



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Geoquímica y propiedades magnéticas de
los sedimentos lacustres de la subcuenca
de Xochimilco y sus implicaciones
paleoambientales.**

T E S I S

Que para obtener el grado de:
Licenciada en Ciencias de la Tierra

P R E S E N T A:

Shaila Paola Victoria Cervantes



Directora de tesis:
Dra. Beatriz Ortega Guerrero

Ciudad Universitaria, CD. MX.2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Victoria Cervantes
Shaila Paola
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Ciencias de la Tierra
309343794
shailavictoria@ciencias.unam.mx

2. Datos de la tutora

Dra.
Ortega
Guerrero
Beatriz

3. Datos del presidente 1

Dr.
Martínez
Serrano
Raymundo Gerardo

4. Datos de la vocal

Dra.
Caballero
Miranda
Cecilia Irene

5. Datos de la suplente

Dra.
Caballero
García
Ana María Lizeth

6. Datos de la suplente

Dra.
Muñoz
Villers
Lyssette

7. Datos del trabajo escrito.

Geoquímica y propiedades magnéticas de los sedimentos lacustres de la subcuenca de Xochimilco, y sus implicaciones paleoambientales.
74 p
2018

Dedicatoria

Hay muchas personas a quienes quisiera agradecer, aquellas personas que me han impulsado y apoyado en mí camino, desde la infancia hasta ahora, tanto en el ámbito académico como en el personal, las cuales me han hecho reflexionar y visualizar metas y afrontar cada una de mis decisiones.

GRACIAS a cada una de ellas.

Quisiera agradecer a mi familia, que sin su esfuerzo no habría logrado cada uno de mis propósitos, por su amor, por siempre estar ahí, por su comprensión, no tengo palabras para agradecer todo lo que hacen por mí día a día. Cada uno de mis logros se los dedico a ustedes: Mi mamá Guille, mi papá Rene, mi tía Norma, mi abuelita Paula y mi hermana Fernanda; GRACIAS por apoyarme siempre, por escucharme, por luchar conmigo, por alentarme a ser mejor y levantarme del fracaso y de cada uno de los obstáculos que se han presentado en mi vida. Sin ustedes no sería quien soy.

Los AMO.

A mi mejor amiga Gaby, gracias por apoyarme, escucharme, enseñarme, estar ahí cada momento, con las cosas de la escuela como en lo personal. GRACIAS por brindarme tu amistad y compartir momentos conmigo.

Te quiero

A mi amigo Héctor, gracias porque a pesar de las distancia siempre estás ahí, para darme un buen consejo, leerme y apoyarme en todo momento.

Te quiero.

A mi tutora, gracias por creer en mí, sin su apoyo y confianza, no habría podido realizar este trabajo y concluir mis estudios. Agradezco cada que me haya brindado una nueva oportunidad.

GRACIAS por tanto.



Agradecimientos

A los profesores Dra. Cecilia Caballero Miranda, Dra. A.M. Lizeth Caballero García, Dra. Lyssette E. Muñoz Villers y Dr. Raymundo Martínez Serrano, cuyos comentarios y sugerencias contribuyeron a mejorar sustancialmente esta tesis. A todos ellos expreso mi profundo agradecimiento.

El trabajo desarrollado en esta tesis fue posible gracias al financiamiento de los proyectos UNAM-DGAPA-PAPIIT IN107416 e IN105918. El proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT IV100215 otorgó una beca para la conclusión de mis estudios.

En el Laboratorio de Paleoceanografía y Paleoclimas (I. Geofísica), a cargo de la Dra. Ligia Pérez Cruz, se llevó a cabo la determinación en escáner de FRX. En el Laboratorio de Paleoambientes (I. Geología), a cargo de la Dra. Socorro Lozano García, se llevó a cabo la determinación de C y N y FRX, con ayuda del Biol. Martín Hernández Vásquez.

La medición de los ciclos de histéresis se realizó en el *Institute for Rock Magnetism, University of Minnesota*. El IRM es posible gracias al programa de instrumentación e instalaciones de la *National Science Foundation*, a la *Earth Science Division* y a los fondos de la *University of Minnesota*.

La Dra. Margarita Caballero participó en el trabajo de campo, y me guió con sus comentarios y sugerencias a lo largo del desarrollo de la tesis. El M.C. Antonio González, Ing. Erick Acevedo y Ángeles Ortiz colaboraron en el trabajo de campo. El muestreo en el laboratorio fue asistido por Ing. Ismerai Reyes, Lic. Marco A. Albán y Ing. Guadalupe Cruz. En la elaboración de figuras participó la Lic. A. Gabriela Zaragoza Campillo.

Contenido

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos.....	4
Lista de tablas y figuras	7
Figuras	7
Tablas	10
Acrónimos y abreviaturas	11
Resumen.....	12
I. Introducción	13
I.2 Objetivos.....	14
I.2.1 Objetivo General	14
I.2.2 Objetivos Particulares.....	14
I.3 Hipótesis	14
I.4 Justificación.....	15
II. Marco Teórico	16
II.1 Magnetismo ambiental	16
II.2 Tipos de magnetización en los sólidos.....	17
II.3 Parámetros magnéticos y mineralogía magnética.	19
II.4 Parámetros geoquímicos.	21
III. Antecedentes.....	22
IV. Localización y Marco Geológico	23
IV.1 Cuenca de México	23
IV.1.1 Generalidades.....	23
IV.1.2 Geología de la cuenca de México	24
IV.1.3 Estratigrafía de la cuenca de México	25
IV.2 Xochimilco	27
IV.2.1 Generalidades.....	27
IV.2.2 Geología de la subcuenca de Xochimilco	28
IV.2.3 Clima de la subcuenca Xochimilco	29
V. Metodología.....	32
IV.1 Trabajo en Campo	32

IV.2 Trabajo de gabinete	33
Muestreo	33
Identificación de los componentes sedimentarios	33
Medición de susceptibilidad magnética, ARM e IRM.....	33
Medición de ciclos de histéresis	34
Análisis Geoquímicos.....	34
V. Resultados	36
Núcleo XOC15-I	36
XOC15-II	40
XOC15-III.....	42
VI. Discusión	45
Correlación estratigráfica y secuencia maestra.....	45
Significado paleoambiental de las características sedimentológicas y los parámetros magnéticos y geoquímicos.....	47
Unidad 2.....	49
Unidad 1	49
Comparación con otros registros.....	51
VII. Conclusiones	57
VIII. Bibliografía	59
Anexo1	66

Lista de tablas y figuras

Figuras

FIGURA	PÁG.
1. Tipos de magnetismo en materiales sujetos a un campo magnético externo (Bo)	16
2. Orientación de minerales ferromagnético	17
3. Procesos inferidos a partir de las variaciones en la concentración de minerales magnéticos. (Atm: Atmósfera)	19
4. Mapa de ubicación cuenca de México. STz: sierra de Tezontlalpan; SP: sierra de Pachuca; ST: sierra de Tepozán; SCa: sierra de Calpulalpan; SN: sierra Nevada; SCh: sierra Chichinautzin; SC: sierra de las Cruces; SMB: sierra de Monte Bajo.	23
5. Diagrama cronológico de la formación de la cuenca de México.....	24
6. Sección N-S muestra la correlación de los pozos Mixhuca, San Lorenzo Tezonco y Tulyehualco. Tomado de Arce et al., 2013.	25
7. Subcuenca de Xochimilco, y algunos de los principales aparatos volcánicos que la limitan. CE: cerro de la Estrella; SSC: sierra de Santa Catarina; VT: volcán Teuhtli; SCh: sierra Chichinautzin; VA: volcán Ajusco; SC: sierra de las Cruces.....	27
8. Localización del lago de Xochimilco, sitio RAMSAR. Los puntos rojos señalan los sitios de muestreo.	28
9. Mapa de Clima en Xochimilco según Koppen. Tomado de PAOT (2011)	29
10. Climograma de Xochimilco. Se observa un aumento tanto de temperatura (línea negra) como de precipitación (barras rosas) durante los meses de mayo, junio y septiembre, teniendo una media de 19° C y 30 mm/año. (PAOT ,2016)	30
11. Mapa conceptual de la metodología seguida para este proyecto.	31
12. Columna estratigrafía del núcleo XOC15-I	36

13. Resultados magnéticos obtenidos para XOC15-I.....	38
14. Elementos y relaciones geoquímicas del núcleo XOC15-I.....	38
15. Descripción de la estratigrafía para la secuencia XOC15-II.....	40
16. Columna estratigráfica del núcleo XOC15-III.....	42
17. Resultados de propiedades magnéticas obtenidas para XOC15-III.....	42
18. Elementos mayores selectos y relaciones geoquímicas del núcleo XOC15-III..	43
19. A la izquierda: correlación estratigráfica de los núcleos XOC15-I, XOC15-II Y XOC15-III de la cuenca de Xochimilco. A la derecha: secuencia maestra XOC15.	45
20. Secuencia maestra y algunos parámetros selectos de magnetismo de rocas y elementos mayores y sus relaciones.....	47
21. Diagrama de Day (Day et al., 1977). Representa la distribución de tamaño de dominio de los minerales magnéticos en las unidades litoestratigráficas de la secuencia XOC15. Los tamaños de los minerales magnéticos varían de PSD (dominio pseudosencillo) a MD (multidominio). Las unidades 1 y 2 (U1 y U2) tienen una mayor dispersión de tamaños, entre PSD y MD. Las unidades 3 y 4 (U3 y U4), presentan una distribución más restringida, mayormente PSD con tendencia a tamaños finos de dominio sencillo (SD).....	49
22. Correlación entre las secuencias XOC15 (izquierda) y XOC16-II (derecha), a partir de las variaciones en la relación Ca/Ti y la susceptibilidad magnética (S.M.). En la relación Ca/Ti en XOC15, la línea azul representa mediciones de FRX realizadas con scanner y la línea rosa representa mediciones realizadas con la pistola Nitton. Los números a la izquierda de las columnas estratigráficas son las edades estimadas en miles de años (ka), calibrados antes del presente. Los colores representan: Azul: Las condiciones húmedas; Amarillo: Condiciones cálidas; Dorado: condiciones más secas.. ..	51
23. Perfil de elevación obtenido en Google Earth, en donde se muestra la ubicación de los diferentes sitios de muestreo pertenecientes a la cuenca de Xochimilco. Se observan los cambios de altitud respecto a nivel del mar y el lugar de deposición de los sedimentos lacustres para cada secuencia lacustre.	53
24. Comparación con otros registros del centro de México. Chignahuapan, en la cuenca del Lerma (Caballero et al., 2002); Chalco (Caballero y Ortega-Guerrero,	

1998) y Xochimilco XOC16-II (Reyes Corona, 2017; Albarrán Santos, 2018), en la cuenca de México en base a la relación geoquímica de Ca/Ti. Los colores distinguen las variaciones de dichos registros, (el color azul hace referencia a las condiciones climáticas húmedas, el color amarillo hace referencia a las condiciones climáticas cálidas, el color dorado hace referencia a las condiciones más secas). Cal: edades calibradas antes del presente; 14C: edades de radiocarbono (no calibradas); Alto-Bajo: niveles lacustres.....55

Tablas

TABLA	PÁG.
1. Parámetros magnéticos aplicados en este proyecto	17
2. Elementos y relaciones determinados por FRX, y su interpretación ambiental.	19
3. Tabla 3. Valor máximo registrado (color gris) y valor mínimo (color blanco) en los análisis magnéticos y geoquímicos obtenidos en las mediciones de cada unidad del núcleo XOC15-I.....	38
4. Valor máximo registrado (color gris) y valor mínimo (color blanco) en los análisis magnéticos y geoquímicos obtenidos en las mediciones de cada unidad del núcleo XOC15-II.	39
5. Valor máximo registrado (color gris) y valor mínimo (color blanco) en los análisis magnéticos y geoquímicos obtenidos en las mediciones de cada unidad del núcleo XOC15-III.....	42

Acrónimos y abreviaturas

- Ca..... Calcio
- CM..... Cuenca de México
- Fe..... Hierro
- FRX..... Fluorescencia de rayos X
- Si..... Silicio
- SM..... Susceptibilidad magnética
- Sr..... Estroncio
- SX..... Subcuenca de Xochimilco
- Ti..... Titanio

Resumen

Los sedimentos lacustres son una fuente de información importante de las transiciones ambientales ocurridas dentro de una región, y a través de ellos es posible identificar los cambios ecológicos, ambientales y climáticos ocurridos a través del tiempo. Estos cambios climáticos y ambientales pueden ser reconocidos a diferentes escalas de tiempo, utilizando indicadores mineralógicos, geoquímicos y biogénicos.

La cuenca de México ubicada en la Faja Volcánica Transmexicana, cuenta con un registro detallado sobre las características paleoambientales y paleoclimáticas, muestra de ello son las amplias investigaciones realizadas en las cuencas lacustres de Chalco, Texcoco, Xochimilco y Lerma.

En esta tesis se presenta una interpretación paleoambiental de una secuencia sedimentaria lacustre (XOC15) de 4.5 m de profundidad, colectada en la subcuenca de Xochimilco, para lo cual se realizó una combinación de análisis de magnetismo de rocas e indicadores geoquímicos. Los indicadores magnéticos utilizados fueron: susceptibilidad magnética (SM), magnetización remanente anhisterética (ARM), magnetización remanente isotermal (IRM), y ciclos de histéresis. Los indicadores geoquímicos utilizados fueron: algunos elementos mayores y sus relaciones: Ti, Ca, Fe, Si, Ca/Ti, Si/Ti. Estos indicadores proporcionaron información sobre procesos ambientales, que, aunados a las características litoestratigráficas de la secuencia, permitieron inferir las condiciones paleoambientales y paleoclimáticas en la zona de estudio.

Los componentes sedimentarios dominantes a lo largo de la secuencia están representados por la fracción clástica, de origen volcánico principalmente, mientras que la fracción biogénica se compone principalmente por diatomeas, seguida de ostrácodos, y en menor abundancia crisofitas, fitolitos, espículas de esponja, restos herbáceos, carbón y gasterópodos. De acuerdo a los análisis de los componentes sedimentarios, se establecieron 4 unidades litoestratigráficas.

La secuencia sedimentaria analizada XOC15, abarca el intervalo de tiempo aproximado entre ~11,000 a 2,000 años cal AP, que corresponde al Holoceno. En este trabajo se documentan las condiciones más secas entre 11,000 y 8,350 años cal AP y posteriormente un cambio hacia condiciones relativamente más húmedas hasta ca. 6,000 años cal AP. Para el Holoceno tardío se reconoce un fuerte impacto en la actividad volcánica, así como la expansión del cuerpo lacustre.

Este estudio es una contribución importante en la reconstrucción de las condiciones paleoambientales del Holoceno en la subcuenca de Xochimilco.

I. Introducción

En las cuencas lacustres la deposición continua de los sedimentos a lo largo de diferentes escalas temporales, que van de decenas a miles de años, conserva en los sedimentos el registro de los diferentes cambios ocurridos en el ambiente. A través del análisis de estos sedimentos podemos identificar diferentes procesos como son: erosión, intemperismo, volcanismo, diagénesis, variaciones climáticas y ambientales, etc.

Una manera de reconocer estos procesos y variaciones consiste en el análisis de los indicadores de cambio o *proxies*. En los archivos lacustres estos indicadores pueden ser englobados en dos categorías: orgánicos e inorgánicos. Los indicadores orgánicos incluyen, entre otros, diatomeas, ostrácodos, polen, restos de materia vegetal, fitolitos, etc. Los indicadores inorgánicos incluyen variaciones en la concentración de elementos químicos y la fracción mineral tanto detrítica como autigénica. A partir del contenido de estas fracciones en los sedimentos, podemos indagar los procesos de formación y acumulación de los sedimentos y reconstruir los eventos climáticos y ambientales en una región determinada.

En particular, en la fracción mineral una herramienta útil para determinar las variaciones en las condiciones climáticas y ambientales es el análisis de las propiedades magnéticas de los sedimentos. Estas nos permiten determinar la mineralogía, la concentración y los tamaños de los minerales magnéticos presentes en los sedimentos. Estas características (tipo, concentración y tamaño) dependen de los procesos ambientales, por lo que su integración con *proxies* orgánicos y geoquímicos permite reconstruir con mayor nitidez la historia de los cambios en un lago y su entorno. A esta disciplina que combina las propiedades magnéticas con indicadores independientes como los restos de organismos y los indicadores geoquímicos para reconstruir las condiciones paleoambientales de una región se le llama Magnetismo Ambiental (Evans y Heller, 2003).

En la cuenca de México se desarrolló un sistema de lagos durante el Pleistoceno, que en épocas de mayor tirante de agua llegaron a formar un solo cuerpo, y épocas de estiaje se separaron formando los lagos Zumpango y Xaltocan al norte, Texcoco al centro, y Chalco y Xochimilco al sur (Lozano García et al., 2015). Un cuerpo lacustre aislado de este sistema, pero dentro de la cuenca de México, es Tecocomulco (Caballero et al., 1999). Los lagos de Tecocomulco, Texcoco y Chalco han sido objeto de estudios paleoambientales. En particular el lago de Chalco, en donde existe un número amplio de publicaciones relacionadas a este tema; sin embargo, las características del registro sedimentario del lago de Xochimilco han sido menos estudiadas.

El presente trabajo realizado en una secuencia sedimentaria lacustre de la subcuenca de Xochimilco es un aporte al conocimiento de la historia ambiental de la cuenca de Xochimilco.

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo General

- Conocer las características ambientales en las cuales se depositó una sucesión sedimentaria del Holoceno en el lago de Xochimilco a través de las características sedimentológicas, geoquímicas, y magnéticas determinadas en un núcleo de pozo.

I.2.2 Objetivos Particulares

- Identificar la secuencia sedimentaria cercana al depocentro de la subcuenca Xochimilco.
- Identificar las propiedades magnéticas, geoquímicas de la secuencia colectada.
- Identificar si existe una correlación entre los núcleos colectados en los diferentes puntos de muestreo.
- Identificar depósitos volcánicos que sean útiles como marcadores estratigráficos en las secuencias colectadas.

I.3 Hipótesis

El estudio de los sedimentos lacustres de la cuenca de Chalco ha permitido conocer las fluctuaciones climáticas y ambientales para esta zona. El amplio estudio enfocado en Chalco, permite suponer que la secuencia lacustre encontrada en el núcleo XOC15 conserva evidencias de las fluctuaciones ambientales y climáticas para el Pleistoceno - Holoceno, identificadas ya en la subcuenca de Chalco. De tal forma, que este estudio permitirá observar las similitudes o diferencias entre los registros de ambas subcuencas, para así aportar nueva información sobre los paleoambientes en Xochimilco.

La dinámica de sedimentación y las variaciones paleoclimáticas en el antiguo lago de Xochimilco, pueden ser reconocidas a través del análisis de los indicadores geoquímicos y de magnetismo de rocas.

I.4 Justificación

El análisis del registro lacustre de Xochimilco, contribuirá a responder a las interrogantes: ¿Cómo ha sido la evolución geológica del sur de la cuenca de México en los últimos milenios?, ¿Cómo ha sido la historia paleoambiental y climática en el lago de Xochimilco durante el Holoceno?, ¿Existe alguna relación entre la historia de sedimentación entre el lago de Chalco y Xochimilco?, ¿Las discrepancias en las reconstrucciones paleoclimáticas del centro de México, obedecen a factores particulares de Chalco, o por el contrario las interpretaciones son reforzadas en Xochimilco y resultado de diferentes forzamientos del clima?

La elección de este tema se basa en el potencial de los sedimentos de esta sección del lago de Xochimilco como archivos de la historia del lago, que sea una referencia para posteriores estudios sobre paleoclimas y paleoambientes de esta región.

El estudio de este registro es relevante ya que, para el lago de Xochimilco, en comparación con Chalco, es muy escasa la información disponible sobre sus características estratigráficas y su registro paleoambiental.

El lago de Xochimilco tiene una historia similar al lago de Chalco, por ser contemporáneo. Esperamos observar una similitud entre la dinámica de la sedimentación y las variaciones paleoclimáticas del Holoceno, entre ambos lagos.

II. Marco Teórico

II.1 Magnetismo ambiental

El magnetismo ambiental busca conocer e identificar las variaciones climáticas y ambientales a través del tiempo, al utilizar las propiedades magnéticas de los sedimentos. Los parámetros en los que se sustenta son: concentración de granos, tamaño de grano y mineralogía (Tauxe, 2010). El magnetismo ambiental investiga las propiedades magnéticas de los materiales que se han formado bajo la influencia de procesos ambientales (Maher et. Al., 1995).

La interpretación ambiental de los sedimentos lacustres generada por el magnetismo ambiental, se basa en conocer: los mecanismos de origen, transporte, deposición y transformación de los minerales magnéticos, los cuales pueden ser alterados por la interacción de las diferentes esferas (atmósfera, hidrosfera y litosfera), estos procesos ambientales son: el intemperismo, el clima, la reformación de minerales, vulcanismo, etc.(Thompson y Oldfield, 1986; Verosub y Roberts, 1995; Dekkers, 1997; Maher y Thompson, 1999; Evans y Heller, 2004, Liu et al. 2012).

II.2 Tipos de magnetización en los sólidos

Dentro de los sedimentos podemos encontrar diferentes minerales los cuales se pueden clasificar de acuerdo con su comportamiento magnético en: (Figura 1.):

- a) Diamagnéticos
- b) Paramagnéticos
- c) Ferromagnéticos

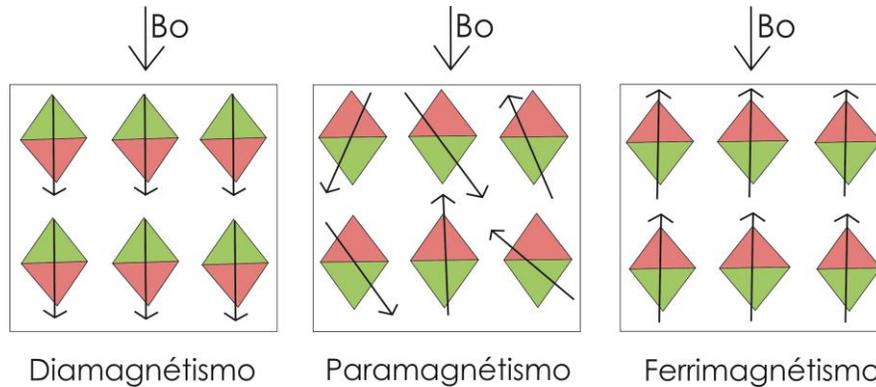


Figura 1. Tipos de magnetismo en materiales sujetos a un campo magnético externo (B_0).

a) Diamagnetismo

Los minerales diamagnéticos están caracterizados por susceptibilidades magnéticas negativas, en otras palabras, la muestra presenta una magnetización solo en presencia de un campo temporal, en una dirección opuesto al campo ejercido (Morris, 2003).

El diamagnetismo se puede definir como el paso de un electrón alrededor del núcleo del átomo, lo que genera una corriente de poca intensidad. En este comportamiento el momento magnético (o espín) es un vector, que, en presencia de un campo magnético externo, hace que el vector tome una dirección opuesta al campo externo aplicado (Tauxe, 2010).

Ejemplo de estos son: cuarzo, feldespato, grafito, calcita, dolomita.

b) Paramagnetismo

Los minerales paramagnéticos se caracterizan por tener una pequeña magnetización inducida en presencia de un campo magnético y presentar susceptibilidades magnéticas positivas pequeñas.

Los minerales paramagnéticos presentan una interacción magnética entre sus átomos (distribuidos al azar), al aplicar un campo externo tienden alinearse paralelamente a la dirección del campo (Morris, 2003).

Estos minerales paramagnéticos contienen hierro (Fe) y magnesio (Mg), y no retienen una remanencia a temperatura ambiente pero sí responden a un campo magnético. Ejemplo de estos son: silicatos: biotita, piroxeno, anfíbol, olivo; sulfuros: pirita; óxidos: ilmenita; arcillas: siderita.

c) Ferromagnetismo

Los materiales ferromagnéticos se caracterizan por tener susceptibilidades positivas y relativamente altas, y conservan una magnetización remanente aun después de aplicar un campo magnético externo y haber sido retirado. En una muestra estos minerales se encuentran magnetizados en diferentes direcciones. Al aplicar un campo magnético los dominios se alinean en dirección paralela al campo lo que genera una susceptibilidad magnética alta (Morris, 2003).

Los minerales ferromagnéticos pueden subdividirse en antiferromagnéticos, los cuales se caracterizan por tener la misma orientación que el campo magnético aplicado pero son antiparalelos al campo externo (Figura 2). Cuando son antiferromagnéticos perfectos, los momentos magnéticos se encuentran en sentidos opuestos entre sí, por lo que se anulan. Si existe una imperfección en estas orientaciones, se da como resultado una susceptibilidad magnética baja a temperatura ambiente (Tauxe, 2010). Ejemplo de estos minerales son hematita (Fe_2O_3) (óxido) y goethita ($\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$) (oxihidróxido).

