



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
(QUÍMICA ACUÁTICA)

Estudio retrospectivo de las tendencias históricas de los flujos de elementos potencialmente tóxicos (As, Cr, Cu, Hg, Pb, Rb, Zn, V), contaminantes orgánicos persistentes (PCBs, PBDEs y PAHs) y de carbono orgánico, en dos lagos ubicados en el Altiplano Mexicano, caracterizados por niveles de antropización contrastantes.

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS

PRESENTA:
JORGE FELICIANO ONTIVEROS CUADRAS

TUTOR
DRA. ANA CAROLINA RUIZ FERNÁNDEZ
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD ACADÉMICA MAZATLÁN,
UNAM.

COMITÉ TUTOR
DR. FEDERICO PÁEZ OSUNA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD ACADÉMICA MAZATLÁN,
UNAM.
DR. JAVIER ALCOCER DURAND
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM
DR. CARLOS RENÉ GREEN RUIZ
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD ACADÉMICA MAZATLÁN,
UNAM.
DR. PRIYADARSI DEBAJYOTI ROY
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM

MÉXICO, D. F. FEBRERO 2015



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.



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Unidad Académica Mazatlán

Universidad Nacional Autónoma de México



Estudio retrospectivo de las tendencias históricas de los flujos de elementos potencialmente tóxicos (As, Cr, Cu, Hg, Pb, Rb, Zn, V), contaminantes orgánicos persistentes (PCBs, PBDEs y PAHs) y de carbono orgánico, en dos lagos ubicados en el Altiplano Mexicano, caracterizados por niveles de antropización contrastantes.

T E S I S

que para obtener el grado académico de

DOCTOR EN CIENCIAS
(Química Acuática)

p r e s e n t a

JORGE FELICIANO ONTIVEROS CUADRAS

Director de Tesis: Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández

Comité Tutorial: Dr. Federico Páez Osuna

Dr. Javier Alcocer Durand

Dr. Carlos René Green Ruiz

Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy

Mazatlán Sinaloa, 2015

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Geoquímica isotópica y Geocronología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (Unidad Académica Mazatlán) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el apoyo de los proyectos: CONACYT-SEMARNAT 108093 “Reconstrucción histórica de la acumulación de metales pesados, PCBs y PBDEs en el lago San Ignacio, Jalisco a partir de núcleos sedimentarios fechados con el método de ^{210}Pb ”, PAPIIT-IN203313 “Registros ambientales de la acumulación de plutonio en México”, CONACYT INFR-2013-01 204818 “Renovación de equipo científico para el fortalecimiento de la investigación regional en Geoquímica Ambiental y Cambio Global” y a la red PROMEP/103.5/13/9366.

A G R A D E C I M I E N T O S

Agradezco al Posgrado en Ciencia del Mar y Limnología por las facilidades brindadas para concluir con éxito y gran orgullo mis estudios de doctorado dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México, nuestra máxima casa de estudios. De igual forma agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca nacional de doctorado (2011-2015) y la beca mixta para movilidad en el extranjero (2012), así como a los proyectos que financiaron este trabajo de investigación como fueron el CONACYT-SEMARNAT 108093, PAPIIT-IN203313, CONACYT INFR-2013-01 204818 y red PROMEP/103.5/13/9366. Asimismo agradezco al Banco del Agua del Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico de la CONAGUA en Jalisco por la cesión de datos.

Quiero agradecer en particular a mi directora de tesis, la Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández por todas las oportunidades que recibí durante mi formación académica dentro de su grupo de trabajo. El camino no fue fácil, y en ese sentido aprendí junto a ella y al Dr. Joan Albert Sánchez Cabeza, a mantener una voluntad inquebrantable siempre con el ánimo de perseguir nuestras metas como grupo y lograr objetivos concretos y relevantes. Durante los más de siete años que pasé en el Laboratorio de Geoquímica isotópica y Geocronología sentí que éste espacio era mi casa y nunca vi mis actividades como trabajo, lo cual fue una bendición.

Agradezco a los integrantes del comité de tesis, Dr. Federico Páez Osuna, Dr. Javier Alcocer Durand, Dr. Carlos René Green Ruiz y Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy por trabajar junto a nosotros a través de la crítica constante y constructiva, por sus observaciones y comentarios que enriquecieron las bases teóricas y analíticas del trabajo escrito y por tanto, de mi formación científica.

Agradezco a todos nuestros colaboradores externos, en especial al Dr. Miche Preda de la Universidad de Quebec; al Dr. Laval Liong Wee Kwong de los Laboratorios Ambientales de la Agencia Internacional de Energía Atómica; al Dr. Robert B. Dunbar y al MC. David Mucciarone de la Universidad de Stanford; al Dr. Santiago Giralt y al Dr. Ignasi Queralt del Instituto de Ciencias de la Tierra “Jaume Almera” y en particular al Dr. José Sericano de la Universidad de Texas A&M.

A mis compañeros de días y días, agradezco profundamente su paciencia y amistad: Rigoberto Raygoza, Sara Bojórquez, Jorge Serrato, Perla López, Estephania Meza y Vladislav Carnero. Incluyo de forma especial a Libia Hascibe Pérez, quién además de ser un apoyo imprescindible en el laboratorio ha sido mi amiga durante todos estos años. También agradezco a Gerardo Lira y Juan Francisco Fierro que fueron miembros de los equipos de muestreo durante las campañas del 2010 y 2012.

Dentro del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología agradezco a Margarita Cordero, Gabriela Almaraz, Diana Juárez, Natalia Medina, Chantal G. Ruiz Guerrero y a la Dra. Gloria Vilaclara por su disposición y ayuda en la gestión administrativa. A María Clara Ramírez Jáuregui por su apoyo en las áreas de biblioteca. A Germán Ramírez, Carlos Suárez y Herlinda Rojas por su disposición y ayuda en el centro de cómputo, así como a Humberto Bojórquez por sus consejos y sugerencias durante el trabajo analítico.

Por último agradezco a mi familia y amigos, a quienes fueron parte del camino y a quienes ya no están conmigo. Gracias.

A mi madre María Elisa Cuadras, pilar inquebrantable
y a Ramona Sánchez Rendón, mi segundo hogar.

ÍNDICE GENERAL

Página

<i>RESUMEN</i>	17
<i>ABSTRACT</i>	20
1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	23
2. <i>MARCO TEÓRICO</i>	26
2.1. Susceptibilidad magnética	26
2.2. El carbono en los sedimentos	26
2.2.1. Preservación de carbono orgánico	27
2.2.2. Flujos de carbono orgánico	28
2.3. Mineralogía	29
2.4. Fechado radiométrico	30
2.5. Contaminantes metálicos y metaloides	33
2.5.1. Normalización	33
2.5.2. Factor de enriquecimiento	34
2.5.3. Flujos de elementos potencialmente tóxicos	34
2.6. Contaminantes orgánicos persistentes	35
2.6.1. Bifenilos policlorados	35
2.6.2. Bifenilos polibromados	36
2.6.3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos	37
2.7. Composición isotópica de C y N	37
3. <i>ANTECEDENTES</i>	39
4. <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	43
5. <i>HIPÓTESIS</i>	44
6. <i>OBJETIVO GENERAL</i>	45
7. <i>ÁREA DE ESTUDIO</i>	46
7.1. El Altiplano Mexicano	46
7.2. Lago Santa Elena	47
7.3. Lago Chapala	48
8. <i>MATERIALES Y MÉTODOS</i>	49
8.1. Muestreo	49
8.1.1. Humedad	50

8.1.2. Profundidad y masa acumulada	51
8.2. Tamaño de grano	51
8.3. Susceptibilidad magnética	52
8.4. Carbono orgánico	52
8.5. Carbonatos	52
8.6. Mineralogía	53
8.7. Radiocronología con ^{210}Pb	53
8.7.1. Análisis de ^{210}Po	53
8.7.2. Análisis del ^{137}Cs	54
8.7.3. Análisis de ^{239}Pu	54
8.7.4. Análisis de ^{226}Ra	55
8.8. Metales y metaloides	56
8.9. Contaminantes orgánicos persistentes	56
8.10. Composición isotópica de C y N	57
9. <i>CONTROL DE CALIDAD Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i>	59
9.1. Cartas de control de calidad de los análisis de materiales de referencia certificados	59
9.2. Análisis estadístico	68
9.2.1. Correlación de Pearson	68
9.2.2. Análisis multivariado	68
9.2.2.1. Análisis factorial	68
9.2.2.2. Análisis de componentes principales	69
9.2.2.3. Análisis de redundancia	70
10. <i>RESULTADOS</i>	71
10.1. Lago Santa Elena: caracterización del material sedimentario	71
10.1.1. Tamaño de grano	71
10.1.2. Susceptibilidad magnética	72
10.1.3. Carbono orgánico	73
10.1.4. Carbonatos	75
10.1.5. Mineralogía	75
10.2. Lago Chapala: caracterización del material sedimentario	89
10.2.1. Tamaño de grano	90
10.2.2. Susceptibilidad magnética	91

10.2.3. Carbono orgánico	91
10.2.4. Carbonatos	92
10.2.5. Mineralogía	93
10.3. Radiocronología	107
10.3.1. Lago Santa Elena	107
10.3.1.1. ^{210}Pb total	107
10.3.1.2. ^{210}Pb de base	109
10.3.1.3. ^{210}Pb en exceso	109
10.3.1.4. Radiocronología con ^{210}Pb	109
10.3.1.5. Tasas de acumulación sedimentaria y másica	111
10.3.2. Lago Chapala	112
10.3.2.1. ^{210}Pb total	112
10.3.2.2. ^{210}Pb de base	113
10.3.2.3. ^{210}Pb en exceso	113
10.3.2.4. Radiocronología con ^{210}Pb	114
10.3.2.5. Tasas de acumulación sedimentaria y másica	115
10.3.3. Corroboración de la radiocronología: ^{137}Cs y ^{239}Pu	116
10.3.3.1. Lago Santa Elena	116
10.3.3.2. Lago de Chapala	117
10.3.4. Coincidencias temporales: susceptibilidad magnética y tamaño de grano	118
10.4. Metales y metaloides	120
10.4.1. Concentraciones y flujos	120
10.4.2. Normalización	131
10.4.3. Factor de enriquecimiento	133
10.5. Contaminantes orgánicos persistentes	135
10.5.1. Concentraciones y flujos de bifenilos policlorados	135
10.5.2. Concentraciones y flujos de bifenilos polibromados	139
10.5.3. Concentraciones y flujos de hidrocarburos aromáticos policíclicos	142
10.6. Preservación y flujos de carbono orgánico	148
10.7. Composición isotópica de C y N	150
11. <i>DISCUSIÓN</i>	153
11.1. Interrelaciones mineralógicas	153

11.2. Procedencia de los elementos metálicos	157
11.3. Contaminantes orgánicos persistentes	162
12. <i>CONCLUSIONES</i>	167
13. <i>BIBLIOGRAFÍA</i>	169
14. <i>ANEXOS</i>	197

Índice de tablas

Página

1. Núcleos de sedimento recolectados en los lagos Santa Elena y Chapala en el estado de Jalisco	50
2. Concentraciones (%) de carbono orgánico (C_{org}) y carbonatos ($CaCO_3$) en sedimentos de lagos de México y otras partes del mundo	74
3. Composición mineral (%) en muestra total y fracciones de tamaño de grano de los núcleos SE3 y SE4 del lago Santa Elena	76
4. Composición mineral (%) en muestra total, así como en las fracciones de arcilla, limo y arenas de los núcleos sedimentarios C2 y C3 del lago Chapala	94
5. Actividad de $^{210}Pb_{base}$ y $^{210}Pb_{ex}$ ($Bq\ kg^{-1}$) en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena	109
6. Tasas de acumulación sedimentaria (TAS, $cm\ año^{-1}$) y másica (TAM, $g\ cm^2\ año^{-1}$) en el lago Santa Elena	111
7. Actividad de $^{210}Pb_{base}$ y $^{210}Pb_{total}$ ($Bq\ kg^{-1}$) en los núcleos de sedimento del lago Chapala	113
8. Tasas de acumulación sedimentaria (TAS, $cm\ año^{-1}$) y másica (TAM, $g\ cm^2\ año^{-1}$) del lago Chapala	115
9. Marcas temporales (años A.D.) registradas en los núcleos de sedimento del lago de Chapala	118
10. Valores de metales en muestras de sedimento superficial del lago Chapala. Las concentraciones están dadas en $mg\ kg^{-1}$, excepto Al y Fe (%)	128
11. Concentraciones de metales y metaloides ($mg\ kg^{-1}$) en sedimentos de lagos del mundo	129
12. Flujos de los elementos potencialmente tóxicos en el lago Santa (SE2, SE3) y el lago Chapala (C1, C2). Los flujos de la mayoría de los elementos están dados en $mg\ m^{-2}\ año^{-1}$, excepto para Ca, Al, Fe y Mn que están en $g\ m^{-2}\ año^{-1}$	130
13. Concentraciones de metales y metaloides en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena y Chapala. Los valores están en $mg\ kg^{-1}$ excepto para Al, Fe y Ca (%)	132
14. Concentraciones de PCBs ($ng\ g^{-1}$) en los núcleos de sedimentos del lago Santa Elena	135
15. Concentraciones de PCBs ($ng\ g^{-1}$) en los núcleos de sedimentos del lago de Chapala	136
16. Concentraciones de PCBs ($ng\ g^{-1}$) en sedimentos del mundo y de México	138
17. Concentraciones de PBDEs ($ng\ g^{-1}$) en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena y Chapala	140
18. Concentraciones de PBDEs ($ng\ g^{-1}$) en sedimentos del mundo	141
19. Concentraciones de PAHs ($ng\ g^{-1}$) en los sedimentos de los lagos Santa Elena y Chapala	143

20. Concentraciones de PAHs (ng g^{-1}) en sedimentos de lagos del mundo	145
21. Carga significativas (> 0.65) de las variables incluidas en análisis factorial de los núcleos de sedimento del lago Santa Elena (SE2, SE3) y Chapala (C1, C2)	157
22. Contribuciones (%) a los componentes principales CP1 y CP2 de las muestras de sedimento superficial y núcleos de los lagos Santa Elena (SE2, SE3, SE4) y Chapala (C3, C4)	162
23. Indicadores de origen de PAHs en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena (SE3) y Chapala (C3, C4)	165

Índice de figuras

Página

1. Serie de desintegración radiactiva del ^{238}U	30
2. Ciclo global del ^{210}Pb : A) fuente, transporte y depósito y B) ^{210}Pb de base y ^{210}Pb en exceso en un núcleo de sedimento	31
3. Relación de $\delta^{13}\text{C}$ y C/N (A, C) y $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en sedimentos: A) Middelburg y Nieuwenhuize (1998), Cloern <i>et al.</i> (2002), Ogrinc <i>et al.</i> (2005) y B) Meyers (1994)	38
4. Núcleos de sedimento recolectados en el lago Santa Elena	47
5. Mapa geológico del lago Santa Elena (SGM, 2008)	48
6. Núcleos de sedimento recolectados en el lago Chapala	48
7. Mapa geológico del lago Chapala (SGM, 2000)	49
8. Carta de control de calidad para las determinaciones de ^{210}Pb en el material de referencia certificado IAEA-300. Promedio (-), límites de precaución (°) y límites de control (--)	60
9. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-158. Promedio (-), límites de precaución (°) y límites de control (--)	60
10. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-356. Promedio (-), límites de precaución (°) y límites de control (--)	62
11. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-433. Promedio (-), límites de precaución (°) y límites de control (--)	64
12. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-456. Promedio (-), límites de precaución (°) y límites de control (--)	66
13. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado NBS-1646. Promedio (-), límites de precaución (°) y límites de control (--)	67
14. Perfiles de tamaño de grano de los núcleos de sedimento recolectados en el lago Santa Elena	71
15. Perfiles de susceptibilidad magnética de los núcleos del lago Santa Elena	72
16. Perfiles de carbono orgánico (C_{org}) de los núcleos de sedimento del lago Santa Elena	73
17. Perfiles de carbonatos (CaCO_3) de los núcleos de sedimento del lago Santa Elena	75
18. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3	77
19. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3	78
20. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3	79

21. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3	80
22. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4	82
23. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4	84
24. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4	86
25. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4	88
26. Perfiles de tamaño de grano de los núcleos de sedimento recolectados en el lago Chapala	90
27. Perfiles de susceptibilidad magnética de los núcleos de sedimento recolectados en lago Chapala	91
28. Perfiles de carbono orgánico (C_{org}) de los núcleos de sedimento del lago Chapala	92
29. Perfiles de carbonatos ($CaCO_3$) de los núcleos de sedimento del lago Chapala	93
30. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2	95
31. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2	97
32. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2	99
33. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2	101
34. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3	103
35. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3	104
36. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3	105
37. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3	106
38. Actividad de ^{210}Pb total ($^{210}Pb_{tot}$) contra masa acumulada (m_i) de los núcleos del lago Santa Elena: a) SE1, b) SE2, c) SE3 y d) SE4	108
39. Actividad de $^{210}Pb_{ex}$ contra masa acumulada (m_i) de los núcleos del lago Santa Elena: a) SE2, b) SE3 y c) SE4	110
40. Tasa de acumulación sedimentaria (TAS) y másica (TAM) del SE2 del lago Santa Elena	111

41. Actividad ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$) contra masa acumulada (m_i) de los núcleos del lago Chapala: a) C1, b) C2, c) C3 y d) C4	112
42. Actividad de ^{226}Ra (Bq kg^{-1}) del núcleo C1 del lago Chapala	113
43. Actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ contra masa acumulada (m_i) del núcleo C4 del lago Chapala	114
44. Tasas de acumulación sedimentaria (TAS) y másica (TAM) del lago Chapala	115
45. Actividad de ^{137}Cs (Bq kg^{-1}) en el núcleo de sedimento SE3 del lago Santa Elena	116
46. Actividad de ^{137}Cs (Bq kg^{-1}) y ^{239}Pu (mBq kg^{-1}) en los núcleos de sedimento C1 y C2 del lago Chapala	117
47. Coincidencias temporales de los valores de SM ($\text{k} \times 10^{-5}$ SI) en los núcleos C1, C2 y C3 del lago Chapala	118
48. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento SE2	120
49. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento SE3	122
50. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento C1	124
51. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento C2	126
52. Reconstrucción histórica del enriquecimiento (FE) de metales y metaloides en los núcleos de sedimento de los lagos Santa Elena y Chapala: a) SE2, b) SE3, c) C1 y d) C2	133
53. Reconstrucción histórica de la concentración de homólogos de PCBs en los sedimentos del lago Santa Elena (SE3) y Chapala (C3 y C4)	137
54. Perfiles de las concentraciones de PCB totales en los núcleos de sedimento SE3 y C3	139
55. Perfiles de las concentraciones de PBED totales en los núcleos de sedimento SE3 y C3	142
56. Perfiles de las concentraciones de PAH totales en los núcleos de sedimento SE3, C3 y C4	144
57. Reconstrucción histórica de la concentración de PAHs de bajo peso molecular (BPM), PAHs de alto peso molecular (APM) y $\sum\text{PAHs}$ en los sedimentos del lago Santa Elena (SE3) y Chapala (C3 y C4)	146
58. Reconstrucción histórica de las concentraciones de carbono orgánico [medido (●) vs modelado (○)] de los núcleos C1, C2 y C3 del lago Chapala	148
59. Perfiles de la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y la relación C/N de los núcleos SE3 y C1	150
60. Relación $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y C/N en los núcleos: a) SE3 del lago Santa Elena y b) C1 del lago Chapala	151
61. Análisis de redundancia (RDA) del núcleo C2 del lago Chapala. La matriz predictora está señalada con las líneas rojas y las variables de respuesta con puntos negros	153

62. Análisis de redundancia (RDA) del núcleo C3 del lago Chapala. La matriz predictora está señalada con las líneas rojas y las variables de respuesta con puntos negros	155
63. Gráficos de saturación para los núcleos de sedimentos SE2 y SE3 del lago Santa Elena	158
64. Gráficos de saturación para los núcleos de sedimentos C1 y C2 del lago Chapala	160
65. Análisis de componentes principales (ACP) de la composición de homólogos de PCBs en los sedimentos del lago Santa Elena y las mezclas comerciales de Arocloros	163
66. Análisis de componentes principales (ACP) de la composición de homólogos de PCBs en los sedimentos del lago Chapala y las mezclas comerciales de Arocloros	164

R E S U M E N

El impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas a nivel global, han alterado significativamente la capacidad de nuestro planeta para sustentar la vida. Entre las manifestaciones del cambio global se incluye al cambio climático, los cambios de uso de suelo, las alteraciones en los ciclos biogeoquímicos de muchos elementos, la pérdida de la biodiversidad y la contaminación atmosférica. Algunos metales y contaminantes orgánicos persistentes tienen gran capacidad de dispersión a través de la atmosfera, debido a su alta volatilidad y afinidad a las partículas de polvo, razón por la cual, los sitios remotos ubicados en zonas montañosas se convierten en ecosistemas sensibles a los efectos de la contaminación por dispersión y transporte atmosférico. En estas zonas los núcleos sedimentarios lacustres pueden ser utilizados como registros de cambios ambientales, tanto desde una perspectiva local hasta la evaluación de los efectos del cambio global, incluyendo las tendencias de la contaminación atmosférica o el impacto de los cambios del uso del suelo en el ciclo del carbono. El objetivo principal de este trabajo de investigación fue realizar la reconstrucción histórica de los flujos de elementos potencialmente tóxicos (As, Cr, Cu, Hg, Pb, Rb, Zn, V), de contaminantes orgánicos persistentes (PCBs, PBDEs, PAHs) y de carbono orgánico, a través del estudio de registros sedimentarios, fechados por el método de ^{210}P , recolectados en dos lagos localizados en la zona sur de la región de Los Altos en el estado de Jalisco, caracterizados por niveles de antropización contrastantes. El lago Santa Elena pertenece a una zona rural elevada (2,064 msnm) con escasos asentamientos humanos, dentro del municipio de San Julián; mientras que, el lago Chapala (1,524 msnm) ubicado entre los límites del estado de Jalisco y Michoacán, funciona como la principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Guadalajara, al mismo tiempo que recibe los efluentes del río Lerma, el cual fluye a través de 700 km por extensas áreas de cultivo (~30,000 ha) y parques industriales. El fechado de los núcleos sedimentarios se realizó con el método de ^{210}Pb por espectrometría alfa (Ortec–Ametek 920E) y las cronologías se corroboraron mediante los perfiles de actividades de los marcadores estratigráficos ^{137}Cs y ^{239}Pu , determinados por espectrometría gamma y alfa, respectivamente. El análisis de elementos potencialmente tóxicos se realizó mediante un espectrómetro de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) Agilent modelo 7500ce. Los contaminantes orgánicos persistentes fueron cuantificados por cromatografía de gases asociada a espectrometría de masas (HP-5890 y HP-5970-MSD) mediante el monitoreo de iones seleccionados (GC/MS-SIM). Para el análisis de composición mineralógica de los sedimentos se utilizó un difractómetro de rayos-X Siemens de radiación $\text{CoK}\alpha$. Las concentraciones de carbono orgánico (C_{org}) y carbonatos (CaCO_3) se determinaron a través de métodos volumétricos, y para el análisis de la

composición isotópica de C y N se utilizó un analizador elemental Carlo Erba NA1500 Serie 2 acoplado a un espectrómetro de masas Thermo Finnigan Delta Plus X con un Finnigan Conflo II de interfase de escisión abierta.

Las edades máximas obtenidas de los núcleos sedimentarios del lago Santa Elena fueron: 67 ± 15 años (1943 A.D.) en SE2, 76 ± 10 años (1935 A.D.) en SE3 y 25 ± 4 años (1985 A.D.) en SE4. Se observó que a las tasas de acumulación sedimentaria (TAS) y acumulación másica (TAM) en el lago Santa Elena aumentaron de forma progresiva desde las secciones más antiguas hacia la fecha de muestreo (2010 A.D.), con valores que van de 0.03 a 0.45 cm año^{-1} y de 0.02 a 0.13 $\text{g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$, respectivamente. Los sedimentos de los núcleos del lago Santa Elena están constituidos en su mayoría por limos (65-92%), con contenidos de C_{org} que varían entre 0.5 y 2.5%, y de CaCO_3 entre 1.4 y 14.8%. Las especies minerales predominantes en la fracción de arenas son: albita (27.3-61.2%) > plagioclasa (38.4-40.8%) > cristobalita (28.2-30.4%); mientras que en la fracción de limos fueron: cristobalita (33.1-37.4%) > cuarzo (20.6-29.9%) > plagioclasas (16.5-23.9%) y en la fracción de arcillas: cristobalita (33.0-40.7%) > montmorillonita (8.9-39.7%) > caolinita (10.7-20.5%).

En el lago Chapala la edad máxima de los núcleos fechados fue: 96 ± 18 años (1914 A.D.) en C1, 84 ± 17 años (1926 A.D.) en C2, 92 ± 13 años (1918 A.D.) en C3 y 44 ± 4 años (1966 A.D.) en C4. Los núcleos mostraron incrementos abruptos en los ritmos de acumulación sedimentaria a partir de la década de 1950, con máximos en 1963, 2004 y 2010 (TAS, 1.3-1.5 cm año^{-1} ; TAM, 0.12-0.18 $\text{g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$). Los sedimentos del lago Chapala están constituidos principalmente por limos (44-95%) con contenidos de C_{org} y CaCO_3 que variaron entre 0.2 y 3.1% y 1.4 y 18.8%. Se observó que los perfiles de susceptibilidad magnética (SM) de los núcleos C1, C2 y C3 presentaron zonas coincidentes de valores máximos, entre los 67 y 75 cm de profundidad ($10.5-25.0 \text{ k} \times 10^{-5} \text{ SI}$), lo que indicó la existencia de una señal bien preservada y uniforme en los registros sedimentarios del lago. Los minerales predominantes en la fracción de arenas fueron: anfíbol (10.1-62.4%) > albita (41.1-54.2%) > clinocloro (2.9-36.0%); mientras que en la fracción de limos fue: cristobalita (33.3-52.1%) > montmorillonita (31.8-51.8%) > albita (28.7-34.9%) y en la fracción de arcillas: montmorillonita (72.5-75.6%) > caolinita (14.1-44.2%) > cristobalita (22.0-24.8%).

Ninguno de los sistemas acuáticos presentó factores de enriquecimiento de metales o metaloides mayores a 2, es decir, no se halló evidencia de un alto grado de contaminación por metales o metaloides. No obstante, de acuerdo a los valores de referencia internacionales TEL (nivel umbral de efectos) y PEL (nivel de efectos probables), las concentraciones observadas de As, Cr, Cu, Hg y Ni, podrían tener efectos tóxicos para la biota bentónica. Los flujos máximos de los elementos Sr, Ag, As,

Cd, Cu, Ni y Zn fueron comparables entre los registros sedimentarios del lago Santa Elena y Chapala. En tanto que Rb, Th y Cr mostraron flujos mayores ($\geq 46\%$) en el lago Santa Elena en comparación con el lago Chapala. De acuerdo con el análisis estadístico multivariado (análisis factorial), la mayoría de los elementos observados en los sedimentos de ambos sistemas acuáticos proceden de fuentes naturales y han sido transportados a través de los procesos de intemperismo y erosión que operan en sus cuencas hidrográficas.

Los registros sedimentarios del lago Santa Elena y Chapala mostraron contaminación ligera por PCBs, PBDEs y PAHs. En la mayoría de los registros sedimentarios se detectaron congéneres de PCBs de baja cloración (di a penta-CB) y baja brominación PBDEs (tri a penta-BDE), con excepción del núcleo C4 del lago de Chapala que presentó en las secciones superficiales concentraciones de PCB con mayor grado de cloración (hepta-CB). A pesar de las restricciones en el uso comercial de las mezclas de PCBs (en 1977) y PBDEs (en 2004), sus concentraciones totales en los sedimentos mostraron tendencias crecientes aún en los sedimentos más recientes. Por otro lado, las concentraciones de PAHs no mostraron una tendencia temporal definida en ninguno de los sitios; y se determinó que su presencia en los núcleos de los lagos Santa Elena y Chapala procede de fuentes petrogénicas y pirogénicas.

La estimación de los flujos de C_{org} y su preservación en los sedimentos se realizó únicamente en los registros sedimentarios del lago Chapala. Los flujos de C_{org} variaron entre 3 y 51 $g\ m^{-2}\ año^{-1}$, mientras que la pérdida máxima de C_{org} por diagénesis en los registros sedimentarios fue de $\sim 39\%$ en 96 ± 18 años. Por último se evaluó la tendencia histórica de los cambios en las fuentes de materia orgánica en los sedimentos del lago Santa Elena y Chapala, utilizando los indicadores $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ y C/N. La proporción C/N en conjunto con los valores de $\delta^{15}N$ indicaron que la materia orgánica en ambos lagos proviene de la mezcla de plantas terrestres y fitoplancton y, de acuerdo a los valores de $\delta^{13}C$, la fuente principal de C_{org} a los sedimentos de ambos lagos son las plantas terrestres tipo C3.

