



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS
DE LA TIERRA**

**EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL EN LOS LAGOS
CRÁTER DE ATEXCAC Y ALCHICHICA, PUEBLA Y
SU RELACIÓN CON LAS MANIFESTACIONES
GEOTÉRMICAS.**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOCIENCIAS Y PLANIFICACIÓN DEL
TERRITORIO**

PRESENTA:

Ing. Raymundo Omar Santos Juárez

ASESOR:

Dra. Isabel Israde Alcántara

CO-ASESOR:

Dr. Víctor Hugo Garduño Monroy

Morelia Michoacán, Agosto 2017.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO II ANTECEDENTES	5
CAPITULO III JUSTIFICACIÓN	10
CAPITULO IV OBJETIVOS	11
4.1 OBJETIVO GENERAL	11
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
CAPITULO V CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	12
5.1 UBICACIÓN	12
5.2 MARCO GEOLOGÍCO	14
5.2.1 CRETACICO	14
5.2.2 PALEOGENO	16
5.2.3 CUATERNARIO	17
5.3 TECTONICA	21
5.4 GEOMORFOLOGÍA	23
5.5 EDAFOLOGIA	25
5.6 CLIMATOLOGIA	28
5.7 HIDROLOGÍA	30
5.8 BATIMETRIA Y MORFOMETRIA	32
5.8.1 LAGO DE ALCHICHICA	32
5.8.2 LAGO DE ATEXCAC	34
CAPITULO VI METODOLOGIA	35
6.1. PERFORACIÓN DE NÚCLEOS.	35
6.2 TRABAJO DE LABORATORIO	37
6.3 DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA	38
6.3.1 DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA	38
6.4 PREPARACIÓN DE FROTIS	39
6.5 PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE DIATOMEAS	40
6.6 ANÁLISIS GEOQUÍMICOS Y MINERALÓGICOS	42
6.6.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.	42
6.6.2 ESPECTROMETRÍA INFRARROJA	43
6.7. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.	45

6.8. SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	47
CAPITULO VII RESULTADOS	48
7.1 ESTRATIGRAFÍA	48
7.1.1 ALCHI-II ZONA I (153 cm – 24 cm)	49
7.1.2 ALCHI-II ZONA II (24 cm- 0cm)	51
7.1.3 ALCHI-I ZONA I (60cm – 24.5 cm)	53
7.1.4 ALCHI-I ZONA II (24.5 cm – 18.5 cm)	54
7.1.5 ALCHI-II ZONA III (18.5 cm– 0 cm)	55
7.1.6 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA AFLORAMIENTO Y NÚCLEO DE ATEXCAC	56
7.1.7 AFLORAMIENTO ATEXCAC (150 cm)	57
7.1.8 ATX II ZONA I (110- 90cm)	58
7.1.9 ATX-II ZONA II (90 - 42cm)	59
7.1.10 ATX-II ZONA III (42 - 0cm)	60
7.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).	61
7.2.1 NÚCLEO ALCHI – I 60cm	61
7.2.2 NÚCLEO ALCHI- II 153 cm	63
7.2.3 AFLORAMIENTO ATX – I 150 cm.	65
7.2.4 Núcleo ATX – II 110 cm.	67
7.3 ESPECTROMETRÍA INFRARROJA	69
7.4 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	71
7.4.1 NÚCLEO ALCHI - I	71
7.4.2 NÚCLEO ALCHI - II	73
7.4.3 AFLORAMIENTO ATX - I	75
7.4.5 NÚCLEO ATX-I	77
7.4.6 NÚCLEO ATX-II	77
7.5 TAXONOMÍA DE DIATOMEAS	79
7.6 POLEN	86
7.7 GRANULOMETRÍA	88
7.7.1 NÚCLEO ALCHI – I	88
7.7.2 NÚCLEO ALCHI – II	91
7.7.3 AFLORAMIENTO ATX – I	93
7.7.4 NÚCLEO ATX – II	96
CAPITULO VIII DISCUSIÓN	98
CAPITULO IX CONCLUSIONES	114
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	117

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio	12
Figura 2. Mapa geomorfológico	24
Figura 3. Mapa edafológico	27
Figura 4. Mapa climatológico	29
Figura 5. Mapa hidrológico	31
Figura 6. Mapa batimétrico del lago de Alchichica	33
Figura 7. Mapa batimétrico del lago de Atexcac	34
Figura 8. Sitios de perforación y perforación de los núcleos	36
Figura 9. Núcleo abierto del lago de Atexcac para realizar la descripción Macroscópica.	37
Figura 10. Frotis (Smear Slides)	39
Figura 11. Preparación de láminas de diatomeas.	41
Figura 12. Difractómetro Mod. D8 Advance Da Vinci	42
Figura 13. Espectrómetro de infrarrojo (Tensor 27) y prensa	44
Figura 14. Proceso de tamizado del sedimento.	46
Figura 15. Equipo de Bartington, de un medidor modelo MS2, y sensor de anillo modelo (MS2C)	47
Figura 16. Columnas estratigráficas de los lagos Alchichicay Atexcac	48
Figura 17. Columna estratigráfica. ALCHI-II Zona I	50
Figura 18. Columna estratigráfica. ALCHI-II Zona II	52
Figura 19. Columna estratigráfica ALCHI-I Zona III	53
Figura 20. Columna estratigráfica ALCHI-I Zona III	54
Figura 21. Columna estratigráfica ALCHI-II ZONA III	55
Figura 23. Columna estratigráfica Afloramiento ATX I	57
Figura 24. Columna estratigráfica ATX -II Zona I	58
Figura 25. Columna estratigráfica ATX-II Zona II	59
Figura 26. Columna estratigráfica ATX-II Zona III	60
Figura 27. Difractogramas del núcleo ALCHI -I	62
Figura 28. Difractogramas del núcleo ALCHI -II	64
Figura 29. Difractogramas del afloramiento ATX - I	66

Figura 30. Difractogramas del núcleo ATX– II	68
Figura 31. Espectrómetro de infrarrojo del núcleo ALCHI –I	69
Figura 32. Espectrómetro de infrarrojo del núcleo ALCHI-II.	70
Figura 33. Grafica de susceptibilidad magnética del núcleo AICHI- I	72
Figura 34. Grafica de susceptibilidad magnética del núcleo AICHI- II.	74
Figura 35. Grafica de susceptibilidad magnética del afloramiento ATX - I	76
Figura 36. Grafica de susceptibilidad magnética del núcleo ATX- II.	78
Figura 37. Grafica taxonómica de diatomeas del afloramiento ATX-I	83
Figura 38. Imágenes de diatomeas a 40x	84
Figura 39. Fotografías de taxones de diatomeas a 40x.	85
Figura 40. Tabla taxonómica de pollen del núcleo ATX – II	87
Figura 41. Histogramas Granulometricos del núcleo ALCHI – I.	90
Figura 42. Histogramas Granulometricos del núcleo ALCHI – II.	92
Figura 43. Histogramas Granulometricos del afloramiento ATX – I	95
Figura 44. Histogramas Granulometricos del núcleo ATX – II	97
Figura 45. Correlación estratigráfica, susceptibilidad magnética y taxonomía de diatomeas del afloramiento ATX- I	102
Figura 46. Registros centro de México- incompletos por erosión o hiatus	104
Figura 47. Correlación estratigráfica, susceptibilidad magnética y pollen del Núcleo ATX- II	106
Figura 48. Correlación estratigráfica y susceptibilidad magnética del núcleo ALCHI - I	108
Figura 49. Correlación estratigráfica y susceptibilidad magnética del núcleo ALCHI -II	110
Figura 50. Caracterización de algunos de las cuencas más importantes del país	112

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, especialmente al Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra donde realicé el proyecto de investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT**) por la beca otorgada durante el período de dos años 2015-2017.

A la **Dra. Isabel Israde Alcántara** y al **CeMIEGeo** por haberme dado la oportunidad y privilegio de trabajar en su proyecto y bajo su asesoría. A mis sinodales **Dr. Víctor Hugo Garduño Monroy, Dr. Gabriel Vázquez Castro, Dr. Mikhail Ostrooumov, Dra. Gabriela Domínguez Vázquez** y el **Dr. Orlando Miguel Espinoza Ojeda**. A mis profesores del posgrado por compartir conmigo sus conocimientos para contribuir a mi formación. A la **Dra. Erna Martha López Granados** por su asesoría y palabras de aliento en los momentos más difíciles. A las técnicas Remedios Cisneros y Victoria Luke, por la disponibilidad y ayuda para el procesamiento de muestras.

A mis padres y mis hermanas mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo y comprensión en los momentos difíciles. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida, por compartir mis penas y mis alegrías, mis pequeñas victorias y mis dolorosos fracasos, siempre recibiendo de ustedes la palabra de aliento que me dio la fuerza para seguir luchando. Hoy me dispongo a conquistar nuevas metas y a lograr mi realización personal. A Dios y a ustedes debo este logro y con ustedes lo comparto.

A mis amigos y compañeros del posgrado. Pero muy especialmente al **Ing. Mariano Vargas Ruiz, Biol. Mónica Violeta Juárez, Geol. Rosa Lilia Dorantes y M.C. Luis Matilde García** por estar en los momentos buenos y malos.

Con todo cariño:

Ing. Raymundo Omar Santos Juárez

RESUMEN

Los lagos cráter de Atexcac y Alchichica se encuentran en la parte central de la cuenca lacustre Serdán – Oriental en el Este de Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), como parte de un campo monogenético disperso y aislado que consiste en aparatos volcánicos tipo maar, conos de ceniza basáltica y domos riolíticos.

Se extrajeron tres núcleos cortos de ambos lagos con el propósito de detectar evidencias de actividad hidrotermal, la evolución paleoambiental y de reconstruir la actividad volcánica de este sector del CVTM.

Desde el punto de vista estratigráfico se distinguieron estratos finos limo arcillosos y limo arenosos, describiendo lagos con sedimentación tranquila, por otro lado se detectaron proxies, de origen mineralógico y biógeno que fueron sujetos a análisis de métodos modernos de mineralogía y microscopia detallada respectivamente. La mineralogía con base en DRX y Microscopia infrarroja destacan minerales característicos de actividad hidrotermal; como Aragonito, Hidromagnesita, Calcita, Magnetita, Cristobalita, Quintinita y Halita.

En los sedimentos del Lago de Atexcac las diatomeas exhiben buena preservación, pudiendo identificarse especies como *Cocconeis placentula*, *Entomoneis alata*, *Epithemia adnata* y *Navícula trivialis* entre otras, lo que sugiere un bajo tirante de agua y alta concentración iónica durante su depósito. Alchichica por el contrario no presenta contenido de diatomeas, por lo que se infiere una alta alcalinidad en el agua que produjo disolución de la frústulas.

Existe una estrecha relación hidrológica entre el acuífero regional somero y los lagos cráter, los niveles de agua en ellos está entre 2320 msnm, mientras que el nivel del acuífero oscila entre 2290 y 2370 msnm es por ello que en toda la cuenca encontraremos el intercambio de minerales provenientes de zonas hidrotermales activas.

Palabras clave: Serdán- Oriental, Aragonito, Hidromagnesita, Hidrotermal y *Entomoneis alata*.

ABSTRACT

The crater lakes of Atexcac and Alchichica are found in the central part of the Serdán - Oriental lacustrine basin in the East of the Trans - Mexican Volcanic Belt (CVTM), as part of a dispersed and isolated monogenetic field consisting of volcanic maars, basaltic ash cones and rhyolitic domes.

Three short cores were extracted from both lakes in order to detect evidences of hydrothermal activity and to reconstruct the paleoenvironmental and volcanic activity of this sector of the CVTM.

From the stratigraphic point of view, were distinguished silty fine strata and sandy silts, describing lakes with quiet and low energy sedimentation. On the other hand were detected, mineralogical and biological proxies that were subject to analysis of modern methods of mineralogy and detailed microscopy, respectively.

The mineralogy based on XRD and Infrared Microscopy highlight minerals characteristic of hydrothermal activity; such as Aragonite, Hydromagnesite, Calcite, Magnetite, Cristobalite, Quintinita and Halite.

In the sediments of Lake Atexcac the diatoms exhibit good preservation, being able to identify species such as *Cocconeis placentula*, *Entomoneis alata*, (no reported previously), *Epithemia adnata* and *Navicula Trivialis* among others, suggesting a low water level and some ionic concentration during its deposition. Alchichica, on the other hand, does not contain diatom content, so a high alkalinity is inferred in the water that produced the solution of the frustules.

There is a close hydrological relationship between shallow regional aquifer and crater lakes, the water levels in them are between 2320 masl, while the aquifer level oscillates between 2,290 and 2,370 masl, as consequence along the basin we will find the minerals exchange from active hydrothermal zones.

Keywords: Serdán- Oriental, Aragonite, Hydromagnesite, Hydrothermal and *Entomoneis alata*.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La existencia y formación de los lagos depende de una gran variedad de procesos que pueden ser divididos de acuerdo a: la naturaleza general del cuerpo de agua y el proceso responsable de su formación. Algunos autores como Welch (1952), Wetzel (1975), Hutchinson (1975), Reid y Wood (1976), propusieron una clasificación conforme a la génesis de los mismos. Los lagos donde se realizó este trabajo pertenecen al grupo de los formados por actividad volcánica, con base en la clasificación de Hutchinson (1975).

A nivel mundial se han reportado en la literatura numerosos lagos tipo “maars”, como son los lagos de Nemi y Averno en Italia; Pulvermaar en Alemania; Viti, Graenavatn y Geststdvatn en Islandia; Tikitapu en Nueva Zelanda y el lago de Bishoftu en Africa (Baxter y Wood, 1965), etc.

En México existen lagos tipo maars estudiados como los que se encuentran en las cercanías de Valle de Santiago La Alberca y Parangueo, en el estado de Guanajuato.

Además se cuenta con numerosos lagos cratéricos resaltando en Michoacán (Ortega et al, 2002) el lago cráter “La Alberca” de Tacámbaro y los lagos cráter de la Cuenca de Oriental en el Estado de Puebla

El vulcanismo del CVLD, tectonismo compresivo y distensivo, en la zona de estudio, han jugado un papel fundamental en el desarrollo del paisaje, pero también, debe de tomarse en cuenta los fenómenos naturales relacionados con el clima, la biodiversidad y la acción humana.

La mayor parte de la información paleoambiental del centro de México procede de las cuencas lacustres (Metcalf et al., 1995). Estos sitios son ideales para estudiar los efectos geológicos y cambios ambientales, ya que los sedimentos depositados en sus fondos registran las características del ambiente del lago y sus alrededores. Cada capa de sedimentos que se depositan en el fondo de un lago es

producto de una combinación de eventos climáticos y geológicos que almacena parte de la historia de la zona circundante. Mediante la perforación y extracción de núcleos en los lagos, de sedimentos se puede tener acceso a todos los datos que quedaron grabados a través de la geoquímica de ellos, la granulometría o bien los contenidos de microflora y microfauna

En estos sistemas deposicionales, al ser muy sensibles a los cambios ambientales, se conservan las evidencias de los procesos sedimentarios derivados de factores exógenos como el clima, y procesos como la erosión, el intemperismo, la evolución de la biota, etc. y factores endógenos como el tectonismo, volcanismo, la variación del campo geomagnético, los procesos hidrotermales, entre otros. En ellos se archiva además, el registro de los procesos internos del sistema lacustre, como la producción primaria, cambios en la química del agua, diagénesis, etc. Los lagos tienen generalmente tasas de sedimentación lo suficientemente altas como para registrar cambios paleoclimáticos, paleoambientales y paleoecológicos, con alta resolución temporal.

En México, son de gran interés los sistemas lacustres de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM); su formación y evolución durante el Cenozoico, condujo al desarrollo de extensas cuencas sedimentarias, como la cuenca de México, donde se formaron importantes sistemas lacustres.

Las características físicas de los materiales depositados incluyen parámetros como el tamaño del grano, así como la composición y la disposición geométrica de los estratos estructuras primarias, al momento de la deposición. Todos estos dependen estrictamente de las condiciones ambientales en las que se depositan y las características de las emisiones volcánicas.

En este trabajo se presenta la caracterización estratigráfica para una secuencia lacustre de la cuenca Libres Oriental. Con los resultados de los análisis paleomagnéticos y fechamientos por ^{14}C , se determinó la edad del establecimiento de los distintos marcadores de actividad geotérmica.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

La región de los lagos cratéricos de Libres Oriental ha sido estudiada desde distintas disciplinas iniciando por la caracterización limnológica, específicamente la batimétrica y morfométrica (**Arredondo et al. (1983)**). Los datos se obtuvieron a partir de fotografías aéreas, mapas de contorno y observaciones de campo. De los mapas batimétricos se estimó un total de 14 parámetros morfométricos. Los resultados indican que los lagos volcánicos de la cuenca de oriental presentan una forma externa que varía de circular a elipsoidal. De acuerdo con los valores de los parámetros morfométricos, los lagos volcánicos de Puebla corresponden a lagos maars incluidos en el tipo 11 de la clasificación de Hutchinson (1975).

Cinco años después desarrollaron un estudio de las variables físico-químicas del agua y de los sedimentos y se analizan las relaciones que tienen estas variables con la composición florística de hidrófitas y con la producción de biomasa de las especies más abundantes (Limnología-botánica). Los datos de concentración de los iones más abundantes se usaron para calcular la densidad del agua en estos lagos a partir del volumen equivalente aparente (**Ramírez García et al. (1988)**). El estado de los iones más abundantes en los lagos ha sido analizado usando el modelo del par iónico para las interacciones iónicas. Se ha comparado la composición iónica del agua de los lagos cráter, con la del agua de mar y con la de los lagos Zempoala (México) y Tanganica (África). Los iones más abundantes se analizaron mediante la comparación de la especiación de los solutos iónicos, obteniéndose que el carbonato de magnesio es el más abundante en todos los lagos. Se usó el análisis de clasificación para conocer la interrelación que guardan estos lagos entre sí, utilizando las variables físico-químicas del agua y del sedimento, y la producción de biomasa, así como la composición florística de hidrófitas de cada lago. Los análisis forman tres grupos de dos lagos cada uno: 1) Alchichica y Atexcac, 2) La Preciosa y Quechulac y 3) Aljojuca y Tecuitlapa. A través del análisis de correlación de Pearson se buscó establecer los patrones de interrelación entre las variables físico-

químicas y la producción de biomasa. Se encontró, en la mayoría de los lagos, que son los carbonatos el eje de las mayores correlaciones con las demás variables, y que la producción de biomasa se ve afectada, principalmente, por las variables de sedimento como la textura.

En el centro de México las variaciones interanuales en el clima pueden modificar el comportamiento de mezcla-estratificación de los lagos, reflejándose a veces en los sedimentos que se acumulan año con año en sus fondos, sobrepuesto a las tendencias de cambio climático de mayor duración, **Caballero et al. (2003)**, presenta datos preliminares de una evaluación del potencial de los sedimentos del lago de Alchichica para registrar cambios climáticos en un núcleo de 168 cm de longitud (Alchi-III) recuperado de la orilla NE del lago. Analizando diatomeas, calcinación y pigmentos totales, la concentración de pigmentos totales resultó ser un indicador paleoambiental pobre, dado que se pierde el contenido de pigmentos en los sedimentos por debajo de 56 cm, indicando que la concentración depende de procesos de degradación. La preservación de diatomeas fue pobre, limitada a los 44 cm superiores. La alta alcalinidad y pH de este lago parece favorecer la disolución de sílice de las diatomeas, limitando el potencial de este lago para estudios paleolimnológicos. El conjunto de diatomeas de los 44 cm superiores indica que el lago ha sido un sistema alcalino-subsalino durante el pasado reciente (últimos ca. 300 años), con una disminución muy reciente del nivel lacustre. La diatomea *Cyclotella alchichicana* se encontró desde la superficie (Epilimnion) hasta aguas profundas (Hypolimnion), y durante todo el año. *C. alchichicana* fue abundante durante el período de mezcla del lago y distribuido a través de la columna de agua. A partir de entonces, durante el período de estratificación, *c. alchichicana* permaneció en números bajos y sobre todo en el metalimnion como parte del DCM (máximo clorofila profundo).

Es relevante indagar sobre la naturaleza de los cambios ambientales ocurridos durante el UMG porque representa un estado del clima global dramáticamente diferente al actual, que mantuvo un relativo equilibrio durante varios milenios, y por ello puede servir para evaluar la sensibilidad de la respuesta de los

sistemas ambientales a condiciones climáticas extremas y definir los mecanismos responsables del cambio climático **Caballero et al, (2010)** presenta una revisión de la información disponible sobre historia glacial, cambios en los niveles lacustres y datos sobre paleovegetación del Pleistoceno tardío de varios volcanes y cuencas localizadas en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), permitiendo establecer el estado del conocimiento sobre el cambio climático durante el último máximo glacial (UMG) en el centro de México. Los datos se presentan en cuatro ventanas de tiempo: Glacial Temprano (GTM): 25000–22000 cal AP; Último Máximo Glacial (UMG): 22000–18000 cal AP; Glacial Tardío (GTA): 18000–15000 cal AP y Glacial Terminal (GTE): 15000–12000 cal AP.

Las evaluaciones enfocadas a la actividad geotérmica han sido realizadas por **Romero Ríos et al. (1985)**, donde se reportan las actividades exploratorias previas efectuadas en la zona geotérmica de las Derrumbadas, complementadas con levantamientos y estudios de campo incluyendo geología, estratigrafía, estudios geofísicos, geoquímicos e hidrológicos. Esta compilación fue llevada a cabo dada la presencia en el domo sur de manifestaciones termales tipo fumarolas en el domo sur, cuyas temperaturas en la cima del mismo (3400 msnm) son de 58° a 76° y en la base poniente, ex hacienda La Ventana (2500 msnm), de 4° a 52°, provocando en el área que afloran las manifestaciones superficiales de alteración hidrotermal (Caolinización y depósitos de sílice).

Carrasco Nuñez et al. (2004) caracterizan las unidades litoestratigráficas del cráter de Atexcac dividiéndolas en tres secuencias principales; unidades pre-maar, maar y post-maar. Las unidades de la roca pre- maar del cráter Atexcac están divididas en rocas sedimentarias regionales de la edad Mesozoica y rocas volcánicas de la edad de Pleistoceno, en la base de esta unidad se observan calizas mesozoicas plegadas, le sobreyacen flujos de lava basáltica, una unidad de cono de ceniza, depósitos de toba cafés cubiertas por una toba riolítica rica en pómez. Esta secuencia le sobreyacen depósitos de tipo oleadas piroclásticas de aproximadamente 60 m coronando a esta columna observamos una sucencia post-maar de brecha de obsidiana. En un estudio posterior más detallado del

axalapasco Atexcac (**López- Rojas et al. 2015**). Definieron seis tipos de facies basadas en variaciones de tamaño de grano, la composición y las estructuras deposicionales. Las facies deposicionales definidas en este estudio indica que el cráter del Axalapasco fue formado a través de explosiones freatomagmática, freáticas y magmáticas que ocurrieron en diferentes sitios de explosión. Fluctuaciones en la disponibilidad de agua subterránea de un acuífero local, permitieron la interacción intermitente con inyecciones periódicas de cuerpos de magma ascendentes que resultaron en explosiones con diferentes grados de eficiencia en la fragmentación. En algunos casos, la disponibilidad de agua subterránea fue casi nula, produciendo únicamente explosiones magmáticas. Acompañadas por bloques basálticos de diferentes composiciones. Las composiciones y direcciones de los bloques balísticos muestreados permitieron definir al menos tres etapas de explosivas que muestran amplias zonas de localización de los focos eruptivos dentro del cráter sugieren la migración y alternancia, y en algunas ocasiones simultaneidad de focos explosivos que originaron la morfología alargadas e irregulares del cráter actual.

El Complejo Volcánico de Las Derrumbadas (CVLD) fue objeto de estudio en la década de los 80's por parte de la Gerencia de Estudios Geotermoeléctricos de la CFE, sin embargo los estudios no contaron con la elaboración de una cartografía geológica detallada del área que apoyara a una mejor comprensión de la evolución volcánica **Dávalos Pérez Vélez (2016)**, caracterizó la zona del complejo volcánico de las Derrumbadas, (Puebla) como base para la evaluación del potencial geotérmico en el CEMIE-GeO. El basamento del complejo se conforma por formaciones carbonatadas distribuidas en la zona de estudio y sus alrededores. El contexto volcánico comienza con actividad magmática básica con una edad de 330 mil años continuando una actividad básica intermedia compuesta por conos cineríticos, conos piroclásticos y anillos piroclásticos, volviéndose ácida hace 4.7 mil años representada por los domos principales. Asociados a estos se presentaron una serie de eventos volcanoclásticos que han dado lugar a la mayor parte de la morfología del área. La actividad volcánica termina con un vulcanismo básico. Tomando en cuenta las edades de los domos riolíticos, los granates alojados en el

Domo Sur representativos de temperaturas mayores a 300 ° C y la reactivación magmática básica posterior, son indicadores de que en el CVLD existe potencial geotérmico.

En el mismo año **Guzmán Cervantes (2016)**, se enfocó en demostrar el potencial geotérmico de Las Derrumbadas a través de un análisis morfológico-morfométrico en el cual se identifiquen rasgos del relieve que evidencien su actividad geotérmica tales como zonas de alteración, erosión diferencial, fenómenos de colapso, etc., rasgos que al quedar plasmados en la morfología evidencian la evolución geológica de un lugar. Entre los aspectos más relevantes destacan los colapsos volcánicos en el domo Sur los cuales aparentemente no se encuentran asociados a lineamientos tectónicos visibles, estos colapsos presentan en sus depósitos fragmentos de coloraciones rojizas de alteración y cárcavas profundas resultado de erosión diferencial y la interacción fluido hidrotermal-roca, características que definen al domo sur como una zona de interés geotérmico.

Se observa, que no existen estudios que establezcan un modelo geológico completo para los lagos cratéricos, y de los sedimentos depositados en los lagos, es por ello que esta investigación se basa en marcadores mineralógicos basados en técnicas modernas de análisis de los sedimentos y diatomeas para entender la transición Pleistoceno Holoceno en un lago no estudiado a detalle previamente.

CAPITULO III

JUSTIFICACIÓN

A través del proyecto multidisciplinario Las Derrumbadas, que es desarrollado entre el CEMIEGEO y la UMSNH, se propuso encontrar evidencias de actividad geotérmica antigua y reciente en dos lagos cratéricos a través de análisis paleolimnológicos. La zona geotérmica de Las Derrumbadas incluye los lagos cráter de Atexcac y Alchichica y por medio del análisis de núcleos de sedimentos extraídos en ambos cráteres con longitudes de 110, 150 y 60 cm se pretende entenderlos eventos paleolimnológicos..

Los núcleos extraídos de la cuenca Libres Oriental brindan una oportunidad para analizar la presencia de marcadores geotérmicos así como la historia deposicional de los lagos de Atexcac y Alchichica.

La caracterización estratigráfica, mineralógica y bioestratigráfica de la secuencia lacustre que se presenta en este trabajo permite, ampliar el conocimiento que se tiene sobre los marcadores geotérmicos en lagos cratéricos del Oriente de México, e identificar los eventos geológicos registrados en los sedimentos de los dos lagos como son; cambios climáticos, actividad volcánica y la actividad geotérmica.

CAPITULO IV

OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Conocer la estratigrafía y facies sedimentarias mediante proxies de los lagos cratéricos por medio de la extracción de un núcleo en Atexcac y dos en Alchichica así como encontrar evidencias, de la actividad geotérmica en la región de Las Derrumbadas

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Identificar y describir facies sedimentarias de los dos lagos utilizando las características macroscópicas (color, textura, estructuras sedimentarias) y microscópicas (componentes clásticos, bioclásticos y químicos, materia orgánica y carbonatos) como referencia
- ✓ Identificar marcadores de actividad geotérmica en los sedimentos que incluye análisis (mineralógicos, geoquímicos, etc.)

CAPITULO V

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1 UBICACIÓN

La cuenca Libres - Oriental se encuentra ubicada entre los paralelos $18^{\circ}57'$ Oeste y los meridianos $19^{\circ}44'$ de latitud Norte, en la zona tropical del país. Presenta altitudes que van desde los 2,300 msnm en la mayor parte de la superficie de la cuenca, hasta los 4,461 msnm en La Malinche, 4,250 msnm en el Cofre de Perote y 5,610 msnm en el Pico de Orizaba (Fig. 1).

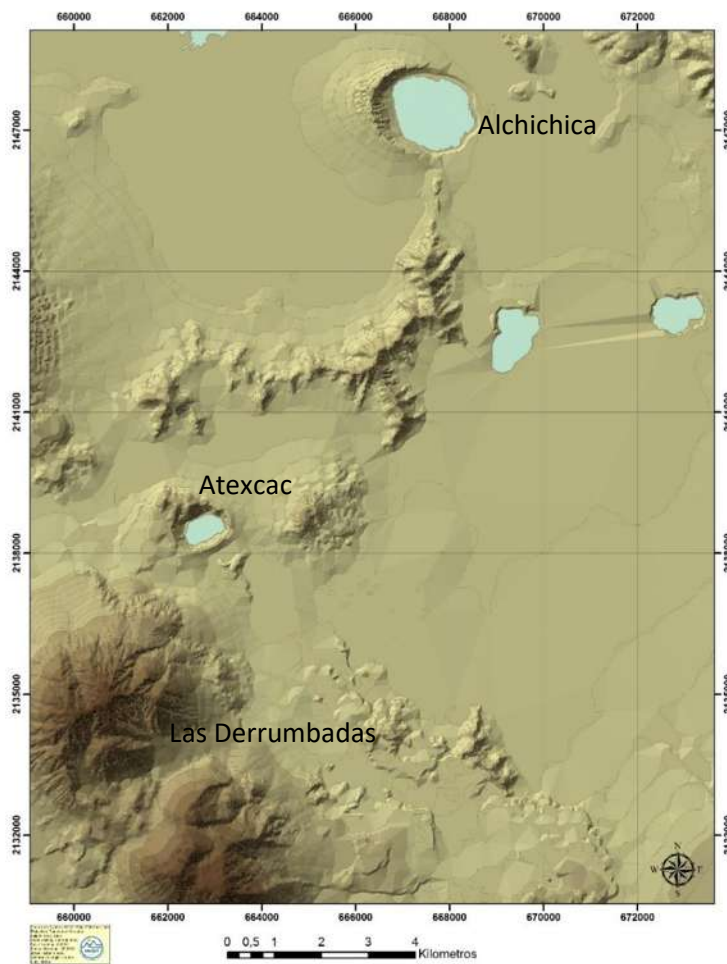


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio resaltando los lagos Cráter de Atexcac y Alchichica.

La Cuenca Libres - Oriental forma parte de la provincia Lagos y Volcanes del Anáhuac, que a su vez se encuentra incluida dentro de la Faja Volcánica Transmexicana.

En la Cuenca Oriental destacan dos de los estrato-volcanes más altos del país, el Pico de Orizaba o Citlaltépetl y La Malinche y dos lagos someros Tepeyahualco y Totolcingo, producto del afloramiento del acuífero subterráneo y de las precipitaciones pluviales (Cruickshank, 1992).

También se presentan como un rasgo característico de la cuenca, seis conos de explosión freática o freatomagmática cuyo fondo está ocupado por agua, que reciben el nombre local de axalapascos; éstos son los lagos-cráter (maars) Alchichica, Quechulac, Atexcac, La Preciosa (Las Minas), Aljojuca y Tecuitlapa. La alimentación de estos lagos es similar a la de los lagos Tepeyahualco y Totolcingo (Álvarez, 1950 y Cruickshank, 1992).

Estos elementos fisiográficos se encuentran inmersos en una amplia planicie que es el resultado del sepultamiento de pliegues en rocas marinas del Mesozoico por la acumulación de rocas volcánicas, derrames lávicos y una enorme cantidad de sedimentos piroclásticos (Gasca, 1981). De acuerdo con lo anterior y con base en la regionalización territorial de la cuenca, se presentan cuatro geoformas dominantes: sierras, lomeríos, llanuras y valles.

Se encuentra material aluvial del Cuaternario originado por la acción fluvial y corresponde a suelos poco consolidados de arena gruesa ligeramente gravosa, compuestos por vidrio volcánico, feldespatos, micas y fragmentos de roca (SPP/INEGI, 1984).

5.2 MARCO GEOLOGÍCO

Las rocas que afloran en la región son sedimentarias, ígneas (Extrusivas e Intrusivas) y metamórficas con edades que varían desde el Cretácico inferior al reciente (Fig.1.1).

5.2.1 CRETACICO

Las rocas sedimentarias pertenecientes a este sistema fueron cartografiadas en nueve unidades litoestratigráficas, las cuales una corresponde al Cretácico Inferior, dos al Cretácico Medio y seis al Cretácico superior.

Formación Tamaulipas Inferior (Kti)

En la región está constituida por calizas de color crema con estratos de unos 50 cm de espesor, con bandas y nódulos de pedernal negro. Aflora a 22 Km al Noreste de los domos y se encuentra subyaciendo a la Formación Tamaulipas Superior, en la prolongación al sureste del anticlinal recostado de Yolotepec. A esta formación se le han medido hasta 300m (Baltazar, 1982).

Formación Tamaulipas Superior (Kts)

En el área está constituida por calizas ligeramente arcillosas con estratificación en general delgada a mediana, con espesores en los estratos de 0.5 a 1 m. entre los planos de estratificación se encuentran nódulos o bandas irregulares de pedernal que varían de 0.10 a 0.30 m de espesor.

Esta formación aflora 22 km al NE de los domos, en donde se encuentra sobreyaciendo a la formación Tamaulipas Inferior; también aflora 10 Km al NE de los domos, en la sierra de Techachalco, en donde se encuentra plegada y subyaciendo a la Formación Agua Nueva. En general se le han medido 250 m de espesor dato estimado por el intenso plegamiento.

Formación Orizaba (Kor)

Se trata de calizas de tipo arrecifal con abundante fauna bentónica correspondiendo en el área a un cambio de facies con los sedimentos de la cuenca de la Formación Tamaulipas Superior. Se presenta en forma masiva, formando grandes bancos con abundantes megafósiles tales como caprinidos, gasterópodos (Turritelas), corales y fragmentos de pelecípodos. Aflora 8 Km al SSE del domo sur, en la sierra de Tepetitlan, parte norte de la sierra de Tlachichuca y una porción de la Sierra de La Ventana. (Baltazar, 1982)

Formación Guzmantla (Kgz)

Esta formación está representada por calizas microcristalizadas. Algunas capas gradúan a calcarenita con abundante contenido de micro y macro fauna (Salazar, 1969). En el área de estudio se presentan como una calcarenita biogena en capas potentes que varían de 0.40 a 2.20 m (Yáñez y Casique, 1980).

Formación Maltrata (Kmt)

Está representada por calizas arcillosas en capas delgadas a medianas que varían de 0.15 a 0.40m de espesor, con intercalaciones muy delgadas de margas y lutitas arenosas. Aflora 20 km al SO de Las Derrumbadas, al pie sur del volcán Malpaís (San Salvador El Seco).

Formación Agua Nueva (Kan)

Está constituida por calizas arcillosas en capas de 0.1 a 0.40 m, con abundancia de lentes, bandas y nódulos de pedernal de varios tamaños. Contiene intercalaciones delgadas de arcillas bentonítica (Yáñez y Casique, 1980). Aflora al NO del domo norte (en donde prácticamente esta transformada en mármol), en las inmediaciones del axalapasco de Atexcac, al oriente de San José Alchichica y en la Sierra de Techachalco en donde tiene un espesor aproximado de (Baltazar, 1982).

Formación San Felipe (Ksf)

Está caracterizada por calizas arcillosas microcristalinas, bentoníticas, compactas y fracturadas en capas de 0.2 a 0.40 m, de 0.40 a 0.80 m y en capas más potentes de 1.5 a 2m de espesor (Baltazar, 1982) Aflora en la Sierra de Techachalco, en donde se observa un espesor estimado de 200m.

Formación Méndez (Km)

Se trata de margas semicompactas con intercalaciones de cuerpos arcillosos bentónicos de 0.5, 0.10 y 0.30 m de espesor. Afloras en la Sierra de Techachalco con un espesor estimado de 200 m (Baltazar, 1982).

Formación Mexcala (Kmx)

Incluye depósitos de tipo flysh, representados por una secuencia de capas interestratificadas de areniscas, limolitas y lutitas; las areniscas varían de grano fino a medio, hasta llegar a grueso. Las lutitas y las limolitas su grano varia de fino a medio. Las capas de lutitas varían entre 0.20 y 0.50 m pudiendo a veces ser de 1m.

5.2.2 PALEOGENO

Andesitas Teziutlán (Tpan))

La formación Teziutlán está constituida por una secuencia volcánica de andesitas y en menor grado de andesitas basálticas, basaltos y dacitas. El nombre fue tomado de la Cd de Teziutlán, la cual se encuentra edificada sobre estos derrames andesíticos. Esta formación se encuentra sobreyaciendo a las calizas mesozoicas y está cubierta por la ignimbrita Xaltipan y las tobas pumiciticas.

Las andesitas tienen textura porfídica con una matriz microlítica; presenta fenocristales de plagioclasa intermedia (andesina) e hiperstena, augita, hornblenda, magnetita y pequeñas cantidades de olivino. Afloran en la sierra volcánica Pico de Orizaba – Cofre de Perote.

Las andesitas basálticas están formadas por fenocristales de plagioclasa (labradorita) con predominio de augita sobre hiperstena, aumento de olivino y escasa magnetita (Yáñez y Casique, 1980)

Los basaltos están constituidos por fenocristales de olivino en una masa de microlitos de plagioclasa cálcica, rodeados por augita, olivino y magnetita. Su contenido de vacuolas es variable pero nunca son vesiculares.

Las dacitas están constituidas por plagioclasas (andesina), cuarzo, augita y magnetita; afloran en la base norte de Cofre de Perote.

5.2.3 CUATERNARIO

Ignimbrita Xaltipan (Qign)

Se le asignó este nombre a una serie de derrames (flujos) ignimbríticos en sus tres estados de piroconsolidación, densa, mediana y sin consolidación. A los 25 Km al NO de los domos, aflora la ignimbrita no consolidada, presentándose con abundantes fragmentos de material pumicítico y vidrio volcánico (obsidiana).

Riolita Oyameles (Qrio)

Se trata de una secuencia de tobas de composición riolítica en capas gruesas con abundantes fragmentos de obsidiana negra y emplazamientos de domos cuya composición varía de riolita a riodacitas y dacitas. El nombre fue tomado de los cerros Oyameles (Domos riolíticos, emplazados en la porción occidental del colapso de la caldera Los Humeros).

A este evento magmático se deben la formación de los domos de Las Derrumbadas; estos domos están contruidos por rocas, holocristalinas porfídicas, con plagioclasas (andesina), cuarzo, hornblenda, hiperstena, augita y magnetita, que han sido clasificadas como dacitas de hornblenda.

Rocas Volcánicas Básicas (Qvb)

Comprende la actividad volcánica básica representada por volcanes con derrames asociados y conos de escoria. Esta actividad volcánica aparece en toda el área. Se analizó un basalto de olivino y piroxeno con textura vesicular porfídica y holocristalina de matriz ofítica con escasos fenocristales de labradorita, bitownita, vidrio y microcristales de olivino. La andesita basáltica de piroxenos, textura porfídica en matriz hialopilitica, con fenocristales de plagioclasa de composición básica a intermedia y con augita, hiperstena y magnetita en menor proporción.

Sedimentos Lacustres (Ql)

Esta unidad está representada desde su base por fragmentos de rocas de todos tamaños (bloques, arenas, limos y arcillas) provenientes de la intensa erosión a que han estado sometidas las calizas y las rocas ígneas intrusivas y extrusivas. Se localizan en la parte norte y oeste de Las Derrumbadas, ocupando las zonas adyacentes a la laguna perenne de Totolcingo o del Carmen.

Pómez (Qpo), Paleosuelos y tobas (Qto)

Yáñez y Casique (1980), dividieron a la unidad de pómez en dos partes: la primera está representada por capas de diferente composición, colores y tonalidades e incluye paleosuelos y suelos tiene espesores de más de 50 m, formando grandes bancos situados al pie de la ladera sureste de la caldera de Los Humeros y del volcán Pico de Orizaba. La segunda mitad sufrió transporte y se presenta ampliamente distribuida en el sector oriental (al pie de la cadena volcánica Pico de Orizaba - Cofre de Perote) con espesores que van de 2 hasta 15m.

Las tobas son de color gris blanquecino y en los cortes quedan expuestos espesores superiores a los 20 m (Yáñez y Casique, 1980). Afloran en la porción sur, sureste y poniente del área.

Lahares Las Derrumbadas (Qla)

Están representado por bloques y fragmentos de diversos tamaños de calizas, andesitas y dacitas en una matriz areno – arcillosa, con un espesor

estimado de 50 a 150 m (Yáñez y Casique, 1980), aflorando en los alrededores de los Domos Las Derrumbadas. Su origen se debe al ascenso, rompimiento y desintegración de los materiales preexistentes (calizas, andesitas, tobas y arenas volcánicas), debido a la presión que el avance de los domos ejerció sobre ellos durante su ascenso a la superficie. La pérdida del estado de equilibrio, aunada al efecto de las lluvias, produjo los deslizamientos y las corrientes de lodo que formaron los lahares.

Fueron cartografiados cuatro diferentes desplazamientos de los lahares; el primero, con un espesor de 3 a 30 m, se desplazó aproximadamente 5 km alrededor de los domos. El segundo tuvo un desplazamiento máximo de 2 km, mientras que el tercero y el cuarto solo sufrieron la caída desde la cima, con un mínimo desplazamiento y quedaron como piedemonte.

Los lahares cubren a las calizas, andesitas, tobas riolíticas, derrames de conos volcánicos, sedimentos lacustres y pómez, y están cubiertos por materiales de los cráteres de explosión de Atexcac y Xalapazquillo.

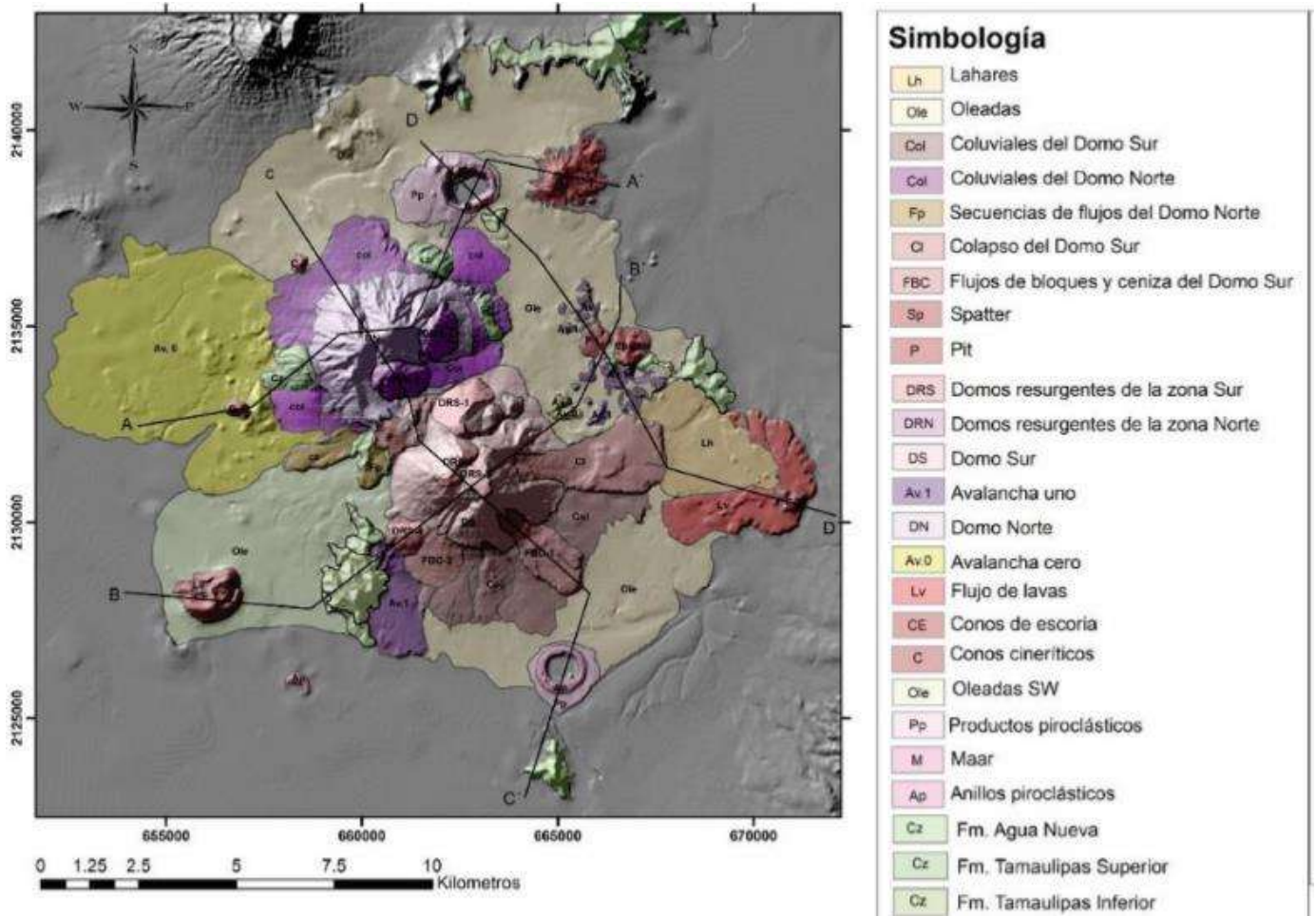


Figura 1.1 Mapa geológico del CVLD (Dávalos 2016).

5.3 TECTONICA

El área de Las Derrumbadas regionalmente queda comprendida dentro del Terreno Sierra Madre Oriental, y limita al SO por el terreno Mixteco, al sur con el terreno Oaxaca y al NE y ESE con el terreno Maya. Localmente la zona de estudio se localiza dentro del dominio estructural del Arco Volcánico Transmexicano.

Los dominios estructurales que se logran distinguir en la zona de estudio son:

Dominio de la Faja de Pliegues y Cabalgaduras (Sierra Madre Oriental), representado por zonas de intenso plegamiento y fallamiento con orientación NO-SE y convergencia al NE. Dominio del Arco Volcánico Transmexicano, que se caracteriza por los aparatos volcánicos diversos y la tectónica distensiva del graben de Libres – Oriental.

Desde el punto de vista de origen se ha deducido que durante el Jurásico existió una tectónica que caracteriza una zona de apertura, definida por una inestabilidad tectónica (asociada a la apertura del Golfo de México), originando una sedimentación transgresiva y regresiva. La primera se efectuó durante el Jurásico Temprano (representado por la formación Huayacocotla), y la segunda durante el Jurásico medio (representada por la formación Cahuwasas- facies Tenexcate, cuyos afloramientos se localizan 60 Km al norte del área), y durante el Jurásico tardío y Cretácico la sedimentación fue transgresiva total. Existiendo un gran cambio desde el cretácico superior con los grandes efectos de la deformación laramidica que genera la formación de depósitos de flysch.

La Orogenia Laramide en la región originó dos estilos de deformación en las rocas del Mesozoico; uno al NNO, representado por un anticlinal de Huayacocotla y la faja de pliegues y cabalgaduras en rocas de facies de cuenca y las fallas NE-SO laterales que ayudaron al desbordamiento de la Sierra Madre Oriental de hasta 60 Km.

Una etapa distensiva (inicios en Oligoceno y, prevaleció hasta el Cuaternario) provocó la formación de los lagos cráter, fosas tectónicas y escalonamientos en las

rocas mesozoicas, y a través de las fallas y fracturas desarrolladas durante este tiempo surgieron grandes volúmenes de lava generando el emplazamiento de grandes y pequeños edificios volcánicos.

Por último ocurrió la formación de la Caldera de Los Humeros, acompañada de una serie de emplazamientos de cuerpos riolíticos- riodacíticos en sus bordes norte y poniente, al sur emergieron los domos Pizarro, Las Águilas, Cerro Pinto y los domos de Las Derrumbadas.

5.4 GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio está constituida por una amplia planicie resultado del sepultamiento de pliegues de rocas marinas del Mesozoico, de la acumulación de rocas volcánicas, derrames lávicos y una enorme cantidad de depósitos piroclásticos. En la zona de estudio destacan cuatro geoformas dominantes; Sierras, lomeríos, llanuras y mesetas (Tabla 1).

Llanura con lomeríos	54%	129.52 km²
Lomeríos de tobas	12%	28.78 km ²
Llanuras aluviales	22%	52.76 km ²
Mesetas escalonadas asociadas con lomeríos	6%	14.39 km ²
Sierras típica	1%	2.39 km ²
Mesetas Basálticas	5%	11.99 km ²
Porcentaje y superficie total	100%	239.84 km ²

Tabla 1. Geoformas de la zona de estudio.

La parte Noreste de la cuenca tiene una geomorfología de llanuras con lomeríos, ahí se ubican la mayor parte de las poblaciones activas de municipio y sus cuatro lagunas: Atexcac, La Preciosa, Quechulac y Alchichica.

Hacia el Oeste en el límite de la región de Las Derrumbadas se distinguen lomeríos conformados por tobas. En ellos se asienta la localidad de Rancho Los Gómez. En la parte central y meridional del municipio predominan las llanuras aluviales que se extienden hasta la localidad de Niño Jesús al Norte y de Guadalupe Victoria; Al Este en los límites con el municipio La fragua la superficie se constituye de mesetas basálticas de aspecto escalonado asociadas a lomeríos, mientras que al Sureste en el punto más alto del municipio se observa la Sierra Típica que alcanza los 3200 msnm. Finalmente hacia el norte se observa una meseta basáltica donde se asienta la localidad de Maravillas (Fig. 2).

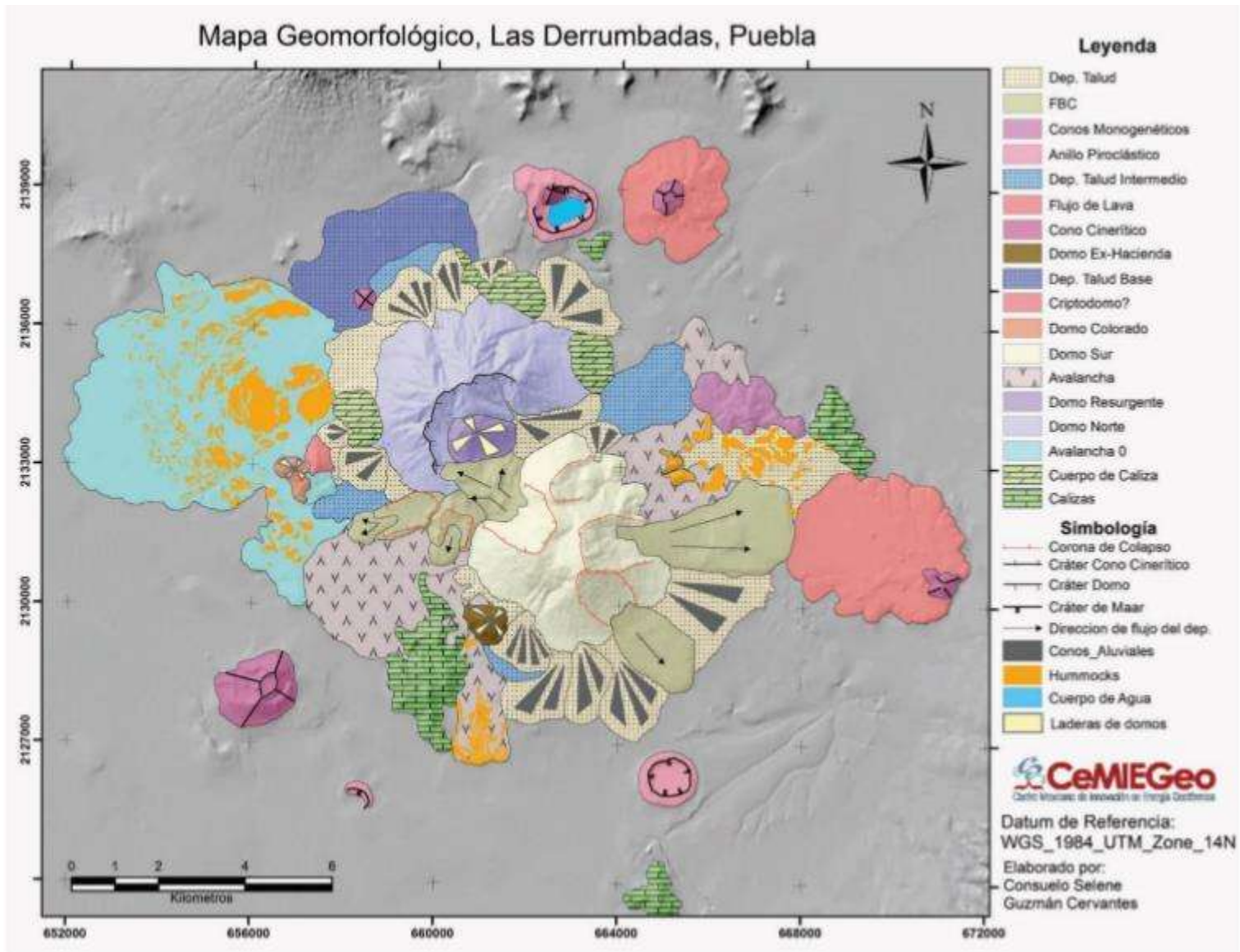


Figura 2. Mapa Geomorfológico CeMIEGeo (Guzman Cervantes, 2016)

5.5 EDAFOLOGIA

Se distinguen cinco tipos de suelo dominado los regosoles. A continuación se describen (Fig. 3).

