando la humedad decae. Hacia la parte superficial de la columna incrementan los valores de los elementos de aporte félsico indicando un aporte pluvial más elevado y por lo tanto condiciones de mayor humedad. Así como un aumento en el COT y el aporte de precipitación de Fe en relación Ti, con una mayor productividad en el lago, indicando en conjunto condiciones de un ambiente anóxico (Roy *et.al.*, 2009; Roy *et. al.*, 2010, Sosa-Nájera *et. al.*, 2010).

En cuanto a la presencia de polen en esta columna se encontró que la vegetación tenía un dosel abierto dominado principalmente por la vegetación herbácea caracterizado por las familias Graminae y Compositae (Fig. 10), con presencia de Bosque Templado y algunos elementos pertenecientes al Bosque Mesófilo sin llegar a más de 20% (Robles *et. al.*, 2010). Estos elementos de Bosque Mesófilo pudieron estar combinados con el Bosque Templado, compartiendo espacio pues en la actualidad parte de los elementos encontrados se están mezclados en ambientes húmedos. Sin embargo, en esta parte de la columna dominan la vegetación arbustiva y herbácea representado por la familia Compositae, *Piper* y *Acacia* indicando un lugar con disminución de la humedad y condiciones templadas pues el Bosque de Templado se ve bien representado (Lozano-García *et. al.*, 2007). En la parte superficial el registro polínico esta mayormente representado por el porcentaje del Bosque de Templado y las herbáceas disminuyeron drásticamente, donde solo se encontró a la familia Graminae, el Bosque Templado parece ser más seco sin embargo contrasta con un mayor aporte pluvial de los elementos y con la existencia de una mayor productividad en el lago (Metcalfé *et. al.*, 2006; Metcalfé y Davies, 2007)

En la actualidad el Bosque de Templado en la zona se caracteriza por la dominancia de una o varias especies de pinos. Las poblaciones son pocas veces puras, es un bosque cuyo

grado de cobertura registra grandes variaciones, según el tipo de degradación antrópicas, muchas veces se encuentran plantaciones artificiales pueden encontrarse en comunidades aisladas, o mezclarse en comunidades abiertas (Robles *et. al.*, 2010). Se encuentra en general con un estrato arbustivo subcaducifolio, este no está presente en el bosque donde se pastorea ya que se incendian regularmente. En cambio están presentes en lugares con poca perturbación y en donde existe tala selectiva de pinos. Dominados por: *Alnus jorullensis*, *Bacharis heterophylla*, *Eupatorium glabratum*. Y junto con un estrato herbáceo de un metro o menos de altura, que durante la temporada de seca, dan un sotobosque de aspecto desnudo y amarillento característico. Con coberturas de entre 25 a 50 %, *Alchemilla procumbens*, *Bacharis pieronioides*, *Pteridium aquilinum* y *Salvia lavanduloides* (Labat, 1992).

Para esta zona según Soria, 2010 es la primera etapa que se observo en su estudio y sugiere un cuerpo de agua profundo, caracterizado por el depósito de diatomitas intercaladas con al menos cinco capas de ceniza volcánica. Algunos de estos eventos como el de “El Jabalí” relacionados con erupciones en secuencias de ca. 50 000 años A.P. reportadas en el Lago de Pátzcuaro (Bradbury, 2000, Burry, 2001, Newton *et. al.*, 2005). En esta trinchera se muestran condiciones secas en la base donde el porcentaje de dominancia esta dado por lo elementos herbáceos y que se agrupan con el contenido de carbono inorgánico, en la parte superior se agrupan elementos templados y el COT, corroborando un aumento en la cobertura vegetal del bosque templado.

Las condiciones climáticas que se infieren para este periodo alrededor del lago de Zacapu es que pudieron ser más frías que en la actualidad y de mayor humedad en la parte superficial de la columna hacia el reciente, cabe notar la presencia de gran cantidad de herbáceas en la parte inferior y el aumento de arrastre eólico generando condiciones más secas que las de la superficie de la columna, en esta zona parece denotando un cambio en relativamente poco tiempo hacia la superficie. Infiriendo a partir del tipo de sedimento de las condiciones presentes en el lago se cree que en este periodo había un tirante de agua más o menos estable durante toda la columna permitiendo observar que en la base pudo ser más seco bajando el nivel sin llegar a secarse posiblemente como evento de residencia, donde todo alrededor pudo haber estado seco y por lo tanto explicar el aumento del TIC y la baja productividad (COT), y un cambio hacia lo que posiblemente sea el inicio del establecimiento

de las condiciones posteriores que son más húmedas donde los componentes del Bosque Templado dominan, aumenta la productividad y el aporte pluvial de los elementos (Bradbury, 1989; 2000)..