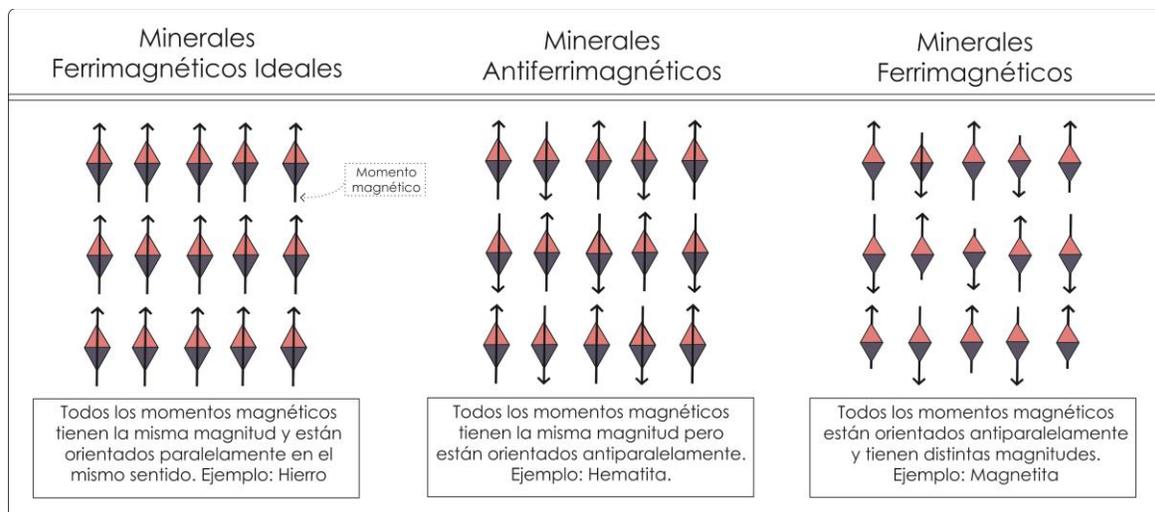


Figura 2. Orientación de minerales ferromagnéticos

Los minerales ferrimagnéticos adquieren también orientaciones antiparalelas en presencia de un campo magnético, pero de diferente magnitud, lo que resulta en una magnetización mucho mayor que la de los otros tipos de comportamiento magnético. Dentro de los minerales ferrimagnéticos podemos encontrar a la magnetita (Fe_3O_4), titanomagnetita ($\text{Fe}(\text{Fe}, \text{Ti})_2\text{O}_4$), y los óxidos de la fórmula general XFe_2O_3 , donde X puede ser ocupado por Mn, Co, Ni, Mg, Zn y Cd.

II.3 Parámetros magnéticos y mineralogía magnética.

Los parámetros magnéticos nos ayudan a conocer el tipo de minerales, su tamaño y concentración. En este trabajo se usaron los parámetros descritos por Verosub et al. (1995) (Tabla 1).

Tabla1. Parámetros magnéticos aplicados en este proyecto.

Parámetro	Descripción	Unidades	Interpretación
κ (S.M.)	Susceptibilidad magnética volumétrica	Adimensional unidades SI	Concentración de minerales magnéticos
ARM	Magnetización remanente anhisterética	A m ² kg ⁻¹	Concentración de minerales magnéticos ferromagnéticos y presencia de ferrimagnéticos finos SD
SIRM	Magnetización remanente isothermal de saturación	A m ² kg ⁻¹	Concentración de minerales ferrimagnéticos
ARM/IRM₁₀₀	Cociente de magnetizaciones de remanencia	Adimensional	Indicador de tamaño de granos magnéticos finos SD
Hcr	Coercitividad de remanencia	mT	Identificación de minerales magnéticos "duros" (hematita, goethita)
Hc	Fuerza coercitiva	mT	Identificación de minerales magnéticos "duros" (hematita, goethita).
Ms	Magnetización de saturación	A m ² kg ⁻¹	Concentración de minerales para y ferrimagnéticos.
Mr	Magnetización remanente de saturación	A m ² kg ⁻¹	Concentración de minerales para y ferrimagnéticos.
S₃₀₀	Cociente S $S_{300} = IRM_{300}/SIRM$	Adimensional	Sensible a la presencia de minerales magnéticos "duros" (hematita, goethita).
HIRM	Magnetización remanente isothermal dura HIRM = SIRM-IRM ₃₀₀	Adimensional	Sensible a la presencia de minerales magnéticos "duros" (hematita, goethita).

La concentración de minerales magnéticos en una muestra depende del aporte de sedimentos a una la cuenca. Estas variaciones en la concentración, principalmente se deben a: la variación del aporte, lo cual a su vez depende principalmente de: cambio de uso de suelo, deforestación, exposición de material no consolidado e intensidad de erosión fluvial (Thompson et al. 1975).

La observación del cambio en la concentración de minerales magnéticos ayuda a determinar fluctuaciones climáticas y ambientales, entre ellas: variaciones en la

intensidad de la precipitación, cambios en la cubierta vegetal de la cuenca, actividad volcánica, procesos de remoción de masas, asentamientos humanos, etc. (Dearing et al., 1996; Snowball, 1993; Dearing y Flower, 1982; Lozano-García et al., 1993; Caballero y Ortega-Guerrero, 1998). (Figura 3)



Figura 3. Procesos inferidos a partir de las variaciones en la concentración de minerales magnéticos. (Atm: Atmósfera)

El tamaño de los minerales magnéticos se refiere al concepto de dominios magnéticos, que son regiones de magnetización dentro de los cristales que presentan una misma dirección de magnetización. Las cuatro categorías principales de tamaños de domino son: multidominio (MD), aquellos granos relativamente grandes ($> 100 \mu\text{m}$ en magnetitas) que tienden a formar más de una región de magnetización; dominio sencillo (SD), los granos relativamente pequeños que presentan una sola región de magnetización ($0.2\text{-}0.03 \mu\text{m}$ en magnetita); los granos de dominio pseudosencillo (PSD), que presentan más de una región de dominio pero que se comportan como granos SD ($100\text{-}0.2 \mu\text{m}$); y los granos superparamagnéticos (SP) o ultrafinos ($< 0.03 \mu\text{m}$).

Los minerales magnéticos más comunes son los óxidos de Fe y Ti, entre los cuales se encuentran las titanomagnetitas, de las cuales la magnetita está libre de Ti, y las titanohematitas, cuyo miembro libre de Ti es la hematita. Estos minerales se forman a partir de la cristalización del magma; sin embargo, tanto la magnetita como la hematita pueden originarse en la superficie de la Tierra por procesos no magmáticos. La magnetita puede tener un origen pedogénico o por actividad bacteriana, en tanto que la hematita puede formarse por la alteración (oxidación) de minerales de Fe, proceso que es frecuente durante el desarrollo de suelos. Otros minerales magnéticos importantes en sedimentos son el oxihidróxido goethita, formado por procesos pedogénicos, y el carbonato siderita, formado en ambientes reductores libres de Fe.

II.4 Parámetros geoquímicos.

La abundancia relativa de elementos geoquímicos constituye un indicador importante para inferir los procesos ambientales ocurridos en un sitio y la abundancia de cada elemento está determinada por diferentes factores, como lo son: el tipo de roca, grado de intemperismo, transporte, condiciones deposicionales y diagénesis.

Los elementos y relaciones entre ellos evaluados en esta tesis, así como su interpretación ambiental, están indicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Elementos y relaciones determinados por FRX, y su interpretación ambiental.

Elementos y relaciones	Interpretación Ambiental
Fe	Humedad / Sequía Precipitación / Escurrimiento Continental Ráfaga de viento / Fuerza del viento
Ti	Aporte de material menerogénico aloctonó a la cuenca
Si	Aporte de material detrítico o biogénico a la cuenca
Ca	Productividad del lago /Precipitación de carbonatos
Fe/Ti	Se relaciona con procesos diagenéticos, es un proxy negativo de enriquecimiento de Fe detrítico.
Ca/	Indicador útil para evaluar los cambios relativos en la sedimentación autigénica
Si/Ti	Se utiliza como proxy de la productividad silíceo biogénica

III. Antecedentes

La secuencia lacustre de la cuenca de México (CM) ha sido objeto de varios estudios que han proporcionado información sobre las fluctuaciones climáticas y ambientales ocurridas durante los últimos miles de años en su entorno. En particular en el lago de Chalco se han realizado importantes estudios de reconstrucción paleoclimática y paleoambiental. Por ejemplo, se han estudiado las características paleolimnológicas inferidas a través de diatomeas (Bradbury, 1989; Lozano-García et al., 1993; Caballero Miranda, 1997), la historia de las sequías e incendios asociados (Torres-Rodríguez et al., 2015), la variabilidad climática reconstruida a partir de indicadores geoquímicos (Lozano García et al., 2015), el magnetismo ambiental (Ortega et al., 2000), la estratigrafía de los depósitos lacustres (Ortega-Guerrero et al., 2017), entre otros.

Reyes-Corona (2017) describe la estratigrafía y características geoquímicas de una secuencia superficial de los sedimentos lacustres del lago de Xochimilco, y presenta un modelo de las variaciones de las condiciones ambientales entre el Pleistoceno tardío y el Holoceno medio. En un estudio posterior en la misma secuencia, Albarrán-Santos (2018) define un nuevo modelo de edad y elabora una interpretación ambiental más detallada a partir de parámetros magnéticos y contenidos de C y N.

Bücker et al. (2017) elaboran un modelo de la estratigrafía de la cuenca de Xochimilco hasta ~80m de profundidad, a partir las características geoelectricas.

Dado que las investigaciones paleoambientales en el lago de Xochimilco son escasas este trabajo es una contribución importante en este campo.

IV. Localización y Marco Geológico

IV.1 Cuenca de México

IV.1.1 Generalidades

La cuenca de México (CM) se caracteriza por ser una cuenca endorreica, en la que se desarrolló un sistema lacustre. En la CM afloran únicamente depósitos volcánicos que están intercalados con depósitos fluvio-aluviales y sedimentos lacustres.

Las rocas volcánicas presentan secuencias alternadas de derrames lávicos, piroclastos y cenizas, presentes en el perímetro de la cuenca, mientras que en la parte central de la cuenca están distribuidos los sedimentos lacustres.

La planicie lacustre tiene una altitud promedio de 2240 m sobre el nivel de mar y un área aproximada de 9600 km², de los cuáles 7200 km² corresponden al área que constituyó el sistema lacustre.

Se encuentra limitada al norte por la sierra de Pachuca y la sierra de Tezontlalpan, al este por la sierra Nevada, la sierra Calpulalpan y la sierra de Tepozán, al sur por la sierra Chichinautzin, y al oeste por la sierra de las Cruces y la sierra de Monte Bajo (Figura 4). Existen en el interior de la CM estructuras volcánicas aisladas como el cerro de la Estrella y el Peñón del Marqués, o formando sierras como la sierra de Guadalupe y la sierra de Santa Catarina.

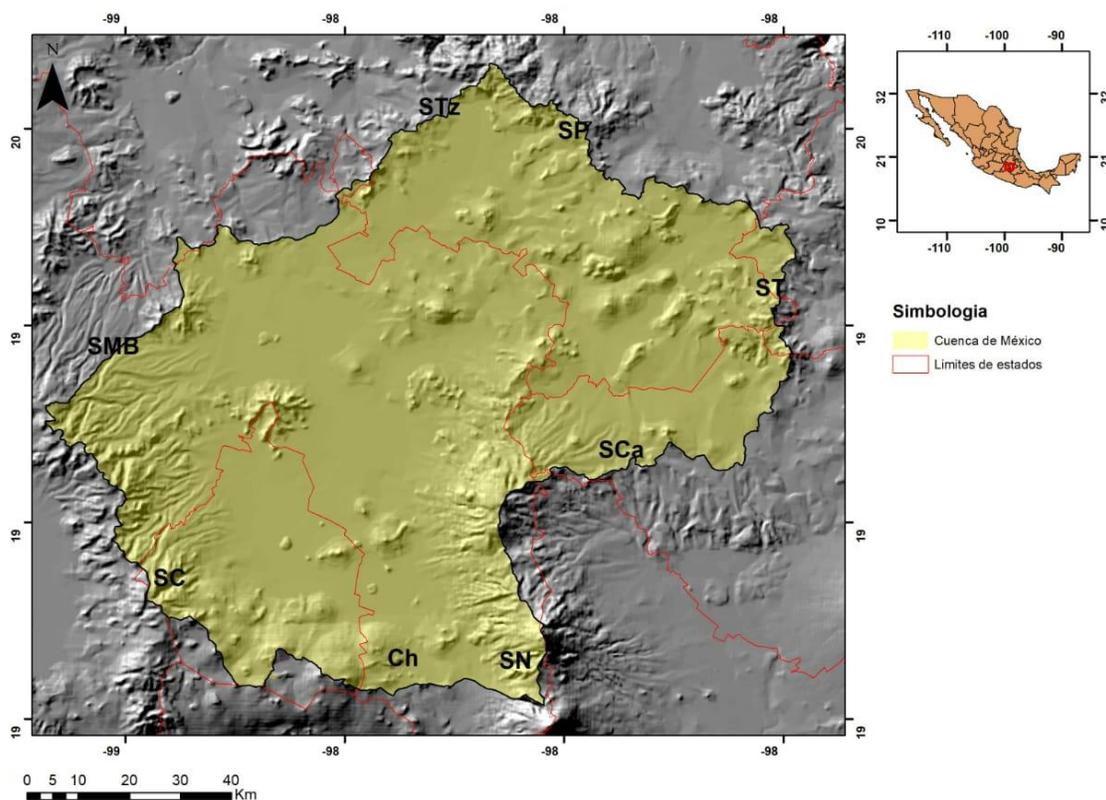


Figura 4. Mapa de ubicación cuenca de México. STz: sierra de Tezontlalpan; SP: sierra de Pachuca; ST: sierra de Tepozán; SCa: sierra de Calpulalpan; SN: sierra Nevada; SCh: sierra Chichinautzin; SC: sierra de las Cruces; SMB: sierra de Monte Bajo.

IV.1.2 Geología de la cuenca de México

Los principales acontecimientos que dieron lugar al origen y transformación de la cuenca de México (CM) sucedieron en los últimos 25 millones de años, aproximadamente. Esta se ubica dentro de la provincia fisiográfica Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), que atraviesa la República Mexicana de oeste a este a lo largo del paralelo 20° N.

La formación de la FVTM se inició durante el Mioceno medio-tardío, a partir de la subducción de las placas de Cocos y Rivera por debajo de la placa de Norteamérica. En este arco volcánico se desarrollaron sistemas intermontanos como la CM (Ferrari, 2000; Gómez Tuena et al., 2005).

Los eventos que dieron origen a la cuenca se describen brevemente en la Figura 5.

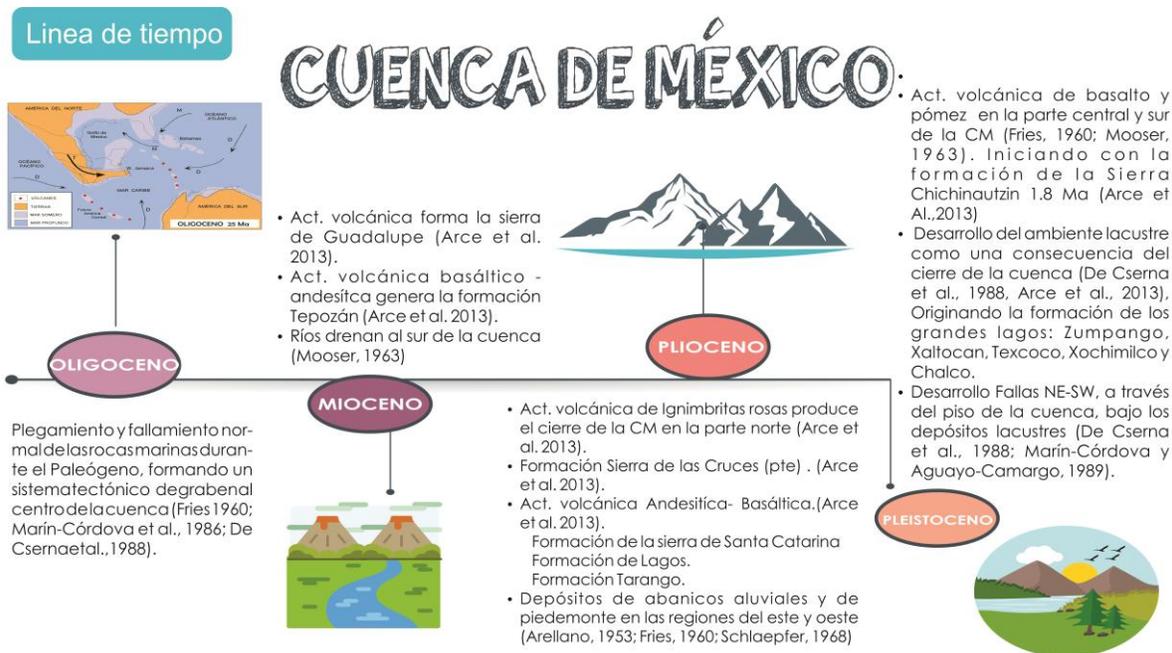


Figura 5. Diagrama cronológico de la formación de la cuenca de México

IV.1.3 Estratigrafía de la cuenca de México

La CM cuenta con una variada estratigrafía, debido a los diferentes eventos geológicos que la originaron. Dentro de estos eventos destaca el cierre de la cuenca hace aproximadamente 700,000 años, lo que dio lugar a la formación de depósitos fluviolacustres pertenecientes al Pleistoceno-Holoceno. (Mooser, 1963; Ortega-Guerrero et al., 2015). La información directa sobre los depósitos del subsuelo de la CM proviene de perforaciones profundas realizadas en la parte sur de ésta, en la zona metropolitana de la Ciudad de México y zonas adyacentes. Las rocas más antiguas cortadas en estos sondeos (pozos Mixhuca I y Tulyehualco I) son calizas del Cretácico, sobre las que sobreyacen depósitos volcanoclásticos, cuyo contacto está entre 1,575 y 2,040 m snm (Pérez Cruz, 1988). La ausencia de las calizas cretácicas en el pozo San Lorenzo Tezonco, que alcanzó una profundidad de 2,000 m, sugiere la existencia de una fosa tectónica al norte de la sierra de Santa Catarina (Arce et al., 2013, 2015). En las secuencias estratigráficas de estos pozos existen intercalaciones de sedimentos fluviolacustres y lacustres en diferentes niveles; en la parte superficial el espesor de los sedimentos lacustres varía entre 170 y 70 m (Figura 6). En la cuenca de Chalco se recuperó una secuencia sedimentaria de aproximadamente 500 m de espesor, en la cual los 300 m superficiales son sedimentos lacustres, subyacidos por una secuencia de 100 m de depósitos aluviales, fluviales y lacustres intercalados, y en los 100 m inferiores fueron cortados flujos de lava (Lozano García et al., 2017)

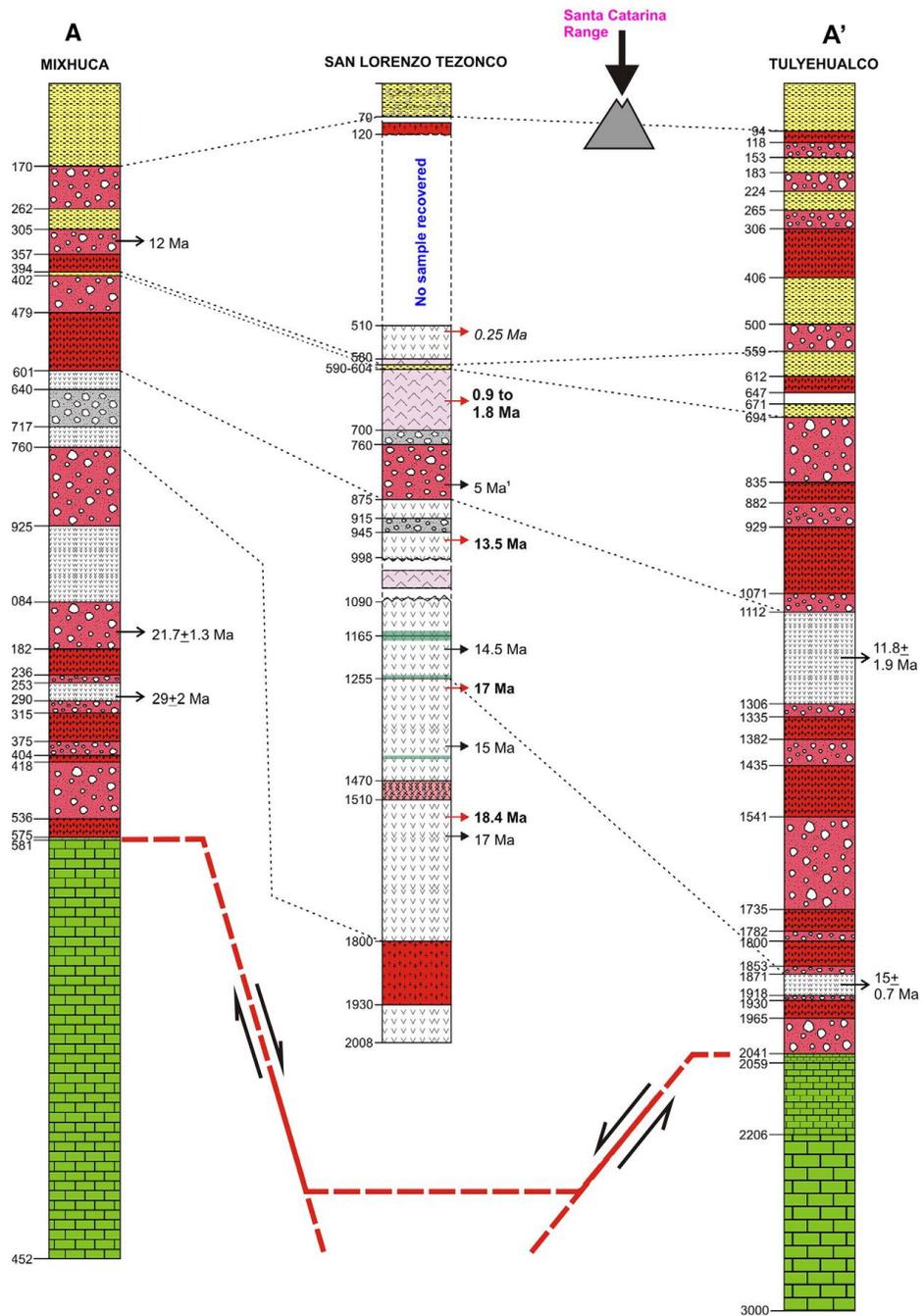


Figura 6. Sección N-S muestra la correlación de los pozos Mixhuca, San Lorenzo Tezonco y Tulyehualco. Tomado de Arce et al., 2013.

IV.2 Xochimilco

IV.2.1 Generalidades

La subcuenca de Xochimilco corresponde a la región terrestre prioritaria 108, esta cuenca se encuentra dentro del Área Natural Protegida Cumbres del Ajusco y del Corredor Biológico Ajusco-Chichinautzin. La subcuenca de Xochimilco tiene una gran diversidad biológica, cuenta con alrededor de 216 especies de aves, cerca de 80 especies de mamíferos, 200 especies de plantas ornamentales y 370 especies de algas, además de destacar los servicios ambientales que ofrece como son: soporte, provisión, regulación y culturales (PAOT, 2010; Labougle-Alviar 2010).

La subcuenca de Xochimilco (SX) se encuentra ubicada al sureste de la cuenca de México (19°17'06" N 99°06'07" O) y a una altura de 2,240 m snm. Se encuentra limitada al norte por el cerro de la Estrella y la sierra Santa Catarina, al este por la divisoria que corre entre el volcán Teuhtli y Santa Catarina, al sur por la sierra Chichinautzin y al oeste el volcán Ajusco perteneciente a la sierra de Las Cruces. (Figura 7).

Sus afluentes constituyen un sistema ecológico y social, que conforman una Área Natural Protegida (los ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco) decretada como tal en 1992. La subcuenca también fue reconocida como Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad por la UNESCO en 1986, y se integró a la Convención RAMSAR el 2 de febrero 2004, con el nombre de sitio RAMSAR 1363 (lago de Xochimilco) por tener humedales de alta importancia (Figura 8). Se caracteriza por ser una zona montañosa, considerada como suelo de conservación. (PAOT, 2010; Labougle-Alviar 2010).