Regosoles(R) son suelos poco evolucionados, constituyen la etapa inicial de formación de un gran número de suelos, se distribuyen en la parte central del municipio de sur a norte, el ser éutricos (Re) los caracteriza como suelos valiosos para la agricultura con elevada capacidad aprovechable de agua pero muy propensos a la erosión y consisten de sedimentos tobaceos (cenizas volcánicas sedimentadas), arenas, limos arenosos y poco contenido de humus, cabe resaltar que en sitios inclinados son delgados y en morfologías planas alcanzan más profundidad. La utilización actual de estos suelos es variada y está relacionada a la diversidad ecológica en que se presentan; algunos sustentan pastizales cultivados e inducidos y agricultura de temporal, mientras que en otras zonas son la base de bosque de pino y vegetación secundaria dentro de selvas bajas caducifolias

Los Feozems Calcáreos son suelos que se pueden presentar en variados tipo de relieve sin embargo estos no se desarrollan en regiones tropicales lluviosas o bien en zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país.

Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, al ser calcáreos (Hc) contienen abundantes nutrientes para las plantas, se distribuyen hacia el oeste del municipio después de los regosoles. Estos suelos carbonaticos incluso se han observado hasta los 2,500 metros sobre el nivel del mar. Una porción de éste tipo de suelos se ubica hacia el norte cerca de la laguna de Quechulac, rodeada de regosoles.

Ha sido demostrado que los feozems pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables. Cabe resaltar que el uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y sobre todo de la disponibilidad de agua para riego.

Los suelos clasificados como Fluvisoles (J) se caracterizan por estar formados de materiales acarreados por agua, son suelos muy poco desarrollados, medianamente profundos y su estructura es generalmente débil o suelta. Presentan capas alternadas de arena con clastos o gravas redondeadas, como efecto de la corriente y crecidas del agua en los ríos. En general son éutricos (Je) por lo tanto muy fértiles, estos se ubican en la parte central en las inmediaciones de la cabecera municipal y al sur en los límites con Tlachichuca.

El tipo **Litosol (I)** es el más común en todas las sierras de México, ubicándose en barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos. En el municipio de Guadalupe Victoria se localizan estos suelos al Oeste, en las elevaciones de Las derrumbadas en los límites con San Nicolás Buenos Aires. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitados por la presencia de roca madre, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es muy variable dependiendo de otros factores ambientales.

El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre; en bosques y selvas su uso es forestal; mientras que cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo más o menos limitado. En algunos casos los suelos se destinan a la agricultura, en especial al cultivo de maíz o nopal, condicionado a la presencia de suficiente agua.

Andosoles (T) son suelos de origen volcánico constituidos principalmente de ceniza la cual contiene alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad al suelo. Se extienden en la región de Lagos y Volcanes de Anáhuac, en el municipio se ubican al oriente de sur a norte en los límites con Saltillo Lafragua. Son generalmente de colores oscuros y tienen alta capacidad de retención de humedad. En condiciones naturales presentan vegetación de bosque o selva, al ser éutricos (Te) contienen cierta cantidad de nutrientes aunque son generalmente proporciones muy bajas para obtener rendimientos agrícolas. Se ha observado que retienen considerablemente el fósforo y éste no puede ser absorbido por las plantas. Son muy susceptibles a la erosión eólica.

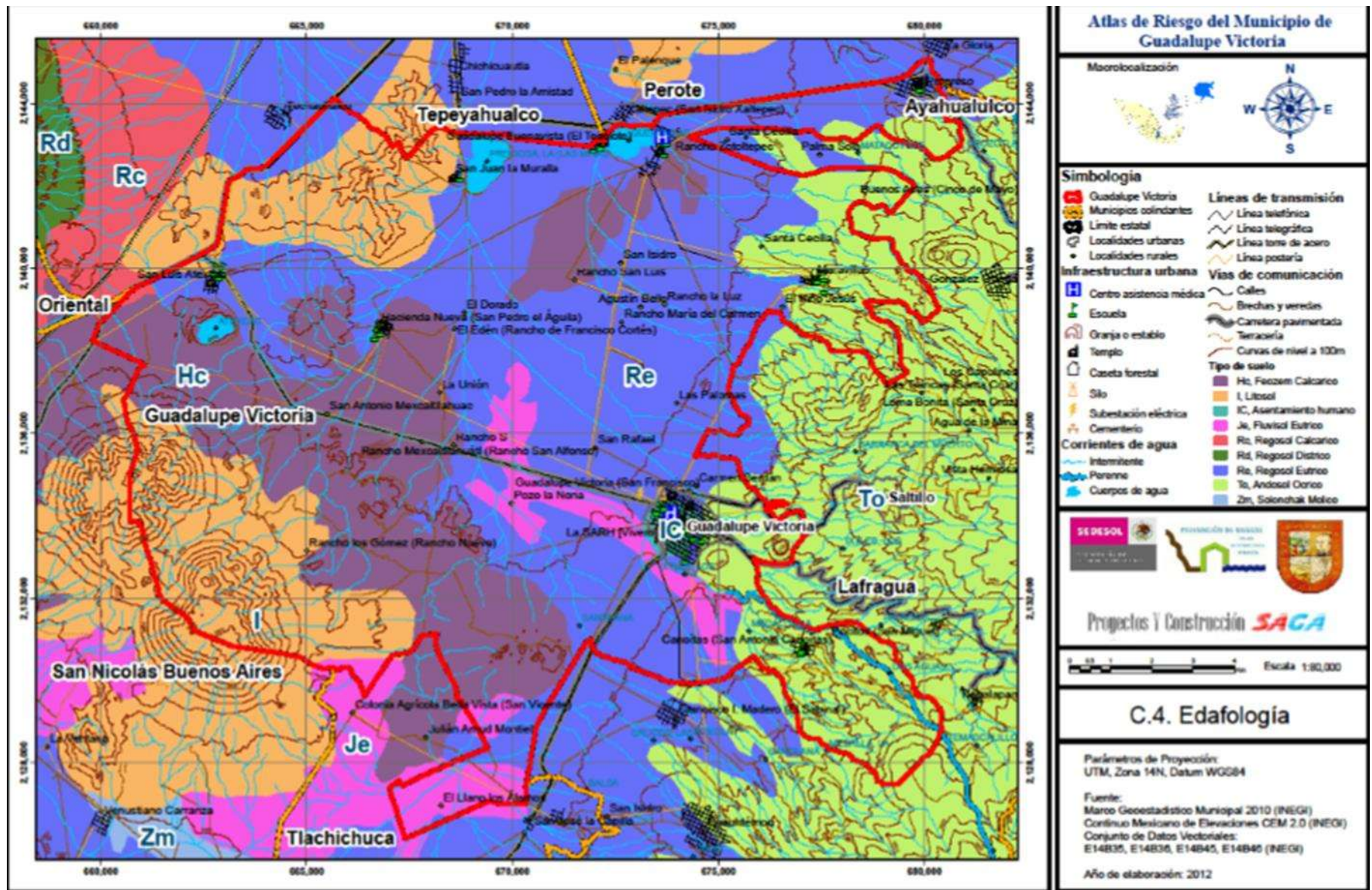


Figura 3. Mapa Edafológico (Atlas de Riesgos Naturales del municipio de Guadalupe Victoria, 2012)

5.6 CLIMATOLOGIA

En la cuenca Libres – Oriental predomina el clima templado, subhúmedo, con lluvias en verano, a excepción de la parte central, que es semiseco, con temperatura media anual de 14°C y precipitación media anual de 590mm, la temporada de lluvias abarca los meses de abril y octubre, siendo agosto y septiembre los más lluviosos, con valores máximos de 50 a 140mm. La evaporación potencial media anual es de 1460mm/año, mientras que la evapotranspiración potencial, es de 472mm/año (CNA, 2002).

A 2,400 msnm se presenta un clima semiárido templado, con un temperatura media anual entre 12°C y 18°C, con temperatura del mes más frío entre -3° C Y 18°C, mientras que la temperatura del mes más caliente es menor a los 22° C. El régimen de lluvias se establece en verano con precipitaciones que alcanzan los 400 a 500mm. Las localidades de Guadalupe Victoria, Maravillas, San Juan La Muralla y las Lagunas de Quechulac, La Preciosa y Alchichica se ubican en esta región (Atlas de riesgos Guadalupe Victoria; 2012).

De los 3,400 a 2,500 metros sobre el nivel del mar existe una “franja en forma de V” que se abre al oeste y este del municipio de Guadalupe Victoria en la que se tiene un clima templado semicalido, con lluvias en verano e invierno seco con temperaturas de -3 a 0°C. La precipitación llega a los 400 a 500 mm, siendo las localidades de San Luis Atexcac, Buenos Aires (5 de Mayo) y la lagunas de Atexcac las ubicadas en este contexto climatológico (Atlas de riesgos Guadalupe Victoria; 2012).

Al oriente a elevaciones de 2,700 msnm se presenta una franja de sur a norte en donde el clima es templado subhúmedo, con régimen de lluvias en verano, el subtipo intermedio en cuanto a humedad. La temperatura media anual va de los 12-18 °C y la precipitación anual de los 500 a 600mm siendo las localidades de Canoitas, y Los Ixtles las que presentan este tipo de clima. Al Sureste, de los 3,100 a 3,000 msnm se presenta un clima semifrío subhúmedo con régimen de lluvias de verano, el subtipo más húmedo de los subhúmedos con verano fresco, largo. La

temperatura media del mes más caliente superior a 22°C, pero la media anual oscila entre los 5 y 12°C y la precipitación anual es entre 600 y 1000 mm. La localidad de Dos Aguas se encuentra ubicada en esta región (Atlas de riesgos Guadalupe Victoria 2012) (Fig. 4).

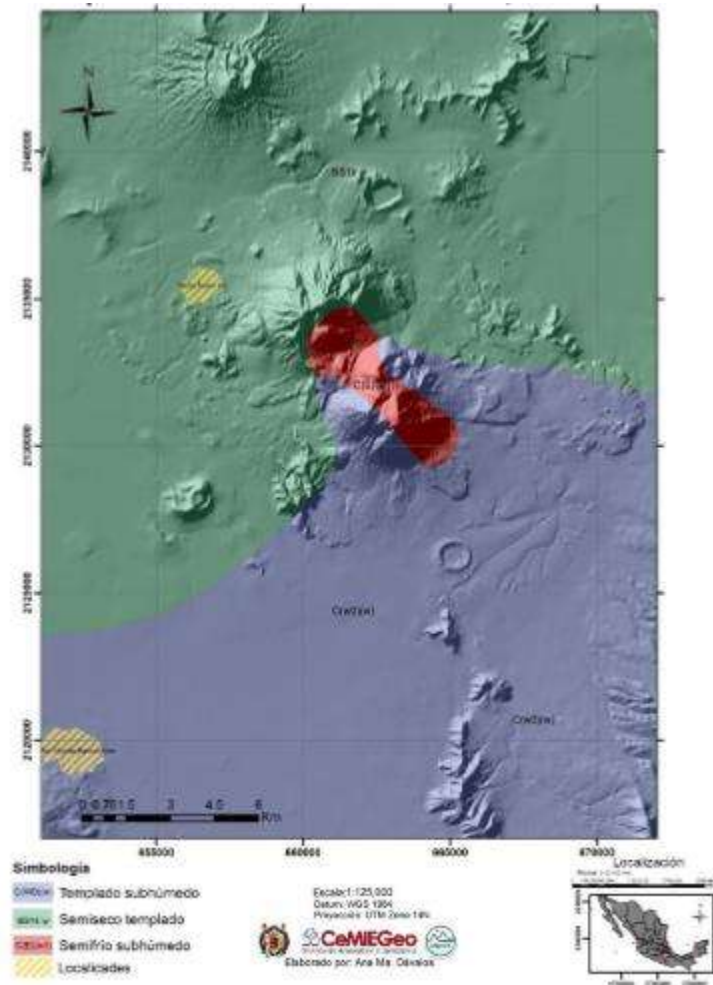


Figura 4. Mapa Climatológico CeMIEGeo (Dávalos – Pérez Vélez, 2016)

5.7 HIDROLOGÍA

Hidrológicamente, la cuenca Libres- Oriental, se ubica dentro de las regiones hidrológicas No. 18 y 28, denominadas “Balsas” y “Papaloapan”, respectivamente. Igualmente, le corresponden las Subregiones hidrológicas No. 18^a- Alto Balsas, 28^a- Ríos Actopan, La Antigua y Jamapa y 28-B rio Papaloapan (INEGI, 2002) (Fig. 5).

En la zona destacan un volumen considerable de aguas superficiales y subterráneas resaltando los cuerpos lacustres de distintos tamaños y profundidades.

Sus recursos hídricos principales que se encuentran en esta cuenca cerrada se clasifican en:

Sistemas lenticos:, En la zona destacan los Lagos Totolango Alchichica, estos dos siendo los mas grandes, seguidos por el lago de San Luis Atexcac, La Preciosa, Aljojuca, San Miguel Tecuitlapa, Quechulac, Totolcingo y Ovando, así como el pantano de Tepeyahualco.

Sistemas lóticos: Ríos permanentes e intermitentes incluyen el río La Caldera, Xonecuila, Quetzalapa, Piedra Grande, así como los manantiales temporales del El Carmen cuyo emisario surge de la Barranca La Malinche, que nacen en Tlaxcala y vierten sus escurrimientos en forma intermitente al lago, Vicencio, Ojo de Agua y Lara Grajales. (CONABIO, 2006). Los lagos intermitentes de El Carmen y Tepeyahualco son las evidencias actuales del material depositado por la actividad volcánica y que, debido al aporte a veces tan repentino y abundante del material piroclástico, y baja profundidad, no solo ocasionaron el desplazamiento de las aguas sino también su desaparición. Los lagos mencionados han quedado restringidos debido a los grandes espesores de material pumicítico, ignimbrítico, tobas y cenizas volcánicas que provienen de gran parte de las Caldera de los Humeros (SARH, 1981).

Cabe resaltar que afloran sedimentos lacustres en los bordes de los lagos estos están constituidos en su base por fragmentos de roca de distintos tamaños

(Bloques, Arena, limo y Arcilla) provenientes de la erosión tan intensa a la que han estado expuestas las calizas y las rocas ígneas intrusivas y extrusivas que circundan a la cuenca. Durante la etapa de actividad volcánica se emplazaron una gran cantidad de depósitos piroclásticos cuyos productos están interestratificados con los sedimentos lacustres.

Destaca de la sedimentación en particular del lago de Alchichica que está limitado por espesores de entre 3 y 1m de estromatolitos aflorando.

En toda la cuenca, el nivel freático está muy cercano a la superficie y en algunos casos aflora, como sucede en dichas lagunas, debido a que tanto el nivel superior como el inferior son muy someros. La evaporación es muy alta y produce el depósito de gran cantidad de sales en la superficie. Además, como consecuencias del arreglo estratigráfico, existen en la cuenca infinidad de acuíferos confinados (SARH, 1981).

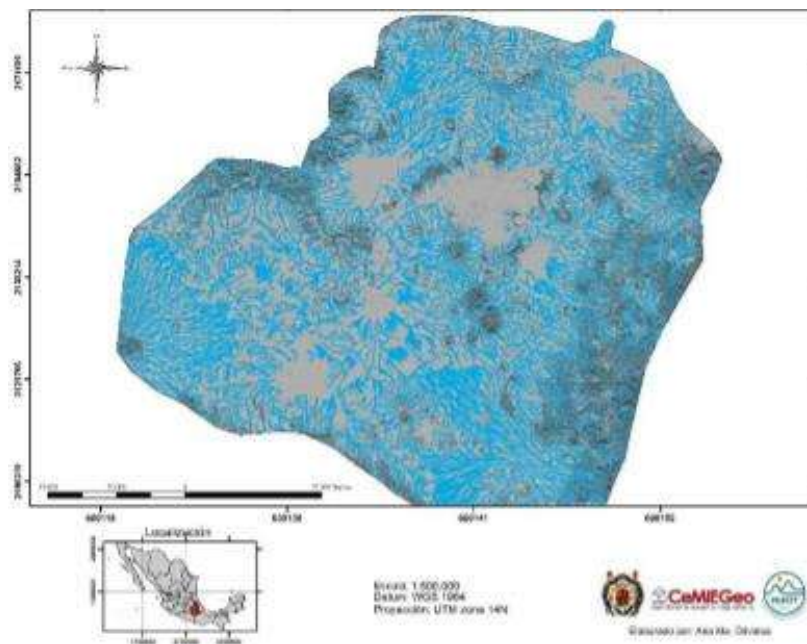


Figura 5. Mapa Hidrológico (Dávalos – Pérez Vélez, 2016)

5.8 BATIMETRIA Y MORFOMETRIA

La batimetría y morfometría de los lagos de la cuenca de Oriental ha sido realizada en detalle por Arredondo-Figueroa, et al (1983) y ha servido como base para realizar diversos estudios, geológicos limnológicos, etc. Estos estudios permitieron un mayor conocimiento de la productividad, dinámica hidrológica y sus relaciones con la biota nativa, que en la mayoría de los casos es endémica.

5.8.1 Batimetría del Lago de Alchichica

Es el lago más grande del grupo en área superficial y volumen. Su forma general es circular, con una longitud máxima de 1733 metros, con orientación SE-NO (Fig. 6).

Las paredes del lago son muy inclinadas, incrementándose bruscamente la profundidad conforme se aleja de la orilla. Esta acentuada inclinación finaliza en una plataforma a los 60 metros, desplazada ligeramente hacia el NE y cortada por la parte más profunda que alcanza aproximadamente los 64 metros. (Arredondo-Figueroa, et al 1983)

La batimetría refleja seis paredes opuestas simétricamente en sentido NE-SO, que llegan hasta la plataforma central.

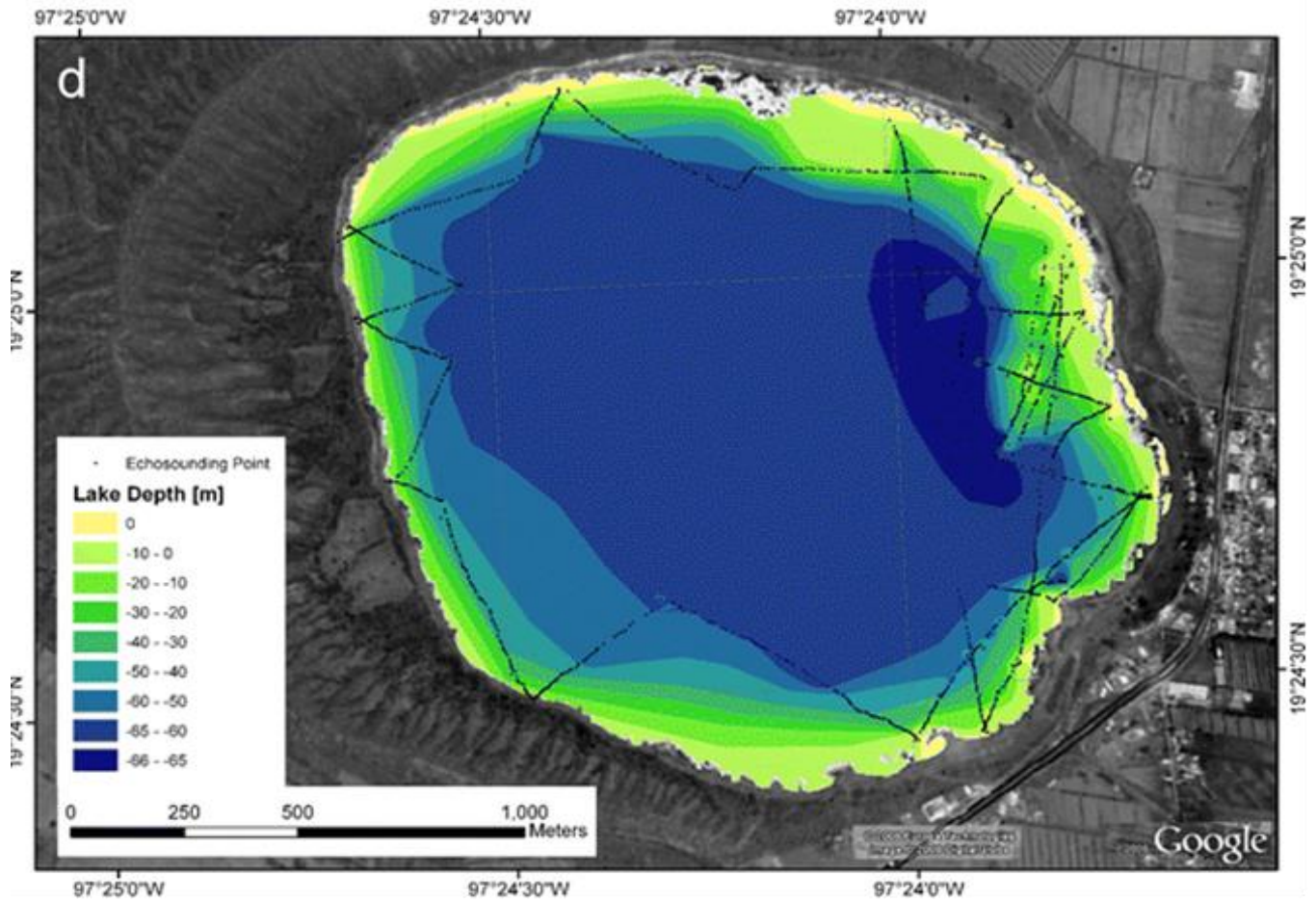


Figura 6. Mapa Batimétrico del lago de Alchichica (Ramírez García et al 1988)

5.8.2 Batimetría del Lago de Atexcac

Ocupa la quinta posición en área superficial y volumen. En forma es irregular pero se aproxima a una elipse, cuya longitud máxima es de 780m con orientación SO-NE. La pared tiene una fuerte inclinación que llega a la plataforma de 30 metros en la parte central de la cuenca. Esta se ve interrumpida por la zona más profunda que está ligeramente desplazada hacia el E y alcanza aproximadamente 39 metros (Arredondo – Figueroa, et al 1983) (Fig. 7).

Las pendientes moderadas se presentan en el SO, en las que se encuentran pequeñas playas.

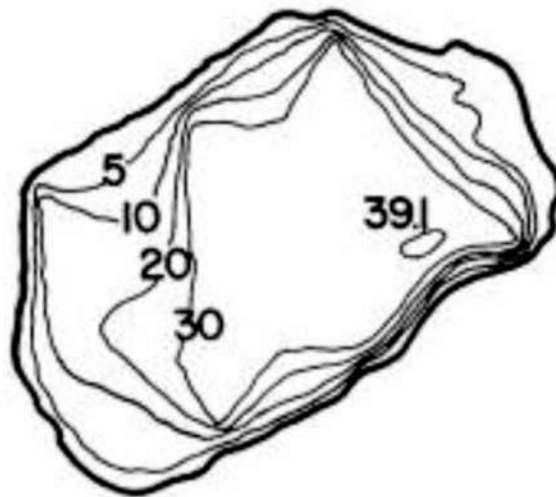


Figura 7. Mapa batimétrico del lado de Atexcac escala 1:7000 (Arredondo- Figueroa et al, 1983)

CAPITULO VI

METODOLOGIA

Posterior a la investigación y análisis bibliográfico, que se ha presentado anteriormente y basado sobre estudios previos se planteó la siguiente estrategia para el estudio de los lagos.

6.1 Perforación de núcleos.

Los criterios de selección de los sitios de muestreo para el presente trabajo se basaron en los antecedentes dentro del contexto geológico de la región, en el escenario lacustre y en la morfología de la cuenca.

Además se aplicaron algunos criterios que incluyen el registro geológico de la región, las zonas geotérmicas y de manifestaciones termales, que es probable que preserven los marcadores geotérmicos en su estratigrafía debido a su elevada tasa de sedimentación que los caracterizan.

Teniendo los puntos de muestreo localizados, posteriormente se extrajeron los núcleos con una longitud de 50 hasta 150 cm, usando tubos de PVC de 4" pulgadas de diámetro e introduciéndolo a presión sobre los sedimentos, colocando un tapón en la base y en la cima del tubo para evitar que se vaciara el material; posteriormente los núcleos se etiquetaron con la fecha, localidad, base y cima, número de núcleo y longitud. Estos se sellaron con tapas de plástico para evitar la pérdida de material extrayendo cuidadosamente el agua remanente en las cimas de cada uno de los núcleos, lo que permitió su manejo y transporte al laboratorio evitando la remoción de los sedimentos (Fig. 8).

Además de la extracción de los núcleos se muestrearon solo en el lago de Atexcac sedimentos correspondientes a una columna que aflora en la periferia del lago. El afloramiento midió 150 cm de espesor y corresponde a la parte superior del núcleo de 110cm ubicado en el litoral del lago, escasamente a 30 cm de distancia del afloramiento.

La columna compuesta por lo tanto tuvo una longitud de 2.60cm. Cabe mencionar que el núcleo I que se extrajo cuando se abrió en el laboratorio, observe

una sedimentación muy retrabajada que consistió en grava masiva por lo que este núcleo no sirvió para los fines de esta investigación.

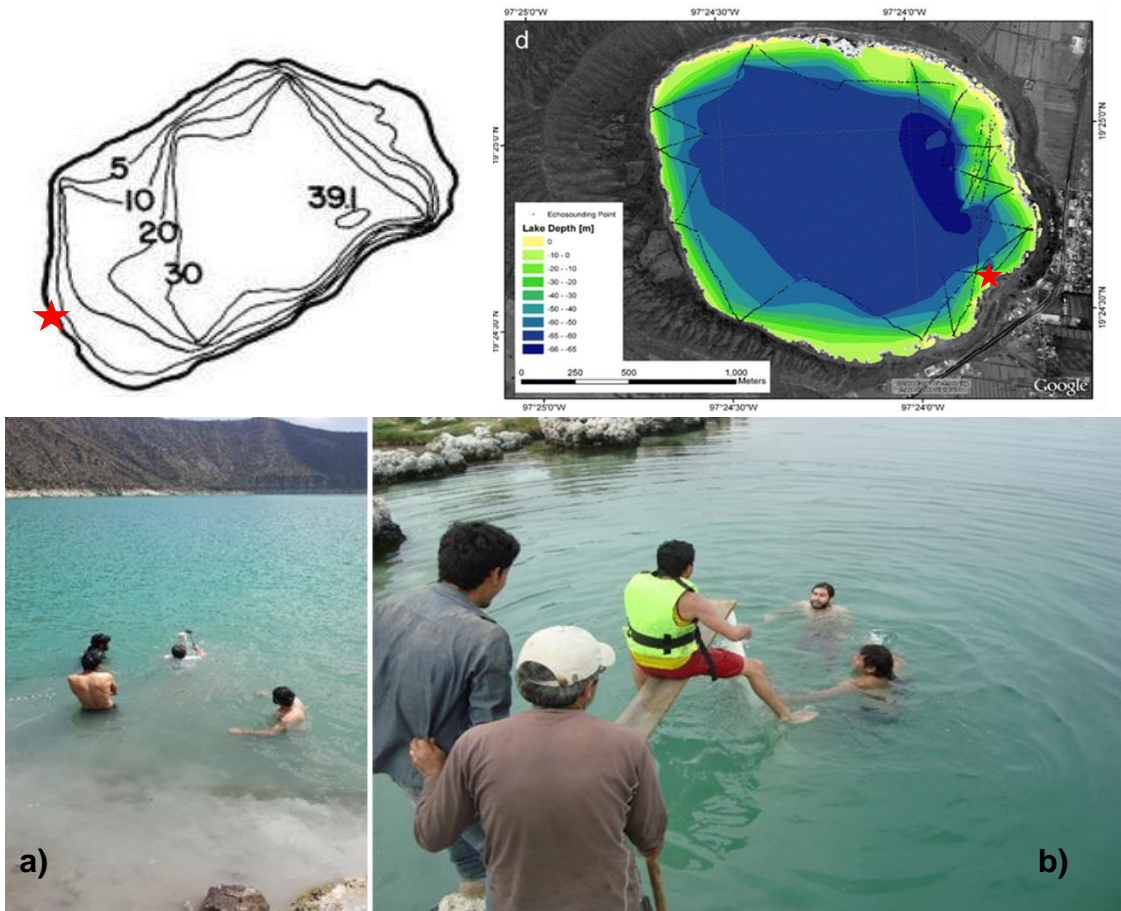


Figura 8. Sitios de perforación y perforación de los núcleos de los Lagos de **a)** Atexcac y **b)** Alchichica.

6.2 Trabajo de laboratorio

Los núcleos obtenidos fueron 3 (uno del Lago de Atexcac así como se muestrearon los afloramientos superficiales que mostraban una buena exposición y 2 núcleos en el Lago de Alchichica). Los núcleos recuperados se abrieron en medias cañas (mitades), se limpiaron para quitar el material externo, posterior a ello se procedió a la toma de imágenes cada 20 cm (Fig. 9). Se determinó el contenido de carbonatos y materia orgánica cada 10 cm vertiendo una gota de ácido clorhídrico (HCl) y otra de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), en dos muestras paralelas fuera del núcleo, se observó el grado de efervescencia como apoyo visual de los niveles de interés que ayudarán a determinar los mejores niveles para realizar posteriormente los fechamientos de radiocarbono (¹⁴C).



Figura 9. Núcleo abierto del lago de Atexcac para realizar la descripción macroscópica.

6.3 DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA

6.3.1 Descripción macroscópica

La descripción visual se realizó con base en las propiedades físicas observables directamente en el sedimento. Esta incluye la identificación de estratos y láminas partiendo del color, textura, estructuras sedimentarias, espesor, naturaleza de los contactos y la perturbación del sedimento por la perforación.

El color se determinó utilizando la tabla Munsell edición revisada por Washable (2000). La textura se describió de manera cualitativa tomando una pequeña muestra de sedimentos entre los dedos índice y pulgar. Las estructuras sedimentarias se describieron directamente en los núcleos. La estratificación/laminación se determinó en base al espesor de los paquetes individuales, siguiendo la clasificación propuesta por McKee & Weir (1953); los estratos son paquetes con espesores > 1 cm, mientras que las láminas presentan espesores < 1 cm. La naturaleza de los contactos entre los estratos y las láminas se describieron en función del espesor y claridad de los mismos. Se definen como contactos netos aquellos cuyo espesor es < 1 mm, difusos cuando su espesor varía entre 1 a 10 mm, y finalmente indistinto, cuando es > 1 cm (Schnurrenberger et al., 2003). Del mismo modo, a los contactos se le asignaron una segunda denominación de acuerdo a su forma geométrica: planar, ondulado o gradacional.

6.4 Preparación de frotis (Smear Slides)

Se prepararon 49 frotis con la finalidad de completar la descripción macroscópica con la caracterización microscópica de los sedimentos clásticos, químicos y biogénicos en cada núcleo. De cada tramo se tomaron muestras en función de los estratos identificados, con un promedio de 10 muestras por tramo. Las muestras se montaron en un portaobjetos y se disolvieron con una o dos gotas de agua destilada y se secaron en una parrilla a una temperatura de $\sim 45^{\circ}$ C durante 5 minutos (Fig. 10). Posteriormente la muestra se protegió con un cubreobjetos. Las preparaciones se analizaron, en un microscopio estereográfico, principalmente para la identificación de componentes biogénicos (fitolitos, restos de conchas y algunas diatomeas de frustula grande)

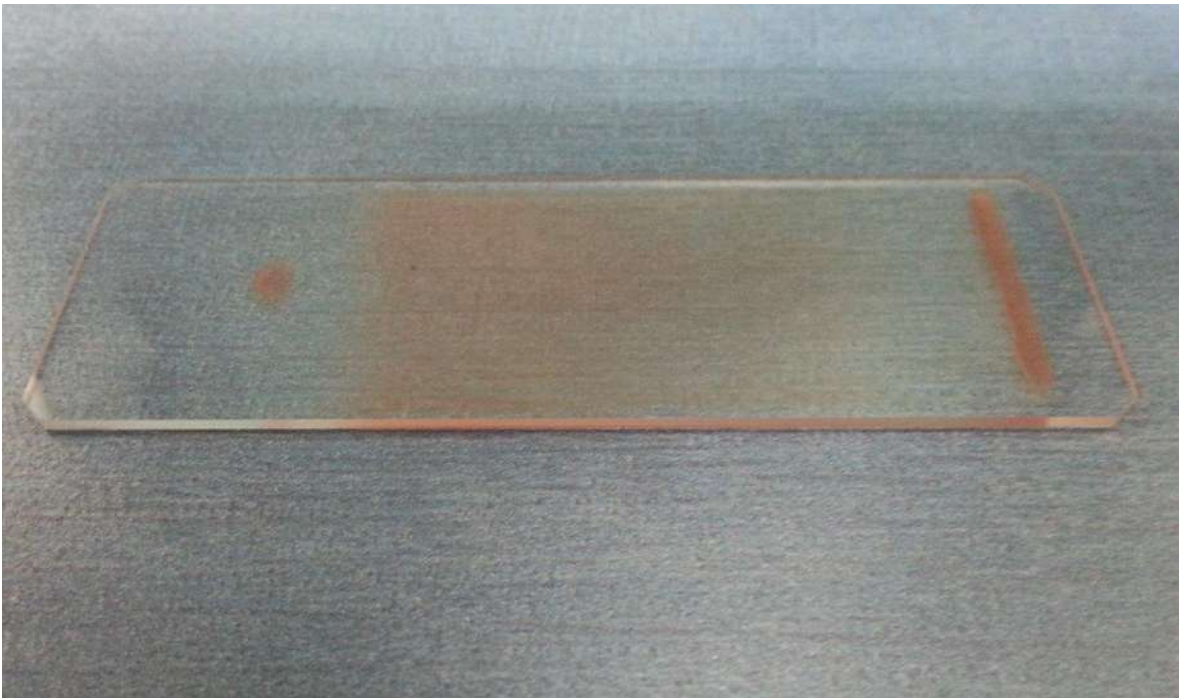


Figura 10. Frotis (Smear Slides)

6.5 Preparación de muestras de diatomeas

Se seleccionaron muestras cada 10 cm, teniendo cuidado de las intercalaciones específicas tales como cambios en el color, textura y estructuras primarias de los sedimentos y tipo y contenido de organismos. Se pesaron 0.5 gr de sedimentos secos, que se vertieron en un vaso de precipitados agregándoles 10ml de agua destilada. Sucesivamente las muestras fueron colocadas dentro vasos de precipitados de vidrio y calentados sobre una parrilla a una temperatura de 80° C. Se agregaron 50 ml de HCl, esto para remover los carbonatos de nuestra muestra, se dejó hacer la reacción y una vez terminada la efervescencia, se agregan 50 ml de H₂O₂, para eliminar material orgánico de nuestra muestra. Culminada la reacción se retiraron las muestras de la parrilla y se llenaron los vasos con suficiente agua destilada, una vez decantado el residuo en nuestros vasos se vació el agua remanente colocándola en garrafas para su llevado a un laboratorio de residuos químicos.

Se llenaron nuevamente seis ocasiones con agua destilada hasta que nuestras muestras obtuvieron un pH igual a 7. Posterior al lavado de nuestras muestras con una micropipeta se extrajeron 300 microlitros de muestra que se depositó en un cubreobjetos. Se dejaron secar las muestras y finalmente se fijaron al portaobjeto con Nafrax, que tiene un índice de refracción alto (1.73)

Se identificaran los géneros y en algunos casos las especies de diatomeas más comunes observadas a 40x (Fig. 11).



Figura 11. Preparación de láminas de diatomeas.

6.6 Análisis geoquímicos y mineralógicos

6.6.1 Difracción de rayos X.

Los análisis de DFX se realizaron en los laboratorios de rayos X del Instituto de Investigación de Metalurgia y Materiales de la UMSNH. Se prepararon muestras de sedimentos lacustres, con el objetivo de determinar las fases minerales más comunes. Las muestras se homogenizaron con un mortero de ágata y posteriormente se analizaron utilizando un porta muestras de aluminio en el intervalo angular 2θ de 4° a 70° y velocidades de $2^\circ/\text{minuto}$ en un difractómetro modelo D8 ADVANCE DAVINCI (Fig.12).



Figura 12. Difractómetro Mod. D8 Adavance Da Vinci.

6.6.2 Espectrometría infrarroja

La espectrometría de infrarrojo, es un tipo de espectrometría de absorción que utiliza la región infrarroja del espectro electromagnético. Como las demás técnicas espectroscópicas, puede ser utilizada para identificar un compuesto o investigar la composición de una muestra.

La espectrometría infrarroja se basa en el hecho que los enlaces químicos de las sustancias tienen frecuencias de vibración específicas, que corresponden a los niveles de energía de la molécula. Estas frecuencias dependen de la forma de la superficie de energía potencial de la molécula, la geometría molecular, las masas atómicas y, posiblemente, el acoplamiento vibracional.

Con el fin de hacer medidas en una muestra, se transmite un rayo monocromo de luz infrarroja a través de la muestra, y se registra la cantidad de energía absorbida. Repitiendo esta operación en un rango de longitudes de onda de interés (por lo general, $4000-400\text{ cm}^{-1}$) se puede construir un gráfico. Al examinar el gráfico de una sustancia, un usuario experimentado puede obtener información sobre la misma.

Las muestras sólidas se prepararon mezclando 0.03 gr de muestra con una sal altamente purificada (por lo general bromuro de potasio). Esta mezcla se trituró y se prensó con el fin de formar una pastilla por la que pueda pasar la luz. La pastilla necesita ser prensada a altas presiones para asegurar que sea translúcida, pero esto no puede lograrse sin un equipo adecuado (por ejemplo, una prensa hidráulica). Al igual que el cloruro de sodio, el bromuro de potasio no absorbe la radiación infrarroja, por lo que las únicas líneas espectrales provendrán del analito (Fig. 13).



Figura 13. Espectrómetro de infrarrojo (Tensor 27) y prensa.

6.7. Análisis granulométrico.

Los sedimentos están formados por una mezcla de clastos de diferentes tamaños. Se clasifican a partir de la medida de las partículas. Los sedimentos con partículas grandes en la zona generalmente son más porosos y los que tienen partículas más pequeñas no facilitan el paso del agua. Los tamaños de las partículas se han clasificado en estándares internacionales con las siguientes dimensiones.

TIPOS DE PARTICULAS	TAMAÑO (mm)
Arena	0.05 a 2.00
Limo	0.002 a 0.005
Arcilla	Menor de 0.002

Tabla 2. Clasificación y tamaño de partículas.

El tamizado es un método físico empleado para separar los distintos componentes sólidos de una mezcla, aprovechando los diferentes tamaños de las partículas.

El tamizado consiste en hacer pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz atravesándolo y las grandes quedan retenidas por el mismo. Se tamizaron en total 47 muestras de los 3 núcleos y el afloramiento (Fig. 14).

El tamizado se llevó a cabo en el laboratorio de granulometría de Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Campus Morelia.



Figura 14. Proceso de tamizado y pesando el sedimento retenido por malla.

6.8. Susceptibilidad magnética.

La susceptibilidad magnética fue medida en un equipo de Bartington modelo MS2 y un sensor en forma de anillo modelo (MS2C) de 100 y 72 mm de diámetro, en frecuencias de 470 y 4700 Hz. Se midió la susceptibilidad magnética a los tres núcleos en intervalos de cada 2 cm de distancia. Se calibró el sensor y posteriormente se introdujo el núcleo en el anillo y se fue deslizando a cada dos centímetros de distancia desde la cima hasta la base.

La señal detectada por el susceptibilímetro fue transmitida a un equipo de cómputo, utilizando el programa Multisus con ajuste automático, correspondiente a la diferencia entre el diámetro del anillo y el diámetro del núcleo, obteniéndose así la curva de susceptibilidad magnética ajustada en la computadora a través del programa Bartsoft (Fig. 15).

Este análisis se llevó a cabo a temperatura ambiente en el laboratorio interinstitucional de magnetismo natural (LIMNA) del Instituto de geofísica unidad michoacan UNAM Campus Morelia.



Figura 15. Equipo de Bartington, modelo MS2 y un sensor anillo modelo (MS2C) de 100 y 72 mm de diámetro.

CAPITULO VII

RESULTADOS

7.1 Estratigrafía

Con base a la estratigrafía y composición de los sedimentos se identificaron facies de acuerdo a sus características y origen, distinguiéndose: a) Facies detríticas y b) facies biogénicas. La identificación de facies sedimentarias en los núcleos y afloramientos permitió la correlación de los mismos. El establecimiento de las secuencias tipo de los lagos de Atexcac y Alchichica, abarcan 260 y 213 cm de profundidad. Las secuencias se construyeron utilizando los núcleos ALCHI-I Y ALCHI-II en Alchichica y el Afloramiento ATX-I y el núcleo ATX-II en Atexcac. La litología dominante consiste principalmente limo-arcilla y arenas (finas - medias). A continuación se describen las zonas partiendo de la base (Fig. 16).

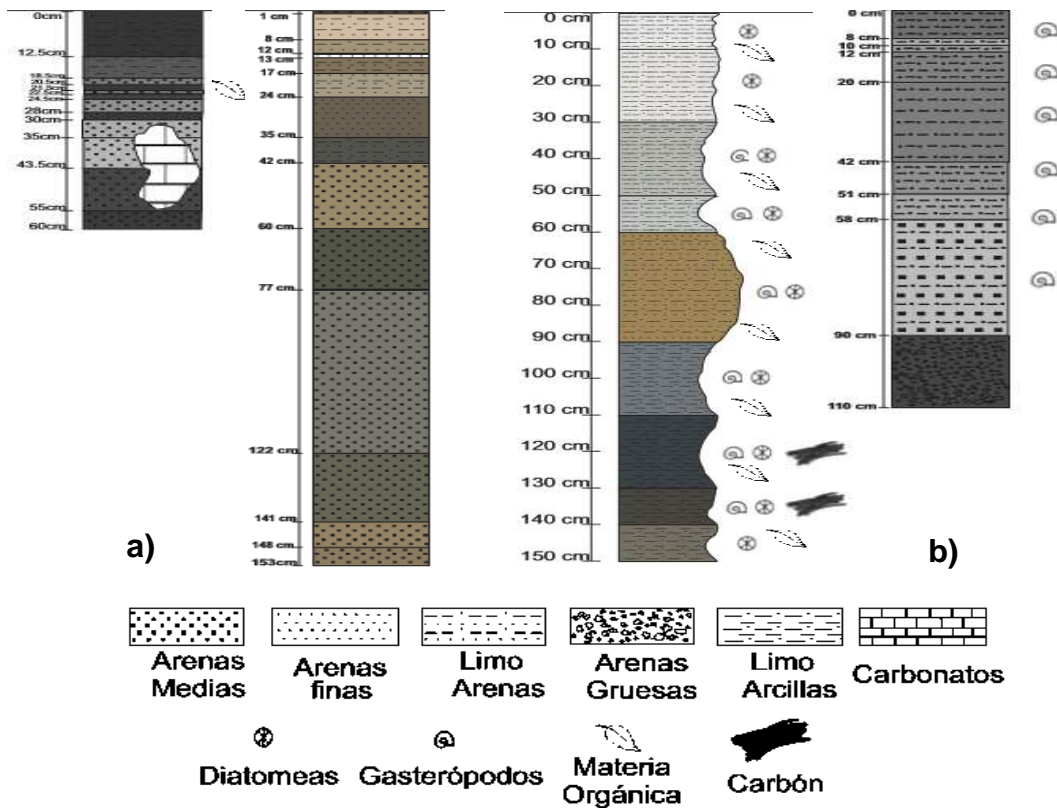


Figura 16. Columnas estratigráficas de los Lagos, a) Alchichica I y II, b) Atexcac Afloramiento I y núcleo ATX- II.

7.1.1 ALCHI-II zona I (153 cm – 24 cm)

La litología consiste de una sucesión de intercalaciones de arena media a fina, hacia la cima, dichas intercalaciones presentan un ciclo a lo largo de la zona.

En la base a una profundidad de 153 cm a 141 cm. está constituida por una intercalación de arenas finas limosas y arenas medias de coloraciones café oscuro a café claro (5Y8/1, 2.5Y6/2 2 y 5y7/2, colores tomados de la Tabla Munsell, 2000) los espesores de estos paquetes son de 8 y 6 cm. respectivamente. Le cubre en contacto transicional un estrato masivo de arena fina con un espesor de 20cm, de tonalidad gris verdoso (2.5y7/3). Este material es transicionalmente sobreyacido entre los 122 cm a los 77 cm por un estrato masivo de arena fina limosa con tonalidad gris claro (10YR8/1). En este estrato se observa un horizonte pobre de materia orgánica a los 102 cm.

En contacto transicional sobreyace un estrato de los 77 a 60cm de arena fina de tonalidad verde claro (2.5YR7/2) abundante contenido en carbonatos. Sobreyaciendo a esta unidad en contacto transicional de los 60 a los 42 cm por una arena fina de tonalidad café claro (2.5yr7/3). Hacia la cima de los 42 a los 24 cm se distinguen 2 estratos: el primero de 8 cm consiste de limo arenoso con clastos de carbonatos de color gris oscuro (2.5YR6/) y el segundo paquete masivo de 11 cm de arena fina color café oscuro (2.5Y8/2) (Fig. 17).

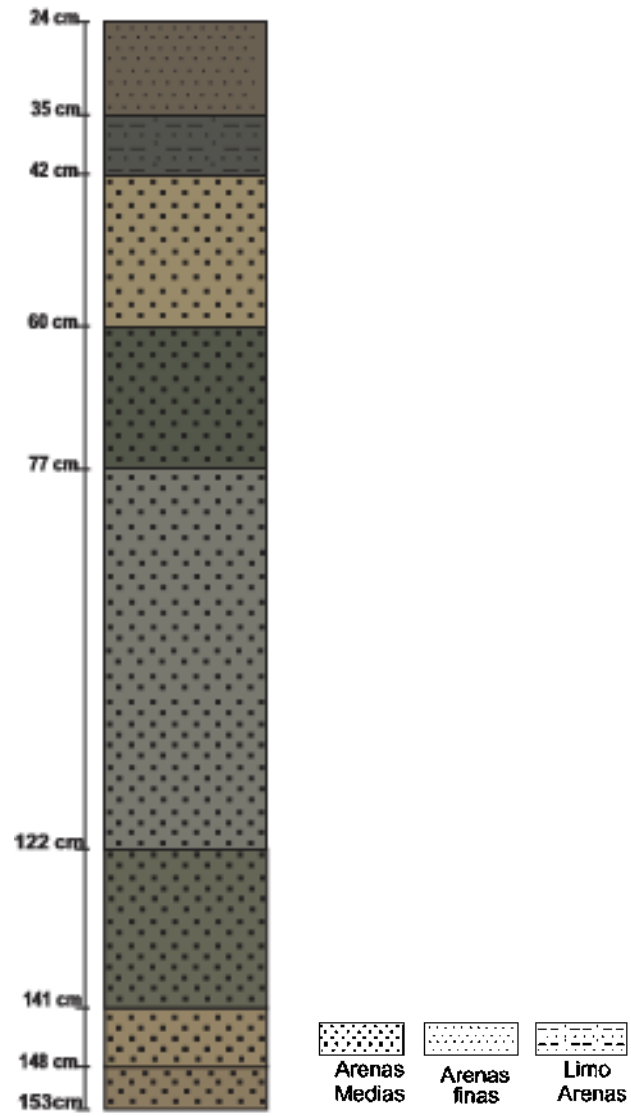


Figura 17. Columna estratigráfica. ALCHI-II zona I (153 cm – 24 cm).

7.1.2 ALCHI-II zona II (24 cm- 0cm).

Consiste de dos paquetes caracterizados por facies arenosas en la base y en la cima por niveles limo-arcillosos (Fig. 18).

En el primer paquete (24 a los 12 cm.) en su base se aprecia un estrato limo arenoso con tonalidad café (2.5Y3/2) y hacia la cima de 17 a los 12 cm dicho estrato contiene clastos de carbonatos de color beige (2.5Y8/1). Los clastos de carbonatos se mezclan con los sedimentos preexistentes.

El segundo paquete (12 a los 0 cm.) se encuentra conformado por dos estratos, el primero de los 12 a los 8 cm con una composición masiva limo – arenosa con tonalidad gris claro (2.5Y5/2). Sobreyaciendo en contacto transicional un segundo estrato de limo arcilla mezclado con arena media; no presenta estructuras, su color es beige (2.5Y7/3). Coronando esta columna tenemos una lámina de 1cm de limo- arcilla con tonalidad café oscuro (2.5Y3/3).

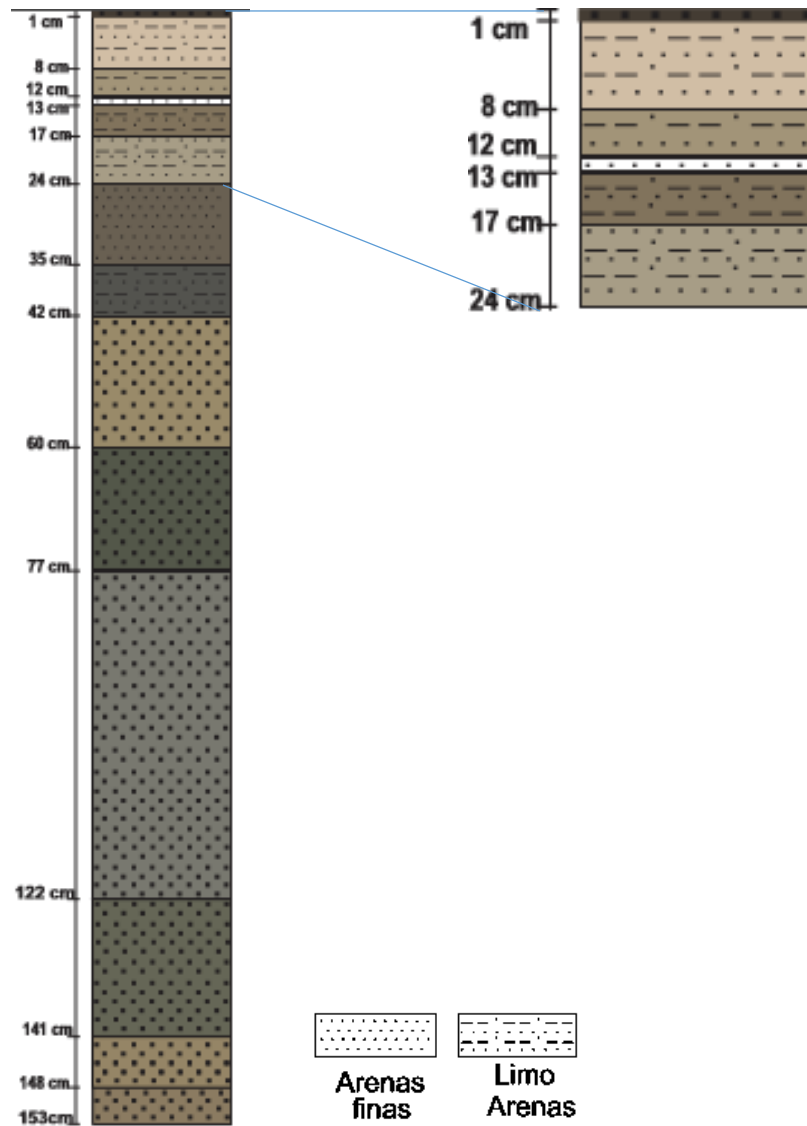


Figura 18. Columna estratigráfica. ALCHI-II zona II (24 cm – 0 cm).