8.2 La Noria. Entre 40 000- 30 000 años A.P.

En esta trinchera se observo dentro de base a cima c niveles de laminas limo-arcillosas (Fig. 3) intercaladas con niveles de diatomitas, razón por la que se relaciona con la Trinchera 3, y se asume que su sedimentación es más reciente que la trinchera anterior, a la falta de un modelo de edad los rangos de edad son inferidos por la sedimentación (Soria-Cabllero, 2011).

Dentro de esta trinchera la sedimentación se encuentra influenciada por sucesivos eventos volcánicos y por lo tanto abundante contenido de vidrio volcánico. Estos niveles piroclásticos sobre todo en la base se registraron dentro de los elementos medidos en la geoquímica un aumento en todos los elementos. Dentro de la parte intermedia de la columna, se evidencio en los elementos medidos otro evento volcánico, al parecer este evento está más asociado a la actividad fuera de la zona de la cuenca debido a la afinidad máfica de los elementos y los alrededores más cercanos de la zona son de afinidad félsica, debido a la cantidad de plagioclasas y piroxenos que se encuentran componentes del basalto andesítico existente. En cuanto a la composición polínica (Fig. 11) la base de esta trinchera de acuerdo con lo consecuente de la anterior trinchera se observa un bosque templado como dominante, con elementos como *Pinus* y *Quercus* principalmente pocos elementos tropicales y en menor medida elementos herbáceos como Graminae. Y la presencia del genero *Typha*, indicando condiciones hacia un ambiente poco profundo con 1-2 metros de profundidad llegando a ser pantanoso en algunas zonas (Israde-Alcántara *et. al.*, 2010 y Torres- Rodríguez, 2010).

Hacia la parte intermedia *Typha* desaparece y los elementos del bosque templado siguen predominando sin embargo los elementos del Bosque Mesófilo se hacen presentes como *Fraxinus*, Betulaceae, Ericaceae, Meliaceae, *Liquidambar*, *Ulmus* y Ulmaceae. Mostrando un incremento en la humedad y un ambiente templado.

Hacia la superficie la sedimentación cambia y los elementos biogénicos dominan observándose en la geoquímica a través de las relaciones Ca/Ti, Mn/ Ti y Si/Ti, ya que estos

evidencian los carbonatos que se precipitan y que se asocian a los incrementos de CIT donde se encuentra una mayor productividad representada por el COT (Roy *et.al.*, 2009; Roy *et. al.*, 2010).

En la cima el registro polínico muestra una mayor abundancia de los elementos templados y una disminución de los otros componentes del registro polínico indicando condiciones más secas. Esta zona se encuentra en una capa de ostrácodos y gasterópodos que han generado el maumento en CIT y que el polen de los taxa *Piper*, *Pinus*, *Fraxinus*, Mimosoideae, Leguminosae, *Fraxinus*, *Quercus*, *Celtis*, *Alnus*, Mimosoideae, Ulmaceae, Onagraceae y Graminae se encuentran fuertemente relacionados con valores altos en COT de alta productividad indicando en este caso un periodo semihúmedo y menos frio. la anterior trinchera (Netwton *et al.*, 2005; Velázquez, 2003).

8.3 El Pozo < 30 000 años A.P.

La presencia de ceniza volcánica en esta trinchera es muy abundante y se hace evidente desde la base encentrándose ceniza mezclada con contenidos moderados a abundantes de materia orgánica y poblaciones muy desarrolladas de organismos, los cuales pueden constituir hasta el 80% de los componentes de los sedimento en la base. Las especies de ostrácodos observadas pertenecen principalmente a cuerpos de agua relativamente profundos, al igual que el género *Physa* un gasterópodo asociado a cuerpos de agua perennes (Fig. 4). Se correlaciono esta zona de la trinchera con la superficie de “La Noria” debido a los registros de eventos volcánicos parecidos, al igual que la gran cantidad de organismo encontrados en estos estratos, correspondiendo en ambas trincheras. En cuanto a la geoquímica de sedimentos los elementos clásticos se correlacionan de manera positiva con la susceptibilidad magnética, incrementando en presencia de los eventos volcánicos. En el caso de estudios relacionados también se encuentra la presencia de eventos contemporáneos de emisiones piroclásticos La relación de los elementos medidos en la geoquímica (Sr, Ca, Fe y Mn) con el Ti en la base de la columna estratigráfica se asocia la alta productividad existente incrementando junto con el CIT. La información para el periodo con estos indicadores aunado el aumento de Fe, que e se oxida y precipita aumentando en relación al Ti, nos hace pensar que se encontraba un ambiente húmedo y un lago estable con alta prductividad y un tirante de agua perenne (Fig.11). Esta zona es la más profunda, los elementos templados estuvieron dominados con *Pinus*, *Alnus* y *Quercus*. Con presencia de un bosque tropical dominado por Leguminosae, *Fraxinus* y *Celtis*.