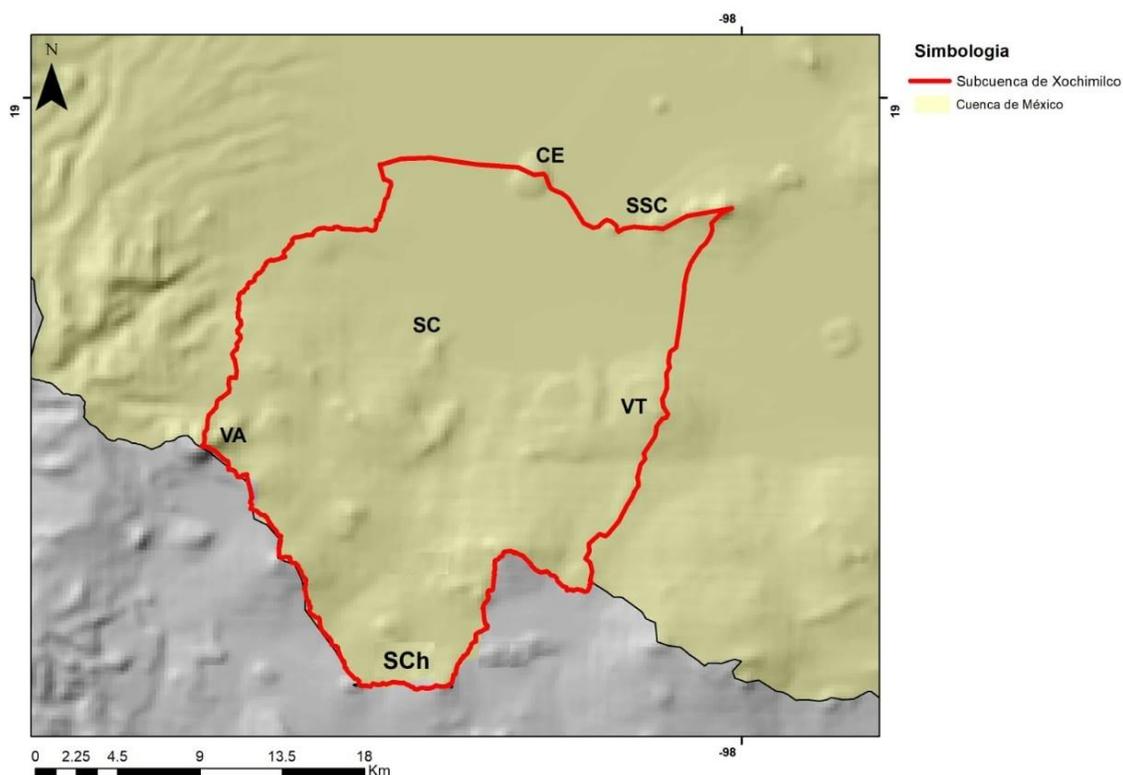


Figura 7. Subcuenca de Xochimilco, y algunos de los principales aparatos volcánicos que la limitan. CE: cerro de la Estrella; SSC: sierra de Santa Catarina; VT: volcán Teuhtli; SCh: sierra Chichinautzín; VA: volcán Ajusco; SC: sierra de las Cruces.

IV.2.2 Geología de la subcuenca de Xochimilco

Presenta diferentes tipos de depósitos volcánicos en su interior, los cuales provienen de estructuras volcánicas colindantes. El más antiguo tiene una edad aproximada de 2.8 Ma (Romero-Terán, 2001; Arce et al., 2015), el cual corresponde a flujos de lava dacíticos y andesíticos de la sierra de Las Cruces (García-Palomo et al., 2008, Arce et al., 2015).

Dentro de los productos volcánicos de la sierra Chichinautzín que han sido analizados y fechados, están los conos de Xitle, Teuhtli, Hijo del Cuautzín, Pelado, Guespalapa y Chichinautzín; los flujos de lava Ocusayo, Tlacotenco y Actopan; y el domo Cuauhtzín, (Siebe et al., 2005). La edad de este volcanismo está entre 35,000 y 1,600 años cal AP.

Por otra parte, la sierra de Santa Catarina está compuesta por estructuras volcánicas emplazadas hace ~20,000 años (Lugo Hubp et al., 1994; Layer et al., 2009); aunque Arce et al., (2013) la consideran ≤ 0.25 Ma, por lo que sería holocénica. Sin embargo, datos recientes de fechamientos por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ indican que la edad varía de 23,000 a 132,000 años (Jaimes-Viera et al., 2018).

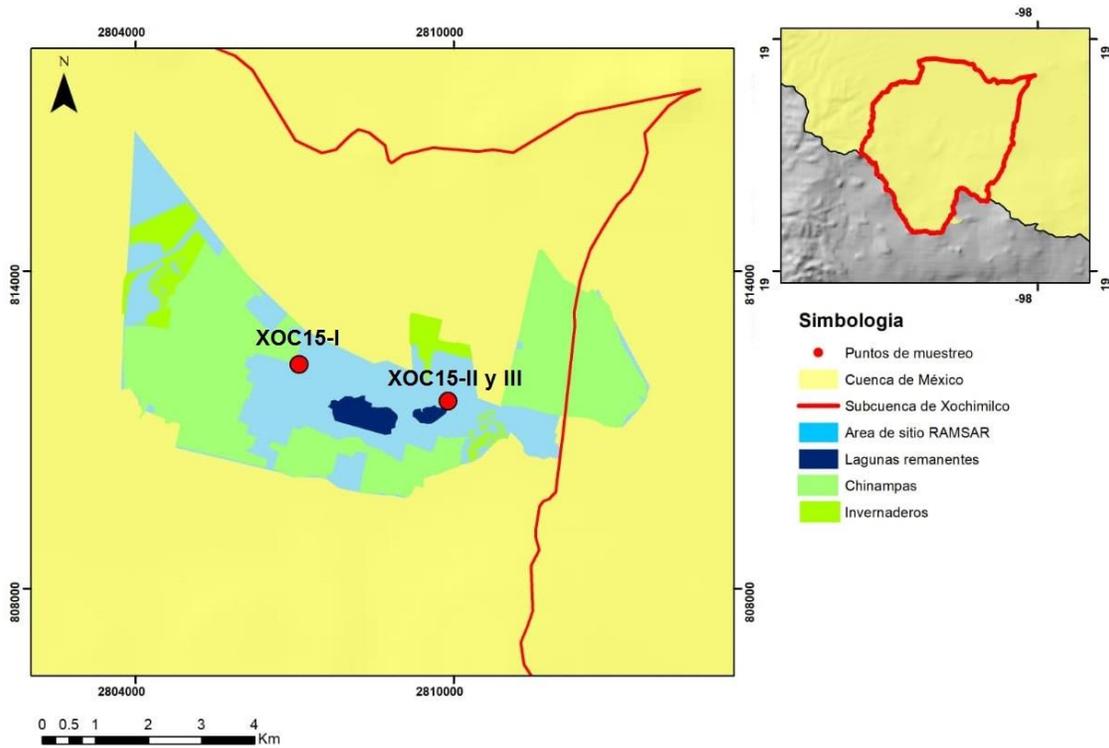


Figura 8. Localización del lago de Xochimilco, sitio RAMSAR. Los puntos rojos señalan los sitios de muestreo.

La subcuenca de Xochimilco (SX) tiene características estratigráficas similares a las de la cuenca de México. El pozo Tulyehualco I, perforado en esta subcuenca (Pérez Cruz, 1988), es la única fuente de información a mayor detalle sobre la estratigrafía de los depósitos del subsuelo de Xochimilco con la que se cuenta (Figura 8).

IV.2.3 Clima de la subcuenca Xochimilco

La subcuenca de Xochimilco (SX) posee un clima predominantemente templado subhúmedo con lluvias en verano, este clima es considerado Cwb según la clasificación climática de Köppen-Geiger. (INEGI, 2005). (Figura 9)

Se ha registrado para SX, con un promedio de precipitación de 946.3 mm/año, y con una precipitación media de 586 mm aproximadamente. (INEGI, 2005). (Figura 10)

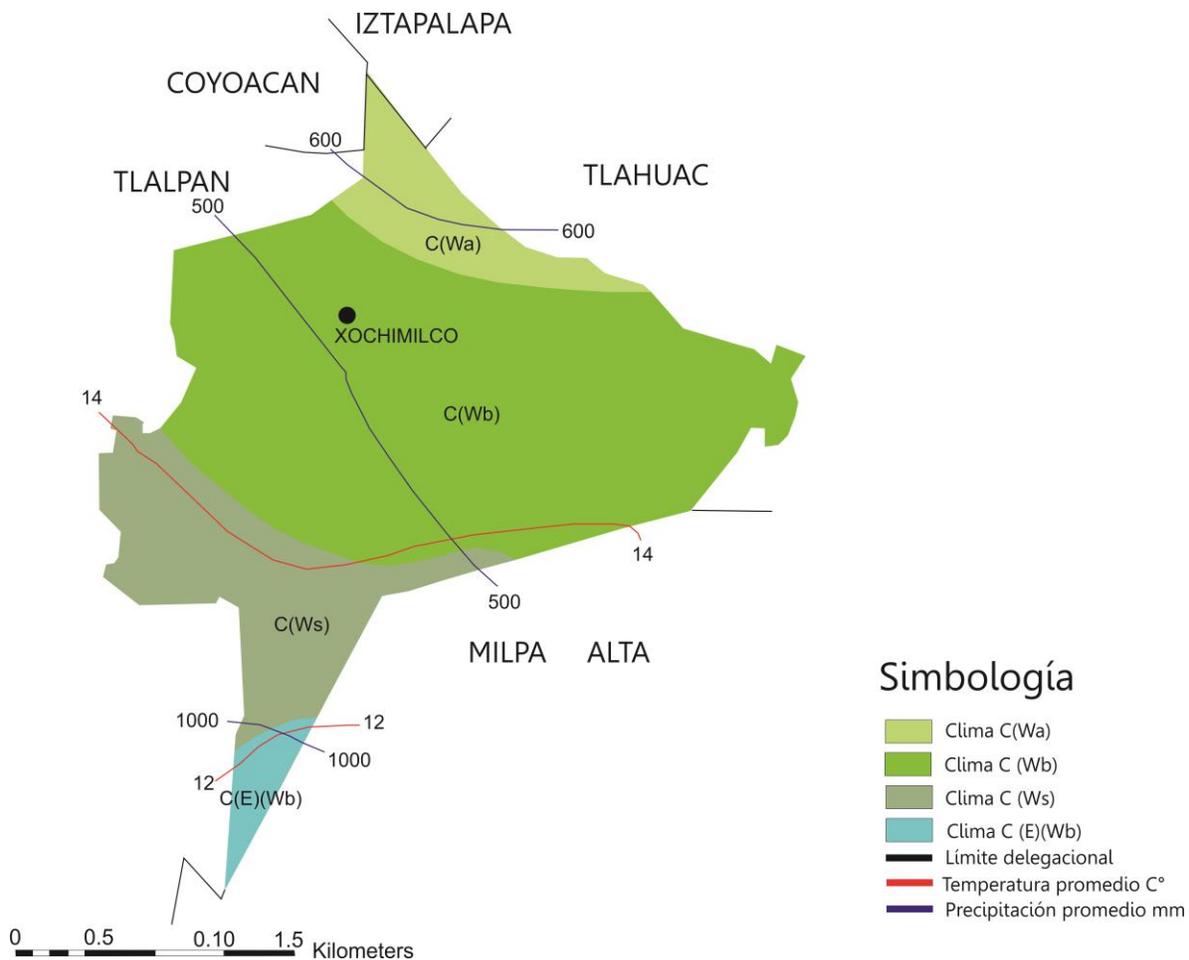


Figura 9. Mapa de Clima en Xochimilco según Köppen. Tomado de PAOT (2011).

Climograma Xochimilco

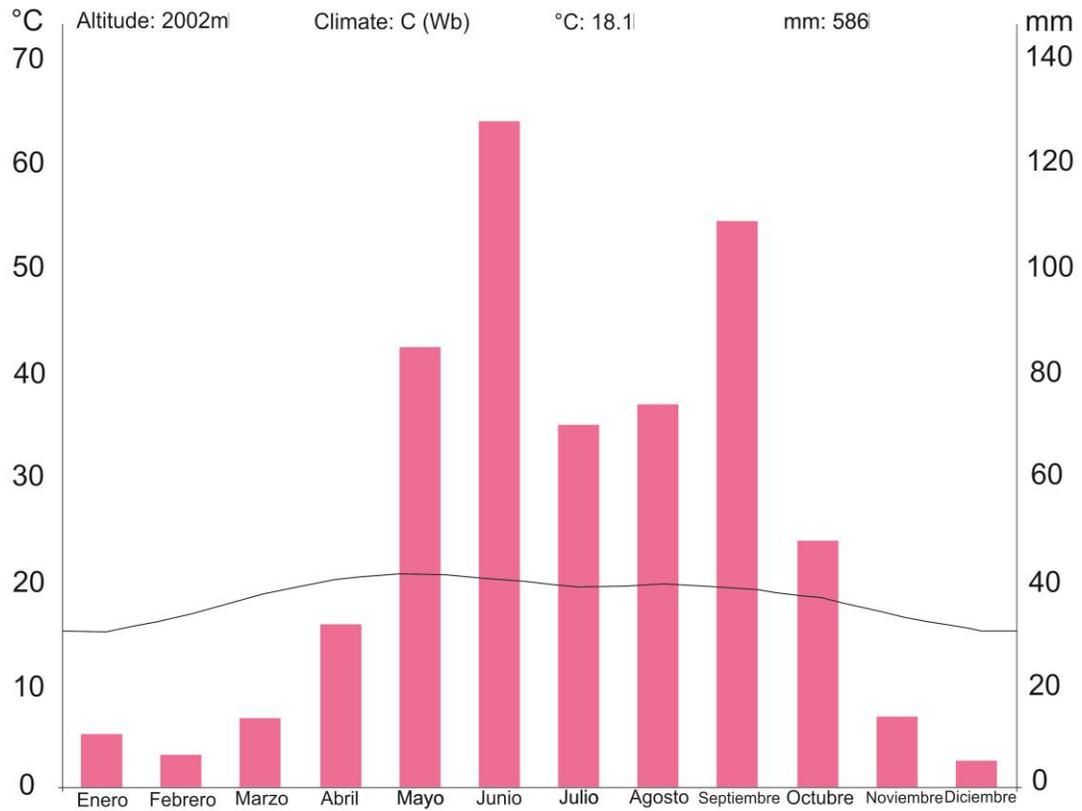


Figura 10. Climograma de Xochimilco. Se observa un aumento tanto de temperatura (línea negra) como de precipitación (barras rosas) durante los meses de mayo, junio y septiembre, teniendo una media de 19° C y 30 mm/año.

V. Metodología

El diagrama de flujo seguido en la metodología, iniciada con la planeación de la zona de colecta de los primeros núcleos en la subcuenca de Xochimilco hasta la medición en gabinete de las propiedades magnéticas y contenido de elementos geoquímicos, se muestra en la Figura 11.

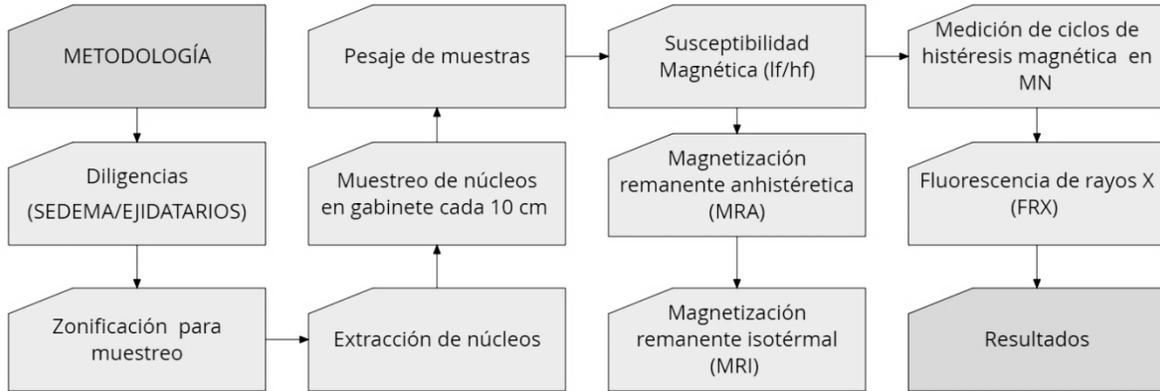


Figura11 Mapa conceptual de la metodología seguida para este proyecto.

Para un mejor entendimiento, se dividió la metodología en 2 etapas, las cuales se detallan enseguida.

1.- Trabajo en campo

2.- Trabajo de gabinete

Análisis de Magnetismo

Análisis Geoquímicos

{ X, MRN, MRA, MRI, parámetros de histéresis

{ FRX

IV.1 Trabajo en Campo

La primera etapa de este proyecto se realizó mediante un plan de acción, el cual consistió primero en realizar una serie de diligencias para solicitar los permisos de perforación a las autoridades correspondientes de Xochimilco. El sitio muestreado se ubica en el ejido de San Gregorio Atlapulco e indicado en la Figura 8. Enseguida, se solicitó de manera formal a la Secretaria del Medio Ambiente de la Ciudad de México su autorización para la perforación de núcleos dentro de la zona establecida, así como a los ejidatarios para poder ingresar a la zona de estudio.

Con los permisos obtenidos se muestrearon dos puntos, dentro del sitio RAMSAR en Xochimilco, los cuales son señalados en la Figura 8. La distancia entre los sondeos XCO15-II y XOC15-III es de 10 m, por lo que se representan con un solo punto. El

equipo utilizado para la extracción de núcleos fue un sistema de perforación de pistón tipo Livingstone, con el que se utilizaron tubos de acero de 8 cm de diámetro y 1 m de longitud. En el primer punto de muestreo (XOC-15-I), se extrajeron en 4 tramos un total de 3.4 m de secuencia sedimentaria. En los sondeos XOC15-II y XOC15-III se extrajo un solo tramo en cada uno, en los que se recuperaron 0.76 m y 0.70 m de sedimento, respectivamente.

IV.2 Trabajo de gabinete

Una vez extraídos los sedimentos de los tubos de acero, los núcleos se dividieron longitudinalmente a la mitad, se colocaron en mitades de tubos de pvc y se fotografiaron. Una mitad de cada núcleo se conservó intacta como referencia y en la otra se colectaron las muestras para los diferentes análisis.

Muestreo

El muestreo para los análisis de propiedades magnéticas y geoquímicas se hizo cada 10 cm a lo largo de los núcleos, excepto en los materiales volcánicos en los que se colectaron de una a dos muestras. En el núcleo XOC15-I se colectaron 28 muestras, en tanto que en el núcleo XOC15-III se colectaron 15 muestras. Debido a que los núcleos XOC15-II y XOC15-III tienen la misma secuencia sedimentaria, sólo se analizaron muestras de este último. Para los análisis de magnetismo de rocas las muestras se colectaron en cubos de acrílico de 2 x 2 cm. Para los análisis geoquímicos se colectaron 2 cm² de sedimento.

Identificación de los componentes sedimentarios

Para la identificación y clasificación de los sedimentos lacustres en esta secuencia recuperada (XOC15) se utilizó el esquema propuesto por Schnurrenberger et al. (2003). Se realizó una inspección visual en la que se describieron e identificaron los componentes macroscópicos, los cuales fueron: color, textura, estructuras sedimentarias y espesor de facies. El color observado en cada núcleo de la secuencia fue referido y comparado con las tablas Munsell 10YR.

Para identificar los componentes presentes en los sedimentos se hicieron láminas delgadas del sedimento (frotis), que fueron observadas en el microscopio petrográfico y estereoscópico, identificando los componentes principales en las muestras, los cuales son: clásticos y componentes biogénicos.

Medición de susceptibilidad magnética, ARM e IRM.

Se midió la susceptibilidad magnética en un sistema Bartington de doble frecuencia MS2B, y se midió la magnetización remanente natural (NRM), así como

las remanencias inducidas en diferentes campos magnéticos en un magnetómetro de giro JR6; estas remanencias fueron: la magnetización remanente anhisterética (ARM) y la magnetización remanente isothermal (IRM).

Para aplicar la ARM se utilizó un desmagnetizador de campos alternos Molspin en campos de 100 mT, y se sobre impuso un campo directo de 50 μ T. Para la IRM se utilizó un magnetizador de pulso ASC Scientific, y se aplicaron campos directos en intervalos discretos que variaron entre 5 mT y 1 Tesla, así como el campo inverso de 300 mT. El valor de la remanencia en el campo directo de 1 T se consideró como el valor de la magnetización remanente isothermal de saturación (SIRM). Con los valores obtenidos de IRM en campo inverso de 300 mT, se calculó la relación $S_{300} = \text{IRM}_{-300}/\text{SIRM}$. Con los valores de IRM obtenidos aplicando un campo directo de 300 mT se calculó la relación $\text{HIRM} = \text{SIRM} - \text{IRM}_{300}$.

Medición de ciclos de histéresis

La medición de los parámetros de histéresis se llevó a cabo en el Institute for Rock Magnetism de la University of Minnesota, en un magnetómetro VSM (vibrating sample magnetometer) de Princeton Instruments, con un campo magnético máximo de 1 T y una sensibilidad de: $5E^{-9}$ A m^2 .

Se llevaron a cabo la medición de ciclos de histéresis en campo máximo de 1 T, y con ellos se obtuvo la magnetización remanente (M_r), magnetización de saturación (M_s), coercitividad remanente (H_{cr}) y coercitividad (H_c). Las relaciones entre M_r/M_s y H_{cr}/H_c estiman la distribución de tamaños de partícula magnética (suaves vs. duros), de acuerdo a los diferentes dominios magnéticos (Day *et al*, 1977; Dunlop, 2002).

Análisis Geoquímicos

Los análisis geoquímicos consistieron en la obtención de elementos mayores y traza, utilizando 2 equipos de fluorescencia de rayos X (FRX): un equipo Nitton XL3t y un escáner de Fluorescencia de Rayos X AVAATECH. Debido a que el scanner de FRX requiere superficies totalmente lisas para medir adecuadamente los elementos, condición que no se cumplió en la totalidad del núcleo XOC15-III, en éste se utilizó el equipo Nitton.

En este trabajo se utilizaron las relaciones Si/Ti, Fe/Ti, Ca/Ti y Ca/Sr. Los elementos mayores seleccionados son presentados en este trabajo en relación con el Ti, debido a que este elemento se consideran inmóvil en la mayoría de los ambientes sedimentarios y es poco afectado por la diagénesis (Rollinson, 1993; Thomson *et al.*, 1995), por lo que proporcionan información sobre la

abundancia relativa de los minerales pesados y son una medida del flujo detrítico hacia la cuenca.

En el núcleo XOC15-III se colectaron 2 g de sedimento cada 10 cm, que fueron secados en una liofilizadora, triturados para su homogenización y en ellos se midió la abundancia relativa de elementos mayores a través de la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX), utilizando un equipo portátil Nitton XL3t GOLDD 900 Analyzer, del laboratorio de Paleoecología y Palinología del Cuaternario, del Instituto de Geología, UNAM. Las mediciones generadas por el equipo son proporcionadas de dos formas, partes por millón (ppm) y porcentaje (%). Se realizó la medición de un total de 42 muestras en los cuales se obtuvieron los elementos mayores y traza, a excepción del silicio (Si), ya que el equipo no contaba con el detector de este elemento.

En el núcleo XOC15-I la medición de los componentes geoquímicos se realizó directamente en la superficie de los núcleos colectados, para lo cual se utilizó un escáner de Fluorescencia de Rayos X AVAATECH (Modelo AV60633, No. de Serie 033) con un tubo de rayos X Oxford Instruments y un detector de rayos X Canberra X-PIPS Silicon Drift Detector (SDD; Modelo con ventana) del Laboratorio de Paleoceanografía y Paleoclimas del Instituto de Geofísica de la UNAM. Para realizar estas mediciones en el scanner, fue necesario hacer un alisamiento de los núcleos, a su vez cabe destacar que por la precisión y manejo del equipo no fue posible realizar las mediciones de las partes con alto contenido orgánico y del material no consolidado y fracturado (depósitos volcánicos). Las mediciones se realizaron en intervalos de 10 mm y 12 mm. En la primera corrida a 10 kV se midió Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Mn, S, P, Cl, Cr, Rh y en la segunda corrida 30 kV se midió Sr, Rb, Zr, Zn, Pb, N, Cu, Ga, Y, Nb, Mo, Bi. La utilización de las dos series de mediciones permitió complementar los resultados.

V. Resultados

En este trabajo se decidió presentar los resultados obtenidos por núcleo, empezando con la descripción de los sedimentos lacustres recolectados, seguidos por los análisis magnéticos y finalmente los resultados geoquímicos. En algunos casos, donde se observaron cambios abruptos en la secuencia colectada, se realizaron frotis para conocer las características mineralógicas y limnológicas. Los de resultados de FRX se pueden consultar en el Anexo 1.

Núcleo XOC15-I

En este núcleo de 3 m de largo se distinguieron 4 unidades litoestratigráficas y sus características son descritas enseguida de la cima a la base (Figura 13). Las mediciones de los elementos geoquímicos y traza se obtuvieron mediante el Scanner de FRX.

Unidad Ia

La parte superior de este núcleo está compuesta por un depósito volcánico encontrado entre 0.0 y 0.20 m de profundidad. Se trata de ceniza, pómez y lapilli de color gris pardo (10YR 7/3), con alto grado de alteración, endurecida, masiva, que se presenta en fragmentos de agregados irregulares y pobremente seleccionados (diámetro 3 mm a 2 cm), compuesta de vidrio volcánico y anfíboles. Presenta un alto grado de contaminación antrópica reciente, con fragmentos diversos de basura.

Debido alto grado de alteración en esta unidad no se realizaron mediciones en parámetros magnéticos y geoquímicos, a excepción de la susceptibilidad magnética, donde se observó un valor máximo de $8.01 \text{ SI}(10^{-5})$, registrado a una profundidad de 0.08m.

Unidad Ib

Esta unidad tiene un espesor de 0.31 m. Su contacto superior es abrupto e irregular, bajo el cual se encuentra una capa de 8 cm de espesor compuesta de arena arcillosa de color gris muy oscuro (10YR 3/1) a pardo claro (10YR 6/3), masiva, compuesta de plagioclasa, anfíboles y fragmentos de vidrio ámbar, con abundantes diatomeas, restos de plantas y materia orgánica amorfa. Por debajo, en contacto recto, se encuentra una capa de 17 cm de espesor de limo arcilloso negro (10YR 2/1) a pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2), tenuemente bandeado (1-2 cm espesor) a masivo, con restos herbáceos, materia orgánica amorfa y carbón. Las bandas son discontinuas. En la base de la unidad se presenta un depósito de 8 cm de espesor de arena media a fina de color gris pardo claro (10YR 6/2), en bandas (<2 cm), con abundantes diatomeas, presencia de

espículas de esponja, fitolitos y restos de plantas vasculares con escasos gasterópodos, que alternan con láminas (< 1 cm) discontinuas, de ooze de diatomeas de color negro (10YR 2/1), con carbón, polen, espículas y clastos de silicatos (Figura 12).