7.1.3 ALCHI-I zona I (60cm – 24.5 cm).

Consiste en dos paquetes, caracterizados en la base por arenas medias que pasan transicionalmente a arenas finas, culminando con niveles de arena media (Fig. 19).

El primer paquete (60 a los 30 cm) está constituido de arena media con tonalidad gris oscuro. De los 55 a los 43.5 cm, se aprecia un cambio de coloración gris oscuro y cuenta con una inclusión de carbonatos color blanco. Sobreyace en contacto transicional un estrato de 43.5 a los 35 cm arena media masiva de color gris claro.

El segundo paquete (35 a los 24.5 cm) está integrado por tres estratos el primero de ellos de los 35 a los 30 cm consiste en una arena media de tonalidad gris claro masivo, el segundo de los 30 a los 28 cm en contacto transicional un estrato de arena fina de tonalidad café oscura y coronando a este paquete se observa un estrato de arena media masiva de tonalidad café claro.

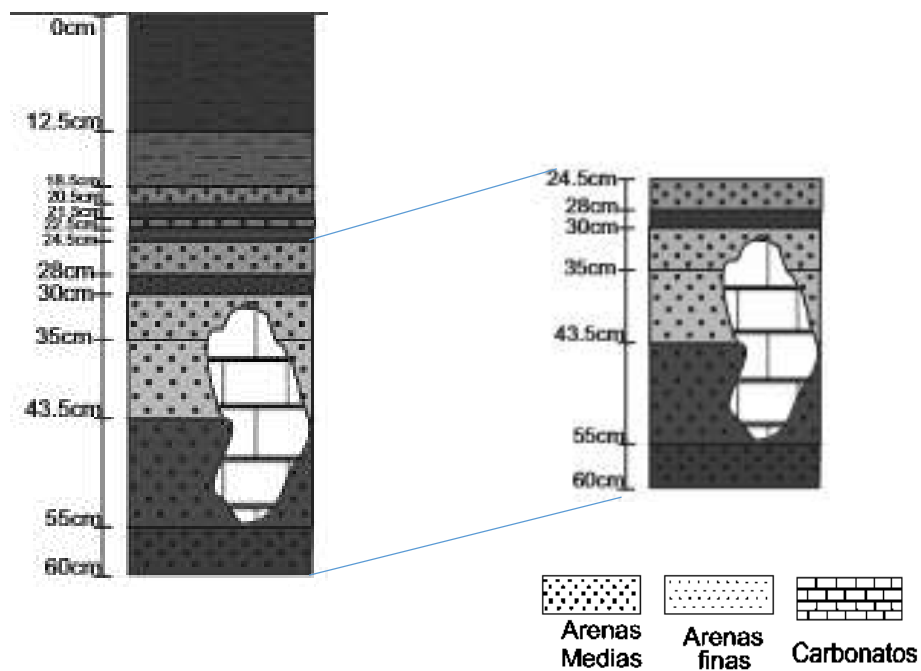


Figura 19. Columna estratigráfica ALCHI-I zona I (60cm – 24.5 cm).

7.1.4 ALCHI-I zona II (24.5 – 18.5 cm).

Caracterizado en la base de materia orgánica que pasa transicionalmente a estratos de arena fina, culminando con niveles de arena fina presenta intercalaciones que a continuación se detallan (Fig. 20):

El primer estrato de 24.5 a los 22.5cm, está constituido por materia orgánica se observan raíces y una coloración café oscuro. Pasa transicionalmente a una lámina masiva de arena fina de los 22.5 a los 21.5 con partículas de carbón, con una coloración café claro. Sobreyace en contacto transicional, una lámina de los 21.5 a los 20.5 cm de materia orgánica, dentro de esta lámina se aprecian raíces y una tonalidad café oscuro. En la cima de esta zona observamos un estrato de los 20.5 a 18.5cm de arena fina color café claro, con pequeñas partículas de carbón.

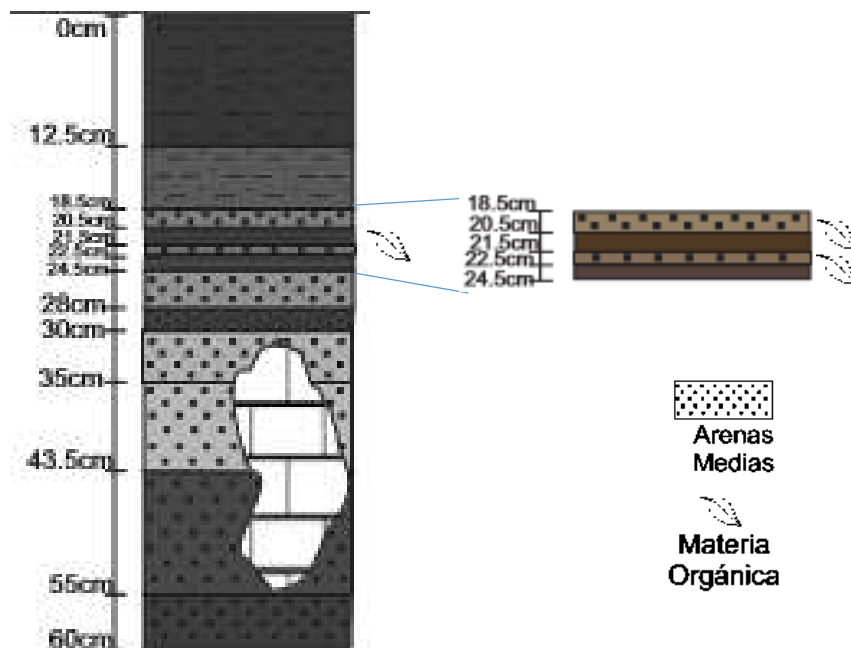


Figura 20. Columna estratigráfica ALCHI-I zona II (60cm – 24.5 cm).

7.1.5 ALCHI-II ZONA III (18.5 – 0 cm).

Consiste de dos estratos caracterizados por facies limoarcillosas (Fig. 21)

En el primer estrato (18.50 a los 12.50cm) en la base se aprecia un limo y hacia la cima el limo pasa transicionalmente a una sucesión arcillosa de coloración café claro. El segundo estrato coronando la columna de (12.5 a 0cm) se observa un limo arcilloso plástico, masivo de coloración café oscuro.

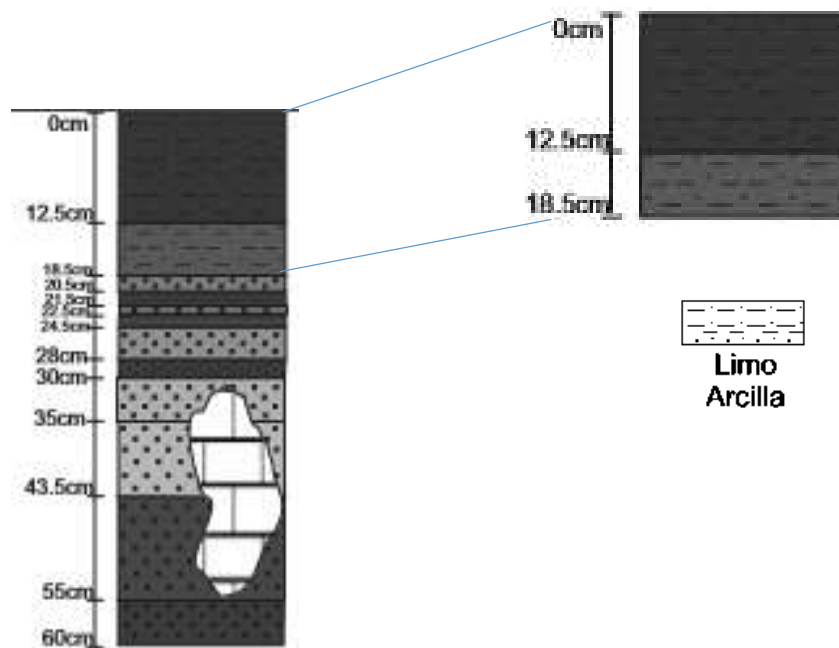


Figura 21. Columna estratigráfica ALCHI-II zona III (18.5 – 0 cm).

7.1.6 Correlación estratigráfica afloramiento y núcleo de Atexcac.

La estratigrafía del lago de Atexcac se describe en base a la columna de un afloramiento de 150 cm ubicado en la periferia del lago y un núcleo de 110cm ubicado en el litoral del lago escasamente a 30 cm de distancia del afloramiento. Estos dos puntos se correlacionan estratigráficamente siendo una columna tipo del lago de Atexcac de 260 cm donde la litología dominante es limo arcilla con estratos de arena gruesa y limo arena. A continuación se describen a detalle el afloramiento y el núcleo de Atexcac.

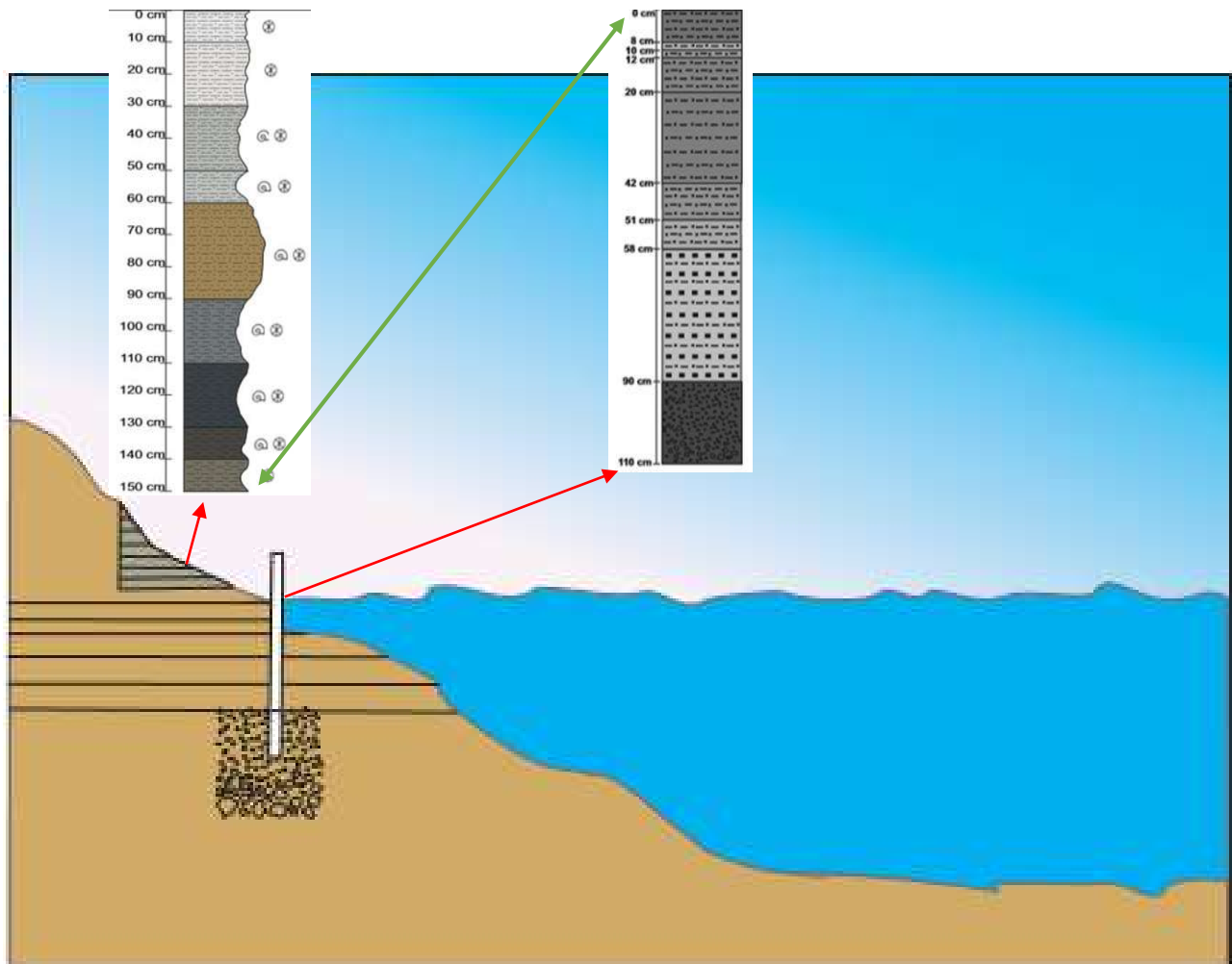


Figura 22. Correlación estratigráfica del lago de Atexcac.

7.1.7 Afloramiento Atexcac (ATX I).

En el sector SO de Atexcac, se localizó un afloramiento de secuencias lacustres expuestas a la vista por una gran regresión del lago, en este sitio se observó lo siguiente:

La litología consiste de una sucesión de limo arcilla masiva y limo arena.

En la base entre 150 cm a 90 cm la columna está constituida por 4 estratos limo arcillosos en contacto transicional, de coloración beige, café, negro y gris, estos estratos contiene raíces y pequeñas partículas de carbón y gasterópodos a los 110 se aprecia un trozo de madera. Está cubierta en contacto transicional de 90 a los 60cm observamos un estrato limo arenoso masivo de tonalidad café con contenido en gasterópodos, raíces y partículas de carbón. Sobreyaciendo en contacto transicional de 60 a los 0 cm un paquete limo arcillosos con tonalidades que van desde gris oscuro, gris claro a blanco. Este último estrato contiene gasterópodos, raíces con partículas diminutas de carbón (Fig. 23). A lo largo de la sección se muestrearon intervalos de cada 10 cm para análisis de diatomeas.

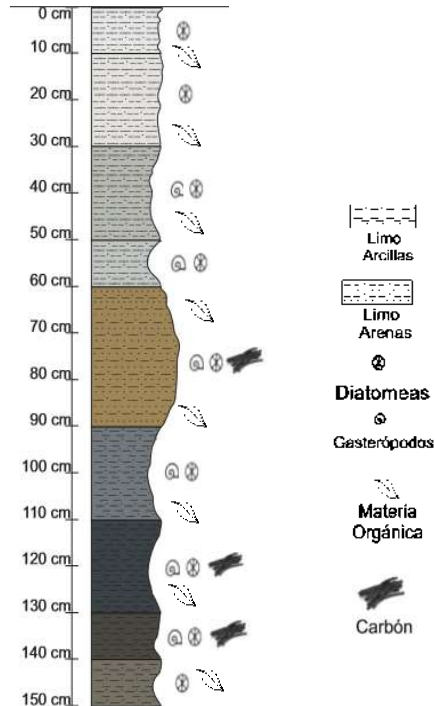


Figura 23. Columna estratigráfica afloramiento ATX I (150 a 0 Cm).

7.1.8 ATX – II zona I (110- 90cm).

La litología consiste de arena gruesa soportada en matriz de arena media con clastos sub-angulosos que van de 5 a 15 cm en gradación normal, está constituida de hialoclastitas negras y pequeños clastos de pómez, escoria volcánica roja (Fig. 24).

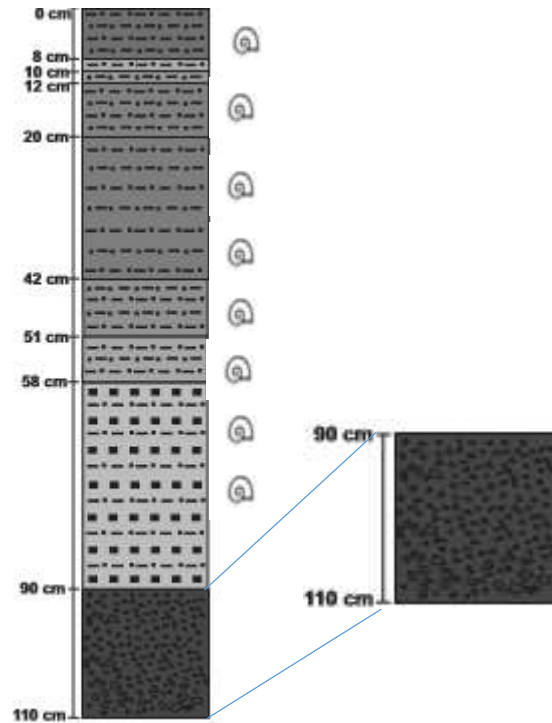


Figura 24. Columna estratigráfica ATX – II zona I (110- 90cm).

7.1.9 ATX-II zona II (90 - 42cm).

En la base a una profundidad de 90 cm a 58 cm. la columna estratigráfica está constituida por un estrato limo-arcilloso de coloración gris clara (10YR5/1), a los 76cm se observó un gasterópodo colectándolo para fechamientos de C14. Le sobreyace en contacto transicional un estrato masivo de limo franco con un espesor de 7cm, de tonalidad amarillo (10YR4/1). Este material es cubierto de los 51 cm a los 42 cm por un estrato limo arcilloso masivo con tonalidad gris oscura (10YR5/1) (Fig. 25).

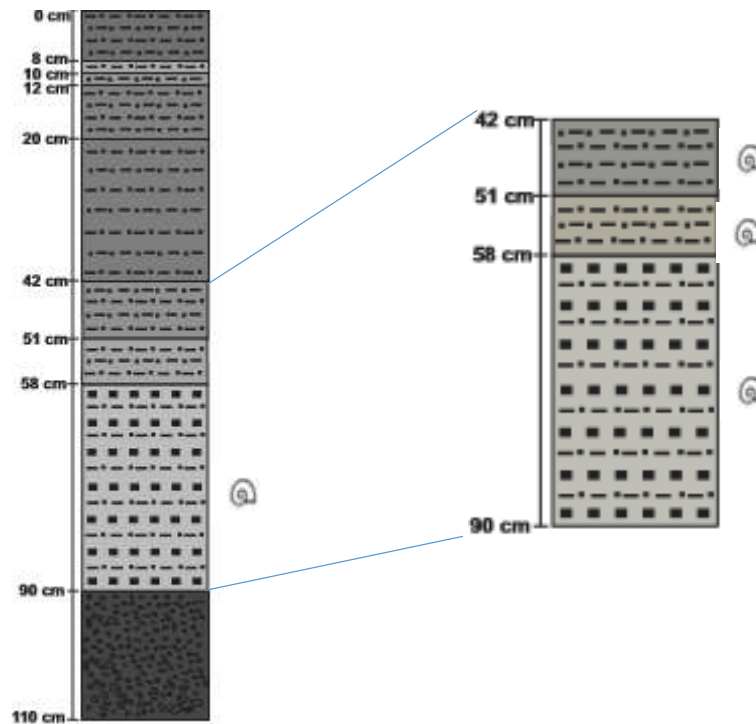


Figura 25. Columna estratigráfica ATX-II zona II (90 - 42cm).

7.1.10 ATX-II zona III (42 - 0cm).

El estrato (42 a los 20 cm) está constituido de limo arcilla con tonalidad café obscuro (10YR6/1). El estrato presenta láminas milimétricas difuminadas. Le sobreyace en contacto transicional un estrato limo arcilloso masivo con tonalidad gris obscuro (10RY 6/1) a diferencia con el estrato anterior no presenta laminillas. En el cm 35 se muestreo un gasterópodo para fechamiento de C14 obteniendo una fecha de 17,110 – 16,760 AP. En contacto transicional se observa hacia la cima un estrato con bandas limo arcillosas de los 12 a los 8cm, con coloración gris claro y oscura (14-N, 14-SG). Coronando a esta secuencia de los 8 a los 0 cm se observa un estrato limo arcilloso de coloración gris obscuro (GLEY14/N) con gasterópodos este estrato se correlaciona con la base de la columna estratigráfica (Fig. 26).

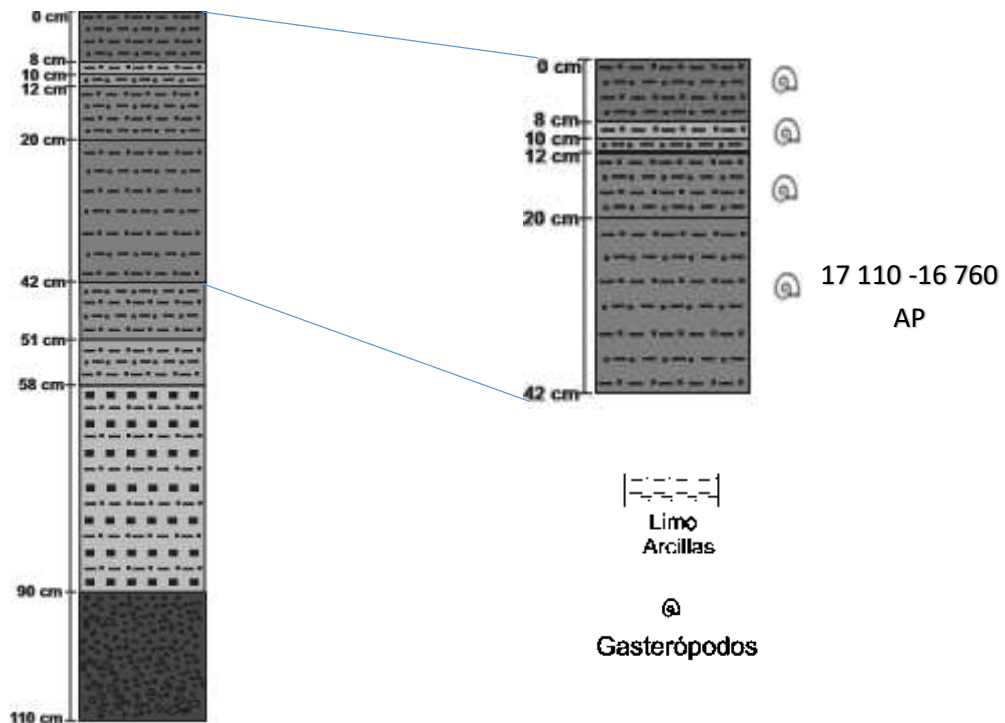


Figura 26. Columna estratigráfica ATX-II zona III (42 - 0cm).

7.2. Difracción de Rayos X (DRX)

7.2.1 Núcleo ALCHI - I

Se registraron los ángulos de difracción o máximos característicos de cada muestra y se compararon con valores conocidos creando un difractograma que identifica los minerales que componen cada una de las muestras:

En el núcleo uno (ALCHI-I), a través de DRX se identificaron 11 especies de minerales: Cuarzo, Calcita, Andesina, Anortita, Magnetita, Cristobalita, Aragonito, Hidromagnesita, Silvita, Halita y Ankerita. (Fig. 27)

En el difractograma obtenido a 57 cm se observa la presencia de Calcita, Halita y Cuarzo con picos de mayor intensidad de Hidromagnesita y Aragonito.

En el difractograma correspondiente a 46 cm se observan minerales como son; Ankerita, Silvita y Halita, con picos de mayor intensidad de Hidromagnesita.

En el centímetro 29 con material compuesto de arena fina con partículas de carbonato generadas por la alta evaporación y aguas cálidas, se observa el difractograma minerales en proporción equitativa de Aragonito e Hidromagnesita y minerales accesorios como Cuarzo y Anortita.

Hacia la cima de la columna litológica en el centímetro 24.5 se encuentran Andesina, Cuarzo y Calcita con picos máximos, mientras que la Magnetita, Cristobalita y Anortita se presenta con picos más pequeños indicando la madurez mineral del lago.

Finalmente a los 11 cm en la cima del núcleo se observan minerales con picos máximos de Andesina y Calcita, lo cual indica un mayor depósito de sales carbonatas producto de la evaporación. Con picos menos observamos minerales como el Cuarzo producto del arrastre de los depósitos del cráter

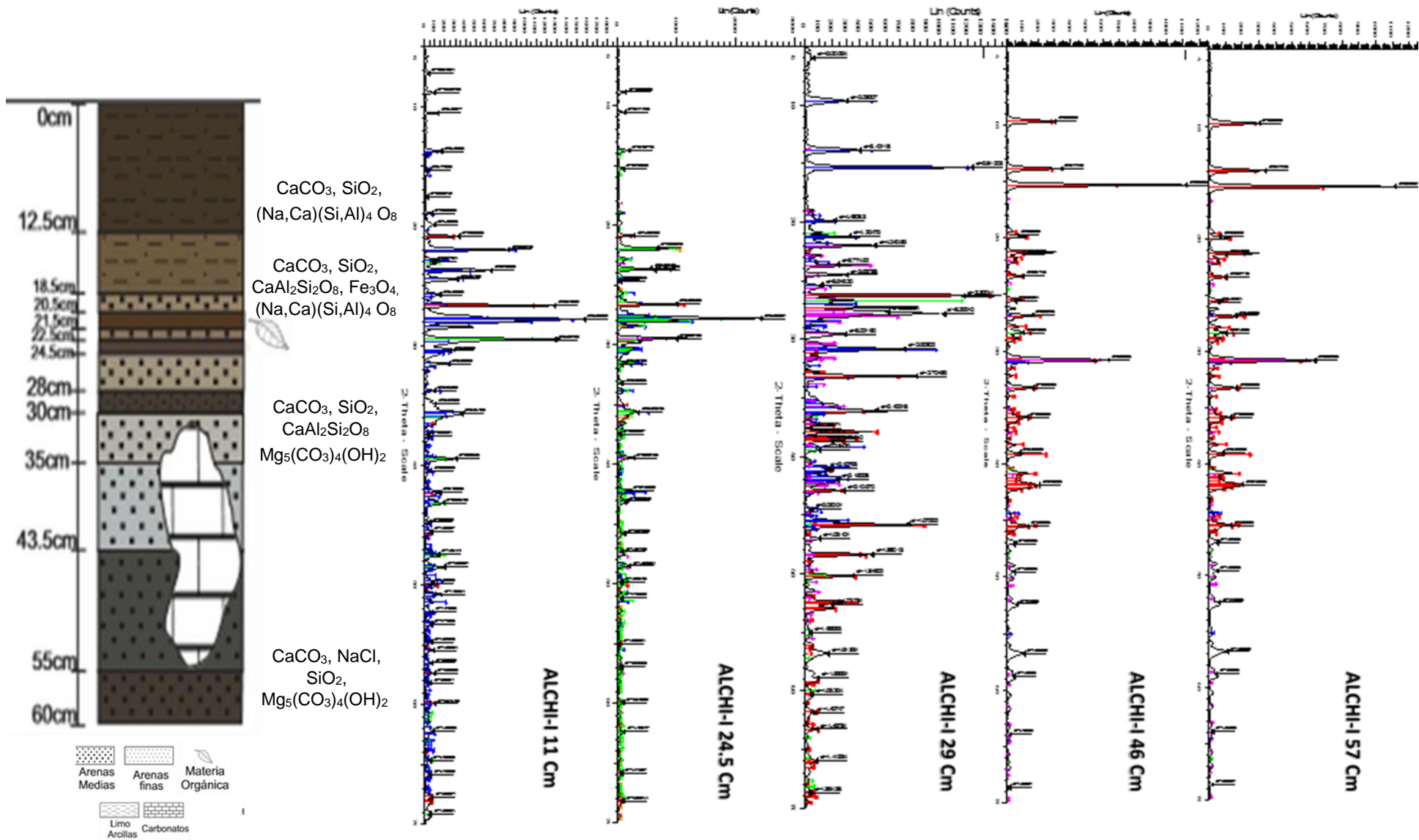


Figura 27. Difractogramas del núcleo ALCHI –I, los principales minerales son Aragonito e Hidromagnesita.

7.2.2 Núcleo ALCHI- II 153 Cm.

En el núcleo dos (ALCHI- II), a través de Difracción de Rayos X se identificaron 3 especies de minerales, Aragonito, Hidromagnesita, Cuarzo, (Fig.28)

En los difractogramas obtenidos a 150, 61, 50 y 40 cm compuestos por material de arena media se observa la presencia de Aragonito, representándose con picos más elevados de Hidromagnesita.

En los centímetros 30 y 20, está compuesto por material Limo arcilloso, mostrando un difractograma con minerales de, Aragonito, representando picos con mayor intensidad de Hidromagnesita.

Finalmente en la cima de la columna litológica se obtuvo el difractograma en el centímetro 10, en un material compuesto por material limo- arenoso. Los minerales que encuentran aquí presentes son Hidromagnesita y Cuarzo, presentando un pico máximo de Aragonito que también se asocia a la actividad hidrotermal.

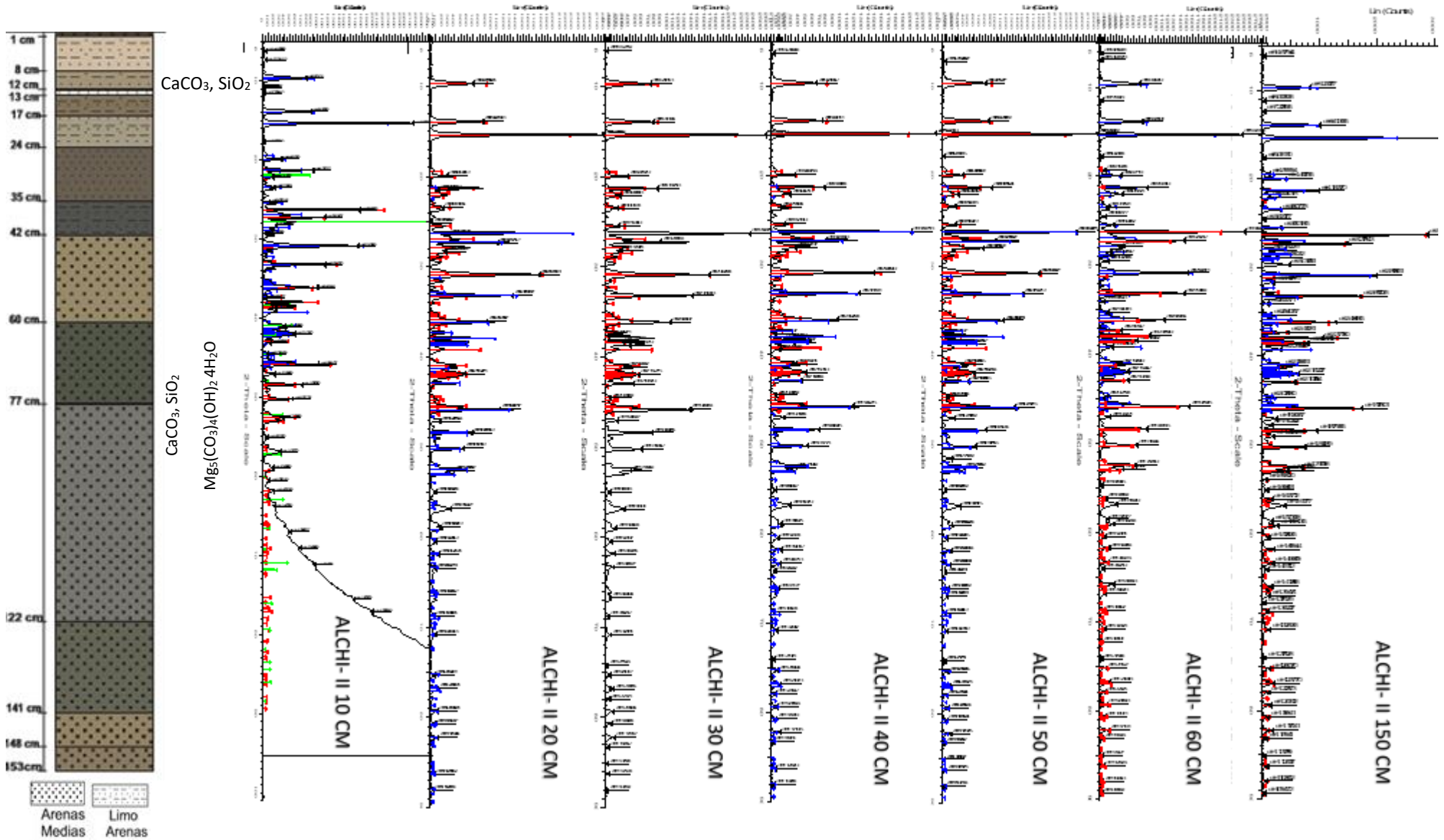


Figura 28. Difractogramas del núcleo ALCHI – II de los 10cm a los 153cm, lo minerales más importantes son Aragonito e Hidromagnesita.

7.2.3 Afloramiento ATX – I 150 Cm.

En el afloramiento uno (ATX-I), a través de Difracción de Rayos X se identificó 3 especies de minerales: Aragonito, Calcita, Labradorita Fig.29

En el difractograma obtenido a 150 cm, compuesta por material Limo arcilloso, muestra una composición mineralógica de Aragonito en su totalidad.

Sucesivamente a los 90 cm se obtuvo un difractograma en un material Limo arenoso masivo, indicando que el lago en este periodo tuvo alta energía durante la sedimentación, presentando la mineralogía compuesta por Labradorita y calcita alcanzando niveles más altos de Aragonito.

En el centímetro 30, la sedimentación consiste de limos-arcillosos rico en raíces obteniéndose un difractograma que se compone de los minerales de Aragonito.

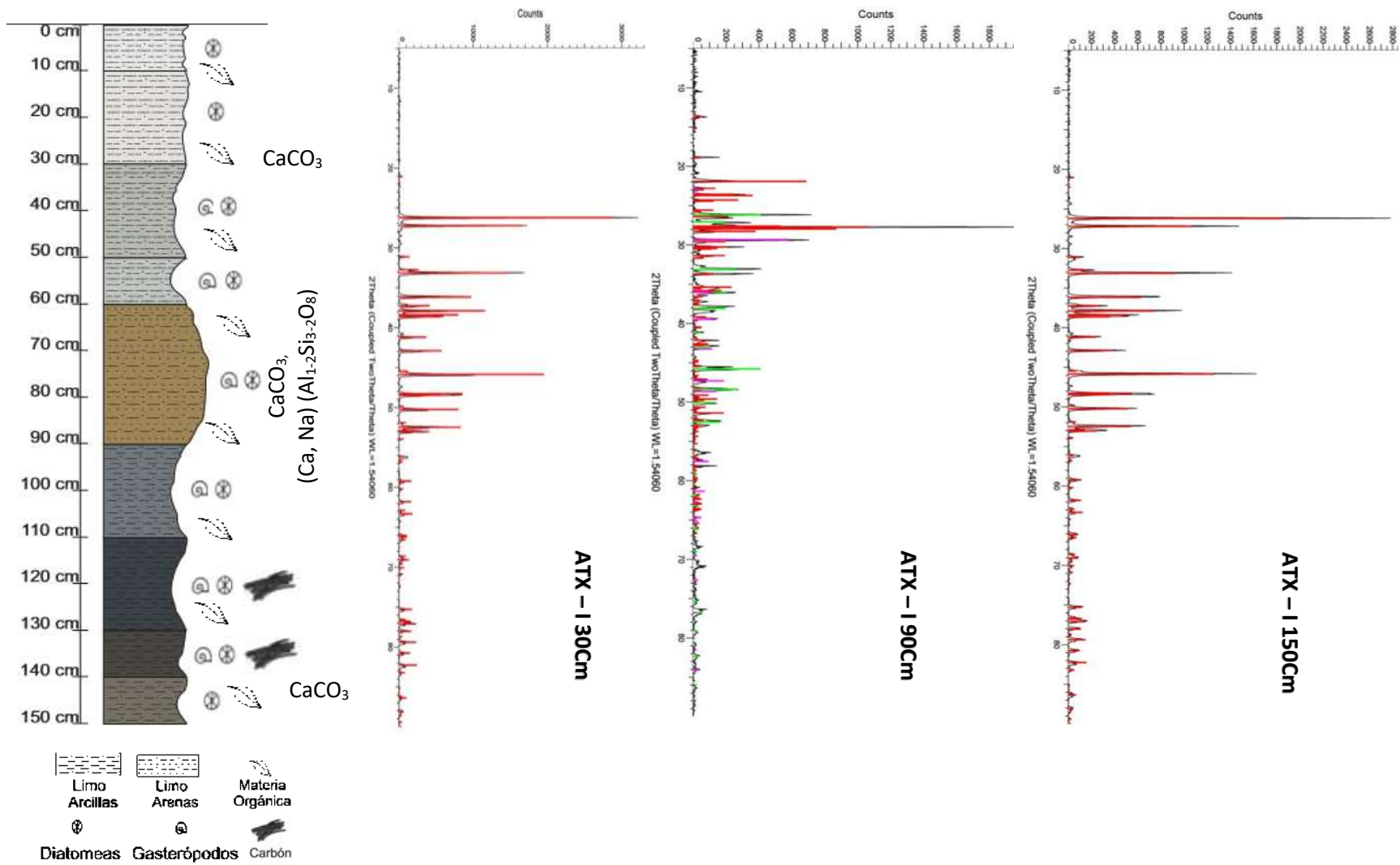


Figura 29. Columna estratigráfica y difractogramas del afloramiento ATX – I muestras de los intervalos 30,90 y 150 cm, los minerales más importantes son Aragonito, Calcita y Labradorita.

7.2.4 Núcleo ATX – II 110 Cm.

En el núcleo tres (ATX- II), a través de Difracción de Rayos X se identificaron 3 especies de minerales: Aragonito, Quintinita y Cuarzo (Fig 30).

En el DRX obtenido a 100 cm, compuesta por l grava con matriz de arena media, muestra una composición mineralógica de Aragonito en su totalidad.

En el centímetro 90 compuesto por material limo arenoso se obtuvo un DRX que se compone de minerales de Cuarzo, Quintinita y Aragonito.

En el DRX obtenido a 80 cm, compuesta por material limo arenoso, muestra una composición mineralógica de Aragonito en su totalidad.

Los DRX obtenidos en los centímetros 40 y 50 en un material compuesto por limo y arcilla; se encuentra una composición mineralógica de Aragonito y Quintinita.

A los 20 cm de profundidad muestra una composición mineralógica Aragonito y Quintinita en un material limo arcilloso.

En el cm 5 se presenta el difractograma que se compone por Aragonito obtenido en un material limo arcilloso que puede ser depositado en el lago debido a la evaporación y temperatura del agua en el cráter.

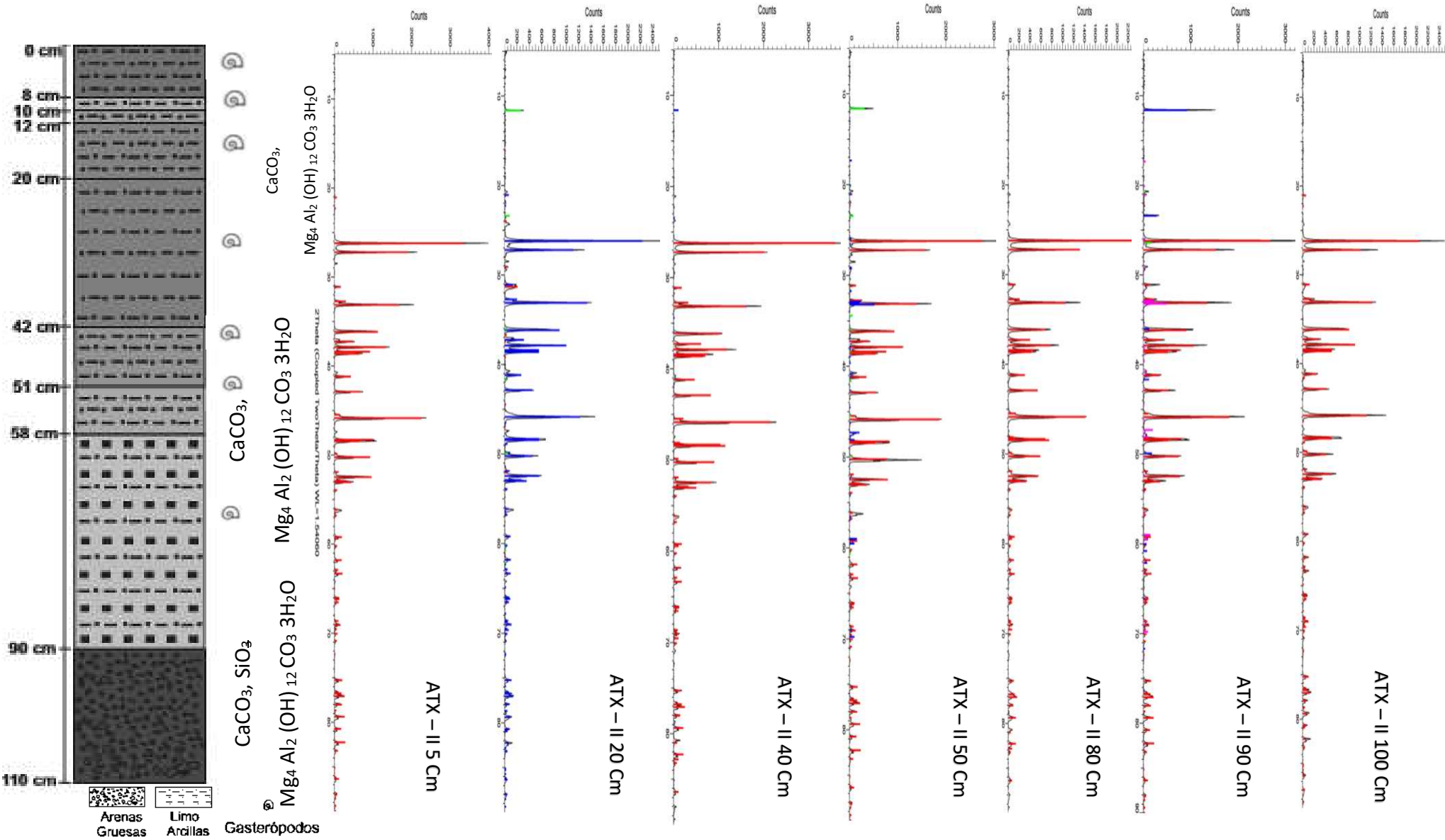


Figura 30. Columna estratigráfica y difractogramas del núcleo ATX– II, muestreando a los 5, 20, 40, 50, 80, 90 y 110cm, el mineral más importante son Aragonito.

7.3 Espectrometría Infrarroja

Se eligieron las muestras más definidas para tener una representatividad de los análisis. Cabe señalar que el núcleo es muy homogéneo y no se observan cambios bruscos en las fases minerales. Los resultados confirman la presencia de aragonito e hidromagnesita que se detectó en todos los espectros a lo largo del núcleo.

Mediante el análisis por espectrometría infrarroja de las muestras del núcleo de ALCHI-I se localizaron los campos de absorción de los siguientes espectros.

Los espectros IR de las muestras de 11, 24,5, 29, 46 y 59 cm del núcleo ALCHI- I. presentan las bandas de CaCO₃ (1468.51 y 1036.45 cm⁻¹), Aragonito (1799.04 y 713.6) y la hidratación de los minerales carbonatados (3428.39). Estas bandas son características de la especie mineral Hidromagnesita.

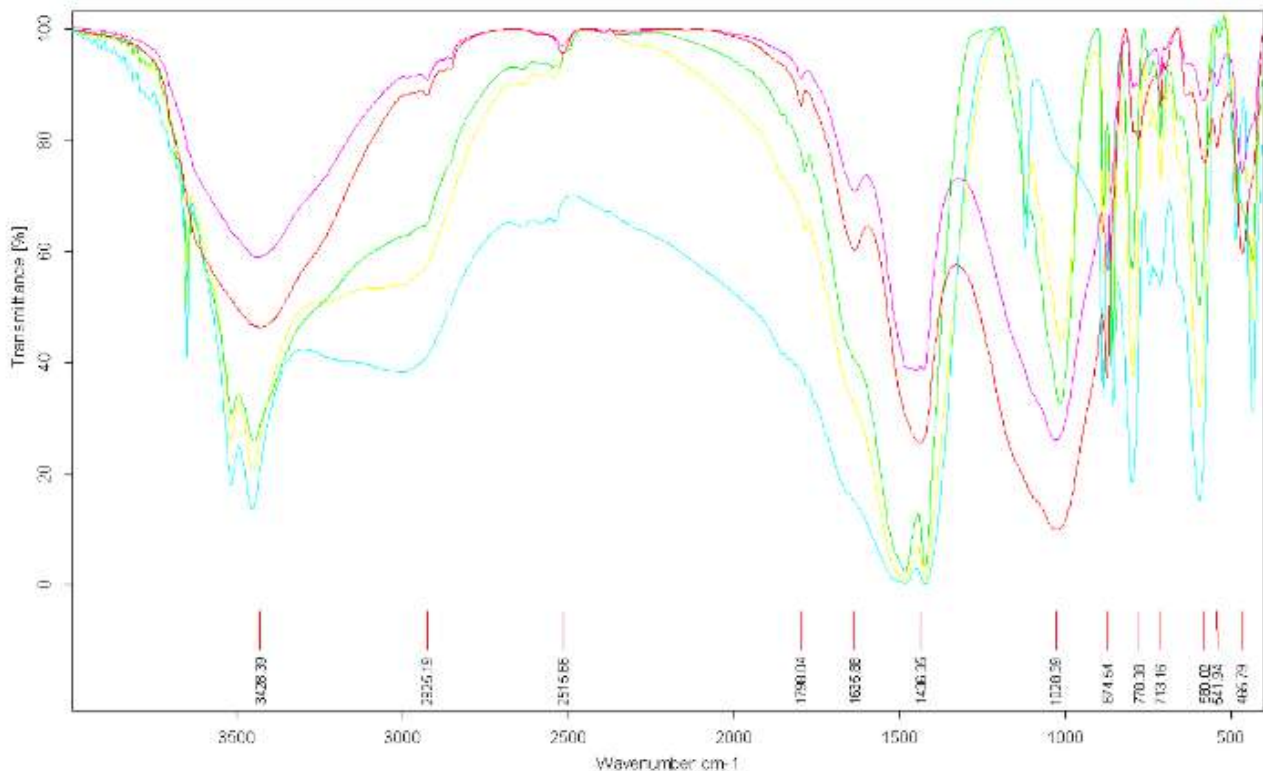


Figura 31. Espectrómetro de infrarrojo del núcleo ALCHI –I.

Los espectros IR de las muestras de 10, 20, 30, 40, 50, 61 y 150 cm. del núcleo ALCHI -II presentan las bandas de CaCO_3 (1799.04 y 713.6). Estas bandas son características de la especie mineral Aragonito.

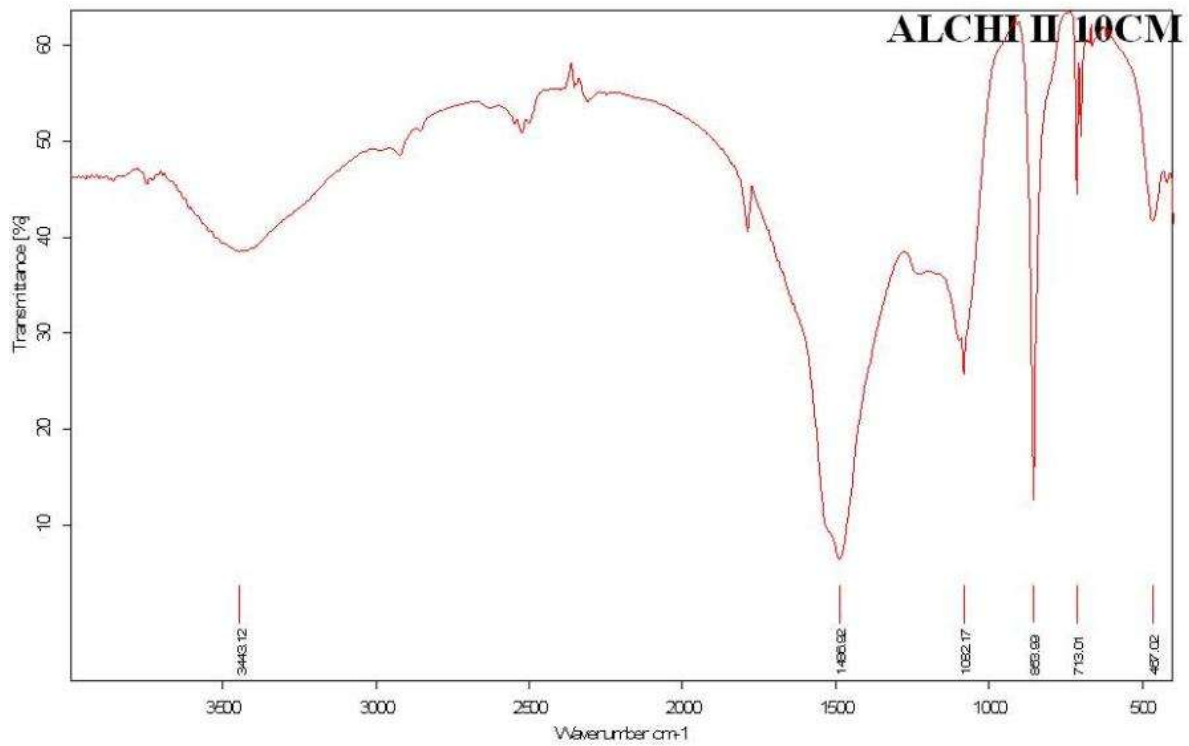


Figura 32. Espectrómetro de infrarrojo del núcleo ALCHI-II.

7.4 Susceptibilidad magnética

La susceptibilidad magnética, como se indica en la introducción es un indicador de variabilidad en la concentración de minerales magnéticos a lo largo de las secuencias y permite inferir procesos de erosión y/o alteración.

7.4.1 Núcleo ALCHI - I

En la figura 33, se observan las variaciones de la susceptibilidad magnética (χ). De la base (60 cm) a los 50 cm, la susceptibilidad magnética presenta un aumento en los valores desde 12×10^{-6} hasta 41×10^{-6} . Posterior a esta medición alta vuelve a decrecer los 48 cm a 35×10^{-6} incrementando paulatinamente hasta los 32 cm obteniendo la mayor lectura con una susceptibilidad de 209×10^{-6} . De los 32 cm a los 28 cm la susceptibilidad decrece nuevamente llegando a valores de 128×10^{-6} . A partir de los 28 cm hasta los 26 cm se registra un pequeño incremento de los 128×10^{-6} a 143×10^{-6} esto posiblemente por una alta erosión de los depósitos externos al lago. Decrece la susceptibilidad hasta los 22 cm registrando 102×10^{-6} . De los 22 a los 14 cm incrementa paulatinamente la frecuencia llegando a los 190×10^{-6} , decrece hasta el centímetro 10 llegando a 118×10^{-6} . Hacia la cima se registra un último aumento en la susceptibilidad magnética 180×10^{-6} a los 6 cm y decreciendo una vez más hacia el 0 cm.

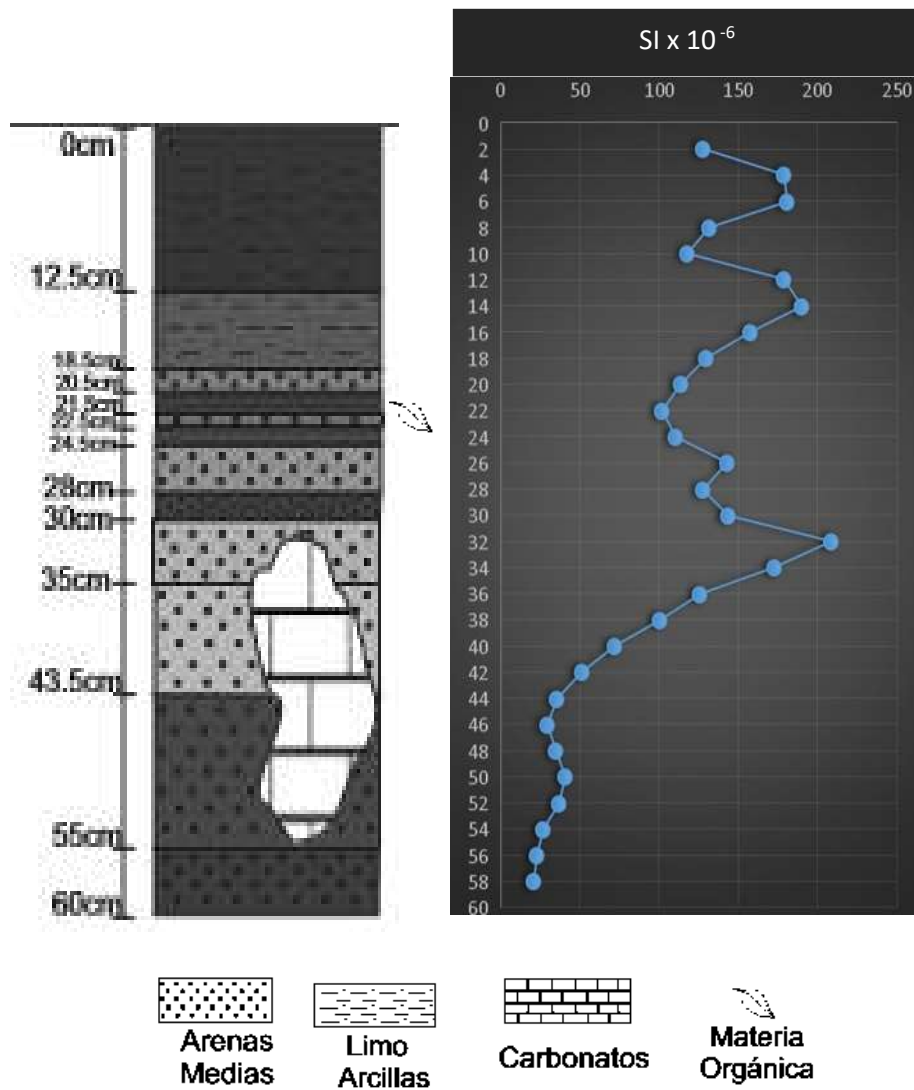


Figura 33. Columna estratigráfica del núcleo ALCHI- I y grafica de susceptibilidad magnética.