El polen reitero la presencia de un ambiente húmedo semitemplado donde la productividad se considera alta. En la zona superior a donde se registro el evento volcánico se encontraron elementos de cultivos: Cucurbitaceae con 15% indicando lo reciente que pudo ser esta zona, sin embargo la presencia de este elemento no prosiguió hacia la superficie, pudiendo indicar un cambio de uso de suelo o que la procedencia de este cultivo haya llegado en conjunto con la ceniza volcánica en la que se encontró, la vegetación posterior a la ceniza parece haber pasado por varios estadios susecionales. La zona superficial, se volvió más diversa y se encontró elementos de tres tipos de vegetación. El bosque templado dominado por *Pinus*, el bosque tropical dominado por Leguminosae, seguido por Mimosoideae, Ulmaceae y Betulaceae. La vegetación herbácea también es diversa Graminea domina en conjunto con la presencia de Onagraceae, *Peperomia* y Euphobiaceae. El polen de los taxa *Piper*, *Pinus*, *Fraxinus*, Mimosoideae, Leguminosae, *Fraxinus*, *Quercus*, *Celtis*, *Alnus*, Mimosoideae, Ulmaceae, Onagraceae y Graminae se encuentran fuertemente relacionados con valores altos en COT, indicando una alta cobertura arbórea, mas diversidad biológica y el establecimiento de plantas herbáceas así como mayor humedad y un clima semicalido pues la presencia de los elementos tropicales aumentaron en este periodo. Las especies dispersas junto con la Susceptibilidad Magnética (χ); son horizontes coincidentes con cenizas volcánicas.

8.4 El Invernadero

Esta columna en la base fue de 34 500 años A. P., esta trinchera considerada la más reciente por la presencia de cerámica y en el caso del polen elementos de cultivos como Maíz y Calabaza, sin embargo debido a que la ubicación en los sedimentos de la presencia de Maíz y edad obtenida no coinciden pudiendo inferir que la trinchera completa tiene un retrabajamiento, que Soria, 2010 y Ortega *et. al.*, 2002 reportan en su análisis estratigráfico principalmente. También existen mezclas de los sedimentos con ceniza volcánica negra dispersa y pequeños clastos de carbonatos; presenta un contenido moderado de cuarzo, y no se registró la existencia de organismos como ostrácodos y gasterópodos pulmonados. Las capas inferiores muestran abundante contenido de diatomeas y las intermedias de materia orgánica y carbón; mientras que en las capas superiores encontramos abundantes fragmentos de cerámica (Fig. 5). Para esta porción de la columna del invernadero Soria (2010), marca una edad que va de 30 000 años A.P a menos de 10 000 años A.P de base a superficie.

Esta trinchera a diferencia de las otras la correspondencia entre los elementos es menor, el incremento de las proporciones en la base de la columna puede indicar un alto grado de retrabajamiento, dados los niveles de mezcla de distintos materiales obtenidos en la estratigrafía, pues no solo existen más cambios en los valores si no que se mantienen en niveles elevados a través de toda la columna, indicando mayor energía en el aporte sin identificar un origen pluvial o eólico (Fig.12). En cuanto al CIT y COT también se observa un cambio en las correspondencias de valores con las relaciones del Estroncio, Calcio y Manganeso asociados a agregados de carbonatos. En la base de la columna son más importantes los valores de COT mientras que a la cima incrementan los valores de CIT. Resaltan deformaciones sinsedimentarias como microfallas indicando una alta actividad sísmica y volcánica además del efecto antropogénico (cerámica) hacia la cima de la secuencia. En la base de esta trinchera se observa el efecto de un evento volcánico de procedencia máfica en incremento de los elementos Rb, K y Zr.