ABSTRACT

The impact of human activities in global ecosystems has changed significantly the capacity of the system Earth of support life at a global scale. Among the manifestations of global change are included the climate change, erosion due to land use change, alterations of biogeochemistry cycles, biodiversity loss and atmospheric pollution. Metals and persistent organic pollutants has a great dispersion capacity through the atmosphere due to its high volatility and affinity to dust particles, thus high altitude and remote sites are sensitive ecosystems to the effects of dispersion and transport of atmospheric contaminants. In these sites, the lacustrine sediment cores can be used as records of environmental changes, either from local or global scales, to evaluate, for instance, the trends of atmospheric contamination or the impact of changes in land use in the carbon cycle. The main goal of this study was to reconstruct the historical fluxes of potentially toxic elements (As, Cr, Cu, Hg, Pb, Rb, Zn, V), persistent organic pollutants (PCBs, PBDEs, PAHs) and organic carbon, through the study of ^{210}Pb -dated sediment cores, collected in two lakes, characterized by contrasting levels of anthropization, located in the south area of Los Altos, Jalisco State. Santa Elena Lake, in the municipality of San Julián, belongs to a rural area (2,064 masl) with scarce human settlements, and an economy mostly based in cattle ranching and agriculture; whereas Chapala Lake (1,524 masl), is surrounded by the third biggest city of Mexico, and has been reported to receive the effluents of Lerma river, which flows through 700 km of extensive areas of cultivation (~30,000 ha) and industry parks. ^{210}Pb activities were estimated through the analysis of ^{210}Po (assuming secular equilibrium between both radionuclides) by alpha spectrometry (Ortec–Ametek 920E detectors) and the sediment chronologies were corroborated by using the stratigraphic markers ^{137}Cs and ^{239}Pu , determined by gamma and alpha spectrometry, respectively. The analysis of potential toxic elements was made through inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS, Agilent model 7500ce); and the persistent organic pollutants were quantified with gas chromatography coupled to mass spectrometry (HP-5890 and HP-5970-MSD) by selected ion monitoring (GC/MS-SIM). The sediment mineralogical analysis was performed with a Siemens X-ray diffractometer. The organic carbon (C_{org}) and carbonate (CaCO_3) concentrations were determined through volumetric methods, and the isotopic composition of C and N were determined through an elemental analyzer Carlo Erba NA1500 Series 2 coupled to mass spectrometer Thermo Finnigan Delta Plus X with a Finnigan Conflo II open split interface.

The maximum ages obtained in the sediment cores from Santa Elena Lake were: 67 ± 15 years (i.e. 1943 A.D.) in SE2, 76 ± 10 years (1935 A.D.) in SE3 and 25 ± 4 years (1985 A.D.) in SE4. The sediment accumulation rate (SAR) and mass accumulation rate (MAR) in Santa Elena Lake cores increased

gradually from the older sections to the sampling year (2010 A.D.), with values ranging between 0.03 to 0.45 cm year⁻¹ and from 0.02 to 0.13 g cm⁻² year⁻¹, respectively. Sediments in Santa Elena cores consist mainly of silt (65-92%), with C_{org} contents ranging from 0.5 to 2.5%, and CaCO₃ contents between 1.4 to 14.8%. The predominant mineral species in the sand fraction were: albite (27.3-61.2%) > plagioclase (38.4-40.8%) > cristobalite (28.2-30.4%); silt fraction: cristobalite (33.1-37.4%) > quartz (20.6-29.9%) > plagioclase (16.5-23.9%) and clay fraction: cristobalite (33.0-40.7%) > montmorillonite (8.9-39.7%) > kaolinite (10.7-20.5%).

In Chapala Lake cores the maximum ages were: 96±18 years (1914 A.D.) in C1, 84±17 years (1926 A.D.) in C2, 92±13 years (1918 A.D.) in C3 and 44±4 years (1966 A.D.) in C4. The sediment cores showed abrupt increments in the accumulation rates since the decade of 1950, with maximums at year 1963, 2004 and 2010 (SAR, 1.3-1.5 cm year⁻¹; MAR, 0.12-0.18 g cm⁻² year⁻¹). Chapala Lake sediments are mainly composed of silt (44-95%) with C_{org} and CaCO₃ contents ranging between 0.2 to 3.1% and 1.4 to 18.8%, respectively. Magnetic susceptibility (MS) profiles of C1, C2 and C3, showed peak values (10.5-25.0 k x 10⁻⁵ SI; between 67 and 75 cm of depth) which indicated the existence of a well preserved and uniform signal in the sediment record of Chapala Lake. The predominant minerals in the sand fraction were: amphibole (10.1-62.4%) > albite (41.1-54.2%) > clinocllore (2.9-36.0%); silt fraction: cristobalite (33.3-52.1%) > montmorillonite (31.8-51.8%) > albite (28.7-34.9%) and clay fraction: montmorillonite (72.5-75.6%) > kaolinite (14.1-44.2%) > cristobalite (22.0-24.8%).

The sediment cores from Santa Elena and Chapala lakes did not show evidences of metal or metalloid contamination (enrichment factors ≤ 2). However, according to the international reference values TEL (threshold effects level) and PEL (probable effects level) the observed concentrations for As, Cr, Cu, Hg and Ni, may have toxic effect in benthic biota. The higher fluxes of Sr, Ag, As, Cd, Cu, Ni and Zn were comparable between the lacustrine sediment records of both lakes; whereas Rb, Th and Cr showed higher fluxes (≥46%) in Santa Elena Lake than Chapala. According to multivariate statistic analyst (factor analysis), most of the elements determined in the sediment cores are derived from natural sources, and have been transported to both lakes through weathering and erosion from their watersheds.

The sediment cores from Santa Elena and Chapala showed slight contamination of PCBs, PBDEs and PAHs. In most sediment records, the ensemble of PCBs and PBDEs were composed by lower chlorinated (di to penta-CB) and lower brominated (tri to penta-BDE) congeners; although, higher chlorinated PCBs (hepta-CB) were found in the topmost section of core C4 in Chapala Lake. Despite the restrictions in the commercial use of mixes of PCBs (in 1977) and PBDEs (in 2004), the sediment

cores in both lakes showed increasing PCB and PBDE concentration trends in the most recent sediments. The PAH concentrations did not show a defined temporal trend in none of the sediment cores analyzed; and it was determined that their presence in the sediments from Santa Elena and Chapala Lakes have a mixed origin (pyrogenic and petrogenic sources).

The evaluation of fluxes and preservation of C_{org} was achieved only in the sediment cores C1, C2 and C3 of Chapala Lake. The C_{org} fluxes ranged between 3 and 51 $g\ m^{-2}\ year^{-1}$, and the maximum loss of C_{org} by diagenesis was ~39% in 96 ± 18 years. The C/N ratio and $\delta^{15}N$ values indicated that organic matter deposited in the sediments resulted from a mixture of terrestrial plants and phytoplankton, whereas according to $\delta^{13}C$ values, the principal source of C_{org} in sediments of both lakes are terrestrial plants type C3.

1. Introducción

En el planeta la fuente natural más importante de elementos metálicos son las rocas y los suelos de la corteza continental. Esto se debe a que los metales se encuentran dentro de las estructuras cristalinas de muchos minerales, donde procesos como el intemperismo y la erosión pueden liberarlos en forma disuelta o particulada a través de las aguas naturales hacia el ambiente. Otra fuente natural relevante es el vulcanismo que inyecta a estos elementos directamente hacia la atmósfera o como corrientes de lava. A nivel global estas dos fuentes representan el 80% de las entradas naturales, mientras que los incendios forestales y las fuentes biogénicas representan cerca del 20% (Nriagu, 1990). No obstante los metales que se han relacionado estrechamente con el deterioro de los ecosistemas y con la calidad y el nivel de vida de las sociedades modernas son aquellos metales de origen antrópico (Dauvalter, 2003; Balwin y Howitt, 2007). A partir del siglo XX la fuerza industrial transformó la explotación de los metales en una actividad extensiva, lo que intensificó la preocupación internacional por los riesgos relacionados con la movilización y el aprovechamiento de estos elementos (Wang *et al.*, 2009). Diversos estudios (Adriano, 1986; Nriagu, 1990; Niisoe *et al.*, 2010) han señalado que las entradas por fuentes antropogénicas exceden a las contribuciones naturales por varios órdenes de magnitud. Entre los contribuyentes principales se encuentran industrias como la minería y la fabricación de cemento, la quema de combustibles fósiles, la incineración de residuos sólidos, las descargas directas de aguas residuales industriales y urbanas, así como el uso de fertilizantes y pesticidas (Hill, 2010). Al quedar disponibles, los contaminantes metálicos son susceptibles a moverse a través de las corrientes de agua y los vientos, pudiendo acumularse en lagos, estuarios o el mar. De hecho, una de las principales rutas de incorporación de varios metales que poseen fases volátiles como el Hg, Pb, Cd y Zn, hacia los suelos y los sedimentos es el depósito atmosférico (Steinnes, 1987). Lo anterior implica que al ser movilizados a través de la atmósfera la distribución de estos contaminantes es global y, por tanto, han sido depositados en sitios remotos de la fuente de emisión, afectando ecosistemas sensibles como las áreas protegidas y zonas rurales (Larocque y Rasmussen, 1998; Wang *et al.*, 2009).

Otros contaminantes, clasificados también como ubicuos por su alta resistencia a la degradación microbiana y que igual que los contaminantes metálicos tienen gran capacidad de dispersión, son los Contaminantes Orgánicos Persistentes o COPs. De acuerdo con el Convenio Internacional de Estocolmo del 2001 se considera a los COPs como una amenaza importante y creciente para la salud humana y el medio ambiente (Weinberg, 2009). En este grupo de contaminantes se encuentra a los Bifenilos Policlorados (PCBs), Bifenilos Polibromados (PBDEs) e Hidrocarburos Aromáticos

Policíclicos (PAHs). Aunque el origen de los PCB, PBDE y los PAH es distinto, los tres poseen propiedades comunes que permite catalogarlos como COPs: 1) son bioacumulables, 2) se biomagnifican y 3) son compuestos de bajo peso molecular, altamente volátiles y tienen gran afinidad con las partículas de polvo, por lo que se movilizan a grandes distancias a través de las corrientes de aire (Guzzella *et al.*, 2005; Piazza *et al.*, 2008).

Ahora bien, los ecosistemas más sensibles a los efectos de la contaminación por transporte atmosférico de largo alcance son aquellos que se ubican en las zonas montañosas, debido al fenómeno denominado efecto de destilación global. Este fenómeno relaciona la condensación de compuestos anteriormente presentes en la atmósfera con el incremento en el gradiente altitudinal, ya que se ha demostrado que existe una tendencia global a la migración de compuestos volátiles, como es el caso algunos contaminantes metálicos como el Hg y los COPs, desde las regiones cálidas hacia las regiones más frías (Gallego *et al.*, 2007; Weinberg, 2009). Por esta razón los registros sedimentarios de lagos ubicados en áreas de montaña pueden utilizarse como indicadores de cambios ambientales a diferentes niveles, que van desde la escala local o a nivel de cuenca hidrográfica, hasta la evaluación de efectos del Cambio Global (Leroy *et al.*, 2002). Los sedimentos son como un archivo histórico o memoria del lago, ya que bajo condiciones normales el registro se forma poco a poco y, conforme nuevas capas de materiales recientes se añaden, van creando una estructura estratificada o rítmica, en la cual, si los estratos no se han mezclado posteriormente, reflejarán la secuencia temporal de eventos que tuvieron lugar en el pasado. Así, al recuperar un archivo sedimentario inalterado y establecer un marco temporal confiable con algún método de fechado absoluto o relativo (e.g., radiocronología con ^{210}Pb) es posible reconstruir las condiciones ambientales que prevalecían en el momento de la formación de los sedimentos (Margalef, 1983; Ruiz-Fernández *et al.*, 2014). Por otra parte, los sedimentos son depósitos activos con capacidad de acumular grandes cargas de carbono a partir del detritus orgánicos, por lo que durante las últimas décadas han aumentado los esfuerzos para evaluar la eficiencia de este reservorio como sumidero de CO_2 debido a las implicaciones que tiene sobre el cambio climático antropogénico (Aller *et al.*, 1996; Casper *et al.*, 2000; Schoijet, 2008; Marieni *et al.*, 2013). Algunos autores (Schlesinger, 1990; Dean y Gorham, 1998; Downing, 2008) han señalado que la acumulación de carbono orgánico en los cuerpos de agua epicontinentales, naturales y artificiales es comparable e incluso mayor al de los suelos o los sedimentos marinos. Así, los sedimentos de los lagos tienen un papel fundamental en la preservación del carbono orgánico, siendo una pieza clave dentro del ciclo del carbono a nivel global (Gudasz *et al.*, 2010).

El propósito principal de este trabajo de investigación fue realizar la reconstrucción histórica de los flujos de elementos potencialmente tóxicos (As, Cr, Cu, Hg, Pb, Rb, Zn, V), contaminantes orgánicos persistentes (PCBs, PBDEs, PAHs) y carbono orgánico en los registros sedimentarios de los lagos Santa Elena y Chapala utilizando la radiocronología con ^{210}Pb .

2. Marco teórico

2.1. Susceptibilidad magnética

La susceptibilidad magnética volumétrica k es la medida de la cantidad de materiales magnetizable que componen una muestra (Stone y St-Onge, 2007), donde:

$$k = M/H$$

M es la intensidad de magnetización inducida por unidad de volumen y H es la fuerza del campo magnético aplicado. La susceptibilidad magnética (SM) es una estimación de que tan magnetizable es un material en presencia de un campo magnético, y se utiliza para caracterizar varias clases de sustancias magnéticas como los sedimentos o las rocas. Ahora bien, k es adimensional ($k \times 10^5$, de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades) y se relaciona directamente con la cantidad de materiales ferromagnéticos (magnetita, hematita, goethita, pirrotita) en una muestra. Cuando la cantidad de materiales ferromagnéticos es baja, los valores de k corresponden a la suma de los contenidos de minerales antiferromagnéticos (hematita), paramagnéticos (clorita, esmectita, glauconita, anfíboles) y diamagnéticos (calcita, dolomita, cuarzo, fosforita). La SM es una manifestación del aporte detrítico hacia los sedimentos, por lo que sus variaciones son resultado de los cambios en el tamaño de grano o la composición mineralógica. (Thompson *et al.*, 1980; Stone y St-Onge, 2007). Estas variaciones en los núcleos de sedimento pueden evidenciar modificaciones en las fuentes de suministro a lo largo del tiempo (Caitcheon, 1993). Por eso la susceptibilidad magnética se utiliza para correlacionar perfiles sedimentarios en base a su litología, así como para identificar secciones dentro de la columna donde existan cambios en las tasas de acumulación másica y sedimentaria (Maher y Thompson 1999; Evans y Heller, 2003).

2.2. El carbono en los sedimentos.

Actualmente se reconoce la importancia que tienen los lagos dentro del ciclo del carbono, al ser sitios activos de transporte, transformación y almacenamiento de la materia orgánica (Gudasz *et al.*, 2010; Teodoru *et al.*, 2013). En las aguas de los lagos, el CO₂ disuelto que no se difunde hacia la atmósfera rápidamente es transformado a carbono orgánico por el fitoplancton, el cual eventualmente es enterrado en los sedimentos. Así, estos sistemas actúan como esponjas de CO₂, fijando grandes cantidades de carbono directamente desde la atmósfera (Heathcote y Downing, 2012).

En los sedimentos el contenido de carbono total se divide de forma general en dos fracciones: 1) el carbono orgánico (C_{org}) que es una mezcla del detritus de la biota que habita el sistema acuático

(material autóctono) y el particulado orgánico que es acarreado por escorrentía (material alóctono); y 2) el carbono inorgánico compuesto por minerales biogénicos y no-biogénicos (precipitados autigénicos o restos de rocas) de carbonatos (CaCO_3 , entre otros). En geoquímica el contenido de carbono orgánico se utiliza para evaluar la relación que tiene la materia orgánica con el transporte, depósito y retención de metales y otros contaminantes en los sedimentos (Loring y Rantala, 1992; Nieuwenhuize *et al.*, 1994). Varios autores (p.ej. Curtis, 1966; Schnitzer y Khan, 1972; Jackson *et al.*, 1978) afirman que la atracción de los iones metálicos con la materia orgánica soluble, coloidal y particulada puede variar desde fuerzas débiles, que liberan fácilmente a los iones (adsorción física), hasta interacciones más fuertes que son indistinguibles de los enlaces químicos (adsorción específica). Asimismo, la interacción de los iones metálicos con la materia orgánica en presencia de arcillas, produce entidades organo-metálicas muy estables debido a que las partículas finas se comportan como una plantilla de adsorción selectiva que fija a los iones en disolución junto al componente orgánico (Jackson *et al.*, 1978). Por otro lado, el carbono inorgánico es un proxy de dispersión de material terrígeno; además, contrario a la naturaleza del carbono orgánico, esta fracción actúa como diluyente de las concentraciones de contaminantes metálicos (Wan *et al.*, 2005).

2.2.1. Preservación de carbono orgánico

La preservación del carbono orgánico en los sedimentos obedece a los siguientes factores:

- Origen. La preservación de la materia orgánica sedimentaria depende de las porciones de compuestos orgánicos fácilmente degradables y refractarios que la forman (Westrich y Berner, 1984).
- Disponibilidad de oxígeno. Cuando las concentraciones de oxígeno en los sedimentos son altas ($\text{O}_2 \gg 5\%$) mayor es la degradación de la materia orgánica (mineralización) debido a las reacciones de descomposición bacteriana (Hartnett *et al.*, 1998).
- Tamaño de las partículas. Los granos de los sedimentos finos (limos y arcillas) ofrecen una barrera física en contra de la mineralización de la materia orgánica dentro de la columna de agua y los sedimentos superficiales (Mayer, 1994).
- Tasa de sedimentación. El aumento en el aporte de sedimentos reducen la exposición de la materia orgánica a altas concentraciones de O_2 (Ruiz-Fernández *et al.*, 2007a).

Aunque toda la materia orgánica que llega a los sedimentos es susceptible al proceso de diagénesis temprana, solo una parte del material orgánico depositado es mineralizado a CO_2 o CH_4 por microorganismos heterótrofos, mientras que otra parte queda parcialmente enterrada (Gudasz *et al.*, 2010). Por lo tanto, las concentraciones de carbono orgánico en los sedimentos disminuyen con el paso

del tiempo, aunque no siempre al mismo ritmo. Por ejemplo, se ha estimado que la preservación de carbono orgánico en los sedimento de los cuerpos de agua epicontinentales, como los lagos, excede al de los océano por tres órdenes de magnitud (Tranvik *et al.*, 2009). La tasa de descomposición del carbono orgánico puede ser evaluada a través del modelo de primer orden G de Berner (1980):

$$G_i = G_0 e^{-kt} + G_\infty$$

Donde k es la constante de descomposición, G_0 representa la concentración del componente orgánico degradable en la superficie del sedimento y G_∞ es la concentración asintótica del perfil de profundidad que representa la fracción refractaria de la materia orgánica.

Otro modelo que permite la evaluación de los cambios en el suministro de carbono orgánico dentro del marco temporal del registro sedimentario es el modelo de Middelburg (1989), el cual predice la concentración de carbono orgánico en cualquier tiempo, como resultado del aporte constante de material orgánico y suponiendo condiciones de estado estable para el proceso de diagénesis (Cornwell *et al.*, 1996):

$$G_t = G_0 e^{-(3.2t^{0.05})}$$

Aquí, G_t es el componente orgánico metabolizable del carbono orgánico depositado en el tiempo t y G_0 representa la concentración del componente orgánico degradable en la superficie del sedimento, la cual se ha seleccionado para proveer una correspondencia general entre el modelo y la determinación de la concentración del componente orgánico no-metabolizable (sección asintótica del perfil vertical de carbono orgánico). Una vez que se conoce la fracción de carbono orgánico que ha sido consumida debido a la descomposición bacteriana, es posible estimar la concentración original depositada en la superficie de los sedimentos y en consecuencia el porcentaje remanente preservado en la columna de sedimento a lo largo del tiempo.

2.2.2. Flujos de carbono orgánico

La liberación constante de CO₂ por la quema de combustibles fósiles está empujando el sistema climático hacia un territorio desconocido, que tiene consecuencias en el ciclo de carbono a nivel global (Gruber y Galloway, 2008). Por tanto, examinar los flujos y preservación del carbono orgánico en los lagos es indispensable debido a las implicaciones que esto tiene en el estudio del cambio climático antropogénico (Xu *et al.*, 2013). Los flujos de carbono orgánico se calculan como el producto de la TAM por la concentración superficial de carbono orgánico estimada con el modelo de Middelburg (1989). La ecuación es como sigue:

$$\text{Flujos de } C_{org} = (TAM, g \text{ cm}^{-2} \text{ a}^{-1}) * (C_{org}, mg \text{ g}^{-1}) = mg \text{ cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$$

2.3. Mineralogía

Un mineral se define como una sustancia natural cristalina que se forma a partir de elementos o compuestos inorgánicos. Los compuestos orgánicos también pueden formar estructuras cristalinas pero no son considerados minerales como tal. Los cristales de un mineral tienen átomos bien organizados dentro de un patrón o estructura tridimensional, mientras que los materiales orgánicos amorfos (p.ej. kerógeno) no presentan esta organización interna característica. Sin embargo, es difícil establecer un límite estricto al clasificar las estructuras cristalográficas inorgánicas y orgánicas. Por ejemplo, existen sustancias amorfas como el ópalo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) clasificadas como mineraloides, que están compuestas por micro esferas o agregados que forman una estructura más o menos ordenada. Otros compuestos denominados sustancias paracristalinas (ej. alofano, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) ocurren como estructuras nanocristalinas en las arcillas y son considerados como una transición entre los compuestos de tipo amorfo y mineral (Last, 2001).

Para reconstruir las condiciones ambientales lacustres es necesario caracterizar o al menos tener un conocimiento general acerca de la composición mineralógica de los registros sedimentarios. Igual que los análisis de textura (tamaño de grano) y de caracterización geoquímica (e.g. C_{org} , CaCO_3 , etc.), la determinación de la abundancia de minerales forma parte de la descripción y discusión general del material recolectado (Lewis, 1984). En limnología, el análisis de minerales puede proporcionar información acerca de la génesis sedimentaria, los mecanismos de transporte de materiales o las condiciones climáticas, hidrológicas y limnológicas en el pasado (Last, 2001; Fagel *et al.*, 2003; Ontiveros-Cuadras *et al.*, 2014). Los sedimentos contienen una mezcla de minerales proveniente de distintas fuentes. Por ejemplo, algunos compuestos se forman fuera del sistema (alógenicos), mientras que otros precipitan en la columna de agua (endogénicos) e incluso, existen minerales que se producen a partir de la alteración de materiales depositados previamente o que precipitan en el agua intersticial de la columna sedimentaria (autigénicos). De acuerdo con algunos autores (Garrels y MacKenzie, 1971; Rollinson, 1993), la diversidad de minerales en los sedimentos lacustres es mayor en comparación con la de otros depósitos sedimentarios, como los de origen continental (p.ej. fluviales, eólicos) y oceánicos. Esto se debe a la heterogeneidad del agua que entra a los sistemas lacustres y a la enorme influencia que tiene la geología local, que incluye la cuenca hidrográfica y la composición de los suelos.

2.4. Fechado radiométrico

El fechado absoluto o radiométrico se originó a principios del siglo XX a partir de los trabajos realizados por el físico y químico neozelandés Ernest Rutherford (Rutherford, 1906). La radiocronología utiliza la desintegración espontánea de los isótopos radiactivos (o radionúclidos) terrestres y cosmogénicos para determinar el marco temporal de distintos procesos que ocurren en la naturaleza. Las premisas básicas de cualquier fechado radiométrico son las siguientes (Košler *et al.*, 2004):

1. Inicialmente la muestra contiene al radionúclido padre libre de la actividad del radionúclido hijo, o en una proporción conocida.
2. El radionúclido padre se desintegra en el radionúclido hijo a una tasa constante conocida. La desintegración puede ser directa o a través una serie de radionúclidos intermedios. Durante el fenómeno de desintegración radiactiva ningún radionúclido externo padre o hijo es incorporado. Esto se denomina condición de sistema cerrado.

2.1.1. Radiocronología con ^{210}Pb

El ^{210}Pb tiene un periodo de semidesintegración de $T_{1/2}=22.23\pm 0.12$ años (DDEP, 2013a) y ocurre de manera natural como parte de la serie de desintegración del ^{238}U (figura 1).

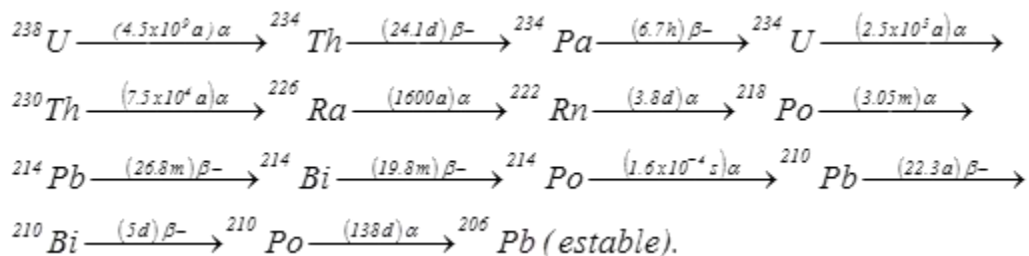


Figura 1. Serie de desintegración radiactiva del ^{238}U .

El radionúclido es un emisor β^- débil, así como de rayos gamma de baja energía (46.5 keV). Su actividad puede determinarse de forma directa en detectores gamma de alta resolución o mediante su nieto ^{210}Bi , que es un emisor de partículas beta (Sapozhnikov *et al.*, 1993). Otra forma común de medir la actividad del ^{210}Pb es a través de su descendiente el radionúclido ^{210}Po que tiene un periodo de semidesintegración de $T_{1/2}=138.37\pm 0.17$ días (DDEP, 2013b) y es un emisor alfa. La diferencia entre el $T_{1/2}$ del ^{210}Pb y el ^{210}Po permite asumir equilibrio secular entre las actividades de ambos radionúclidos. Esto implica que la actividad del radionúclido padre es aparentemente constante durante el tiempo de

producción del radionúclido hijo ($T_{1/2 \text{ padre}} \gg T_{1/2 \text{ hijo}}$), por lo tanto al determinar la actividad del ^{210}Po se obtiene la actividad del ^{210}Pb (Attix, 1986).

A partir de que Edward D. Goldberg publicara por primera vez el uso del ^{210}Pb como herramienta de fechado (Goldberg, 1963) su uso se ha extendido hasta convertirse en el método de fechado más ampliamente utilizado para sedimentos recientes, con más de 600 artículos científicos publicados en bases de datos internacionales como SCOPUS.

El ^{210}Pb se encuentra de manera natural en el ambiente como producto de la desintegración del ^{222}Rn ($T_{1/2}=3.82\pm 0.08$ días, DDEP, 2013c) que a su vez proviene de la desintegración del ^{226}Ra ($T_{1/2}=1600\pm 0.07$ años, DDEP, 2013d) de origen litogénico (Koide *et al.*, 1972). El ^{210}Pb en los sedimentos tiene dos componentes: el ^{210}Pb soportado o de base, producido in situ a partir de la desintegración de ^{222}Rn atrapado al interior de los sedimentos; y el ^{210}Pb en exceso o no soportado, que se produce en la atmósfera, debido a la desintegración del ^{222}Rn que emana de los suelos (figura 2). El ^{210}Pb se caracteriza por ser altamente reactivo, así que la fracción de ^{210}Pb en exceso se adsorbe a las partículas atmosféricas y precipita por vía húmeda o seca. En la columna de agua se adhiere fácilmente a las partículas finas en suspensión, para luego sedimentar en el fondo de los sistemas acuáticos. En general, el flujo principal de ^{210}Pb hacia la corteza terrestre y los sistemas acuáticos se deriva del aporte atmosférico (figura 2A). Sin embargo, en algunos sistemas marinos donde la columna de agua es muy grande, la desintegración in situ del ^{222}Rn es una fuente alterna particularmente importante (figura 2B) (Appleby y Oldfield, 1992; Preiss *et al.*, 1996; Ruiz-Fernández *et al.*, 2009).

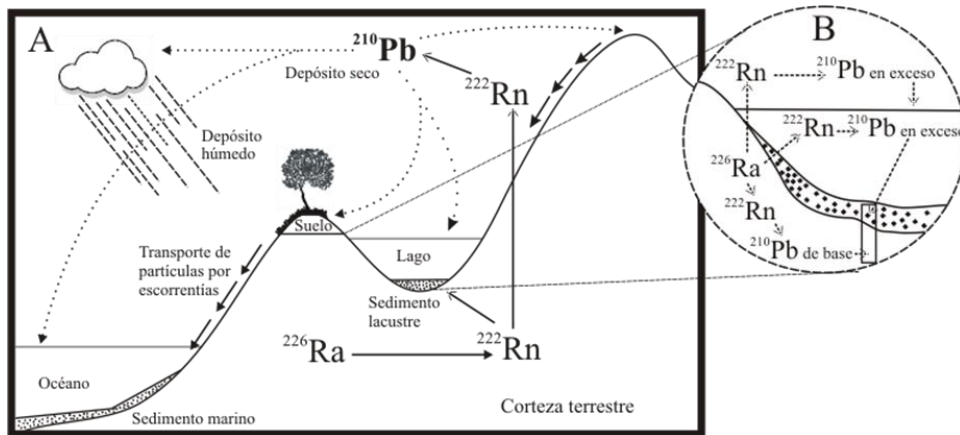


Figura 2. Ciclo global del ^{210}Pb : A) fuente, transporte y depósito y B) ^{210}Pb de base y ^{210}Pb en exceso en un núcleo de sedimento.