7.4.2 Núcleo ALCHI - II

En la base de éste núcleo la susceptibilidad magnética muestra valores bajos cercanos a $9,02 \times 10^{-6}$ y son dados a partir del cm 154 aumentando paulatinamente al cm 62.

Posteriormente se muestra que la susceptibilidad magnética aumenta con valores $162,7914 \times 10^{-6}$, $109,3726 \times 10^{-6}$ a partir del cm 62 al cm; sucesivamente a partir del cm 74 al cm 58, la curva de la gráfica alcanza los valores más altos que llegan hasta el $138,327 \times 10^{-6}$.

Hacia la cima del núcleo desde el cm 54 al cm 2, la susceptibilidad magnética muestra valores altos y bajos $144,8767 \times 10^{-6}$ a $37,9927 \times 10^{-6}$ (Fig. 34)

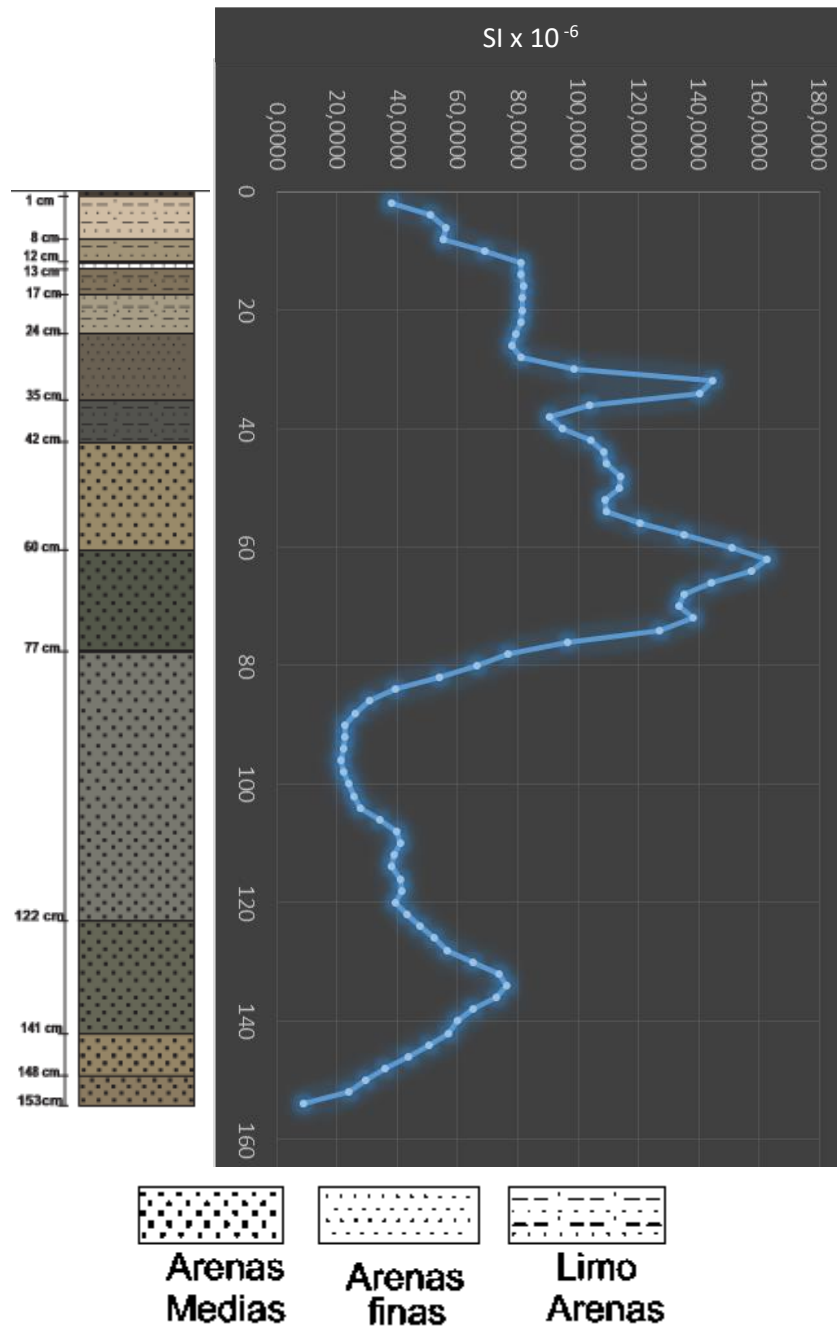


Figura 34. Columna estratigráfica del núcleo ALCHI- II y grafica de susceptibilidad magnética.

7.4.3 Afloramiento ATX - I

En la base de éste núcleo la susceptibilidad magnética muestra los valores más altos que llegan de los 84×10^{-6} a los 91×10^{-6} , son dados a partir del cm 150 aumentando paulatinamente al cm 100.

Posteriormente se muestra que la susceptibilidad magnética se mantiene con valores positivos de 81×10^{-6} a partir del cm 100 al cm 90; posteriormente a partir del cm 90 al cm 50, la curva de la gráfica alcanza los valores de 81×10^{-6} a 84×10^{-6} .

Hacia la cima del núcleo la susceptibilidad magnética muestra valores bajos cercanos a 74×10^{-6} a los 81×10^{-6} son dados a partir del cm 50 disminuyendo paulatinamente al cm 0 (Fig. 35).

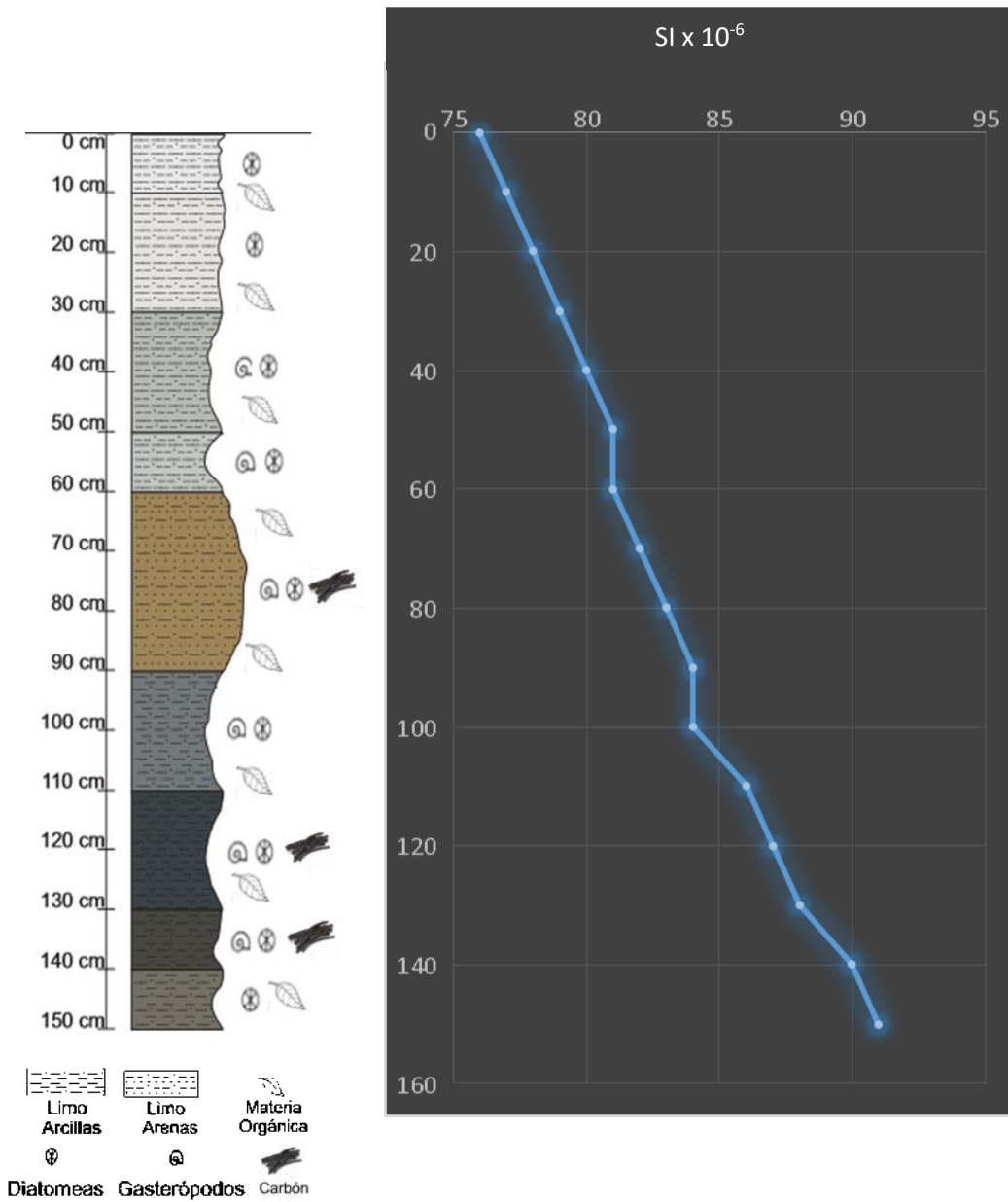


Figura 35. Columna estratigráfica y grafica de susceptibilidad magnética del afloramiento del lago de Atexcac.

7.4.5 Núcleo ATX-I

El núcleo de Atexcac I, como se comentó en el capítulo de material y métodos, se desechó por su granulometría de grava. Que no permitiría una evaluación de parámetros paleoambientales.

7.4.6 Núcleo ATX-II

Se muestran las variaciones de la susceptibilidad magnética (X), que corresponde al Lago de Atexcac en el núcleo II (Fig. 36).

Se observan valores negativos en la base de éste núcleo a 110 cm de $-695,3468 \times 10^{-6}$ mientras que de 102 a 100 cm aumenta la λ hacia valores positivos $102,36 \times 10^{-6}$ y $65,75 \times 10^{-6}$.

Sucesivamente los valores de susceptibilidad magnética en los cm 98 a 94 decrecen valores negativos de $-61,517 \times 10^{-6}$ a $-457,712 \times 10^{-6}$, alcanzando el máximo nivel a los 92 cm mostrando valores positivos de hasta $892,2788 \times 10^{-6}$.

Consecutivamente del cm 90 al cm 18 se observa una disminución en la susceptibilidad magnética alcanzando valores cercanos a $-1,3989 \times 10^{-6}$.

Posteriormente del cm 18 al cm 16, también se presenta un pico que alcanza valores de $-974,6195 \times 10^{-6}$. Siendo el más alto en el cm 16. Finalmente del cm 16 hasta la cima de la columna litológica la susceptibilidad magnética presenta valores negativos de -974×10^{-6} a 811×10^{-6} .

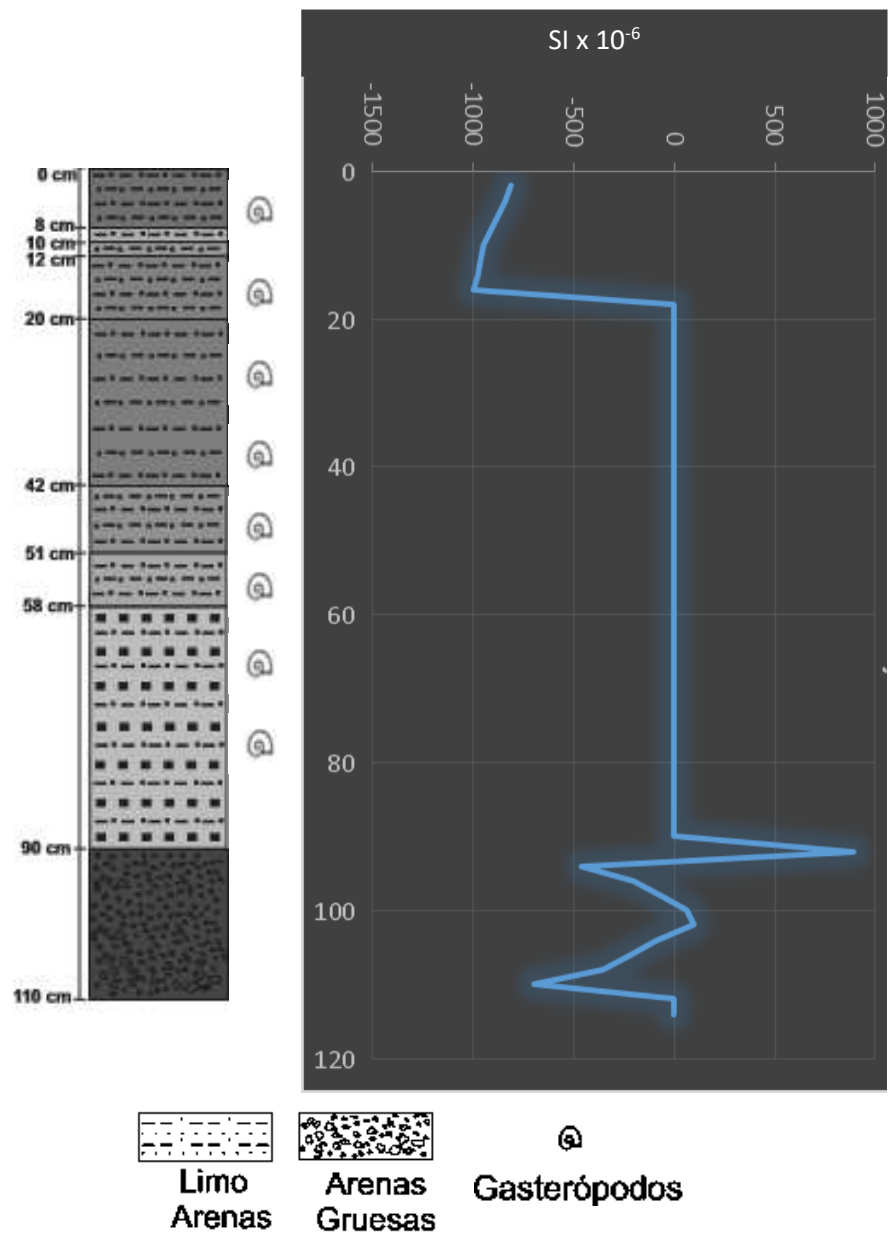


Figura 36. Columna estratigráfica del núcleo ATX- II y grafica de susceptibilidad magnética.

7.5 Taxonomía de diatomeas

La identificación de los taxones encontrados en el afloramiento del lago de Atexcac ATX-I, se realizó mediante caracteres morfológicos, en los que se basa gran parte de la diversidad descrita para este grupo de algas. La información de las condiciones ecológicas se basó en Hustedt (1930), Round (1981), Gasse (1986), Bradbury (2000), Israde-Alcántara (1995), Hartley et al. (1996), Krammer y Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Rumrich et al. (2000), y Lange-Bertalot (2001).

Se contaron transectos completos en cada laminilla contando más de 300 valvas por transecto. El total de especies de diatomeas fue representado en porcentajes y se muestran en la fig.37

Se reporta a continuación cuales son las especies dominantes, subdominantes y acompañantes en intervalos de 10 cm

A los 150 se identificaron dos especies dominantes *Epithemia adnata* y *Navícula trivialis*, siete especies subdominantes; *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Entomoneis alata*, *Navícula upsaliensis*, *Rhopalodia gibba*, *Rhopalodia gibba var. minuta* y *Surirella brightwelli var. baltica* y 5 especies de diatomeas poco abundantes; *Achnanthes kryophila*, *Cymbella hebriolic*, *Gomphonema mexicanum*, *Navícula libonensis*, y *Surirella spirialis* (Anexo).

En el centímetro correspondiente a los 140 se identificaron dos especies dominantes *Epithemia adnata* y *Navícula trivialis*, ocho especies subdominantes; *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Entomoneis Alata*, *Navícula upsaliensis*, *Rhopalodia gibba*, *Rhopalodia gibba var. minuta* y *Surirella brightwelli Var. baltica* y tres especies de diatomeas poco abundantes; *Achnanthes kryophila*, *Gomphonema mexicanum* y *Navícula libonensis*.

A los 130 cm dos especies son las dominantes *Epithemia adnata* y *Navícula trivialis*, siete especies subdominantes; *Cocconeis placentula*, *Entomoneis alata*, *Navícula upsaliensis*, *Planotidium hanceolatum* *Rhopalodia gibba*, *Rhopalodia gibba var.*

minuta y *Surirella brightwelli* var. *baltica* y tres especies de diatomeas poco abundantes; *Cyclotella meneghiniana*, *Achnanthes kryophila* y *Gomphonema mexicanum*.

A los 120 aparecen dos especies dominantes *Epithemia adnata* y *Navícula trivialis*, nueve especies subdominantes *Achnanthes kryophila*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Entomoneis alata*, *Navícula upsaliensis*, *Planotidium hanceolatum*, *Rhopalodia gibba*, *Rhopalodia gibba* var. *minuta* y *Surirella brightwelli* var. *báltica* y una especie poco abundante *Gomphonema mexicanum*

En el centímetro correspondiente a los 110 se muestran dos especies dominantes *Epithemia adnata* y *Navícula trivialis*, ocho especies subdominantes; *Achnanthes kryophila*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella gracilis*, *Encyonema* ft, *Entomoneis Alata*, *Frustulia gaetneral*, *Rhopalodia gibba*, y seis especies de diatomeas poco abundantes; *Gomphonema mexicanum*, *Navícula libonensis*, *Navícula upsaliensis*, *Nitzschia polaris*, *Surirella brightwelli* var. *báltica* y *Surirella spirialis*.

A los 100 cm son dominantes *Epithemia adnata* y *Navícula trivialis*, siete especies subdominantes; *Cyclotella meneghiniana*, *Navícula libonensis* y cinco especies poco abundantes; *Cocconeis placentula*, *Cymbella gracilis* *Entomoneis alata*, *Frustulia Crassinervia* y *Rhopalodia gibba*.

En el centímetro correspondiente a los 90 la especie dominante es *Navícula trivialis*, siete especies subdominantes; *Cocconeis placentula*, *Cymbella hebriolica*, *Cymbella gracilis*, *Encyonema* ft, *Entomoneis alata*, *Epithemia adnata*, *Nitzschia fonticula* y 12 especies de diatomeas poco abundantes; *Cyclotella meneghiniana*, *Campylodiscus clypeus*, *Cyclotella ocelata*, *Frustulia crassinervia*, *Frustulia septentrionalis*, *Gomphonema mexicanum*, *Pinnularia microstauron*, *Rhopalodia gibba*, *Rhopalodia gibba* var. *minuta*, *Surirella glabra* y *Surirella sperialis*.

A los 80 aparecen dos taxa como dominantes *Epithemia adnata* y *Navícula trivialis*, nueve especies subdominantes; *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella hebriolica*, *Cymbella gracilis* *Encyonema* ft, *Entomoneis alata*, *Navícula upsaliensis*, *Neidium productum* y *Rhopalodia gibba*, y 5 especies de diatomeas

poco abundantes; *Achnanthes kryophila*, *Gomphonema mexicanum*, *Navícula libonensis*, *Pinnularia microstauron*, *Rhopalodia gibba* Var. *minuta*, y *Surirella spirialis*.

En el centímetro correspondiente a los 70 solo una especie es dominante *Navícula trivialis*, siete especies subdominantes; *Cocconeis placentula*, *Cymbella hebriolica*, *Cymbella gracilis*, *Encyonema ft*, *Entomoneis alata*, *Epithemia adnata*, *Epithemia sorex*, *Navícula upsaliensis*, *Pinnularia divergetisima* y 12 especies de diatomeas poco abundantes; *Gomphonema mexicanum*, *Nitzschia palea*, *Pinnularia microstauron*, *Rhopalodia gibba*, *Rhopalodia gibba* Var. *minuta*.

En el centímetro correspondiente a los 60 cambia la dominancia a *Epithemia adnata*, *Navicula libonensis*, *Navícula trivialis*, *Neidium productum*. Cinco especies subdominantes; *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Entomoneis adnata*, *Epithemia sorex*, *Pinnularia divergetisima* y 2 especies de diatomeas poco abundantes; *Cymbella hebriolica* y *Nitzschia palea*.

A los 50 cm se identificaron tres especies dominantes *Epithemia adnata*, *Navicula libonensis*, *Navícula trivialis* siete especies subdominantes; *Cocconeis placentula* *Cyclotella meneghiniana*, *Entomoneis alata*, *Epithemia sorex*, *Pinnularia divergetisima* y cinco especies poco abundantes; *Aulacoseira granulata*, *Cymbella hebriolica*, *Navícula upsaliensis*, *Nitzschia palea* y *Rhoicosphenia ft*.

A los 40 se siguen dominando *Epithemia adnata*, *Navicula libonensis*, *Navícula trivialis*, siete especies subdominantes; *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella hebriolica*, *Cymbella gracilis* *Epithemia sorex*, *Neidium productum*, *Pinnularia divergetisima* y cuatro especies de diatomeas poco abundantes; *Entomoneis adnata*, *Navícula upsaliensis*, *Nitzschia palea* y *Rhoicosphenia ft*.

En el centímetro correspondiente a los 30 siguen dominando *Epithemia adnata*, *Navicula libonensis*, *Navícula trivialis*, en conjunto con *Neidium productum*. Siete especies subdominantes; *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella Gracilis* *Entomoneis alata*, *Navicula trivialis*, *Nitzschia palea*, *Pinnularia divergetisima*, y seis especies de diatomeas poco abundantes; *Aulacoseira granulata*, *Epithemia sorex*, *Gomphonema mexicanum*, *Navícula upsaliensis*, *Pinnularia gibba* y *Rhopalodia gibba*.

A los 20 cm se identificaron dos especies dominantes *Cocconeis placentula* *Cyclotella meneghiniana*, y cinco especies subdominantes, *Discostella*, *Encyonema ft* *Entomoneis alata*, *Epithemia sorex*, *Navicula libonensis*, *Nitzschia palea*, y diez especies poco abundantes; *Aulacoseira granulata*, *Caloneis silicuta*, *Cymbella helmecker*, *Frustulia romboide*, *Gomphonema mexicanum* *Navícula trivialis*, *Navicula libonensis*, *Navicula rhynchotella*, *Rhopalodia gibba*. y *Stephanodiscus*.

A los 10 se identificaron y estudiaron dos especies dominantes *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, siete especies subdominantes; *Entomoneis alata*, *Epithemia adnata*, *Navicula trivialis*, *navicula libonensis*, *Nitzschia palea* y diez especies de diatomeas poco abundantes; *Aulacoseira granulata*, *Caloneis silicuta*, *Cymbella helmecker*, *Discostella*, *Encyonema ft*, *Frustulia romboide*, *Gomphonema mexicanum*, *Rhoicosphenia*, *Rhopalodia gibba*. y *Stephanodiscus*.

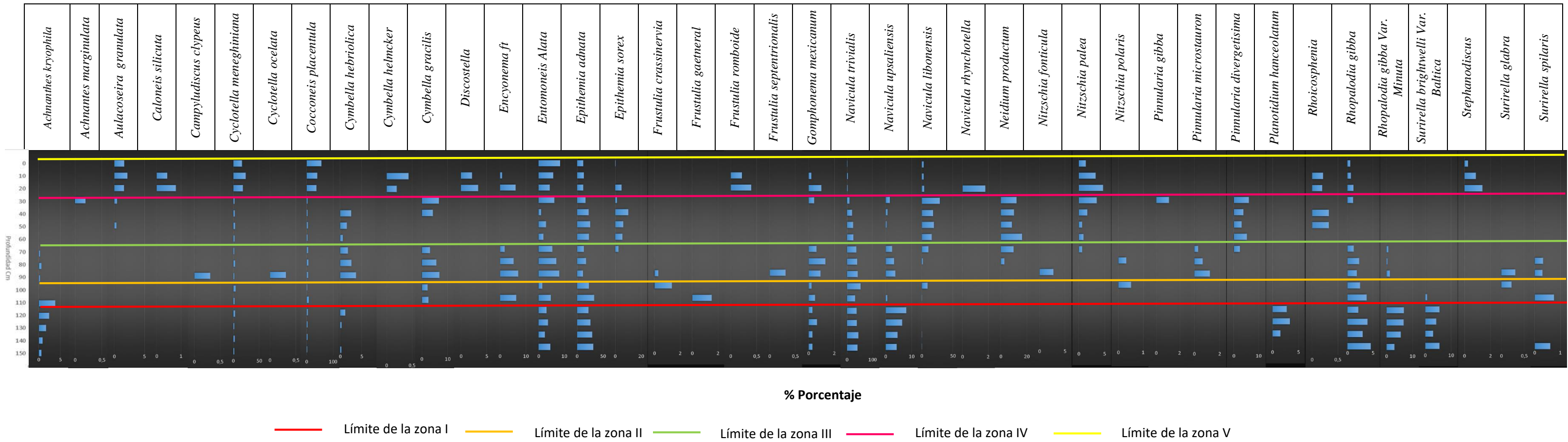


Figura 37. Grafica taxonómica general y porcentajes de diatomeas del afloramiento ATX-I que tiene una longitud de 150 cm y la fragmentación en zonas para su análisis.

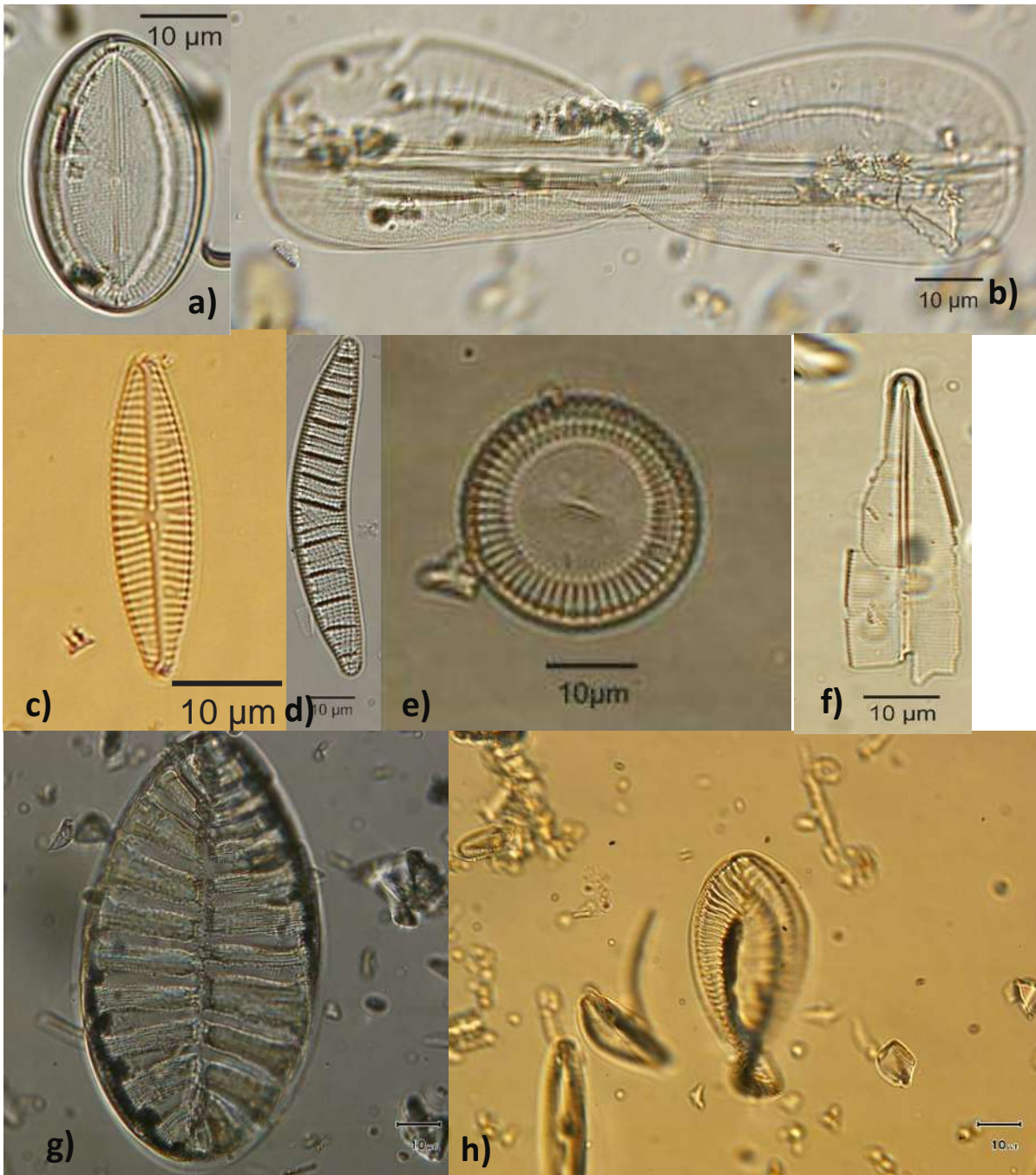


Figura 38. Imágenes de diatomeas a 40x, **a)** *Cocconeis placentula*, **b)** *Entomoneis alata*, **c)** *Navícula trivialis*, **d)** *Epithemia adnata*, **e)** *Cyclotella meneghiniana*, **f)** *Frustulia romboides*, **g)** *Surirella striatura* y **h)** *Surirella spiralis*.

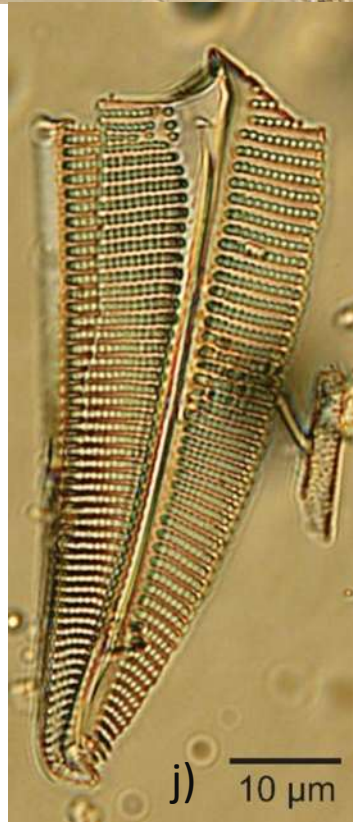


Figura 39. Fotografías de taxones de diatomeas a 40x. i) *Pinnularia gibba* y j) *Cymbella helmckei*.

7.6 Polen

El bosque templado ha estado presente en todo el núcleo volviéndose más abierto en algunos momentos cuando la perturbación se incrementa, siendo los momentos de mayor perturbación del bosque a los 75 y 55 cm. Estos dos mínimos en *Pinus* coinciden con un aumento en los elementos más tropicales como serían *Ilex*, *Ficus*, *Moraceae*, *Ulmaceae*, *Leguminosae*. La disminución en *Pinus* a causas climáticas. Se observa picos en *Pinus* 85, 70, 30, 10 y 0 con porcentajes de 80% indicando una dominancia casi monoespecífica de *Pinus* en la vegetación, durante estos momentos en que la temperatura disminuía los taxones tropicales casi desaparecen. *Quercus* permanece a lo largo del núcleo acompañando a *Pinus*, como ocurre en los bosques templados donde la composición típica es de pino-encino. Los periodos de ausencia de encino (*Quercus*) se observa un aumento en elementos característicos de perturbación como son Compositae, Gramineae, Euphorbiaceae. Esta perturbación observada en el bosque puede deberse a actividades antropogénicas, (Fig. 40).

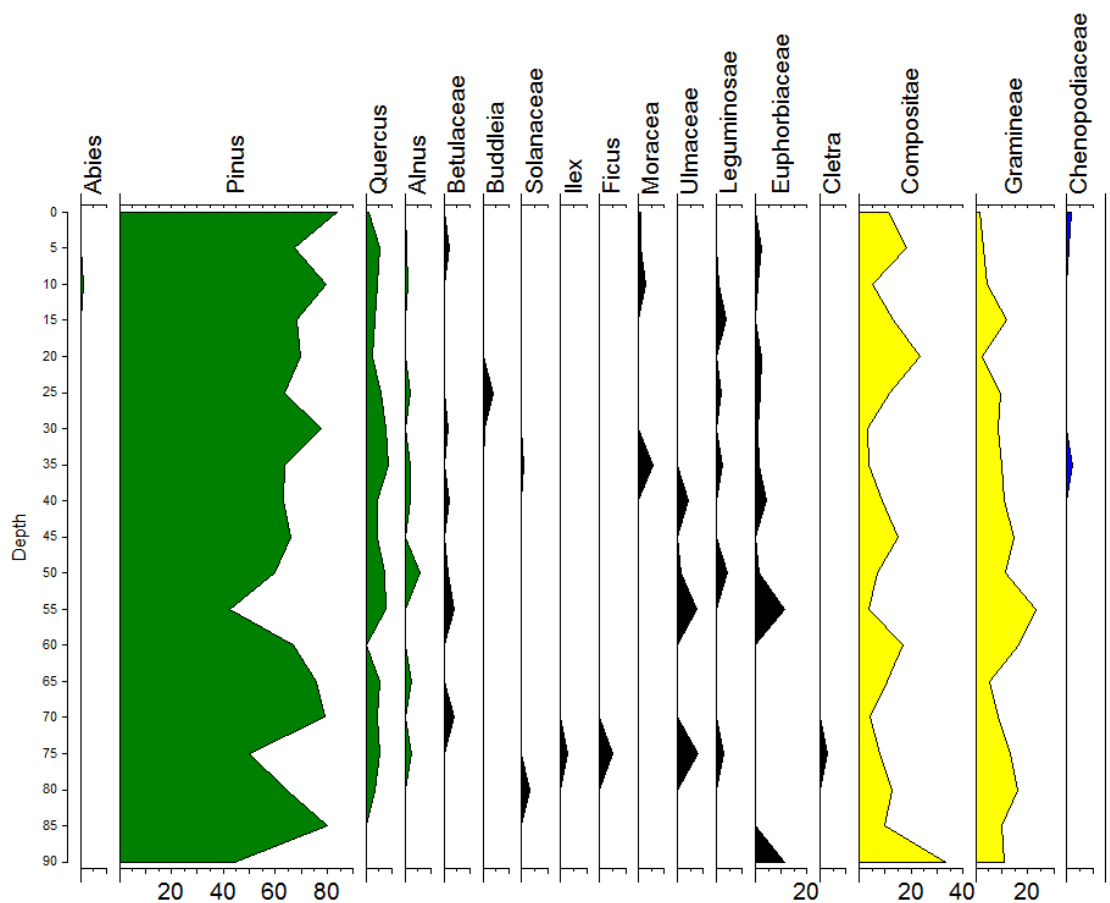


Figura 40. Tabla taxonómica de polen del núcleo ATX – II (Domínguez Vázquez; 2017).

7.7 Granulometría

De acuerdo a los análisis de granulometría se obtuvieron los porcentajes del material tamizado en cada malla el análisis se realizó en intervalos de 10cm, con ayuda de la tabla de Tyler recopilada y elaborada por la Técnico Fabiola Mendiola encargada del laboratorio de granulometría del instituto de Geofísica de la UNAM Campus Morelia, se determinó el tipo de material acumulado en el tamiz.

7.7.1 Núcleo ALCHI – I.

A los 60 cm se muestra un mayor porcentaje en la malla 120 de 56,22% que pertenece a una arena fina, en la maya 60 tenemos un porcentaje 13,79 % corresponde a arena media, en la malla 230 con un porcentaje de 10,2 % que corresponde a una arena muy fina.

Sucesivamente a los 50 cm se obtuvo un porcentaje mayor 48,21% en la malla 120 en un material de arena fina, en la malla 230 con 19,2% en un material de arena muy fina. Y el tercer pico más alto en la malla 60 con 13.5 % en un material de arena media.

A los 40 cm se obtuvo un porcentaje mayor en la malla 120 con 54,8% en un material de arena fina, en la malla 230 con 21.1% en un material de arena muy fina. Y el tercer pico más alto en la malla 60 con 12.9 % corresponde a un material de arena media.

Consecutivamente a los 30 cm se obtuvo en la malla 120 en mayor proporción 30.3% corresponde a una arena fina, en la malla 230 un porcentaje 27.1% en un material de arena muy fina, en la malla 60 un porcentaje de 20.1 de material de arena media.

Sucesivamente a los 20 Cm se obtuvo una mayor proporción de material fino mayor a la maya >230 de 49.2% que pertenece a materiales limo – arcillosos, en la malla 230 con el 21.1% prevalece la arena muy fina, sucesivo por la malla 120 con 15.3% de un material de arena fina y en la malla 60 con el 13.4% arena media.

Finalmente a los 10 Cm se obtuvo un mayor porcentaje en la malla >230 de 65.6% % que pertenece a materiales limo – arcillosos, en la malla 230 con el 15.9% prevalece la arena muy fina, sucesivo por la malla 120 con 10.2% de un material de arena fina y en la malla 60 con el 7.9% arena media (Fig. 41).

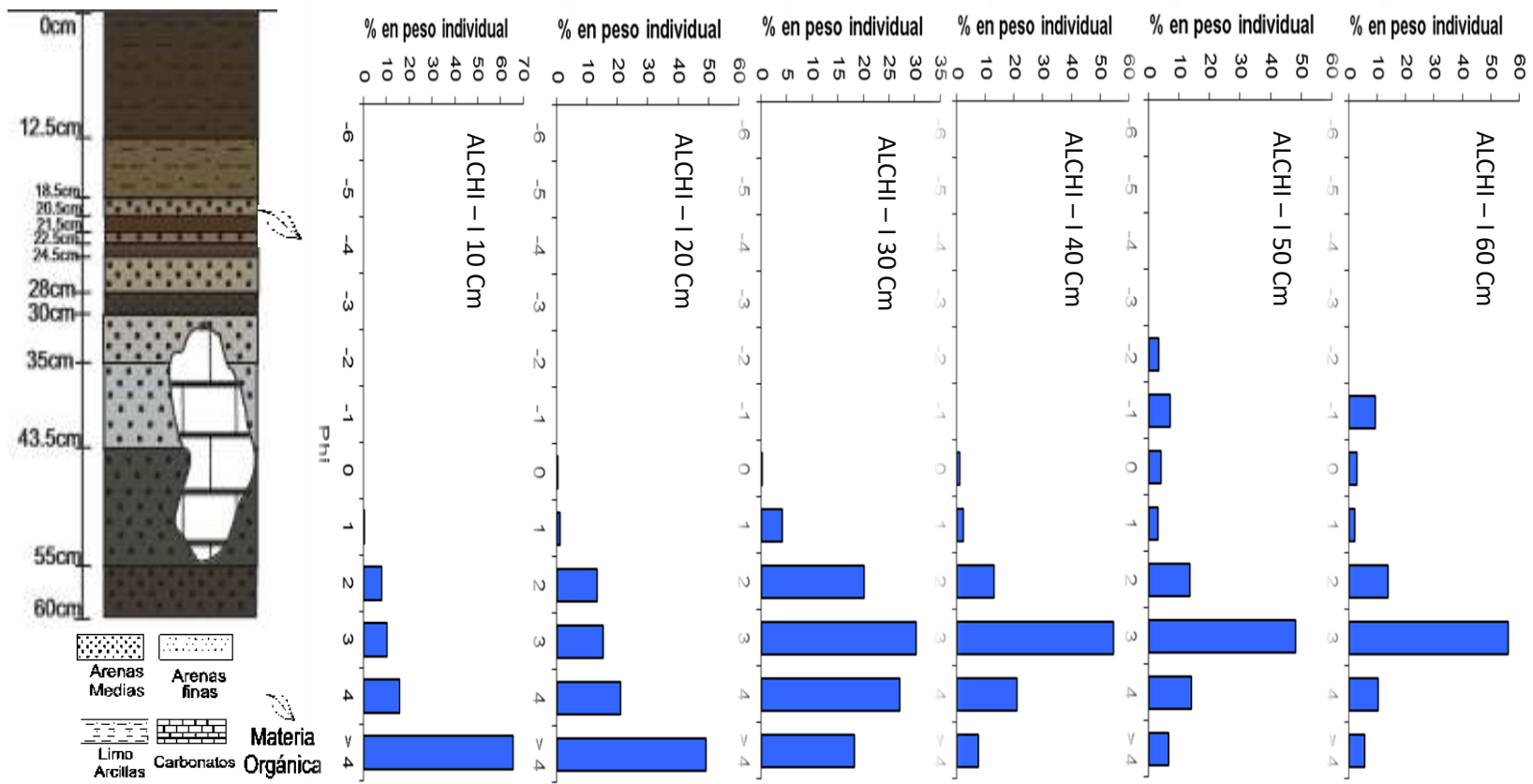


Figura 41. Columna estratigráfica e histogramas del núcleo ALCHI – I de 60 cm.

7.7.2 Núcleo ALCHI – II

En este núcleo se cribaron 15 muestras en un intervalo de diez centímetros y obtuvimos dos constantes a lo largo del núcleo.

De los 150 a los 90 cm los histogramas obtienen una porcentaje de acumulación mayor en la malla 120, representado por un material de arena fina y una acumulación de arena muy fina este se ve representado en el porcentaje de acumulación de la maya 230, observamos un porcentaje de acumulación en la malla 60, representando arenas medias, poca cantidad de arenas gruesas, limos y arcillas, obteniendo así una curva modal en nuestros gráficos.

Consecutivamente de los 90 a los 10 cm observamos un incremento en la porción fina (limo- arcilla) representada en malla >230, un índice alto de arena muy fina, fina y media, con poca presencia de materiales más gruesos. A partir del análisis granulométrico detallado se observaron depósitos de arenas muy finas a media dentro de una matriz limo-arcillosa (Fig. 42).

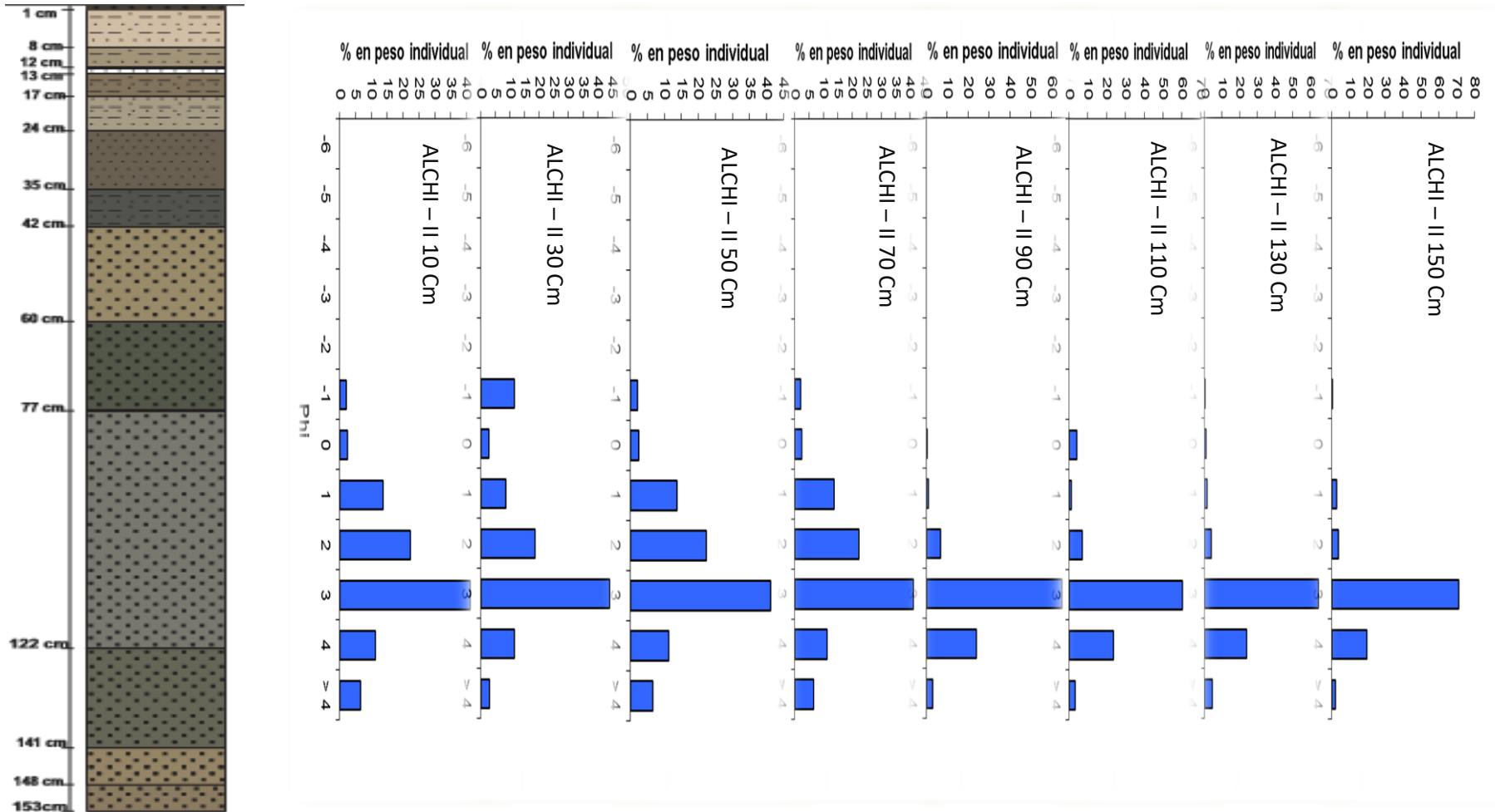


Figura 42. Columna estratigráfica e histogramas del núcleo ALCHI – II de 153cm, observamos un mayor porcentaje de arena media y una menor proporción de materiales finos.

7.7.3 Afloramiento ATX – I

Los resultados obtenidos en el afloramiento del lago de Atexcac nos describen en su mayoría materiales finos limo – arcillosos con contenido de arena, se describen a continuación los histogramas (Fig. 43):

A los 150 Cm se observa un porcentaje mayor de arena fina con un porcentaje de 26.2% de la muestra, material fino limo- arcilla con 24.5% y arena muy fina, con porcentajes menores de arena media, gruesa y muy gruesa.

En el centímetro 140 se observa un mayor porcentaje de arena fina 54,07%, arena media 17,6%, arena muy fina 15.9%. Y una deficiencia en materiales limo-arcilloso con 8.06% y arenas gruesa y muy gruesa.

Al cm 130 existe un alto porcentaje de arena fina y muy fina 27.6% y 27.3% respectivamente, con materiales limo –arcilloso 21.2% y en menor proporción a los anteriores de arena media 14.2% y arena gruesa 9.8%.

En diferencia a los centímetros anteriores en el centímetro 120 tenemos una mayor proporción limo- arcilla 51.10%, en menores proporciones arena muy fina, arena fina, media gruesa y muy gruesa, 22,73%, 11.36%, 7.60%, 5.81% y 1.4% respectivamente.

Al centímetro 110 se encuentran en mayores proporciones arena fina 17.6% y arena gruesa 15,6% arenas gruesas 12.6%, arena media 11.4%, arena muy gruesa 12.8%, limo arcilla 13.39% y en menor proporción gránulos de grava 10%.

A los 100 cm observamos un incremento porcentual alto limo arcilloso 63.21% y en menor proporción arenas de muy finas a gruesas.

En los 90 cm observamos un incremento porcentual alto limo arcilloso 36.84% y en menor proporción arenas de muy finas a gruesas, resaltando dentro de estas la arena muy fina 24.6% y la arena gruesa 9.6%.

Sucesivamente a los 80 cm resalta con un porcentaje mayor de material fino limo arcilla 31.82%, en menor proporción se observan materiales de arena muy fina hasta gránulos de grava. Resaltando la arena fina 20.7%.

Consecutivamente a los 70 cm resalta con un porcentaje mayor material fina limo arcilla 37.2%, en menor proporción se observan materiales de arena muy fina hasta gránulos de grava. Resaltando la arena fina 21.95%.

A los 60 cm los depósitos contienen mayor contenido limo arcilloso 49.8%, y contenidos menores de arena muy fina 22.9%, arena fina 13.95%, arena media 8.7% y arena gruesa 4.6%.

En los 50 cm el material con mayor proporción limo arcilla 76.41%, siendo las arenas los materiales con menor proporción con tamaños de arena muy fina a arena gruesa 10.6% y 0.12% respectivamente.

Sucesivo en los 40 cm se observa una mayor concentración de limo arcilla 66.52% y menos concentración arenas gruesas a muy finas siendo estas las más abundantes 18.6%.

Consecutivamente a los 30 cm resalta con un porcentaje mayor material fina limo arcilla 58.3%, en menor proporción se observan materiales de arena muy fina hasta arena muy gruesa. Resaltando la arena muy fina 21.5%.

A los 20 cm los depósitos contienen mayor contenido limo arcilloso 45.10%, y contenidos menores de arena muy fina 21.79%, arena fina 16.82%, arena media 16.8%, arena gruesa 7.7%, arena muy gruesa 6.3%, y gránulos de grava 1.7%.

Finalmente en los 10 cm resalta con un porcentaje mayor material limo arcilloso 44.26%, y en menor proporción arena muy fina 20.94%, arena fina 16.94%, arena media 5.9%, arena gruesa 5.1%, arena muy gruesa 2.4% y gránulos de grava 4.5%.

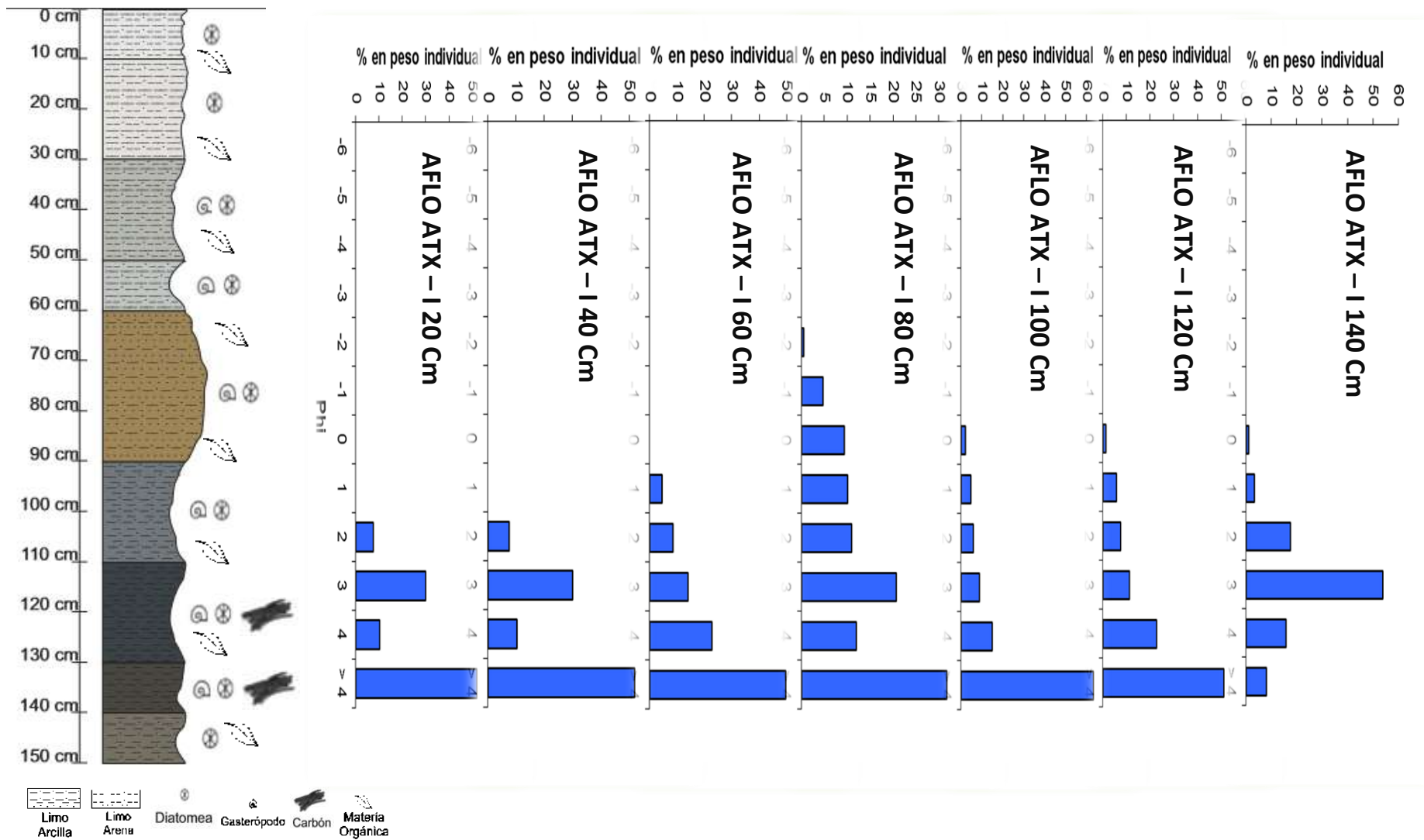


Figura 43.Columna estratigráfica e histogramas del afloramiento ATX – I de 150 cm, observamos un mayor incremento en los materiales finos (Limo- Arcilla) y una zona con materiales gruesos.