En esta trinchera se encontraron 33 taxa polínicos con un total de 3694 granos de polen. Y tres tipos de vegetación, bosque templado está dominado por *Pinus* 50%, bosque tropical está dominado por *Prosopis* y Leguminosae así como la presencia de Mimosoideae. El bosque mesófilo se encontró a *Tilia*, Ulmaceae., *Taxodium*, Rhamnaceae, Leguminosae, Mimosoideae, Rubiaceae. Los elementos herbáceos dominadas por Gamianeae con 90%, seguido por Urticaceae 45%, Chenopodiaceae y Compositae; se encontró a Solanaceae, Labiateae y *Peperomia*. Los elemento de cultivo encontrado en este sitio fue el Maíz (*Zea mays*). Y en los cultivados se encontró a Cucurbitaceae pero de manera muy abundante llegando hasta los 80%. El CIT y el COT en esta ocasión se encontraron como vectores del mismo cuadraste indicando una mayor relación lo cual puede significar la procedencia u origen. Cabe señalar que en esta trinchera fue la única en la que se encontró efecto antropogénico. Estos elementos juntos marcan un periodo estable en el lago de manera que se convierte en un periodo húmedo y frio. Sin embargo debido al retrabajamiento de la trinchera no se puede asegurar que las asociaciones observadas en los indicadores sean del todo verídicas.

Ya que los factores climáticos y edáficos se combinan para determinar la distribución de las principales agrupaciones vegetales, Labat, 1992 consideró para la zona de Zacapu que la vegetación estaba dividida en nueve grupos, el Bosque de Oyamel, el Bosque de Pino, el

Bosque Mesófilo de Motaña, el Bosque de Encino, Bosque tropical caducifolio, vegetación de los derrames de lavas recientes, vegetación acuática, vegetación ruderal y Bosque espinoso. En este estudio se generó un mapa de la vegetación circundante con datos del Inventario Nacional Forestal (INF) del 2000, dentro de sus categorías ya no se encontró el Bosque de Oyam presente en las cercanías de Zacapu y que cubrían zonas altas con anterioridad. Con este estudio dentro de los puntos de verificación donde se estudio la vegetación actual, se encontraron elementos pertenecientes a zonas más húmedas como *Clethra mexicana* integrado en su mayoría a la categoría de Bosque de Pino-Encino Conservado (INF, 2000) y en ambientes mayormente húmedo uno de los factores principales que permiten entender la ecología del Bosque Mesófilo que existían en la zona, ya que las nieblas matinales que pueden durar hasta el mediodía en las zonas más altas aportan la humedad necesaria para el bosque. A menudo los remanentes que en la actualidad observamos de un bosque mesófilo cerca de la zona se encuentran en cañadas en lugares abruptos, de las barrancas.

Desde el estudio de Labat, 1992, se menciona el impacto de actividad humana en la vegetación, sin embargo en el registro polínico se observa que desde mucho antes los indicios de agricultura en la zona (Xelhuantzi-López, 1991; 1994) hace aprox. 4,500 años A.P. a la que se le sumaron otros tipos de uso de los recursos como la explotación de madera, la artesanía muy desarrollada desde el siglo XVI y la explotación de resina de las poblaciones de pino. A estas causas se les añaden la explotación de madera (ilícito). Para el 2000 la mayor parte de la zona que ya estaba impactada por los anteriores factores el pastoreo y la agricultura estaban altamente desarrollados. En la actualidad el cambio en el uso de suelo es muy alta la población de la zona a crecido y dentro de la vegetación muestreada en los puntos de verificación se observo en su mayoría vegetación secundaria alrededor de la cuenca dominado por los géneros *Acacia* y *Opuntia*.

IX. IMPLICACIONES CLIMATOLÓGICAS

Actualmente el clima del centro de México está influenciado por cuatro elementos de circulación atmosférica global: la acción de los vientos alisios, las celdas subtropicales de alta presión (Bermudas-Azores en el Atlántico y centro del Pacífico), y por la acción de los vientos del oeste. En verano, el centro de México se caracteriza por presentar una máxima precipitación ya que los vientos alisios dominan trayendo humedad desde el golfo de México y el Caribe y por el sistema monzónico que provee humedad desde el Pacífico tropical oriental a medida que la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) se desplaza hasta su posición más norteña. Por otro lado, durante el invierno, los vientos del oeste traen condiciones de humedad al extremo noroeste del país (Torres-Rodríguez, 2010). A medida que la ZITC se acerca hacia el ecuador y las celdas de alta presión subtropical (Bermudas-Azores y la del Pacífico) se extienden, condiciones de menor humedad alcanzan la mayor parte del país (Mosiño-Aleman y García, 1974; Higgs *et al.*, 1998; Metcalfe *et al.*, 2000, 2006; Metcalfe y Davies, 2007).

El efecto de este desplazamiento latitudinal de los patrones de circulación en los ambientes del centro de México, sugiere que los vientos del oeste alcanzaran posiciones más meridionales influenciando el centro occidental de México provocando un incremento en la precipitación invernal y en los niveles lacustres en el lago de Pátzcuaro localizado en el centrooccidente de México (Bradbury, 1997, 2000). Sin embargo, registros procedentes de regiones al norte y al oriente de Pátzcuaro, como Zacapu, Cuitzeo se encuentran en la región central como Chalco contrastan con el registro de Pátzcuaro, ya que indican condiciones relativamente secas alrededor del término del Pleistoceno-Tardío (Ortega *et al.*, 2002; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1994, 1998).