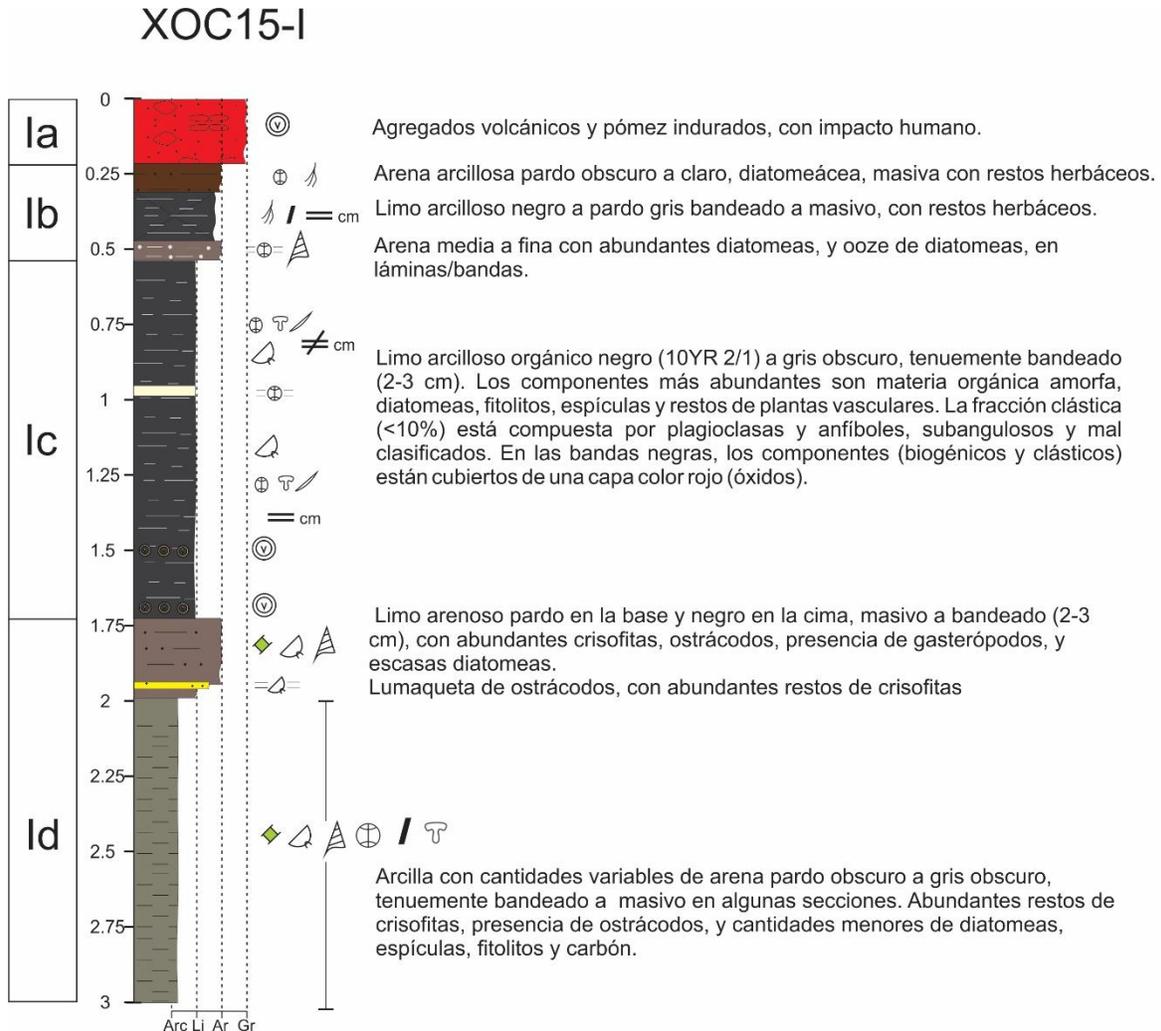


Figura 12. Columna estratigráfica del núcleo XOC15-I.

Las propiedades magnéticas indican que esta unidad se caracteriza por los incrementos en los parámetros de concentración: S.M., SIRM y HIRM (Figura 13). Presenta valores relativamente altos de Hcr (> 100 mT), y bajos de ARM y S₃₀₀. Los parámetros geoquímicos indican una mayor abundancia de los elementos terrígenos Ti y Fe, y valores relativamente bajos en el resto de los elementos y cocientes (Figura 14).

En la Tabla 3 se presentan los valores máximos y mínimos de los resultados obtenidos en los indicadores geoquímicos y magnéticos en el núcleo XOC15-I.

Unidad Ic

La unidad Ic tiene un espesor de 1.20 m (desde 0.53 m a los 1.73 m de profundidad, Figura 13). Está constituida por lodo orgánico negro (10YR 2/1) a gris oscuro (10YR 4/1), tenuemente bandeado (< 3 cm) a laminado (< 1 cm), rico en materia orgánica amorfa, diatomeas, fitolitos, espículas de esponja y restos de plantas vasculares, y localmente se observan restos de ostrácodos. Contiene ocasionales bandas de limo arenoso color negro (10YR 2/1) en la que dominan silicatos (plagioclasa y anfíbol) subangulosos y mal clasificados; así como laminaciones de ooze de diatomeas de color pardo pálido (10YR 6/3), en un paquete de 5 cm de espesor, entre 0.92-0.97 m de profundidad. En las bandas más oscuras, negras, los componentes están cubiertos por una capa roja de óxido. Entre 1.48-1.53 m de profundidad se encuentran fragmentos de pómez de 3-10 mm de diámetro diseminados en el sedimento. El contacto inferior de esta unidad es gradual a lo largo de 5 cm.

En los parámetros magnéticos se observa un decremento en los indicadores de concentración S.M., SIRM, en comparación con la unidad 1b (Figura 13; ver Tabla 3 y Anexo1). Así mismo, se aprecia un aumento en la abundancia de partículas finas tamaño SD ($> \text{ARM}/\text{IRM}_{100}$), y localmente en la dureza magnética de los minerales ($> \text{Hcr}$ y $< \text{S}_{300}$), (Tabla 3 y Anexo 1). En los parámetros geoquímicos se observa, de manera concordante con los magnéticos, una disminución en los indicadores clásticos (Ti y Fe), así como un aumento en los cocientes Fe/Ti y Si/Ti, aumento que es más discreto en la relación Ca/Ti (Figura 14 y Tabla 3).

Unidad Id

La unidad Id tiene un espesor de 1.27 m. Consta de dos litologías dominantes (Figura 12). En la parte superior presenta un paquete de 0.27 m de espesor compuesto de limo arenoso pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en la base, que cambia transicionalmente a negro (10YR 2/1) hacia la cima, masivo a bandeado (< 3 cm) y tenuemente laminado (< 0.5 cm). Las láminas son discontinuas. Presenta abundantes restos de crisofitas (algas que desarrollan una cubierta calcárea) y los ostrácodos son comunes, contiene ocasionales gasterópodos, y cantidades menores de diatomeas y espículas de esponja. A 1.92 m de profundidad presenta una lumaqueta de ostrácodos de 0.02 m de espesor. Entre 1.98 m de profundidad y la base de la secuencia (3.0 m de profundidad), se encuentra un paquete de arcilla pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2), con cantidades variables de arena fina negra, tenuemente bandeado y laminado a masivo. Presenta abundantes restos de crisofitas, los ostrácodos son comunes, con cantidades menores de diatomeas, espículas de esponja, fitolitos y carbón, y ocasionales gasterópodos.

Los parámetros magnéticos indican concentraciones relativamente bajas de minerales magnéticos en toda la unidad, con valores mínimos de S.M., ARM y SIRM (Figura 13, Tabla 3), excepto en un horizonte a 2.07 m de profundidad, en donde éstos y el HIRM aumentan, así como disminuye el cociente S_{300} (Figura 13, Tabla 3 y Anexo 1). El cociente ARM/IRM_{100} decrece respecto a la unidad 1c. El Hcr se3 mantiene constante en valores cercanos a 115 mT, en tanto que el cociente S_{300} se mantiene con valores < 0.8 . En el registro de los elementos químicos, el Ti y Fe se mantienen relativamente bajos, y el indicador de sílice biogénico Si/Ti disminuye respecto a la unidad superior. Hay un notable incremento en la relación Ca/Ti en la mayor parte de esta unidad (Figura 14, Anexo 1).

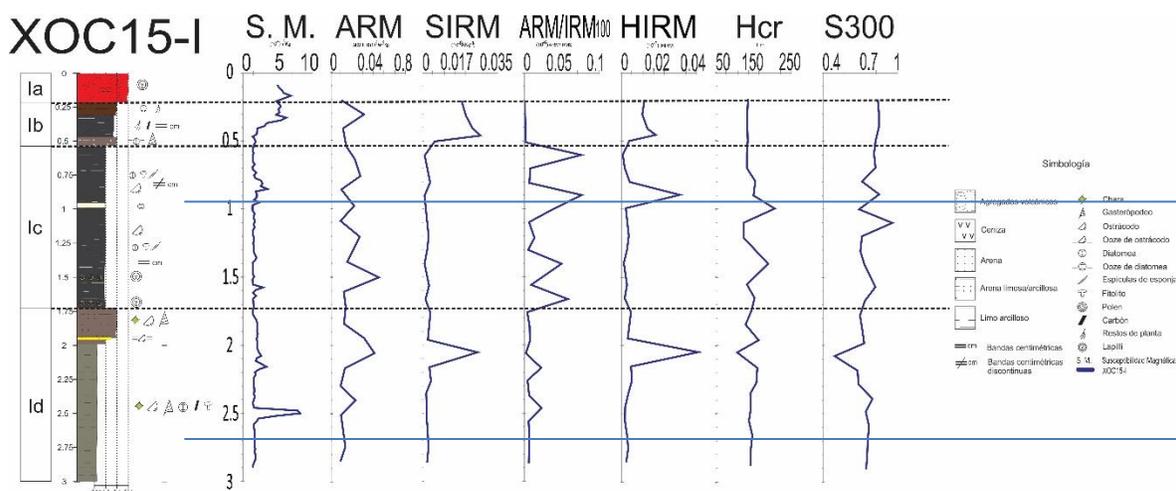


Figura13. Resultados de las propiedades magnéticas obtenidas en el núcleo XOC15-I

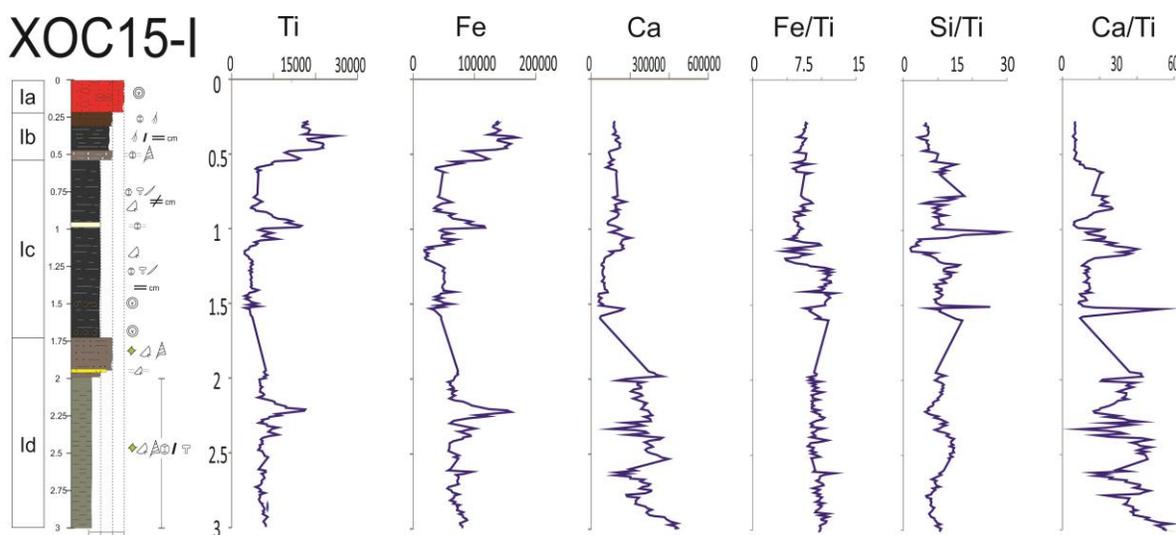


Figura14. Elementos y relaciones geoquímicas del núcleo XOC15-I.

Tabla 3. Valor máximo registrado (color gris) y valor mínimo (color blanco) en los análisis magnéticos y geoquímicos obtenidos en las mediciones de cada unidad del núcleo XOC15-I.

Unidad	XOC15-I													
	Indicadores Magnéticos							Indicadores Geoquímicos						
	S.M	ARM	SIRM	ARM/IRM 100	HIRM	HCR	S300	Ti	Fe	Ca	Fe/Ti	Si/Ti	Ca/Ti	Ca/Sr
I-a	8.01815													
	4.91747													
I-b	7.08074	0.00014978	0.02085219	2.1154E-05	3.990666	101.894	0.87668	24793	162080	137504	0.15297	0.848371	1.1125E-06	762608
	0.11997	9.97804E-05	0.01399268	0.00083171	2.113964	100.232	0.86312	12717	99219	90463	0.12817	0.911751	1.4168E-06	643513
I-c	3.15008	0.000762612	0.00242726	0.00024209	3.850369	226.72	1	16652	115536	118891	0.14413	1.029039	1.2123E-06	848851
	0.10131	0.000438802	0.00062175	9.9196E-05	0.002726	83.391	0.70758	3060	21645	102646	0.14137	4.74225	1.3773E-06	3443203
I-d	9.83366	0.000683157	0.00272737	0.00028448	5.576311	149.318	0.81459	17512	153140	292424	0.11435	1.909521	3.9105E-07	4883040
	0.12014	0.000132402	0.0011189	2.9988E-05	2.179202	47.5724	0.46412	5738	55821	248673	0.10279	4.454829	4.1337E-07	1.1E+07

XOC15-II

En núcleo tiene 0.75 m de espesor, el punto de perforación de este núcleo se encuentra a 2 m del núcleo XOC15-III. Los sedimentos se agruparon en una sola unidad (Figura 15), debido a que no es perceptible un cambio abrupto en la ella. Como se mencionó anteriormente, en este núcleo solo se hizo la descripción de la litología y se midió la S.M.

Unidad IIa

Los 30 cm superiores están compuestos por un depósito de arena fina a limo negro (10YR 2/1), con cantidades menores de arcilla (<10%) pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), en la cima es masivo y cambia transicionalmente a bandeado (2-3 cm de espesor). Contiene abundantes componentes biogénicos, principalmente raíces, restos herbáceos, diatomeas, fitolitos, espículas de esponja y ocasionales crisofitas.

Le subyace un horizonte de 0.45 m de espesor, ubicado entre 0.32-0.67 m de profundidad. Consiste de limo arenoso con cantidades menores de arcilla, de color gris oscuro (10YR 4/1) a pardo oscuro (10YR 3/3), tenuemente bandeado a masivo con abundantes diatomeas, restos de carbón, fitolitos, espículas de esponja y ocasionalmente crisofitas.

En este paquete se encuentran dos ooze de diatomeas (a 30 y 45 cm de profundidad), así como tres capas de ceniza negra de 2 a 8 cm de espesor (a 55, 63 y 75 cm de profundidad), y un depósito de lapilli diseminado en el sedimento lacustre de 1.5 cm de espesor a 32 cm de profundidad.

La susceptibilidad magnética presenta un máximo de 14.81 (SI 10⁻⁶) y su valor mínimo de 9.62 E-06 (SI 10⁻⁶) (Tabla 4; Anexo 1).

XOC15-II

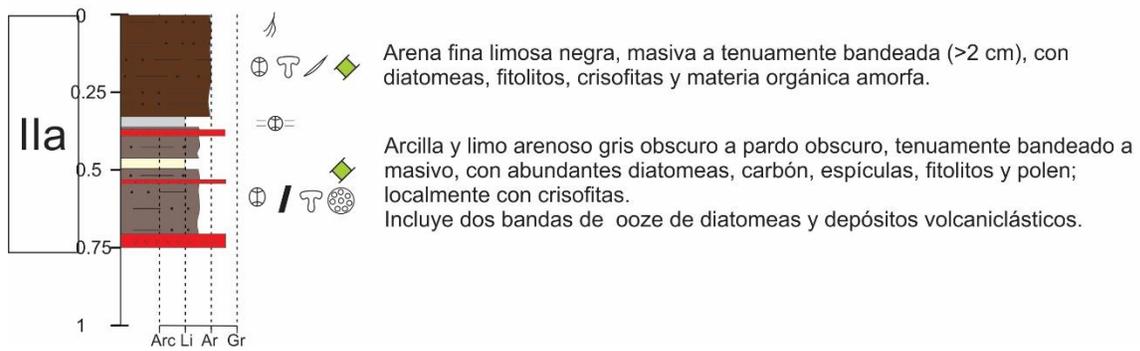


Figura15. Descripción de la estratigrafía para la secuencia XOC15-II.

Tabla 4. Valor máximo registrado (color gris) y mínimo (color blanco) de susceptibilidad magnética del núcleo XOC15-II.

XOC15-II	
Indicadores Magneticos	
Unidad	S.M
II-a	14.81864
	9.62E-06

XOC15-III

La secuencia recuperada en este núcleo fue de 1.5 m de longitud y se dividió en 2 unidades (Figura 16), en las cuales se observó un cambio abrupto en el sedimento.

Unidad IIIa

El espesor de esta unidad es de 0.63 m. Los 30 cm superiores están compuestos por un depósito de arena fina a limo negro (10YR 2/1), con cantidades menores de arcilla (<10%) pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), en la cima es masivo y cambia transicionalmente a bandeado (2-3 cm entre banda y banda). Presenta abundantes componentes biogénicos, principalmente raíces, restos herbáceos, diatomeas fitolitos, espículas de esponja y ocasionales crisofitas.

Por debajo de esta capa se encuentra un horizonte de 0.33 m de espesor, entre una profundidad de 0.30-0.63 m. Está compuesto de limo arenoso con cantidades menores de arcilla de color gris oscuro (10YR 4/1) a pardo oscuro (10YR 3/3), tenuemente bandeado a masivo, con abundantes diatomeas, restos de carbón, fitolitos, espículas de esponja y ocasionalmente crisofitas.

Esta unidad contiene dos oozes de diatomeas a una profundidad de 0.30 m y 0.45 m, respectivamente y 2 depósitos de cenizas negras a los 0.38 m y 0.58 m de profundidad, respectivamente.

Las propiedades magnéticas de esta unidad se caracterizan por tener una baja concentración de minerales magnéticos: bajos valores de S.M., ARM y SIRM; valores en general bajos de ARM/IRM₁₀₀, y relativamente baja coercitividad (bajos HIRM y Hcr, y alto S₃₀₀) (Figura 17, Tabla 5). Los parámetros geoquímicos muestran bajos valores de Ti, Fe, Ca, Ca/Ti, y relativamente altos Si y Si/Ti (Figura 18 y tabla 5.) (Anexo 1).

Unidad IIIb

A partir de los 0.63 m a 1.5 m de profundidad, se encuentra un depósito volcánico constituido de tres partes. De la cima a la base está compuesto por una capa de 0.12 m de espesor de ceniza gruesa a lapilli de color gris pardo (10YR 7/3), con gradación normal. La parte media está constituida por un depósito de 0.42 m de espesor de ceniza fina a media, de color negro, masivo a tenuemente bandeado. Las bandas son discontinuas y de contornos irregulares, de 1 a 3 cm de espesor (Figura 16). Le subyace una capa de ceniza de color gris pardo (10YR 7/3) a negra, con un espesor de 0.23 cm.

En los 0.10 m inferiores se encuentra un depósito de ceniza, pómez y lapilli de color gris pardo, pobremente seleccionados (diámetro 2 cm a 4 cm),

indurados, en los cuales la fracción más fina consiste en anfíboles y vidrio volcánico.

Los componentes magnéticos indican altos valores de S.M, SIRM y HIRM, los cuales indican mayor concentración de minerales ferrimagnéticos y antiferromagnéticos; los valores bajos de ARM/IRM₁₀₀ indican componentes magnéticos de tamaño grueso, y los valores de Hc y S₃₀₀ señalan coercitividad variables, en general altas (Figura 17; Tabla 5; Anexo 1). Los elementos mayores presentados y sus cocientes muestran altos valores de indicadores terrígenos Ti, Fe, Ca, y Ca/Ti, así como bajo Si/Ti (Figura 18; Tabla 5; Anexo 1).

XOC15-III

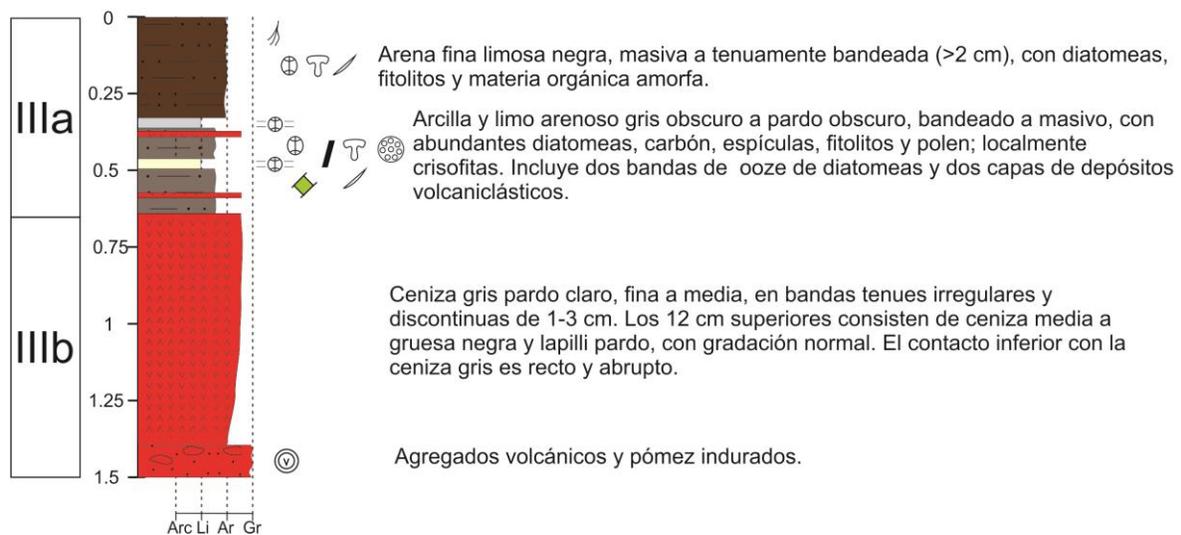


Figura 16. Columna estratigráfica del núcleo XOC15-III.

XOC15-III

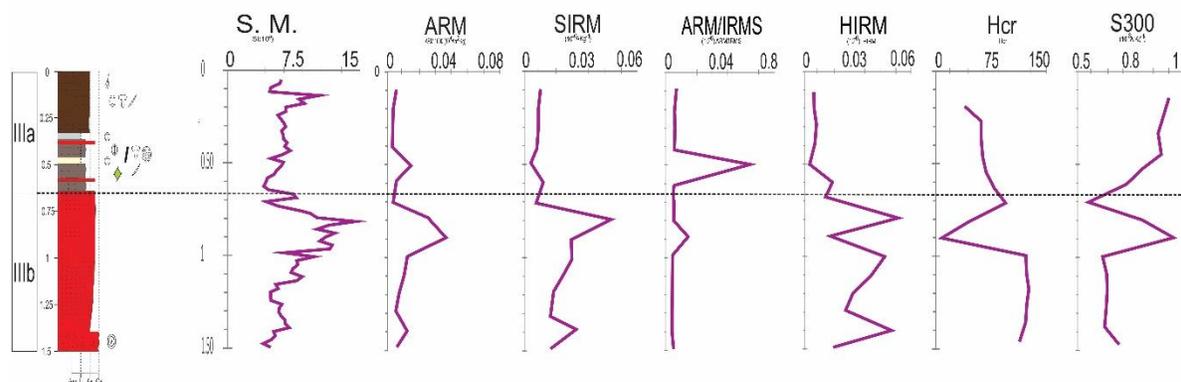


Figura 17. Resultados de propiedades magnéticas obtenidas para XOC15-III.