7.7.4 Núcleo ATX – II

Dentro del núcleo de Atexcac se determinaron dos conjuntos de sedimentación diferentes, el primero de partículas gruesas y el segundo de partículas finas a media, esto de acuerdo al tamaño y porcentaje de las partículas analizadas en este núcleo, a continuación se describen los histogramas (Fig. 44):

A los 100 cm observamos un incremento porcentual alto de material gránulos de grava 21.20%, en menor proporción a este observamos arena muy gruesa 16.7%, arena gruesa 15.37%, arena media 16.83%, arena fina 12.6%, con escasos materiales finos de arena muy fina 2.2% y limo arcilla 0.81%.

En los 90 cm observamos un material de arena gruesa a fina y gránulos de grava inmersos en una matriz limo arenosa.

Sucesivamente a los 80 cm observamos un limo arenoso con poca presencia de gránulos de grava y arena gruesa – media

Consecutivamente en los cm 70, 60 y 50 se admira un limo arcilla con porcentajes de arena muy fina y fina y una porción mínima de arena media

Sucesivo en los 40 cm se observa una concentración de limo arcilla con porcentajes bajas de arena muy fina, fina, media y una presencia muy baja de arena gruesa.

Consecutivamente a los 30 y 20 cm resalta con un porcentaje mayor material fina limo arcilla 54.7%, en proporción baja se admiran materiales de arena fina, muy fina y media.

Finalmente en los 10 cm resalta con un porcentaje mayor material limo arcilloso 56.6%, con proporciones considerables de arena muy fina 25.8%, arena fina 15.2%, arena media 2.42%,

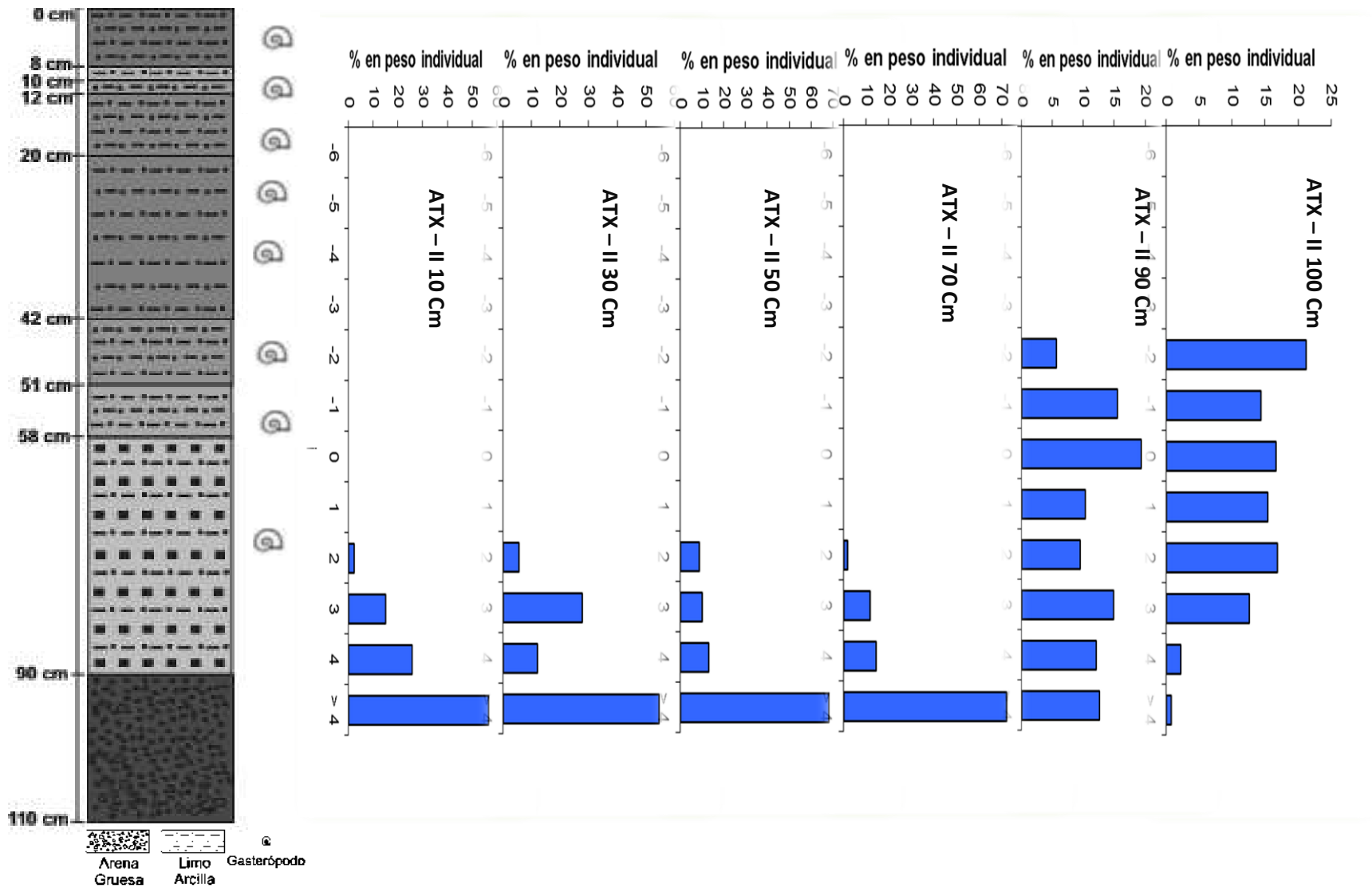


Figura 44. Columna estratigráfica e histogramas del núcleo ATX – II de 110cm. En la base observamos materiales gruesos y hacia la cima minerales finos.

CAPITULO VIII

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos mediante los análisis utilizando diferentes proxies en este trabajo se sustenta a través de la estratigrafía, Radiocarbono diatomeas, Espectroscopia de Infrarrojo, Susceptibilidad Magnética, Difracción de Rayos X, y análisis granulométrico

En base a estas técnicas se ha caracterizado el material presente en el registro sedimentario de los lagos: Atexcac y Alchichica permitiendo identificar los marcadores hidrotermales que se encuentran bien conservados en el registro sedimentario

La estratigrafía del lago de Atexcac no tienen ninguna correlación con la estratigrafía de los productos del cráter (*Carrasco Núñez et al 2004*) ya que su estratigrafía presenta litologías gruesas (gravas, bombas, etc.) provenientes de la formación del cráter dividiendo esta columna en tres etapas; etapa pree- maar, secuencia del maar y etapa post- maar, sin darle importancia a los sedimentos del lago.

En general los sedimentos encontrados en el núcleo y el afloramiento de Atexcac se encuentran constituidos por material limo-arcilloso con intervalos de arenas, presentándose en el afloramiento ATX-I y el núcleo ATX-II, en la base de este último observamos material grueso por la disgregación y arrastre de materiales pétreos del cráter. El dominio de los sedimentos limo- arcillosos, indican una marcada influencia del medio ambiente de depositación, caracterizado por presentar condiciones relativamente tranquilas que permiten la sedimentación del material fino que es transportado hasta la parte distal del lago funcionando como receptor de este material y registrando así, cualquier cambio en la estratigrafía de los sedimentos.

Por otra parte, en tanto a la identificación de diatomeas, sólo se encontraron presentes en el afloramiento de ATX- I y en el núcleo de ATX-II. Cabe resaltar que

es el primer estudio bioestratigráfico que se realiza en el lago de Atexcac obteniendo información importante para este lago, dividiéndose así en 5 zonas diferentes:

ZONA I

De 150 a 120 Cm, la especie *Navícula upsaliensis* de aguas ligeramente salobres, registra un incremento porcentual a medida que disminuye la profundidad. La especie *Rhopalodia gibba* de aguas salobres de alto pH, Registra fluctuaciones en su concentración a lo largo de esta zona, decae la especie de *Epithema adnata* de pH neutro a alto mientras que *Navícula trivialis* y *Surirella brightwelli* var. *báltica* se mantienen. En conclusión la zona I es una sección tranquila del lago sin corriente interna, con una alta alcalinidad y un pH alto rico en nutrientes zona climática creciente. Respecto a los análisis de susceptibilidad observamos una zona de decaimiento obteniendo a los 150 cm observamos con mayor cantidad de minerales ferromagnéticos transportados de las pendientes del núcleo. La mineralogía de esta zona se caracteriza por ser carbonatada, el mineral que se observa es Aragonito.

ZONA II

En el intervalo de los 110 a 100 cm de profundidad es compuesto de limo arcilla gris oscura masiva con micro partículas de carbón en la que las diatomeas *Navícula trivialis*, *Cymbella gracilis* y *Surirella brightwelli* Var. *báltica* incrementa, estas especies indican salinidad y enriquecimiento de nutrientes. En esta zona se mantienen las especies *Epithemia adnata* y *Rhopalodia gibba bentónicas* sugieren un lago alcalino y aparece *Frustulia gaetneri* y *Frustulia crassinervia* especie que se presenta en lagos de poca profundidad, los taxones infieren una zona de estiaje. La comparación de la estratigrafía, diatomeas con la susceptibilidad magnética de esta zona se observa un decaimiento en minerales magnéticos y un incremento en carbonatos esto relacionado a una zona de evaporación y estiaje observado también con las diatomeas.

ZONA III

En el intervalo de los 90 a 70 cm la litología predominante es limo arena café oscuro masivo, en esta zona se observan la mayoría de los taxones. Aparece *Campylodiscus clypeus*, *Cyclotella ocelata*, *Frustulia septentrionalis*, *Neidium productum*, *Nitzschia fonticula*, *Pinnularia microstauron* y *Surirella ft.* Aumentan los taxones de la zona anterior *Cymbella hebrilica* y *Cymbella gracilis*, mientras se observa una disminución de los taxones *Epithemia adnata*, *Navicula upsaliensis*, *Rhopalodia gibba* y *Surirella spilaris* y se mantiene *Entomoneis alata*, *Gomphonema mexicanum* y *Navicula trivialis*. El aumento de taxones infiere un gran aporte de electrolitos, aguas cálidas, los taxones infieren una zona creciente donde las poblaciones de las diatomeas son abundantes. En esta zona se observa dos pequeños incrementos a los 90 cm y de los 80 a los 70 la susceptibilidad decae paulatinamente por lo que podemos inferir que la zona sufrió una evaporación pausada en una zona creciente. y sufre el segundo incremento a los 60 cm estos incrementos se pueden asociar a los factores exógenos del lago. De acuerdo a los resultados de los difractogramas se observan óxidos como la Labradorita y carbonatos (Calcita y Aragonito).

ZONA IV

Comprendida de los 60 a 30 cm la litología predominante es limo arcilla de tonalidad gris claro y oscuro, masivo, esta zona se observan la mayoría de los taxones. Aparece *Epithemia sorex* *Pinnularia gibba.*, *Rhoicosphenia*, Aumentan los taxones de la zona anterior *Epithemia adnata*, *Pinnularia divergetisima*, *Navicula libonensis*, *Neidium productum* y *Nitzschia palea*, mientras se observa una disminución de los taxones *Cymbella hebrilica*, *Cymbella gracilis*, *Entomoneis alata*, *Navicula trivialis* y *Navicula upsaliensis*. La mayor parte de taxones infieren alta alcalinidad lo que se puede inferir paleolimnológicamente como una zona de estiaje, alta evaporación, baja energía interna y poco aporte de nutrientes. En la zona IV y V la susceptibilidad decae siendo en zona V la zona con menor fluctuación magnética., mientras que los análisis mineralógicos y geoquímicos corroboran el decaimiento de la susceptibilidad ya que en la zona se observa un único mineral Aragonito, se origina en zonas de oxidación de yacimientos mineros y fuentes calientes.

ZONA V

Comprendida de los 20 a 0 cm la litología predominante es limo arcilla de tonalidad gris claro, masiva. Aparece *Aulacoseira granulata*, *Caloneis silicuta*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella helmcker*, *Discostella*, *Frustulia romboide*, *Navicula rhynchotella* y *Stephanodiscus*, aumentan las frustulas de la zona anterior *Entomoneis Alata* y *Nitzschia palea*, se aprecia una disminución de las frústulas de *Epithemia adnata*, *Navicula Trivialis*, *Navicula libonensis* y *Rhopalodia gibba*. En esta zona nuestro lago presenta oleaje, alta conductividad y alto contenido de nutrientes por lo que es la zona de transición de estiaje a zona creciente

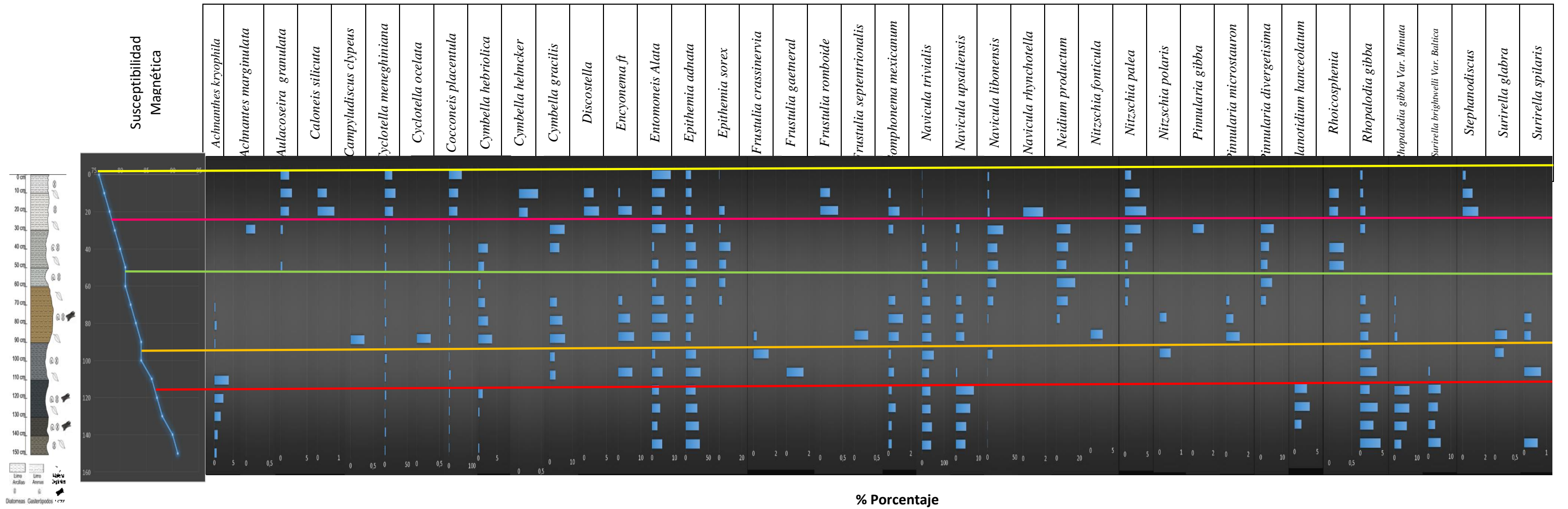


Figura 45. Correlación de la estratigrafía, susceptibilidad Magnética y Taxonomía de diatomeas del afloramiento ATX-I.

Conforme a los datos obtenidos en el núcleo del lago de Atexcac (ATX-II), siendo este la continuación estratigráfica del afloramiento se puede observar en su estratigrafía un lago estable y tranquilo de los 90 a los 0 cm, la litología dominante es limo arenoso con contactos transicionales y con un estrato en la base de gránulos de grava sub ángulos, con gradación normal, probablemente por un colapso del cráter. Enseguida se describen los resultados de los proxies realizados en el núcleo proxies susceptibilidad magnética, polen y geoquímicos mineralógicos, como se indicó previamente no se preservaron las diatomeas en el núcleo, por lo tanto los análisis de comunidades biológicas se interpretan a través de los análisis palinológicos realizados por la Dra. Domínguez.

ZONA I

En la zona I corresponde a la base del núcleo y se observa un estrato masivo limo arenoso, color gris claro, con abundantes gasterópodos, de acuerdo al análisis plinológico. El bosque templado ha estado presente en todo el núcleo volviéndose más abierto en algunos momentos cuando la perturbación se incrementa, siendo los momentos de mayor perturbación del bosque a los 75cm. Estos mínimos en *Pinus* coinciden con un aumento en los elementos más tropicales como serían *Ilex*, *Ficus*, *Moraceae*, *Ulmaceae*, *Leguminosae*. Pudiendo asociarse esta disminución en *Pinus* a causas climáticas, ya que al aumentar por periodos breves la temperatura, facilitaba el establecimiento de especies tropicales. Mientras que la susceptibilidad magnética en la zona presenta una serie de incrementos y disminuciones, los aumentos se originan por los gránulos de grava de composición volcánica y la disminución por la matriz de arenas medias que en composición mineralógica es carbonatada, la susceptibilidad sigue una tendencia casi igual a 0.

ZONA II

En relación a la zona II se observa estratigráficamente dos paquetes de limo – arcillosos con contenido en gasterópodos, de acuerdo al polen en la zona a los 55 cm se observa una perturbación de *Pinus*, aumentan por periodos breves la

temperatura y facilita el establecimiento de especies tropicales. Por el contrario se observa picos en *Pinus* 85, 70, 30, con porcentajes de 80% indicando una dominancia casi monoespecífica de *Pinus* en la vegetación, durante estos momentos en que la temperatura disminuía los elementos tropicales casi desaparecen, a los 35 cm se obtuvo un fechamiento 17,110 – 16,760 AP.

Este fechamiento permite realizar una comparación con otros registros del centro de México, muchos de ellos incompletos por erosión o hiatus (Ortega et al 2010), observamos que nuestro lago de Atexcac presenta condiciones de sedimentación tranquila a los 17 ky A.P. En relación con la susceptibilidad el núcleo muestra una estabilidad magnética casi igual a 0 ocasionado por precipitación de carbonatos y sales, de acuerdo a la mineralogía y geoquímica el contenido de Aragonito y Quintinita monifiestan interacción de las zonas termales con los sedimentos y aguas de los lagos.

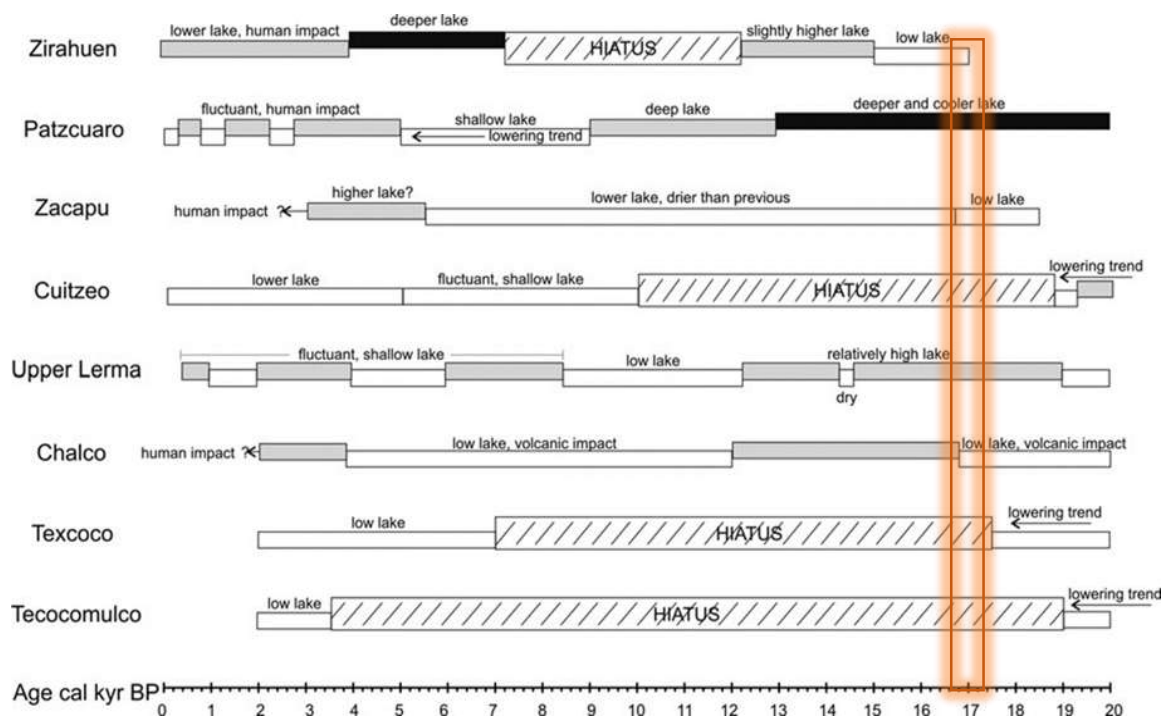


Figura 46. Registros centro de México- incompletos por erosión o hiatus (Ortega *et al*, 2010).

ZONA III

La zona III correspondiente a la cima del núcleo y estratigráficamente queda comprendida de estratos limo arcilloso, masivo con restos de gasterópodos, a los 15 cm se observa dentro de la gráfica de susceptibilidad magnética un decremento en la susceptibilidad y se observa también dentro de grafica de *Pinus* una pequeña disminución y un aumento en *Compositae*, *Gramineae* y dos aumentos del 80% en *Pinus* en los centímetro 10 y 0. De acuerdo a los análisis mineralógicos se observa Aragonito y Quintinita..

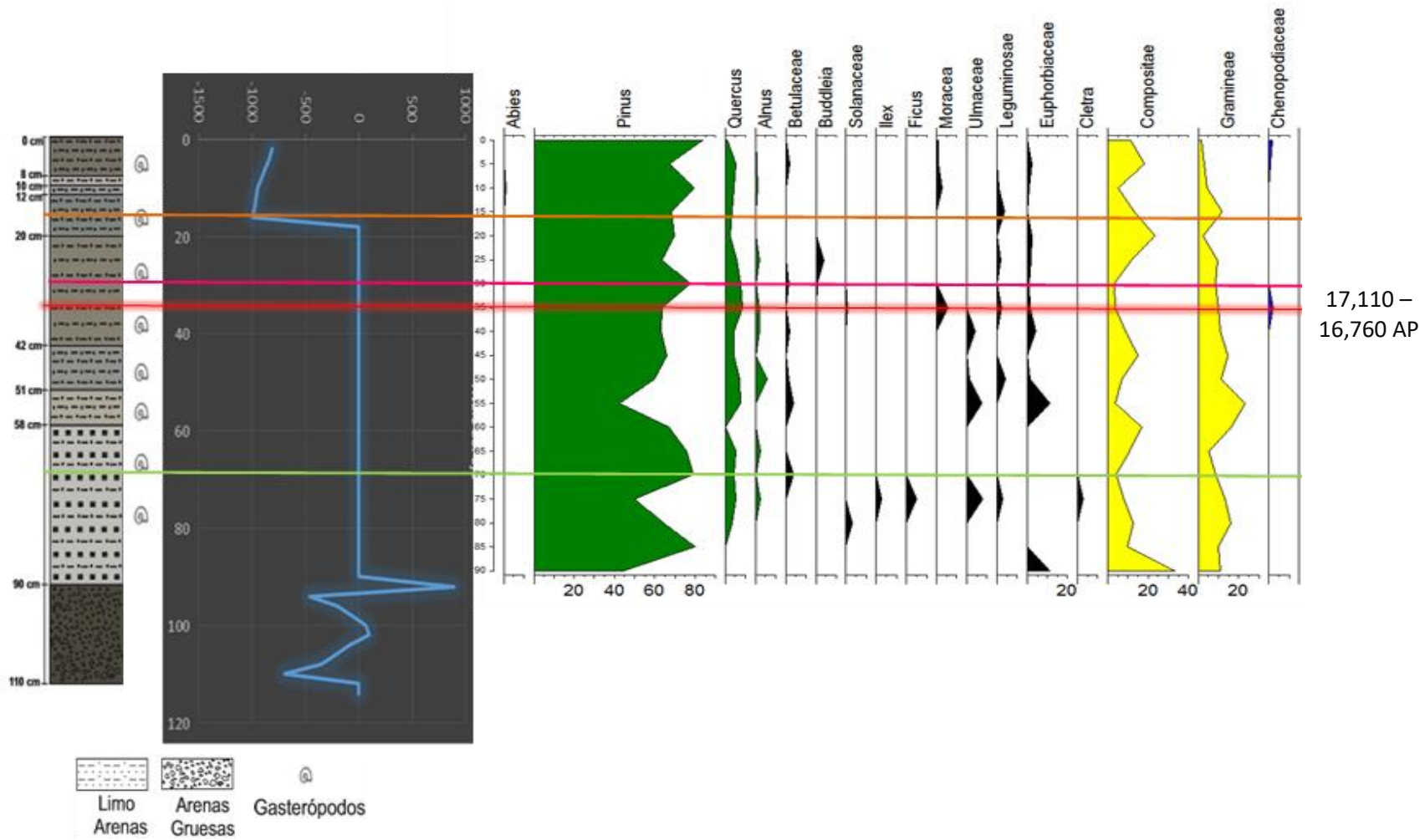


Figura 47. Correlación de la estratigrafía, susceptibilidad magnética y polen del núcleo ATX- II.

Con respecto al lago de Alchichica se observó que en los núcleos ALCHI-I y ALCHI-II dominan los depósitos limo arenoso, indicando condiciones tranquilas de sedimentación con una transición a materiales más finos hacia las zonas distales en una secuencia de sedimentación normal. Cabe señalar que dentro de estos núcleos podemos observar laminillas de materia orgánica.

La susceptibilidad magnética del núcleo ALCHI I (Fig. 48) presenta 6 fluctuaciones importante en el núcleo de 60 cm. En el cm 55 se observa un pequeño incremento en la susceptibilidad que está regido por la inclusión de carbonatos en este caso de Hidromagnesita dentro de un estrato arenas medias. Al cm 32 se observa la anomalía más grande de este núcleo que corresponde estratigráficamente al comienzo de la inclusión de carbonatos en arenas medias. Al cm 26 se observa un nuevo incremento pequeño posiblemente por la erosión que sufre el cráter. Posterior a esto se sufre un decaimiento en la gráfica debido a la intercalación de arenas y materia orgánica. Se observa un incremento al cm 14 por el aporte de partículas ricas en Hierro y Magnesio. Decayendo nuevamente esto por la evaporación de la zona y finalmente aumenta la susceptibilidad por el aporte de estos materiales ricos en Fe y Mg.

En el lago de Alchichica los núcleos no presentan diatomeas por la alta alcalinidad que produjo la disolución de las frústulas. Sin embargo estudios micropaleontológicos indican que en ciertos niveles del lago se observan algunas frústulas (Caballero, 2003) quien observó las diatomeas en muestras de agua no directamente en los sedimentos del núcleo. Además de que *actualmente la* diatomea "*Cyclotella alchichicana*" es la única especie observada en el lago, no obstante en nuestros núcleos no se observaron frústulas de ninguna especie de diatomeas, ya que previo al conteo de diatomeas se realizó el frotis (smear slide) en intervalos de 10 cm para observar el contenido bioclástico, no se observaron frústulas de diatomeas.

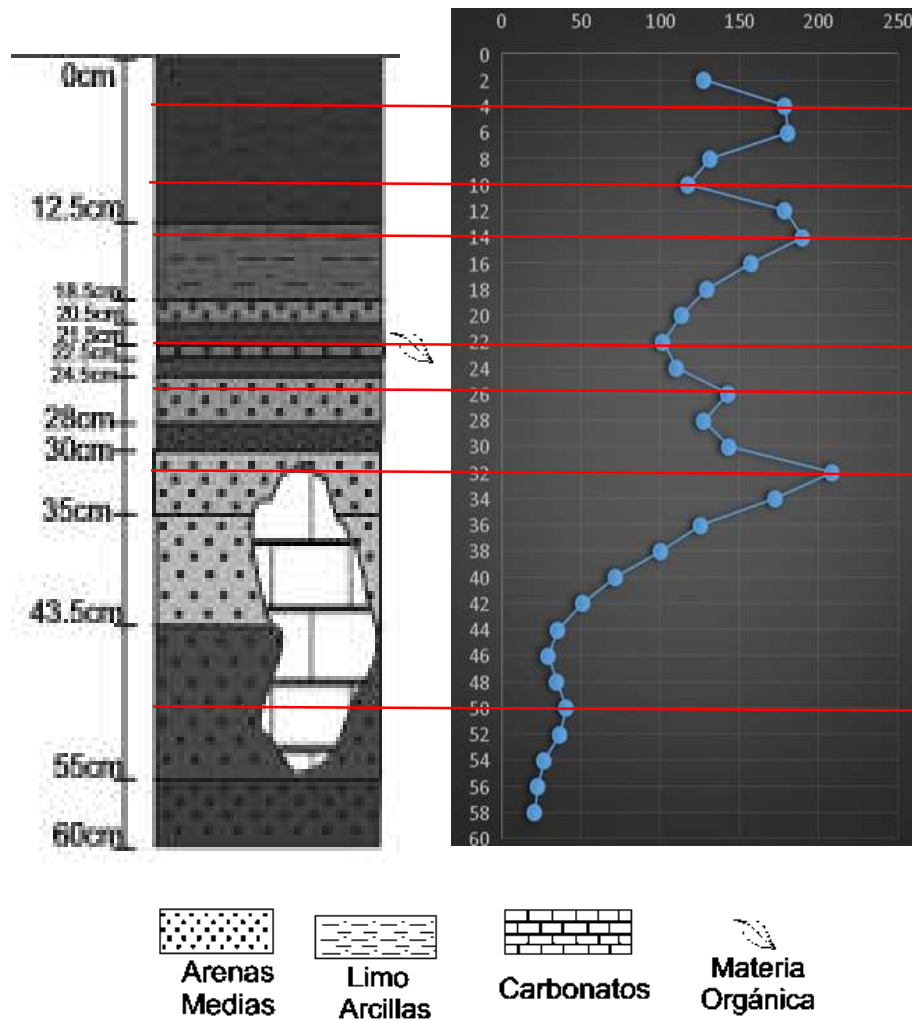


Figura 48. Correlación de la estratigrafía y susceptibilidad magnética del núcleo ALCHI- I.

. El dominio de los sedimentos limo- arenosos, indican una marcada influencia del medio ambiente de depositación, caracterizado por presentar condiciones con cierta energía que permiten la sedimentación del material que es transportado hasta la parte distal del lago funcionando como receptor de este material y registrando así, cualquier cambio en la estratigrafía de los sedimentos.

De acuerdo con la susceptibilidad magnética el lago ha registrado depósitos de materiales magnéticos bajos con zonas deposicionales de carbonatos que se representa en los decaimientos de la curva de susceptibilidad, estos procesos van ligados a los cambios estratigráficos de tamaño de partículas, mineralógicos, geoquímicos y horizontes de materia orgánica (raíces, gasterópodos, etc), estos cambios se ven reflejados de igual manera en la difracción de rayos X,

Este último parámetro en nuestro núcleo se representa en dos facies minerales en la base hidromagnesita y aragonito a medida que sube la profundidad la hidromagnesita disminuye y aumenta el aragonito esto es por la mezcla de las aguas del lago. En la cima se observa cuarzo posiblemente por la erosión de las rocas volcánicas que se encuentran en las laderas del cráter.

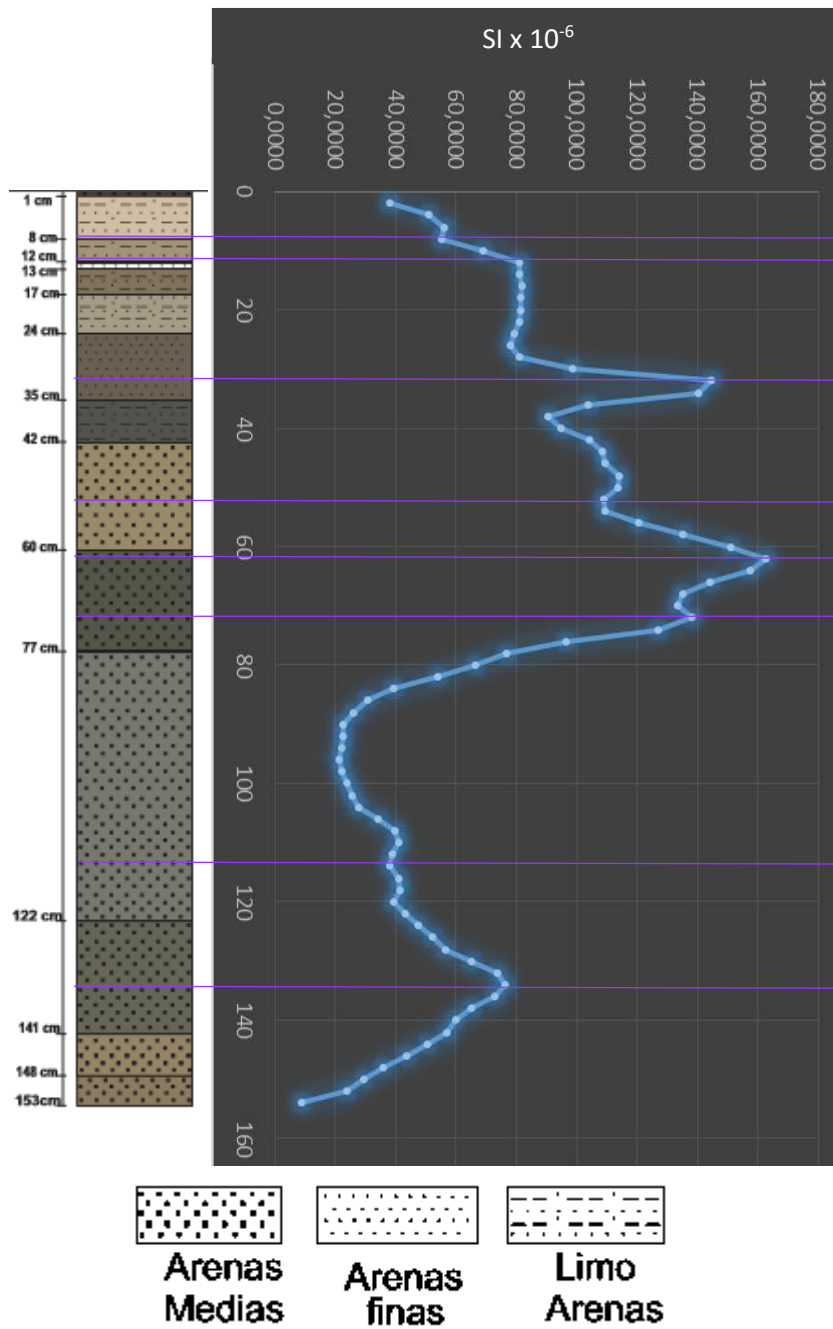


Figura 49. Correlación de la estratigrafía y susceptibilidad magnética del núcleo ALCHI-II.

La falta de suficiente material para realizar fechamientos a lo largo de los núcleos y secuencias aflorantes no ha permitido poder correlacionar con exactitud. Se tendría que realizar posterior a esta investigación nuevos núcleos para fechamientos. Sin embargo con la fecha obtenida se puede correlacionar con las condiciones cálidas y húmedas que imperaban durante el Glacial Tardío (GTA): 18000–15000 A.P Los resultados obtenidos se han comparado con lagos formados en cuencas de origen volcánico como los que se encuentran en las cercanías de Valle de Santiago en el estado de Guanajuato y los lagos de Pátzcuaro, Cuitzeo, Chapala, Zirahuen, Zacapu y Chalco (Ordoñez, 1906 Y Gasca, 1982). Los datos estratigráficos de los núcleos de Cuitzeo, Chapala, Acambay publicados por Israde Alcántara et al (2016). Valle de Santiago presentan condiciones estratigráficas y mineralógicas diferentes a los lagos de la Cuenca de Oriental, sin embargo Pátzcuaro las condiciones permanecen más o menos iguales al UMG hasta los 13000 un lago frío y profundo que posiblemente congelaba durante el invierno, mientras que en el lago de Zirahuén el registro paleolimnológico inicia a los 17000 cal AP, el tipo de diatomeas y la presencia de carbonatos indican que se trataba de un lago somero, levemente alcalino. En Zacapu, la cronología es pobre y hay evidencias de actividad volcánica, el registro de diatomeas indica niveles lacustres bajos y el decremento de carbono orgánico y la susceptibilidad magnética sugieren condiciones particularmente secas En este momento a los 17ky AP Atexcac se comportó con niveles lacustres bajos, ambientes menos húmedos con bosques de *Pinus* alrededor del lago.

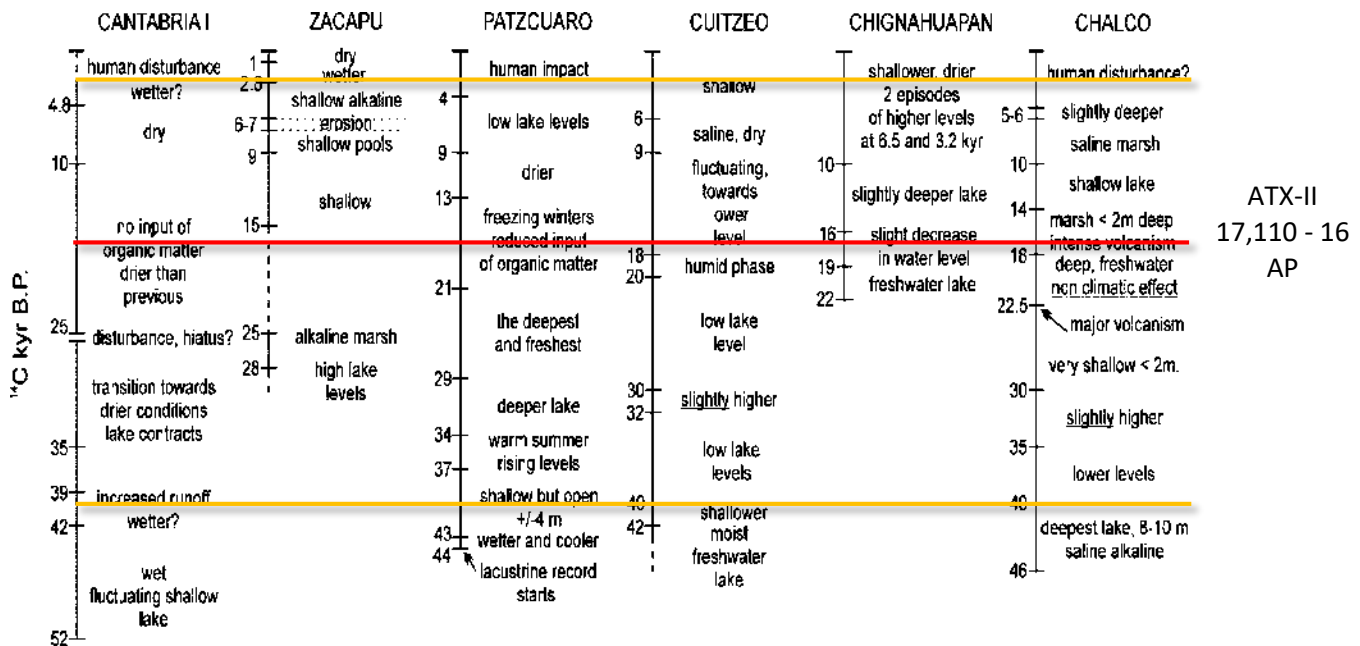


Figura 50. Caracterización de algunos de las cuencas más importantes del país (Ortega et al, 2002).

Mineralógicamente se observan minerales que ningún lago contiene en sus sedimentos, esto se observa por la zona activa de yacimientos Geotérmicos de la zona los lagos de Atexcac y Alchichica están en contacto con una fuente caliente para generar minerales tales como: Quintinita, Hidromagnesita, Aragonito estos tres característicos de yacimientos hidrotermales ningún lago reporta estos minerales en su composición.

Bioestratigráficamente el lago de Atexcac registra diatomeas bien preservadas y este es el primer estudio que se hace referente a este proxi, registra una especie que solo se observa en los ríos de Oaxaca y en los lagos cráter *Entomoneis alata*, diatomea que se presenta en condiciones de agua cálida, de pH medio de 8.6 y con una corriente lenta, esta especie se ha estudiado en los Estados Unidos en aguas interiores con concentraciones elevadas de electrolitos (Patrick & Reimer 1975) y reconocida también en el lago Titicaca entre Perú y Bolivia.

Respecto al análisis de susceptibilidad magnética las zonas con disminución en la susceptibilidad pertenecen a los depósitos con mayor cantidad de materiales

carbonatados y láminas de materia orgánica, mientras que los picos más altos corresponden a la transición de materiales carbonatados a materiales con mayor contenido en minerales ferromagnéticos en la base y cima. Esto es consistente con los cambios en la estratigrafía y mineralogía de cada núcleo.

Las pruebas de tamaño de partículas de los núcleos de Alchichica muestran partículas de tamaños a arena finas a medias observamos una estratificación gradada, indicando un lago con una energía interna media. Mientras que en el lago de Atexcac se observan partículas al tamaño de gránulos de grava hasta partículas finas, las partículas gruesas son sub angulosas pertenecientes a las unidades fracturadas por las erupciones freatomagmáticas que dieron origen al Lago cráter, mientras que las partículas finas son la disgregación de las paredes del lago y de la actividad erosiva de la cuenca, siendo este mismo proceso el responsable del transporte de los minerales silíceos y ferromagnéticos.

CAPITULO IX

CONCLUSIONES

El estudio de depósitos de los lagos Cratericos, constituyen la clave para el reconocimiento de marcadores de hidrotermalismo recientes dentro de registros sedimentarios, proporcionando información que puede ofrecer especulaciones de la actividad geotérmica que se han detectado en la zona de las Derrumbadas lo cual es de gran importancia para cualquier estudio geotérmico, ya que aunque se reconozca las manifestaciones geotérmicas, no se contaba con datos geológicos confiables sobre la relación de las zonas geotérmicas con los lagos cráter de Atexcac y Alchichica.

Se realizó una revisión selectiva de los sedimentos extraídos en tres núcleos de dos lagos cráter de la cuenca Libres Oriental del Estado de Puebla; de los cuales en tres núcleos se logró identificar marcadores geotérmicos y en un afloramiento se estudió las características las condiciones paleoambientales mediante diatomeas y polen.

Desde el punto de vista paleoambiental y en el contexto del cambio climático los conjuntos de especies observadas en la base del afloramiento Pleistoceno tardío y específicamente Bolling Allerod se describe un lago de alta alcalinidad con un Ph >7, de aguas cálidas, limpias, con un aporte alto de electrolitos y material orgánica se puede determinar una energía baja en el oleaje del lago.

Hacia el Holoceno temprano, los taxones observados nos revelan un lago con un pH >7, de aguas alcalinas cálidas, con una corriente interna baja y un alto contenido en nutrientes.

Finalmente en el Holoceno tardío, se describe un lago poco profundo con fuerte oleaje, de alta alcalinidad con un pH >7, aguas cálidas con alto contenido de electrolitos, nutrientes y materia orgánica

La especie *Entomoneis Alata* se encuentra a lo largo de las muestras del afloramiento ATX- I, es una diatomea que no ha sido reportada en lagos de México,

este taxón se encuentra únicamente en el estado de Oaxaca, Estados Unidos, en lago Titicaca Perú/Bolivia y ahora se reconoce en EL Lago Cráter de Atexcac

El alto pH y la alcalinidad de Alchichica favorecen la disolución de diatomeas en los sedimentos, limitando el potencial de este lago como sitio de investigación paleoambiental y paleolimnológico. Mientras que en el lago de Atexcac la taxonomía de diatomeas muestra un lago alcalino, de aguas templadas, ricas en nutrientes, las especies que se muestran están bien preservadas en los sedimentos del lago.

La alta alcalinidad se debe a la alta concentración de sales que prevalecen en los Lagos Cráter son: cloruro de sodio (NaCl), sulfato de sodio (Na₂SO₄) y carbonato de sodio (Na₂CO₃). La composición y concentración iónica de las aguas subterráneas en la Cuenca Oriental es definida por los materiales de origen volcánico con los que tiene contacto.

El conjunto de minerales observados en los núcleos de los dos lagos manifiesta un marcador hidrotermal de rango epitermal para la cuenca de Libres Oriental. Los espectrogramas de Espectroscopia de Infrarrojo y los difractogramas de Difracción de Rayos X sugieren que el aragonito tiende a disminuir de acuerdo con la profundidad de los núcleos presentándose en mayor concentración en los depósitos de la cima, mientras que en lo contrario los carbonatos hidratados (Hidromagnesita) van incrementando su concentración a mayor profundidad, lo que podría sugerir que actualmente se ha venido dando una fuerte evaporación y una depositación inmediata favoreciendo a estos sistemas lacustres hidrotermales.

Se observa que existe una relación entre los valores obtenidos a través de la susceptibilidad magnética y las columnas litológicas. En las gráficas se puede observar que cuando se presenta un cambio en el tamaño de las partículas y composición de los sedimentos, la susceptibilidad magnética presenta cambios con valores más elevados; aunque este comportamiento depende de minerales magnéticos, los valores obtenidos son diferentes para intervalos con la misma composición. Por lo tanto, al observar estos cambios de la susceptibilidad magnética a diferentes profundidades de las columnas litológicas pueden estar indicando

grandes procesos erosivos en las diferentes cuencas donde se extrajeron cada uno de los núcleos.

Existe una estrecha relación hidráulica entre el acuífero regional somero y los lagos cráter, los niveles de agua en ellos está entre 2320 msnm, mientras que el nivel del acuífero oscila entre 2290 y 2370 msnm es por ello que en toda la cuenca encontraremos el intercambio de minerales de por medio de las corrientes de agua subterráneas.

Bibliografía consultada

- Arredondo Figueroa, Borrego Enríquez, Castillo Domínguez & Valladolid Laredo. (1983). Batimetría y morfometría de los lagos “Maars” de la Cuenca Oriental, Puebla, México. *Biótica* Vol 1, Pag 38 – 41.
- Baltazar O; (1982). Informe Final de detalle estratigráfico. Prospecto Tepeyahualco. Córdoba, Veracruz.(INEDITO), Pag 2 – 11.
- Caballero M., Vilaclara G., Rodríguez A & Juárez D. (2003). Cambios climáticos a corto plazo en los sedimentos lacustres del Lago Alchichica, Oriental, México. *Geofísica International* (2003), Vol. 42, Num. 3, pp. 529-537
- Caballero M., Lozano García S., Vázquez Selem L. & Ortega B. (2010). Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol.62 no.3 México. Pp 359-377.
- Carrasco- Nuñez, H. Ort M. & Romero C.(2004). Evolution and hydrological conditions of a maar volcano (Atexcac crater, Eastern Mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 159 (2007) 179–197
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2006) Hidrología del estado de Puebla. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalización/doctos/rhp_070.html. (Consultado el 28 de Enero del 2017.)
- Cruickshank, V.L.C., 1992, “Relación entre las aguas superficiales y subterráneas en una cuenca”, *Ingeniería Hidráulica en México*, 7, pp. 53-63.
- Dávalos Pérez Vélez (2016). Estudio y caracterización vulcanológica de la zona del complejo volcánico de Las Derrumbadas, Puebla como base para la evaluación del potencial geotérmico (Tesis de Licenciatura). Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro, Michoacán, México.

- Gasca, A., 1981, Algunas notas de la génesis de los lagos-cráter de la cuenca de Oriental. Puebla-Tlaxcala-Veracruz, Departamento de Prehistoria, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colección Científica Prehistoria 98, México, 55 p.
- Guzmán C., Guillen J & Garduño V. (2016) Estudio geomorfológico como base para la determinación del potencial geotérmico, caso Las Derrumbadas, Puebla. (Tesis licenciatura) Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro, Michoacán, México. Pp 13- 89
- Israde I., Domínguez G., González S., Bischoff J., West A. & Huddart D. (2017). Five Younger Dryas black mats in Mexico and their stratigraphic and paleoenvironmental context. *Journal of Paleolimnology* p 7–11.
- López- Rojas & Carrasco Nuñez G. 2015. Depositional facies and migration of the eruptive loci for Atexcac axalapazco (central Mexico): implications for the morphology of the crater. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 32, núm. 3, 2015, p. 377-394
- Metcalf S. E. 1995. Holocene environmental change in the Zacapu basin, Mexico: a diatom-based record, *The Holocene*, 5, pp. 196-208.
- Metcalf, S., Davies, S., 2007, Deciphering recent climate change in central Mexican lake records: *Climatic Change*, 83,169-186.
- Ordoñez., E 1906. “Los Xalapazcos del estado de Puebla”. *Parérgones del Instituto Geológico de México*. 1(8): 348 – 405.
- Ortega, B., Caballero, C., Lozano, S., Israde, I., Vilaclara, G., 2002, 52,000 years of environmental history in Zacapu Basin, Michoacán, Mexico: The magnetic record: *Earth and Planetary Science Letters*, 202, 663-675.
- Ortega, B., Vázquez-Castro, G., Caballero-Miranda, M., Israde, I., Lozano García, S., Schaaf, P., Torres, E., 2010, Late Pleistocene: Holocene record of environmental changes in Lake Zirahuén, Central Mexico: *Journal of Paleolimnology*, 44, 745-760

- Ostrooumov M. 2009. Mineralogía Analítica Avanzada. Edición: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y Sociedad Mexicana de Mineralogía. ISBN 978-607-424-095-5 275 p.
- Ostrooumov M. 2006. Fundamentos de Mineralogía. 212 p., UMSNH, México. (en línea) <http://www.mineralog.net> (consultado Enero del 2017)
- Ramírez García P. & Vázquez Gutiérrez F. 1989. Contribuciones al estudio limnológico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología 16(1): p 1-16.
- Romero Ríos, 1985. Exploración en la zona Geotérmica de Las Derrumbadas, Puebla. Departamento de Exploración CFE, Informe 37/85. Pag 2- 21.
- Salazar Mandujano, 1969. Estudio Geológico Regional del Prospecto Zacatepec. Poza Rica Veracruz.
- Salgado Morales (2012) Atlas de riesgos Naturales del municipio Guadalupe Victoria. SEDESOL Pag 13 – 18.
- SPP/INEGI (Secretaría de Programación y Presupuesto/Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 1984, Carta Geológica, Ciudad de México, E14-2, esc. 1: 250,000.
- Yáñez García, & Casique Vázquez (1980). Informe geológico del proyecto geotérmico Los Humeros- Derrumbadas. México, D.F. Comisión Federal de Electricidad. (Inédito)
- Yáñez García C. & García Duran S., (1982). Exploración de la región geotérmica Los Humeros – Las Derrumbadas, Edos. De Puebla y Veracruz. México, D.F. CFE. (Inédito).