A consecuencia de este desplazamiento es una de las condiciones que nos pueden hacer pensar por que en la zona también nos encontramos con condiciones húmedas en este periodo al igual que en los lagos adyacentes a la zona.

X. CONCLUSIONES

En general el conjunto de datos paleoecológicos obtenidos para el lago de Zacapu durante el pleistoceno tardío para antes de los >40 000 A.P. al parecer se observan condiciones climáticas frías y un incremento breve en la humedad que en la actualidad, marcada por la vegetación, y conforme pasa el tiempo se asocia más hacia un periodo seco incrementándose el dosel de la vegetación haciéndose más abierta y con mayores elementos de Compositae y Gramineae. La sedimentación no corrobora esta asociación en el lago debido al depósito de elementos de transporte eólico, posteriormente se observa el establecimiento del bosque templado, y hacia la parte los 30 000 A.P se establece *Typha* que nos indica un tirante de agua estable en algunas zonas pantanosas y conforme el tiempo pasa se generan condiciones más húmedas permitiendo el establecimiento de un Bosque Mésófilo con la presencia de elementos como *Fraxinus*, Betulaceae, Ericaceae, Meliaceae, *Liquidambar*, *Ulmus* y Ulmaceae. Mostrando un incremento en la humedad y un ambiente templado. Posteriormente *Thypha* desaparece y los elementos del bosque templado siguen predominando sin embargo los elementos del Bosque Mesófilo continúan presentes. En esta trinchera se observan sucesivos eventos volcánicos que al observar los elementos químicos medidos nos refiere a un evento que se encuentra fuera de la zona en esta época. Hacia la fase más reciente se mostro un alto grado de disturbio antropogénico en la muestras medidas, que se observa desde la estratigrafía hasta en el diagrama polínico obtenido por lo tanto se considera la zona más reciente, presencia de cerámica y evidencia de actividad agrícola, sin embargo la secuencia no es clara y la presencia de Maíz cultivado a mediados de la trinchera en conjunto con una fecha de 34 500 A.P. y evidencia de tumba rosa y quema en casi el mismo nivel indica el alto grado de disturbio en esta fase más reciente.

Y por ultimo en la vegetación actual se muestran cambios por disturbio antropogénico (Ganado y Agricultura) en tan solo 10 años, mostrando que existen cambios relevantes en tiempos relativamente cortos.

Anexo 1. Método para la obtención de granos para sedimento

- 1.- Poner 10ml de Acido clorhídrico al 10% (HCL) en tubos marcados previamente.
- 2.- Colocar 2 capsulas de Lycopodium en los tubos, esperar a que termine la efervescencia.
- 3.- Colocar el sedimento (1 cm³).
- 4.- Poner a hervir 10 min las muestras en el HCL.
- 5.- Centrifugar 5 min y decantar el HCL.
- 6.- Enjuagar tres veces con agua.
- 7.- Colocar 10ml de Hidróxido de potasio al 5% (KOH) y hervir 20 min las muestras.
- 8.- Centrifugar y decantar el KOH.
- 9.- Enjuagar con agua una vez y tamizar (Tamices 120 y 35 µm).
- 10.- Enjuagar 2 veces con agua.
- 11.- Colocar 5ml de Acido Fluorhídrico (HF) a cada muestra y dejarlo por una noche.
- 12.- Centrifugar y decantar el HF.
- 13.- Colocar 10ml de HCL y hervir 5 min.
- 14.- Centrifugar y decantar el HCL.
- 15.- Enjuagar 4 veces con agua.
- 16.- Agregar 10 ml de la *Solución de Acetólisis (Sol. Anhídrido acético – ac. Sulfúrico 9:1)*, colocarlos a baño María durante 25 minutos.
- 17.- Centrifugar y decantar
- 18.- Enjuagar 4 veces

19.- Pasar al ependor y ponerle glicerina.

Nota: Para cada paso se utiliza la misma temperatura y las mismas revoluciones por minuto (3000 rpm).

Para preparar la solución de Acetólisis: Mezclar nueve partes de *Anhídrido Acético* y posteriormente agregar *Ácido Sulfúrico H₂SO₄* (9:1) Para preparar la *Solución de Hidróxido de Potasio al 5%*: Mezclar 100 mg de *Hidróxido de Potasio* por un litro de agua.