XOC15-III

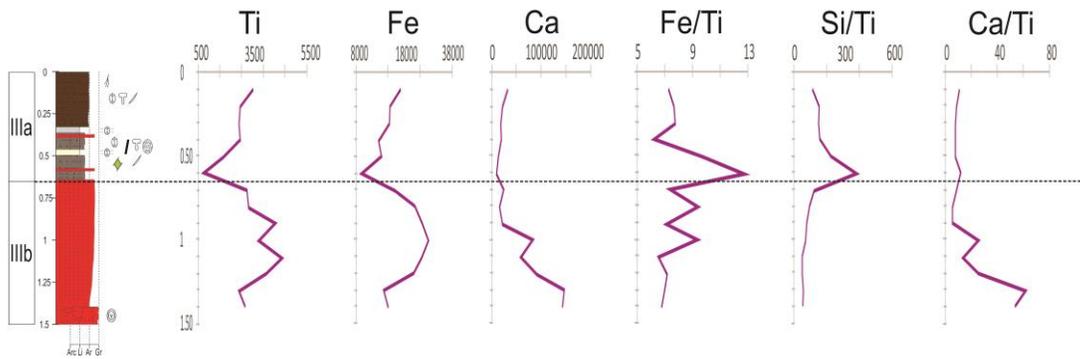


Figura 18. Elementos mayores selectos y relaciones geoquímicas del núcleo XOC15-III.

Tabla 5. Valor máximo registrado (color gris) y valor mínimo (color blanco) en los análisis magnéticos y geoquímicos obtenidos en las mediciones de cada unidad del núcleo XOC15-III.

Unidad	XOC15-III													
	Indicadores Magnéticos							Indicadores Geoquímicos						
	S.M	ARM	SIRM	ARM/IRM 100	HIRM	HCR	S300	Ti	Fe	Ca	Fe/Ti	Si/Ti	Ca/Ti	Ca/Sr
III-a	10.4606	0.00024	0.01171429	0.06238384	0.013228	101.614	0.8923	173726	22244	190540	25624	0.128041	1.47080619	7.436
	1.91092	5.338E-05	0.00290056	0.0051315	0.003607	70.1491	0.78649	87984	11751	69245	14929	0.133558	0.57841057	4.63829
III-b	16.05881	0.00059347	0.05420532	0.00860024	5.080959	138.801	0.90372	251347	32321	138911	30948	0.128591	32.747431	4.48853
	1.82697	9.23146E-05	0.0065662	1.8168E-05	0.00675	47.2904	0.69705	399.8	24118.6	64542.9	478.32	60.33	161.44	134.937

VI. Discusión

Correlación estratigráfica y secuencia maestra

El análisis de las características estratigráficas de los tres núcleos XOC15, permitió realizar una correlación entre las diferentes secuencias y establecer una secuencia maestra para los sedimentos superficiales de la zona de estudio (Figura 19). A la fecha no existen dataciones radiométricas en ninguna de las secuencias analizadas en este trabajo; sin embargo, como se discutirá más adelante es posible hacer una estimación del intervalo temporal comprendido en las secuencias, a partir de la comparación de los resultados con otros registros.

Las secuencias descritas entre los núcleos XOC15-II y XOC15-III son esencialmente las mismas, sólo hay una variación en los espesores de las unidades descritas, lo que es razonable dada la cercanía de los sondeos (2 m uno de otro). En ambas secuencias se encuentran los dos ooze de diatomeas característicos, así como las dos capas de ceniza. La ceniza de la base de la unidad IIa corresponde a la encontrada en la cima de la unidad IIIb. El único depósito no encontrado en ambos núcleos fue el lapilli diseminado a 0.30 m de profundidad del núcleo XOC15-II (Figura 20). Esto quizá se deba a que con frecuencia los depósitos se encuentran como capas discontinuas, en particular las más delgadas.

A 2.84 km, al este (E) del sitio de perforación de los núcleos XOC15-II Y XOC-III, se encuentra el punto de muestreo perteneciente al núcleo XOC15-I. No hay una correlación entre las características litoestratigráficas de las secuencias sedimentarias de ambas localidades. La abundancia de carofitas y los altos valores de la relación Ca/Ti en la unidad Id no tienen correspondencia con ninguna de las unidades de los núcleos XOC15-I y II. Tampoco la secuencia de la unidad IIIa correlaciona con sección alguna del núcleo XOC15-I.

Únicamente el depósito volcánico de la parte basal de XOC15-III (parte inferior de la unidad IIIb), comparte características sedimentológicas y de propiedades magnéticas con la cima de XOC15-I (unidad Ia). Este depósito consiste de ceniza, pómez y lapilli de color gris pardo (10YR 7/3), masivo e indurado. En ambas secuencias sedimentarias, este depósito volcánico tiene valores de S.M. de alrededor de 5×10^{-5} SI, y en general bajos valores de ARM y SIRM. A partir de las características señaladas, se considera que estos depósitos correlacionan entre sí.

Ya que se desconoce el espesor de esta unidad de materiales volcánicos endurecidos, en este trabajo se asume que tiene el espesor de la suma del depósito en los dos sondeos.

A partir de las correlaciones estratigráficas arriba señaladas, se establece la secuencia maestra de los sedimentos colectados en los núcleos XOC15 y se renumeran las unidades estratigráficas como se muestra en la Figura 19.

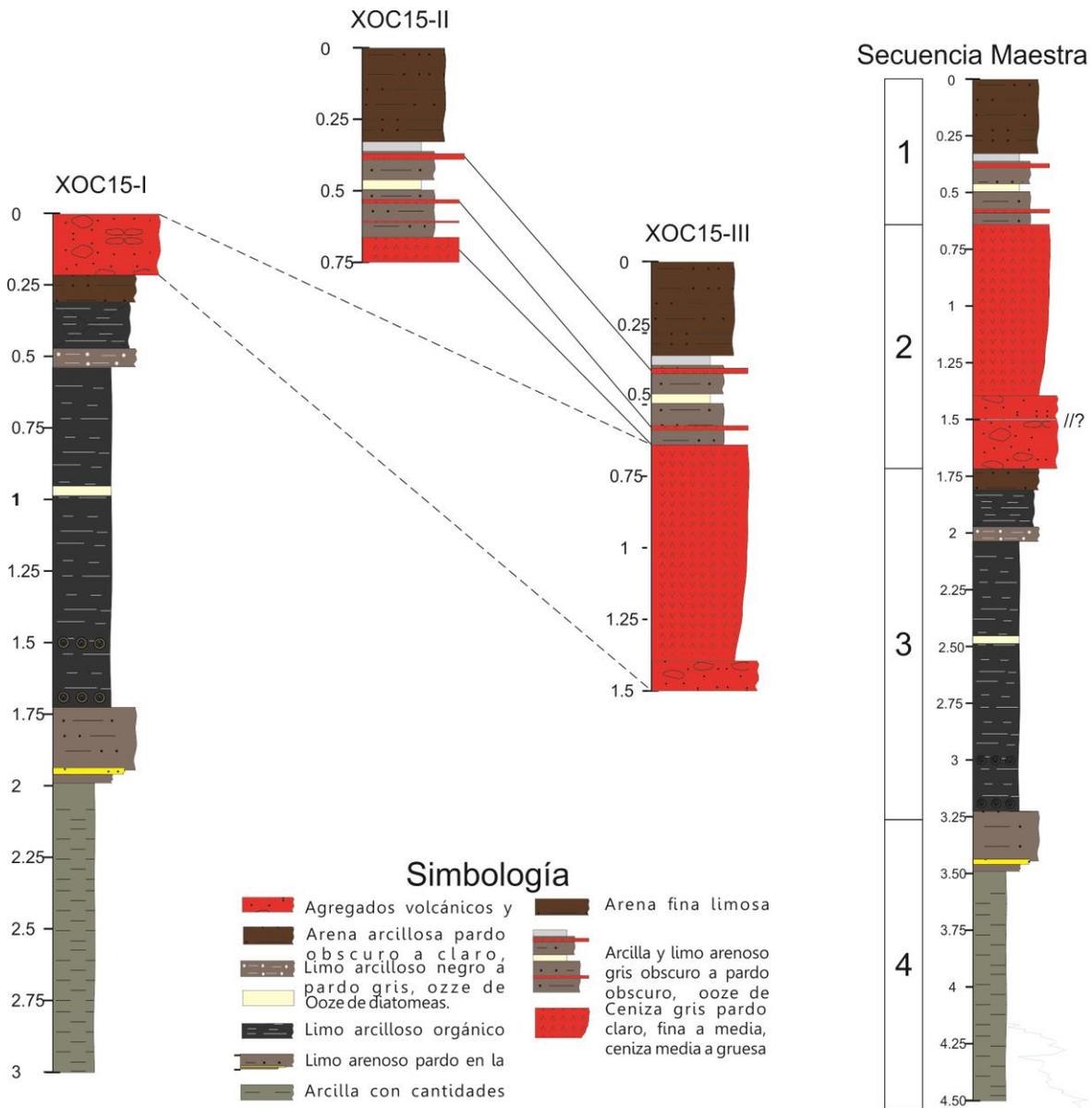


Figura 19. A la izquierda: correlación estratigráfica de los núcleos XOC15-I, XOC15-II Y XOC15-III de la cuenca de Xochimilco. A la derecha: secuencia maestra XOC15.

Significado paleoambiental de las características sedimentológicas y los parámetros magnéticos y geoquímicos.

A continuación, se discute la secuencia de eventos paleoambientales inferidos a partir de los análisis realizados, a lo largo de la secuencia maestra establecida. Se seleccionaron los parámetros magnéticos y geoquímicos que aportan una mayor información.

Unidad 4

La estructura tenuemente bandeada de los sedimentos así como los bajos valores de indicadores de aporte terrígeno (S.M., SIRM, Ti y Fe) indican que la sedimentación durante esta unidad fue limitada, en ambientes relativamente tranquilos con escaso aporte de una fracción clástica gruesa, y sin bioturbación que destruyera la estructura en bandas (Figura 20). Esta unidad se caracteriza por una gran abundancia de componentes orgánicos calcáreos (crisofitas, ostrácodos y aún los gasterópodos).

Si bien en ambientes volcánicos los minerales magnéticos más abundantes son las Ti-magnetitas, la mineralogía magnética en esta unidad está caracterizada por una fracción importante de minerales de alta coercitividad o "duros" ($H_{cr} > 100$, $S_{300} < 0.8$), lo que indica la relativamente alta abundancia de hematita o goethita, con tamaños de dominio que varían de gruesos (MD) a medios (PSD), como se observa en el diagrama de Day (Day et al., 1977; Figura 21). Estos minerales se originan a partir de la oxidación de minerales de Fe. La relación Fe/Ti presenta valores relativamente altos, lo que indica una alteración de silicatos u óxidos de Fe, los cuales pudieron originar la goethita o hematita. Los valores altos de Ca y de la relación Ca/Ti indican aguas con relativamente alta concentración iónica.

En conjunto, las características registradas en los sedimentos de esta unidad, señalan condiciones secas y cálidas, bajo las cuales prevaleció una baja precipitación en relación con la evaporación ($< p/e$), lo que favoreció la concentración de iones en el lago, la precipitación de carbonatos, y la consecuente existencia de organismos calcáreos. Estas características ambientales son congruentes con la formación de minerales como hematita o goethita (Roberts, 2015).

Unidad 3

La unidad 3 se caracteriza por tener en general una textura de grano fino (limo arcilloso), con una estructura tenuemente bandeada, lo que sugiere un ambiente

tranquilo de depósito, sin bioturbación. La asociación de componentes orgánicos cambia respecto a la unidad anterior, son más abundantes las diatomeas y otros restos silíceos como fitolitos, no se presentan las carofitas y sólo localmente son abundantes los ostrácodos.

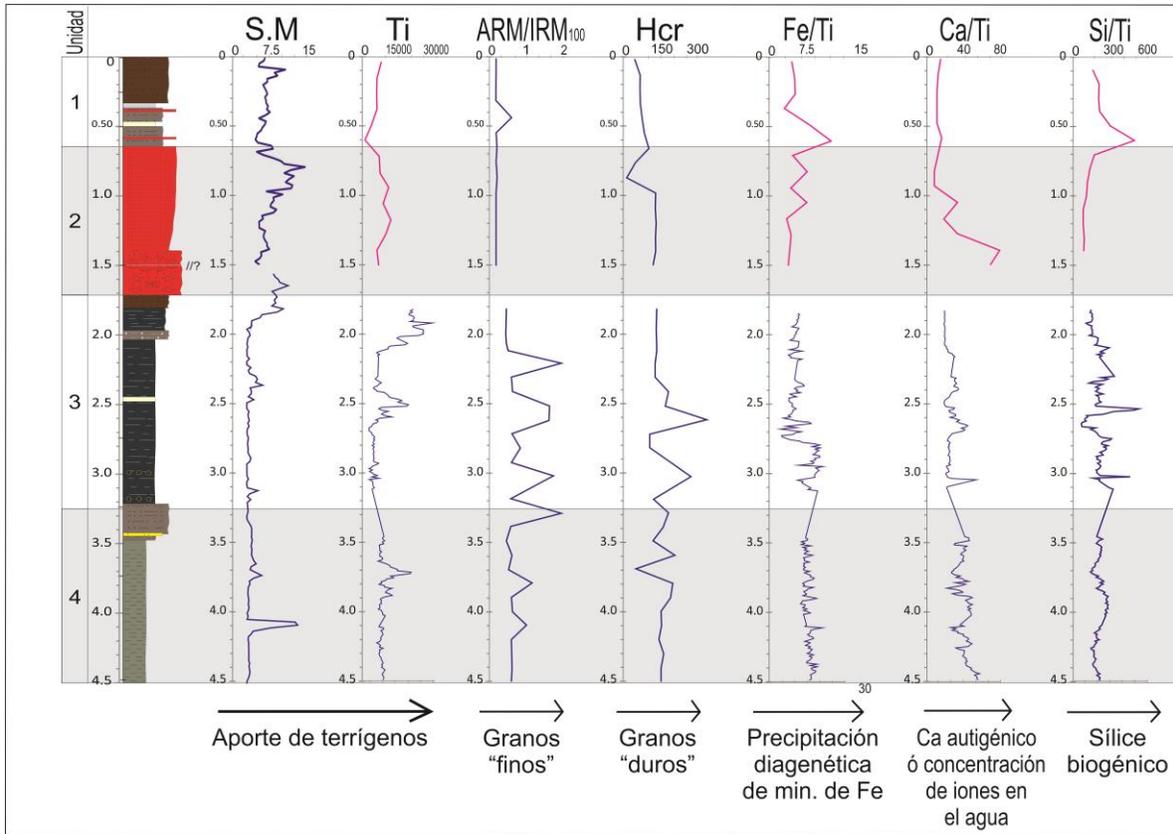


Figura 20. Secuencia maestra y algunos parámetros selectos de magnetismo de rocas y elementos mayores y sus relaciones.

El aporte de terrígenos es restringido, como se observa en la S.M., Ti y Fe, y sólo localmente presenta un moderado aumento.

En la parte inferior de la unidad 3 la mineralogía magnética se caracteriza por una mayor abundancia de minerales finos de una coercitividad alta (> ARM/IRM₁₀₀ y Hcr, Figura 21) de dominio pseudosencillo (PSD, Figura 22). Hacia la parte superior de la unidad (arriba de 2.10 m de profundidad), disminuye la abundancia de minerales finos y la coercitividad de los mismos. El aumento en la relación Fe/Ti sugiere neoformación de minerales magnéticos, que podrían corresponder hematitas/goethitas del tamaño fino (PSD).

El sílice biogénico (Si/Ti) es relativamente alto en esta unidad, lo que indica un aumento en la productividad de organismo silíceos, y los valores relativamente bajos de la relación Ca/Ti, sugieren en general condiciones de bajas

concentraciones de iones (menores que la unidad precedente). Estas características indican un balance p/e (precipitación/evaporación) positivo, es decir un cambio a condiciones más húmedas que en la unidad anterior; aunque con ocasionales intervalos secos con valores mayores en Ca/Ti.

La formación de minerales magnéticos finos pudo llevarse a cabo en los suelos cercanos a la cuenca, y posteriormente transportados al cuerpo lacustre. Por arriba de 2.10 m de profundidad aumenta el contenido de terrígenos, lo que provoca la disminución (o la dilución) de los otros componentes.

El ambiente de depósito que se infiere para esta unidad es un ambiente distal dominado por sedimentación clástica fina sin bioturbación, un cuerpo lacustre relativamente más extenso y más profundo que en la fase anterior, con alta productividad biológica, y en torno al lago el desarrollo de suelos en los que se formaron hematitas o goethitas. Estas características ambientales cambiaron hacia la parte superior de la unidad, a una sedimentación más gruesa originada probablemente por la reducción del lago.

Unidad 2

La unidad 2 corresponde al depósito de lapilli y ceniza endurecido. Los parámetros magnéticos y geoquímicos están controlados por la composición de estos productos volcánicos, por lo que no representan indicadores de condiciones climáticas, y la presencia de componentes biogénicos es muy limitada.

Las variaciones en S.M., Fe/Ti y Ca/Ti reflejan variaciones en la composición de los productos volcánicos, por lo que sus partículas magnéticas se encuentran ubicadas en el diagrama de Day, en el dominio PSD con tendencia al MD.

El espesor de esta unidad sugiere, que estos materiales volcanoclásticos pertenecen a una fuente cercana a la subcuenca de Xochimilco, las estructuras volcánicas más jóvenes y cercanas son los aparatos volcánicos de la sierra Santa Catarina, a 5.3 km de distancia, por lo que podrían pertenecer a un evento asociado a esta sierra.

Unidad 1

La unidad uno está caracterizada por presentar valores altos de S.M. (Figura 20). Los minerales magnéticos son relativamente más suaves que en las unidades 3 y 4 (< Hcr), lo que indica una disminución en los minerales como hematita y goethita. En el diagrama de Day se observa una distribución de las partículas magnéticas en las regiones de tamaños más gruesos, en los dominios PSD y MD (Figura 21), lo que es congruente con la disminución de ARM/IRM₁₀₀.

Los bajos valores de la relación Ca/Ti indican una baja concentración iónica y por tanto un balance positivo en p/e. Tanto la abundancia de componentes biogénicos silíceos observada (principalmente diatomeas), como los altos valores de Si/Ti, indican una mayor productividad biológica. El ambiente de depósito que se infiere es un ambiente próximo al litoral, en relación con las unidades anteriormente descritas, en el que dominó una sedimentación clástica de arena fina y limo. Estas características sugieren la existencia de un cuerpo lacustre de aguas poco concentradas, aunque de extensión más reducida.

Diagrama de Day

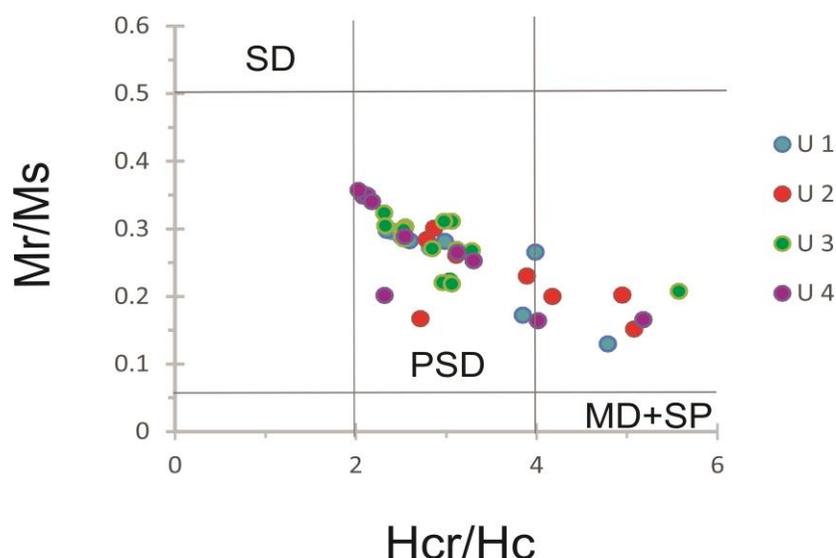


Figura 21. Diagrama de Day (Day et al., 1977). Representa la distribución de tamaño de dominio de los minerales magnéticos en las unidades litoestratigráficas de la secuencia XOC15. Los tamaños de los minerales magnéticos varían de PSD (dominio pseudosencillo) a MD (multidominio). Las unidades 1 y 2 (U1 y U2) tienen una mayor dispersión de tamaños, entre PSD y MD. Las unidades 3 y 4 (U3 y U4), presentan una distribución más restringida, mayormente PSD con tendencia a tamaños finos de dominio sencillo (SD).

Comparación con otros registros

Registros en Xochimilco

Entre los estudios paleoclimáticos en la subcuenca de Xochimilco se encuentran los realizados por Reyes Corona (2017) y Albarrán Santos (2018), en los cuales presentan una interpretación paleoambiental de una secuencia lacustre (XOC16-II), que abarca entre 5,000 y 18,000 años calibrados antes del presente (cal AP). Estos estudios incluyen análisis litoestratigráficos, de magnetismo de rocas y de indicadores geoquímicos. En esta secuencia los autores identificaron marcadores estratigráficos, como son los depósitos de la ceniza: Pómez Toluca Superior (PTS) y la Pómez Tutti Frutti (PTF),

En la secuencia XOC16-II, posteriormente al depósito de la PTS, fechada en 12,300 años cal AP (Arce et al, 2003), ocurre un notable cambio durante el Holoceno temprano (11,700 a 8,350 años cal AP): un aumento en la relación Ca/Ti y bajos valores de SM, Ti y Fe. Estas características son atribuidas a condiciones cálidas y secas del inicio del interglacial del Holoceno.

Durante el intervalo analizado, no existen valores altos de Ca/Ti como los registrados en este periodo. El incremento del cociente Ca/Ti en la secuencia XOC16-II es el mejor indicio para establecer una correlación ente esta secuencia y los sedimentos de la secuencia XOC15, lo que permite también estimar una temporalidad para la misma.

Reyes-Corona (2017) estimó una edad aproximada de 10,500 a 4,060 años cal AP al intervalo más seco ($> Ca/Ti$), aunque Albarrán Santos (2018) revisó la cronología y concluyó que el aumento en Ca/Ti en ese núcleo (XOC16-II), se ubica entre 11,000 y 8,200 años cal AP. Más aún, Albarrán-Santos (2018) identifica también un aumento de hematita/goethita para este periodo.

En los sedimentos del núcleo XOC15, el incremento de Ca/Ti, la abundancia de componentes calcáreos (carofitas, ostrácodos y gasterópodos) y de hematita o goethita, se observan desde la base de la secuencia hasta la profundidad de 3.22 m en la secuencia maestra (unidad 4, Figura 20). Estas características permiten estimar una edad mínima de 8,350 años cal AP para la unidad 4 de XOC15, y una edad máxima de ca. 11,000 años cal AP (Figura 21). En un sitio cercano al sondeo XOC15-I, se encontraron tanto la PTS como la PTF en excavaciones arqueológicas (G. Acosta, com. per. 2016). Durante la colecta del núcleo XOC15-I, a los 3 m de profundidad se encontró un depósito volcánico endurecido que impidió continuar la perforación. Es posible que este depósito corresponda a la PTS.

En la cima de la unidad 1 de XOC16-II, el ligero aumento en el aporte de detritos (SM $\sim 0.3 \cdot 10^{-5}$ SI), y los bajos valores de la relación Ca/Ti (Figura 22), correlacionan con la parte superior de la unidad 3 de XOC15 (nótese la diferencia en las escalas de S.M. entre ambos núcleos). Este cambio se presenta en XOC16 a partir de 6,100 años cal AP (Albarrán Santos, com. 2018), por lo que se asume que esa es la edad en XOC15 del inicio de la disminución en Ca/Ti (Figura 22).

El depósito volcánico de la unidad 2 en XOC15 no se encontró en la secuencia XOC16-II, por lo que se considera que este depósito y los sedimentos lacustres más recientes que forman la unidad 1 en XOC15, fueron erosionados –o no se depositaron- en XOC16-II.

La edad de la cima de la secuencia XOC15 es desconocida; sin embargo, es probable que corresponda al Holoceno tardío, ca. 2,000 años cal AP (Figura 22).