ANEXOS

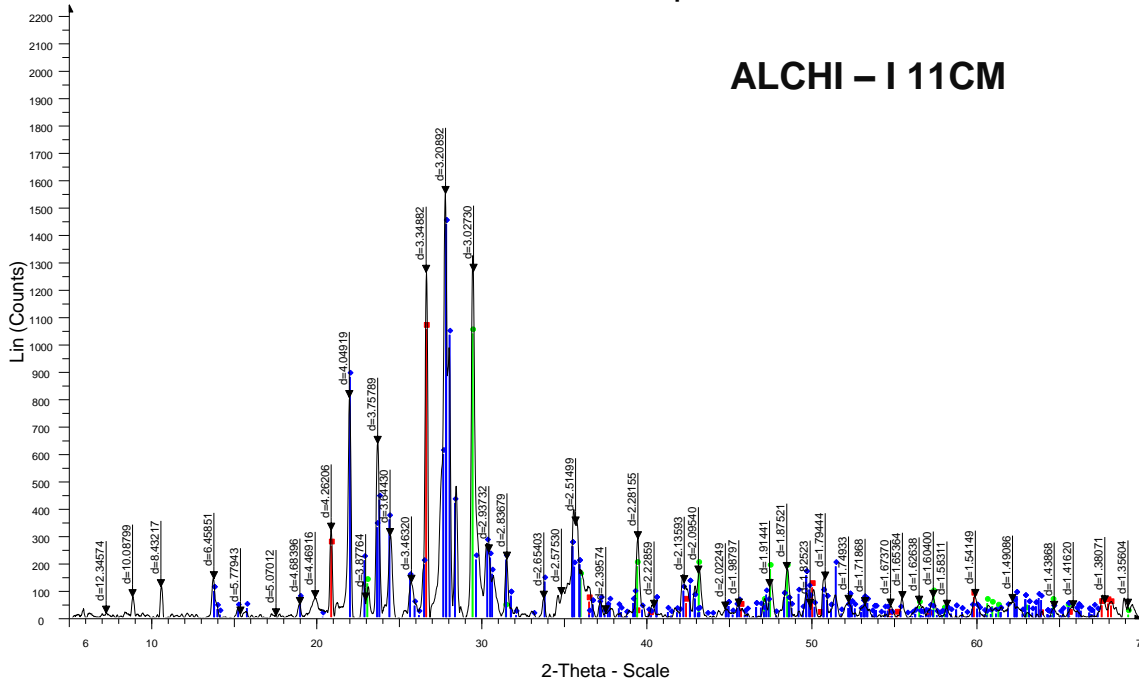
VIAJES



Lago craterico Atexcac

Commander Sample ID

ALCHI - I 11CM

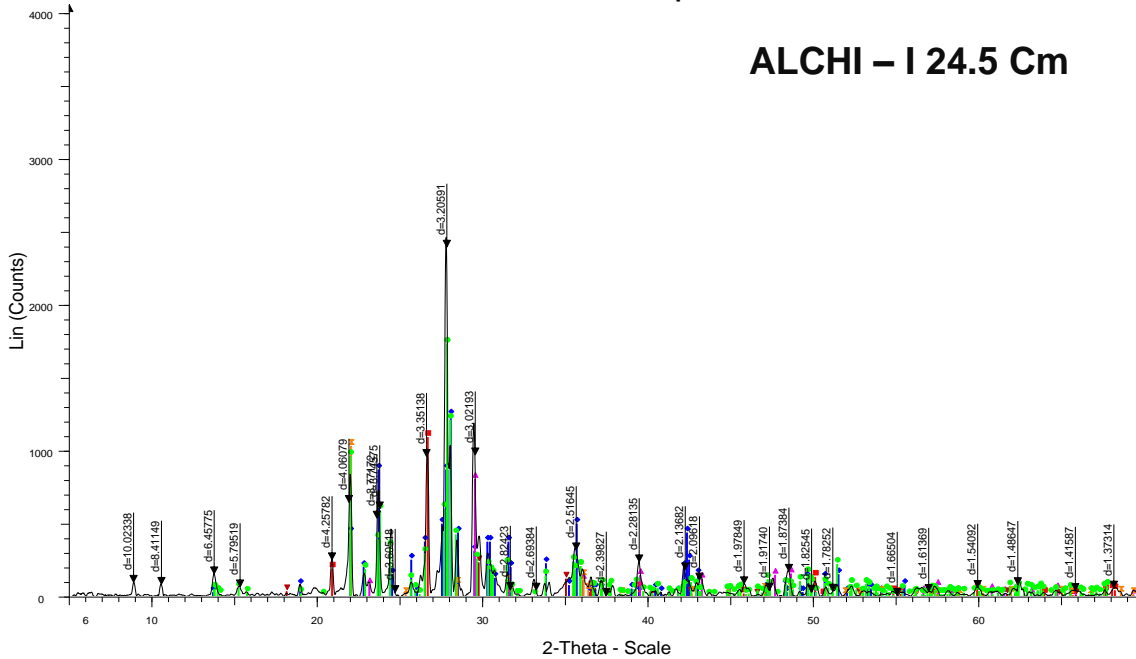


Commander Sample ID - File: ATX 11 Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 5.000 ° - End: 70.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 56.7 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 5.000 ° - Theta: 0.000 ° - Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import

- 01-089-1961 (C) - Quartz low, dauphinee-twinned - SiO₂ - Y: 68.03 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.92100 - b 4.92100 - c 5.41600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P6
- 00-005-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃ - Y: 66.98 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) -
- 01-083-1938 (C) - Andesine - Na_{0.622}Ca_{0.368}Al_{1.29}Si_{2.71}O₈ - Y: 92.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17800 - b 12.86500 - c 7.10900 - alpha 93.530 - beta 116.210 - gamma 89.920 - Base-cc

Commander Sample ID

ALCHI - I 24.5 Cm

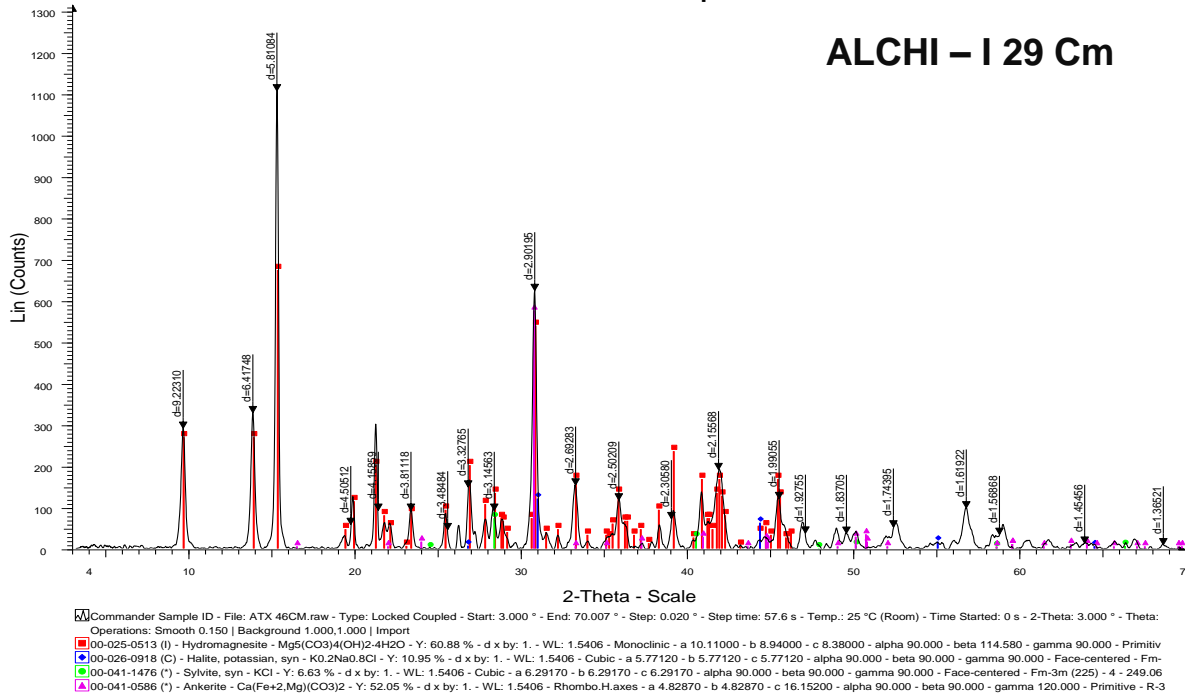


Commander Sample ID - File: ATX 24.5.raw - Type: Locked Coupled - Start: 5.000 ° - End: 70.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 56.7 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 5.000 ° - Theta: 2. Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import

- 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO₂ - Y: 44.36 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 -
- 00-018-1202 (I) - Anorthite, sodian, intermediat - (Ca Na)(Si₃ Al)₄O₈ - Y: 50.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17600 - b 12.86500 - c 7.10200 - alpha 93.450 - beta 116.100 - gamma 90.500 - Ba
- 01-089-1304 (C) - Calcite, magnesium, syn - (Mg_{0.03}Ca_{0.97})CO₃ - Y: 32.66 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.97800 - b 4.97800 - c 16.98800 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.0 -
- 01-089-0951 (C) - Magnetite - Fe₃O₄ - Y: 9.34 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.49100 - b 8.49100 - c 8.49100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 612.1
- 00-039-1425 (T) - Cristobalite, syn - SiO₂ - Y: 41.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 4.97320 - b 4.97320 - c 6.92360 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - P41212 (92) - 4 - 1
- 01-083-1939 (C) - Andesine - Na_{0.685}Ca_{0.347}Al_{1.46}Si_{2.54}O₈ - Y: 70.39 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17800 - b 12.86500 - c 7.10900 - alpha 93.530 - beta 116.210 - gamma 89.920 - Base-cc

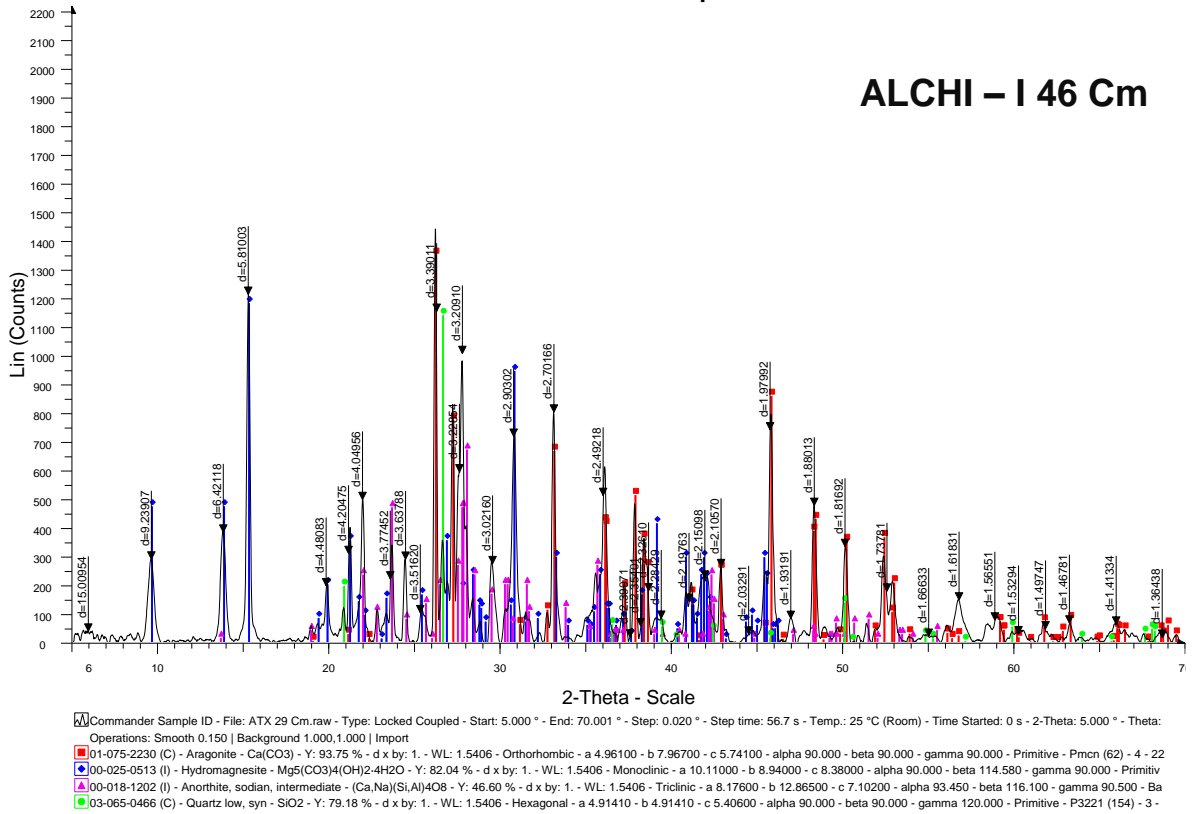
Commander Sample ID

ALCHI - I 29 Cm



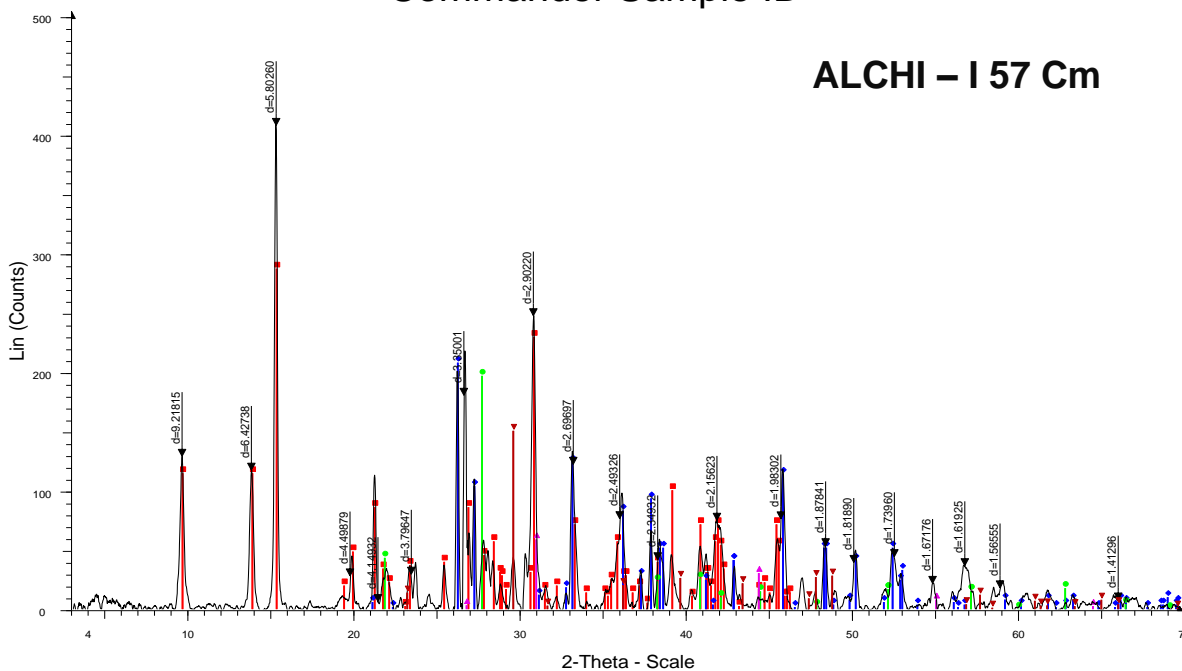
Commander Sample ID

ALCHI - I 46 Cm



Commander Sample ID

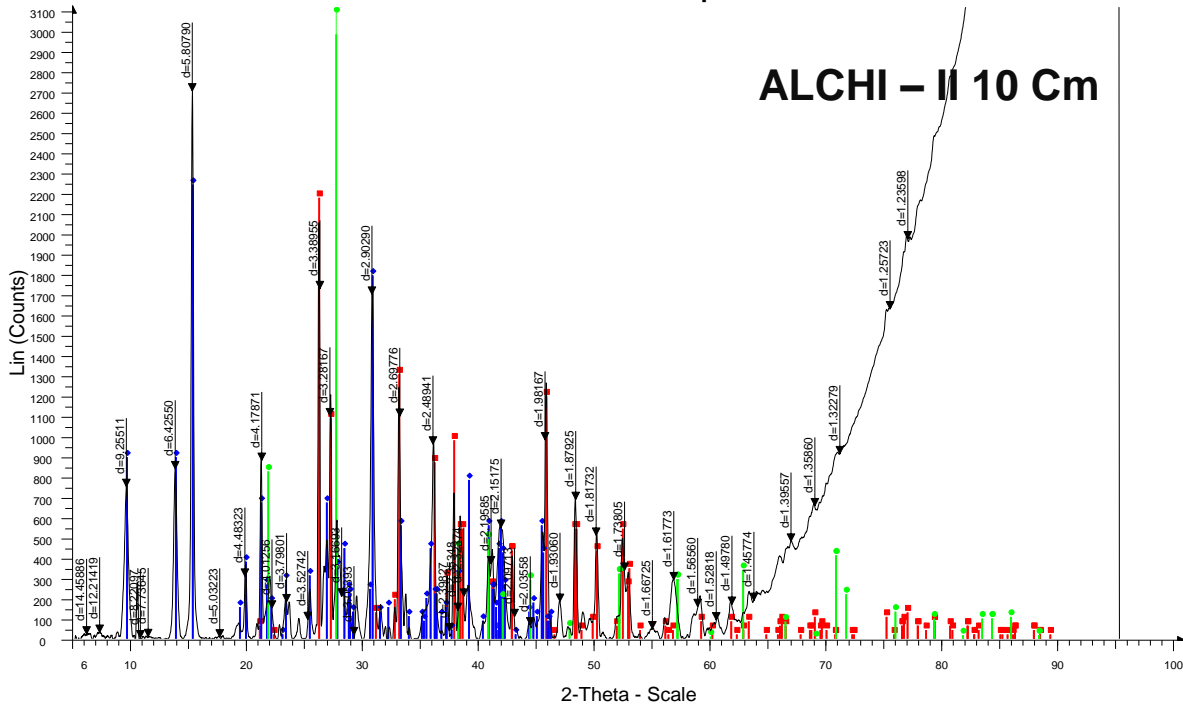
ALCHI - I 57 Cm



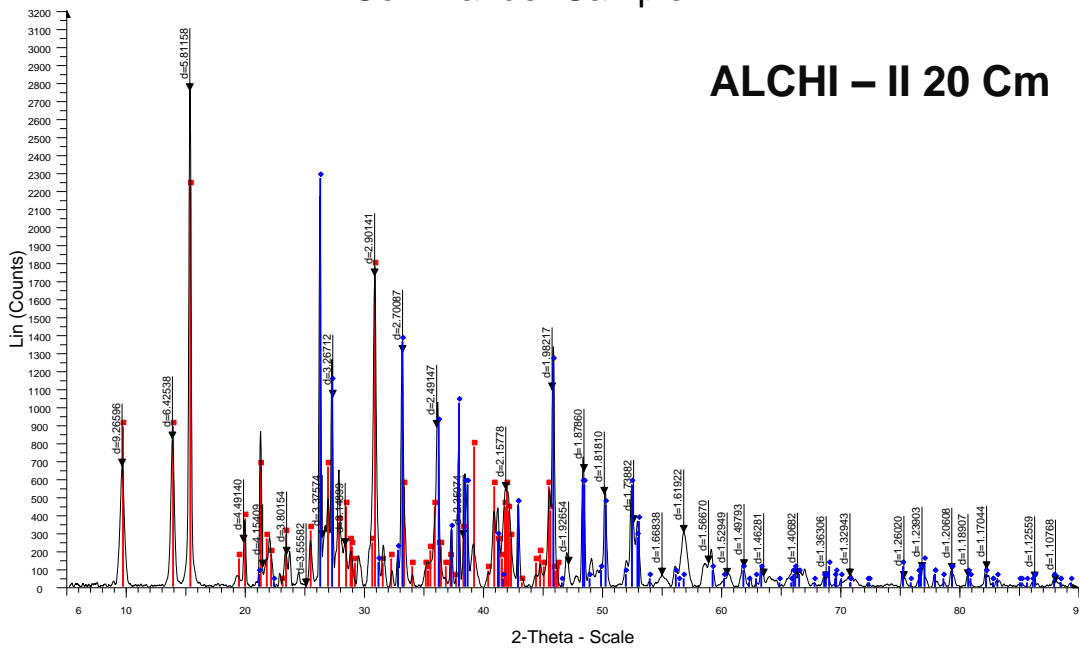
Commander Sample ID - File: AXT 57 Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 3.000 ° - End: 70.007 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 57.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 15.000 °
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import

■ 00-025-0513 (I) - Hydromagnesite - Mg₅(CO₃)₄(OH)2·4H₂O - Y: 70.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 10.11000 - b 8.94000 - c 8.38000 - alpha 90.000 - beta 114.580 - gamma 90.000 - Primitive
■ 00-041-1475 (*) - Aragonite - CaCO₃ - Y: 50.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.96230 - b 7.96800 - c 5.74390 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pmcn (62) - 4 - 227.
■ 01-086-1565 (C) - Quartz low - SiO₂ - Y: 48.25 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.70219 - b 4.70219 - c 5.25610 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P321 (154) - 3 - 100.
■ 00-026-0918 (C) - Halite, potassian, syn - K_{0.2}Na_{0.8}Cl - Y: 14.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 5.77120 - b 5.77120 - c 5.77120 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fm-3m (225) - 4 - 208.
■ 01-089-1305 (C) - Calcite, magnesium, syn - (Mg_{0.06}Ca_{0.94})CO₃ - Y: 36.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.96300 - b 4.96300 - c 16.95700 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.0

Commander Sample ID

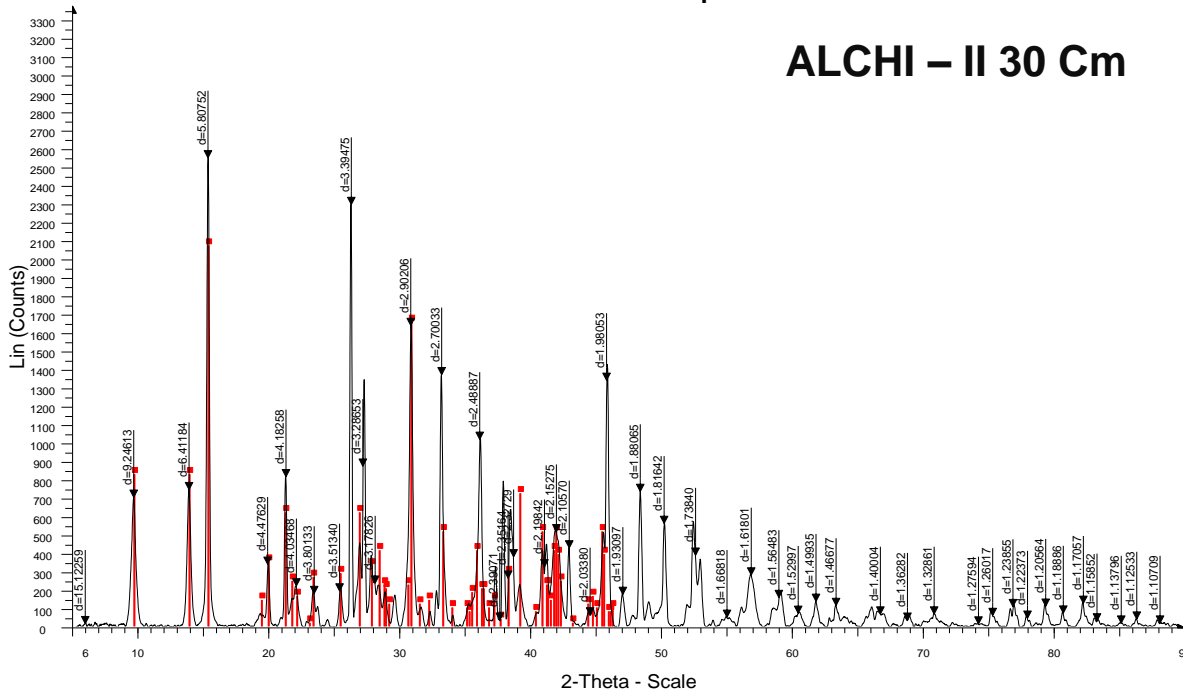


Commander Sample ID



Commander Sample ID

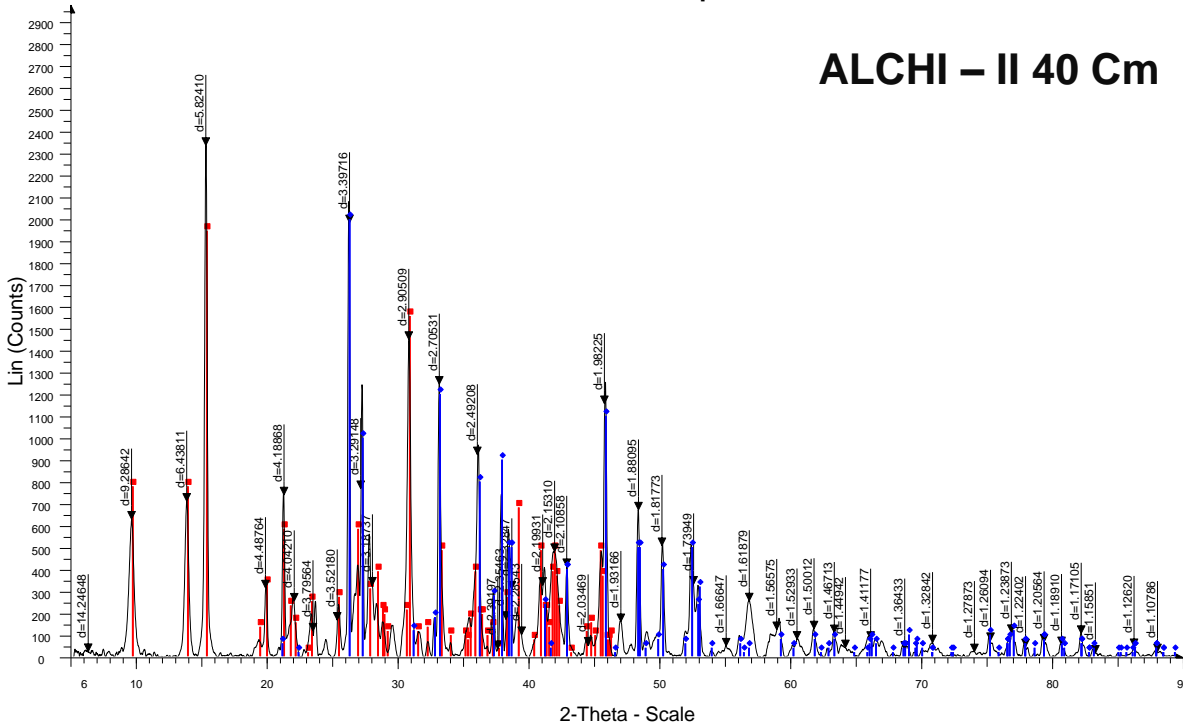
ALCHI – II 30 Cm



Commander Sample ID - File: ALCH1 II 30Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 5.000 ° - End: 90.003 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 57.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 5.000 ° - Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
00-025-0513 (l) - Hydromagnesite - Mg5(CO3)4(OH)2·4H2O - Y: 81.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 10.11000 - b 8.94000 - c 8.38000 - alpha 90.000 - beta 114.580 - gamma 90.000 - Prim

Commander Sample ID

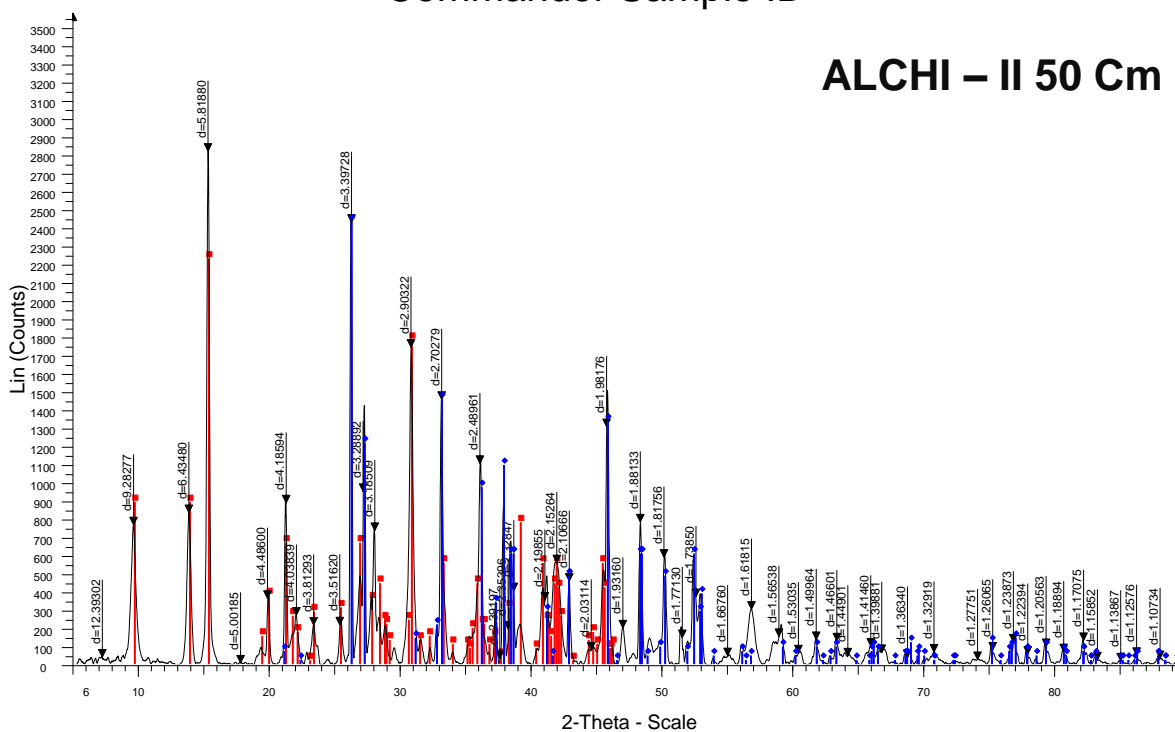
ALCHI – II 40 Cm



Commander Sample ID - File: ALCH1 II 40Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 5.000 ° - End: 90.003 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 57.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 5.000 ° - Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
00-025-0513 (l) - Hydromagnesite - Mg5(CO3)4(OH)2·4H2O - Y: 83.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 10.11000 - b 8.94000 - c 8.38000 - alpha 90.000 - beta 114.580 - gamma 90.000 - Prim
00-041-1475 (*) - Aragonite - CaCO3 - Y: 85.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.96230 - b 7.96800 - c 5.74390 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pmcn (62) - 4 - 2

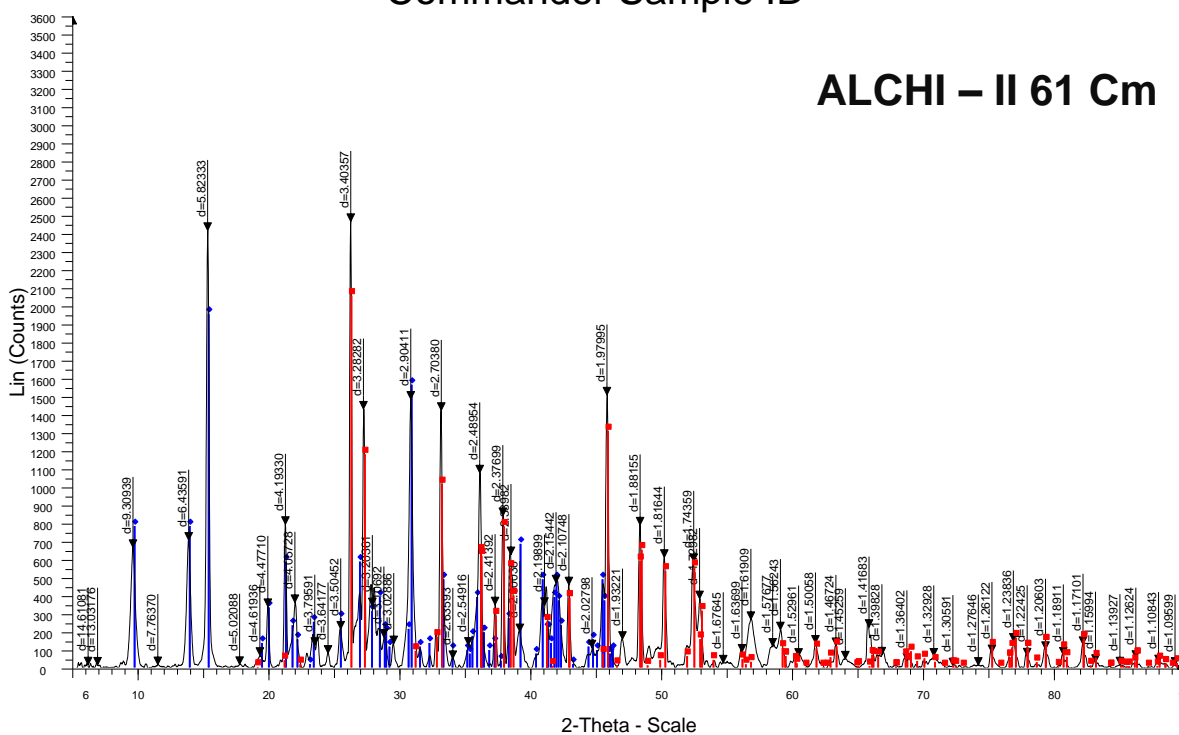
Commander Sample ID

ALCHI – II 50 Cm



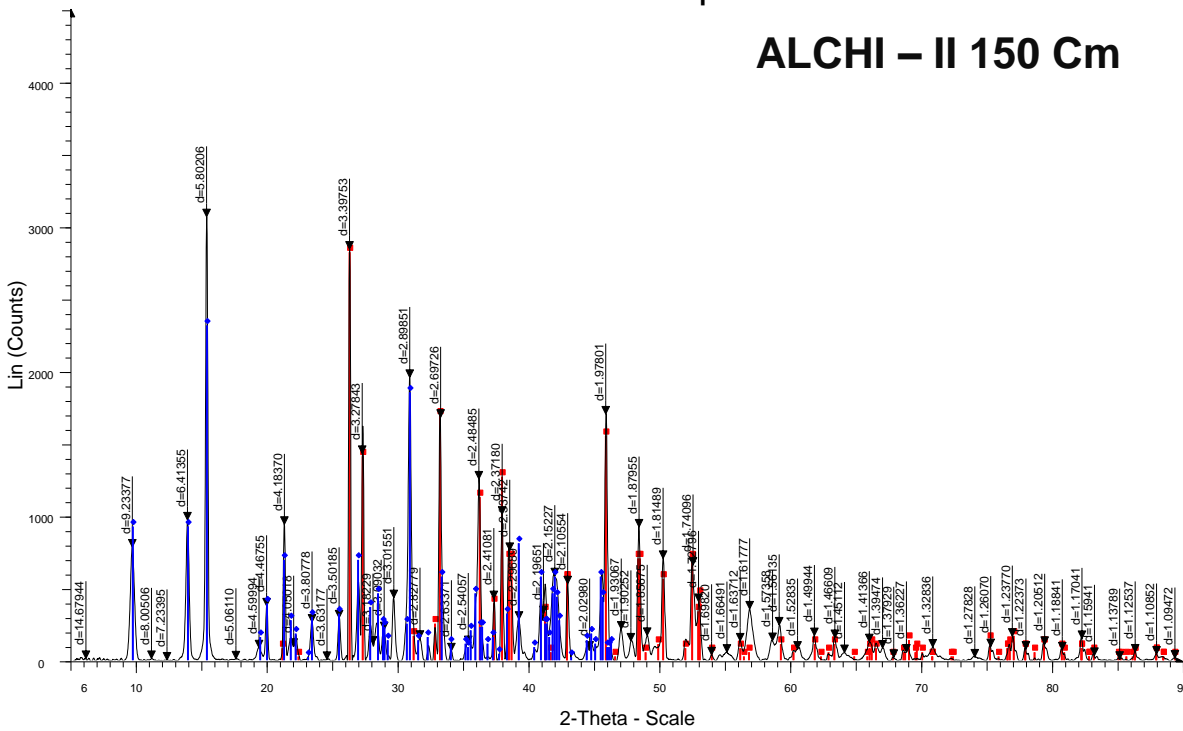
Commander Sample ID

ALCHI – II 61 Cm

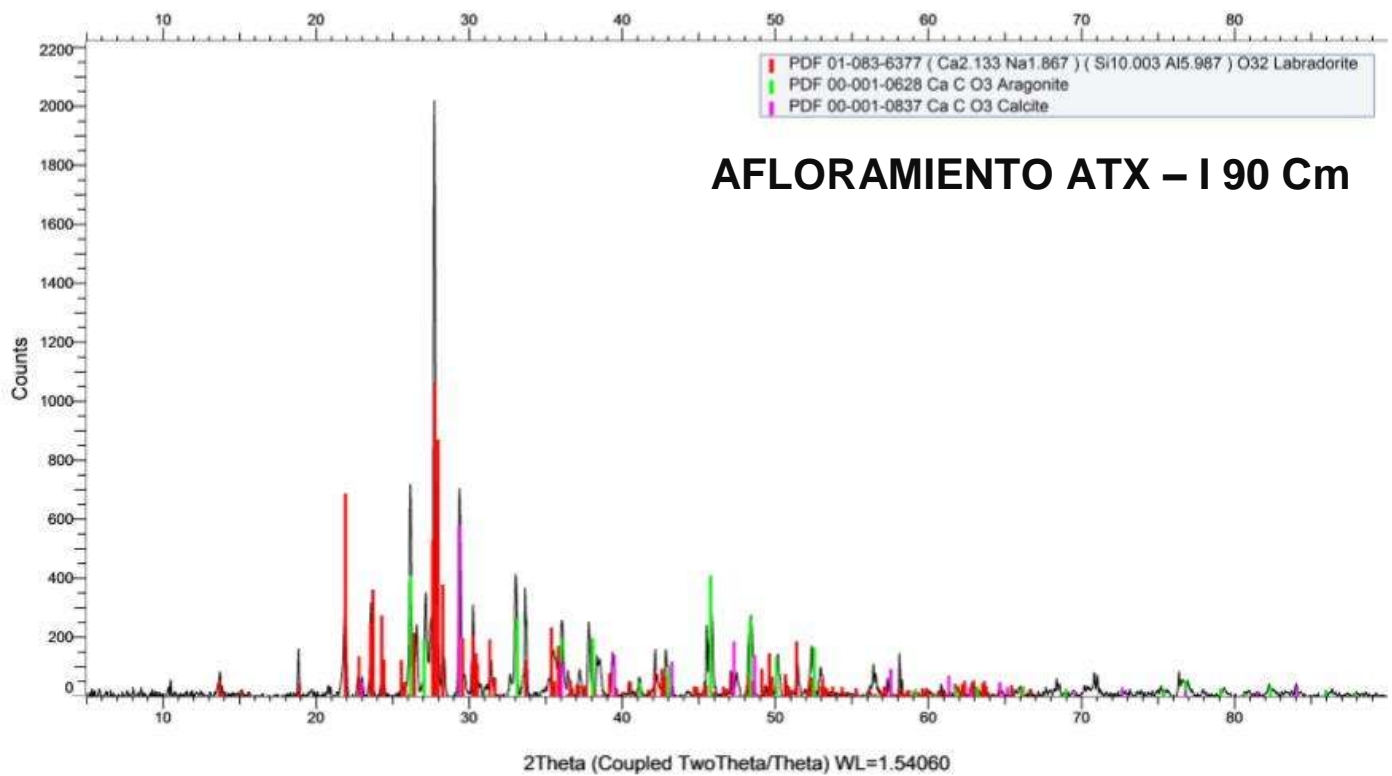
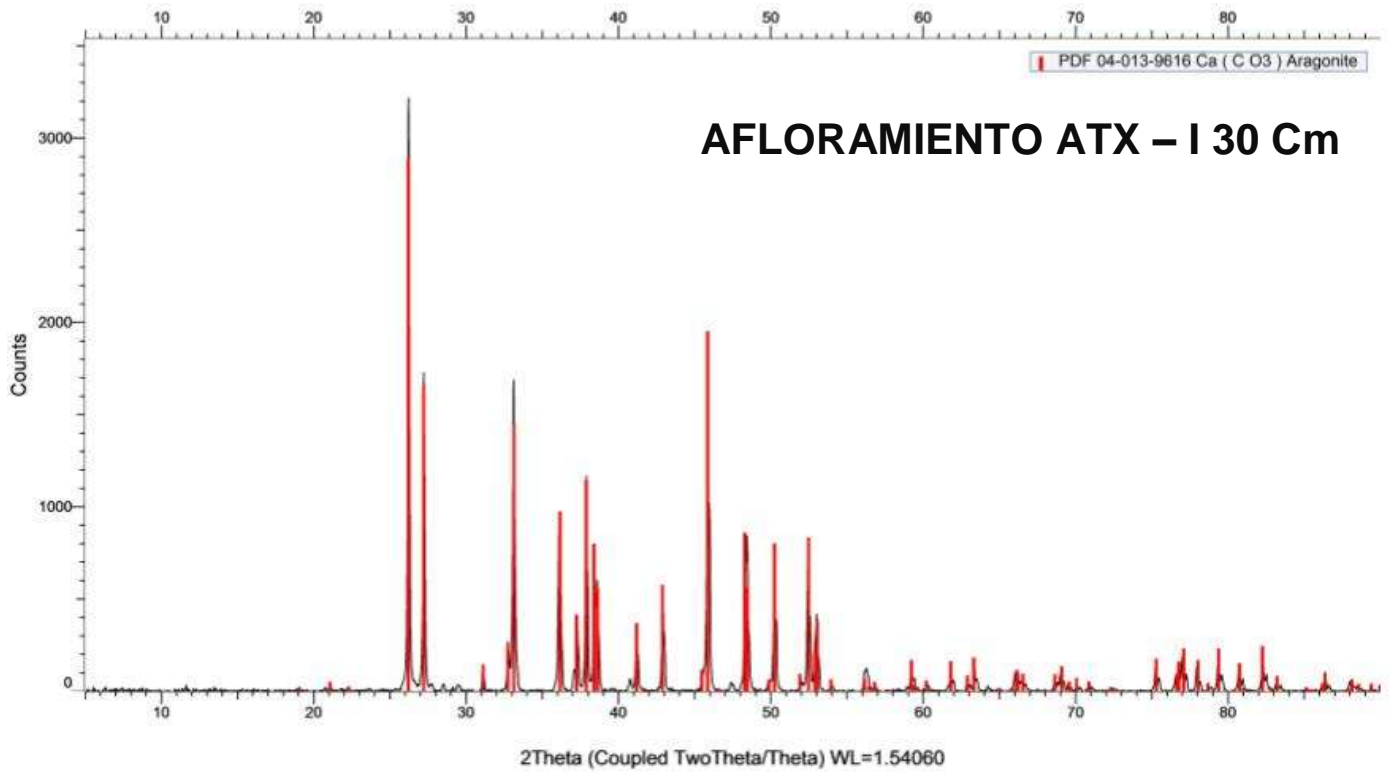


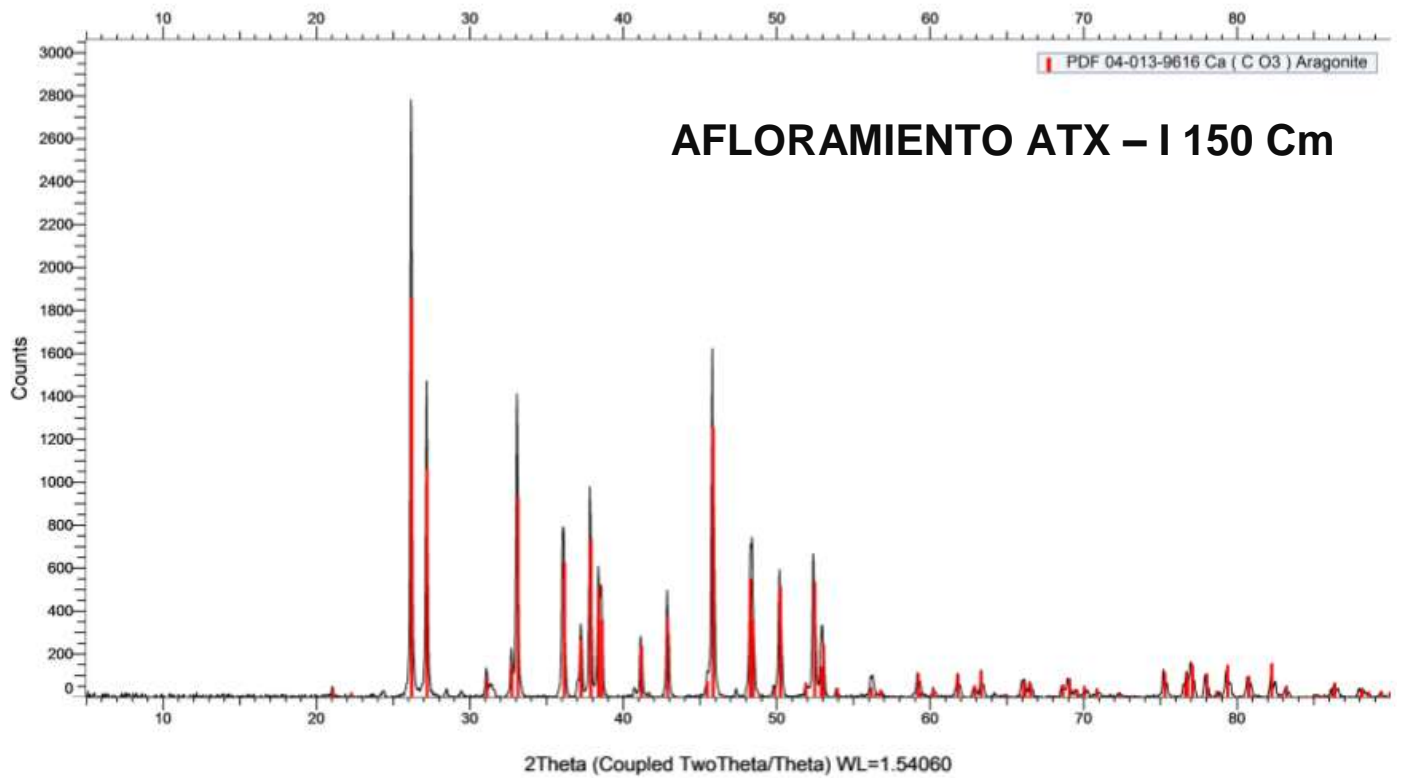
Commander Sample ID

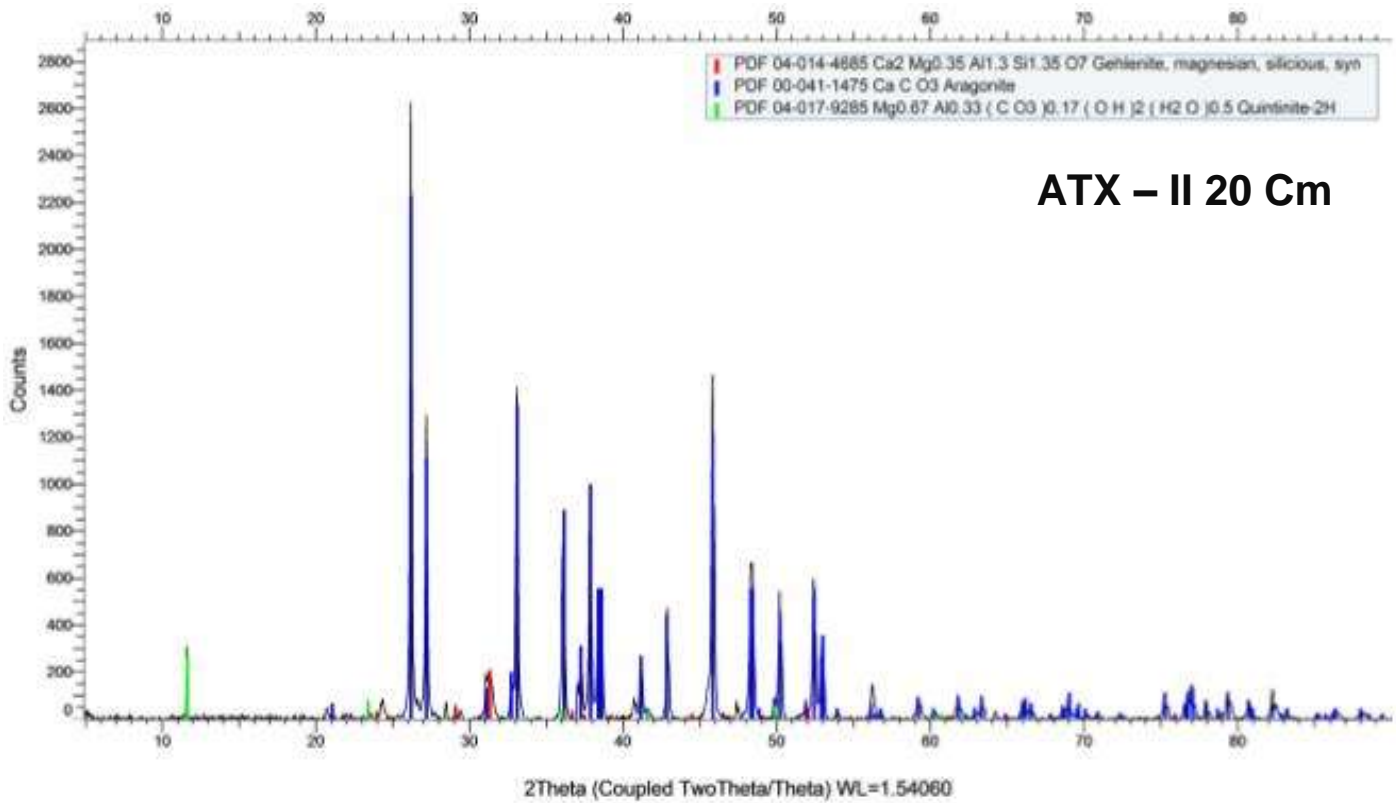
ALCHI – II 150 Cm



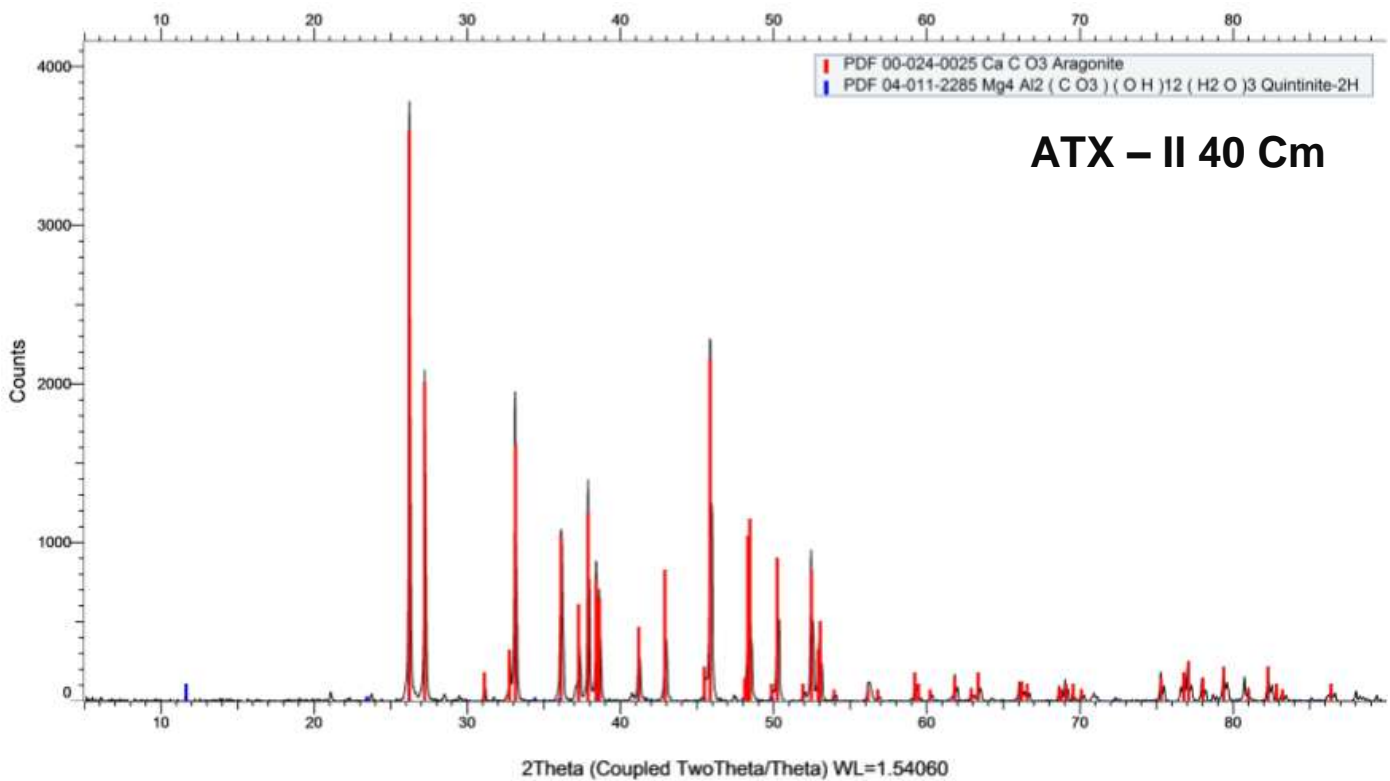
Commander Sample ID - File: ALCHI II 150Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 5.000 ° - End: 90.003 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 57.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 5.000 °
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
 00-025-0513 (l) - Hydromagnesite - Mg5(CO3)4(OH)2·4H2O - Y: 75.54 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 10.11000 - b 8.94000 - c 8.38000 - alpha 90.000 - beta 114.580 - gamma 90.000 - Prim
 00-041-1475 (*) - Aragonite - CaCO3 - Y: 92.01 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.96230 - b 7.96800 - c 5.74390 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pmcrn (62) - 4 - 2