Experimentalmente la actividad que se determina es la del ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$), la cual se encuentra en desequilibrio con el $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$. Por tanto el $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ es igual a:

$$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{tot}} - ^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$$

El $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ es el parámetro fundamental para la radiocronología con ^{210}Pb . En la columna sedimentaria la evaluación de la desintegración del $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ respecto a la profundidad, asumiendo condiciones de sistema cerrado, permite estimar la fecha de formación de los estratos sedimentarios. El modelo de desintegración radiactiva del $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ respecto a la profundidad fue descrito por Appleby (1998) como:

$$^{210}\text{Pb}_{(z)} = ^{210}\text{Pb}_{(0)} e^{-\lambda t}$$

Donde $^{210}\text{Pb}_{(0)}$ es la actividad del radionúclido en la capa superficial de sedimento, $^{210}\text{Pb}_{(z)}$ es la actividad a la profundidad z , y λ es la constante de desintegración radiactiva (0.03114 año^{-1}). La radiocronología con ^{210}Pb permite estimar fechas dentro de un marco temporal de 100 a 150 años (Krishnaswami *et al.*, 1971) que es precisamente la época de interés (Antropoceno) para el estudio de los efectos del Cambio Global. Además del fechado de sedimentos, la radiocronología con ^{210}Pb permite estimar las tasas de acumulación sedimentaria (TAS, cm año^{-1}) y másica (TAM, $\text{g cm}^2 \text{ año}^{-1}$). De acuerdo con Sanchez-Cabeza y Ruiz-Fernández (2012) la TAS y la TAM se calculan como sigue:

$$\text{TAS} = \frac{\Delta z_i}{\Delta t_i} \quad \text{TAM} = \frac{\Delta m_i}{\Delta t_i}$$

Δz_i es el espesor de la sección i (cm), Δm_i es la profundidad másica media de la sección i (g cm^2) y Δt_i es el periodo de formación de la sección i , el cual se calcula a partir de:

$$\Delta t_i = t(i) - t(i-1)$$

$t(i)$ es la edad de la capa i en años. Para estimar el flujo de ^{210}Pb (Φ) a la superficie del sedimento se utiliza el inventario total de ^{210}Pb :

$$\Phi = \lambda * A$$

λ es la constante de desintegración del ^{210}Pb y A es el inventario total de ^{210}Pb (Bq m^{-2}). El inventario total de ^{210}Pb se obtiene a partir de:

$$A_i = \frac{C_i M_i}{S}$$

A_i es la actividad por unidad de área (o depósito) de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ en la sección i (Bq m^{-2}), C_i es la concentración de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ en la sección i (Bq kg^{-1}) y S es la superficie transversal del núcleo sedimentario (m^2). La actividad acumulada $A(i)$ se calcula como:

$$A(i) = \sum_{j=i+1}^{j=\infty} A_j$$

De la ecuación anterior podemos concluir que la actividad acumulada por unidad área de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ bajo la capa (i) en el momento de su formación ($t=0$) es igual a:

$$A(i, t=0)$$

Entonces el inventario completo de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ en el núcleo es igual:

$$I = A(0)$$

El inventario es la cantidad de ^{210}Pb almacenada en la columna de sedimento, que resulta del balance entre la cantidad de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ que llega al reservorio por distintas fuentes (atmosférico, escorrentías, columna de agua) y la pérdida de actividad del propio $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ por desintegración radiactiva (Appleby y Oldfield, 1983; Binford, 1990).

La radiocronología con ^{210}Pb necesita ser corroborada y para ello se utilizan marcadores estatigráficos como los radionúclidos artificiales ^{137}Cs y ^{239}Pu . Ambos radionúclidos son productos de la detonación atmosférica de armas nucleares, por tanto el máximo de sus actividades en los perfiles sedimentarios debería de coincidir con el horizonte temporal de 1962 a 1964, que fue el periodo de mayor actividad de pruebas nucleares a nivel global. Si existe correspondencia de los máximos de ^{137}Cs y ^{239}Pu con las fechas derivadas del análisis de ^{210}Pb entonces queda comprobado que los demás parámetros calculados a través de la radiocronología (TAS, TAM, flujo atmosférico) son confiables (Ruiz-Fernández *et al.*, 2004). Una vez establecido el marco temporal de un núcleo sedimentario, es factible reconstruir diversos aspectos del cambio global, por ejemplo, el incremento de la contaminación por metales pesados en el ambiente o los contaminantes orgánicos persistentes (COPs), así como las variaciones en los flujos y capacidad de preservación de carbono orgánico en los sedimentos.

2.5. Contaminantes metálicos y metaloides

Es importante considerar que los contaminantes metálicos y metaloides en los sedimentos tienen generalmente asociada un componente natural que es independiente de cualquier aporte antropogénico. En este sentido se utiliza el factor de enriquecimiento para evaluar el incremento de las concentraciones de éstos elementos por encima de los niveles de base, tomando en consideración las variaciones en las características del sedimento como son el tamaño de grano o la mineralogía, por medio de un proceso de normalización con alguno elemento de referencia (Abraham y Parker, 2008).

2.5.1. Normalización

El tamaño de grano es un factor determinante en los procesos de acumulación de metales y metaloides en los sedimentos (Abraham, 1998; Callender, 2003). Usualmente, la concentración de estos elementos se incrementa con la disminución en el tamaño de partícula, debido a los cambios en las características

de la matriz mineral, así como al aumento en el área superficial. Por lo tanto, antes de poder hablar de cambios temporales en las tendencias de acumulación y los flujos en el registro sedimentario, es imprescindible normalizar las concentraciones de metales y metaloides con algún elemento de referencia (e.g. Al, Li, Ti, Fe) que demuestre una relación significativa con la variación del tamaño de grano (Loring y Rantala, 1992).

2.5.2. Factor de enriquecimiento

Cuando se realiza la reconstrucción de los patrones de depósito de los elementos metálicos y metaloides es indispensable hacer una corrección debido a las variaciones naturales en el aporte de materiales de la cuenca de drenaje hacia los sedimentos (Shaw *et al.*, 1988). Para esto se utiliza el método del factor de enriquecimiento (FE), el cual se calculó de acuerdo con Glasby y Szefer (1998) como:

$$FE = \frac{[Me]_{muestra}}{[ER]_{muestra}} \cdot \frac{[Me]_{corteza}}{[ER]_{corteza}}$$

Me es la concentración del elemento y *ER* es la concentración del metal de referencia. Para seleccionar el metal de referencia se debe de corroborar, a través de un análisis de correlación, que las concentraciones del *ER* tienen una relación significativa ($p < 0.05$) con las variaciones en el tamaño de grano, sobre todo con la fracción de los finos ($< 63 \mu\text{m}$) compuesta por limos y arcillas (Salomons y Förstner, 1984).

2.5.3. Flujos de elementos potencialmente tóxicos

Los flujos de contaminantes hacen referencia a la concentración del elementos por unidad de área en el tiempo, y de acuerdo con Cochran *et al.* (1998) se calculan como:

$$F_i = S_i p_i [M^+]_{xs}^i$$

F_i es el flujo del intervalo de la sección de sedimento *i* (masa $\text{cm}^{-2} \text{año}^{-1}$), S_i es la tasa de sedimentación de la sección *i* (cm año^{-1}), p_i es la densidad en peso seco (g cm^{-3}) y $[M^+]_{xs}^i$ es la concentración en exceso del elemento de referencia o contaminantes (mg g^{-1} o $\mu\text{g g}^{-1}$). La concentración en exceso es:

$$[M^+]_{xs}^i = [M^+]_T^i - [M^+]_R^i$$

$[M^+]_T^i$ es la concentración total del analito y $[M^+]_R^i$ es la concentración que corresponde al nivel de base. El $[M^+]_R^i$ o concentración basal se puede obtener de tres formas: 1) con valores regionales publicados en la literatura; 2) a través de la medición en sedimentos recientes recolectados en áreas prístina con composición mineral y de textura semejante o 3) con la medición directa en las secciones profundas del núcleo de sedimento, donde el aporte antropogénico sea improbable (Loring y Rantala, 1992).

2.6. Contaminantes orgánicos persistentes

El Instituto Nacional de Ecología (INE) en México clasificó a los contaminantes orgánicos persistentes (COPs) como una subclase de las Sustancias Persistentes, Tóxicas y Bioacumulables (PBTs) con base a las siguientes propiedades (INE, 2008):

- Poseen características tóxicas.
- Persistencia. Los COPs son resistentes a la degradación física, química y biológica. Cuando ingresan al medio ambiente permanecen ahí durante periodos largos de tiempo. Un ejemplo son los Bifenilos Policlorados (PCBs) que tienen tiempos de vida media ($t_{1/2}$) o de degradación en función del grado de cloración sus congéneres. De acuerdo con Robertson y Hansen (2001) el congénere 3-CB en el agua tiene un $t_{1/2}$ de 60 días y el 7-CB cerca de 27 años, mientras que en los suelos el $t_{1/2}$ del 3-CB es de 3 años y el 7-CB de 38 años.
- Bioacumulación. Son compuestos lipófilos, por tanto se acumulan con facilidad en los tejidos de los organismos vivos, generalmente en concentraciones mucho más altas que las del medio ambiente circundante.
- Son propensos al transporte atmosférico de largo alcance. Aunque los COPs, sobre todo los de menor peso molecular, son transportados vía atmosférica, también pueden movilizarse por corrientes de agua o a través de especies migratorias.

Estas características han permitido que COPs como los PCBs, PBDEs y PAHs se incorporen a la mayoría de los reservorios naturales; así podemos encontrarlos en suelos, sedimentos, agua, aire, plantas y animales, e incluso en los seres humanos (Iwata *et al.*, 1993; Kannan *et al.*, 1997; Tanabe, 2000; Linderholm *et al.*, 2011). Hoy en día, todos tenemos una carga corporal de COPs almacenada principalmente en los tejidos grasos y las evidencias médicas los han vinculado con distintas enfermedades neurológicas, inmunológicas y reproductivas, así como con cierto tipo de cáncer (Weinberg, 2009). Algunos COPs como los PCBs y PBDEs están incluidos en la agenda del Plan de Acción Regional Norteamericano de Monitoreo Ambiental (México-Estados Unidos-Canadá) para identificar fuentes, destino y efectos de estos compuestos en el medio ambiente, así como los riesgos a la salud humana en Norteamérica (CEC, 2013).

2.6.1. Bifenilos policlorados

Los bifenilos policlorados (PCBs) son una mezcla de más de 209 compuestos denominados congéneres. La comercialización de los PCBs inicia en los Estados Unidos en 1929 y termina en 1977 tras una producción cercana a las 680,000 toneladas. Sin embargo, hasta mediados de la década de 1980s su producción a gran escala continuó en otras partes del mundo (ATSDR, 2013). Los PCBs

nunca fueron sintetizados como compuestos puros, sino a base de mezclas con distintos grados de cloración denominadas Arocloros o Askareles. Más de 130 mezclas comerciales se fabricaron con una amplia gama de usos en sistemas abiertos y cerrados. La industria eléctrica utilizó extensamente compuestos a base de PCBs en líquidos aislantes para capacitores y refrigerantes en transformadores, y de manera general se utilizaron las mezclas comerciales para elaborar lubricantes, pegamentos, retardantes de fuego, tintas de impresión e insecticidas, entre otras aplicaciones. De acuerdo con la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud, algunos congéneres de los PCBs (p.ej. CB-126) son carcinógenos para los seres humanos, mientras que otros grupos se clasifican como probables carcinogénicos (IARC, 2014). Además los PCBs producen afecciones graves en los sistemas inmunológico, reproductivo, nervioso y endócrino. No se conocen fuentes naturales de PCBs y a finales de 1970 se les reconoció como COPs debido a la multiplicidad de sus fuentes y mecanismos de transporte. De acuerdo con la Red Internacional de Eliminación de Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN) su uso y disposición son un problema que requiere atención prioritaria a nivel mundial (Weinberg, 2009).

2.6.2. Bifenilos polibromados

Los bifenilos polibromados (PBEDs) han sido empleados como retardantes de flama para plásticos, textiles, muebles y tarjetas de circuitos electrónicos (WHO, 1994). Estos compuestos fueron introducidos en 1970 en tres mezclas comerciales: penta-BDE, octa-BDE y deca-BDE. Para mediados de la década de 1990s estos compuestos bromados representaban el 25% de la producción mundial de retardantes de flama, estimada en 600,000 toneladas por año (Darnerud *et al.*, 2001). No se conocen fuentes naturales para los PBDEs, y varios estudios han demostrado que cumplen con las características típicas de un COP, como son la persistencia y la toxicidad, la cual en humanos se ha relacionado con interferencias en el balance de la hormona tiroidea, con el desarrollo neurológico, así como afecciones en los sistemas inmunológico y endócrino (Darnerud *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2011). Por lo anterior y debido a sus implicaciones ecológicas, Estados Unidos prohibió la producción del penta- y octa-BDE en el 2004. Más tarde, en mayo del 2009 el Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP) incluyó en la lista de la convención sobre contaminantes orgánicos persistentes a las mezclas tetra-, penta-, exa- y epta-BDE (SCPOP, 2008). No obstante, actualmente el uso del deca-BDE como retardante de flama continúa y asimismo su producción a gran escala. Entre los procesos relacionados con la liberación de PBDEs hacia el ambiente se incluyen su producción, uso y la recuperación e incineración de desechos comerciales (He *et al.*, 2013b).

2.6.3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) son estructuras polinucleares de tipo aromático (anillos de benceno), donde la mayoría de sus compuestos son casi exclusivamente carbono e hidrógeno. A diferencia de los PCBs y PBDEs, los PAHs si tienen fuentes naturales; algunos ejemplos son el vulcanismo, los incendios forestales y la diagénesis. De las fuentes antropogénicas se distinguen dos orígenes: 1) los PAHs petrogénicos, generados a partir de los derrames de petróleo o de efluentes urbanos y 2) los PAHs pirogénico que se forman por la combustión incompleta de biomasa vegetal y combustibles fósiles (petróleo o carbón) (Yunker *et al.*, 2002; Douben, 2003). Existen centenares de compuestos del tipo PAH y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) ha considerado a 16 de ellos como prioritarios con base a su potencial para causar cáncer en animales y humanos. Los 16 PAHs prioritarios se clasifican en: 1) PAHs de bajo peso molecular (BPM, ≤ 3 anillos de benceno) que incluyen al naftaleno (Na), acenaftileno (Acy), acenafteno (Ace), fluoreno (Fl), fenantreno (Phe), antraceno; 2) PAHs de alto peso molecular (APM, ≥ 4 anillos de benceno) que incorpora al fluoranteno (Flt), pireno (Py), benzo(a)antraceno (BaAn), criseno (Ch), benzo(g,h,i)perileno (BghiPe) y los congéneres penta-aromáticos, benzo(b)fluoranteno (BbFlt), benzo(k)fluoranteno (BkFlt), benzo(a)pireno (BaPy), indeno(1,2,3-cd)pireno (Ipy) y dibenzo(a,h)antraceno (DahAn) (Wakeham *et al.*, 1980; Venkatesan, 1988).

2.7. Composición isotópica de C y N

Las proporciones isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ referidas a un estándar internacional y denotadas como $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente, se utilizan para caracterizar e identificar el origen de la fracción orgánica asociada a los sedimentos. La interpretación del análisis de composición isotópica se fundamenta en que las proporciones de los dos isótopos son específicas a la fuente de procedencia (figura 3) lo que permite evaluar el origen autóctono u alóctono de la materia orgánica (Ruiz-Fernández *et al.*, 2003; Lu *et al.*, 2010). También, la proporción C/N se utiliza junto a la caracterización isotópica, ya que permite distinguir entre el material que procede de algas (C/N, 4 a 10) o de plantas vasculares (C/N > 20) (Meyers, 1994).

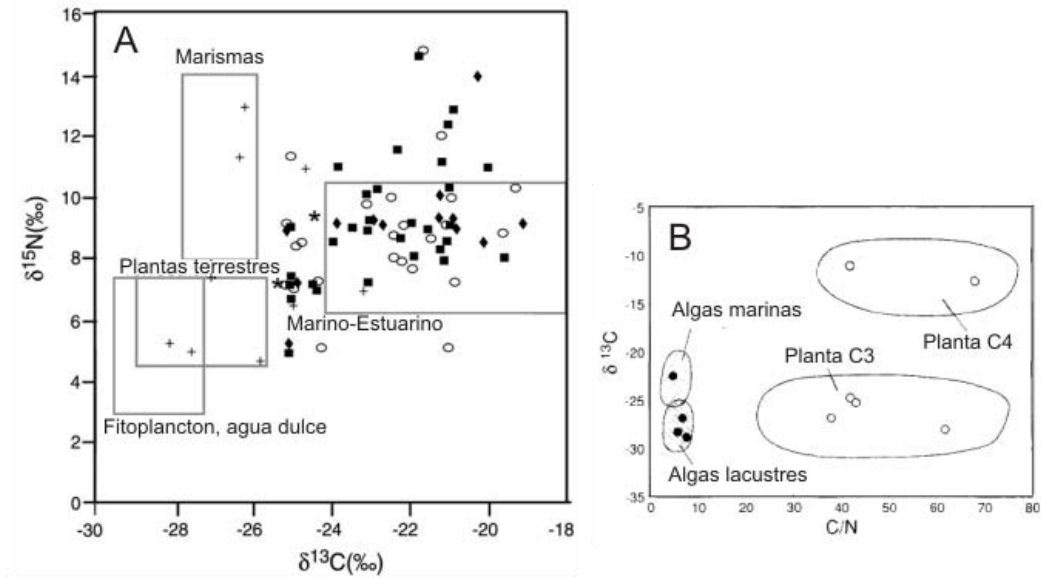


Figura 3. Relación de $\delta^{13}\text{C}$ y C/N (A, C) y $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en sedimentos: A) Middelburg y Nieuwenhuize (1998), Cloern *et al.* (2002), Ogrinc *et al.* (2005) y B) Meyers (1994).

3. Antecedentes

En México el uso de la radiocronología con ^{210}Pb para la reconstrucción histórica de la acumulación de contaminantes en sedimentos lacustres comenzó a desarrollarse básicamente durante las últimas dos décadas. El primer trabajo pertenece a la tesis de Ruiz-Fernández (1999), quién determinó la distribución espacial y temporal de metales pesados en los sedimentos de los lagos de Chalco, Texcoco y Cuautitlan Izcalli en el Estado de México. Posteriormente el grupo de Davies y colaboradores (2004; 2005) trabajaron en el lago Zirahuén en Michoacán, estableciendo un marco temporal acoplando el fechado con ^{210}Pb junto con mediciones de ^{14}C en tefras volcánicas, con lo que obtuvieron una cronología sólida para los últimos 250 años de su registro sedimentario. Con esto relacionaron los aumentos de las concentraciones de Cu y Pb durante la época de la Colonia con el establecimiento y desarrollo de la industria de fundición del cobre y la agricultura en esa región. Poco después Ruiz-Fernández *et al.* (2005) publicaron información sobre el lago Espejo de los Lirios en el Estado de México. Los autores identificaron que durante los últimos 45 años los flujos de Cd, Cr, Hg, Pb y Zn se habían incrementado. De hecho, a partir de la radiocronología con ^{210}Pb estimaron que tanto Pb como Hg alcanzaron su máximo alrededor de 1974, así como una disminución importante en los años subsecuentes que se relacionó con la aplicación del Programa Coordinado para la Mejora en la Calidad del Aire en el Valle de México (PCMCA) en el año de 1980. Siguiendo esta línea de investigación Ruiz-Fernández *et al.* (2007b) determinaron los flujos de Cu, Hg, Pb y Zn en el lago Verde, localizado en la Sierra de los Tuxtlas en Veracruz. El lago Verde presentó un enriquecimiento 26 veces arriba de los niveles naturales para Pb, así como un enriquecimiento moderado de entre 4 y 6 veces para Cd, Cu, Zn y Hg. La cuenca de este lago pertenece a un área no industrializada, por lo que los incrementos en las concentraciones y flujos de contaminantes metálicos posteriores a la década de 1940 fueron atribuidos al transporte atmosférico de largo alcance. Luego tenemos el trabajo de Soto-Jiménez *et al.* (2006) que apoyados en los fechados que realizó el grupo de Ruiz-Fernández y colaboradores para núcleos del lago Espejo de los Lirios y lago Verde, evaluaron los cambios en la composición isotópica del Pb (^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb) durante el siglo pasado en ambos sistemas acuáticos. Aquí, los autores determinaron que los cambios en las proporciones isotópicas ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$; $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) podían dividirse en tres intervalos temporales: 1) el desarrollo y producción del compuesto de tetraetilo de Pb en México cerca de 1920; 2) la producción para exportación de tetraetilo de Pb de 1930 a 1990 y 3) la aparición de equipos catalíticos en automóviles y el uso de gasolinas sin tetraetilo de Pb a partir de 1998. Un ejemplo más reciente de la evaluación histórica de contaminantes metálicos en lagos

mexicanos es el realizado por Hansen (2012) en Pátzcuaro en el estado de Michoacán. En este trabajo se analizó As, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn en un núcleo de sedimento, encontrando una disminución importante en las concentraciones de Pb posteriores a la década de 1970, que el autor relacionó con la reducción en el uso del compuesto de tetraetilo de Pb en las gasolinas en México.

Sobre la valoración histórica de la acumulación de COPs en lagos mexicanos, tenemos el trabajo de Piazza *et al.* (2009) donde se analizó las concentraciones de PCBs en el lago Espejo de los Lirios. Entre sus principales observaciones destaca el claro incremento en los flujos de PCBs desde mediados de 1940, hasta un máximo en 1977. El uso de estos compuestos en sistemas abiertos se prohíbe en fechas posteriores y los flujos disminuyen. Sin embargo, es a partir de que se levanta este veto, en 1989, que los flujos de PCB vuelven a incrementarse en el registro sedimentario. Además, los autores señalan que al tiempo de muestreo, en el años de 1995, la tendencia de las concentraciones de PCBs era evidentemente hacia el incremento, concluyendo que las distintas fuentes de estos contaminantes se encontraban aún activas en la zona. Otro trabajo sobre flujos de COPs es el de Ruiz-Fernández *et al.* (2012b) en la laguna Las Matas en el estado de Veracruz. Aquí la radiocronología con ^{210}Pb permitió establecer un marco temporal para el registro sedimentario desde 1906 al 2005, con lo que se determinó que las concentraciones de PAHs y PCBs eran detectables en el sistema desde principios de 1900s, que es la época en que la refinería de Minatitlán comenzó sus operaciones en el área. Asimismo los autores llegaron a la conclusión de que el depósito atmosférico era la fuente más significativa de PAHs y PCBs para la laguna, ya que los congéneres detectados de PAHs y PCBs eran compuestos de bajo peso molecular que son más susceptibles al transporte de largo alcance a través de las corrientes de aire.

Una forma de evaluar los posibles efectos que tienen los COPs sobre la biota que está en contacto con sedimentos contaminados, y estimar si existe o no riesgos para la salud humana, es comparar los valores determinados experimentalmente contra valores publicados en tablas de referencia en guías internacionales como las de la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA) de los Estados Unidos (Buchman, 2008) que especifica las concentraciones de COPs a partir de las cuales se espera que efectos biológicos adversos ocurran sobre la biota que habita en cuerpos de agua epicontinentales o marinos. Así, en México se han desarrollado algunos trabajos que han utilizado muestras de sedimento superficial para estimar los riesgos ecológicos de la presencia de PCBs o PAHs en lagos como el Mecoacán en Tabasco (Armenta-Arteaga y Elizalde-González, 2003), Chalco, Texcoco y Espejo de los Lirios en el Estado de México (Piazza *et al.*, 2008) y en el lago Tecocomulco en Hidalgo (Romo-Gómez *et al.*, 2010). Ahora bien, en lo que se refiere a los contaminantes del tipo PBDEs los esfuerzos más importantes se han enfocado a determinar las concentraciones de estos

compuestos en muestras de sangre de niños en ciudades como Juárez, Chihuahua, San Luis Potosí (Pérez-Maldonado *et al.*, 2009) y Guadalajara (Orta-García *et al.*, 2012), así como en adultos de la Ciudad de México (Orta-García *et al.*, 2014). Estos trabajos señalan que las concentraciones totales más altas de PBDEs corresponden a los niños que viven cerca de zonas agrícolas. Además, de forma general, los congéneres dominantes (BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154) en los tres estudios se relacionan con la mezcla comercial PentaBDE, que ha sido ampliamente utilizada como retardante de flama en espuma de poliuretano y que hasta el año de 1990 se utilizó como recubrimiento de circuitos electrónicos.

En cuanto a la estimación de flujos de carbono en sedimentos lacustres fechados con ^{210}Pb , el primer trabajo publicado corresponde a Carnero-Bravo *et al.* (2014) para el lago artificial Valle de Bravo en el Estado de México. Los autores presentan flujos de carbono orgánico total (TOC) entre 122 y 380 g m⁻² año⁻¹; además concluyen que los flujos de TOC se incrementaron significativamente a partir de 1991, lo cual concuerda con la evolución trófica del lago, así como con las mediciones históricas y recientes en tiempo real efectuadas en el sitio. El segundo trabajo es de Alcocer *et al.* (en prensa) en lago de Alchichica en el estado de Puebla. Ellos determinaron flujos de carbono orgánico particulado mucho más pequeños que en Valle de Bravo, con valores que van de 14.9 a 35.3 g m⁻² año⁻¹ durante el siglo pasado. Además calcularon una pérdida máxima de la fracción orgánica de ~25 % debido a diagénesis. Asimismo, existen dos trabajos previos sobre flujos de carbono en la columna de agua de este mismo lago; el primero fue realizado por Alcocer *et al.* (2007) en muestras tomadas a distintas profundidades y el segundo de Ardiles *et al.* (2012) que determinaron la fracción orgánica del material depositado en trampas de sedimento.

Para inferir sobre el origen de la materia orgánica que llega a los sedimentos, los indicadores utilizados por excelencia en los lagos mexicanos han sido el $\delta^{13}\text{C}$ y la proporción C/N. Por ejemplo, Carnero-Bravo *et al.* (2014) determinaron a través del C/N en un núcleo de sedimento, que las condiciones previas a la construcción del lago artificial Valle de Bravo corresponden a valores típicos de suelos (9-11), mientras que los segmentos sedimentarios de periodos posteriores a su construcción tienen valores (4-8) que indican que el material orgánico depositado proviene de material fitoplanctónico. Ahora bien, para el estado de Michoacán tenemos los trabajos de Leng *et al.* (2005) en la laguna Zacapu y el de Metcalfe *et al.* (2007) en el lago de Pátzcuaro. En ambos sistemas los valores de C/N fueron bajos, indicando que la materia orgánica podía ser de origen fitoplanctónico. Sin embargo en la laguna Zacapu las variaciones del $\delta^{13}\text{C}$ se interpretaron como posibles cambios en la productividad de plantas marginales o diatomeas, mientras que en el lago de Pátzcuaro se concluyó que el intervalo de valores

de $\delta^{13}\text{C}$ era típico para diatomeas de aguas dulces. Otro trabajo realizado en Michoacán es el de Ortega *et al.* (2010) en el lago Zirahuén, que a diferencia de los dos trabajos anteriores lograron valorar el origen del material orgánico en el registro sedimentario en dos periodos geológicos distintos: el primero durante el Pleistoceno Tardío (17-12 ka) donde los valores bajos de C/N se relacionaron con el incremento en la abundancia de diatomeas y por tanto con una mayor producción de materia orgánica autóctona y el segundo periodo durante el Holoceno Tardío (3.9 ka al presente) en el cual se identificaron grandes pulsos de material erosionado y valores altos de C/N, los cuales indican un aumento en la entrada de material orgánico alóctono. Por otro lado, en el estado de Jalisco, Zárate del Valle *et al.* (2005) evaluaron la distribución del $\delta^{13}\text{C}$ en muestras de sedimento superficial en el lago de Chapala, encontrando que los valores de la relación isotópica corresponden al intervalo típico para bacterias y algas de aguas dulces. Por último, en el trabajo anteriormente mencionado de Ruiz-Fernández *et al.* (2007b) en el lago Verde, también se caracterizó a la fracción orgánica de los sedimentos encontrando que la proporción C/N de la parte superficial del registro correspondía a una mezcla de algas y plantas tipo C4 (maíz, caña de azúcar). Asimismo, los incrementos del $\delta^{13}\text{C}$ ($\sim 3.4\text{‰}$) indicaron que las tasas de productividad en el sistema iban en aumento, por lo que la fuente principal de materia orgánica es de tipo autóctona.

4. Planteamiento del problema

Como parte de los programas de evaluación de la contaminación ambiental por sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables (STPBs) en cuerpos de agua superficial en México (S0010-108093 CONACYT-SEMARNAT) se incluyó como condición fundamental el establecer los niveles de concentración de referencia de estos compuestos, que puedan servir como objetivo a alcanzar para establecer estrategias de restauración y control ambiental. Para este trabajo se seleccionaron dos lagos del Altiplano Mexicano caracterizados por niveles de antropización contrastantes. El registro sedimentario del lago Santa Elena se eligió con el propósito de realizar el estudio retrospectivo de las concentraciones y los flujos de contaminantes metálicos (Hg, Pb) y contaminantes orgánicos persistentes (PCBs, PBDEs, PAHs) susceptibles al transporte atmosférico de largo alcance, ya que el lago no presenta evidencias de problemas de impacto antropogénico relacionado con desechos industriales locales o la alta densidad de población. El lago se encuentra en una zona elevada (~ 2,064 msnm) donde las concentraciones actuales de estos contaminantes serían principalmente resultado del depósito atmosférico. En contraste se eligió el lago de Chapala porque estudios previos en la zona lo describen como un sistema altamente impactado por el desarrollo industrial y el crecimiento poblacional de su cuenca hidrológica aledaña (Anda *et al.*, 2004; CONAGUA, 2006; Trujillo-Cárdenas *et al.*, 2010); sin embargo, ni en Santa Elena ni en Chapala existen estudios que utilice registros sedimentarios para evaluar las tendencias históricas de las concentraciones y tasa de cambio de flujos de contaminantes, por lo que no se conocen los valores de concentración de referencia de ningún contaminante metálico u orgánicos persistentes, los cuales son indispensables para definir estrategias para la restauración de los sistemas.