LITERATURA CITADA

- Berglund, E. B. 2003. *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. The Blackburn press. Denmark. 869 pp.
- Bradbury, J.P., 1989, Late Quaternary lacustrine paleoenvironments in the Cuenca de Mexico: *Quaternary Science Reviews*. 8: 75-100.
- Bradbury, J.P., 1997, Sources of glacial moisture in Mesoamerica: *Quaternary International*. 43/44: 97-110.
- Bradbury, J. P. 2000. Limnologic history of Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México for the past 48,000 years: impacts of climate and man. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 163:69-95
- Burry, L. S., E. Trivi de Mandri, M. Palacio e I. Patricia. 2001. Relaciones polen-vegetación de algunos taxa de la estepa patagónica (Argentina). *Revista chilena de historia natural* 74(2):419-427.
- Caballero, M. M. 1995. *Late Quaternary Paleolimnology of Lake Chalco, The Basin of Mexico: new evidence for paleoenvironmental and paleoclimatic change in Central Mexico during the last 45,000 years*. Unpublished PhD dissertation, University of Hull, UK.
- Caballero, M. M. y B. Ortega-Guerrero. 1998. Lake levels since 40,000 ago at Chalco Lake, near Mexico City. *Quaternary Research* 50:90–106.
- Caballero, M. M., J. L. Macías, M. S. Lozano-García, J. Urrutia-Fucugauchi y B. R. Castañeda. 2001. Late Pleistocene–Holocene volcanic stratigraphy and paleoenvironments of the upper Lerma basin, Mexico. *Special Publication of the International Association of Sedimentologists* 30, 247–261.
- Caballero, M. M., B. Ortega, F. Valadéz, S. Metcalfe, J. L. Macías y Y. Sugiura. 2002. Sta. Cruz Atizapán: a 22-ka lake level record and climatic implications for the late Holocene human occupation in the upper Lerma basin, Central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186:217-235.

- Cabrera A. G., J. C. González y J. G. Ayala. 2005. Descripción física y biótica (Los Suelos). *In: La Biodiversidad de Michoacán*. Estudio de Estado. CONABIO.UMSNH. Mexico. P. 29-31.
- Carranza, E. G. 2005. Descripción física y biótica (Vegetación). *In: La Biodiversidad de Michoacán*. Estudio de Estado. CONABIO.UMSNH. Mexico. P. 21-45.
- Chappell, J. M. A. y H. Polach. 1991. Post-glacial sea-level rise from a coral record at Huon Peninsula, Papua New Guinea. *Nature*. 349: 147-149.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), (1998). "Cuencas Hidrológicas". Escala 1:250000. México.
- Colinvaux P., E. De Oliveira y E. Moreno.1999. Amazon Pollen Manual and Atlas. *Harwood academic publishers*. Amsterdam, The Netherlands. P 332.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), (1998). "Regiones Hidrológicas de México". Escala 1:1000000. México.
- De Los Ríos. 1994. 8,000 años de la cuenca de Zacapu. CEMCA. *Coleccion Etudes Mesoamericaines*.Coor. Pierre Petrequin. 69-75.
- Demant, A., J. N. Labat, D. Michelet y J. Tricart. 1992. El proyecto Michoacán 1983-1987. Medio Ambiente e Introducción a los trabajos arqueológicos. CEMCA. *Coleccion Etudes Mesoamericaines* 11-12.
- Domínguez-Vázquez G., G. A. Islebe y R. Villanueva. 2004. Modern pollen rain from the Lacandon Forest, Chiapas, México. *Review of Paleobotany and palynology* 131:105-116.
- Duellman, W.E. 1965. Biogeographic account of the herpetofauna of Michoacán, México. University Kansas Publication Museum Natural History. 15(14):627-709.
- Faegri, K. & J. Iversen. 1989. *Textbook of pollen analysis*. The Blackburn press. 4a. Ed. Denmark. 328 p.