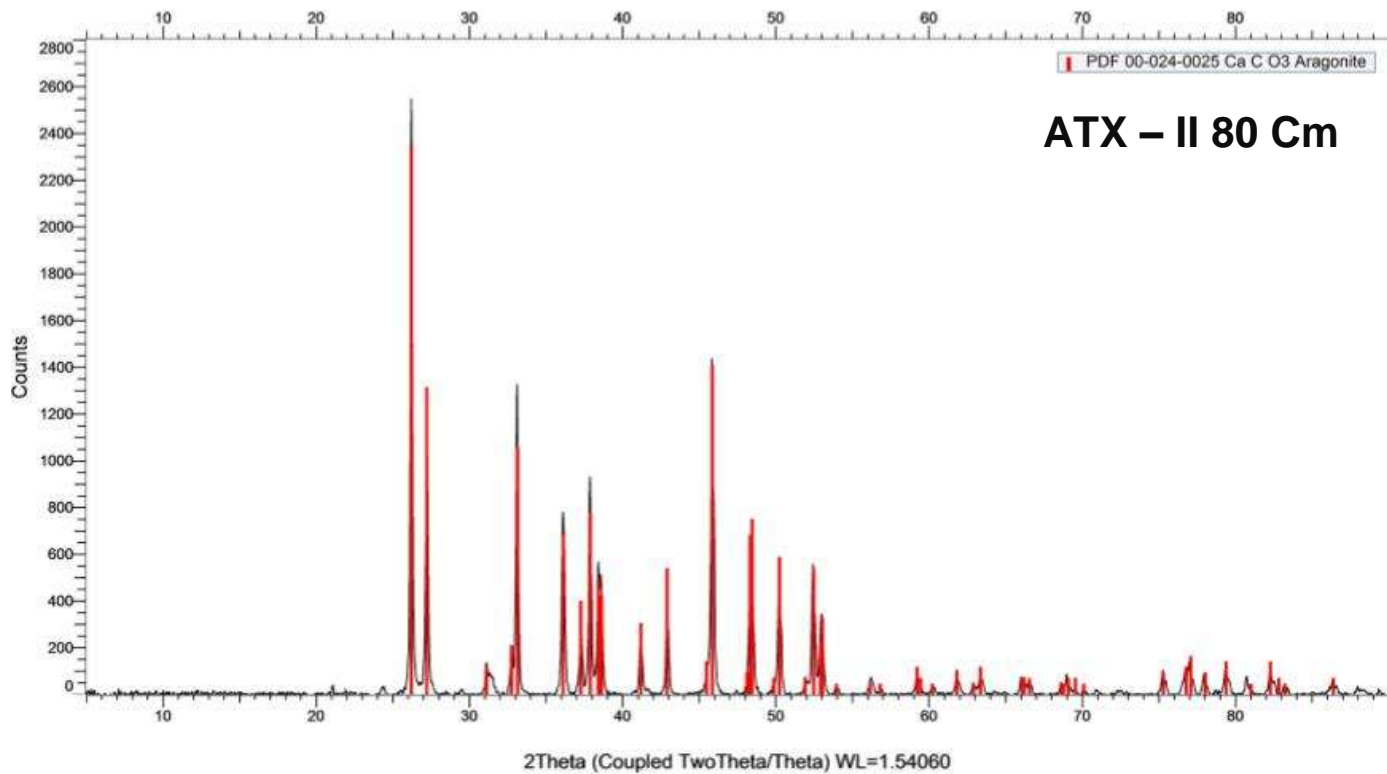
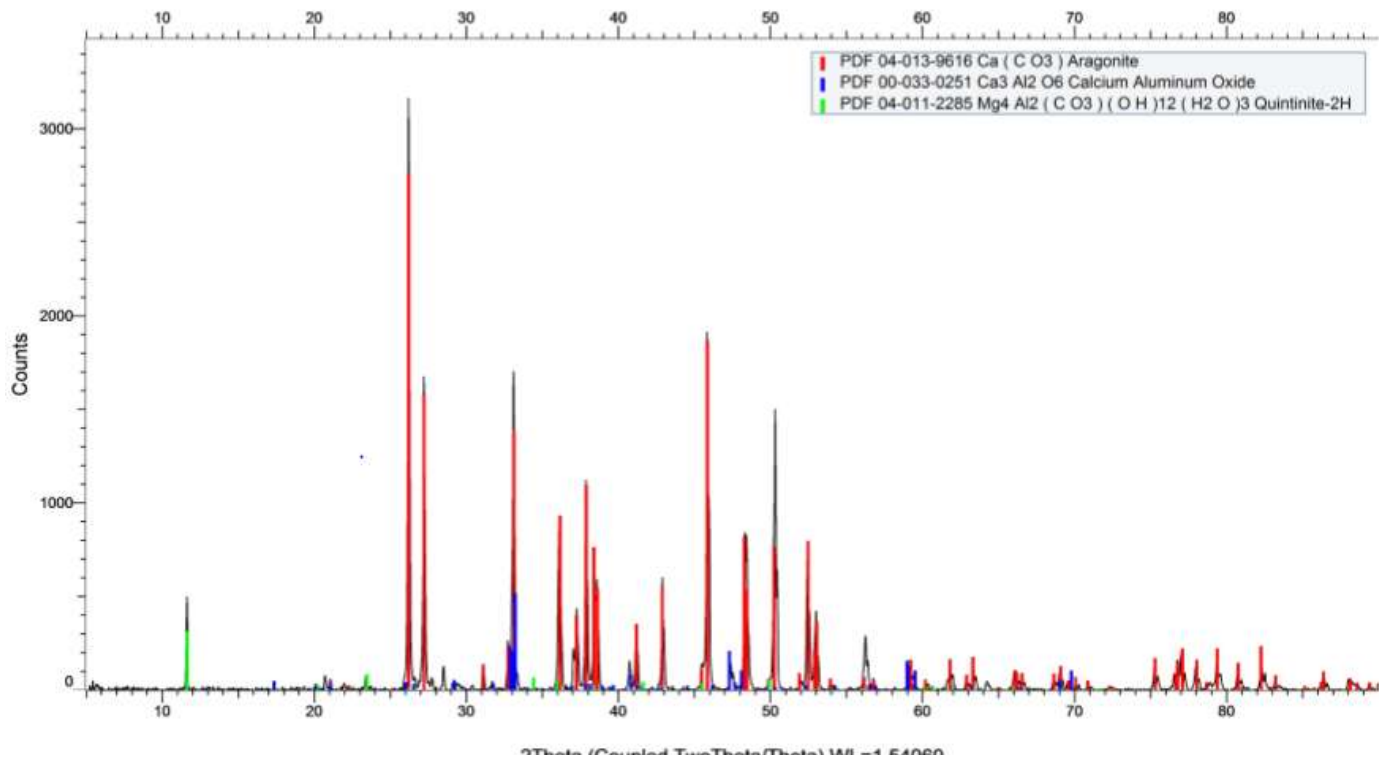




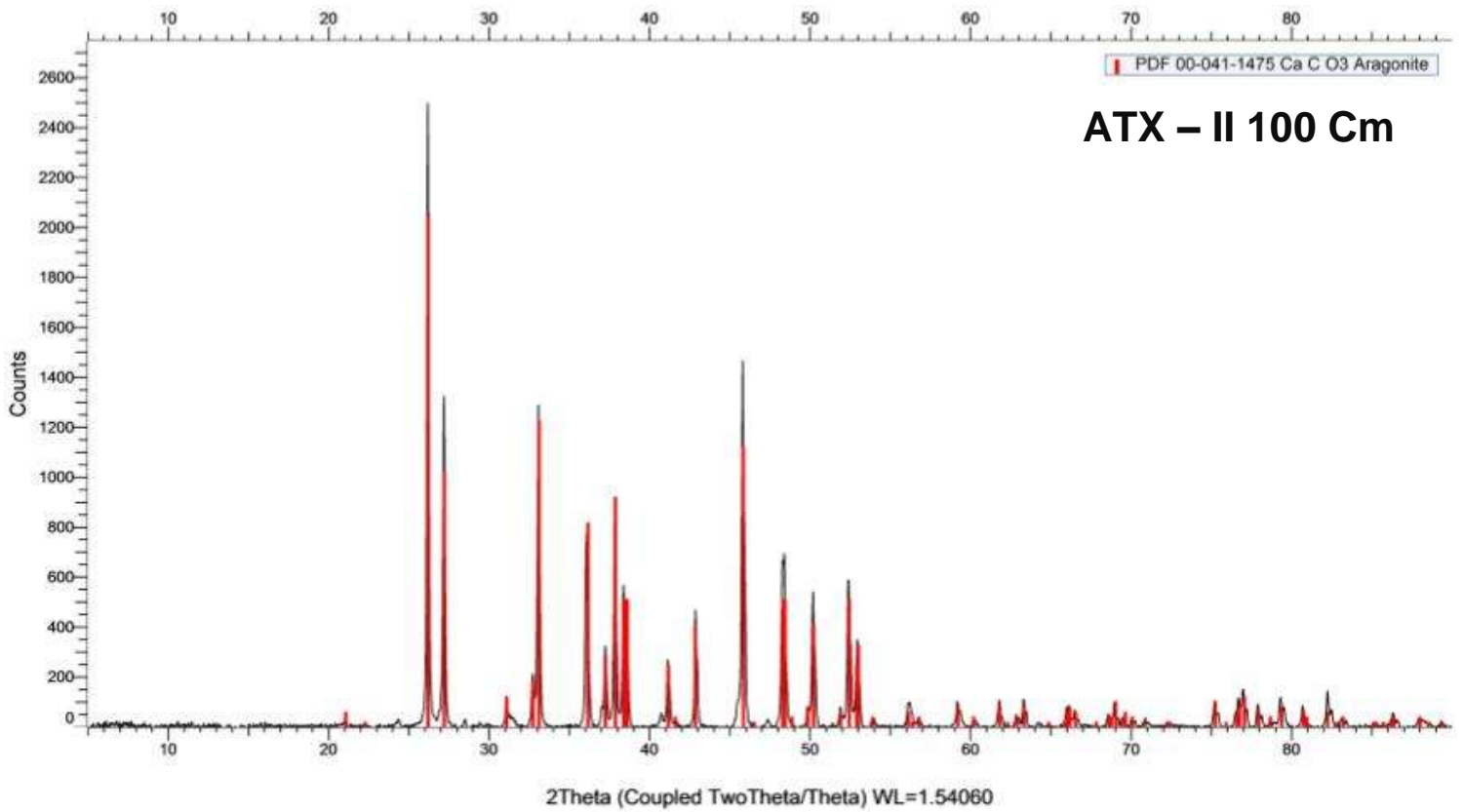
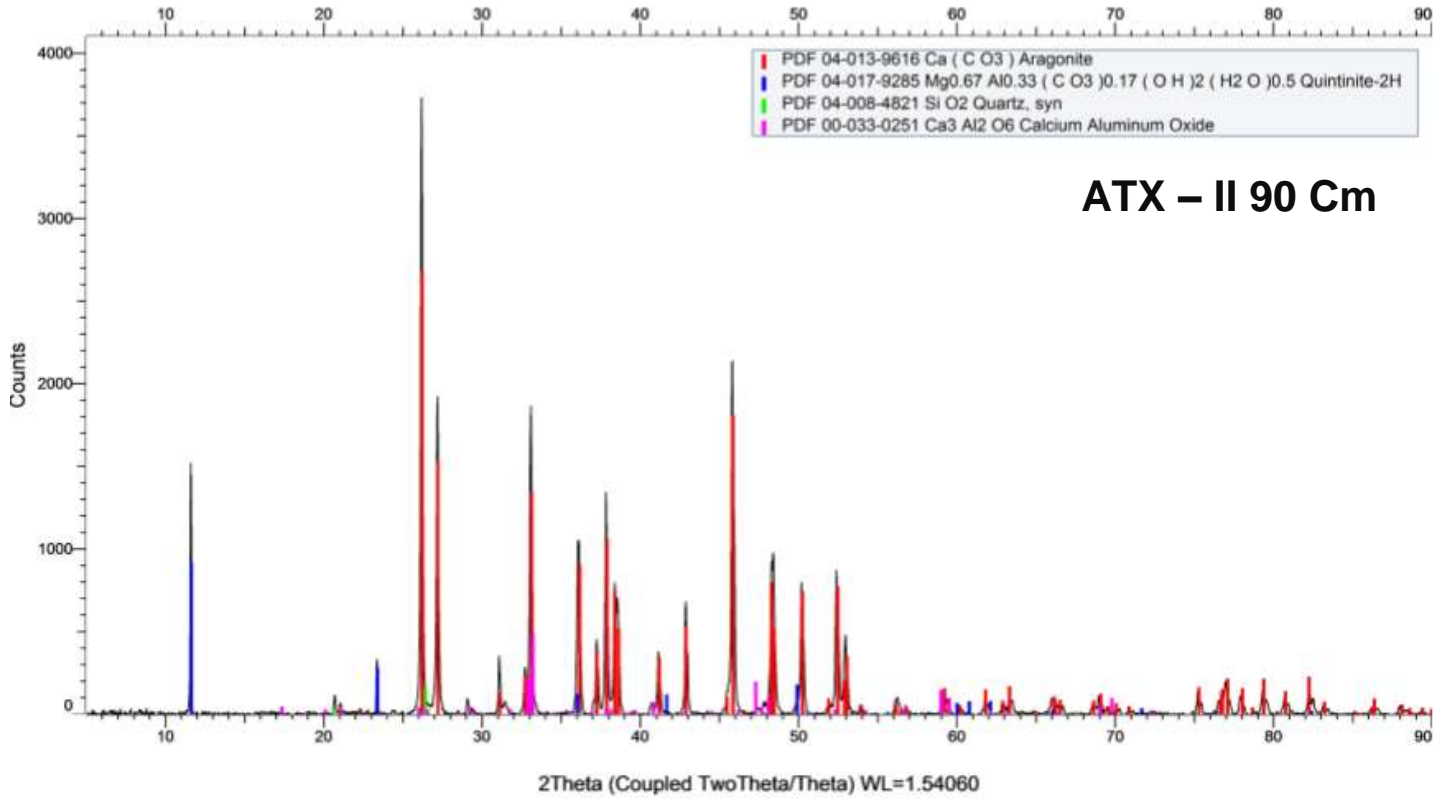
ATX - II 20 Cm

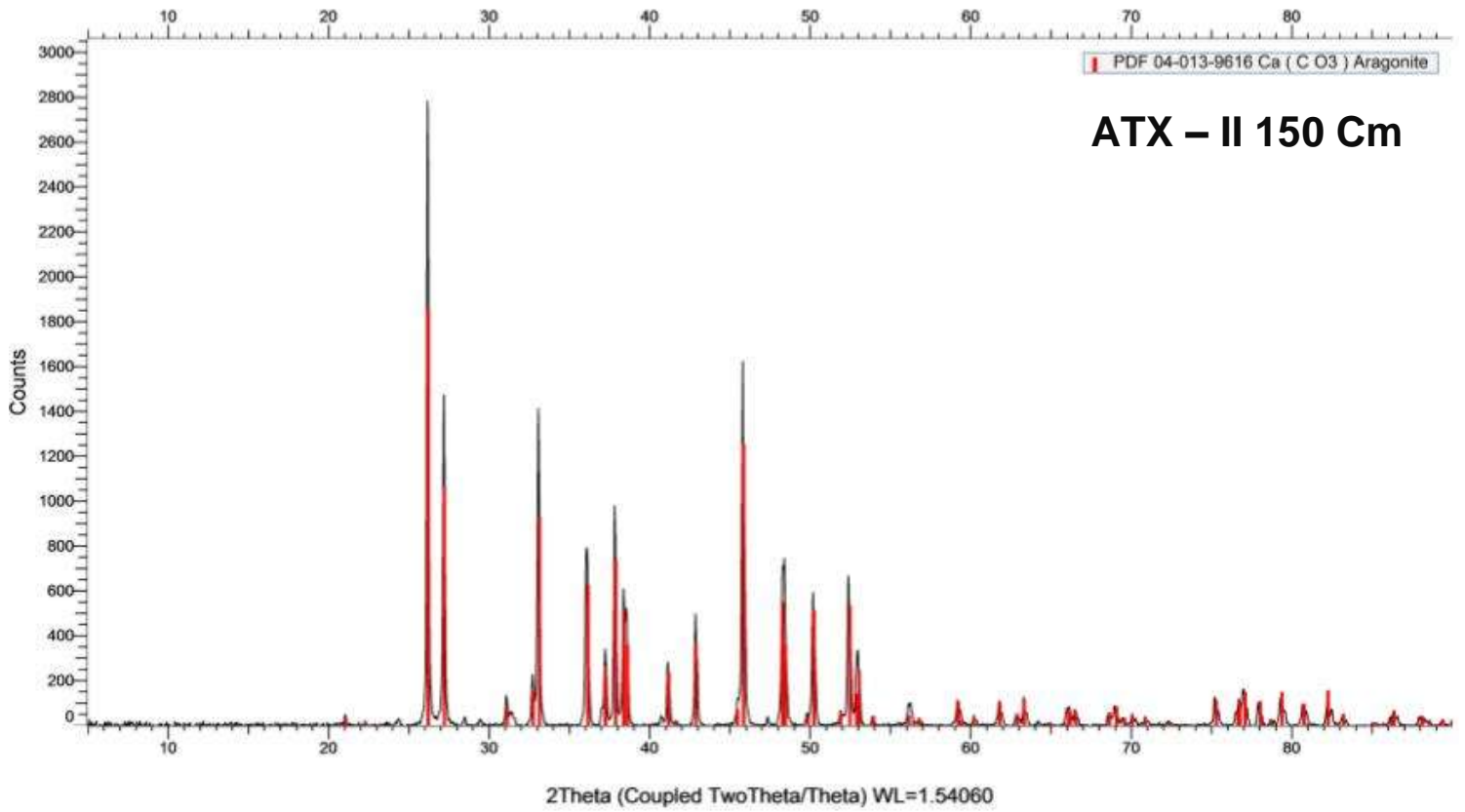


ATX - II 40 Cm



ATX – II 80 Cm

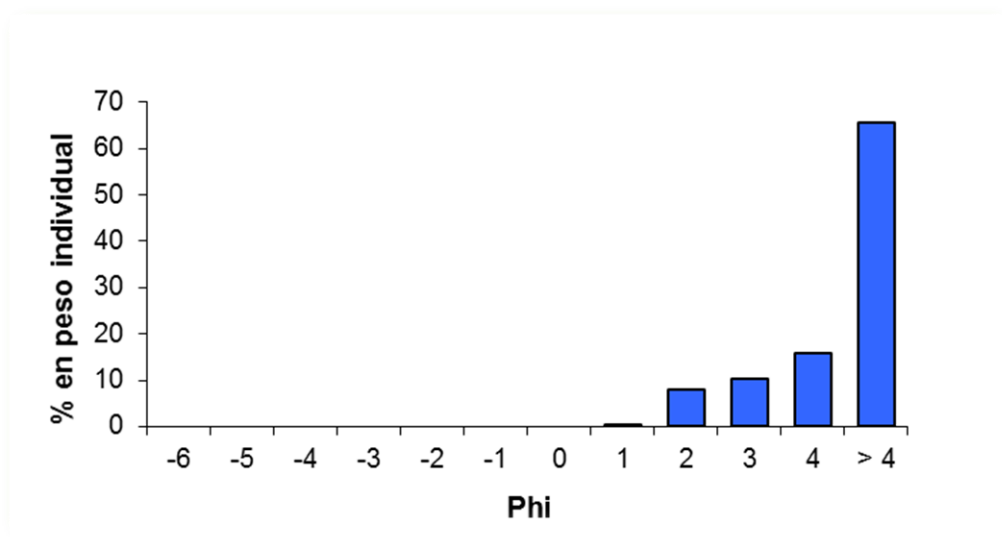




ANEXO II TABLAS Y GRAFICAS GRANULOMETRICAS

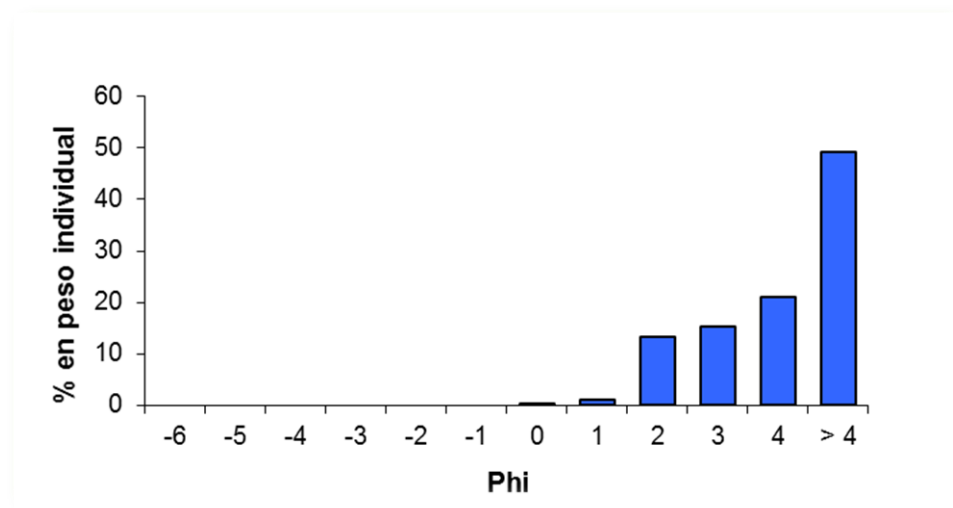
ALCHI – I 10Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phí	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,04	0,338983051	0,04	0,33898305
60	0,25	2	0,94	7,966101695	0,98	8,30508475
120	0,125	3	1,20	10,16949153	2,18	18,4745763
230	0,063	4	1,88	15,93220339	4,06	34,4067797
> 230	> 0.063	> 4	7,74	65,59322034	11,8	100
		Total	11,80	100		



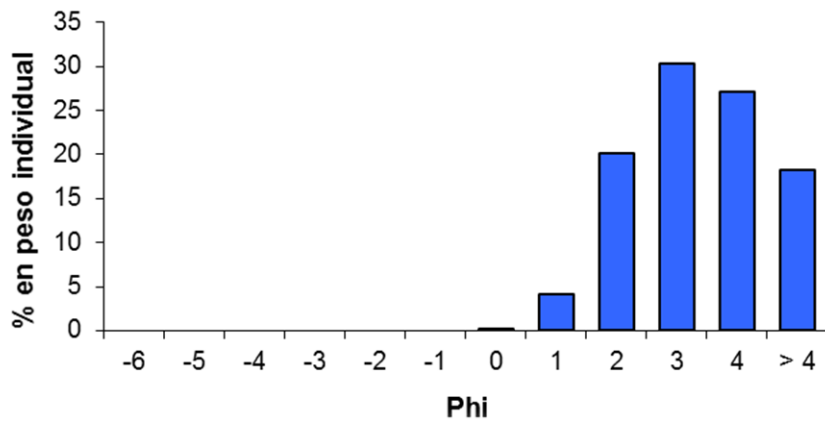
ALCHI – I 20 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phí	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,01	0,11148272	0,01	0,11148272
35	0,50	1	0,09	1,003344482	0,1	1,1148272
60	0,25	2	1,20	13,37792642	1,3	14,4927536
120	0,125	3	1,37	15,27313266	2,67	29,7658863
230	0,063	4	1,89	21,07023411	4,56	50,8361204
> 230	> 0.063	> 4	4,41	49,1638796	8,97	100
		Total	8,97	100		



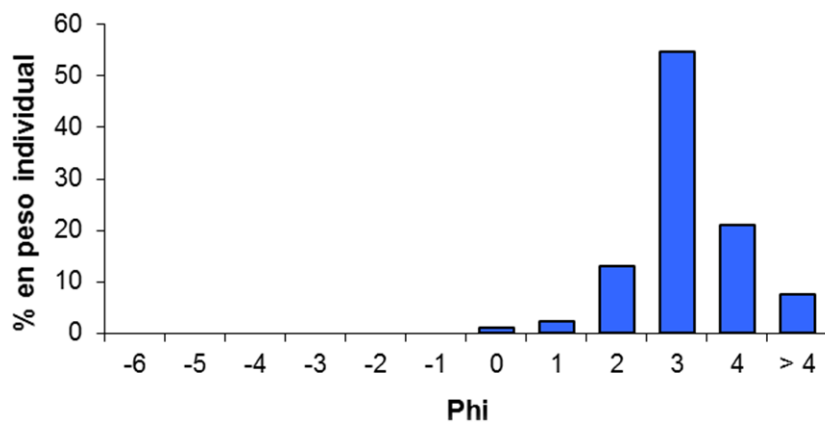
ALCHI – I 30 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,01	0,139470014	0,01	0,13947001
35	0,50	1	0,30	4,184100418	0,31	4,32357043
60	0,25	2	1,44	20,08368201	1,75	24,4072524
120	0,125	3	2,17	30,26499303	3,92	54,6722455
230	0,063	4	1,94	27,05718271	5,86	81,7294282
> 230	> 0.063	> 4	1,31	18,27057183	7,17	100
		Total	7,17	100		



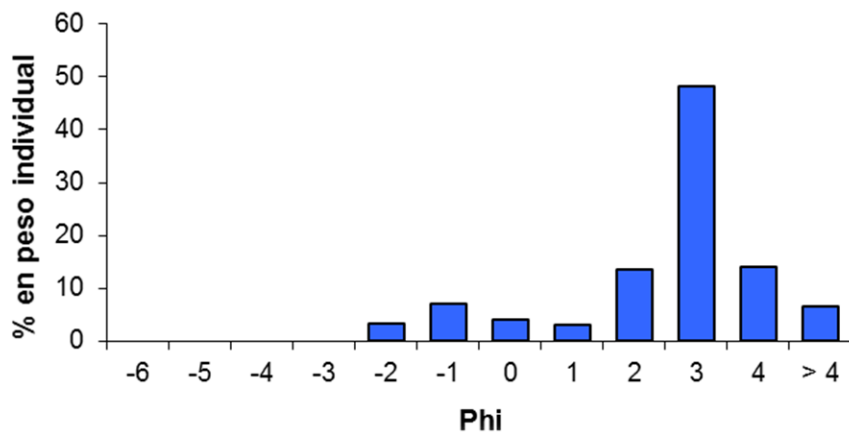
ALCHI – I 40 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,13	1,161751564	0,13	1,16175156
35	0,50	1	0,26	2,323503128	0,39	3,48525469
60	0,25	2	1,45	12,95799821	1,84	16,4432529
120	0,125	3	6,13	54,78105451	7,97	71,2243074
230	0,063	4	2,36	21,09025916	10,33	92,3145666
> 230	> 0.063	> 4	0,86	7,685433423	11,19	100
		Total	11,19	100		



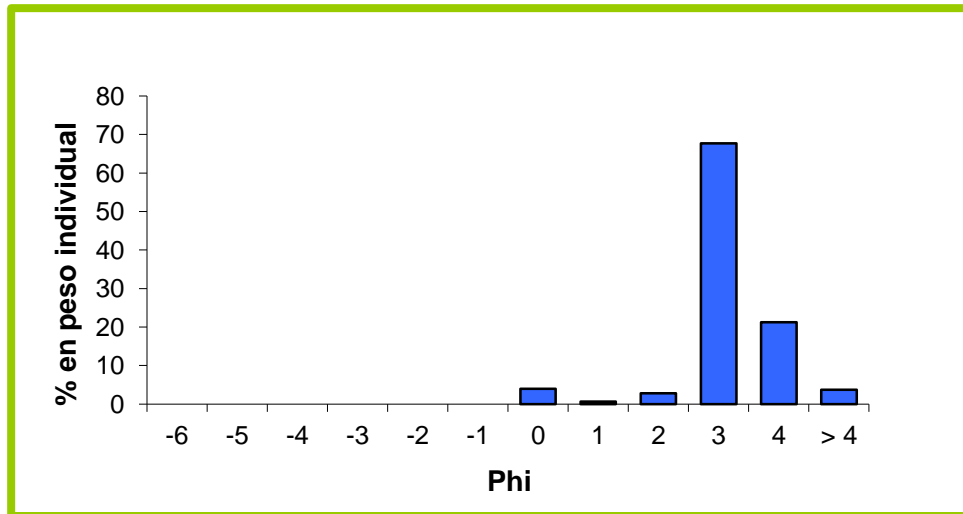
ALCHI – I 50 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phí	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0,53	3,397435897	0,53	3,3974359
10	2	-1	1,1	7,051282051	1,63	10,4487179
18	1	0	0,63	4,038461538	2,26	14,4871795
35	0,50	1	0,50	3,205128205	2,76	17,6923077
60	0,25	2	2,10	13,46153846	4,86	31,1538462
120	0,125	3	7,52	48,20512821	12,38	79,3589744
230	0,063	4	2,21	14,16666667	14,59	93,525641
> 230	> 0.063	> 4	1,01	6,474358974	15,6	100
		Total	15,60	100		



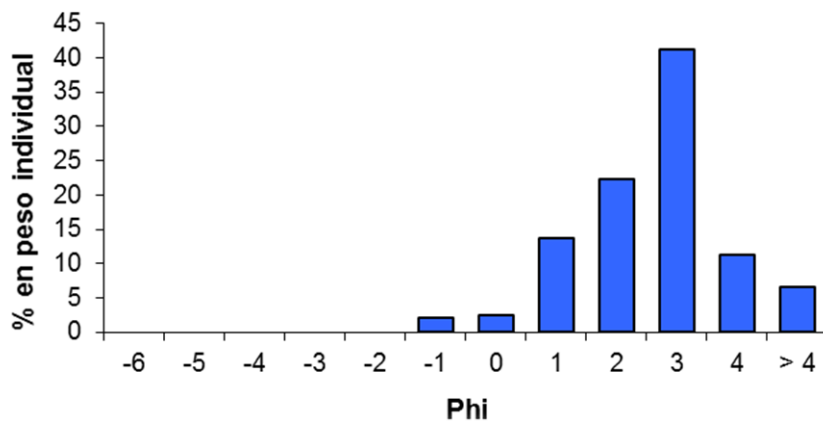
ALCHI – I 60 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phí	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	2,54	9,219600726	2,54	9,21960073
18	1	0	0,8	2,903811252	3,34	12,123412
35	0,50	1	0,60	2,177858439	3,94	14,3012704
60	0,25	2	3,80	13,79310345	7,74	28,0943739
120	0,125	3	15,49	56,22504537	23,23	84,3194192
230	0,063	4	2,81	10,19963702	26,04	94,5190563
> 230	> 0.063	> 4	1,51	5,480943739	27,55	100
		Total	27,55	100		



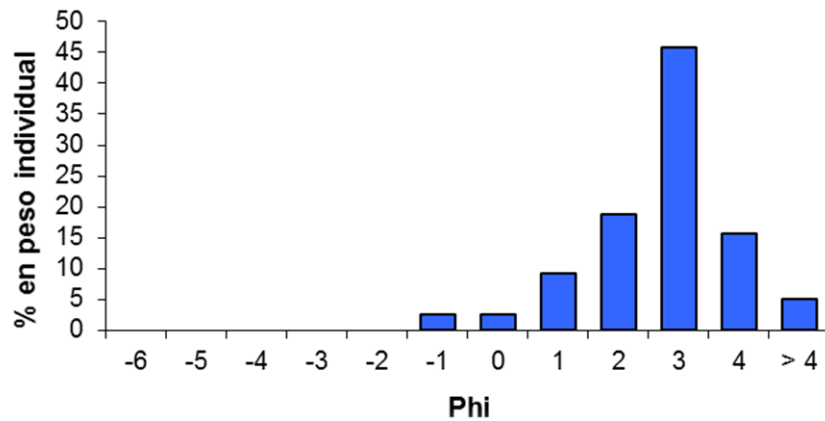
ALCHI – II 10 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,11	2,140077821	0,11	2,14007782
18	1	0	0,13	2,529182879	0,24	4,6692607
35	0,50	1	0,71	13,81322957	0,95	18,4824903
60	0,25	2	1,15	22,37354086	2,1	40,8560311
120	0,125	3	2,12	41,24513619	4,22	82,1011673
230	0,063	4	0,58	11,28404669	4,8	93,385214
> 230	> 0.063	> 4	0,34	6,614785992	5,14	100
		Total	5,14	100		



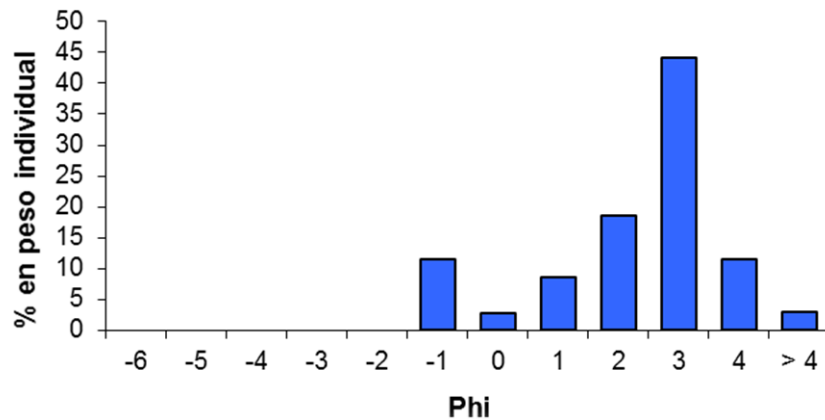
ALCHI – II 20 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ 1/2	63	-6		0	0	0
1/ 1/4	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,12	2,654867257	0,12	2,65486726
18	1	0	0,12	2,654867257	0,24	5,30973451
35	0,50	1	0,42	9,292035398	0,66	14,6017699
60	0,25	2	0,85	18,80530973	1,51	33,4070796
120	0,125	3	2,07	45,79646018	3,58	79,2035398
230	0,063	4	0,71	15,7079646	4,29	94,9115044
> 230	> 0.063	> 4	0,23	5,088495575	4,52	100
		Total	4,52	100		



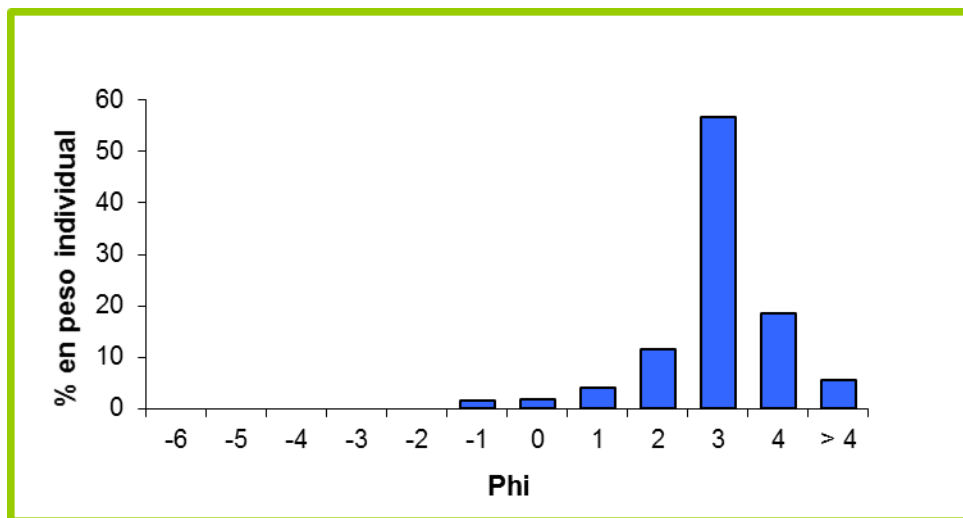
ALCHI – II 30 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phí	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,79	11,53284672	0,79	11,5328467
18	1	0	0,19	2,773722628	0,98	14,3065693
35	0,50	1	0,59	8,613138686	1,57	22,919708
60	0,25	2	1,27	18,54014599	2,84	41,459854
120	0,125	3	3,02	44,08759124	5,86	85,5474453
230	0,063	4	0,79	11,53284672	6,65	97,080292
> 230	> 0.063	> 4	0,20	2,919708029	6,85	100
		Total	6,85	100		



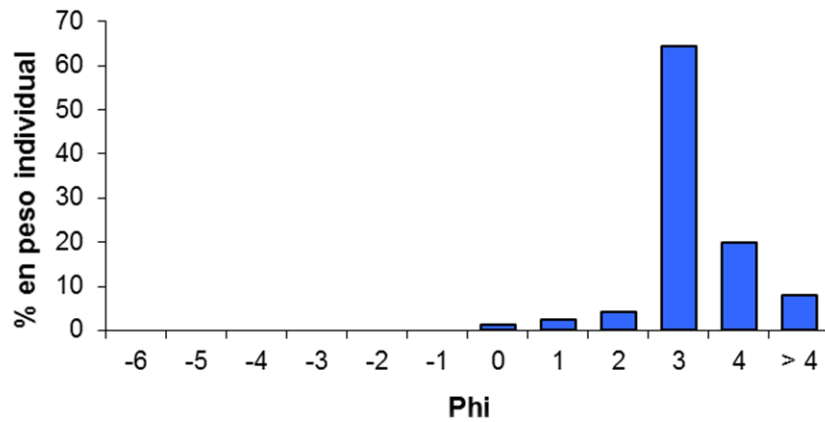
ALCHI – II 40 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phí	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,14	1,678657074	0,14	1,67865707
18	1	0	0,16	1,918465228	0,3	3,5971223
35	0,50	1	0,35	4,196642686	0,65	7,79376499
60	0,25	2	0,96	11,51079137	1,61	19,3045564
120	0,125	3	4,72	56,59472422	6,33	75,8992806
230	0,063	4	1,54	18,46522782	7,87	94,3645084
> 230	> 0.063	> 4	0,47	5,635491607	8,34	100
		Total	8,34	100		



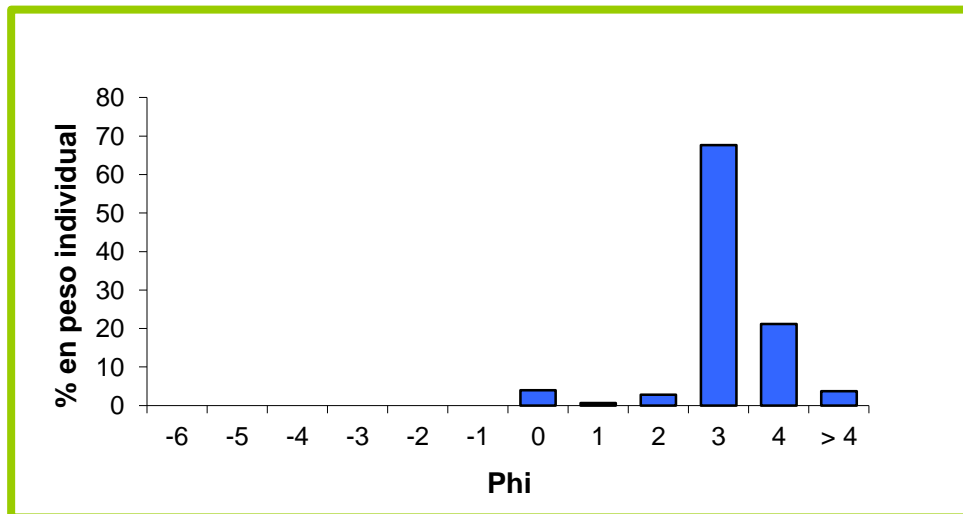
ALCHI – II 50 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1		0	0	0
18	1	0	0,12	1,215805471	0,12	1,21580547
35	0,50	1	0,24	2,431610942	0,36	3,64741641
60	0,25	2	0,42	4,255319149	0,78	7,90273556
120	0,125	3	6,35	64,33637285	7,13	72,2391084
230	0,063	4	1,96	19,85815603	9,09	92,0972644
> 230	> 0.063	> 4	0,78	7,902735562	9,87	100
		Total	9,87	100		



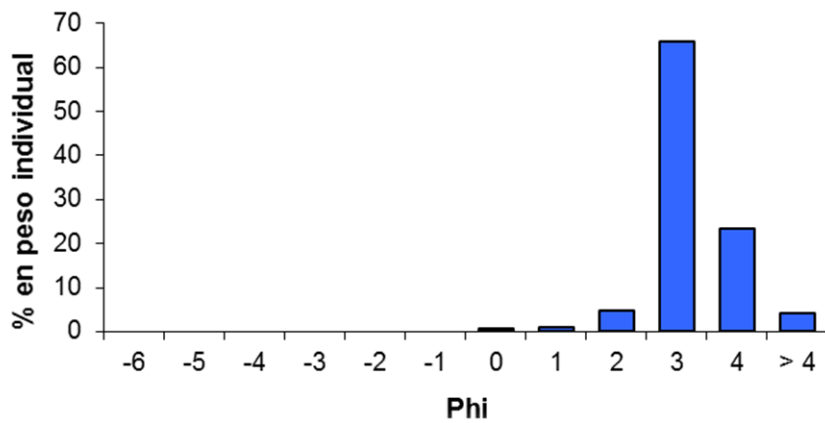
ALCHI – II 60 CM

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1		0	0	0
18	1	0	0,15	1,100513573	0,15	1,10051357
35	0,50	1	0,26	1,90755686	0,41	3,00807043
60	0,25	2	2,68	19,66250917	3,09	22,6705796
120	0,125	3	7,66	56,19955979	10,75	78,8701394
230	0,063	4	2,01	14,74688188	12,76	93,6170213
> 230	> 0.063	> 4	0,87	6,382978723	13,63	100
Total			13,63	100		



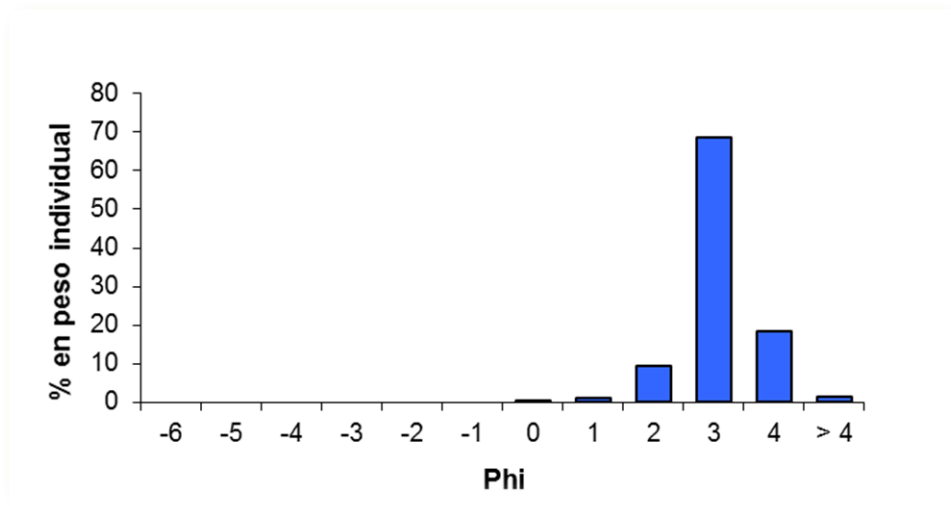
ALCHI – II 70 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ 1/2	63	-6		0	0	0
1/ 1/4	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1		0	0	0
18	1	0	0,07	0,78125	0,07	0,78125
35	0,50	1	0,10	1,116071429	0,17	1,89732143
60	0,25	2	0,43	4,799107143	0,6	6,69642857
120	0,125	3	5,90	65,84821429	6,5	72,5446429
230	0,063	4	2,09	23,32589286	8,59	95,8705357
> 230	> 0.063	> 4	0,37	4,129464286	8,96	100
		Total	8,96	100		



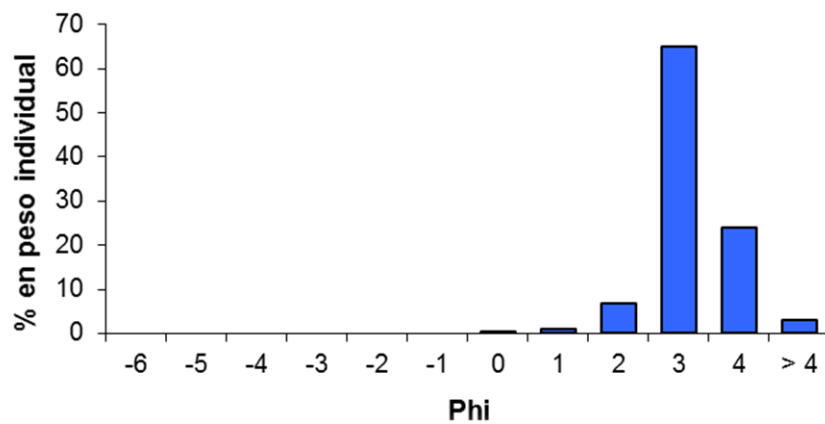
ALCHI – II 80 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1		0	0	0
18	1	0	0,06	0,509337861	0,06	0,50933786
35	0,50	1	0,14	1,188455008	0,2	1,69779287
60	0,25	2	1,12	9,507640068	1,32	11,2054329
120	0,125	3	8,09	68,67572156	9,41	79,8811545
230	0,063	4	2,18	18,50594228	11,59	98,3870968
> 230	> 0.063	> 4	0,19	1,612903226	11,78	100
Total			11,78	100		



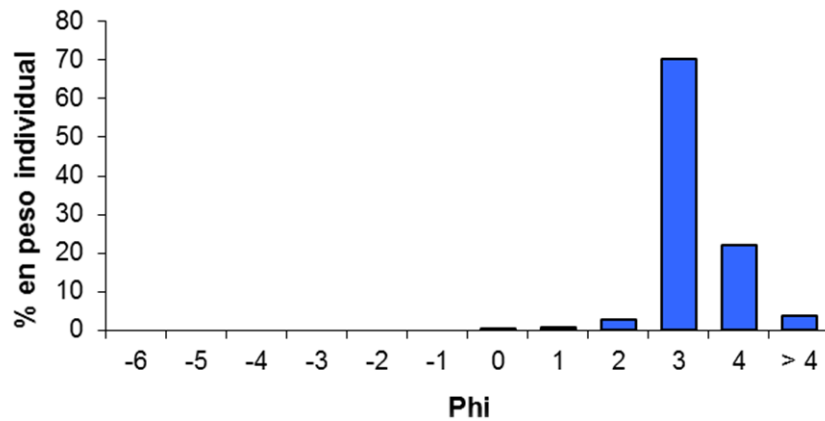
ALCHI – II 90

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1		0	0	0
18	1	0	0,03	0,280373832	0,03	0,28037383
35	0,50	1	0,09	0,841121495	0,12	1,12149533
60	0,25	2	0,74	6,91588785	0,86	8,03738318
120	0,125	3	6,96	65,04672897	7,82	73,0841121
230	0,063	4	2,57	24,01869159	10,39	97,1028037
> 230	> 0.063	> 4	0,31	2,897196262	10,7	100
		Total	10,70	100		



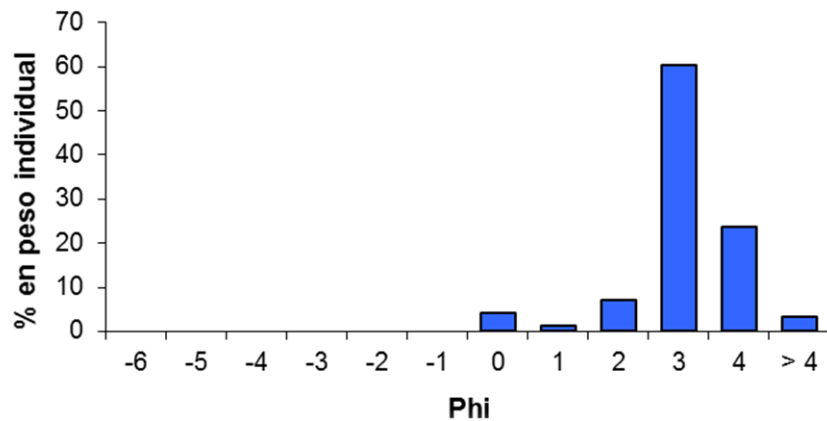
ALCHI – II 100 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1		0	0	0
18	1	0	0,05	0,436300175	0,05	0,43630017
35	0,50	1	0,08	0,698080279	0,13	1,13438045
60	0,25	2	0,33	2,879581152	0,46	4,01396161
120	0,125	3	8,04	70,15706806	8,5	74,1710297
230	0,063	4	2,52	21,9895288	11,02	96,1605585
> 230	> 0.063	> 4	0,44	3,839441536	11,46	100
		Total	11,46	100		



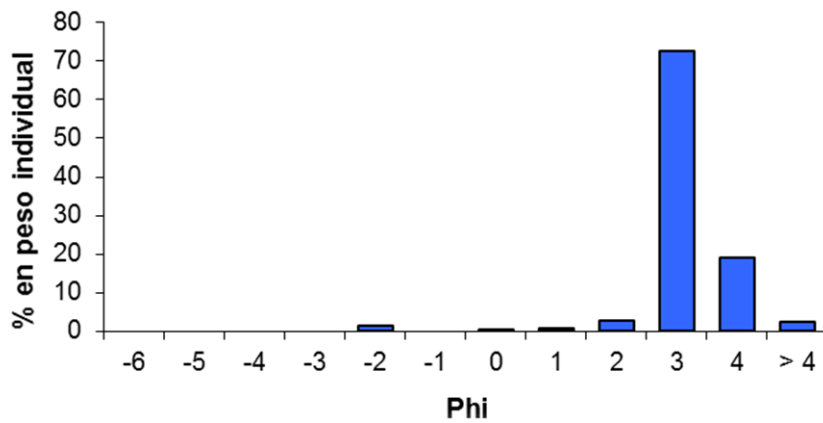
ALCHI – II 110 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phí	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,47	4,261106074	0,47	4,26110607
35	0,50	1	0,15	1,359927471	0,62	5,62103354
60	0,25	2	0,77	6,980961015	1,39	12,6019946
120	0,125	3	6,66	60,38077969	8,05	72,9827743
230	0,063	4	2,61	23,66273799	10,66	96,6455122
> 230	> 0.063	> 4	0,37	3,354487761	11,03	100
		Total	11,03	100		



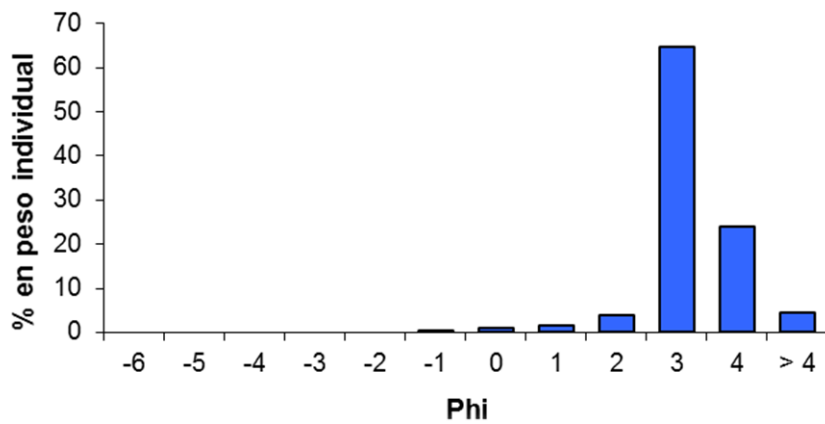
ALCHI – 120 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0,2	1,584786054	0,2	1,58478605
10	2	-1	0	0	0,2	1,58478605
18	1	0	0,06	0,475435816	0,26	2,06022187
35	0,50	1	0,09	0,713153724	0,35	2,77337559
60	0,25	2	0,37	2,9318542	0,72	5,70522979
120	0,125	3	9,18	72,74167987	9,9	78,4469097
230	0,063	4	2,41	19,09667195	12,31	97,5435816
> 230	> 0.063	> 4	0,31	2,456418384	12,62	100
		Total	12,62	100		