5. Hipótesis

- 1) El lago Santa Elena se encuentra ubicado en una comunidad rural remota, donde no existe actividad industrial. Por lo tanto, si no existen fuentes puntuales en la zona, entonces las concentraciones de metales observadas en sus núcleos de sedimento serán el resultado del aporte atmosférico de largo alcance y de las concentraciones naturales del sedimento.
- 2) Estudios previos han identificado problemas ambientales en el lago Chapala, por lo cual a partir de la década de 1990 se han implementado medidas regulatorias y de rehabilitación para mejorar los niveles y calidad del agua en el lago. Si las medidas ambientales aplicadas han sido efectivas, entonces el perfil de las concentraciones de metales en los núcleos de sedimentos del lago Chapala presentarán tendencias crecientes durante el periodo de 1900 a 1980, y a partir de la década de 1990s, la velocidad de cambio de estas tendencias serán menores a la de los años precedentes.
- 3) Los flujos de carbono orgánico en el lago Santa Elena serán menores a los del lago Chapala debido al escaso desarrollo urbano e industrial en su cuenca hidrográfica.
- 4) La capacidad de preservación del carbono orgánico en los registros sedimentarios del lago Santa Elena será uniforme a lo largo del periodo de estudio como resultado de las tasas de acumulación sedimentaria constantes en el sistema.
- 5) Los flujos y capacidad de preservación de carbono orgánico en los sedimentos del lago Chapala disminuirán a consecuencia del desarrollo urbano e industrial de la cuenca de drenaje (cambios en el nivel del lago; incremento de las tasas de acumulación del lago por erosión en la cuenca de drenaje; mayor incorporación de materia orgánica refractaria de origen terrestre).
- 6) El registro de la productividad primaria en la columna sedimentaria del Santa Elena será uniforme a lo largo del periodo de estudio debido al escaso desarrollo industrial y urbano de su cuenca hidrológica, mientras que el registro sedimentario del lago Chapala presentará variaciones durante las última décadas a consecuencia de la entrada constante de nutrientes a través del río Lerma (principal tributario), el cual aporta al lago efluentes de la zona industrial y los asentamientos humanos establecidos en los márgenes del río.

6. Objetivo general

Evaluar las tendencias históricas de la acumulación de contaminantes metálicos (As, Cr, Cu, Hg, Pb, Rb, Zn, V), contaminantes orgánicos persistentes (PCBs, PBDEs, PAHs) y carbono orgánico en el lago Santa Elena y el lago Chapala durante los últimos 100 años.

6.1. Objetivos específicos

1. Estimar las tasas de acumulación sedimentaria y acumulación másica en el lago Santa Elena y el lago Chapala por medio del método de fechado con ^{210}Pb .
2. Determinar los niveles de concentración de metales pesados (Cr, Cu, Hg, Pb, Rb, Zn, V), contaminantes orgánicos persistentes (PCBs, PBDEs, PAHs) y carbono orgánico en los sedimentos del lago Santa Elena y el lago Chapala.
3. Determinar el grado de contaminación y evaluar la procedencia de los metales en los sedimentos de Santa Elena y Chapala mediante el cálculo de factores de enriquecimiento.
4. Estimar el porcentaje de preservación de carbono orgánico en los sedimentos de Santa Elena y Chapala.
5. Reconstruir los cambios históricos de los flujos de contaminantes metálicos, contaminantes orgánicos persistentes y carbono orgánico en Santa Elena y Chapala.

7. Área de estudio

7.1. El Altiplano Mexicano

El estado de Jalisco se encuentra al occidente de la República Mexicana, entre los límites de la Sierra Madre Occidental y el eje neovolcánico mexicano. La región de Los Altos se localiza en la parte oriental del estado sobre el Altiplano Mexicano, en una zona geográfica que sobrepasa los límites estatales, abarcando también parte de Guanajuato, Aguascalientes y Zacatecas. La topografía de Los Altos de Jalisco se caracteriza por mesetas amplias de origen volcánico que crean una zona de deformación intracontinental por fallas normales (Allan, 1986; López-Mestas *et al.*, 1994). El clima es templado (19 °C) con un régimen de precipitación pluvial altamente estacional (753 mm año⁻¹), donde dominan las lluvias de verano provocadas por la migración hacia el norte de la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT) y la expansión de los centros de alta presión atmosférica de Bermuda-Azores y del Pacífico Este. Durante el invierno, la entrada de aires fríos denominados nortes, provenientes del sur del país, también provocan lluvias y heladas (Metcalf, 1987; CEA, 2014). Los suelos de la región son en su mayoría de origen residual y aluvial, y la vegetación que predomina es el matorral subtropical, así como pequeñas comunidades de pastizales, bosques de pino-encino, matorral cracicaule y selva baja caducifolia (López-Mestas *et al.*, 1994). Los lagos Santa Elena y Chapala se encuentran en la zona sur de Los Altos de Jalisco, la cual cuenta con 350,694 habitantes que representan el 5.2% de la población del Estado. Es una región con un fuerte desarrollo agropecuario e industrial, donde el 49% de la población vive en zonas rurales (Tamayo y Vizcarra, 2000; CEA, 2014).

7.2. Lago Santa Elena

El lago Santa Elena se encuentra en el municipio de San Julián en el estado de Jalisco (2,064 msnm), entre las coordenadas 20°58' 33"N y 102°10'20"O (figura 4). El municipio de San Julián pertenece a la cuenca de drenaje del Lerma-Chapala-Santiago y cuenta con un área de 140,000 km².

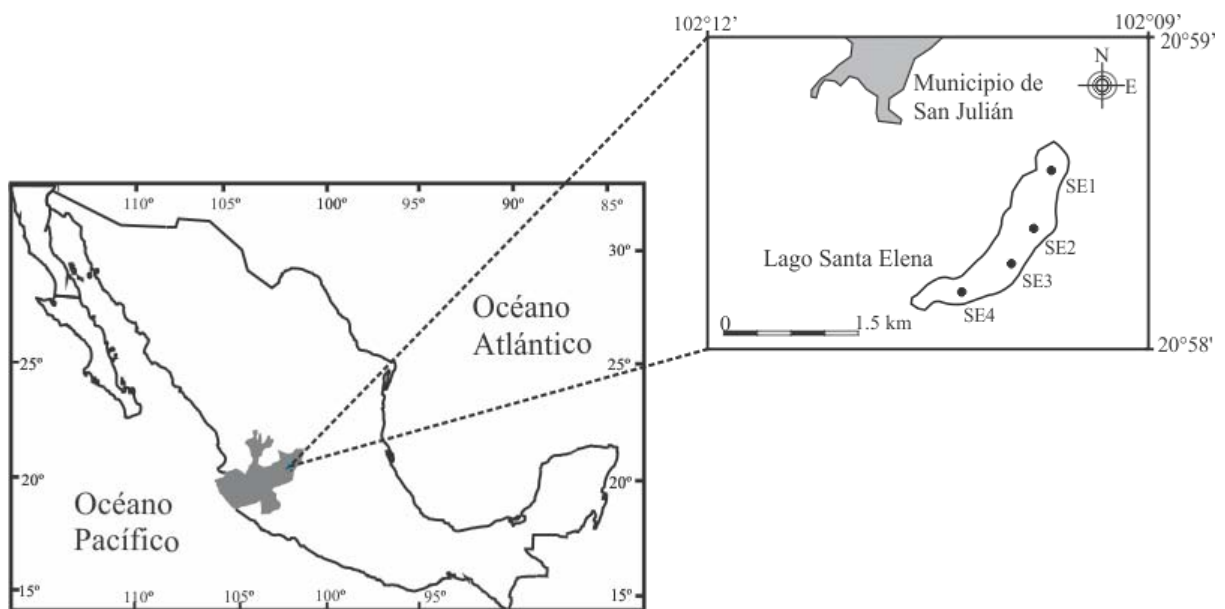


Figura 4. Núcleos de sedimento recolectados en el lago Santa Elena.

El lago Santa Elena es un reservorio pequeño (1.2 hm³) con cerca de 2.3 km de largo y 0.3 km de ancho, y una profundidad que oscila entre 1 y 3 m. El clima en el área es templado subhúmedo, con lluvias en verano (800-1,100 mm) y temperatura media anual de 19°C. Durante la época de lluvias, el lago almacena el agua que recibe del arroyo efímero Cañita, que tiene un área de captación de aproximadamente 46.2 km², mientras que el principal efluente del sistema es el arroyo Las Moras. Los suelos alrededor del Santa Elena son del grupo planosol, constituidos por rocas ígneas intrusivas de tipo toba riolítica, andesita-basaltos del terciario neógeno (24.0-2.6 Ma), así como de andesita-basalto del cuaternario (2.6 Ma) (figura 5). La vegetación nativa en el área se compone por pastizales, bosques de pino-encino y selva baja caducifolia (SGM, 2008; INEGI, 2009).

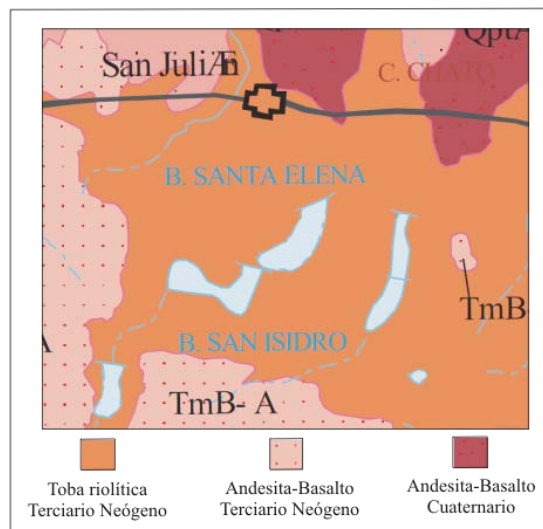


Figura 5. Mapa geológico del lago Santa Elena (SGM, 2008).

7.3. Lago Chapala

El lago Chapala se encuentra en la parte central del altiplano mexicano entre los límites del estado de Jalisco con Michoacán, aproximadamente a 1,524 msnm entre las coordenadas 20° 06' 08''N y 102° 42' 00''O (figura 6).

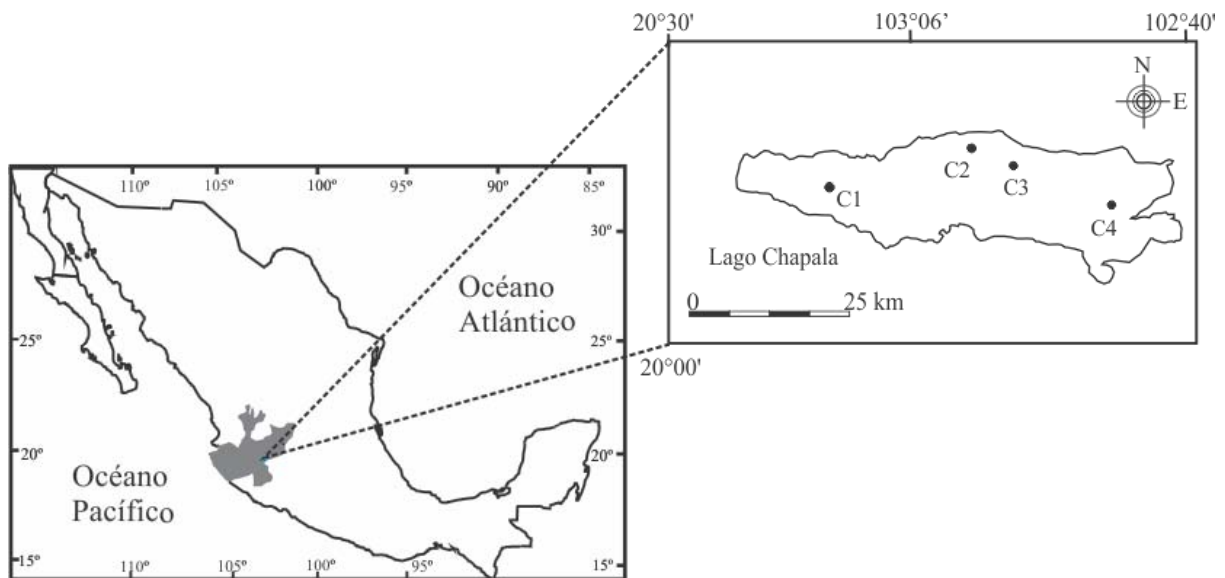


Figura 6. Núcleos de sedimento recolectados en el lago Chapala.

Es el lago más grande de México con 77 km de longitud y 22.5 km de ancho. Tiene una profundidad promedio de 4.5 m, con capacidad máxima de almacenamiento de 9,686 m³ y una superficie de 1,161 km² (Guzmán-Arroyo, 1995). Chapala es un lago polimíctico con rara y efímera estratificación debido

a que la fuerza del viento induce la resuspensión constante del material particulado, provocando una alta concentración de sólidos en la columna de agua (Ford y Ryan, 1992). En la zona, el promedio de precipitación anual es de 730 mm con una temperatura de 22°C (Rosales-Hoz *et al.*, 2000). La entrada principal de agua al lago (68.2 m³ s⁻¹) es el río Lerma, el cual nace en la laguna de Chignahuapan al suroeste de la ciudad de Toluca. El Lerma tiene una longitud de 700 km y fluye a través de extensas áreas de cultivo (~30,000 ha) y parques industriales. Durante su recorrido el Lerma incorpora a su cauce a los tributarios La Gavia, Jaltepec, Laja, Silao-Guanajuato, Turbio, Angulo, Duero, así como a los ríos Zula y La Pasión. El principal flujo natural de salida del lago Chapala es el río Grande de Santiago que descarga directamente en el océano Pacífico (Lind y Davalos-Lind, 1991; SEMARNAT, 2006). La cuenca del lago Chapala se localiza en el rift Citala, que junto con el rift del Zacoalco y Colima forma la llamada triple unión de Jalisco (Allan, 1986). Este sistema de fallas tectónicas activas, limitadas por grandes bloques inclinados favoreció el desarrollo del lago Chapala (Rosas-Elguera *et al.*, 1996, 1997; Michaud *et al.*, 1999). La cuenca pertenece al sector oeste del plioceno-cuaternario (1.5 Ma) del eje neovolcánico mexicano, que se originó por el movimiento de subducción de la placa de Cocos con la placa de Norte América (Mahood, 1980). La cuenca del lago Chapala se caracteriza por la presencia de aguas termales, afloramientos de tobas calcáreas e hidrocarburos (Zárate del Valle y Simoneit, 2005). Los suelos del área (figura 7) se componen por rocas de tipo toba riolítica, arenisca, andesita-basalto del terciario neógeno (24.0-2.6 Ma), así como riolita, aluvión, andesita-basalto del cuaternario (≤ 2.6 Ma) (Rosas-Elguera *et al.*, 1997; SGM, 2000).

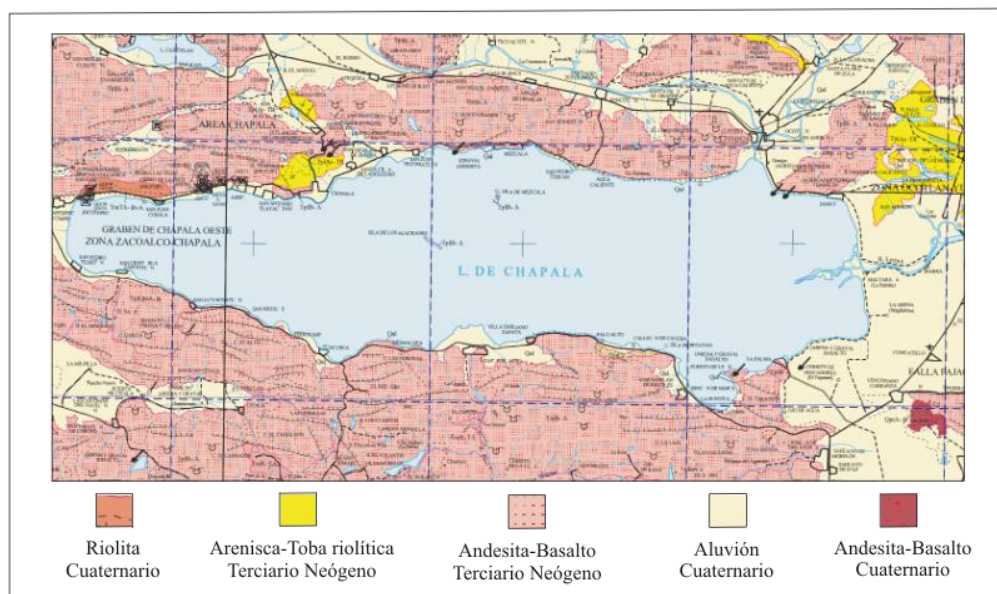


Figura 7. Mapa geológico del lago Chapala (SGM, 2000).

8. Materiales y métodos

8.1. Muestreo

En la tabla 1 se muestran los núcleos de sedimento que fueron recolectados en el estado de Jalisco en Junio del 2010 y Febrero del 2012. En la extracción de los núcleos de sedimento se utilizó un nucleador de gravedad modelo UWITEC con tubos de plexiglass de 8.5 cm de diámetro interno y 1.5 m de longitud.

Tabla 1. Núcleos de sedimento recolectados en los lagos Santa Elena y Chapala en el estado de Jalisco.

Núcleo	Localización	Profundidad (m)	Longitud (cm)	Número de secciones
SE1	20°58'59"N, 102°09'59"O	2.6	12.0	18
SE2	20°58'26"N, 102°10'17"O	2.7	20.0	27
SE3	20°58'39"N, 102°10'08"O	3.0	23.5	30
SE4	20°58'14"N, 102°10'34"O	2.2	23.0	30
C1	20°14'39"N, 103°15'50"O	7.5	108.0	108
C2	20°18'41"N, 103°02'21"O	6.2	100.0	100
C3	20°17'29"N, 102°58'26"O	6.5	92.0	92
C4	20°14'57"N, 102°48'56"O	3.7	47.0	47

Para realizar el corte y almacenamiento de las secciones de sedimento se utilizó palas y charolas de plástico previamente lavadas en HCl 1N y HNO₃ 1N de acuerdo con las recomendaciones de Moody y Lindstrom (1977). Los núcleos del lago Santa Elena se seccionaron de forma continua a 0.5 cm de espesor desde la superficie hasta la profundidad donde se observó un cambio evidente en la consistencia del sedimento (6 a 9 cm, dependiendo del núcleo). A partir del cambio de consistencia se continuó con el corte a 1 cm de espesor hasta la base de los perfiles. En el lago Chapala los núcleos recolectados se cortaron en secciones de 1 cm de espesor desde la superficie hasta la base. Las secciones de sedimento se conservaron en las charolas de plástico para el registro del peso húmedo y enseguida se congelaron. Las muestras congeladas se liofilizaron durante 72 horas utilizando un equipo Labconco Freezone cat. No. 77530-00 a un vacío de 36-76 x 10⁻³ mbar y temperatura de -40°C.

8.1.1. Humedad

El contenido de humedad (%) en las secciones de sedimento se calculó de acuerdo con la fórmula propuesta por Berner (1981):

$$\text{Humedad (\%)} = [(W-D)/W] * 100$$

W es el peso húmedo (g) y D es el peso seco de la sección de sedimento (g).

8.1.2. Profundidad y masa acumulada

La compactación de la columna sedimentaria es resultado de la disminución progresiva del contenido de agua que ocupa los espacios entre las partículas que forman una capa de sedimento, provocada por el aumento del material depositado en capas superiores (Robbins, 1978). Así, para compensar los efectos de la compactación en el perfil de sedimento es necesario normalizar a través de cálculo de la profundidad másica o masa acumulada (g cm^{-2}), para la cual se utilizan las siguientes ecuaciones (Robbins y Edgington, 1975; Robbins, 1978; Sorgente *et al.*, 1999):

- 1) Porosidad (%), que es la cantidad relativa de espacio vacío por volumen muestra:

$$\Phi = (\rho_{sed}(W-D) / (\rho_{sed}(W-D) + D) * 100)$$

Donde ρ_{sed} es igual a 2.5 g cm^{-3} que es la densidad aparente del sedimento (Berner, 1981), W es el peso húmedo y D es el peso seco de la muestra.

- 2) Densidad de la sección i (g cm^{-3}):

$$p_i = \frac{M_i}{S \Delta z_i}$$

Donde M_j es la masa de la sección i (g), S la superficie de la sección transversal del núcleo sedimentario (cm^2) y Δz_j es el espesor de la sección i (cm).

- 3) Masa acumulada de la capa i (g cm^{-2}):

$$m(i) = \sum_{j=1}^{j=i} \frac{M_j}{S}$$

- 4) Sumatoria de la masa acumulada de los estratos en la columna sedimentaria:

$$F = m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

Para evaluar los perfiles de las variables analizadas (metales, COPs, etc.) se utiliza el punto medio de la masa acumulada G (g cm^{-2}) donde:

- En la primera sección de sedimento es:

$$G_1 = m_1 / 2$$

- Para la segunda sección de sedimento:

$$G_2 = (m_1 + m_2) / 2$$

- En las secciones sucesivas:

$$G_n = (G_{n-1} + m_n) / 2$$

8.2. Tamaño de grano

Una alícuota de sedimento seco ($\sim 0.20 \text{ g}$) sin moler se digirió con 10 mL de H_2O_2 al 30% en un vaso de precipitado de 250 mL sobre la plancha de calentamiento a $60 \pm 5^\circ\text{C}$. Antes de que la muestra

quedara seca se agregó 20 mL de agua MilliQ y se evaporó de nuevo a la misma temperatura. Esta operación se realizó dos veces más para eliminar cualquier residuo de H_2O_2 . Después la muestra se resuspendió con agua destilada y se sumerjió en baño sónico durante 3 minutos. La cuantificación relativa del tamaño de partícula se realizó mediante el método de difracción de rayos láser en un equipo Malvern Mastersizer modelo 2000E, donde la precisión en el análisis para las arenas ($> 63 \mu m$) fue del 17%, en limos (2-63 μm) del 5% y en las arcillas ($< 2 \mu m$) del 5%.

8.3. Susceptibilidad magnética

Para el análisis de susceptibilidad magnética se utilizó una alícuota de sedimento pulverizado (~ 1.5 g) dentro de un tubo de polimetileno de 33 mm de largo y 8 mm de diámetro. Para la medición se montó el tubo sobre un medidor de susceptibilidad magnética modelo Bartington-MS2 acoplado a un sensor de frecuencia simple MSG2 durante 3 minutos. Este procedimiento se utilizó para la medición de los blancos y el material de referencia certificado Bartington-G039 ($n = 6$). Se estimó que la exactitud en la medición fue del 98% mientras que la precisión fue del 4%.

8.4. Carbono orgánico

Se pesó 0.35 g de sedimento pulverizado en matraces Erlenmeyer de 500 mL y se les añadió 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ 1N y 20 mL de una solución de $AgNO_3$ en H_2SO_4 concentrado. Las mezclas se calentaron durante 30 minutos a $140^\circ C$ sobre la plancha de calentamiento. En seguida cada muestra se llevó a un volumen de 200 mL con agua destilada y se añadieron 10 mL de H_3PO_4 al 85%, así como 0.2 g de NaF. Para el análisis volumétrico se agregaron 15 gotas de difenilamina como indicador a las muestras y el exceso de la mezcla oxidante se tituló con $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0.5N. El equilibrio se alcanza cuando la solución vira de negro a verde brillante (Gaudette *et al.*, 1974). Para la curva de calibración se utilizaron los siguientes volúmenes de dextrosa ($C_6H_{12}O_6$): 0, 0.25, 0.5, 1.0 y 2.0 mL. La precisión del análisis fue del 5%.

8.5. Carbonatos

Se utilizaron 0.35 g de sedimento pulverizado en tubos de centrifuga de polipropileno de 50 mL, a los cuales se les adicionó 10 mL de HCl 1N. Para homogeneizar las mezclas se colocaron los tubos dentro de un baño sónico durante 3 minutos a temperatura ambiente. Las muestras fueron centrifugadas a 3500 rpm durante 10 minutos y los sobrenadantes se vaciaron dentro de matraces Erlenmeyer de 250 mL. A continuación se agregó 30 mL de agua destilada a los tubos para resuspender el sedimento y se

centrifugaron nuevamente por 10 minutos. Este segundo sobrenadante también fue agregado a los matraces Erlenmeyer de 250 mL. A las soluciones recogidas en los matraces Erlenmeyer se le adicionó 3 gotas de indicador de fenolftaleína y el porcentaje de carbonato de calcio se determinó mediante titulación inversa con NaOH 0.5N. El punto final del análisis volumétrico se observa con un vire en la solución muestra de transparente a magenta. La curva de calibración se construyó con las siguientes cantidades de CaCO₃: 0.005, 0.01, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2 y 0.4 g. Los puntos de la de curva se procesaron de la misma forma que las muestras (Stuardo y Villaroel, 1976). La precisión del método fue del 4%.

8.6. Mineralogía

El análisis de la composición de minerales se realizó a través del método de difracción de rayos-X (XRD). Aproximadamente 2 cm³ de sedimento homogeneizado se dispersaron en agua desionizada. La mezcla se tamizó con una luz de malla de 63 µm y la fracción retenida (>63 µm) se descalsificó con 0.1 N de HCl. El exceso de ácido se eliminó mediante el lavado de la muestras con agua desionizada y centrifugación (tres repeticiones). La fracción menor a 2 µm (arcillas) se separó con filtros Millipore, para preparar muestras orientadas por pipeteo sobre portaobjetos (Moore y Reynolds, 1989). El análisis se realizó con un difractómetro de rayos-X Siemens de radiación CoK α . Cada muestra fue analizada tres veces: (1) con aire seco (exploración de 2° a 45° 2 θ), (2) con solvatación de etilen-glicol (24 horas, exploración de 2° a 30° 2 θ) y (3) después de ser calentada (500°C por 4 horas, exploración de 2° a 30° 2 θ). Las estimaciones semicuantitativas ($\pm 5\%$) se basan en el área de los tres picos principales del difractograma, medidos después de la solvatación con etilen-glicol (Biscaye 1965). Las alturas de los difractogramas de esmectita (17A°), illita (10A°) y clorita+caolinita (7A°) se multiplicaron por el ancho en la parte central de los picos; así las áreas suman para representar el 100%. Los resultados se presentan como porcentajes de minerales de arcillas (%). Las fracciones de arenas y limos de las muestras se molieron y se empaquetaron en contenedores plásticos y se analizaron como muestras orientadas al azar (Klug y Alexander, 1974). Las muestras fueron analizadas entre 2° y 70° 2 θ y los cálculos semicuantitativos se realizaron de acuerdo con la metodología de Cook *et al.* (1975).

8.7. Radiocronología con ²¹⁰Pb

8.7.1. Análisis de ²¹⁰Po

La actividad total del ²¹⁰Pb se determinó a través de la actividad del ²¹⁰Po medida por espectrometría alfa, asumiendo equilibrio secular entre ambos isótopos (Attix, 1986). A una alícuota de 0.3 g de sedimento pulverizado se agregó una cantidad conocida (~0.05 g) de ²⁰⁹Po como trazador interno

($0.50 \pm 0.02 \text{ Bq g}^{-1}$) y posteriormente se digirió en una mezcla 5:4:1 de HNO_3 - HCl - HF concentrado (Loring y Rantala, 1992) utilizando bombas de teflón tipo Savillex sobre la plancha de calentamiento a 120°C durante 12 horas. El digerido se evaporó a sequedad a 70°C y el residuo se disolvió con HCl concentrado para ser nuevamente evaporado a la misma temperatura. Esta operación se realizó tres veces con el fin de eliminar los residuos de HNO_3 y HF . En seguida se disolvió el residuo con 50 mL de HCl 0.5N y se centrifugó durante 10 minutos a 3000 rpm. El sobrenadante se recolectó en un vaso Berzelius de 200 mL y se añadieron 0.5 g de ácido ascórbico para reducir el hierro presente en la solución de Fe^{+3} a Fe^{+2} , ya que el Fe^{+3} interfiere en el depósito de los isótopos de Po. Los isótopos de Po se aíslan por depósito espontáneo en discos de Ag de 2 cm de diámetro, los cuales se dejaron en contacto con la solución ácida en agitación durante 12 horas (Flynn, 1986). Las actividades del ^{209}Po y ^{210}Po se midieron en detectores de barrera de superficie de silicio (Ortec-Ametek™ 920E) hasta obtener al menos 1000 cuentas en el pico más débil de entre los isótopos analizados (incertidumbre $< 5\%$). El análisis del material de referencia certificado ($n = 8$) IAEA-300 (Radionuclides in Baltic sea sediment) confirmó la calidad en el análisis del ^{210}Pb con una exactitud del 115% y una precisión del 3.5%.

8.7.2. Análisis del ^{137}Cs

Para el análisis de ^{137}Cs , una alícuota de sedimento pulverizado ($\sim 4.5 \text{ g}$) se pesó dentro de un vial de poliestireno de 40 mm de largo y 8 mm de diámetro (1 mL capacidad). El vial con la muestra se introdujo en un detector gamma HPGe de pozo marca Ortec™ para su conteo por un mínimo de 48 horas, para así obtener una incertidumbre menor al 10% (Ruiz-Fernández *et al.*, 2005).