- Fairbanks, R. G. 1989. A 17 000- year glacio-esustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Yungler Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature* 342:637-42.
- Fernández G. A. y A. Miranda V. Eds. 1998. Zacapu 450. Encuentro de un pueblo con su pasado. A 450 años de su congregación 1548-1998. H. Ayuntamiento de Zacapu. Zacapu, Mich.
- García, E. 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana)*. 2ª Ed. UNAM. 241p
- Garduño, V., H., M. 2005. Descripción física y biótica (El relieve). In: *La Biodiversidad de Michoacán*. Estudio de Estado. CONABIO.UMSNH. México. P. 32-347.
- Gotelli, N. J., Ellison, A. M. 2004. A primer of Ecological Statistics. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts U.S.A. pp510.
- Gómez-Tuena A., T. Orozco-Esquivel y L. Ferrari. 2005. *Petrogénesis Ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana*, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen Conmemorativo del Centenario. Temas Selectos de la Geología Mexicana. Tomo LVII, número 3: 227-285.
- Islebe, G., H. Hooghiemstra y K. Van Der Borg. 1995. A cooling event during the yungler Dryas Chron in Costa Rica. *Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology* 117:73-80.
- Israde-Alcántara, I., V. Garduño y R. Ortega. 2002. Paleoambiente lacustre del cuaternario tardío en el centro del lago de Cuitzeo. *Hidrobiológicas* Vol. 12, N° 001
- Israde-Alcántara, I. 2003. Lagos Michoacanos. In: *Carta Geológica de Michoacán*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 1: 250 000.

- Israde-Alcántara, I. 2005. Descripción física y biótica (Los cuerpos de agua). *In: La Biodiversidad de Michoacán*. Estudio de Estado. CONABIO. UMSNH. México. P. 32-347.
- Israde-Alcántara, I., R. Velázquez-Durán, M. Lozano-García, J. Bischoff, G. Domínguez-Vázquez y V. Garduño-Monroy. 2010. *Evolución Paleolimnológica del Lago Cuitzeo, Michoacán durante el Pleistoceno-Holoceno*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol. 62: Num3: 345-357p
- Labat J. N. Fitogeografía de la Región de Zacapu, Michoacán, México, en: D. Michelet (Ed.). 1992. El Proyecto Michoacán 1983-1987. *Centre d'Etudes Mexicaines et Centramericaines*. México, 1992, pp. 73-111.
- Lozano-García, M.S., E. Martínez. 1990. *Palinología de los Tuxtlas: Especies Arboreas*. Instituto de Biología. UNAM. Publicaciones Especiales N°3. México D.F. P. 61.
- Lozano-García, M. S., B. Ortega-Guerrero, M. Caballero, y J. Urrutia-Fucugauchi. 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco Lake. *Quaternary Research* 40:332-342.
- Lozano-García, M. S. y B. Ortega-Guerrero. 1994. Palynological and magnetic susceptibility records of Chalco Lake, Central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109:177-191.
- Lozano-García, M. S. 1996. La vegetación del Cuaternario tardío en el centro de México: registros palinológicos e implicaciones paleoclimáticas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58:113-128.
- Lozano-García, M.S. y B. Ortega-Guerrero. 1997. Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of Mexico; correlation between Texcoco and Chalco basins. *Review of Palaeobotany and Palynology* 99:77-93.

- Lozano-García, M. S. y M. S. Xelhuantzi-López. 1997. Some problems in the late quaternary pollen records of central Mexico: Basins of Mexico and Zacapu. *Quaternary International* 43/44:117-123.
- Lozano-García, M. S., B. Ortega-Guerrero. 1998. Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of Mexico. Correlation between Texcoco and Chalco basins. *Review of Palaeobotany and Palynology* 99:77-93.
- Lozano-García, M. A. S., M. Caballero, B. Ortega, A. Rodríguez y S. Sosa-Nájera. 2007. Tracing the effects of the Little Ice Age in the tropical lowlands of eastern Mesoamerica. *104- 41:16200–16203*.
- McCune, B. and J.B. Grace. 2002. Analysis of Ecological Communities. MJM Press
- Margalef, R. 1983. *Cap. 20: Sedimento, bentos profundo y paleolimnología*. In: Limnología. Ediciones Omega S. A. Barcelona, España. Pp. 919 – 926
- Medina Nava, M. 1993. *Ictiofauna de la subcuenca del río Angulo, cuenca Lerma*. Tesis profesional de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 146 p.
- Metcalfe, S. E., A. P. Street., P. Hales, R. Perrot y F. Steininger. 1989. Late Holocene human impact on lake basins in Central Mexico. *Geoarcheology* 4(2):119-141.
- Metcalfe, S. E. 1992. Changing environments of the Zacapu basin, Central Mexico: A Diatom based history spanning the last 30,000 years.
- Metcalfe, S.E., O'Hara, S.L., Caballero, M., Davies, S.J., 2000. Records of Late Pleistocene–Holocene in Mexico A review. *Quaternary Science Reviews* 19:699-721.
- Metcalfe, S.E., Davies, S.J., Braisby, Melaine, J.L., Newton, J.A., Terrett, L N., O'Hara, S.L. 2006. Long and short-term change in the Patzcuaro Basin central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 20: 1-24.