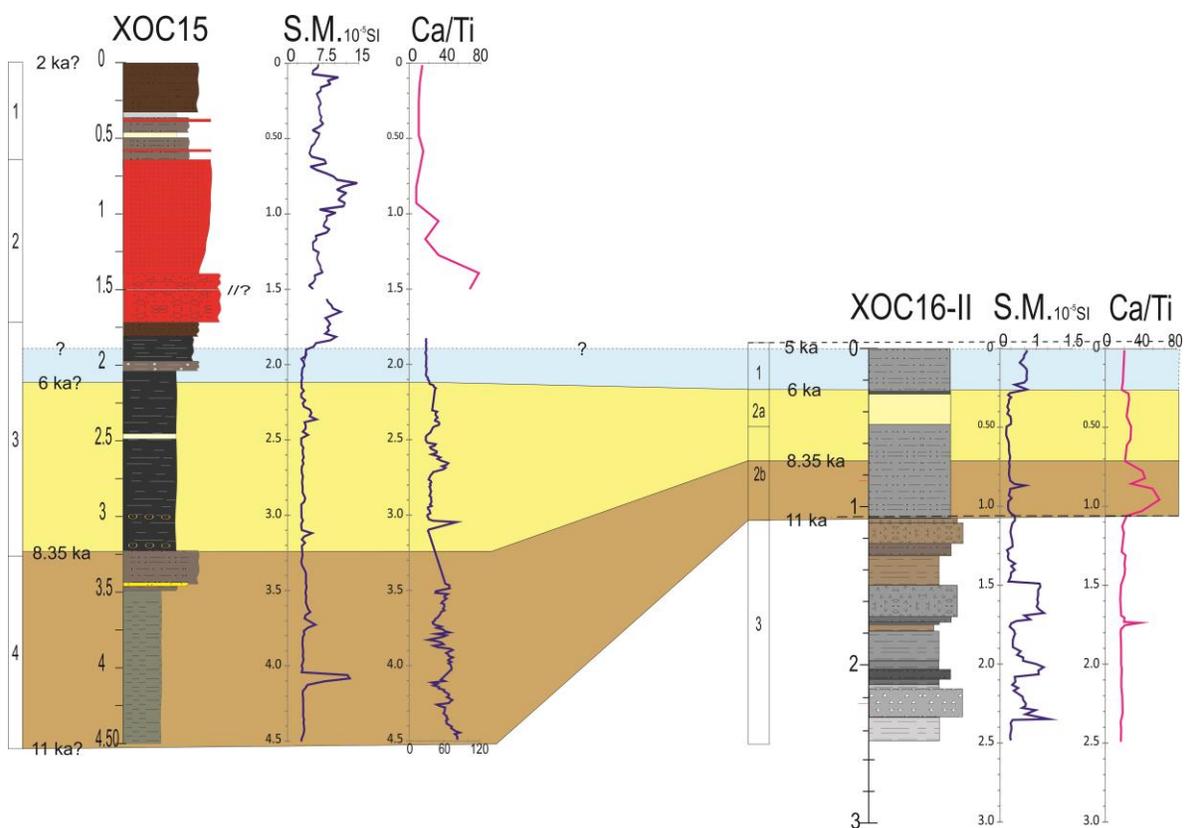
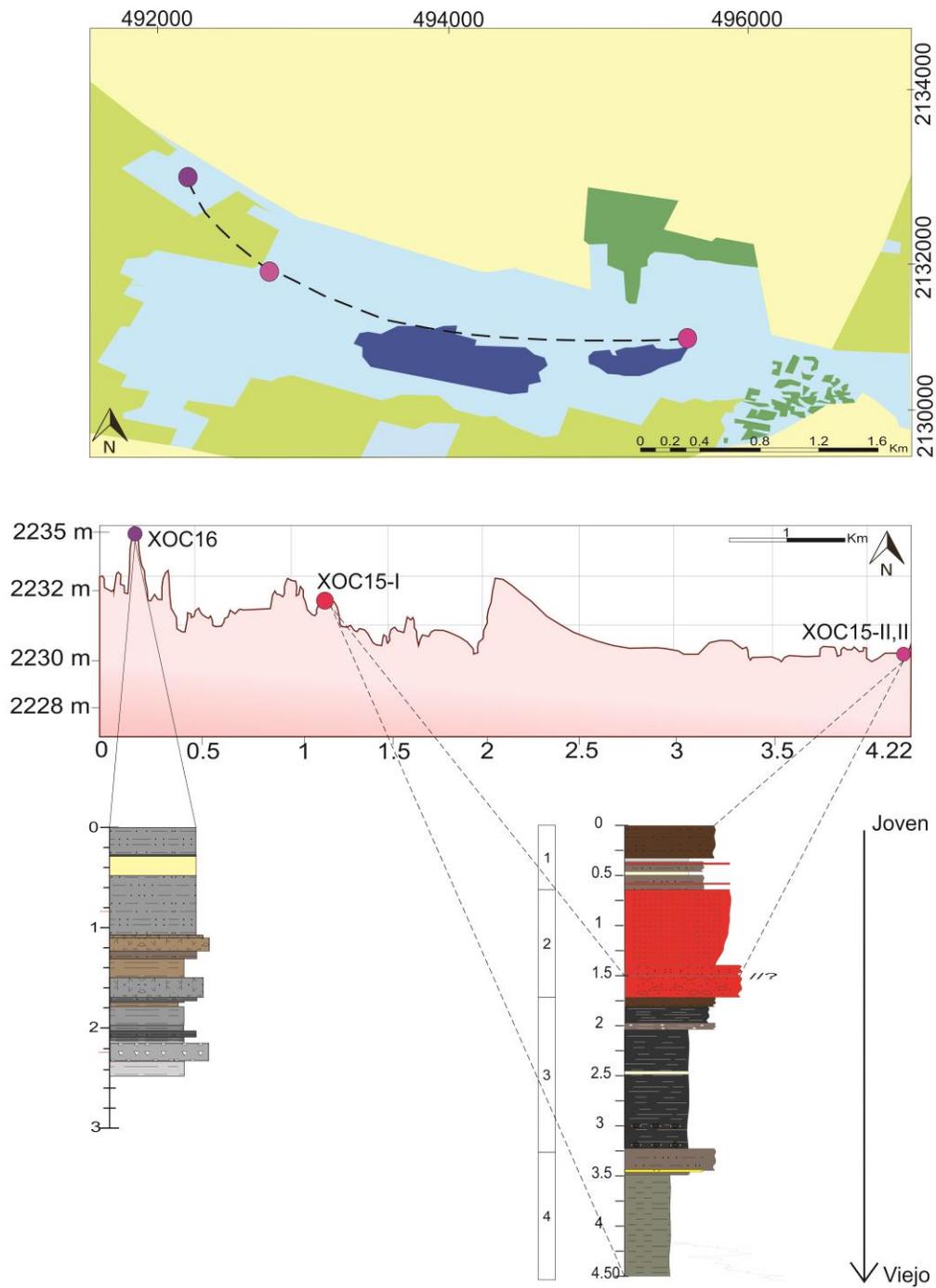


Figura 22. Correlación entre las secuencias XOC15 (izquierda) y XOC16-II (derecha), a partir de las variaciones en la relación Ca/Ti y la susceptibilidad magnética (S.M.). En la relación Ca/Ti en XOC15, la línea azul representa mediciones de FRX realizadas con scanner y la línea rosa representa mediciones realizadas con la pistola Nitton. Los números a la izquierda de las columnas estratigráficas son las edades estimadas en miles de años (ka), calibrados antes del presente. Los

colores representan: Azul: Las condiciones húmedas; Amarillo: Condiciones cálidas; Dorado: condiciones más secas.

Teniendo en consideración el perfil de elevación entre los sitios de perforación de las secuencias XOC15 y XOC16-II, se observa que se encuentran a 2,230 m snm y 2,235 m snm, respectivamente (Figura 23). La diferencia de altitudes, la mayor potencia de los sedimentos en la secuencia XOC16 y la preservación de sedimentos más jóvenes en ella, indica que el sondeo XOC16-II se ubica más cercano a la orilla del lago, mientras que XOC15 está más próximo al depocentro. Esta posición favoreció la mejor preservación de la secuencia sedimentaria en XOC15, al estar mejor protegida por el lago aún en épocas de bajos niveles.

Debido a esta diferencia de alturas y de ambiente de depósito, no se encontraron paquetes de sedimentos lacustres con características similares del Holoceno tardío entre ambos núcleos. Por lo tanto podemos afirmar que la secuencia XOC15, tienen un registro más joven y mejor preservado del Holoceno tardío que el encontrado en XOC16.



— — Perfil de elevación ● XOC16 ● XOC15-I ● XOC15-II,III

Figura 23. Perfil de elevación obtenido en Google Earth, en donde se muestra la ubicación de los diferentes sitios de muestreo pertenecientes a la cuenca de Xochimilco. Se observan los cambios de altitud respecto a nivel del mar y el lugar de deposición de los sedimentos lacustres para cada secuencia lacustre.

Registros del centro de México

Las condiciones secas y cálidas reconocidas en los registros de Xochimilco durante el Holoceno temprano (11,000 – 8,350 años cal AP) (Reyes Corona, 2017; Albarrán Santos, 2018; este trabajo), han sido identificadas en otros sitios del centro de México, como en la cuenca del Lerma (Caballero et al., 2002) y en la cuenca de Chalco (Lozano-García et al., 2015) (Figura 24).

Posteriormente a las condiciones secas del Holoceno temprano, el retorno a condiciones relativamente más húmedas durante el Holoceno medio es reconocido en la cuenca de Chalco (Lozano-García et al., 2015), y en el registro de Santa Cruz Atizapán en la cuenca del Lerma (Caballero et al., 2002), así como también en este trabajo (Figura 24).

La temporalidad de los eventos climáticos relacionados con el Holoceno, presentan diferencias en los lagos del centro de México. Las condiciones más secas inician entre 11,500 y 11,000 años cal AP en los registros, y fueron más intensas hasta ca. 8,300 años cal AP. Sin embargo, el fin de estas condiciones secas y el cambio a niveles lacustres mayores es ambiguo; en Lerma sucede ca. 5,700 años cal AP (Caballero et al., 2002), en Chalco hacia 6,200 años cal AP (Lozano-García et al., 2015), y en Xochimilco ca. 7,000 años cal AP.

Es posible que esta discrepancia, se deba a la existencia de hiatos en los registros como los de Chalco y Xochimilco, ocurrido durante las condiciones secas del fin del Holoceno temprano/Holoceno medio; sin embargo, no hay evidencia en la secuencia sedimentaria perteneciente a XOC15, que presente rasgos que sugieran la exposición aérea de los sedimentos.

Una explicación alternativa puede ser que, en el lago de Xochimilco, las condiciones secas se hayan visto atenuadas en el Holoceno medio entre ~ 8,000 y 6,000 años cal AP (Albarrán Santos, 2018), periodo en el que se presentan valores bajos de Ca/Ti, en comparación con los altos valores en esta relación durante el Holoceno temprano.

En Chalco, los registros paleoambientales terminan hacia 5,000 años cal AP, ya que las actividades humanas y la erosión han provocado la pérdida del registro de los últimos miles de años (Lozano-García et al., 2015). En la cuenca del Lerma el registro sedimentario lacustre está mejor preservado. Las condiciones relativamente húmedas reconocidas en Xochimilco durante el Holoceno medio y posiblemente el Holoceno tardío, se registran también en el Lerma entre 5,700 y 5,000 años cal AP (Caballero et al., 2002), en donde existió un estanque de agua dulce.

La reducción del cuerpo de agua inferido para Xochimilco en la parte superior del registro XOC15 (0.35 m superiores), correlacionan también con la reducción en los niveles lacustres en Lerma, que se ha fechado entre ~ 4,000 y 2,000 años cal AP.

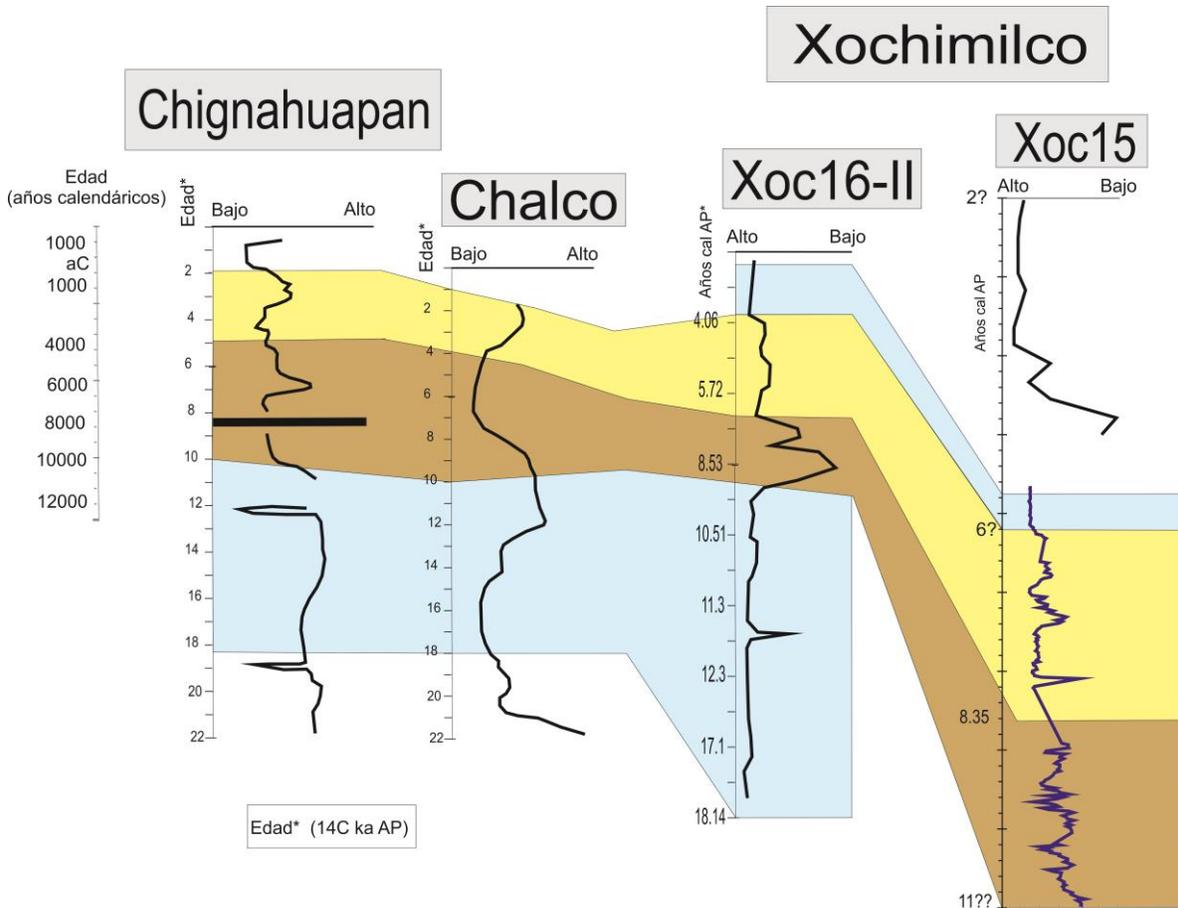


Figura 24. Comparación con otros registros del centro de México. Chignahuapan, en la cuenca del Lerma (Caballero et al., 2002); Chalco (Caballero y Ortega-Guerrero, 1998) y Xochimilco XOC16-II (Reyes Corona, 2017; Albarrán Santos, 2018), en la cuenca de México en base a la relación geoquímica de Ca/Ti. Los colores distinguen las variaciones de dichos registros, (el color azul hace referencia a las condiciones climáticas húmedas, el color amarillo hace referencia a las condiciones climáticas cálidas, el color dorado hace referencia a las condiciones más secas). Cal: edades calibradas antes del presente; 14C: edades de radiocarbono (no calibradas); Alto-Bajo: niveles lacustres.

VII. Conclusiones

La secuencia estratigráfica maestra establecida a partir de los núcleos XOC15 (I-III), abarca el intervalo de tiempo aproximado entre ~11,000 a ~2,000 años cal AP, que corresponde del Holoceno temprano al Holoceno tardío. El análisis combinado de componentes sedimentarios, mineralogía magnética e indicadores geoquímicos permitió determinar las variaciones paleoambientales ocurridas en Xochimilco en ese intervalo temporal.

Los componentes sedimentarios dominantes a lo largo de la secuencia están representados por la fracción clástica, derivados principalmente de material de origen volcánico.

La fracción biogénica se compone principalmente por diatomeas y ostrácodos, y en menor abundancia, de crisofitas, fitolitos, espículas de esponja y restos herbáceos.

Se distinguieron 4 unidades litoestratigráficas, que corresponden cercanamente con las variaciones de los registros geoquímicos y de mineralogía magnética establecidas.

En el Holoceno temprano, entre ~11,000 y 8,350 años cal AP, que corresponden a la unidad 4 de la secuencia maestra, la abundancia de componentes calcáreos como ostrácodos y carofitas, los altos valores de Ca/Ti y la presencia de minerales como hematita y goethita, indican condiciones secas y cálidas. Estas características han sido reconocidas en otros registros del centro de México.

Entre 8,350 y 6,000 años cal AP, periodo que corresponde al Holoceno medio, la disminución en Ca/Ti y aun aumento en la productividad ($> \text{Si/Ti}$), observable en la unidad 3, así como la formación de magnetita por procesos pedogénicas, indican en conjunto un cambio a condiciones relativamente más húmedas.

En el Holoceno tardío (ca. 4,000 años AP), se presenta una alta actividad volcánica, inferida a partir de la dominancia de material volcaniclástico.

Para el Holoceno tardío se infiere una extensión del cuerpo lacustre bajo un balance positivo de precipitación/evaporación, con un aumento de la productividad biológica en aguas poco concentradas.

Las variaciones climáticas inferidas en la secuencia son acordes con las interpretaciones de otros registros del centro de México (Chalco y Lerma), tales como las condiciones secas del Holoceno temprano, el cambio a condiciones

relativamente más húmedas durante el Holoceno medio, y el retorno a cálidas en el Holoceno tardío.

Este estudio es una contribución importante en la reconstrucción de las condiciones paleoambientales del Holoceno para la cuenca de Xochimilco, que complementa los estudios previos llevados a cabo en la zona.

VIII. Bibliografía

Aguayo-Camargo, J.E., Marín-Córdova, S., Sánchez-Díaz, F., (1989), Evolución geológica de la Cuenca de México: Boletín de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Tópicos geológicos de la Cuenca del Valle de México: Memoria de Simposio, 25–41.

Albarrán Santos, M.A. 2018. Historia paleoambiental de la subcuenca de Xochimilco entre ca. 18 y 5 ka cal AP: magnetismo ambiental y geoquímica aplicados a la paleolimnología. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 87 pp.

Arce, J.L, Macías, J.L., Vázquez-Selem, L., (2003), The 10.5 ka Plinian eruption of Nevado de Toluca volcano, Mexico: Stratigraphy and hazard implications: Geological Society of America Bulletin, 115 (2), 230-248.

Arce J. L., Layer P. W., Morales Casique E., Benowitz J. A., Rangel E., Escolero O., (2013). "New constraints on the subsurface geology of the Mexico City Basin: The San Lorenzo Tezonco Deep well, on the basin of 40 Ar/39 Ar geochronology and whole rock chemistry: Journal of Volcanology and Geothermal Research: 266, 34-49."

Almanza Hernández Rangel Núñez Garfias García (2014), Estudio de microscopía electrónica en un sitio ubicado en la zona del ex lago de Xochimilco, UAM ; DOC. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:lcluPeDqgBIJ:www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/19_XXVII_Reunion_Nacional_de_Ingenieria_Geotecnica/36_Reunion_Nacional/86_SUELOS_BLANDOS/A14RANJ_1.doc+&cd=5&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx

Arce J.L., Layer P., Martínez I., Salinas J.I., Macías-Romo M.C., Morales-Casique E., Benowitz J., Escolero O., Lenhardt N. (2015). Geología y estratigrafía del pozo profundo San Lorenzo Tezonco y de sus alrededores, sur de la Cuenca de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 67, núm. 2, p. 123-143.

Arellano, A. R. (1953). Estratigrafía de la Cuenca de México. Congreso Científico Mexicano, México, Vol. 3, pp. 172-187.

Bradbury J.P. (1989). "Late Quaternary lacustrine paleoenvironments in the cuenca de México". Quaternary Science Reviews. Vol. 8, pp. 75-100.

Bücker M., Lozano Garcia S., Ortega Guerrero B., Caballero Miranda M., Pérez L., Caballero L., Pita de la Paz C., Sánchez-Galindo A., Villegas F.J., Flores Orozco A., Brown E., Werne J., Valero Garcés B., Schwalb A., Kemna A., Sánchez-Alvaro E., Launizar-Martínez N., Valverde-Placencia A., Garay-Jiménez F. (2017) "Goelectrical and Electromagnetic Methods Applied to Paleolimnological Studies: Two Examples from Desiccated Lakes in the Basin of Mexico". Bol. Soc. Geol. Mexicana 69(2), 279-298.

Caballero Miranda M. E. 1997. Reconstrucción paleolimnológico del lago de Chalco, México, Durante el Último Máximo Glacial , Instituto de Geología ,UNAM; PDF. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZCOt2SCzVZAJ:dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/281499.pdf+&cd=4&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx>

Caballero-Miranda M. (1997). "Reconstrucción paleolimnológica del Lago de Chalco, México, durante el Último Máximo Glacial-el registro de diatomeas entre 34,000 y 15,000 años A. P.". Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 14, no. 1, pp. 91-100. 43-44, pp. 125-136.

Caballero M. y Ortega Guerrero B. (1998). "Lake Levels since about 40,000 Years Ago at Lake Chalco, near Mexico City". Quaternary Research. Vol. 50, no. 1, pp. 69-79.

Caballero, M.M., Lozano, G.S., Ortega, G.B., Urrutia, F.J., Macias, J.L., (1999). Environmental characteristics of Lake Tecocomulco, northern basin of Mexico, for the last 50,000 years. J. Paleolimnol. 22, 399-411.

Caballero, M. M., Ortega, B., Valadez, F., Metcalfe, S. Macías, J.L., Sugiura, Y., (2002). Sta. Cruz Atizapán: a 22-ka lake level record and climatic implications for the late Holocene human occupation in the Upper Lerma Basin, Central Mexico. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 186 (2002) 217-235.

Datos climáticos mundiales, clima: Xochimilco. Climograma de Xochimilco. <https://es.climate-data.org/location/328587/>.

Day, R., Fuller, M. and Schmidt, V. A. (1977), Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain size and composition dependence. Phys. Earth Planet. Inter. 13, 260-267.

De Cserna, Z. et al. (1988). Estructura geológica, gravimétrica, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México. Inst. de Geología, UNAM, México, Boletín 104, 71 p.

Dearing J. A., Flower R. J. (1982) The magnetic susceptibility of sedimenting material trapped in Lough Neagh, Northern Ireland, and its erosional significance.

Dearing, J.A., Hay, K.L., Baban, S.M.J., Huddleston, A.S., Wellington, E.M.H., Loveland, P.J., (1996). Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. *Geophys. J. Int.* 127, 728–734.

Dekkers, M., 1997. Environmental Magnetism: An introduction. *Geologie en Minjbouw*, 76, 163-182

Evans, M. E. y Heller, F. (2003). *Environmental Magnetism. Principles and applications of enviromagnetics*. Academic Press 2003, ISBN 0-12-243851-5, 312 pp

Ferrari L., (2000). "Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década" *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. LIII, P. 84-92.

Fries, C. Jr. (1960). *Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región de México*. Instituto de Geología, UNAM, Boletín 60, 23 p.

García-Palomo, A., Macías, J.L., Tolson, G., Valdez, G., Mora, J.C., (2008), Volcanic stratigraphy and geological evolution of the Apan región, east-central sector of the Trans-Mexican Volcanic Belt: *Geofísica Internacional*, 41, 133-150.

Gómez Tuena A., Orozco Esquivel Ma. T. y Ferrari L., (2005). "Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana." *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* Vol. Conmemorativo del Centenario Grandes Fronteras Tectónicas de México Tomo LVII, Núm. 3, P. 227-283.

Inegi, *Delimitación de las zonas Metropolitanas de México*, Inegi, 2005 PDF http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/otras/zonas_met.pdf

Jaimes-Viera, C., Martin del Pozzo, A.L., Layer, P.W., Benowitz, J.A., Nieto-Torres, A. 2018. Timing the evolution of a monogenetic volcanic field: Sierra Chichinautzin, Central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 356, 225-242.

Labougle-Alviar (2010). Activación Estadístico espacial como fuente de un ordenamiento territorial en la región de la zona sur de la Ciudad de México, en las delegaciones Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco. Procuraduría Ambiental y del ordenamiento territorial del D.F., Diciembre, 2010.

Layer, P.W., García-Palomo, A., Jones, D., Macias, J.L., Arce, J.L., Mora, J.C., (2009), El Chichón volcanic complex, Chiapas, Mexico: Stages of evolution based on field mapping and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology: *Geofísica Internacional*, 48, 33-54.

Liu, Roberts, A. P., Larrasoaña, J. C., Banerjee S. K., Guyodo Y., Tauxe L. y Oldfield F., 2012. Environmental magnetism: Principles and applications. *Reviews of Geophysics*, 50, RG4002, 1-50

Lozano-García, M.S., Ortega-Guerrero, B., Caballero-Miranda, M., Urrutia-Fucugauchi, J., (1993), *Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco Lake, central Mexico*: *Quaternary Research*, 40, 332-342.

Lozano-García, M.S., Ortega-Guerrero, B., (1998), Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of Mexico; correlation between Texcoco and Chalco basins: Review of Paleobotany and Palynology, 99, 77-93.

Lozano García M.S., Ortega B., Roy P.D., Beramendi-Orosco L., Caballero M. (2015). Climatic variability in the northern sector of the American tropics since the latest MIS 3. *Quaternary Research*. *Quaternary Research* 84, 262-271. doi:10.1016/j.yqres.2015.07.002.

Lozano García S., Brown E.T., Ortega B., Caballero M., Werne J., Fawcett P.J., Schwalb A., Valero Garcés B., Schnurrenberger D., O'Grady R., Stockhecke M., Steinman B., Cabral Cano E., Caballero C., Sosa Nájera S., Soler A.M., Pérez L., Noren A., Myrbo A., Bückler M., Wattrus N., Arciniega A., Wonik T., Watt S., Kumar D., Acosta C., Martínez I., Cossio R., Ferland T, y Vergara Huerta F. 2017. Perforación profunda en el lago de Chalco: reporte técnico, *Bol. Soc. Geol. Mexicana* 69(2), 299-311.

Lugo-Hubp J., Mooser F., Pérez-Vega A., Zamorano-Orozco J. (1994). "Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina, D.F., México". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 11, no. 1, pp. 43-52.

Maher, B. A. y Thompson, R., 1999. *Quaternary Environments, Climates and Magnetism*. Cambridge University Press. ISBN 0-521-62417-7

Marín-Córdova S. et al. (1986). Sistemas mayores de fallamiento en la Cuenca de México y su relación con la sismicidad. Resúmenes de la VIII Convención Geol. Nal., México, D. F.