8.7.3. Análisis de ^{239}Pu

Se incineró una alícuota de sedimento pulverizado ($\sim 3.0 \text{ g}$) dentro de crisoles de porcelana con tapa en horno mufla a 600°C por 24 horas. Como trazador interno se agregó 50 μL de ^{242}Pu ($103.8 \pm 1.2 \text{ mBq g}^{-1}$) dentro de un vaso de precipitado de 250 mL y se dejó secar a $< 60^\circ\text{C}$. La muestra calcinada se transfirió al vaso de precipitado y se agregaron 25 mL de HNO_3 y 25 mL de HCl concentrado. La digestión se completó sobre una plancha de calentamiento a 180°C durante 6 horas, tapando el vaso de precipitado con un vidrio de reloj. La solución resultante se centrifugó durante 15 minutos a 4000 rpm y el sobrenadante se transfirió a otro vaso de precipitado de 250 mL. El residuo se enjuagó con agua Milli-Q y se centrifugó nuevamente; ambos sobrenadantes se juntaron. Se preparó una muestra blanco con 50 μL de ^{242}Pu , a la cual se añadió gotas de una solución de Fe hasta lograr un tono similar al de la muestra problema. Para ajustar el pH de las soluciones a 7 se utilizó NH_4OH concentrado. Se agregaron 50 mL de $(\text{NH}_4)_3(\text{CO}_3)_2\text{H}$ y se adicionó NH_4OH para ajustar el pH entre 8 y 9. La muestra y el blanco

se centrifugaron durante 15 minutos a 4000 rpm y los sobrenadantes se desecharon. A continuación se agregó HCl concentrado para disolver los precipitados. Las mezclas se evaporaron a casi sequedad y en seguida se agregó 2 mL de HCl concentrado para volver a evaporarlas, repitiendo dos veces más esta operación. Los residuos se disolvieron una vez más con HCl 9M y se agregó 0.1 g de NaNO_2 y 2 mL de H_2O_2 por cada 100 mL de muestra. La muestra se pasó a través de una columna de intercambio aniónico de resina Dowex 1x8 (100-200 micras). Después, se agregaron 50 mL de HCl 9M a la columna y la resina se lavó con 150 mL de HNO_3 7.2M. El plutonio retenido en la columna fue eluido con 50 mL de una solución 2% V:V de H_2O_4 en HCl 1.2M y la solución resultante se evaporó hasta sequedad. El residuo fue digerido con 2 mL de una solución 1:1 de HCl + HNO_3 en un vaso de precipitado tapado con un vidrio de reloj. Cuando la muestra dejó de exhalar vapores oscuros se retiró el vidrio de reloj y se evaporó a sequedad. Para la extracción líquido-líquido se disolvió el residuo en 50 mL de HCl 8M y la solución se transfirió a un embudo de separación de 250 mL. Se agregaron 100 mL de Di-isopropil eter y la mezcla se agitó durante 1 minuto. Cuando la muestra se separó en dos fases (~ 20 minutos), la parte inferior se decantó en un vaso de precipitado de 50 mL y se evaporó. El residuo se disolvió con 1mL de HCl 3M y la solución se transfirió a una celda de electro-depósito que contenía un disco de plata, donde los radionúclidos ^{239}Pu y ^{242}Pu se depositaron (Merino-Pareja, 1997). Los análisis de exactitud (82%) y precisión (24%) de la técnica radiométrica se determinaron con el material de referencia certificado IAEA-385 (Natural and artificial radionuclides in sediment from the Irish Sea).

8.7.4. Análisis de ^{226}Ra

En la determinación de ^{226}Ra se utilizó un alícuota de 0.2 g sedimento pulverizado, la cual se digirió con una mezcla de 5:2:3 de HNO_3 -HCl-HF en horno de microondas. El extracto se evaporó a sequedad y en seguida se añadieron pequeñas cantidades de HCl 0.5N para disolver el residuo y evaporarlo nuevamente, repitiendo dos veces esta acción para eliminar los restos de HNO_3 . Las soluciones de los trazadores se prepararon gravimétricamente con ^{226}Ra 2M HNO_3 (NIST, SRM4967, U.S.A.) con una cantidad conocida de agua desionizada en viales de conteo de baja difusión tipo PE. El volumen total de la muestra fue ajustado a 10 mL mediante la adición de un coctel estándar OptiScint HiSafe. La mezcla se mantuvo dentro de un área de control ausente de luz a temperatura constante durante tres semanas para permitir el crecimiento de la progenie radiactiva. Las soluciones base se prepararon con 10 mL de agua desionizada acidificada. La determinación se realizó mediante un sistema de centelleo líquido Quantulus 1220TM (Wallac, Turku, Finland) a través de discriminación alfa/beta (Sanchez-

Cabeza *et al.*, 1998; 2010). La exactitud de la determinación (114%) se evaluó con el material de referencia certificado IAEA-384 (Radionuclides in Fangataufa Lagoon sediment).

8.8. Metales y metaloides

Se pre-digirió una alícuota de sedimento pulverizado (~ 0.5 g) con una mezcla ácida (4 mL HCl + 9 mL HNO₃ y 3 mL HF) durante 15 minutos en un contenedor de digestión sin tapa. Para evitar la formación de fluoruros insolubles se agregaron 30 mL de H₃BO₃ (4 % m/v solución). La digestión total se realizó con los contenedores cerrados en horno de microondas (CEM XPI 500Plus) a 170 °C y 800 psi, durante 10 minutos (EPA, 2007). El análisis final se realizó con un espectrómetro de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) Agilent modelo 7500ce. Las mediciones de los materiales de referencia certificados (n = 3) IAEA-158 (Trace elements and methylmercury in marine sediment), IAEA-356 (Major, trace elements, and methylmercury compounds in polluted marine sediment), IAEA-433 (Trace elements and methylmercury in marine sediment) y NBS-1646 (Estuarine sediment) mostraron una exactitud del 90% y una precisión menor al 10% para la mayoría de los elementos analizados.

8.9. Contaminantes orgánicos persistentes

Los procedimientos analíticos utilizados en la extracción, purificación y análisis de bifenilos policlorados (PCBs), éteres de bifenilos polibromados (PBDEs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) han sido descritos anteriormente por Sericano *et al.* (1990). Brevemente, alícuotas de 0.5 a 1.0 g de sedimento liofilizado y homogeneizado fueron procesadas luego del agregado, en concentraciones conocidas y similares a las esperadas para los componentes de interés de PCB 103 como estándar subrogado para PCBs; 13C-BDEs 28, 47, 99, 100 y 153 como estándares subrogados para PBDEs y d8-Naftaleno, d10-Acenaftaleno, 10-Fenantreno, d12-Criseno y d12-Perileno como estándares subrogados para los PAHs. Los compuestos orgánicos de interés fueron separados mediante el uso de un equipo de extracción acelerada por solventes (ASE) utilizando cloruro de metileno como disolvente. Los extractos de las muestras se concentraron en matraces de fondo plano unido a condensadores de columna de tres esferas tipo Synder hasta un volumen de 20 mL. Los extractos se transfirieron a tubos Kuderna-Danish para concentrar la solución sobre baño maría a 60°C, hasta un volumen final de aproximadamente 2 mL. Durante este proceso de concentración, el disolvente de extracción se reemplazó por hexano mediante el agregado de pequeños volúmenes de este solvente antes de la limpieza siguiente. Los extractos concentrados se purificaron mediante el uso de columnas de

cromatografía mixta de sílice:alúmina (10 g de alúmina sobre 20 g de sílice; malla 80-100) utilizando 200 mL de una mezcla de pentano: cloruro de metileno (1:1) como solvente de elución. Ambas fases estacionarias fueron previamente activadas por calentamiento (170 °C por 12 horas y 400 °C por 4 horas para sílice y alúmina, respectivamente) y parcialmente desactivadas mediante el agregado de agua libre de compuestos orgánicos (5% y 1% peso en peso para sílice y alúmina, respectivamente). Se agregaron gránulos de cobre activado (~1-2 g) a la cabeza de columna para remover al azufre elemental que pudiese interferir en el análisis cromatográfico. El eluido se recolectó en un balón de destilación de 250 mL acoplado a un tubo Kuderna-Danish para evaporarlo a un volumen final de 0.1 mL en baño maría a 60°C. Al extracto final se agregaron algunos pellets de Cu activado para asegurar la eliminación de azufre elemental y se transfirió a un vial para su análisis (Sericano *et al.*, 1990; Hung *et al.*, 2006). Los estándares internos 4,4' tetrachloro-*meta*-xylene (TCMX), d10-8 Fluoreno y d12-Benzo(a)pireno fueron agregados a los extractos luego de su concentración final y antes de su análisis instrumental. Los compuestos de interés (PCBs, PBDEs, PAHs) fueron cuantificados por cromatografía de gases asociada a espectrometría de masas (HP-5890 y HP-5970-MSD) mediante el monitoreo de iones seleccionados (GC/MS-SIM) siguiendo la calibración instrumental con mezclas de estándares a 4 niveles de concentración. Los extractos de las muestras se analizaron en una columna capilar 30 m x 0.25 mm y espesor de película DB-5 de 0.25 μm (J & W Scientific, Inc. o similar). Los límites de detección del método son típicamente inferiores a 1 ng g⁻¹ de peso seco dependiendo del analito y de la cantidad de muestra tratada (Sericano, 2002). La recuperación de los estándares subrogados se encuentra en la sección de anexos. La evaluación de la precisión y exactitud de las determinaciones se realizó con el material de referencia NIST-1944.

8.10. Composición isotópica de C y N

Para la determinación del $\delta^{13}\text{C}$, una alícuota de sedimento seco se acidificó con H_2SO_3 al 6% para remover la fracción carbonatada (Verardo *et al.*, 1990) e inmediatamente después se secó a 60°C. La muestra seca se pulverizó y se pesó una alícuota (~0.2 g) dentro de una cápsula de plata. Por otro lado, debido a que la acidificación puede remover de manera preferencial las formas más lábiles de los componentes nitrogenados, las alícuotas de sedimento pulverizado para el análisis del $\delta^{15}\text{N}$ (~0.2 g) se cuantificaron sin ser acidificadas, en cápsulas de estaño. Todas las muestras se midieron en un analizador elemental Carlo Erba NA1500 Serie 2 acoplado a un espectrómetro de masas Thermo Finnigan Delta Plus X con un Finnigan Conflo II de interfase de escisión abierta. Los resultados de la medición se presentaron en notación estándar delta, donde los valores para el $\delta^{13}\text{C}$ se reportan en

relación al estándar de carbonato VPDB y los del $\delta^{15}\text{N}$ respecto al aire. Se midieron réplicas de una muestra, con lo que se obtuvo una desviación estándar de 0.05‰ para la determinación del $\delta^{13}\text{C}$ y del 0.20‰ para el $\delta^{15}\text{N}$.

9. Control de calidad y análisis estadístico

9.1. Cartas de control de calidad de los análisis de materiales de referencia certificados

Los métodos de análisis deben de ser evaluados rigurosamente para asegurar la calidad de los datos. Un procedimiento de evaluación rutinaria en el laboratorio lo constituyen las Cartas de Control de Calidad Analítica (CCCA), las cuales se construyen de la siguiente manera:

1. Se selecciona el material de referencia certificado (MRC) que será analizado regularmente junto con cada grupo de muestras.
2. Todos los análisis del MRC no deben de realizarse el mismo día, sino distribuirlos sobre un periodo de tiempo para cubrir el intervalo completo de errores aleatorios entre grupos de análisis y dentro de un mismo grupo.
3. Se calcula el promedio (\bar{x}) y la desviación estándar (σ) de las determinaciones del MRC y se grafican los siguientes valores dentro de la carta de control en blanco:
 - Promedio = \bar{x}
 - LSA (límite superior de precaución) = $\bar{x} + 2\sigma$
 - LSC (límite superior de control) = $\bar{x} + 3\sigma$
 - LIP (límite inferior de precaución) = $\bar{x} - 2\sigma$
 - LIC (límite inferior de control) = $\bar{x} - 3\sigma$

Asumiendo que las determinaciones analíticas de los MCR siguen una distribución normal, el 95% debería caer en el área entre el LSP y el LIP. Similarmente, el 99.7% de los resultados deberían caer en dentro del área entre el LSC y el LIC. Cada vez que se concluya un grupo de análisis, los resultados obtenidos para el MCR se colocaran dentro de la CCCA para verificar la posición del dato en relación con estos límites (UNEP 1995, IAEA, 1997). En las siguientes figuras se muestran las CCCA para la concentración de ^{210}Pb en el MRC IAEA-300 (figura 8) y para la determinación de los elementos mayoritarios (Al, Fe, Li) y elementos potencialmente tóxicos (As, Cr, Cu, Hg, Pb, Rb, Zn, V) en el MRC IAEA-158 (figura 9), IAEA-356 (figura 10), IAEA-433 (figura 11), IAEA-456 (figura 12) y NBS-1646 (figura 13).

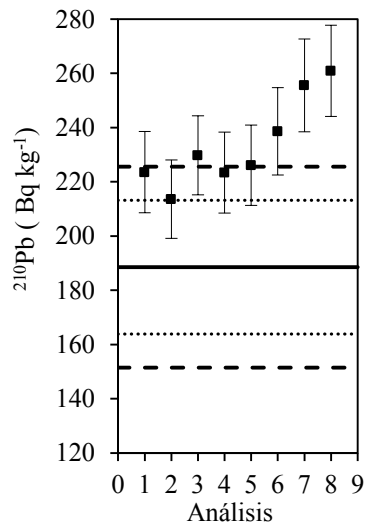


Figura 8. Carta de control de calidad para las determinaciones de ^{210}Pb en el material de referencia certificado IAEA-300. Promedio (-), límites de precaución (·) y límites de control (--).

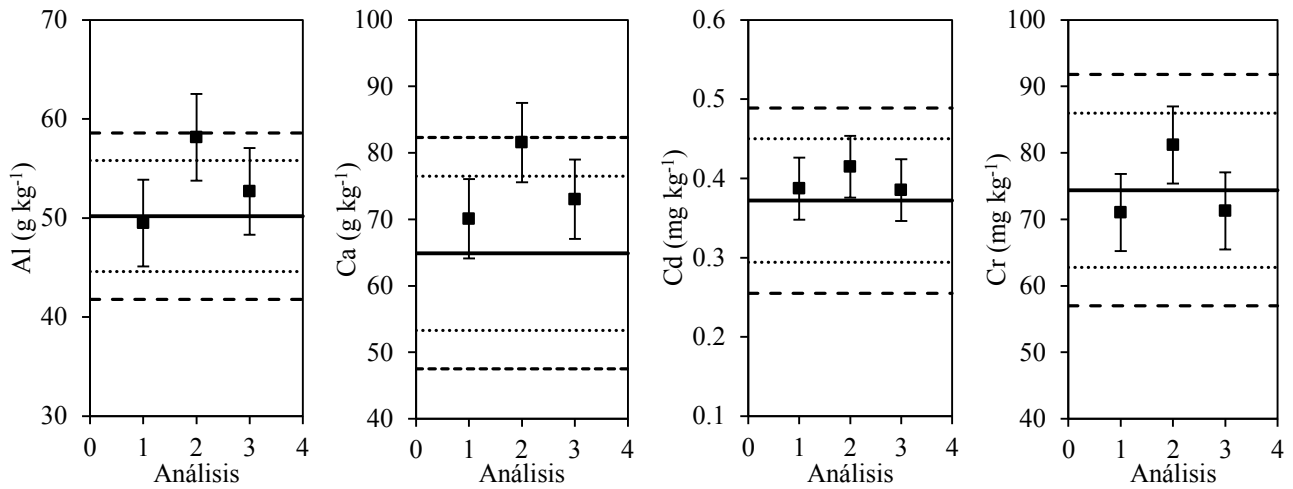


Figura 9. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-158. Promedio (-), límites de precaución (·) y límites de control (--).

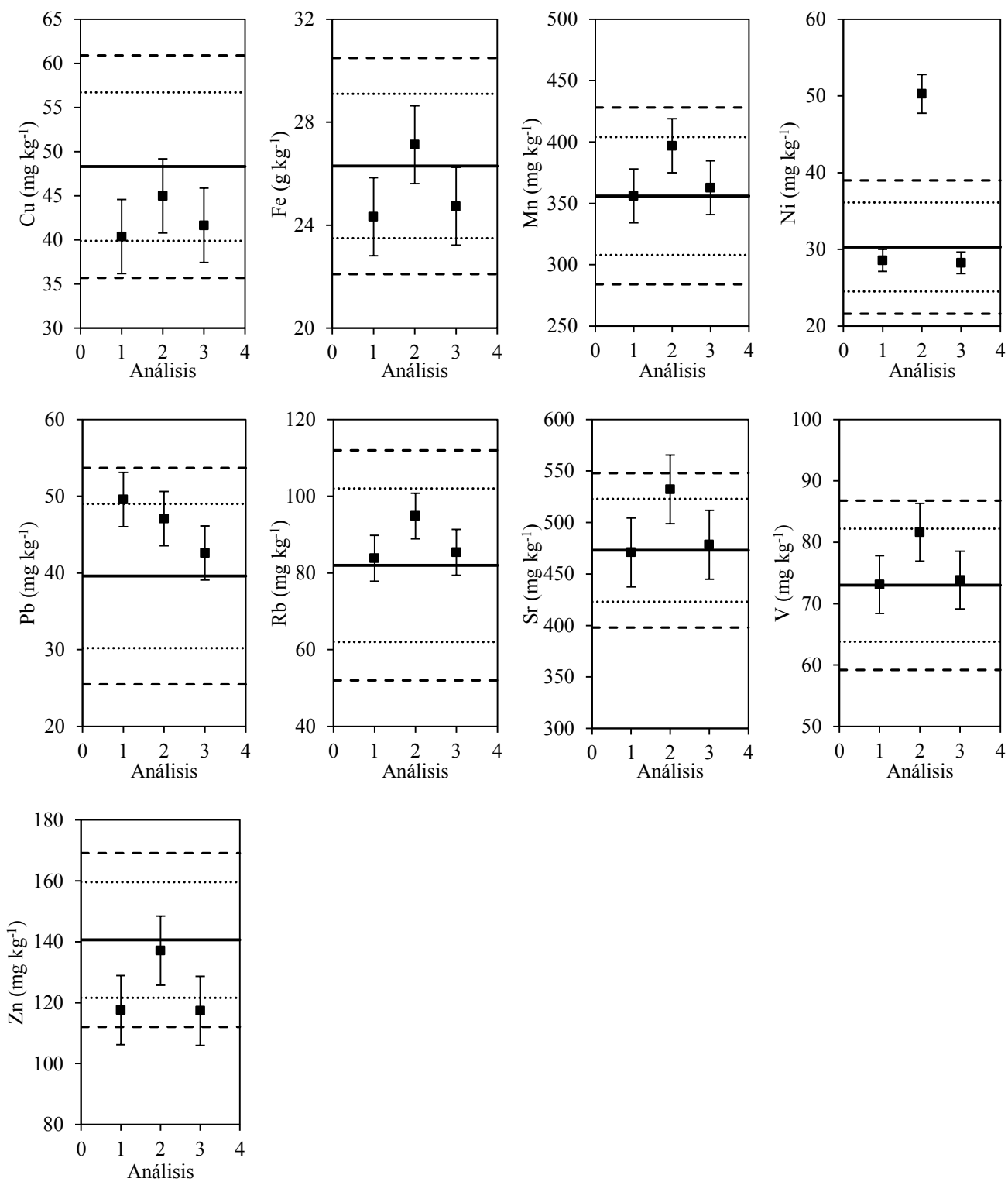


Figura 9. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-158. Promedio (-), límites de precaución (·) y límites de control (--) (continuación).

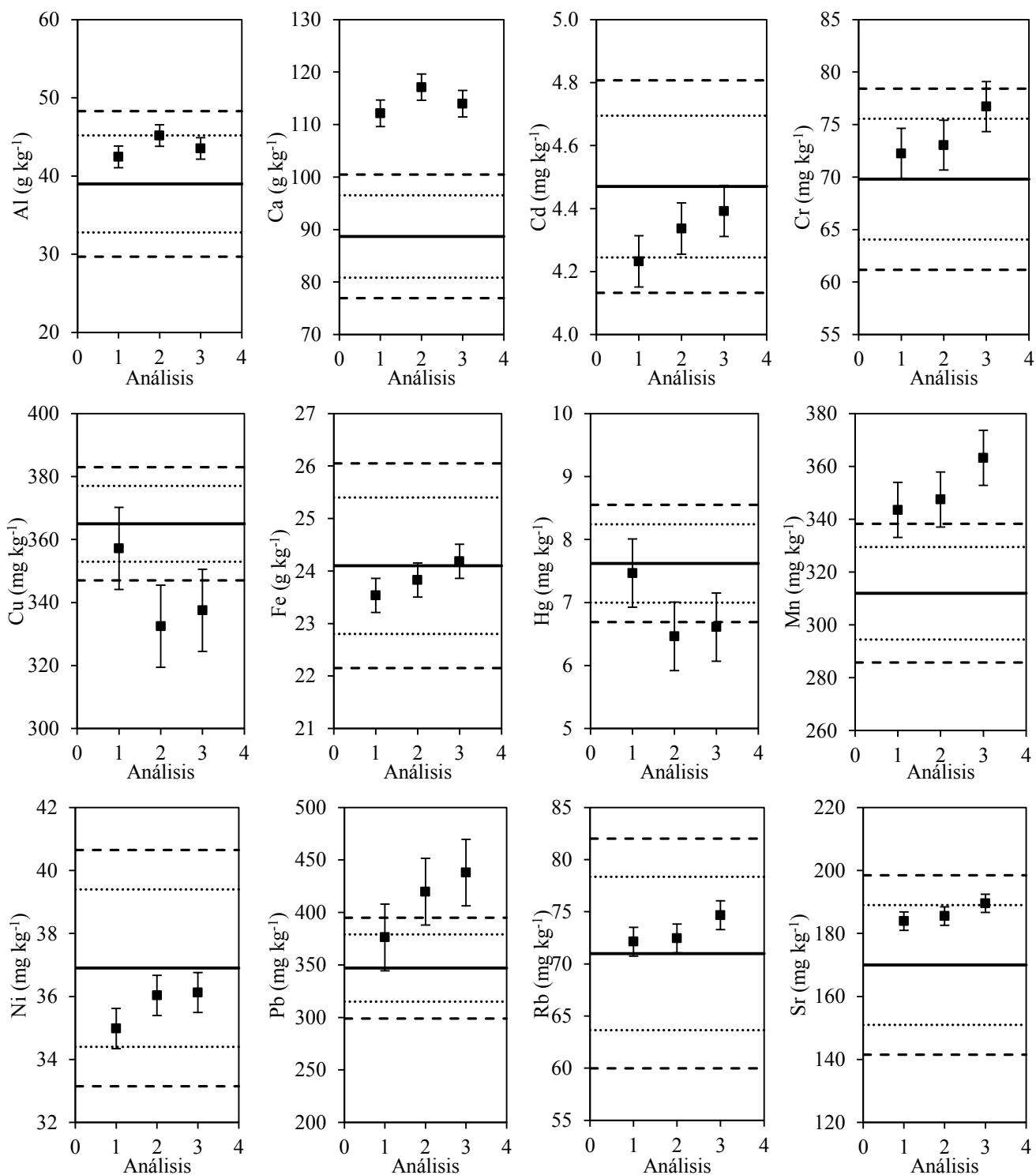


Figura 10. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-356. Promedio (-), límites de precaución (·) y límites de control (--).

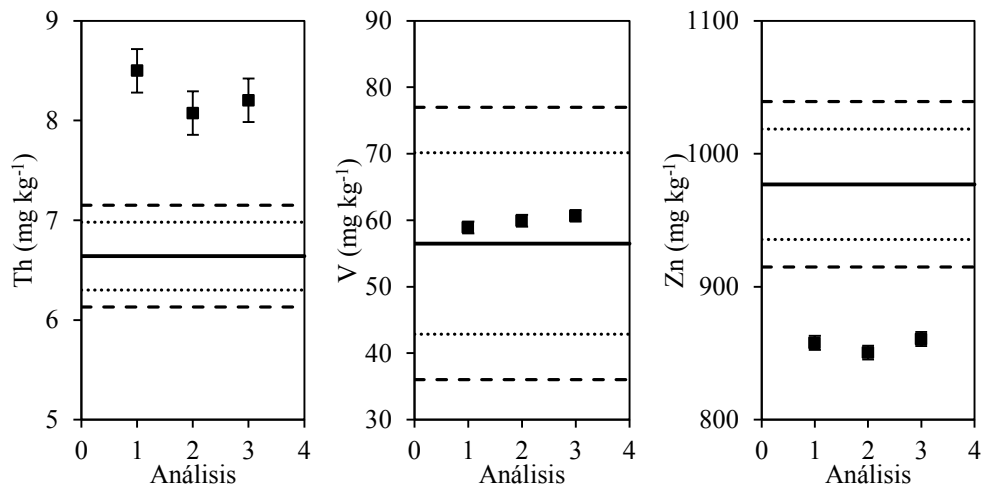


Figura 10. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-356. Promedio (-), límites de precaución (·) y límites de control (--) (continuación).

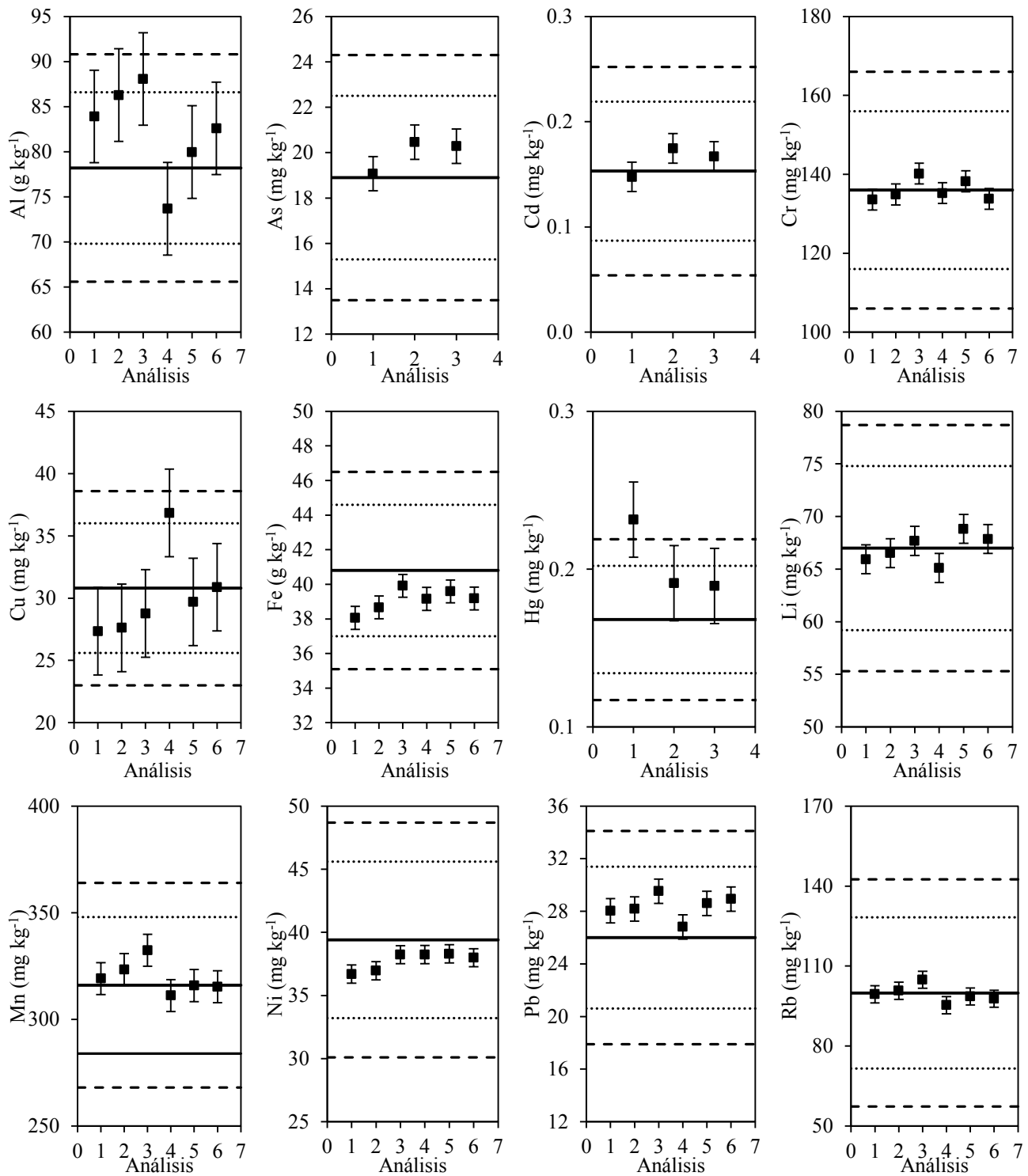


Figura 11. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-433. Promedio (-), límites de precaución (·) y límites de control (--).

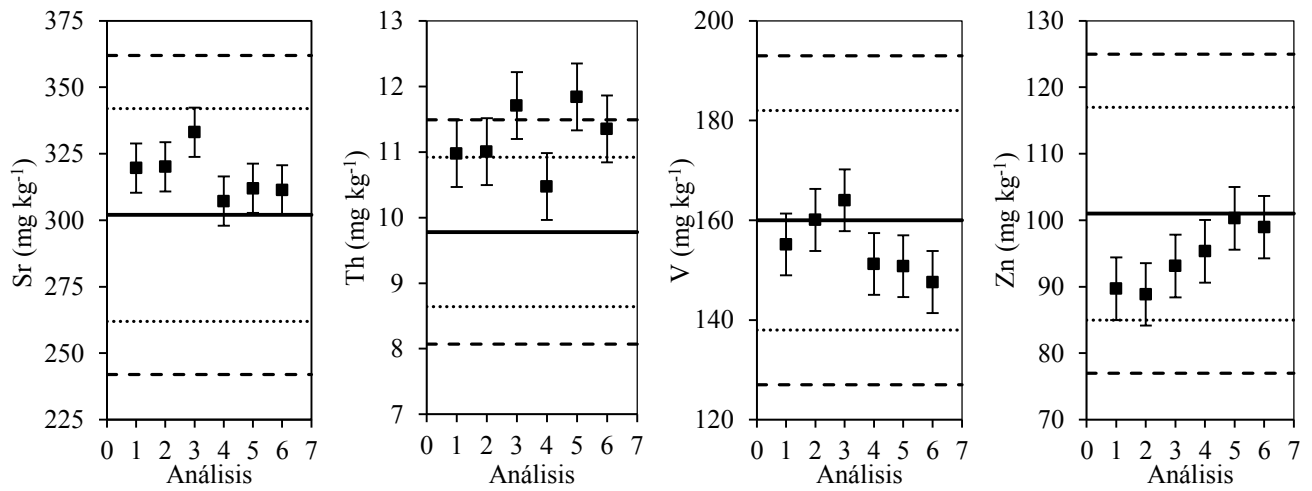


Figura 11. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-433. Promedio (-), límites de precaución (·) y límites de control (--) (continuación).