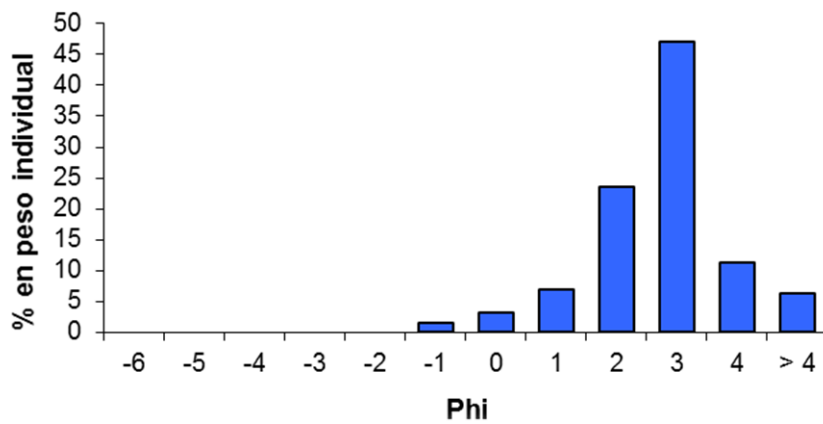
ALCHI – II 130 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phí	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,02	0,171821306	0,02	0,17182131
18	1	0	0,12	1,030927835	0,14	1,20274914
35	0,50	1	0,18	1,546391753	0,32	2,74914089
60	0,25	2	0,46	3,951890034	0,78	6,70103093
120	0,125	3	7,54	64,7766323	8,32	71,4776632
230	0,063	4	2,80	24,05498282	11,12	95,532646
> 230	> 0.063	> 4	0,52	4,467353952	11,64	100
		Total	11,64	100		



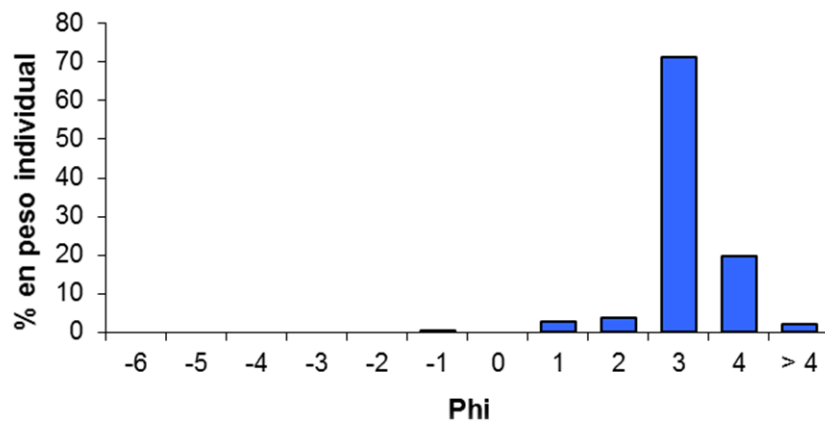
ALCHI – II 140 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,15	1,503006012	0,15	1,50300601
18	1	0	0,32	3,206412826	0,47	4,70941884
35	0,50	1	0,70	7,014028056	1,17	11,7234469
60	0,25	2	2,36	23,64729459	3,53	35,3707415
120	0,125	3	4,70	47,09418838	8,23	82,4649299
230	0,063	4	1,12	11,22244489	9,35	93,6873747
> 230	> 0.063	> 4	0,63	6,312625251	9,98	100
		Total	9,98	100		



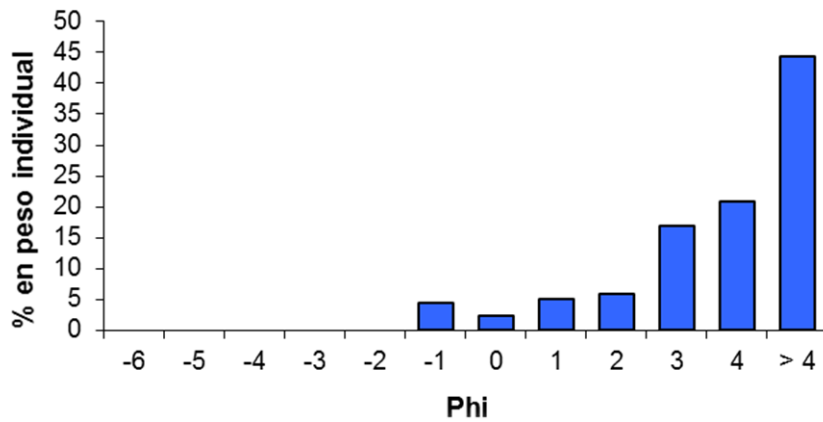
ALCHI – II 150 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ 1/2	63	-6		0	0	0
1/ 1/4	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,04	0,340136054	0,04	0,34013605
18	1	0	0	0	0,04	0,34013605
35	0,50	1	0,31	2,636054422	0,35	2,97619048
60	0,25	2	0,45	3,826530612	0,8	6,80272109
120	0,125	3	8,39	71,34353741	9,19	78,1462585
230	0,063	4	2,32	19,72789116	11,51	97,8741497
> 230	> 0.063	> 4	0,25	2,12585034	11,76	100
		Total	11,76	100		



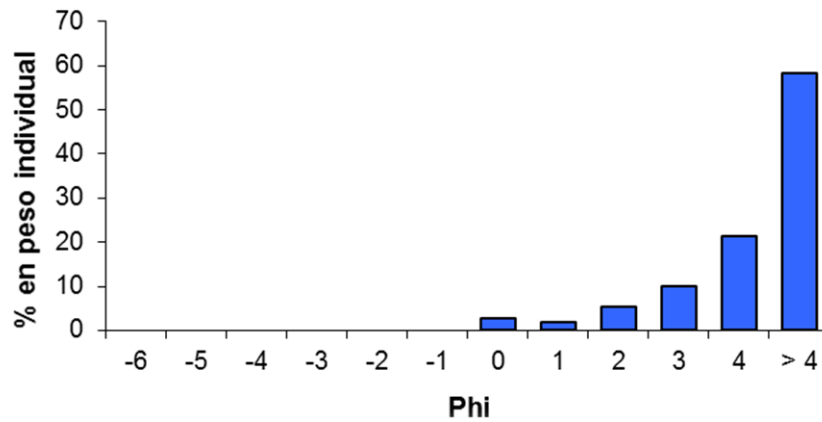
AFLO ATX – I 10 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,7	4,510309278	0,7	4,51030928
18	1	0	0,37	2,384020619	1,07	6,8943299
35	0,50	1	0,79	5,090206186	1,86	11,9845361
60	0,25	2	0,91	5,863402062	2,77	17,8479381
120	0,125	3	2,63	16,94587629	5,4	34,7938144
230	0,063	4	3,25	20,94072165	8,65	55,7345361
> 230	> 0.063	> 4	6,87	44,26546392	15,52	100
		Total	15,52	100		



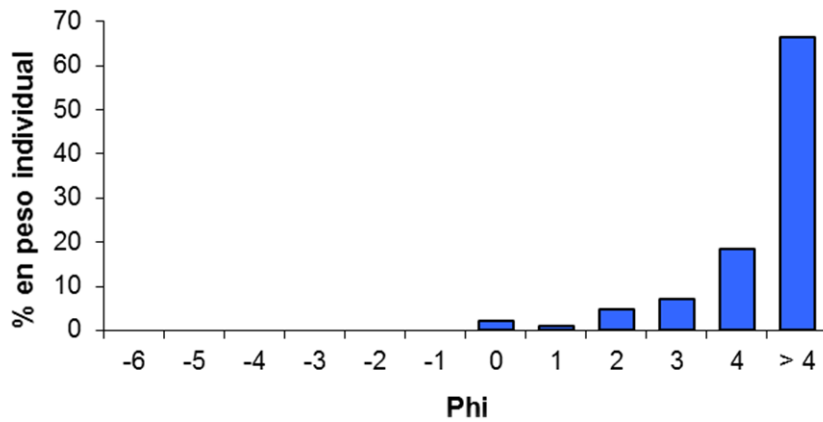
AFLO ATX – I 30 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,3	2,798507463	0,3	2,79850746
35	0,50	1	0,21	1,958955224	0,51	4,75746269
60	0,25	2	0,58	5,410447761	1,09	10,1679104
120	0,125	3	1,08	10,07462687	2,17	20,2425373
230	0,063	4	2,30	21,45522388	4,47	41,6977612
> 230	> 0.063	> 4	6,25	58,30223881	10,72	100
		Total	10,72	100		



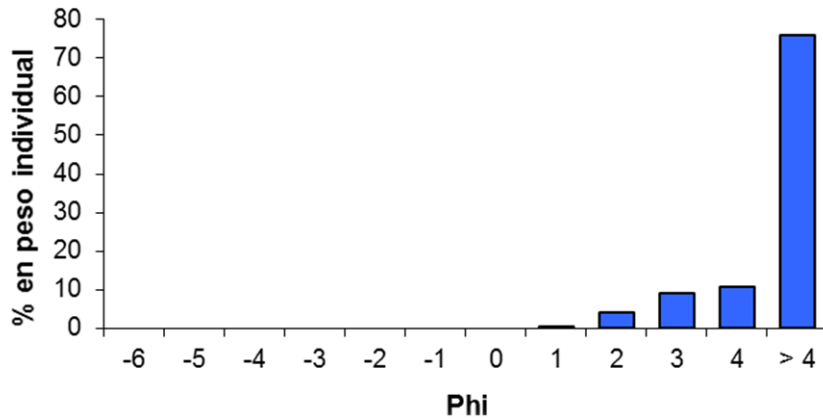
AFLO ATX – I 40 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,26	2,175732218	0,26	2,17573222
35	0,50	1	0,10	0,836820084	0,36	3,0125523
60	0,25	2	0,58	4,853556485	0,94	7,86610879
120	0,125	3	0,84	7,029288703	1,78	14,8953975
230	0,063	4	2,22	18,57740586	4	33,4728033
> 230	> 0.063	> 4	7,95	66,52719665	11,95	100
		Total	11,95	100		



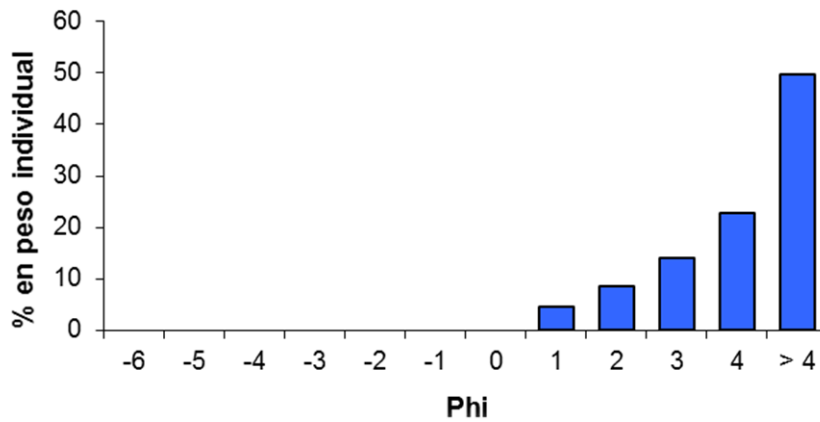
AFLO ATX – I 50 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,02	0,131578947	0,02	0,13157895
60	0,25	2	0,62	4,078947368	0,64	4,21052632
120	0,125	3	1,39	9,144736842	2,03	13,3552632
230	0,063	4	1,65	10,85526316	3,68	24,2105263
> 230	> 0.063	> 4	11,52	75,78947368	15,2	100
		Total	15,20	100		



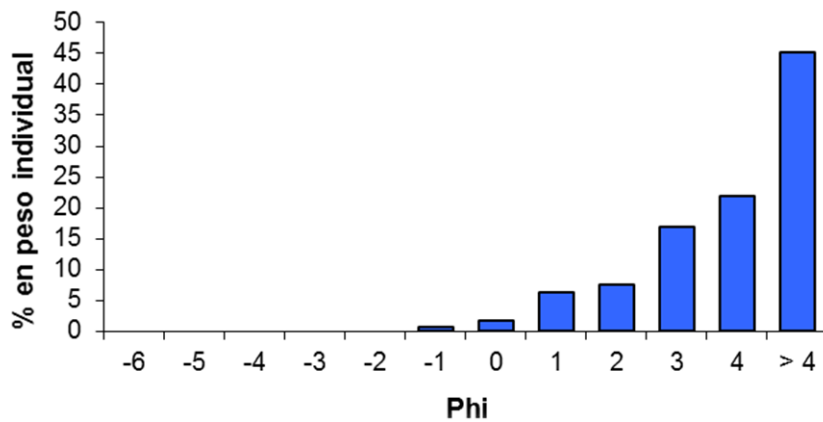
AFLO ATX – I 60 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,73	4,631979695	0,73	4,6319797
60	0,25	2	1,37	8,692893401	2,1	13,3248731
120	0,125	3	2,20	13,95939086	4,3	27,284264
230	0,063	4	3,61	22,90609137	7,91	50,1903553
> 230	> 0.063	> 4	7,85	49,80964467	15,76	100
		Total	15,76	100		



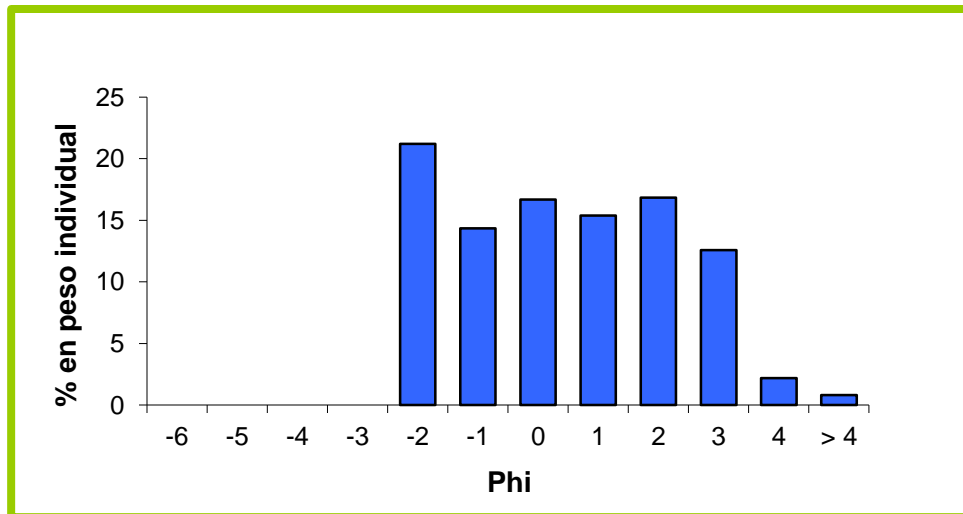
AFLO ATX – I 20 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,09	0,620689655	0,09	0,62068966
18	1	0	0,24	1,655172414	0,33	2,27586207
35	0,50	1	0,92	6,344827586	1,25	8,62068966
60	0,25	2	1,11	7,655172414	2,36	16,2758621
120	0,125	3	2,44	16,82758621	4,8	33,1034483
230	0,063	4	3,16	21,79310345	7,96	54,8965517
> 230	> 0.063	> 4	6,54	45,10344828	14,5	100
		Total	14,50	100		



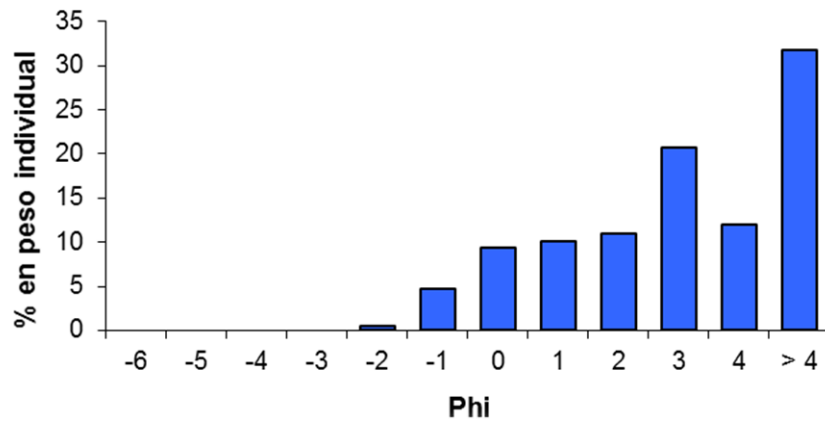
AFLO ATX – I 70 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,16	1,015228426	0,16	1,01522843
18	1	0	0,75	4,758883249	0,91	5,77411168
35	0,50	1	2,02	12,81725888	2,93	18,5913706
60	0,25	2	2,00	12,69035533	4,93	31,2817259
120	0,125	3	3,46	21,95431472	8,39	53,2360406
230	0,063	4	1,51	9,581218274	9,9	62,8172589
> 230	> 0.063	> 4	5,86	37,18274112	15,76	100
		Total	15,76	100		



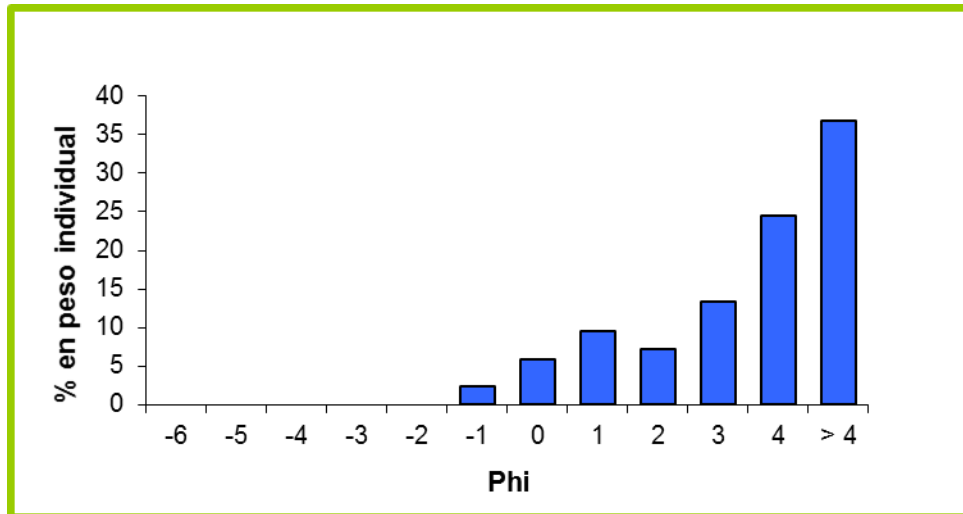
AFLO ATX – I 80 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0,06	0,431034483	0,06	0,43103448
10	2	-1	0,65	4,66954023	0,71	5,10057471
18	1	0	1,31	9,41091954	2,02	14,5114943
35	0,50	1	1,41	10,12931034	3,43	24,6408046
60	0,25	2	1,52	10,91954023	4,95	35,5603448
120	0,125	3	2,88	20,68965517	7,83	56,25
230	0,063	4	1,66	11,92528736	9,49	68,1752874
> 230	> 0.063	> 4	4,43	31,82471264	13,92	100
Total			13,92	100		



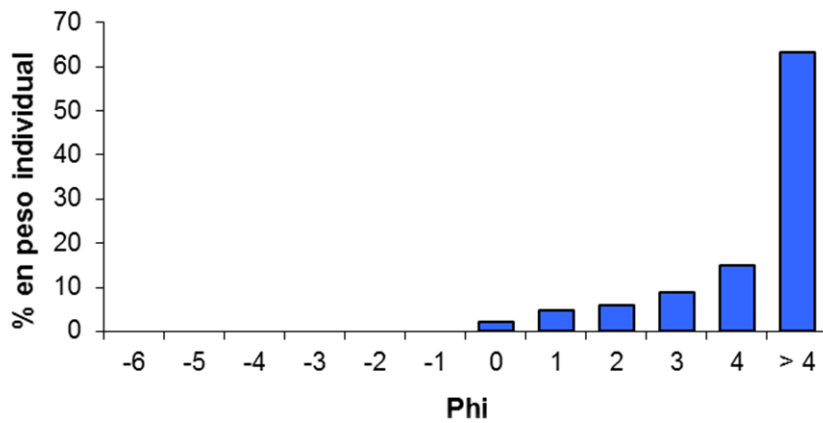
AFLO ATX – I 90 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0,38	2,380952381	0,38	2,38095238
18	1	0	0,95	5,952380952	1,33	8,333333333
35	0,50	1	1,53	9,586466165	2,86	17,9197995
60	0,25	2	1,16	7,268170426	4,02	25,1879699
120	0,125	3	2,14	13,4085213	6,16	38,5964912
230	0,063	4	3,92	24,56140351	10,08	63,1578947
> 230	> 0.063	> 4	5,88	36,84210526	15,96	100
		Total	15,96	100		



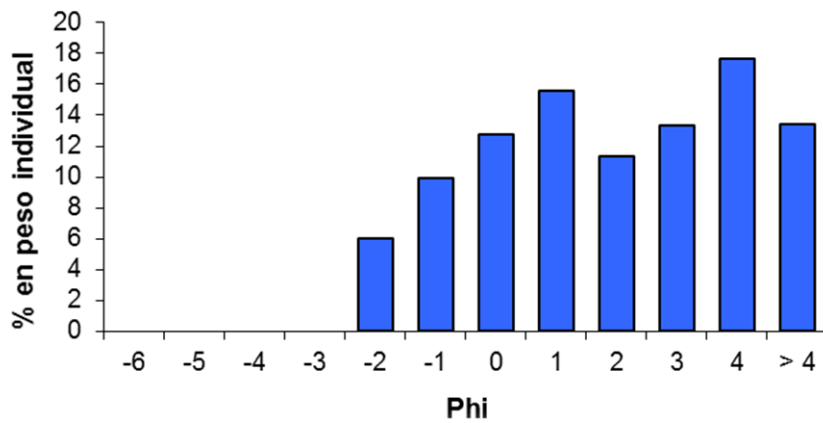
AFLO ATX – I 100 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,25	2,232142857	0,25	2,23214286
35	0,50	1	0,53	4,732142857	0,78	6,96428571
60	0,25	2	0,65	5,803571429	1,43	12,7678571
120	0,125	3	1,00	8,928571429	2,43	21,6964286
230	0,063	4	1,69	15,08928571	4,12	36,7857143
> 230	> 0.063	> 4	7,08	63,21428571	11,2	100
Total			11,20	100		



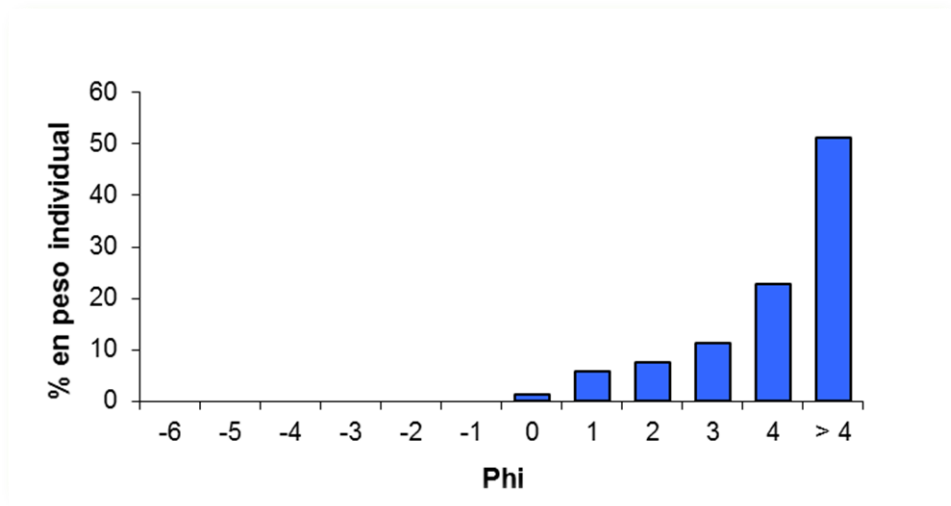
AFLO ATX – 110 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0,66	6,055045872	0,66	6,05504587
10	2	-1	1,08	9,908256881	1,74	15,9633028
18	1	0	1,39	12,75229358	3,13	28,7155963
35	0,50	1	1,70	15,59633028	4,83	44,3119266
60	0,25	2	1,24	11,37614679	6,07	55,6880734
120	0,125	3	1,45	13,30275229	7,52	68,9908257
230	0,063	4	1,92	17,6146789	9,44	86,6055046
> 230	> 0.063	> 4	1,46	13,39449541	10,9	100
Total			10,90	100		



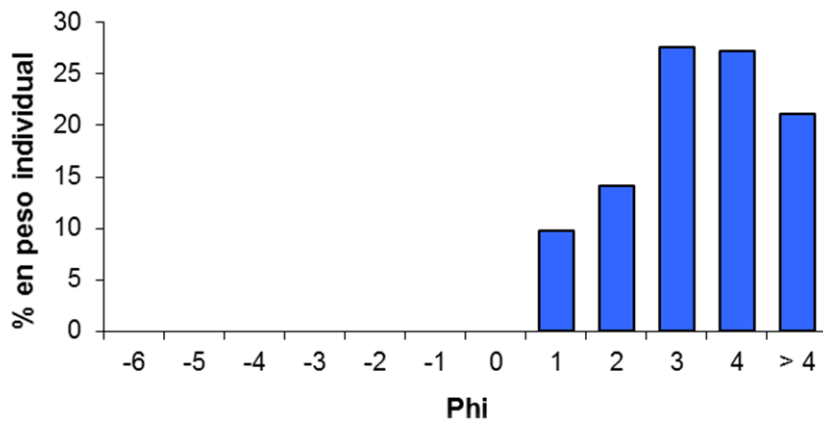
AFLO ATX – I 120 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,17	1,39002453	0,17	1,39002453
35	0,50	1	0,71	5,805396566	0,88	7,1954211
60	0,25	2	0,93	7,60425184	1,81	14,7996729
120	0,125	3	1,39	11,36549469	3,2	26,1651676
230	0,063	4	2,78	22,73098937	5,98	48,896157
> 230	> 0.063	> 4	6,25	51,10384301	12,23	100
Total			12,23	100		



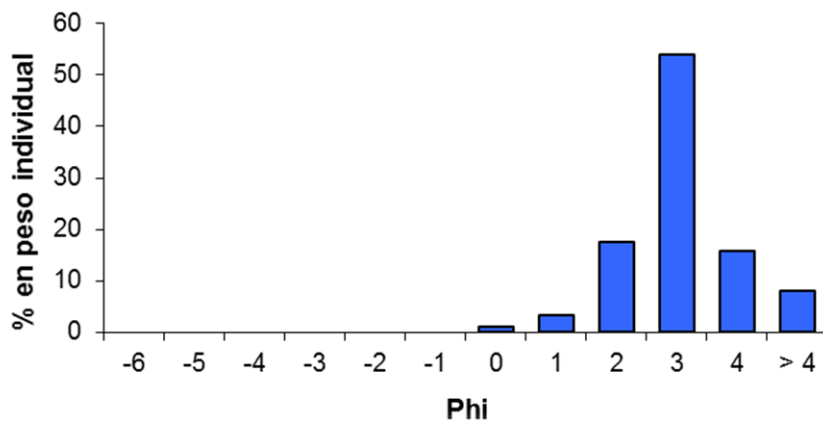
AFLO ATX – I 130 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	1,17	9,815436242	1,17	9,81543624
60	0,25	2	1,69	14,17785235	2,86	23,9932886
120	0,125	3	3,29	27,60067114	6,15	51,5939597
230	0,063	4	3,25	27,26510067	9,4	78,8590604
> 230	> 0.063	> 4	2,52	21,1409396	11,92	100
Total			11,92	100		



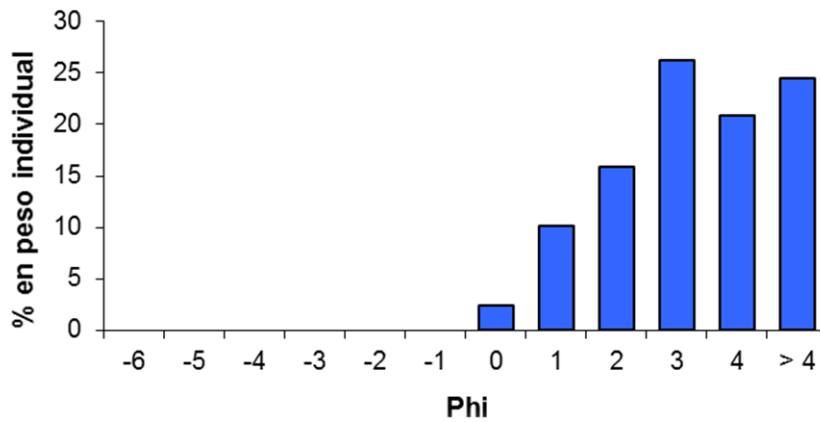
AFLO ATX – I 140 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,14	1,086113266	0,14	1,08611327
35	0,50	1	0,42	3,258339798	0,56	4,34445306
60	0,25	2	2,27	17,61055081	2,83	21,9550039
120	0,125	3	6,97	54,07292475	9,8	76,0279286
230	0,063	4	2,05	15,9038014	11,85	91,93173
> 230	> 0.063	> 4	1,04	8,068269977	12,89	100
		Total	12,89	100		



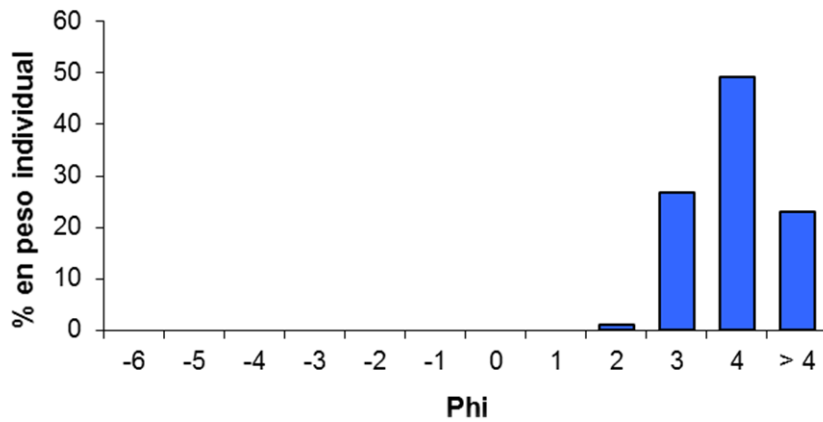
AFLO ATX – I 150 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0,43	2,464183381	0,43	2,46418338
35	0,50	1	1,76	10,08595989	2,19	12,5501433
60	0,25	2	2,77	15,8739255	4,96	28,4240688
120	0,125	3	4,57	26,18911175	9,53	54,6131805
230	0,063	4	3,64	20,85959885	13,17	75,4727794
> 230	> 0.063	> 4	4,28	24,52722063	17,45	100
		Total	17,45	100		



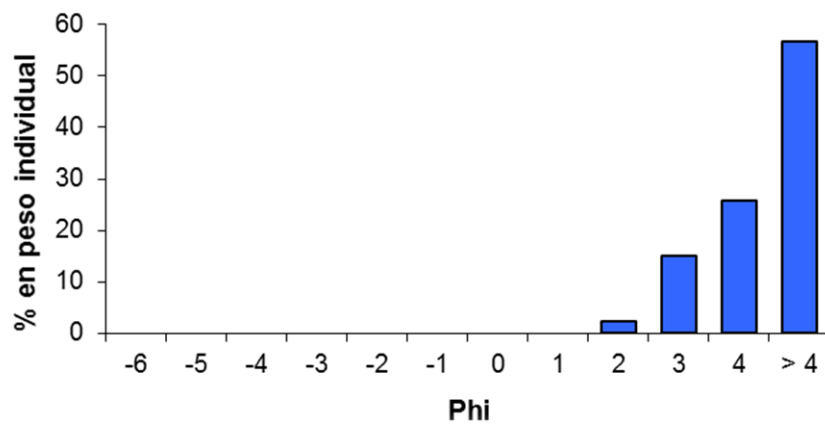
ATX – II 5 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,00	0	0	0
60	0,25	2	0,05	1,041666667	0,05	1,041666667
120	0,125	3	1,28	26,66666667	1,33	27,70833333
230	0,063	4	2,36	49,16666667	3,69	76,875
> 230	> 0.063	> 4	1,11	23,125	4,8	100
		Total	4,80	100		



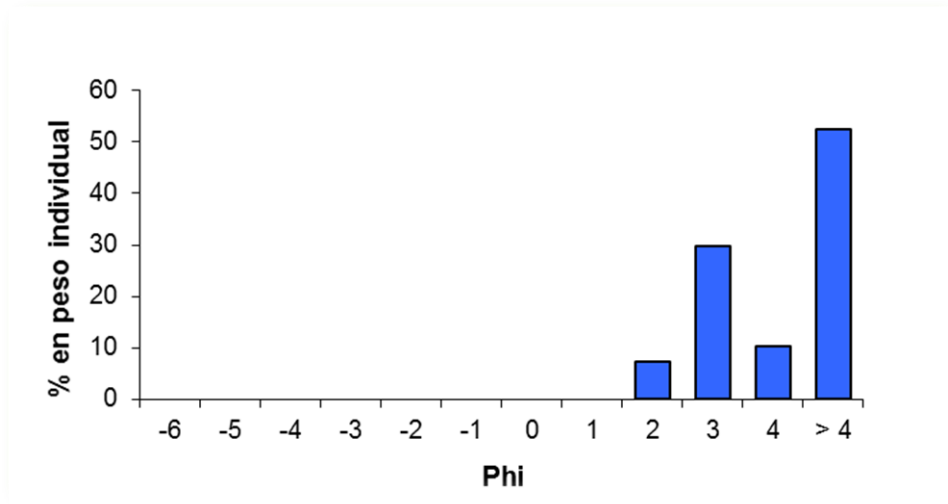
ATX – II 10 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,00	0	0	0
60	0,25	2	0,16	2,427921093	0,16	2,42792109
120	0,125	3	1,00	15,17450683	1,16	17,6024279
230	0,063	4	1,70	25,79666161	2,86	43,3990895
> 230	> 0.063	> 4	3,73	56,60091047	6,59	100
		Total	6,59	100		



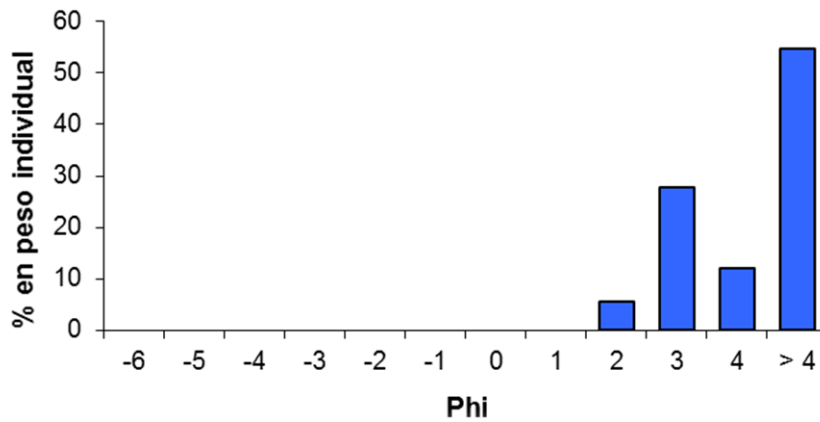
ATX – II 20 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,00	0	0	0
60	0,25	2	0,56	7,397622193	0,56	7,39762219
120	0,125	3	2,26	29,85468956	2,82	37,2523118
230	0,063	4	0,78	10,30383091	3,6	47,5561427
> 230	> 0.063	> 4	3,97	52,44385733	7,57	100
		Total	7,57	100		



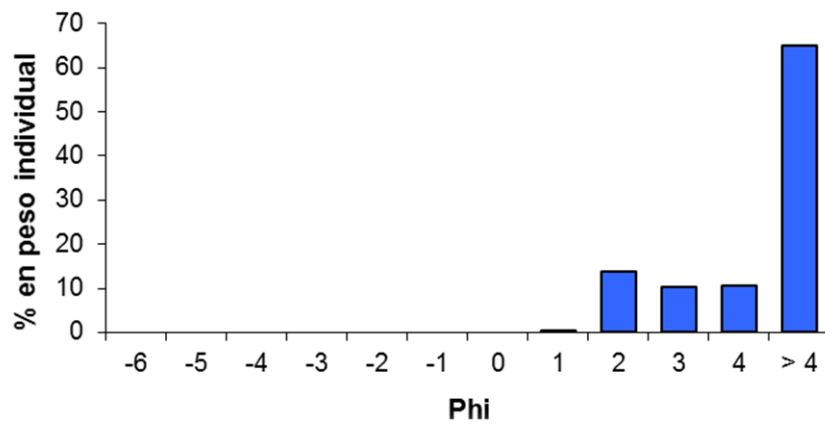
ATX – II 30 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,00	0	0	0
60	0,25	2	0,32	5,517241379	0,32	5,51724138
120	0,125	3	1,61	27,75862069	1,93	33,2758621
230	0,063	4	0,70	12,06896552	2,63	45,3448276
> 230	> 0.063	> 4	3,17	54,65517241	5,8	100
		Total	5,80	100		



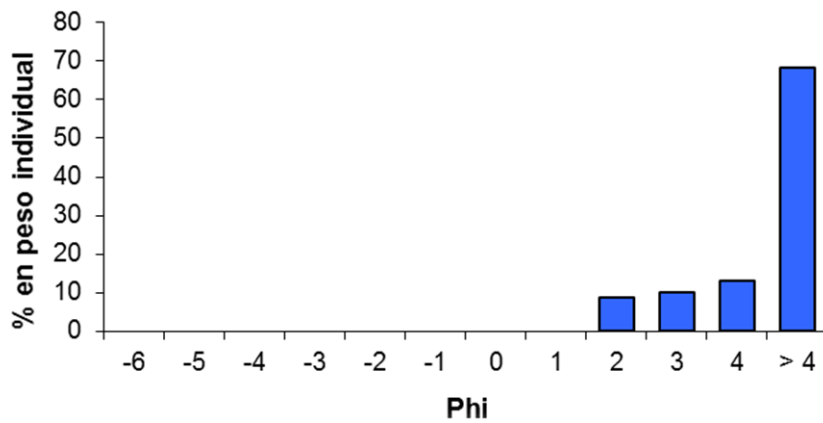
ATX – II 40 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,02	0,399201597	0,02	0,3992016
60	0,25	2	0,69	13,77245509	0,71	14,1716567
120	0,125	3	0,52	10,37924152	1,23	24,5508982
230	0,063	4	0,53	10,57884232	1,76	35,1297405
> 230	> 0.063	> 4	3,25	64,87025948	5,01	100
		Total	5,01	100		



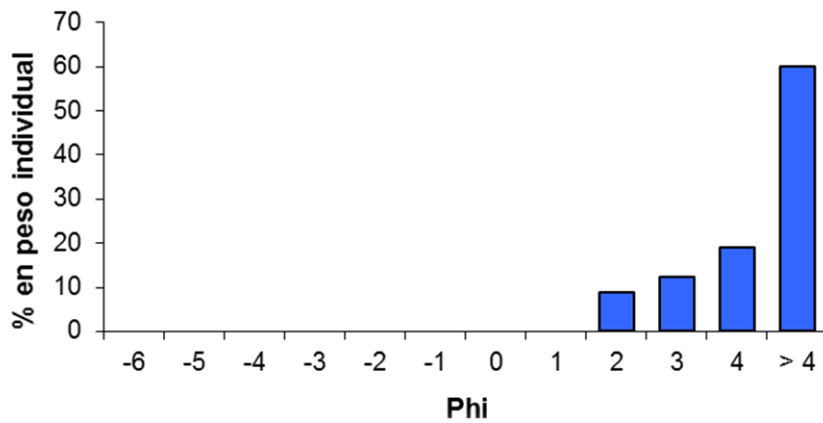
ATX – II 50 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,00	0	0	0
60	0,25	2	0,66	8,73015873	0,66	8,73015873
120	0,125	3	0,76	10,05291005	1,42	18,7830688
230	0,063	4	0,99	13,0952381	2,41	31,8783069
> 230	> 0.063	> 4	5,15	68,12169312	7,56	100
Total			7,56	100		



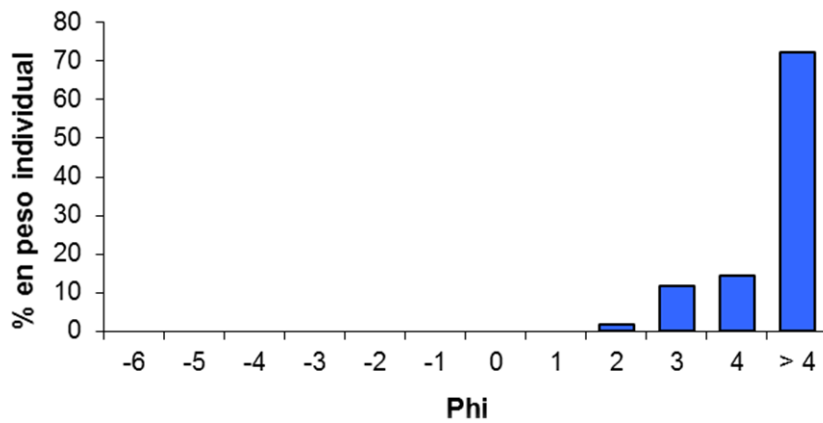
ATX – II 60 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,00	0	0	0
60	0,25	2	0,61	8,764367816	0,61	8,76436782
120	0,125	3	0,85	12,21264368	1,46	20,9770115
230	0,063	4	1,32	18,96551724	2,78	39,9425287
> 230	> 0.063	> 4	4,18	60,05747126	6,96	100
Total			6,96	100		



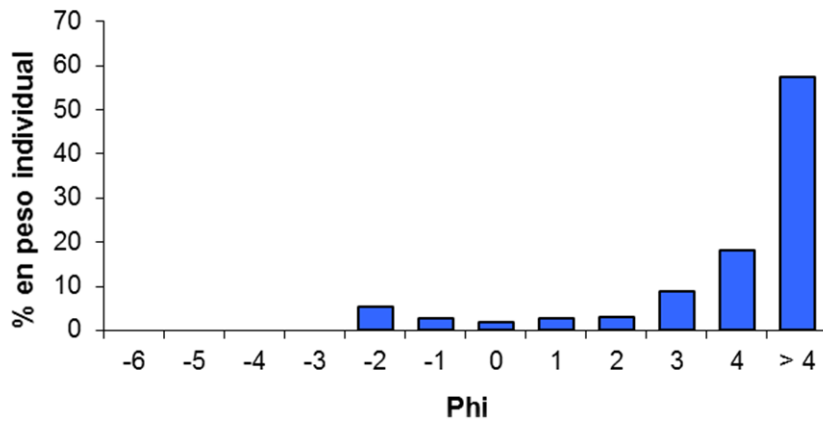
ATX – II 70 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0	0	0	0
10	2	-1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
35	0,50	1	0,00	0	0	0
60	0,25	2	0,08	1,687763713	0,08	1,68776371
120	0,125	3	0,55	11,60337553	0,63	13,2911392
230	0,063	4	0,69	14,55696203	1,32	27,8481013
> 230	> 0.063	> 4	3,42	72,15189873	4,74	100
Total			4,74	100		



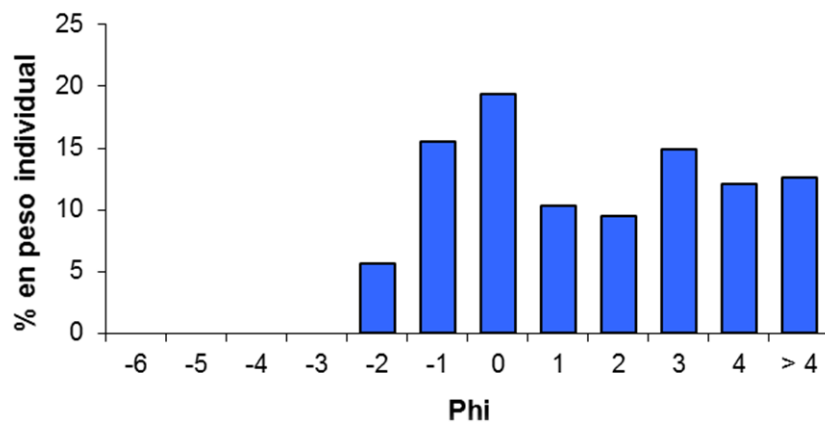
ATX – II 80 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	0,56	5,421103582	0,56	5,42110358
10	2	-1	0,29	2,807357212	0,85	8,22846079
18	1	0	0,19	1,839303001	1,04	10,0677638
35	0,50	1	0,28	2,710551791	1,32	12,7783156
60	0,25	2	0,31	3,000968054	1,63	15,7792836
120	0,125	3	0,91	8,80929332	2,54	24,588577
230	0,063	4	1,86	18,00580833	4,4	42,5943853
> 230	> 0.063	> 4	5,93	57,40561471	10,33	100
Total			10,33	100		



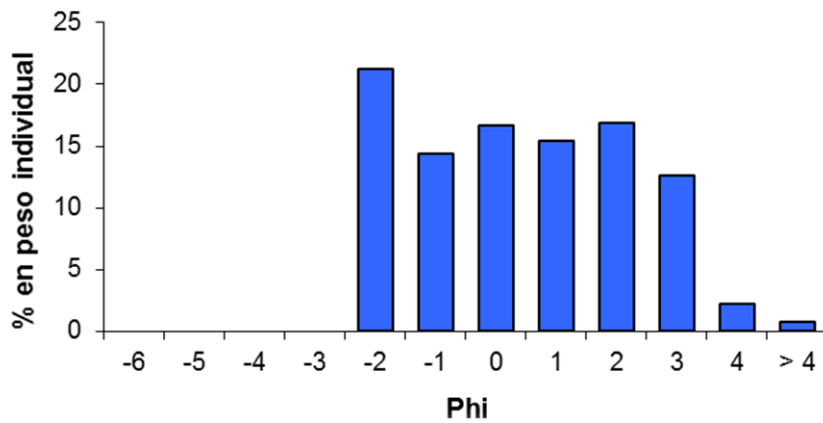
ATX – II 90 Cm

No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	1,15	5,623471883	1,15	5,62347188
10	2	-1	3,17	15,50122249	4,32	21,1246944
18	1	0	3,96	19,36430318	8,28	40,4889976
35	0,50	1	2,12	10,36674817	10,4	50,8557457
60	0,25	2	1,95	9,535452323	12,35	60,391198
120	0,125	3	3,04	14,86552567	15,39	75,2567237
230	0,063	4	2,48	12,12713936	17,87	87,3838631
> 230	> 0.063	> 4	2,58	12,61613692	20,45	100
Total			20,45	100		

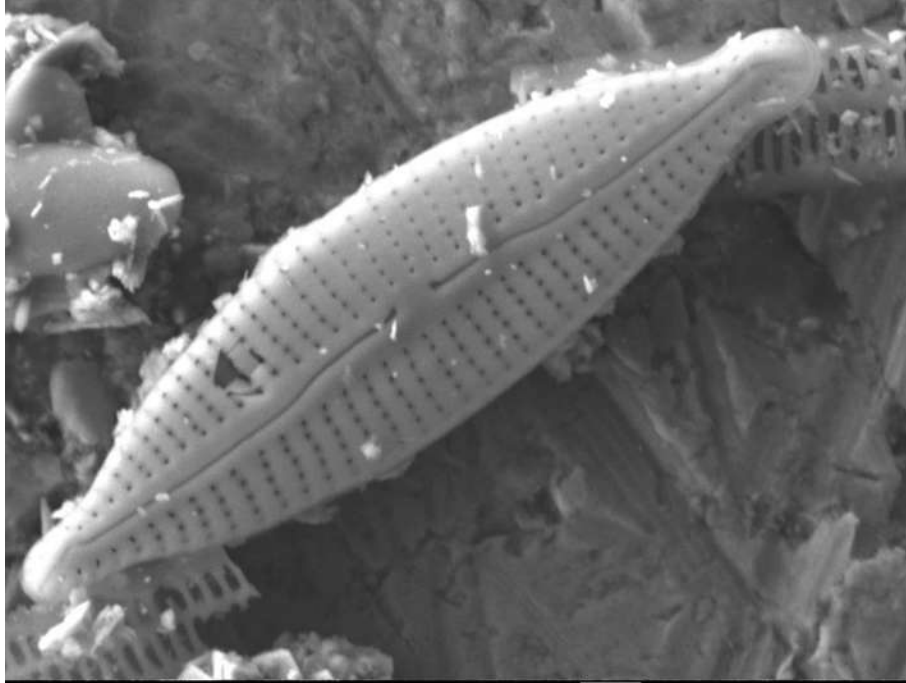


ATX – II 100 Cm

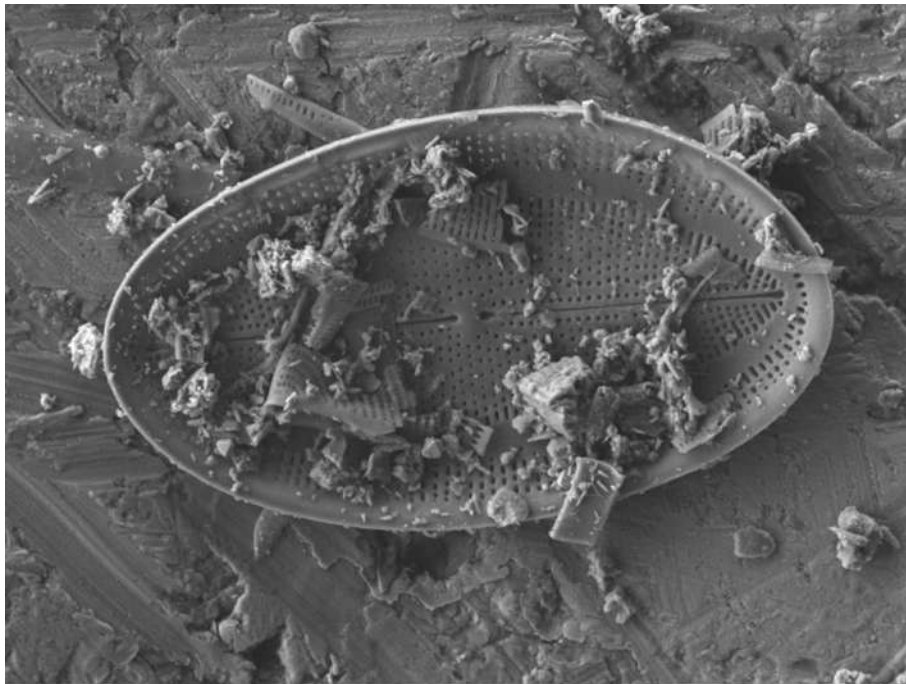
No. de tamiz	Malla en mm	Phi	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6		0	0	0
1/ ¼	31,5	-5		0	0	0
5/8	16	-4	0	0	0	0
5/16	8	-3	0	0	0	0
5	4	-2	8,43	21,20754717	8,43	21,2075472
10	2	-1	5,7	14,33962264	14,13	35,5471698
18	1	0	6,63	16,67924528	20,76	52,2264151
35	0,50	1	6,11	15,37106918	26,87	67,5974843
60	0,25	2	6,69	16,83018868	33,56	84,427673
120	0,125	3	5,00	12,57861635	38,56	97,0062893
230	0,063	4	0,87	2,188679245	39,43	99,1949686
> 230	> 0.063	> 4	0,32	0,805031447	39,75	100
Total			39,75	100		



DIATOMEAS EN SEM
AFLORAMIENTO ATX-I 90 CM



Navícula Trivialis



Cocconeis Placentula