Mooser, F. (1963). "La cuenca lacustre del Valle de México". *Mesas Redondas sobre Problemas del Valle de México*, Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A. C. México., pp. 12-16.

Morris, A., 2003, A palaeomagnetic and rock magnetic glossary, *Tectonophysics* 377, 211-228.

Ortega-Guerrero B., Newton A. J. (1998). "Geochemical Characterization of Late Pleistocene and Holocene Tephra Layers from the Basin of Mexico, Central Mexico". *Quaternary Research*. Vol. 50, No. 1, pp. 90-106.

Ortega Guerrero B., Lozano García Ma. S., Caballero M., Herrera Hernández D. (2015). Historia de la evolución deposicional del lago de Chalco, México, desde el MIS 3. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*, vol. 67 (2).

Ortega Guerrero B., Lozano-García S., Herrera-Hernández D., Caballero M., Beramendi-Orosco L., Bernal J.P., Torres-Rodríguez E., Avendaño-Villeda D. (2017). Lithostratigraphy and physical properties of lacustrine sediments of the last ca. 150 kyr from Chalco basin, central Mexico. *Jour. South Am. Earth Sci.* 79, 507-524.

PAOT, Programa delegacional de desarrollo urbano de Xochimilco,(2010), PDF, <http://www.paot.org.mx/centro/programas/delegacion/xochimi.html>

Pérez-Cruz G. A., (1988). "Estudio sismológico de reflexión del Subsuelo de la Ciudad de México". Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Reyes Corona, I.Y. (2017), Estratigrafía y paleoambientes del Pleistoceno tardío de la cuenca de Xochimilco, México, Tesis licenciatura; Instituto Tecnológico de Venustiano Carranza-Instituto de Geofísica, UNAM.

Roberts, A. P. (2015), Magnetic mineral diagenesis. *Earth-Science Reviews* 151, 1-47.

Rollinson, H.R. (1993) *Using Geochemical Data: Evolution, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific and Technical, England.

Romero-Terán, E., (2001), Geología del Complejo Volcánico San Miguel, al sur poniente de la Cuenca de México, Tesis de Maestría, UNAM, México, 40 p.

Schlaepfer, C. J. (1968). Resumen de la Geología de la Hoja México, Distrito Federal, Estado de México y de Morelos. Carta Geológica de México. Instituto de Geología, UNAM, México.

Siebe C., Macías J. L. (2004). "Volcanic hazards in the Mexico City metropolitana rea from eruptions al Popocatépetl, Nevado de Toluca, and Jocotitlán stratovolcanoes and monogenetic scoria cones in the Sierra de Chichinautzin volcanic field". Fieldtrip Books, vol. 1. Geological Society of America. 77 pp.

Siebe C., Arana-Salinas L., Abrams M. (2005). "Geology and radiocarbon ages of Tláloc, Tlacotenco, Cuauhtzin, Hijo del Chuauhtzin, Teuhtli, and Ocusacayo monogenetic volcanoes in the central part of the Sierra Chichinautzin, México". Journal of Volcanology and geothermal research. 141, 225-243.

Sitios RAMSAR, Xochimilco, CONAP 2015 PDF
<http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios.php>

Snowball, I.F., (1993). Geochemical control of magnetite dissolution in subarctic lake sediments and the implications for environmental magnetism. J. Quat. Sci. 8, 339–346.

Snowball, I.F., (1993). Mineral magnetic properties of Holocene lake sediments and soils from Kårsa valley, Lappland, Sweden, and their relevance to palaeoenvironmental reconstruction. Terra Nova 5, 258–270

Tauxe, L. (2010). Essentials of paleomagnetism. Vol.XVI : Berkeley: University of California Press, 489p.

Thompson R., Battarbee R. W., O'Sullivan P. E., Oldfield F. (1975). "Magnetic susceptibility of lake sediments". Limnology and Oceanography, v. 20, n. 5; 687-698.

Thompson, R., Oldfield, F., (1986). Environmental Magnetism. George Allen and Unwin, London, 227 p.

Thompson, R., Cameron, T.D.J., 1995. Palaeomagnetic study of Cenozoic sediments in North Sea boreholes: an example of a magnetostratigraphic conundrum in a hydrocarbon-producing area. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 98, 223–236

Torres Rodriguez E., Lozano-Garcia S., Priyadarsi R., Ortega B., Beramendi L., Correa Metrio A., Caballero M. (2015). Last Glacial droughts and fire

regimes in the central Mexican highlands. *Journal of Quaternary Science*. 30 (1), 88-99.

Verosub, K. L. y Roberts, A., 1995. Environmental Magnetism: Past, Present and Future. *Journal of Geophysical Research*, 100, B2, 2175-2192

Anexo 1

Specimen_ID	Deph	Specimen mass[kg]	Vol	Densidad	MrMs	BcrBc	ARM100	SIRM	ARM/IRM100	HIRM	Hcr[mT]	S300		
XOC15-I	XOC15-I-1-21	0.21	0.009565	8.00E-06	1195.62500	0.300537268	2.869658663	9.978E-05	0.01399268	3.47708E-05	2.86955888	101.433	0.86312014	
	XOC15-I-1-31	0.31	0.009445	8.00E-06	1180.62500	0.26526602	3.990795611	0.00012993	0.01579672	3.25577E-05	3.99066568	100.232	0.8766756	
	XOC15-I-1-41	0.41	0.009265	8.00E-06	1158.12500	0.319136994	2.114104746	0.00014049	0.01795143	6.64516E-05	2.11396426	100.895	0.87349687	
	XOC15-I-1-46	0.46	0.007205	8.00E-06	900.62500	0.310875445	3.06433408	0.00014978	0.02085219	4.88801E-05	3.0641843	101.894	0.86315229	
	XOC15-I-1-51	0.51	0.008405	8.00E-06	1050.62500	0.2812043	2.98624449	0.00012336	0.00426603	4.13078E-05	2.98612113	102.239	0.85006693	
	XOC15-I-2-10	0.6	0.007205	8.00E-06	900.62500	0.200957467	2.321782782	0.00050076	0.00047511	0.000215681	2.32128202	98.2484	0.83711147	
	XOC15-I-2-20	0.7	0.008405	8.00E-06	1050.62500	0.267158328	3.287208771	0.00014905	0.0014696	4.53437E-05	3.28705972	98.2484	0.84196891	
	XOC15-I-2-30	0.8	0.008365	8.00E-06	1045.62500	-0.178852548	0.046852949	0.00020495	0.00242726	0.004374307	0.046648	133.263	0.72458629	
	XOC15-I-2-40	0.9	0.008145	8.00E-06	1018.12500	0.347961847	2.083800383	0.00034475	0.00032344	0.000165444	0.00272629	124.786	0.87670817	
	XOC15-I-2-50	1	0.007845	8.00E-06	980.62500	0.270311353	2.847709692	0.0004388	0.00081071	0.000154089	2.84727089	226.72	0.6881761	
	XOC15-I-2-60	1.1	0.008345	8.00E-06	1043.12500	0.171802255	3.85048385	0.00011494	0.00139581	2.98516E-05	3.85036891	83.391	1.125	
	XOC15-I-2-70	1.2	0.008495	8.00E-06	1061.87500	0.348634686	2.122118091	0.00033055	0.00184768	0.000155763	2.12178754	83.391	0.71406728	
	XOC15-I-2-80	1.3	0.008405	8.00E-06	1050.62500	0.222690971	3.042342302	0.00010736	0.00158192	3.52901E-05	3.04223494	138.754	0.70758123	
	XOC15-I-2-90	1.4	0.008635	8.00E-06	1079.37500	-0.438914208	0.091141648	0.00042728	0.00062175	0.004688135	0.09071436	190.748	0.73729698	
	XOC15-I-3-16	1.56	0.007845	8.00E-06	980.62500	0.339824762	2.179418017	0.00021619	0.00199771	9.91956E-05	2.17920183	93.4304	0.8489025	
	XOC15-I-3-26	1.66	0.008345	8.00E-06	1043.12500	0.289081646	2.513094523	0.00076261	0.00093795	0.000303455	2.51233191	132.919	0.74049469	
	XOC15-I-3-36	1.76	0.008495	8.00E-06	1061.87500	0.199790771	4.177906017	0.0001536	0.00249464	3.67639E-05	4.1775242	118.297	0.69913175	
	XOC15-I-3-46	1.86	0.008405	8.00E-06	1050.62500	0.28216056	2.5978575	0.00018713	0.0020483	7.20312E-05	2.59767037	92.4253	0.72026022	
	XOC15-I-3-56	1.96	0.008635	8.00E-06	1079.37500	0.207088562	5.576477979	0.00016723	0.00182606	2.99878E-05	5.57631075	149.318	0.73617453	
	XOC15-I-3-6	2.06	0.008145	8.00E-06	1018.12500	0.201495911	4.949737445	0.00049689	0.01995826	0.000100388	4.94924055	47.5724	0.46412402	
	XOC15-I-3-66	2.16	0.009565	8.00E-06	1195.62500	0.295720243	2.401442115	0.00068316	0.00219132	0.000284478	2.40075896	143.928	0.67748092	
	XOC15-I-3-76	2.26	0.009445	8.00E-06	1180.62500	0.220266805	2.962478629	0.00018194	0.00272737	6.1414E-05	2.96229669	138.015	0.69006211	
	XOC15-I-3-86	2.36	0.009265	8.00E-06	1158.12500	0.283571416	2.787100161	0.00010836	0.00115963	3.88808E-05	2.7869918	113.459	0.81459419	
	XOC15-I-3-96	2.46	0.009495	8.00E-06	1186.87500	0.290892847	2.515200159	0.00036103	0.0011189	0.00014354	2.51483913	113.907	0.75753012	
	XOC15-I-4-10	2.56	0.009075	8.00E-06	1134.37500	0.241090161	2.679332537	0.00010473	0.00121388	3.90871E-05	2.67922781	107.379	0.78213508	
	XOC15-I-4-20	2.66	0.009015	8.00E-06	1126.87500	0.260568091	3.112535307	0.0001324	0.00155918	4.25382E-05	3.11240291	120.215	0.76949345	
	XOC15-I-4-30	2.76	0.009765	8.00E-06	1220.62500	0.265266065	3.990795301	0.00017827	0.00204485	4.46701E-05	3.99061703	113.268	0.76883013	
	XOC15-I-4-40	2.86	0.008925	8.00E-06	1115.62500	0.165137087	5.186710411	0.00010604	0.00126924	2.04444E-05	5.18660437	113.013	0.76059322	
	XOC15-III	XOC15-III-1-10	0.1	0.01625	8.00E-06	2.03E+03	0.0611432	0.0133247	9.7083E-05	0.00914215	0.007285948	0.01322762	70.1491	0.89229941
		XOC15-III-1-20	0.2	0.01544	8.00E-06	1.93E+03	0.0399613	0.0120886	6.6632E-05	0.00789119	0.00551198	0.01202197	87.9273	0.87918582
		XOC15-III-1-30	0.3	0.01609	8.00E-06	2.01E+03	0.0300936	0.0089695	6.051E-05	0.00785581	0.006746155	0.00890899	87.9774	0.87025316
		XOC15-III-1-40	0.4	0.01713	8.00E-06	2.14E+03	0.0263499	0.00759806	5.338E-05	0.00681845	0.007025482	0.00754468	89.4096	0.87534247
XOC15-III-1-50		0.5	0.01603	8.00E-06	2.00E+03	0.0152492	0.00384715	0.00024	0.00290056	0.062383843	0.00360715	94.7841	0.83207158	
XOC15-III-1-60		0.6	0.01708	8.00E-06	2.14E+03	0.0683637	0.0181092	9.2927E-05	0.01171429	0.005131502	0.01801627	101.614	0.78648541	
XOC15-III-1-70		0.7	0.01858	8.00E-06	2.32E+03	0.0415828	0.00680883	5.8558E-05	0.0065662	0.008600242	0.00675027	115.807	0.69704918	
XOC15-III-2-2		0.8	0.009205	8.00E-06	1.15E+03	0.16664233	2.718404629	0.00040135	0.05420532	0.000147641	2.71800328	72.918	0.83020683	
XOC15-III-2-14		0.9	0.009525	8.00E-06	1.19E+03	0.297757956	2.507830107	0.00059347	0.02869921	0.000236647	2.50723664	47.2904	0.90371671	
XOC15-III-2-22		1	0.010345	8.00E-06	1.29E+03	0.230007816	3.894176006	0.00019016	0.02942484	4.88318E-05	3.89398585	137.62	0.73298292	
XOC15-III-2-30		1.1	0.013295	8.00E-06	1.66E+03	0.287821295	2.510381157	0.00015862	0.02437608	6.3184E-05	2.51022254	136.89	0.73858307	
XOC15-III-2-40		1.2	0.011075	8.00E-06	1.38E+03	0.303941921	2.328142302	0.00010568	0.01779142	4.53922E-05	2.32803662	138.801	0.74015428	
XOC15-III-2-50		1.3	0.013285	8.00E-06	1.66E+03	0.151280027	5.081050883	9.2315E-05	0.01525932	1.81684E-05	5.08095857	137.057	0.73756906	
XOC15-III-2-60		1.4	0.009525	8.00E-06	1.19E+03	0.297702195	2.34351798	0.00018982	0.0319916	8.09963E-05	2.34332816	137.406	0.73326332	
XOC15-III-2-70		1.5	0.008595	8.00E-06	1.07E+03	0.275944994	2.376377715	9.9686E-05	0.01434322	4.19487E-05	2.37627803	129.121	0.76898118	

XOC15-I

NUCLEO	PROFUNDIDAD	S.M.									
XOC15-I	0	5.17588	XOC15-I_0036	0.72	2.15819	XOC15-I_0072	1.44	0.1178	XOC15-I_0108	2.16	0.38829
XOC15-I_0001	0.02	5.51649	XOC15-I_0037	0.74	1.78331	XOC15-I_0073	1.46	0.23086	XOC15-I_0109	2.18	0.33609
XOC15-I_0002	0.04	6.13147	XOC15-I_0038	0.76	3.15008	XOC15-I_0074	1.48	2.34872	XOC15-I_0110	2.2	0.38676
XOC15-I_0003	0.06	6.43351	XOC15-I_0039	0.78	0.75629	XOC15-I_0075	1.5	0.70593	XOC15-I_0111	2.22	0.48207
XOC15-I_0004	0.08	8.01815	XOC15-I_0040	0.8	0.98805	XOC15-I_0076	1.52	0.21804	XOC15-I_0112	2.24	0.47341
XOC15-I_0005	0.1	6.48798	XOC15-I_0041	0.82	0.97145	XOC15-I_0077	1.54	0.86916	XOC15-I_0113	2.26	0.41108
XOC15-I_0006	0.12	4.91747	XOC15-I_0042	0.84	0.41166	XOC15-I_0078	1.56	0.21364	XOC15-I_0114	2.28	0.56422
XOC15-I_0007	0.14	5.52013	XOC15-I_0043	0.86	1.46279	XOC15-I_0079	1.58	0.27511	XOC15-I_0115	2.3	0.3989
XOC15-I_0008	0.16	5.91302	XOC15-I_0044	0.88	0.11909	XOC15-I_0080	1.6	0.28405	XOC15-I_0116	2.32	0.19008
XOC15-I_0009	0.18	5.36919	XOC15-I_0045	0.9	0.10131	XOC15-I_0081	1.62	0.36713	XOC15-I_0117	2.34	0.37078
XOC15-I_0010	0.2	5.64359	XOC15-I_0046	0.92	0.11366	XOC15-I_0082	1.64	0.22873	XOC15-I_0118	2.36	0.3924
XOC15-I_0011	0.22	4.90203	XOC15-I_0047	0.94	0.54572	XOC15-I_0083	1.66	0.10587	XOC15-I_0119	2.38	9.36484
XOC15-I_0012	0.24	7.08074	XOC15-I_0048	0.96	0.36922	XOC15-I_0084	1.68	0.2339	XOC15-I_0120	2.4	9.83366
XOC15-I_0013	0.26	5.96649	XOC15-I_0049	0.98	0.43106	XOC15-I_0085	1.7	0.56183	XOC15-I_0121	2.42	4.61106
XOC15-I_0014	0.28	3.05544	XOC15-I_0050	1	0.60465	XOC15-I_0086	1.72	0.89892	XOC15-I_0122	2.44	1.33938
XOC15-I_0015	0.3	2.5829	XOC15-I_0051	1.02	0.32835	XOC15-I_0087	1.74	1.06675	XOC15-I_0123	2.46	0.95238
XOC15-I_0016	0.32	1.06603	XOC15-I_0052	1.04	0.54701	XOC15-I_0088	1.76	1.03288	XOC15-I_0124	2.48	0.43206
XOC15-I_0017	0.34	1.0487	XOC15-I_0053	1.06	0.2375	XOC15-I_0089	1.78	1.0606	XOC15-I_0125	2.5	0.37908
XOC15-I_0018	0.36	0.96	XOC15-I_0054	1.08	0.17709	XOC15-I_0090	1.8	1.00497	XOC15-I_0126	2.52	0.47739
XOC15-I_0019	0.38	0.11997	XOC15-I_0055	1.1	0.22603	XOC15-I_0091	1.82	1.17407	XOC15-I_0127	2.54	0.49367
XOC15-I_0020	0.4	0.57558	XOC15-I_0056	1.12	0.43501	XOC15-I_0092	1.84	1.02502	XOC15-I_0128	2.56	0.48818
XOC15-I_0021	0.42	0.75026	XOC15-I_0057	1.14	0.33266	XOC15-I_0093	1.86	0.94244	XOC15-I_0129	2.58	0.50663
XOC15-I_0022	0.44	0.33925	XOC15-I_0058	1.16	0.25785	XOC15-I_0094	1.88	1.0952	XOC15-I_0130	2.6	0.5214
XOC15-I_0023	0.46	0.24079	XOC15-I_0059	1.18	0.35564	XOC15-I_0095	1.9	1.07799	XOC15-I_0131	2.62	0.49608
XOC15-I_0024	0.48	0.17206	XOC15-I_0060	1.2	0.38615	XOC15-I_0096	1.92	1.02237	XOC15-I_0132	2.64	0.4889
XOC15-I_0025	0.5	0.32111	XOC15-I_0061	1.22	0.34565	XOC15-I_0097	1.94	1.226	XOC15-I_0133	2.66	0.65395
XOC15-I_0026	0.52	0.13267	XOC15-I_0062	1.24	0.61057	XOC15-I_0098	1.96	1.45618	XOC15-I_0134	2.68	0.56551
XOC15-I_0027	0.54	0.17464	XOC15-I_0063	1.26	0.90109	XOC15-I_0099	1.98	1.91158	XOC15-I_0135	2.7	0.65923
XOC15-I_0028	0.56	0.15957	XOC15-I_0064	1.28	0.70029	XOC15-I_0100	2	0.95584	XOC15-I_0136	2.72	0.70997
XOC15-I_0029	0.58	0.61991	XOC15-I_0065	1.3	0.11728	XOC15-I_0101	2.02	0.75708	XOC15-I_0137	2.74	0.64058
XOC15-I_0030	0.6	0.10447	XOC15-I_0066	1.32	0.15044	XOC15-I_0102	2.04	1.95318	XOC15-I_0138	2.76	0.44727
XOC15-I_0031	0.62	0.12667	XOC15-I_0067	1.34	0.18152	XOC15-I_0103	2.06	2.9628	XOC15-I_0139	2.78	0.18292
XOC15-I_0032	0.64	0.90969	XOC15-I_0068	1.36	0.18137	XOC15-I_0104	2.08	1.45561	XOC15-I_0140	2.8	0.12014
XOC15-I_0033	0.66	0.40372	XOC15-I_0069	1.38	0.15885	XOC15-I_0105	2.1	0.61395			
XOC15-I_0034	0.68	0.64405	XOC15-I_0070	1.4	0.45513	XOC15-I_0106	2.12	0.70064			
XOC15-I_0035	0.7	1.80384	XOC15-I_0071	1.42	0.11309	XOC15-I_0107	2.14	0.41815			

XOC15-II

NUCLEO	PROFUNDIDAD	S.M.	NUCLEO	PROFUNDIDAD	S.M.
XOC15-II	0	14.73878	XOC15-II_0018	0.36	1.76468
XOC15-II_0001	0.02	14.81864	XOC15-II_0019	0.38	5.32697
XOC15-II_0002	0.04	5.08415	XOC15-II_0020	0.4	0.38848
XOC15-II_0003	0.06	5.39979	XOC15-II_0021	0.42	0.17349
XOC15-II_0004	0.08	5.60457	XOC15-II_0022	0.44	9.62E-06
XOC15-II_0005	0.1	5.6614	XOC15-II_0023	0.46	0.16079
XOC15-II_0006	0.12	4.75689	XOC15-II_0024	0.48	0.74499
XOC15-II_0007	0.14	4.93777	XOC15-II_0025	0.5	1.53397
XOC15-II_0008	0.16	5.37059	XOC15-II_0026	0.52	0.78641
XOC15-II_0009	0.18	4.40409	XOC15-II_0027	0.54	5.51652
XOC15-II_0010	0.2	4.84899	XOC15-II_0028	0.56	0.1092
XOC15-II_0011	0.22	5.72888	XOC15-II_0029	0.58	0.17472
XOC15-II_0012	0.24	3.97577	XOC15-II_0030	0.6	0.65657
XOC15-II_0013	0.26	4.41237	XOC15-II_0031	0.62	0.18701
XOC15-II_0014	0.28	6.25623	XOC15-II_0032	0.64	0.30389
XOC15-II_0015	0.3	4.13553	XOC15-II_0033	0.66	0.95254
XOC15-II_0016	0.32	2.95832	XOC15-II_0034	0.68	1.24765
XOC15-II_0017	0.34	0.42331	XOC15-II_0035	0.7	1.2345

XOC15-III

NUCLEO	PROFUNDIDAD	S.M.	NUCLEO	PROFUNDIDAD	S.M.	NUCLEO	PROFUNDIDAD	S.M.
XOC15-III	0	4.62664	XOC15-III_0023	0.46	3.91396	XOC15-III_0046	0.92	7.00829
XOC15-III_0001	0.02	4.40005	XOC15-III_0024	0.48	3.49686	XOC15-III_0047	0.94	7.18547
XOC15-III_0002	0.04	3.00687	XOC15-III_0025	0.5	2.47672	XOC15-III_0048	0.96	6.43592
XOC15-III_0003	0.06	2.82374	XOC15-III_0026	0.52	2.25417	XOC15-III_0049	0.98	6.137
XOC15-III_0004	0.08	10.4606	XOC15-III_0027	0.54	1.91092	XOC15-III_0050	1	7.91176
XOC15-III_0005	0.1	7.36985	XOC15-III_0028	0.56	2.65473	XOC15-III_0051	1.02	7.00127
XOC15-III_0006	0.12	8.19534	XOC15-III_0029	0.58	6.43517	XOC15-III_0052	1.04	3.76549
XOC15-III_0007	0.14	5.29826	XOC15-III_0030	0.6	6.93696	XOC15-III_0053	1.06	4.12265
XOC15-III_0008	0.16	5.35017	XOC15-III_0031	0.62	2.27728	XOC15-III_0054	1.08	2.94427
XOC15-III_0009	0.18	4.09277	XOC15-III_0032	0.64	4.07484	XOC15-III_0055	1.1	2.99547
XOC15-III_0010	0.2	4.54279	XOC15-III_0033	0.66	6.84488	XOC15-III_0056	1.12	3.01268
XOC15-III_0011	0.22	5.00914	XOC15-III_0034	0.68	9.12002	XOC15-III_0057	1.14	4.73279
XOC15-III_0012	0.24	5.32157	XOC15-III_0035	0.7	10.15478	XOC15-III_0058	1.16	4.32223
XOC15-III_0013	0.26	4.66783	XOC15-III_0036	0.72	16.05881	XOC15-III_0059	1.18	4.21496
XOC15-III_0014	0.28	4.90167	XOC15-III_0037	0.74	11.98313	XOC15-III_0060	1.2	4.62221
XOC15-III_0015	0.3	4.99703	XOC15-III_0038	0.76	10.13853	XOC15-III_0061	1.22	5.19593
XOC15-III_0016	0.32	5.53893	XOC15-III_0039	0.78	12.89779	XOC15-III_0062	1.24	5.2353
XOC15-III_0017	0.34	5.13836	XOC15-III_0040	0.8	11.46814	XOC15-III_0063	1.26	5.8865
XOC15-III_0018	0.36	6.054	XOC15-III_0041	0.82	10.51653	XOC15-III_0064	1.28	3.43743
XOC15-III_0019	0.38	4.75265	XOC15-III_0042	0.84	12.48714	XOC15-III_0065	1.3	3.68965
XOC15-III_0020	0.4	2.90481	XOC15-III_0043	0.86	12.1173	XOC15-III_0066	1.32	3.15879
XOC15-III_0021	0.42	4.93319	XOC15-III_0044	0.88	5.06226	XOC15-III_0067	1.34	1.82697
XOC15-III_0022	0.44	4.6078	XOC15-III_0045	0.9	9.67056			70