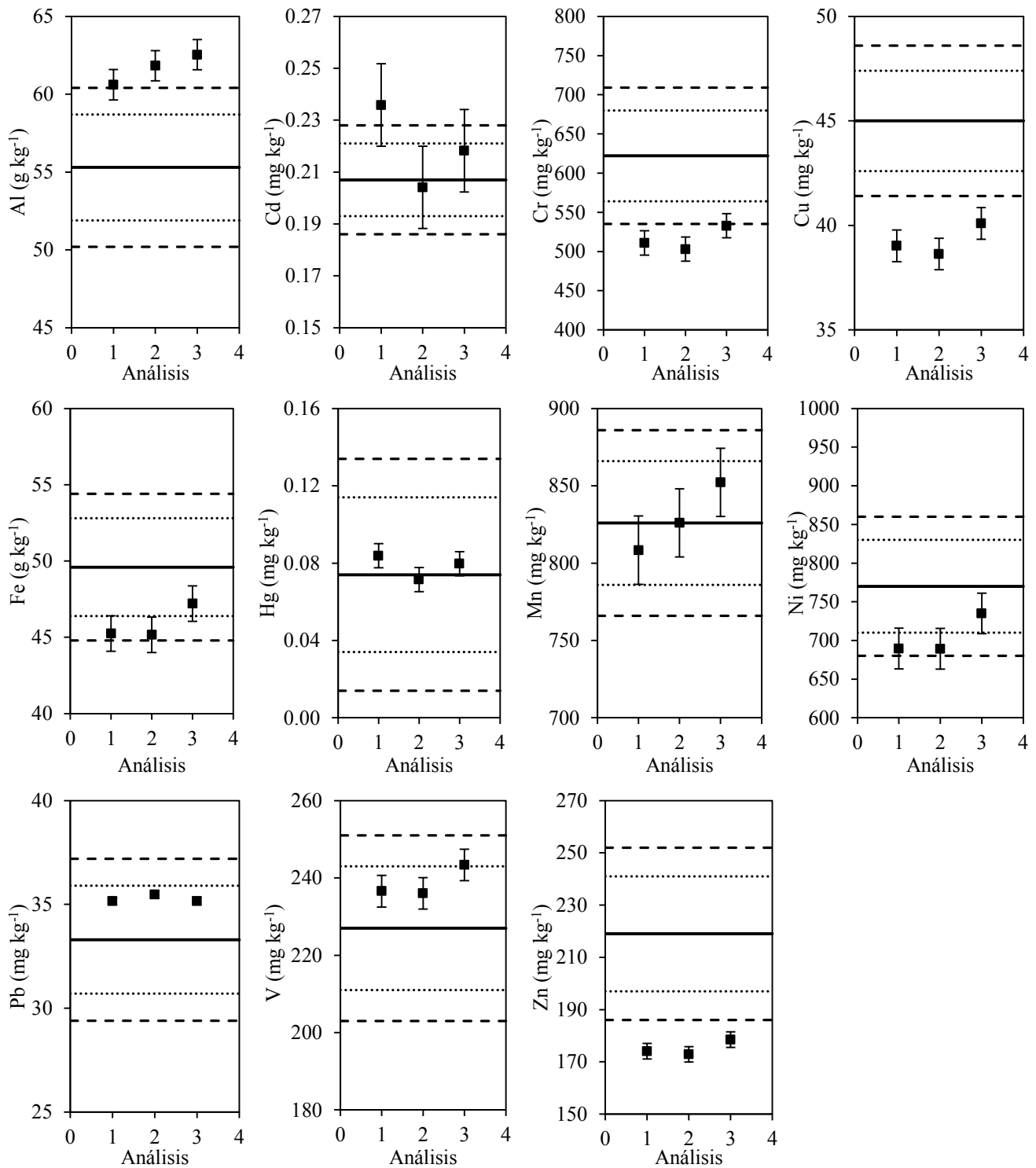


Figura 12. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado IAEA-456. Promedio (-), límites de precaución (·) y límites de control (--).

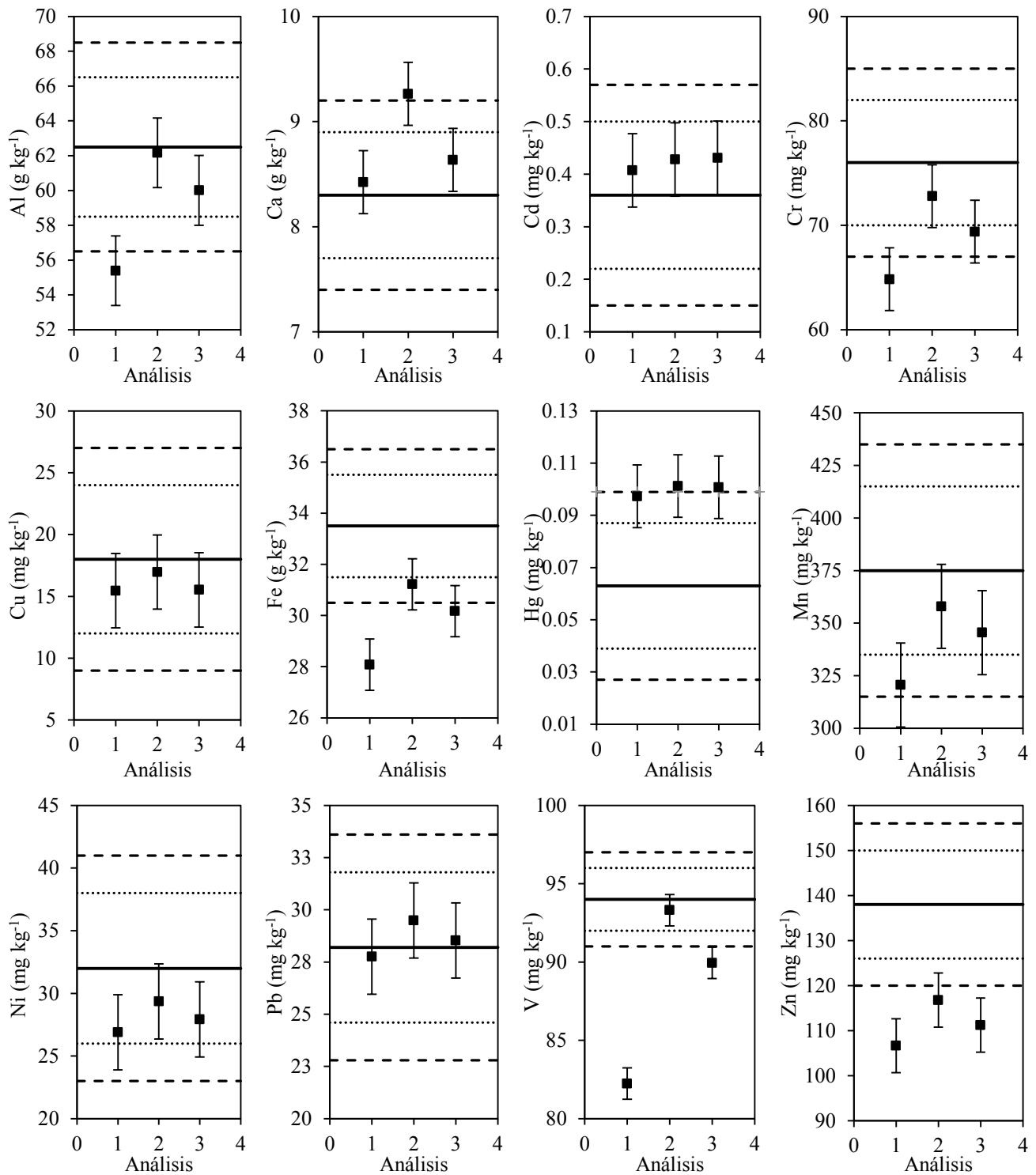


Figura 13. Cartas de control de calidad para las determinaciones de metales en el material de referencia certificado NBS-1646. Promedio (-), límites de precaución (·) y límites de control (--).

9.2. Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se realizaron mediante el software XLSTAT-Pro 7.5.2 en Microsoft Office Excel 2010 del paquete Microsoft Office Professional 2010 (versión de 32 bits) para Microsoft Windows 7 Home Premium.

9.2.1. Correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson (r) es una medida de la mutua relación entre dos variables aleatorias que se distribuyen normalmente. El análisis de correlación limita las asociaciones a un rango de -1 a +1. El coeficiente r indica la dirección e intensidad de la correlación, donde el extremo positivo señala correlación perfecta, cero advierte ausencia de correlación y valores negativos indican un comportamiento inversamente proporcional entre las dos variables (Mackey y Gass, 2005). Por su puesto, la significancia estadística de r depende del número de muestras (n) y del nivel de confianza (95%, $\alpha = 0.05$). El cuadrado del coeficiente de correlación es el coeficiente de determinación (r^2) que mide la proporción de la variabilidad total de la variable dependiente Y con respecto a la variable independiente X (Snedecor y Cochran, 1978).

9.2.2. Análisis multivariado

Los análisis multivariados consisten en una serie de métodos estadísticos que permiten analizar simultáneamente más de dos variables aleatorias interrelacionadas, para proyectar un resultado global que toma en cuenta la relación entre esas variables (Jackson, 1991).

9.2.2.1. Análisis factorial

En el análisis factorial (AF) el objetivo es reducir un conjunto de variables cuantitativas aleatorias (interrelacionadas) a un grupo de factores latentes (independientes), de tal manera que los factores siempre serán, en número, inferiores a las variables iniciales. Su capacidad de sintetizar información se obtiene de eliminar del conjunto de variables iniciales aquellas que ofrecen información redundante y aquellas que no se adaptan al modelo de regresión múltiple en el que se basa la técnica. A diferencia de la ecuación del modelo de regresión, los factores no son variables simples, sino dimensiones que engloban a un conjunto determinado de variables, pudiendo las variables ser explicadas linealmente en función de los factores seleccionados (Rodríguez-Jaume y Mora-Catalá, 2002). La hipótesis nula con la que trabaja el AF es: la matriz de correlaciones es una matriz de identidad y por tanto no existen correlaciones significativas entre las variables (Larose, 2006).

Las variables incluidas en el AF fueron el tamaño de grano (arenas, limos, arcillas), contenido de metales y metaloides (Al, Li, Rb, Th, Fe, Zn, Mn, Ag, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sr, V), carbono orgánico, carbonatos y susceptibilidad magnética. Se generaron las matrices de coeficientes de

correlación de Pearson considerando como nivel de significación el umbral alfa de 0.05 para pruebas de dos colas. El método de extracción fue el de factores principales. La comunalidad inicial se estimó a través del método de correlación múltiple al cuadrado con condiciones de paro en 25 iteraciones y convergencia igual a 0.001. A la matriz factorial se aplicó el método de rotación ortogonal Varimax para minimizar el número de variables con saturaciones altas en relación a los factores. Después se creó una matriz con las variables que presentaron cargas significativas (>0.65) con los tres primeros factores. Al final del análisis se construyeron los gráficos de saturaciones, los cuales reflejan la ubicación de las variables en el espacio definido por los dos primeros factores.

9.2.2.2. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) realiza una transformación lineal sobre un grupo de variables interrelacionadas para maximizar su varianza y así generar un grupo sustancialmente menor de variables no correlacionadas. Como resultado se produce una serie de componentes principales (CP) que representa a la mayoría de la varianza contenida en el grupo original de datos. De tal forma que el CP1 será la combinación lineal que contendrá el máximo porcentaje de varianza, mientras que el CP2 contendrá el porcentaje más alto de la varianza restante en dirección ortogonal a CP1, y así en los componentes sucesivos (Dunteman, 1989; Jolliffe, 2002). A diferencia del análisis factorial (sección 9.2.2.1), el ACP se utiliza cuando el número de variables independientes es grande en relación con el número de observaciones. Además el ACP trabaja muy bien cuando existen problemas de multicolinealidad, esto es, cuando las variables independientes están altamente correlacionadas volviendo inestable al coeficiente de regresión. Esto se logra por la reducción del número de variables independientes cuando los componentes principales se han generado (Allen, 1997; Rencher y Christensen, 2012).

En el ACP se emplearon los valores (ng g^{-1}) de los grados de cloración (CB1 a CB9) de los PCBs determinados en los sedimentos de los lagos Santa Elena y Chapala, junto con la composición típica de las mezclas comerciales de Arocloros (1016, 1221, 1232, 1242, 1248, 1254, 1260, 1262). Se realizó la prueba de esfericidad de Bartlett para contrastar la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones era una matriz de identidad, en cuyo caso no existiría correlaciones significativas entre las variables, y el modelo factorial no sería pertinente (Bartlett, 1937). Se generaron las matrices de coeficientes de correlación de Pearson considerando como nivel de significación el umbral alfa de 0.05 para pruebas de dos colas. A la matriz factorial se aplicó el método de rotación ortogonal Varimax, ajustando el número de factores a 2. Después se creó una matriz con las contribuciones (%) de las variables (grados de cloración) a los componentes principales CP1 y CP2. Al final del análisis se construyeron los gráficos

de saturaciones donde se comparó la composición de los PCBs en las muestra de sedimento contra las mezclas comerciales de Arocloros en el espacio definido por los componentes principales CP1 y CP2 en ambos lagos.

9.2.2.3. Análisis de redundancia

El análisis de redundancia (RDA) también llamado “regresión de rango reducido de mínimos cuadrados” es un análisis que modela un conjunto de variables de respuesta o dependientes denominadas Y, en relación a otro conjunto de variables predictoras o independiente X (Ter Braak, 1994). El análisis genera ejes de variación dentro de las variables de respuesta, siendo los ejes combinaciones lineales de las variables predictoras. El RDA realiza la suma ponderada de las variables predictoras que encaje o explique mejor la varianza de las variables de respuesta, dando como resultado la regresión total máxima de la suma de cuadrados. Este modelo es un intermediario entre un ACP y el conjunto de regresiones múltiples que se generaría para cada variable de respuesta. Sin embargo, debido a la reducción dimensional de las variables de respuesta el RDA requiere menos parámetros de regresión que las regresiones múltiples por separado (Clark *et al.*, 1997).

En el RDA se incluyó como variables de respuesta Y a las concentraciones de metales y como variables predictoras X a la abundancia de minerales. El RDA se empleó para identificar la posible procedencia de los elementos metálicos en relación a las combinaciones lineales de la matriz predictora (PCA constreñido). El análisis de correspondencia se ejecutó mediante la estimación de los porcentajes de inercia total, restringida y no-restringida. Asimismo se realizaron pruebas de permutación (500 permutaciones), con un nivel de significancia del 5%. Por último se generaron los gráficos que incluye la distribución de las variables Y y X en dos dimensiones, utilizando un factor de alargamiento igual a 3 para cada vector.

10. Resultados

10.1. Lago Santa Elena: caracterización del material sedimentario

En los anexos 1 al 4 se presentan los resultados de humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para los núcleos de sedimento SE1, SE2, SE3 y SE4 del lago Santa Elena.

10.1.1. Tamaño de grano

El análisis de tamaño de grano en el lago Santa Elena (anexos 5-8) indicó que los núcleos recolectados tienen una textura homogénea caracterizada por un alto contenido de limos (65.3-86.0 % en SE1; 77.1-90.4 % en SE2; 78.9-91.9 % en SE3; 77.8-92.5 % en SE4). En la figura 14 se observa que los perfiles de los núcleos de sedimento SE2, SE3 y SE4 son muy semejantes, presentando bajos contenidos de arenas (<5 %) y arcillas (<14 %), mientras que en el SE1 se observa que el contenido de arenas es mucho mayor (7.7-30.6 %).

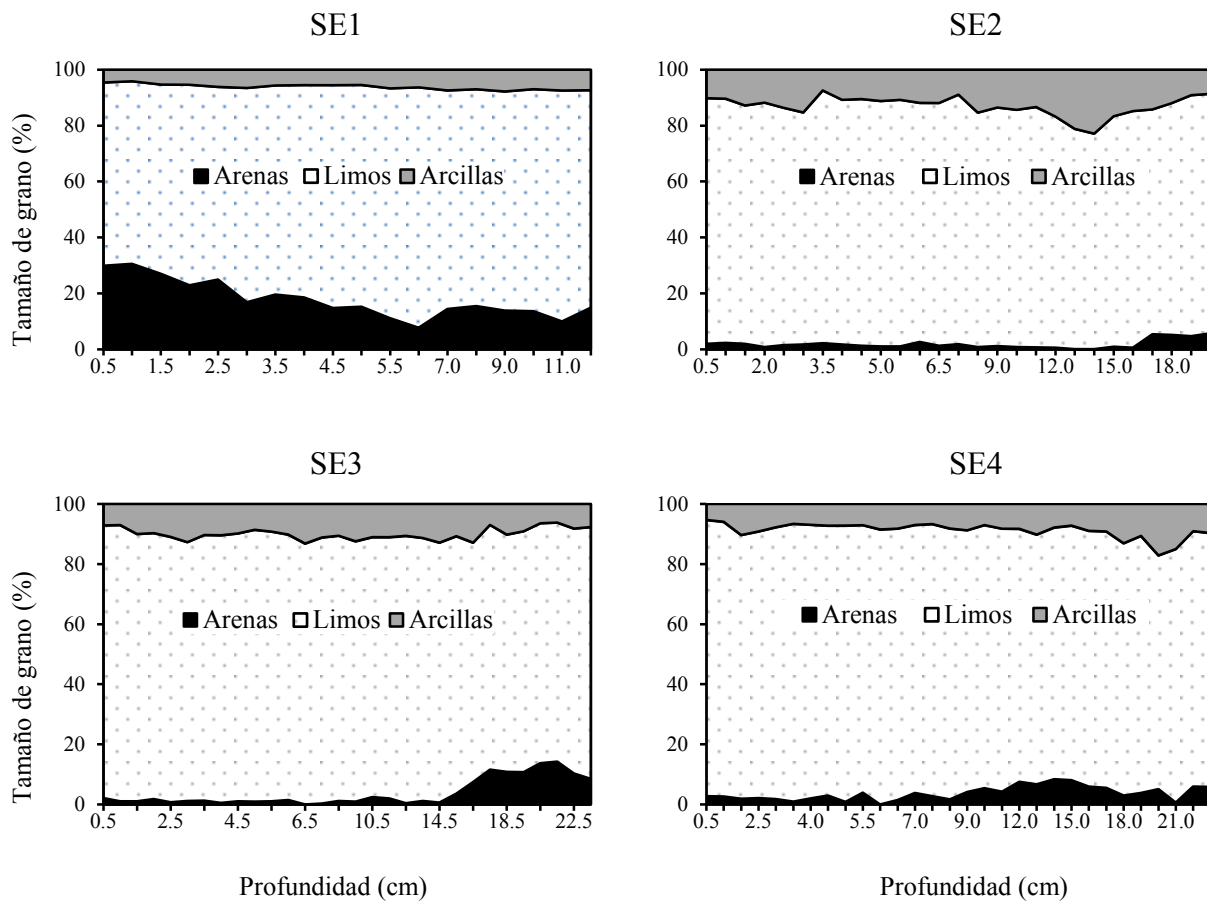


Figura 14. Perfiles de tamaño de grano de los núcleos de sedimento recolectados en el lago Santa Elena.

10.1.2. Susceptibilidad magnética

Los perfiles de susceptibilidad magnética (SM) volumétrica (k) de los núcleos de sedimento del lago Santa Elena se presentan en la figura 15. En el anexo 9 se encuentran los valores de SM medidos en cada una de las secciones de los cuatro núcleos. En el lago Santa Elena, los perfiles de SM muestran algunas tendencias: en el núcleo SE1 ($1.6-3.2 \times 10^5$ SI) los valores se incrementan desde el fondo hacia la superficie, mientras que en el SE2 ($1.0-1.8 \times 10^5$ SI) y SE4 ($1.1-1.8 \times 10^5$ SI) se observa un comportamiento inverso. En el SE3 ($1.0-3.2 \times 10^5$ SI) los valores más altos de SM se presentan hacia el fondo del perfil, hasta los 15 cm de profundidad, para después disminuir hacia la superficie del núcleo a niveles semejantes al de los perfiles SE2 y SE4. Lo anterior indica que el material depositado en las secciones que van desde la superficie y hasta cerca de los 14 cm de profundidad de los núcleos SE2, SE3 y SE4 tienen una estructura sedimentaria similar, ya que la señal de SM (k) refleja el aporte de materiales magnetizables que proceden de fuentes comunes como el depósito atmosférico (partículas de suelo, cenizas volcánicas) o la erosión de las rocas que forman la cuenca de drenaje (Hilton, 1987; Sandgren y Fredskild, 1992; Geiss *et al.*, 2004). Por otro lado, la distribución de los valores de SM del SE1 indica que este núcleo es completamente ajeno al resto de los núcleos recolectados en el lago. De hecho los niveles de SM del SE1 ($1.55-3.17 \times 10^5$ SI) son semejantes a los valores registrados en el segmento más profundo del perfil SE3 (13.5-23.5 cm, $2.11-3.15 \times 10^5$ SI) cuya composición indicó la presencia de los suelos previos a la construcción del Santa Elena. Por lo anterior, los niveles de SM en SE1, indican que el núcleo en su totalidad está compuesto principalmente de suelos y no de sedimento.

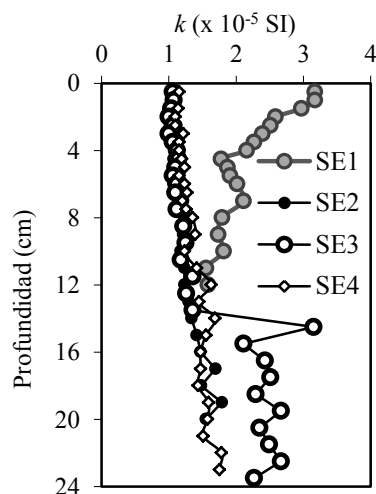


Figura 15. Perfiles de susceptibilidad magnética de los núcleos del lago Santa Elena.

10.1.3. Carbono orgánico

En la figura 16 se observa que los perfiles de carbono orgánico (C_{org}) de los núcleos SE2 (0.7-2.2 %), SE3 (0.5-2.5 %) y SE4 (0.8-2.5 %) muestran tendencias similares, presentando las concentraciones más altas en las secciones superficiales.

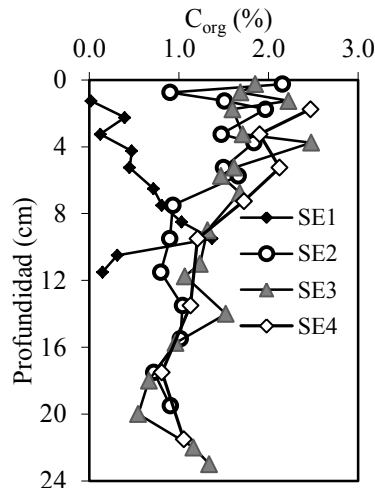


Figura 16. Perfiles de carbono orgánico (C_{org}) de los núcleos de sedimento del lago Santa Elena.

En estos tres perfiles el C_{org} exhibe una distribución tipo exponencial (SE2 y SE3, $r=0.7$ $P\leq 0.05$; SE4, $r=0.9$ $P\leq 0.05$) que es característica del decaimiento de la materia orgánica por metabolismo microbiano (Den-Heyer y Kalff, 1998). Por el contrario la distribución del C_{org} en el perfil SE1 (≤ 1.3 %) es completamente diferente a la del resto de los núcleos. Esto apoya la hipótesis sobre el origen y composición del núcleo SE1, propuesta a través de la evaluación los valores de tamaño de grano y de susceptibilidad magnética. En esas secciones (10.1.1 y 10.1.2) se planteó que el registro sedimentario está compuesto por suelos y no por sedimento.

En general los valores de C_{org} del lago Santa Elena son comprables (tabla 2) a las concentraciones publicadas por otros autores para lagos mexicanos, como el San Felipe en el desierto de Sonora (Roy *et al.*, 2010), Espejo de los Lirios en Ciudad de México (Ruiz-Fernández *et al.*, 2004), Aljojuca en Puebla (Peralta *et al.*, 2002) y Chapala en Jalisco (Rosales-Hoz *et al.*, 2000); así como con los valores de C_{org} de lagos ubicados en otras partes mundo (Balwin y Howitt, 2007; Karageorgis *et al.*, 2012; Khalil *et al.*, 2013; Kalwa *et al.*, 2013; Liang *et al.*, 2014).

Tabla 2. Concentraciones (%) de carbono orgánico (C_{org}) y carbonatos (CaCO₃) en sedimentos de lagos en México y otras partes del mundo.

Lago	Tipo de ecosistema	C _{org}	CaCO ₃	Referencia
Champayan y Laguna de Costa, Tamaulipas	Lagos continentales: fuerte desarrollo urbano e industrial	6.8-25.8 5.9-9.3	4.9-69.3 26.0-62.5	Jonathan <i>et al.</i> (2013)
Zirahuén, Michoacán	Lago volcánico	n.d.	<0.4	Torres-Rodríguez <i>et al.</i> (2012)
San Felipe, Sonora	Desierto	0.1-1.8	0-7.4	Roy <i>et al.</i> (2010)
Punta Laguna, Quintana Roo	Lago continental: reserva natural	~5-30	~30-90	Hodell <i>et al.</i> (2007)
Pátzcuaro, Michoacán	Lago continental: desarrollo urbano denso	~13	~64	Davies <i>et al.</i> (2002) Metcalf <i>et al.</i> (2007)
Lago Verde, Veracruz	Lago prístino	7-20	<0.1	Ruiz-Fernández <i>et al.</i> (2007)
Zacapu, Michoacán	Lago continental: desarrollo urbano	3-4	n.d.	Leng <i>et al.</i> (2005)
Espejo de los Lirios, Ciudad de México	Lago continental: desarrollo urbano denso	1.2-5.0	2.8-3.1	Ruiz-Fernández <i>et al.</i> (2004)
Alchichica	Lagos volcánicos (maar)	3-8	2-29	Peralta <i>et al.</i> (2002)
Quechulac		2-4	0.5-1	
La Preciosa		6-18	5-24	
Atexcac		0-7.2	4-5	
Tecuitlapa		7-8	3-6	
Aljojuca, Puebla		1-2	0.5-1	
Chapala, Jalisco	Lago de montaña: desarrollo urbano y agricultura	~22 1.1-4.4	n.d.	Fernex <i>et al.</i> (2001) Rosales-Hoz <i>et al.</i> (2000)
Rhino y Arrow Bamboo, China	Lagos de montaña: reserva natural	1.5-3.1 1.1-2.3	~61 ~75	Liang <i>et al.</i> (2014)
Itaipu, Brasil/Paraguay	Rural: agricultura y ganadería	1.4-13.9	n.d.	Kalwa <i>et al.</i> (2013)
Edku y Mariut, Egipto	Lago costero: agricultura y denso desarrollo urbano	0.9-10 0.6-4.3	38-97 23-56	Khalil <i>et al.</i> (2013)
Sünnet, Turquía	Lago de montaña: desarrollo urbano	~6	~16	Ocakoglu <i>et al.</i> (2013)
Owasco y Seneca, EUA	Lagos continentales: agricultura y tierras forestales	<6 <8	n.d.	Brown <i>et al.</i> (2012)
Messolonghi, Grecia	Lago continental: agricultura y pesca	1.3-5.9	12-78	Karageorgis <i>et al.</i> (2012)
Seven Mile, Canadá	Lago continental: desarrollo urbano	40	~10	Anderson <i>et al.</i> (2011)
Mulwala, Australia	Lago continental: desarrollo urbano denso	2-25	n.d.	Balwin y Howitt (2007)
Jezero v Ledvici, Eslovenia	Lago de montaña: desarrollo urbano	40	n.d.	Brancelj <i>et al.</i> (2002)
Kuetsjärvi, Rusia	Lago continental: refinería de níquel	5-20	n.d.	Dauvalter (2003)
Tedenac, Finlandia	Lago prístino	3.0-29.8	n.d.	Wren <i>et al.</i> (1983)

10.1.4. Carbonatos

En el lago Santa Elena se determinaron las concentraciones de carbonatos (CaCO_3) en los núcleos SE2 (2.1-7.4 %) y SE3 (1.4-14.8 %). Los resultados del análisis se encuentran en el anexo 11 y los perfiles se muestran en la figura 17. En ambos núcleos se observó que las concentraciones de CaCO_3 tienden a aumentar de forma gradual desde el fondo de los perfiles hasta los 3.75 cm de profundidad. A partir de ahí, el perfil SE2 disminuye rápidamente hacia la superficie, alcanzando valores semejantes a los de las secciones del fondo (3.2 %), mientras que en el SE3 las concentraciones oscilan drásticamente (2.3 a 14.8 %) hasta el tope del núcleo. Las concentraciones de CaCO_3 determinadas en el lago Santa Elena se asemejan a los valores reportados por Ruiz-Fernández *et al.* (2004) para el lago Espejo de los Lirios y a los publicados por Peralta *et al.* (2002) para una serie de lagos volcánicos localizados el estado de Puebla. De igual forma estos valores de CaCO_3 son comparables con la información publicada por Karageorgis *et al.* (2012) para el lago Messolonghi en Grecia y con los valores de Anderson *et al.* (2011) para el lago Seven Mile en Canadá (tabla 2).

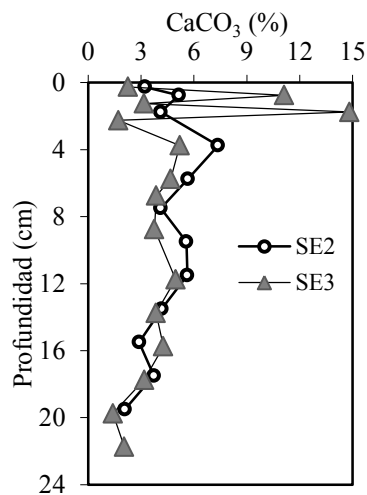


Figura 17. Perfiles de carbonatos (CaCO_3) de los núcleos de sedimento del lago Santa Elena.