- Metcalf S. y Davies S. 2007. Deciphering recent climate change in central Mexican lake records. *Climatic Change* 83: 169-186.
- Moncayo-Estrada, R. 1996. Estructura y función de la comunidad de peces de la laguna de Zacapu, Michoacán, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur.
- Mosiño Aleman, P.A. y García E. 1974. The climate of Mexico. In: Bryson RAH, Hare FK (eds,) *Climates of North America* 2.
- Ortega B., C. Caballero, S. Lozano, I. Israde-Alcántara y G. Vilaclara. 2002. 52 000 years of environmental history in Zacapu basin, Michoacán, Mexico: the magnetic record. *Earth and Planetary Science Letters* 202:663-675.
- Palacios-Chávez R., B. Ludlow-Wiehers y R. Villanueva-G. 1991. *Flora Palinologica de la Reserva de la Biosfera de Sian KA' AA. CIQRO*. Chetumal, Quintanaroo, México. P. 321
- Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo, 2003. Decreto Administrativo mediante el cual se declara área natural protegida, con carácter de Zona de Preservación Ecológica a la “LAGUNA DE ZACAPU” y su rivera “TZACAPO TANCANEDAM”. Viernes 7 de febrero de 2003. Tomo CXXX. Núm. 24:1-5
- Pétrequin. P. (Coord.) 1994. *8000 Años de la Cuenca de Zacapu. Evolución de los paisajes y primeros desmontes*. Cuadernos de Estudios Michoacanos. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos.
- Rangel C. J., 1991. Estudio de la calidad del agua en la cuenca del río Angulo. CNA. Michoacán, México.
- Razo Pérez, N. 2007. *Caracterización y posibles aplicaciones de los yacimientos de diatomeas en la región de Cuitzeo, Michoacán, México*. Tesis de Maestría, UMSNH. 107 pp.

- Robert, G.W. 1981. El ciclo del Carbono orgánico y los Detritus. En: *Limnología*. Ediciones Omega SA, Barcelona, España. Pp. 489 – 512.
- Roberts, N. 1998. The Holocene. An environmental history. Blackwell Publishers. Oxford.
- Roy P. D, M. Caballero, R. Lozano, T. Pi y O. Morton. 2009. Lake Pleistocene-Holocene geochemical history inferred from Lake Tecocomulco sediments, Basin of Mexico, Mexico. *Geochemical Journal*. Vol. 43: 49-64
- Ruiz-Sevilla, G. 1997. *Análisis hidrodinámico de la laguna de Zacapu, Michoacán, México. Tesis de licenciatura*. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. 1978. Editorial Limusa. 330 p.
- Rzedowski, J. 1993. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. En T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, y J. Fa, editores, *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución*. Mexico. Instituto de Biología, UNAM. P. 129-149.
- Silva-Mora, L. 1979. Contribution à la connaissance de L'axe Transmexicain: etude geologique et petrologique des laves du Michoacán Oriental. PHD tesis. Universidad Aix-Marsella III.
- Sosa-Nájera, S., Lozano-García S., Roy P.D. y Caballero M. 2010. Registro de sequías históricas en el occidente de México con base en el análisis elemental de sedimentos lacustres: El caso del lago de Santa María del Oro. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 62:3. 437-451
- Soria-Caballero, C. D.2010. *Estudio Bioestratigráfico y Mineralógico de la Ciénega de Zacapu, Michoacán*. Tesis de maestría. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas departamento de Geología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 144 p
- Tooley, M. J. y I. Shennan. 1987. *Sea- level changes*. Oxford: Blackwell

- Torres-Rodríguez, E. 2010. *Evidencias de cambio climático durante el pleistoceno-holoceno en la región occidental de México a través del análisis palinológico en sedimentos del lago de Zirahuén, Michoacán*. Tesis de maestría. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 109p
- Velázquez D. R. 2003. *Evolución paleoambiental del lago de Cuitzeo durante el pleistoceno tardío: Historia de la vegetación e implicaciones paleoclimáticas*. Tesis de maestría. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas departamento de Geología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 192 p.
- Wendt, T. 1989. Las selvas de Uxpanapa, Veracruz-Oaxaca, México: evidencia de refugios florísticos cenozoicos. *Anales del Instituto de Biología, UNAM* 58:29-34.
- Xelhuantzi López, M. 1991. *Estudio palinológico y reconstrucción paleoambiental del exlago de Zacapu, Michoacán*. Tesis de Licenciatura. UNAM. Facultad de Ciencias. México; D.F. 146 p.
- Xelhuantzi López M. S. 1994 Palynologie et paleoenvironnement du bassin de Zacapu, Mich. *Méx. Geofísica Internacional*. Vol. 34. Núm. 2:239-2448