Scanner XOC15-I

Profundidad (m)	Ti	Fe	Ca	Fe/Ti	Si/Ti	Ca/Ti	Ca/Sr	Profundidad (m)	Ti	Fe	Ca	Fe/Ti	Si/Ti	Ca/Ti	Ca/Sr
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.51	0	0	0	0	0	0	0
0.02	0	0	0	0	0	0	0	0.52	0	0	0	0	0	0	0
0.03	0	0	0	0	0	0	0	0.53	16342	124956	103085	0.13078204	0.82497039	1.26868E-06	650258.061
0.04	0	0	0	0	0	0	0	0.54	15488	112660	115347	0.13747559	1.02385052	1.19184E-06	859047.676
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0.55	10366	63784	98925	0.16251725	1.55093754	1.64283E-06	944062.862
0.06	0	0	0	0	0	0	0	0.56	9619	80224	90259	0.11990178	1.12508726	1.32842E-06	846937.008
0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.57	9662	67798	108333	0.14251158	1.59787899	1.3155E-06	1214659.38
0.08	0	0	0	0	0	0	0	0.58	7605	49920	89572	0.15234375	1.7943109	1.7008E-06	1054982.67
0.09	0	0	0	0	0	0	0	0.59	6228	36937	75276	0.16861142	2.03795652	2.23991E-06	909838.821
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.6	5691	36110	100861	0.15760177	2.79315979	1.56256E-06	1787548.99
0.11	0	0	0	0	0	0	0	0.61	6842	43157	128055	0.15853743	2.96718956	1.23804E-06	2396679.78
0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.62	6044	50280	130741	0.12020684	2.60025855	9.19427E-07	2828128.57
0.13	0	0	0	0	0	0	0	0.63	6361	48061	127900	0.13235264	2.66120139	1.03481E-06	2571672.69
0.14	0	0	0	0	0	0	0	0.64	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0.65	0	0	0	0	0	0	0
0.16	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0
0.17	0	0	0	0	0	0	0	0.67	0	0	0	0	0	0	0
0.18	0	0	0	0	0	0	0	0.68	0	0	0	0	0	0	0
0.19	0	0	0	0	0	0	0	0.69	0	0	0	0	0	0	0
0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0
0.21	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0
0.22	0	0	0	0	0	0	0	0.72	0	0	0	0	0	0	0
0.23	0	0	0	0	0	0	0	0.73	0	0	0	0	0	0	0
0.24	0	0	0	0	0	0	0	0.74	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0
0.26	0	0	0	0	0	0	0	0.76	0	0	0	0	0	0	0
0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.77	6139	43138	98317	0.14231072	2.27912745	1.44747E-06	1574561.41
0.28	18339	139459	121215	0.131501015	0.869180189	1.08486E-06	801192.8799	0.78	5786	41727	135848	0.13866322	3.25563784	1.02072E-06	3189540.11
0.29	17188	135518	116665	0.12683186	0.860881949	1.08715E-06	791873.5295	0.79	5206	38978	111300	0.13356252	2.85545692	1.20002E-06	2379502.5
0.3	17996	137324	115644	0.131047741	0.842125193	1.1332E-06	743139.2941	0.8	5839	47491	122136	0.12294961	2.57177149	1.00666E-06	2554752.95
0.31	16925	131054	118176	0.129145238	0.901735163	1.09282E-06	825144.2822	0.81	6568	56023	148473	0.11723756	2.65021509	7.89622E-07	3356308.12
0.32	16827	129743	113616	0.129694858	0.875700423	1.14152E-06	767135.8802	0.82	7295	63555	176247	0.11478247	2.77314137	6.51259E-07	4258122.69
0.33	18343	136134	119460	0.134742239	0.87751774	1.12793E-06	777991.1465	0.83	6399	46975	135252	0.13622139	2.87923363	1.00717E-06	2858744.1
0.34	18683	141734	124005	0.131817348	0.87491357	1.063E-06	823060.5377	0.84	6025	42220	121583	0.14270488	2.87974893	1.17372E-06	2453514.67
0.35	18342	136097	125900	0.134771523	0.925075498	1.07046E-06	864181.1144	0.85	4939	37199	128394	0.13277239	3.4515444	1.0341E-06	3337724.08
0.36	18344	133825	126133	0.137074538	0.94252195	1.08675E-06	867288.1427	0.86	4619	33798	124227	0.13666489	3.67557252	1.10012E-06	3341058.14
0.37	17205	121537	110863	0.141561829	0.912174893	1.27691E-06	714362.3812	0.87	5517	44526	142590	0.12390513	3.2023986	8.68961E-07	3685319.58
0.38	24793	162080	137504	0.15296767	0.848371175	1.11246E-06	762608.3982	0.88	5814	36202	110997	0.16059886	3.06604607	1.44688E-06	2119080.5
0.39	21805	169647	143134	0.128531598	0.843716659	8.97981E-07	939570.8304	0.89	8287	55277	136430	0.14991769	2.46811513	1.09886E-06	2246065.51
0.4	18093	138355	126149	0.130772289	0.911777673	1.03665E-06	879542.9283	0.9	9037	66457	141925	0.13598267	2.13559144	9.5813E-07	2228915.09
0.41	18401	137417	124213	0.133906285	0.903912907	1.07804E-06	838479.9396	0.91	9650	58128	137650	0.16601294	2.36804982	1.20605E-06	1963473.83
0.42	20318	146545	137957	0.138646832	0.941396841	1.005E-06	936712.9564	0.92	9845	60050	132132	0.16394671	2.20036636	1.24078E-06	1773373.84
0.43	21769	159838	149605	0.136194147	0.935978929	9.10358E-07	1028143.508	0.93	10795	64816	118215	0.16654838	1.82385522	1.40886E-06	1294561.02
0.44	21902	155359	145032	0.140976706	0.933528151	9.72039E-07	960381.7471	0.94	13075	80836	101758	0.16174724	1.25882033	1.58953E-06	791945.741
0.45	21578	150213	148652	0.143649351	0.98960809	9.66347E-07	1024071.606	0.95	14345	95387	88745	0.15038737	0.93036787	1.6946E-06	549018.824
0.46	21810	152601	146482	0.142921737	0.959901967	9.75695E-07	983813.6783	0.96	13046	86741	83546	0.15040177	0.96316621	1.80023E-06	535024.844
0.47	20106	135250	125638	0.148658041	0.928931608	1.18323E-06	785084.4049	0.97	14701	95942	87698	0.15322799	0.91407309	1.74722E-06	523157.554
0.48	13698	85411	98571	0.160377469	1.154078514	1.62702E-06	709318.2976	0.98	16652	115536	118891	0.14412824	1.02903857	1.21227E-06	848851.182
0.49	12717	99219	90463	0.128171016	0.911750774	1.41683E-06	643512.9645	0.99	16096	117278	134610	0.13724654	1.1477856	1.01959E-06	1125736.34
0.5	0	0	0	0	0	0	0	1	7260	48720	155529	0.14901478	3.19230296	9.58116E-07	3331855.35

Scanner XOC15-I

Profundidad (m)	Ti	Fe	Ca	Fe/Ti	Si/Ti	Ca/Ti	Ca/Sr	Profundidad (m)	Ti	Fe	Ca	Fe/Ti	Si/Ti	Ca/Ti	Ca/Sr
1.01	6410	43367	126081	0.14780824	2.90730279	1.17233E-06	2479940.49	1.51	3999	36854	42910	0.10850925	1.16432409	2.52876E-06	460432.133
1.02	7767	50812	98717	0.15285759	1.9427891	1.54844E-06	1254673.12	1.52	6552	49173	111725	0.13324385	2.27208021	1.19261E-06	1905139.75
1.03	9734	63037	134385	0.15441725	2.1318432	1.14907E-06	1855283.36	1.53	3132	26601	166470	0.11773993	6.25803541	7.07274E-07	8848103.74
1.04	7925	47078	151039	0.16833765	3.20827138	1.11453E-06	2878584.17	1.54	4285	35524	155741	0.12062268	4.38410652	7.74508E-07	5660503.87
1.05	7400	46914	169985	0.15773543	3.62333205	9.27937E-07	3904716.25	1.55	0	0	0	0	0	0	0
1.06	8987	45547	202423	0.19731267	4.44426636	9.74754E-07	4559371.42	1.56	0	0	0	0	0	0	0
1.07	10876	70019	161140	0.15532927	2.30137534	9.6394E-07	2387467.78	1.57	0	0	0	0	0	0	0
1.08	6899	50700	157315	0.13607495	3.10285996	8.64984E-07	3587187.89	1.58	4539	44740	49779	0.10145284	1.11262852	2.03807E-06	545923.957
1.09	5431	52440	153480	0.10356598	2.92677346	6.74785E-07	4337343.1	1.59	4903	45607	46380	0.10750543	1.01694915	2.31793E-06	438732.286
1.1	6193	61434	149770	0.10080737	2.43790084	6.73081E-07	3622001.11	1.6	4140	45651	44071	0.09068805	0.96538959	2.05777E-06	469143.247
1.11	5811	47531	163791	0.12225705	3.44598262	7.46421E-07	4616673.84	1.61	0	0	0	0	0	0	0
1.12	4437	24505	158317	0.18106509	6.46059988	1.14369E-06	5648923.26	1.62	0	0	0	0	0	0	0
1.13	4146	30547	168219	0.13572528	5.50689102	8.06837E-07	6825285.08	1.63	0	0	0	0	0	0	0
1.14	3961	17880	150478	0.22153244	8.41599553	1.47219E-06	5716644.4	1.64	0	0	0	0	0	0	0
1.15	3122	18802	96482	0.16604617	5.13147537	1.72101E-06	2981670.83	1.65	0	0	0	0	0	0	0
1.16	3062	25140	111862	0.12179793	4.44956245	1.08882E-06	4086579.7	1.66	0	0	0	0	0	0	0
1.17	3060	21645	102646	0.14137214	4.74224994	1.37728E-06	3443203.04	1.67	0	0	0	0	0	0	0
1.18	3610	24530	86690	0.14716673	3.53403995	1.69762E-06	2081760.69	1.68	0	0	0	0	0	0	0
1.19	4072	19250	71069	0.21153247	3.6918961	2.97644E-06	1240373.96	1.69	0	0	0	0	0	0	0
1.2	4160	20327	66628	0.20465391	3.27780784	3.07159E-06	1067137.11	1.7	0	0	0	0	0	0	0
1.21	4763	26851	66119	0.17738632	2.46244088	2.68283E-06	917850.548	1.71	0	0	0	0	0	0	0
1.22	5056	31673	65154	0.15963123	2.05708332	2.45006E-06	839605.165	1.72	0	0	0	0	0	0	0
1.23	4596	36384	54394	0.12631926	1.4949978	3.2223E-06	643757.014	1.73	0	0	0	0	0	0	0
1.24	5024	42241	53110	0.11893658	1.25730925	2.23944E-06	561439.51	1.74	0	0	0	0	0	0	0
1.25	4574	47697	63092	0.09589702	1.32276663	1.51996E-06	870266.826	1.75	0	0	0	0	0	0	0
1.26	4498	51265	65824	0.08774017	1.28399493	1.33295E-06	963272.338	1.76	0	0	0	0	0	0	0
1.27	4859	48909	60712	0.09934777	1.24132573	1.63638E-06	758581.384	1.77	0	0	0	0	0	0	0
1.28	4161	47685	56780	0.08726014	1.19073084	1.53681E-06	774806.152	1.78	0	0	0	0	0	0	0
1.29	4869	51354	57341	0.09481248	1.11658293	1.65348E-06	675290.672	1.79	0	0	0	0	0	0	0
1.3	4463	50265	58845	0.08878942	1.17069531	1.50887E-06	775875.874	1.8	0	0	0	0	0	0	0
1.31	4619	49700	60798	0.09293763	1.2232998	1.52863E-06	800259.105	1.81	0	0	0	0	0	0	0
1.32	4683	50232	67849	0.09322742	1.35071269	1.37404E-06	983020.884	1.82	0	0	0	0	0	0	0
1.33	4842	49332	65505	0.0981513	1.32783994	1.49838E-06	886184.433	1.83	0	0	0	0	0	0	0
1.34	4485	50905	58368	0.08810529	1.14660642	1.50948E-06	759603.885	1.84	0	0	0	0	0	0	0
1.35	4674	53322	54860	0.08765613	1.02884363	1.59781E-06	643906.632	1.85	0	0	0	0	0	0	0
1.36	4816	50492	69102	0.09538145	1.36857324	1.3803E-06	991504.652	1.86	0	0	0	0	0	0	0
1.37	4633	49400	66133	0.09378543	1.3387247	1.41813E-06	944004.681	1.87	0	0	0	0	0	0	0
1.38	4807	47186	69489	0.10187344	1.47266138	1.46604E-06	1004518.64	1.88	0	0	0	0	0	0	0
1.39	4549	47343	67754	0.09608601	1.43113026	1.41816E-06	1009145.86	0.89	0	0	0	0	0	0	0
1.4	4912	49541	70266	0.0991502	1.41834036	1.41107E-06	1005152.84	0.9	0	0	0	0	0	0	0
1.41	6361	49129	80945	0.12947546	1.64760121	1.59955E-06	1030041.35	0.91	0	0	0	0	0	0	0
1.42	5613	67029	84858	0.08373987	1.26598935	9.86824E-07	1282893.31	0.92	0	0	0	0	0	0	0
1.43	4207	44787	39711	0.09393351	0.88666354	2.36543E-06	374842.767	1.93	0	0	0	0	0	0	0
1.44	3977	43909	38794	0.09057369	0.88350908	2.33473E-06	378419.521	1.94	0	0	0	0	0	0	0
1.45	3130	35285	37039	0.08870625	1.04970951	2.39494E-06	438302.722	1.95	8174	73012	294712	0.1119542	4.03648715	3.79877E-07	10625784.6
1.46	4255	46475	52609	0.0915546	1.13198494	1.74028E-06	650459.902	1.96	7701	71751	325006	0.10732951	4.52963722	3.30239E-07	13716257.6
1.47	3234	34584	42594	0.09351145	1.23160999	2.19541E-06	560992.219	1.97	7958	73169	333679	0.10876191	4.5603876	3.25948E-07	13991163
1.48	4254	44823	38187	0.09490663	0.85195101	2.48531E-06	342794.304	1.98	8480	69303	363750	0.12236123	5.24869053	3.36388E-07	15603073.4
1.49	4642	48643	39894	0.09542997	0.82013856	2.39209E-06	342854.639	1.99	7657	67211	255009	0.1139248	3.79415572	4.46748E-07	8492828.79
1.5	5952	62907	61013	0.09461586	0.96989206	1.55075E-06	625434.504	2	8129	66526	175436	0.12219283	2.63710429	6.96509E-07	3786171.74

Scanner XOC15-I

Profundidad (m)	Ti	Fe	Ca	Fe/Ti	Si/Ti	Ca/Ti	Ca/Sr	Profundidad (m)	Ti	Fe	Ca	Fe/Ti	Si/Ti	Ca/Ti	Ca/Sr
2.01	6585	64831	136193	0.10157178	2.10073884	7.4579E-07	2816785.61	2.51	7705	75228	344297	0.10242197	4.57671346	2.9748E-07	15384870.1
2.02	6715	56820	264972	0.11818022	4.66335797	4.4601E-07	10455720.1	2.52	7791	66406	354898	0.11732374	5.34436647	3.3058E-07	16166421.6
2.03	6681	60884	236986	0.10973326	3.89241837	4.6304E-07	8406281.12	2.53	8665	74982	396345	0.11556107	5.28586861	2.9157E-07	18129181.7
2.04	6864	59847	236467	0.11469247	3.95119221	4.8503E-07	8146363.94	2.54	0	0	0	0	0	0	0
2.05	6771	63989	256478	0.10581506	4.00815765	4.1257E-07	9715103.31	2.55	0	0	0	0	0	0	0
2.06	7400	65955	256327	0.11219771	3.88639224	4.3771E-07	8878855.53	2.56	0	0	0	0	0	0	0
2.07	6820	59352	217377	0.11490767	3.66250505	5.2861E-07	6928557.2	2.57	0	0	0	0	0	0	0
2.08	6816	69238	204110	0.09844305	2.94794766	4.823E-07	6112220.09	2.58	0	0	0	0	0	0	0
2.09	6752	63267	231936	0.1067223	3.66598701	4.6014E-07	7967166.48	2.59	0	0	0	0	0	0	0
2.1	7409	63319	254819	0.11701069	4.02436867	4.5919E-07	8764033.31	2.6	6754	61331	197789	0.11012375	3.22494334	5.5677E-07	5792195.52
2.11	7784	68231	264218	0.11408304	3.87240404	4.3178E-07	8968544.65	2.61	6444	56863	226127	0.11332501	3.97669838	5.0116E-07	7935043.47
2.12	7419	64626	240641	0.114799	3.72359422	4.7706E-07	7805376.85	2.62	8072	95936	126204	0.08413943	1.315502	6.6669E-07	1973172.65
2.13	6186	59240	215628	0.10442269	3.63990547	4.8427E-07	7516235.76	2.63	8136	85123	191594	0.09557934	2.25079003	4.9886E-07	4511831.47
2.14	7837	67212	234095	0.1166012	3.4829346	4.9809E-07	6992531.46	2.64	7127	69792	124388	0.10211772	1.78226731	8.2096E-07	2170951.95
2.15	9220	80554	264162	0.11445738	3.27931574	4.3328E-07	7568499.16	2.65	7572	74106	200724	0.10217796	2.70860659	5.0905E-07	5320935.58
2.16	10246	87690	283951	0.11684343	3.23812293	4.1149E-07	7869233.89	2.66	7703	74846	196622	0.10291799	2.62702082	5.2343E-07	5018851.21
2.17	10353	92293	269913	0.11217535	2.92452299	4.156E-07	7036900.18	2.67	7855	72800	270459	0.10789835	3.71509165	3.9895E-07	9312294.17
2.18	11447	98112	273804	0.11667278	2.79072896	4.2612E-07	6549194.59	2.68	7438	71676	251251	0.10377253	3.50537139	4.1302E-07	8487102.04
2.19	12928	111236	265116	0.11622137	2.3833651	4.3838E-07	5436764.65	2.69	7098	72379	268399	0.09806712	3.7082441	3.6538E-07	10149059.3
2.2	12903	124143	256144	0.10393659	2.06329797	4.0577E-07	5084844.51	2.7	7221	74472	301643	0.09696262	4.05042163	3.2145E-07	12600540
2.21	17512	153140	292424	0.11435288	1.9095207	3.9105E-07	4883039.96	2.71	7023	67144	291959	0.10459609	4.34825152	3.5826E-07	12137271.5
2.22	17296	159684	299137	0.10831392	1.87330603	3.6209E-07	5173620.77	2.72	6642	58286	255400	0.11395532	4.38184127	4.4618E-07	9820710.63
2.23	14433	141723	304067	0.1018395	2.14550214	3.3492E-07	6405926.73	2.73	5738	55821	248673	0.10279286	4.45482883	4.1337E-07	10776971.2
2.24	10509	102521	314175	0.10250583	3.0644941	3.2627E-07	9392514.1	2.74	6591	61893	308128	0.10649023	4.9783982	3.456E-07	14404925.6
2.25	11591	120854	269803	0.09590911	2.23247058	3.5548E-07	6280187.97	2.75	7020	62614	305566	0.1121155	4.8801546	3.6691E-07	13300652.5
2.26	9035	92037	296125	0.09816704	3.21745602	3.3151E-07	9705591.1	2.76	6654	64921	276104	0.1024938	4.25292278	3.7121E-07	11456780.7
2.27	8829	82270	308333	0.10731737	3.74781816	3.4806E-07	10767837.7	2.77	7912	74411	180306	0.10632837	2.42310949	5.8971E-07	4108980.49
2.28	7267	63792	306961	0.11391711	4.81190431	3.7111E-07	12966156	2.78	6654	67059	184730	0.09922605	2.75473836	5.3714E-07	5128520.12
2.29	7433	62529	167068	0.11887284	2.67184826	7.1152E-07	3755107.85	2.79	6805	66802	244222	0.10186821	3.65590851	4.1711E-07	8764788.43
2.3	6529	57265	244645	0.1140138	4.27215577	4.6604E-07	9166974.43	2.8	6709	65079	237215	0.10309009	3.64503142	4.3459E-07	8387383.55
2.31	8388	71504	268692	0.11730812	3.75771985	4.3659E-07	8606985.08	2.81	6489	59749	227823	0.10860433	3.81300105	4.767E-07	7998662.25
2.32	8478	87098	198246	0.09733863	2.27612574	4.91E-07	4635701.41	2.82	6639	68417	229980	0.09703729	3.36144525	4.2194E-07	7966681.79
2.33	11004	102612	104670	0.10723892	1.02005613	1.0245E-06	995620.583	2.83	6816	65288	225800	0.10439897	3.45852224	4.6235E-07	7480287.56
2.34	9629	88217	229706	0.1091513	2.60387454	4.7518E-07	5479784.65	2.84	7236	72750	261698	0.09946392	3.59722337	3.8007E-07	9464599.67
2.35	9149	78865	280544	0.11600837	3.55726875	4.1351E-07	8602572.51	2.85	7269	71403	280062	0.10180245	3.92227217	3.635E-07	10790304.6
2.36	8698	77395	291833	0.11238452	3.77069578	3.851E-07	9791503.78	2.86	7579	73000	286201	0.10382192	3.92056164	3.6276E-07	10807628
2.37	10161	92617	179360	0.10970988	1.93657752	6.1167E-07	3166027.91	2.87	7769	71560	310180	0.10856624	4.33454444	3.5001E-07	12384043.3
2.38	11098	93884	268348	0.11820971	2.85829321	4.4051E-07	6488614.99	2.88	7852	71413	289105	0.10995197	4.04835254	3.8032E-07	10644638.4
2.39	8586	81435	367069	0.10543378	4.50750906	2.8723E-07	15692947.9	2.89	7436	81364	283303	0.09139177	3.48192075	3.2259E-07	10793516.6
2.4	7456	81052	351991	0.09199033	4.34277994	2.6134E-07	16617176	2.9	7705	74815	293254	0.10298737	3.91972198	3.5119E-07	11161311.9
2.41	6959	68863	292324	0.10105572	4.2450082	3.457E-07	12279540.3	2.91	7360	80623	306351	0.09128909	3.79979658	2.9799E-07	12751485.8
2.42	7387	62016	275016	0.11911442	4.43459752	4.3312E-07	10238770.8	2.92	8148	80823	376633	0.10081289	4.65997303	2.6767E-07	17409476.8
2.43	7171	59345	290526	0.12083579	4.89554301	4.1592E-07	11770374.7	2.93	8569	85688	384181	0.10000233	4.4834866	2.603E-07	17224301.6
2.44	7390	59258	305245	0.1247089	5.15111884	4.0855E-07	12608188.1	2.94	8209	88154	394848	0.09312113	4.47907072	2.3584E-07	18991953.1
2.45	6684	59373	316580	0.11257642	5.33205329	3.556E-07	14994448.9	2.95	7896	83899	407597	0.09411316	4.85818663	2.309E-07	21040440
2.46	6752	59181	288828	0.11409067	4.8804177	3.9501E-07	12355096.8	2.96	7567	76381	440029	0.09906914	5.76097459	2.2514E-07	25588148.7
2.47	6881	57861	277716	0.11892294	4.79970965	4.2822E-07	11208570.9	2.97	7863	76691	395760	0.10252833	5.16044907	2.5907E-07	19919366.3
2.48	6276	57455	282865	0.10923331	4.92324428	3.8617E-07	12748981.6	2.98	8117	80444	429798	0.10090249	5.34282234	2.3477E-07	22757955
2.49	7288	62219	297680	0.11713464	4.78439062	3.9349E-07	12158806.6	2.99	8142	80613	443089	0.10100108	5.4964956	2.2795E-07	24112977.4
2.5	7428	69186	329466	0.10736276	4.76203278	3.2587E-07	14613334	3	7834	78176	422450	0.10020978	5.40383238	2.3721E-07	22780699.8

PISTOLA XOC15-III

ID	Profundidad (m)	Ti%	Fe%	Ca%	Sr%	Fe/Ti	Ca/Ti	Ca/Sr
XOC15-III-1-10	0.1	173726	22244	190540	25624	0.12804	1.47081	7.436
XOC15-III-1-20	0.2	129548	17138	191366	26774	0.13229	1.50257	7.147
XOC15-III-2-30	0.3	127359	16690	106237	19949	0.13105	0.76625	5.325
XOC15-III-2-40	0.4	138645	19231	112336	20721	0.13871	1.27678	5.421
XOC15-III-2-50	0.5	87984	11751	69245	14929	0.13356	0.57841	4.638
XOC15-III-2-60	0.6	119716	14338	92495	24780	0.11977	0.40083	3.733
XOC15-III-2-70	0.7	230759	25157	103838	29587	0.10902	0.41313	3.51
XOC15-III-2-72	0.8	251347	32321	138911	30948	0.12859	32.7474	4.489
XOC15-III-1-10	0.9	4241.89	12595	3390.94	376.67	2.97	0.80	9.002
XOC15-III-1-20	1	399.8	24119	64542.9	478.32	60.33	161.44	134.9
XOC15-III-2-30	1.1	3782	21463	91614	544.32	5.68	24.22	168.3
XOC15-III-2-40	1.2	3312.13	14569	158892	684.39	4.40	47.97	232.2
XOC15-III-2-50	1.3	1999.81	14164	30191.6	585.66	7.08	15.10	51.55
XOC15-III-2-60	1.4	544.99	16567	128358	600.41	30.40	235.52	213.8
XOC15-III-2-70	1.5	2507.64	10242	115151	627.71	4.08	45.92	183.4