10.1.5. Mineralogía

El análisis mineralógico en el lago Santa Elena se realizó únicamente en los núcleos de sedimento SE3 y SE4. En la tabla 3 se muestran los intervalos de las concentraciones de los minerales observados en ambos registros, mientras que los perfiles del contenido porcentual de los minerales respecto a la profundidad se presentan de la figura 18 a la 25. El análisis completo de mineralogía del lago Santa Elena puede ser consultado en la sección de anexos del 23 al 30.

Tabla 3 Composición mineral (%) en muestra total y fracciones de tamaño de grano de los núcleos SE3 y SE4 del lago Santa Elena.

Mineral	SE3				SE4			
	Abundancia (%)				Abundancia (%)			
	Arcillas	Limos	Arena	Total	Arcillas	Limos	Arena	Total
Cuarzo	9.9-13.3	12.6-20.6	10.9-28.4	12.8-22.9	4.0-13.9	9.9-29.9	7.0-25.0	7.6-34.0
Albita	4.7-8.9	5.2-9.2	5.4-27.3	5.3-13.0	1.3-8.7	4.6-12.6	2.3-61.2	5.5-45.8
Plagioclasa	7.8-11.2	13.0-16.5	15.3-38.4	14.3-22.6	3.1-15.1	7.6-23.9	5.9-40.8	9.9-52.7
Cristobalita	31.6-40.7	26.6-37.4	2.3-30.4	19.7-34.8	17.1-33.0	14.8-33.1	5.4-28.2	10.3-23.7
Caolinita	8.6-20.5	7.6-13.6	1.6-13.9	6.4-11.4	3.7-10.7	1.2-10.0	1.2-8.1	1.2-6.7
Microclina	5.2-14.0	8.6-11.9	7.2-15.3	9.0-12.7	0.4-11.0	3.9-11.2	3.9-14.6	4.4-20.3
Clinocloro	1.4-4.2	n.d.	1.0-2.3	0.3-4.2	3.0-9.0	0.6-7.4	0.6-5.0	0.8-5.8
Montmorillonita	n.d.	n.d.	0.8-3.1	0.5-3.1	8.9-39.7	1.4-10.3	1.7-4.4	1.3-10.0
Pirita	n.d.	n.d.	1.1-3.4	1.1-3.4	0.6-8.2	0.6-4.4	0.3-4.0	1.0-4.6
Augita	n.d.	n.d.	1.1-4.1	1.1-4.1	0.8-6.8	1.0-7.7	0.7-5.1	0.8-5.7
Apatita	n.d.	n.d.	0.6-1.2	0.6-1.2	0.3-5.2	0.3-3.8	0.3-3.6	0.6-3.8
Gibbsite	n.d.	n.d.	0.6-2.4	0.6-2.4	1.0-5.1	0.3-7.6	0.3-4.1	0.6-2.8
Dolomita	n.d.	0.7-1.6	0.3-1.4	0.1-1.4	0.6-4.9	0.2-3.2	0.3-2.4	0.3-1.2
Calcita	n.d.	0.4-2.0	0.4-1.3	0.1-2.0	n.d.	0.2-2.4	0.2-1.9	0.1-0.6
Anfiboles	n.d.	1.4-10.0	1.0-3.5	0.3-7.0	0.3-11.3	0.4-9.3	0.6-4.4	0.8-7.5
Tridimita	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.4-9.4	3.4-12.6	1.6-8.1	3.0-7.0
Sanidina	6.2-11.9	n.d.	n.d.	6.2-11.9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

*n.d. = no disponible

En ambos núcleos las principales especies en la fracción de las arenas fueron: albita (27.3-61.2%) > plagioclasa (38.4-40.8%) > cristobalita (28.2-30.4%) > cuarzo (25.0-28.4%). Para los limos la distribución fue: cristobalita (33.1-37.4%) > cuarzo (20.6-29.9%) > plagioclasas (16.5-23.9%). En el núcleo SE3 el mineral dominante de la fracción de arcillas fue la caolinita (8.6-20.5%) mientras que en el SE4 fue la montmorillonita (8.9-39.7%). La dominancia de estas especies volcánicas y detríticas se relaciona con los procesos de intemperismo que ocurren sobre las rocas de la cuenca del lago Santa Elena y sugiere que una de las principales fuentes de aporte de partículas hacia el lago es la entrada de terrígenos (Griffin *et al.*, 1968; Petschick *et al.*, 1996).

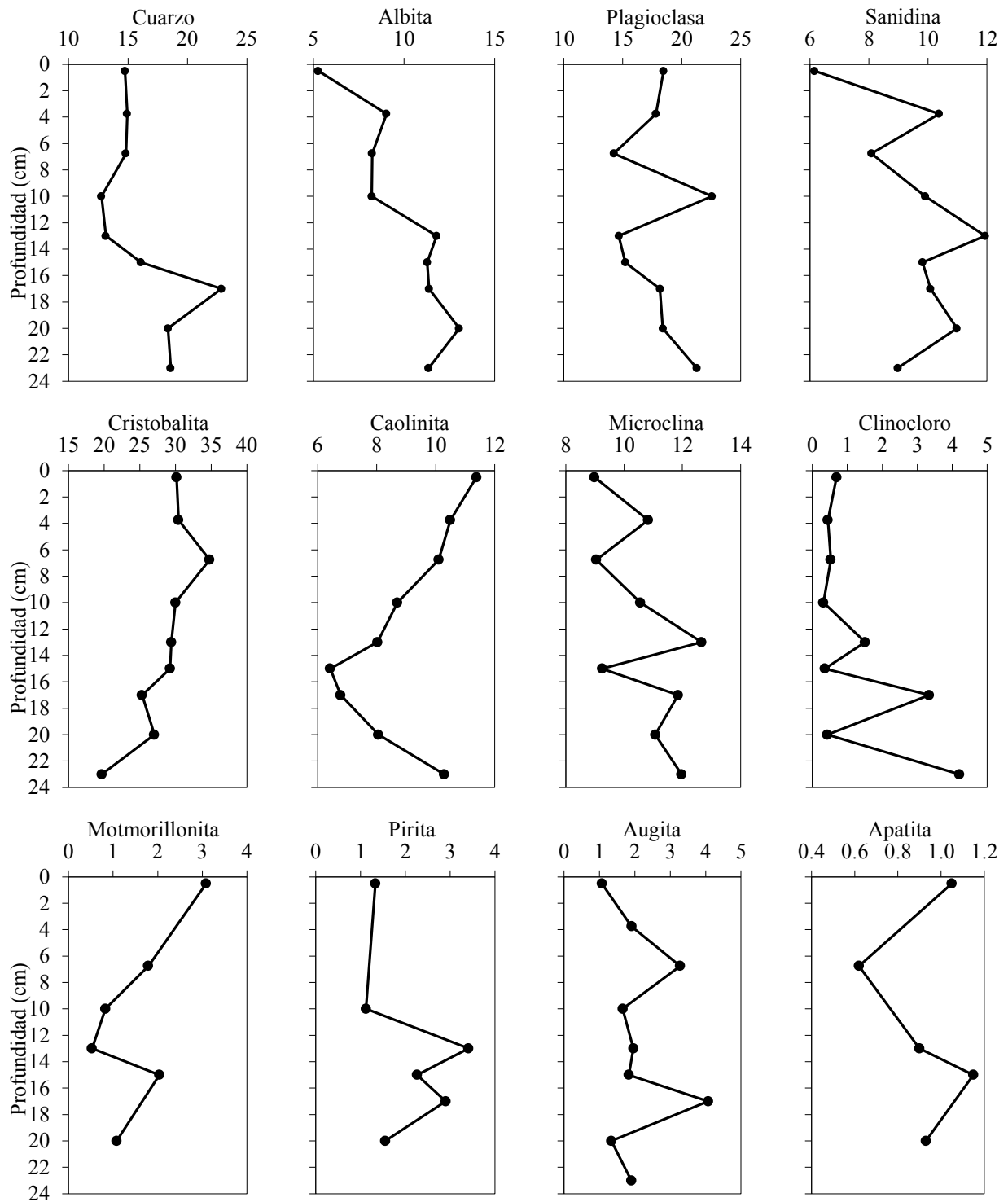


Figura 18. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3.

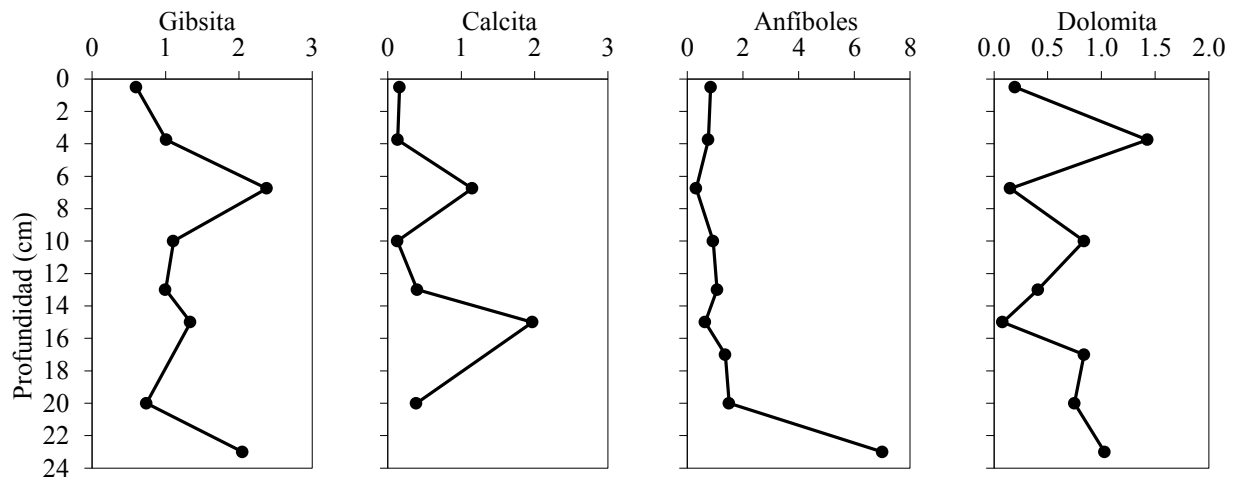


Figura 18. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3 (continuación).

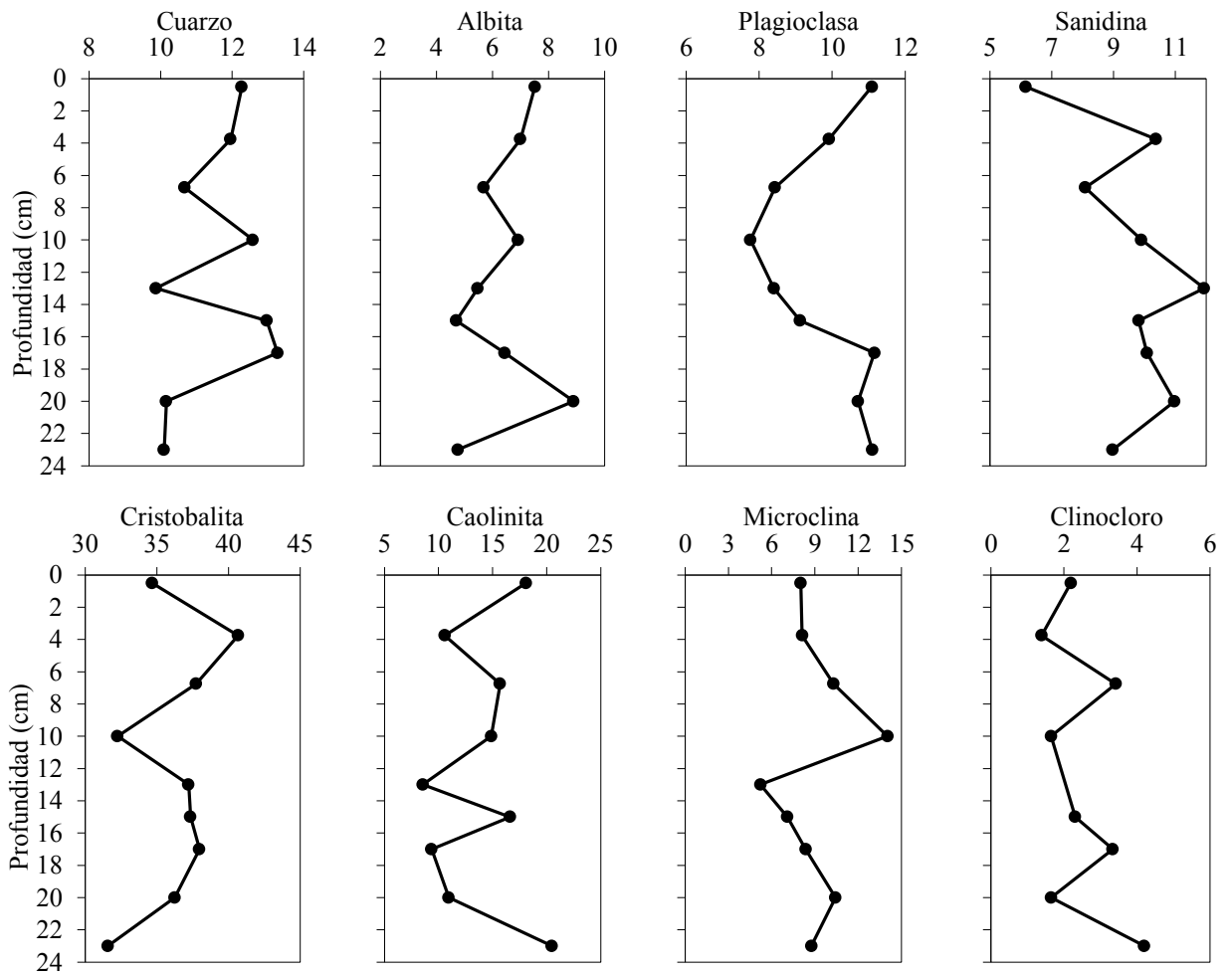


Figura 19. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3.

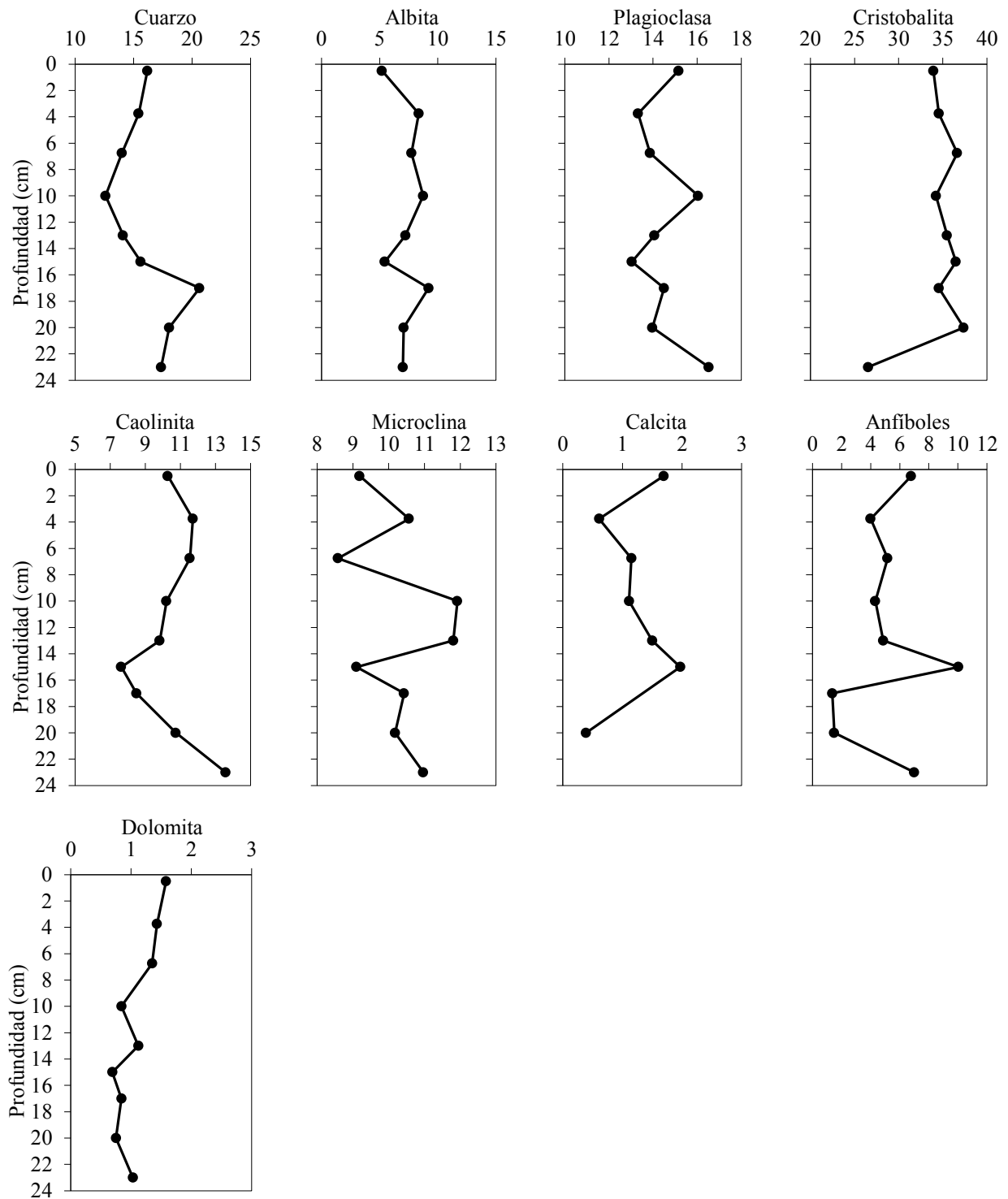


Figura 20. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3.

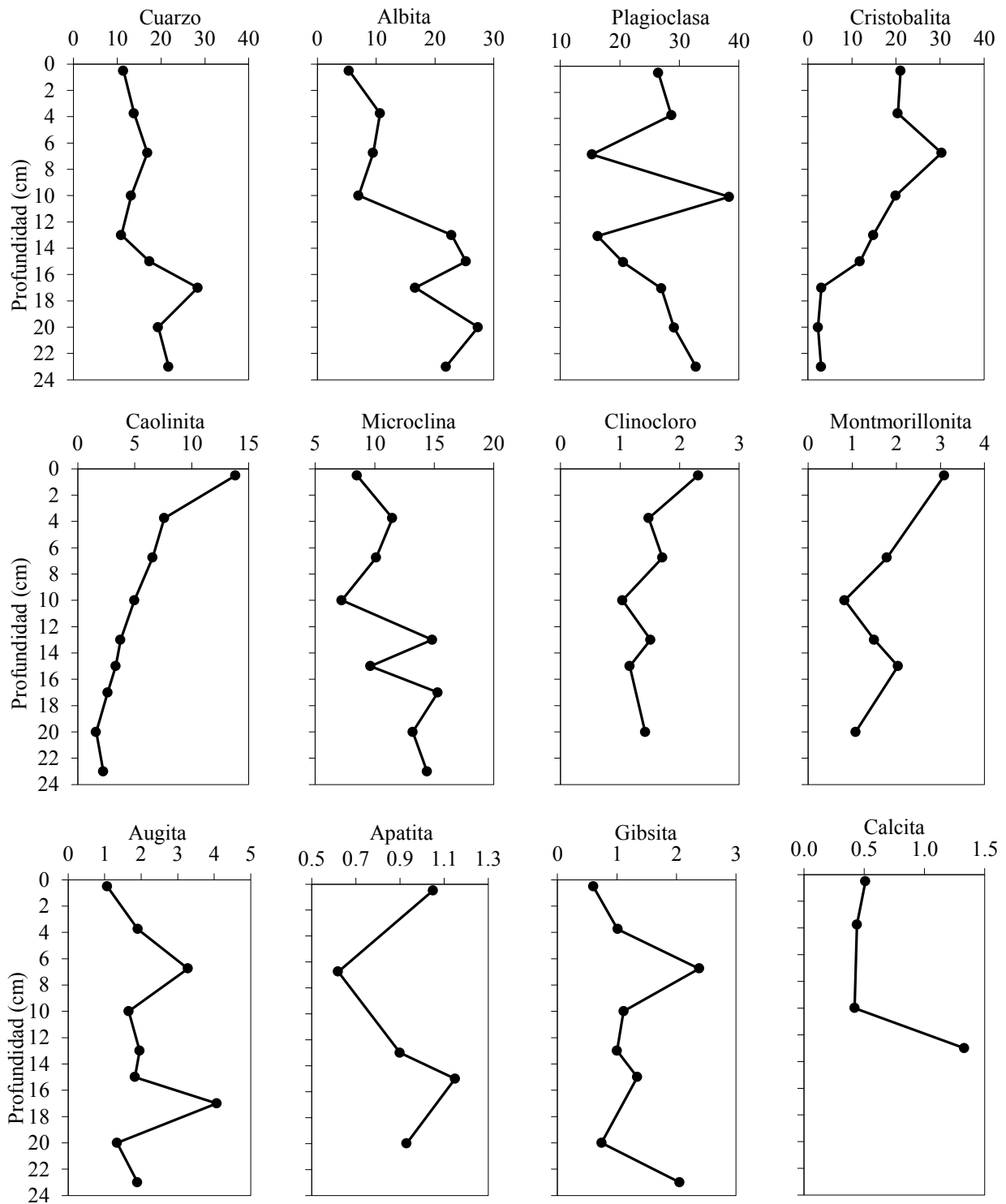


Figura 21. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3.

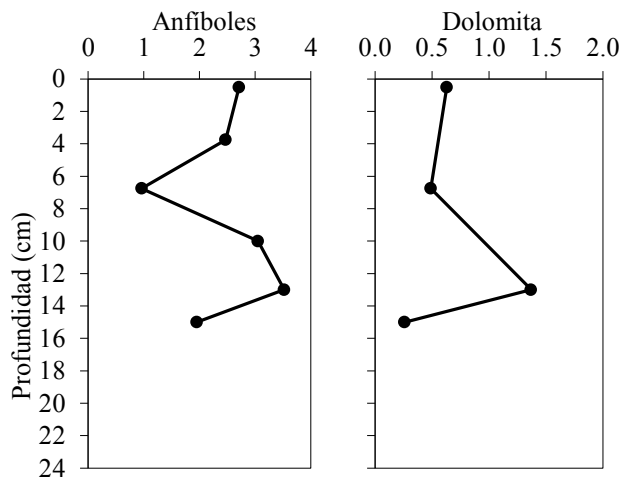


Figura 21. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE3 (continuación).

En general en los sedimentos del SE3 los feldspatos como la albita, plagioclasa y sanidina, así como cristobalita y caolinita muestran distribuciones homogéneas respecto a la profundidad tanto en la muestra total (figura 18) como en los tres tamaños de grano (figuras 19-21). Ahora bien, en la figura 18 se observa que la abundancia de cuarzo y anfíbol disminuye desde las secciones más profundas hacia la superficie de los perfiles. Asimismo en la muestra total y la fracción de limos (figuras 18 y 20) se observa que la calcita y dolomita tienen distribuciones semejantes con concentraciones menores al 3 %, lo cual es común en los sedimentos de lagos de origen volcánico (Pueyo *et al.*, 2011). Por otro lado, la distribución de los minerales cuarzo, albita y caolinita en la fracción de arcillas (figura 21) indica que los sedimentos del SE3 son inmaduros (sedimentos heterogéneos) producidos a través de la disgregación mecánicamente de las rocas (Grim, 1953). En las siguientes figuras se presentan los perfiles de la mineralogía realizada en el núcleo SE4.

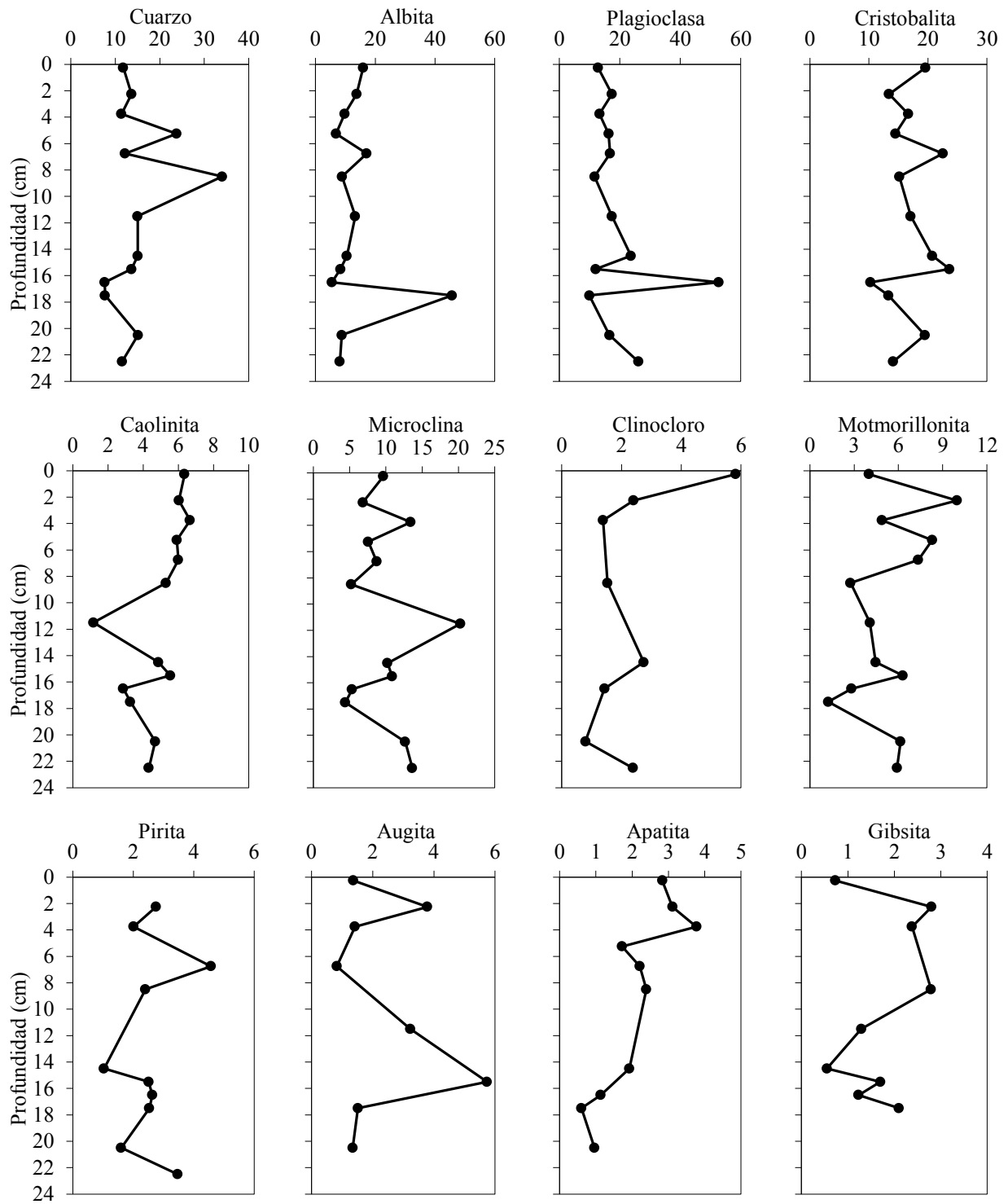


Figura 22. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4.

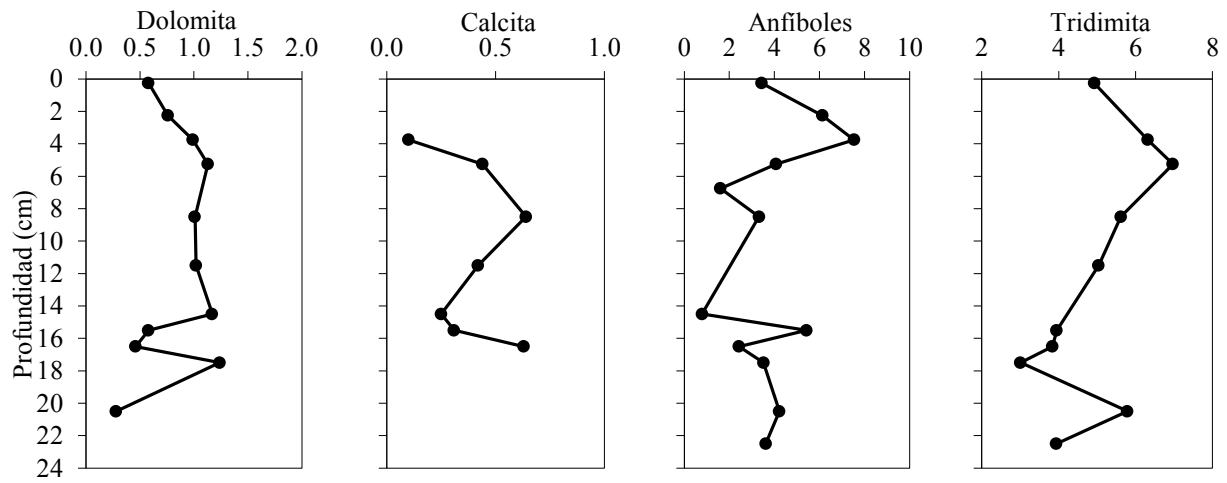


Figura 22. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4 (continuación).

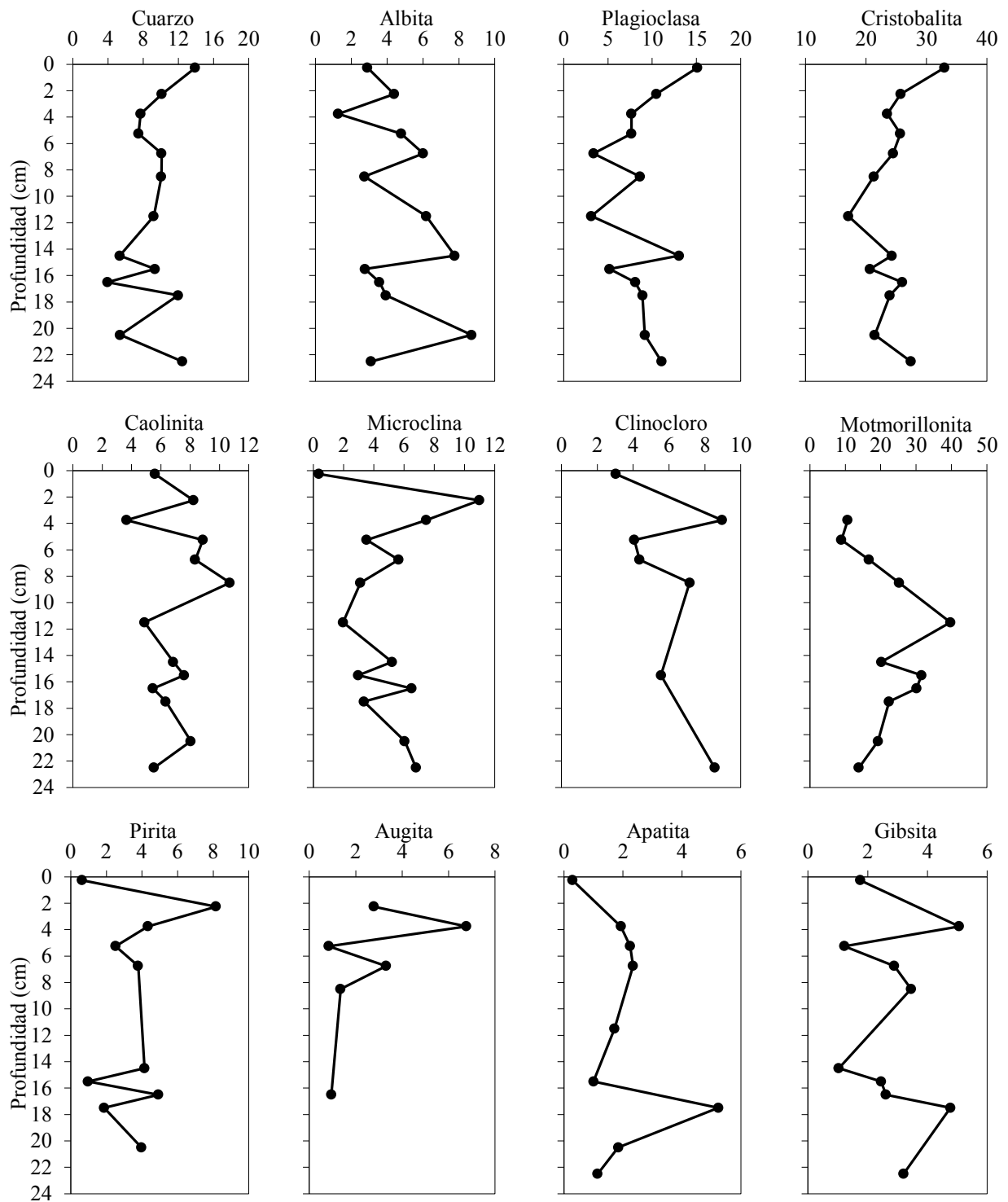


Figura 23. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4.

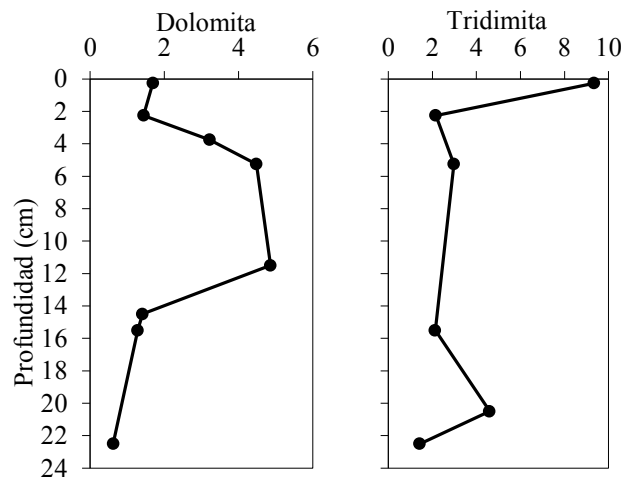


Figura 23. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4 (continuación).

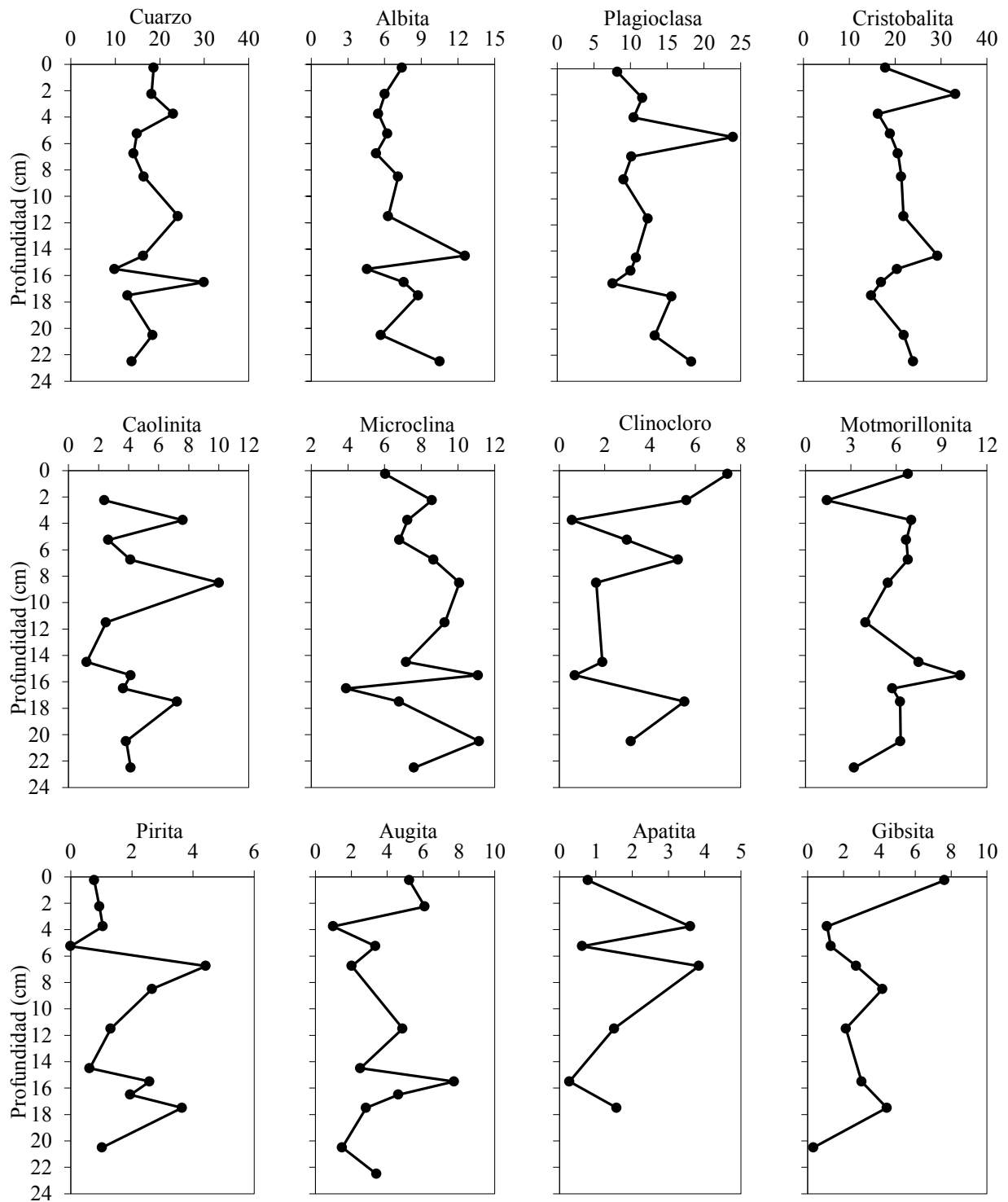


Figura 24. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4.

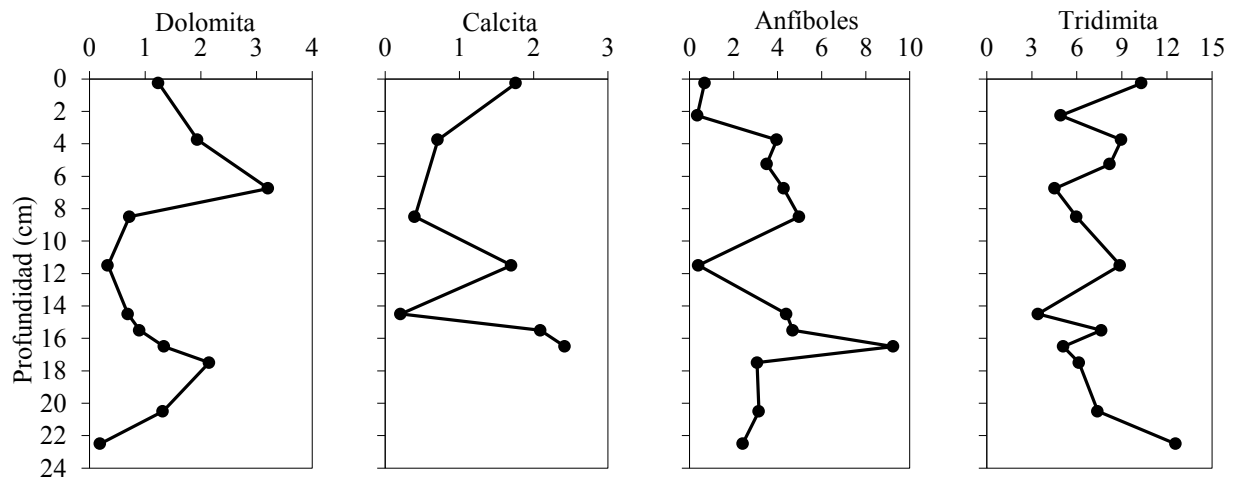


Figura 24. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4 (continuación).

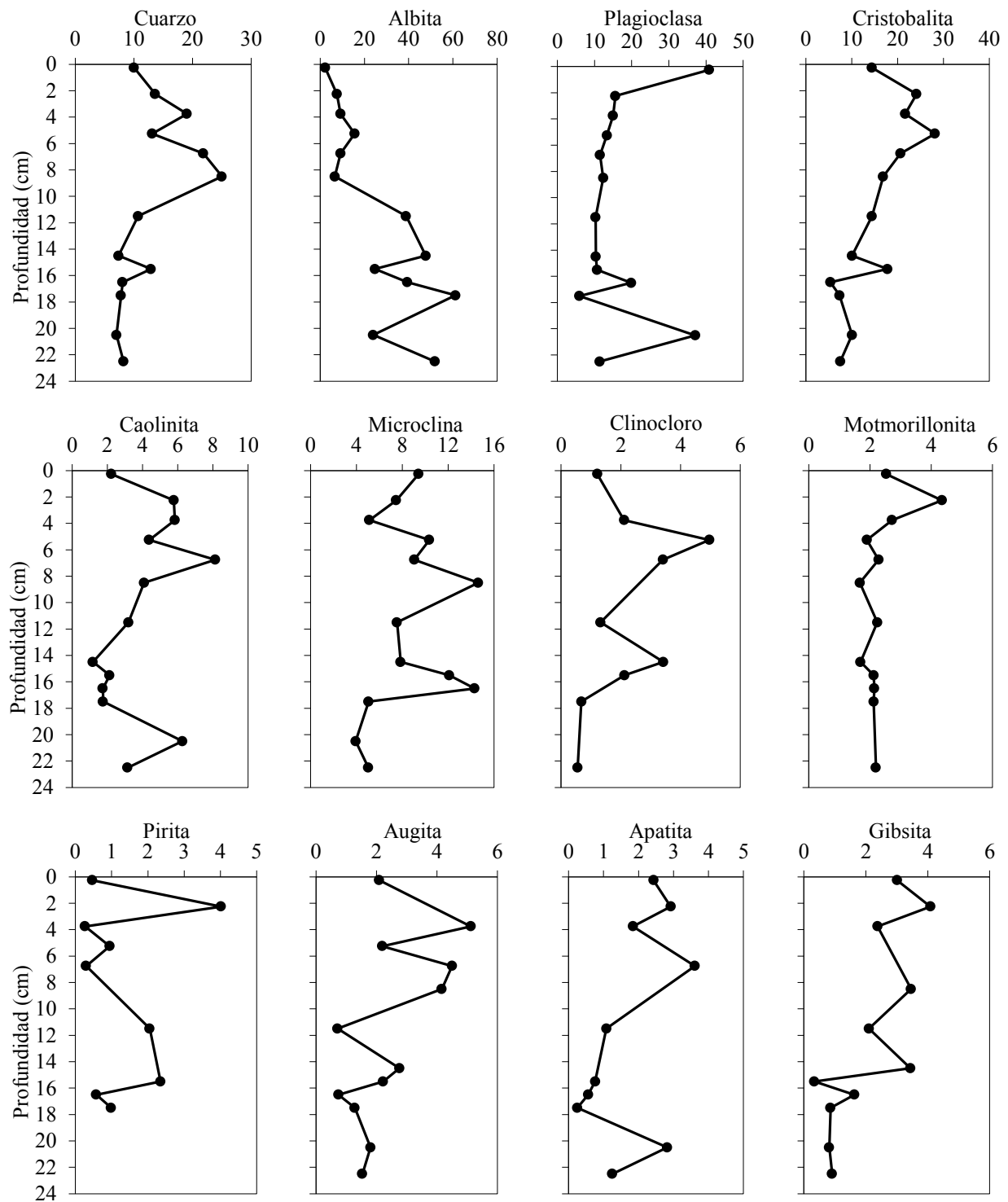


Figura 25. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4.

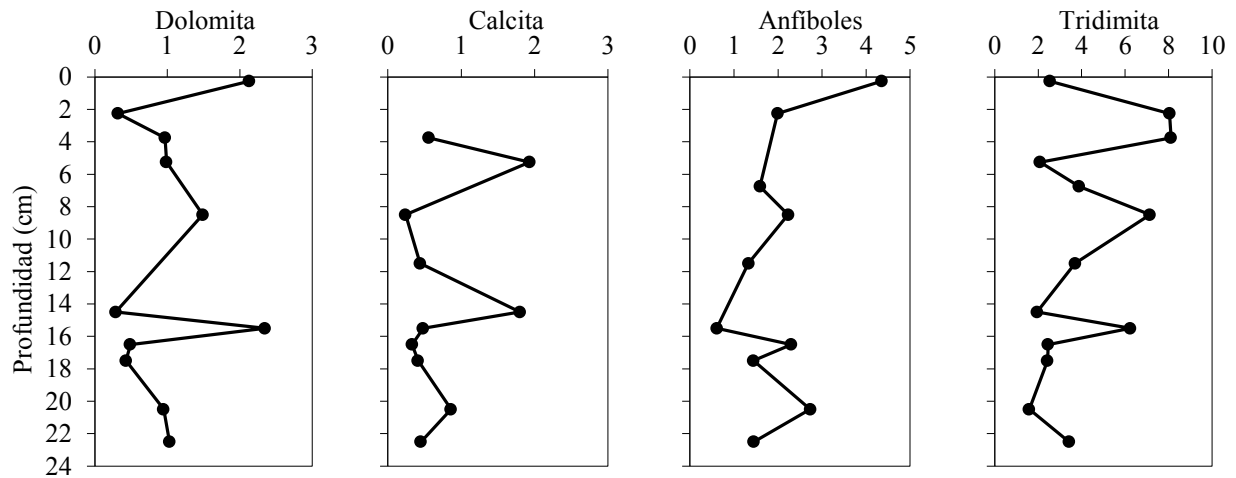


Figura 25. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento SE4 (continuación).

En los perfiles de muestra total de la figura 22 se observan dos máximos (>50%) por debajo de los 15 cm de profundidad para las especies albita y plagioclasa. Esta distribución se repite en la fracción de limos para el anfíbol (figura 24). Aunque en los depósitos sedimentarios es habitual el origen diagenético de la albita (Surdam y Eugster, 1976; Bjorlykke *et al.*, 1995) la correspondencia entre los máximos de éste mineral con los del anfíbol y la plagioclasa sugiere la entrada de material enriquecido con tobas volcánicas (Klein y Hurlbut, 2003). Ahora bien, en los tres tamaños de grano se observan máximos de concentración por debajo de las superficies de algunos perfiles. Por ejemplo, en la fracción de arcillas (figura 23) se observa éste máximo en la microclina, clinocloro, pirita y gibsita. En la fracción de limos (figura 24) únicamente se observa en la cristobalita, mientras que en la fracción de arenas (figura 25) lo presenta la montmorillonita, pirita y tridimita. Estos máximos representan dos orígenes distintos: 1) los minerales pirita, gibsita y augita provienen de procesos autigénicos (Grim, 1953) y 2) microclina, clinocloro, cristobalita y montmorillonita son consideradas especies detríticas, las cuales pueden ingresar al lago través de los escurrimientos que corren en la cuenca de drenaje del Santa Elena (Parrington *et al.*, 1983; Dekov *et al.*, 2008).

10.2. Lago Chapala: caracterización del material sedimentario

En los anexos 20 al 23 se presentan los resultados de humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para los núcleos de sedimento C1, C2, C3 y C4 del lago Chapala.

10.2.1. Tamaño de grano

De acuerdo con el análisis de tamaño de grano los núcleos recolectados en el lago Chapala se componen en su mayoría por partículas del tamaño de los limos (43.9-94.7 % en C1; 34.9-93.7 % en C2; 48.6-94.6 % en C3; 45.8-87.8 % en C4). En los cuatro núcleos de sedimento se presentan niveles máximos comparables en el contenidos de arenas (<58 %) (anexos 24-27); sin embargo, en la figura 26 se observa que existe una clara tendencia hacia la disminución de la abundancia de arenas desde el núcleo C1, ubicado en la zona noroeste del lago, hasta el núcleo C4 localizado cerca de la desembocadura del río Lerma. Esta disminución de la fracción arenosa podría estar relacionada con la dinámica de la masa de agua dentro del lago, ya que la topografía y la dirección del viento predominante (este-oeste, 10 km h^{-1}) genera vórtices y una mayor circulación al centro del lago y en la desembocadura del río Lerma (León y Escalante, 1993; Filonov *et al.*, 1998).

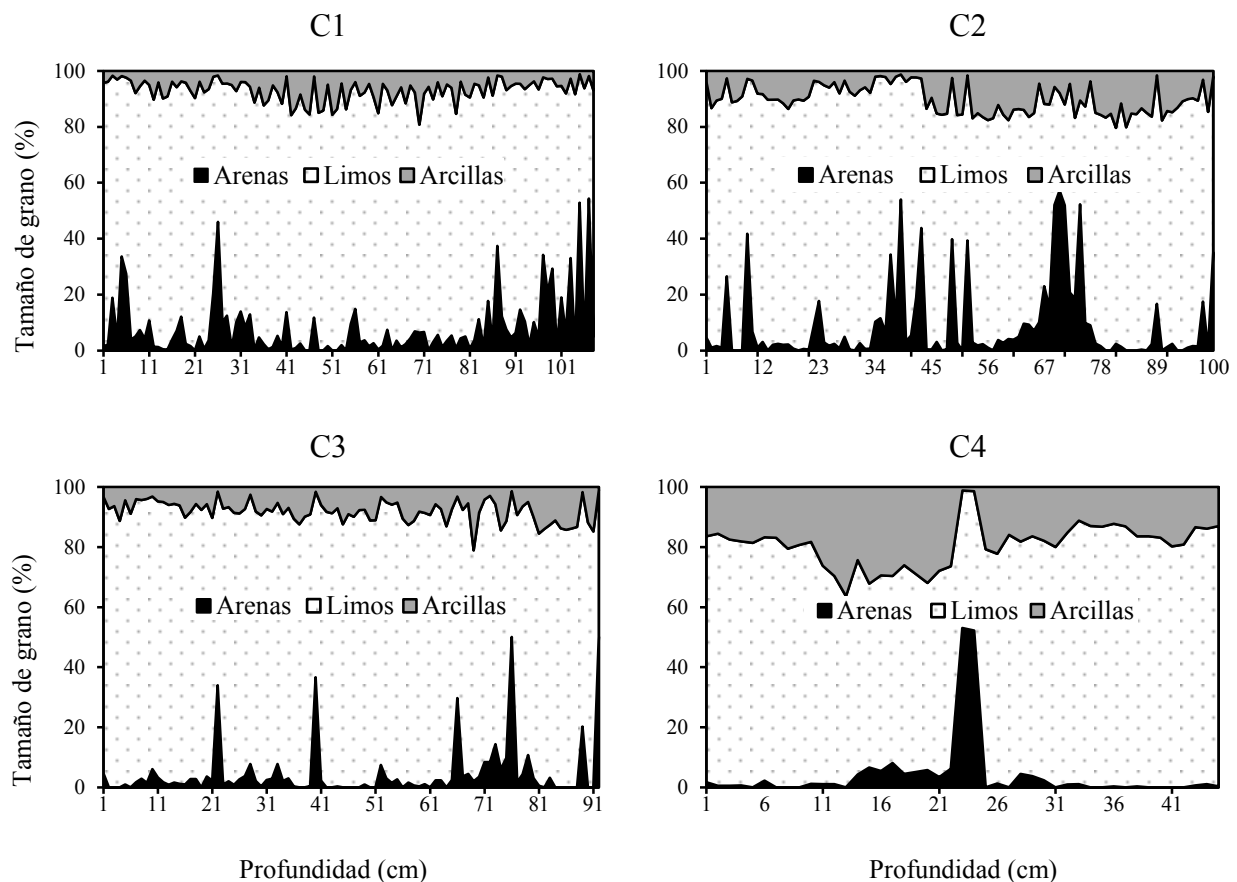


Figura 26. Perfiles de tamaño de grano de los núcleos de sedimento recolectados en el lago Chapala.

10.2.2. Susceptibilidad magnética

Los perfiles de SM (k) de los núcleos de sedimento C1 ($1.6-10.6 \times 10^5$ SI), C2 ($2.2-25.0 \times 10^5$ SI), C3 ($1.5-15.5 \times 10^5$ SI) y C4 ($1.6-2.7 \times 10^5$ SI) se muestran en la figura 27. Asimismo en el anexo 28 se encuentran los valores de SM medidos en cada una de las secciones de estos núcleos. En la Figura 20 se observa que los perfiles de SM de los cuatro núcleos recolectados coinciden. En C1, C2 y C3, que son los núcleos más largos, se observa que los valores de SM aumentan ligeramente desde el fondo de los perfiles hasta coincidir en una sección de valores máximos, ubicada entre los 67 y 75 cm de profundidad. En seguida la señal de SM disminuye hacia las superficies a valores semejantes a los de los fondos. Este máximo en los niveles de SM fue observado con anterioridad por Michaud *et al.* (2006), quienes los atribuyeron al depósito de cenizas volcánicas procedentes del volcán de Colima. Sin embargo, independientemente del origen del máximo observado en los tres perfiles de SM, este rasgo indica la uniformidad de los registros sedimentarios en la zona de recolección de los núcleos dentro del lago Chapala.

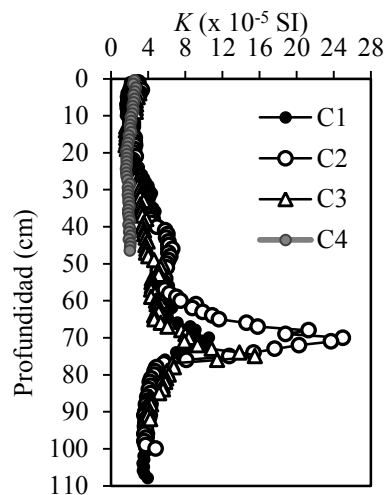


Figura 27. Perfiles de susceptibilidad magnética de los núcleos de sedimento recolectados en lago Chapala.

10.2.3. Carbono orgánico

En los núcleos de sedimento del lago Chapala los intervalos de concentración de C_{org} fueron similares ($0.2-3.1$ % en C1; $0.1-2.8$ % en C2; $0.9-2.7$ en C3; $0.6-2.9$ en C4). En la figura 28 se presentan los cuatro perfiles de C_{org} , los cuales muestran tendencias parecidas, en donde las concentraciones más altas se ubican sobre los primeros 20 cm de los perfiles y después disminuyen. No obstante solo los núcleos C1 y C3 tienen un valor de r significativo (≥ 0.7 ; $P \leq 0.05$) respecto a la profundidad.

De acuerdo con la tabla 2 las concentraciones de C_{org} determinadas en este estudio son semejantes a las reportadas por Rosales-Hoz *et al.* (2000) para el mismo lago (1.1-4.4 % C_{org}), así como a los valores encontrados en el lago San Felipe en Sonora (Roy *et al.*, 2010) y al de los lagos volcánicos Quechulac, Atexcac y Aljojuca en Puebla (Peralta *et al.*, 2002). Asimismo las concentraciones de C_{org} en Chapala son comparables a los valores publicados por otros autores para lagos con desarrollo urbano y campos agrícolas como el Mulwala en Australia (Balwin y Howitt, 2007), Messolonghi en Grecia (Karageorgis *et al.*, 2012) y Edku y Mariut en Egipto (Khalil *et al.*, 2013).

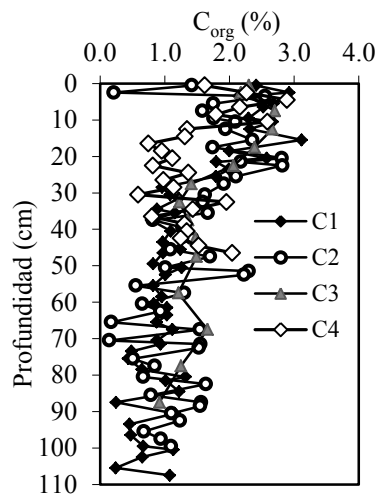


Figura 28. Perfiles de carbono orgánico (C_{org}) de los núcleos de sedimento del lago Chapala.

10.2.4. Carbonatos

El contenido de carbonatos se determinó en los núcleos C1 (1.4-18.8 %), C2 (5.6-12.4 %) y C4 (1.8-9.6 %). En la figura 29 se muestran los perfiles de carbonatos de los núcleos de sedimento, de los cuales C1 y C2 presentan tendencias similares con concentraciones mínimas hacia la base de los núcleos y máximos cerca de la superficie. Por otro lado el núcleo C4 mostró concentraciones de carbonatos más bajas en relación a C1 y C2, así como un perfil que varía poco con la profundidad. Las concentraciones de carbonatos determinadas en el lago Chapala son comparables a los valores reportados por Peralta *et al.* (2002) para una serie de lagos volcánicos en Puebla, así como los publicados por Ruiz-Fernández *et al.* (2004) y Roy *et al.* (2010) para los lagos Espejo de los Lirios y San Felipe, respectivamente (tabla 2). Asimismo, otros investigadores (Anderson *et al.*, 2011; Oçakoğlu *et al.* 2013) han reportado concentraciones similares en otras partes de mundo (tabla 2).

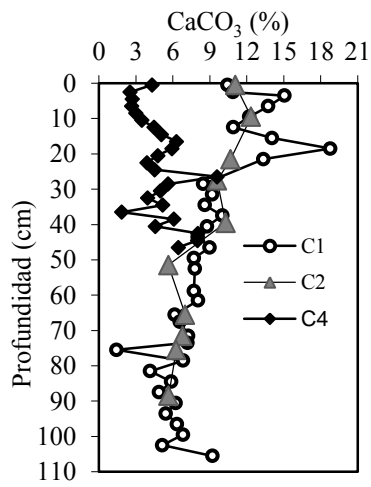


Figura 29. Perfiles de carbonatos (CaCO₃) de los núcleos de sedimento del lago Chapala.

10.2.5. Mineralogía

Los intervalos de concentración (%) de los minerales observados en los núcleos de sedimento C2 y C3 del lago Chapala se presentan en la tabla 4 y la distribución porcentual de los minerales observados respecto a la profundidad se encuentran en las figuras 30 a 37 (anexos 31 a 38).

Tabla 4. Composición mineral (%) en muestra total, así como en las fracciones de arcilla, limo y arenas de los núcleos sedimentarios C2 y C3 del lago Chapala.

Mineral	C2 Abundancia (%)				C3 Abundancia (%)			
	Arcillas	Limos	Arena	Total	Arcillas	Limos	Arena	Total
Cuarzo	0.2-6.6	1.0-9.4	0.3-15.6	0.5-7.8	0.4-7.8	3.8-12.1	1.8-13.5	2.9-10.7
Albita	0.4-7.2	1.6-34.9	1.8-54.2	1.1-54.5	2.0-12.6	3.3-28.7	2.7-41.4	4.6-26.5
Plagioclasa	1.2-11.0	4.8-24.6	2.2-71.3	1.4-55.6	n.d.	8.8-28.2	6.0-33.7	5.7-23.0
Cristobalita	2.0-22.0	0.8-52.1	1.0-28.2	3.2-17.8	4.7-24.8	17.8-33.3	2.3-28.0	8.0-26.3
Caolinita	2.9-14.1	2.0-18.1	0.4-12.8	0.6-19.3	13.5-44.2	7.8-25.5	2.7-27.4	10.5-29.0
Microclina	0.5-7.4	0.5-9.9	0.8-13.1	0.4-7.9	n.d.	2.6-8.6	1.7-12.2	1.8-9.1
Clinocloro	0.5-4.6	0.5-5.3	0.1-36.0	0.1-5.5	0.6-8.8	0.7-5.5	0.7-2.9	0.6-3.6
Montmorillonita	24.3-72.5	15.7-51.8	0.4-27.4	1.7-40.3	23.9-75.6	6.7-31.8	0.7-26.6	7.9-35.9
Pirita	0.2-5.3	0.6-6.9	0.4-10.5	0.1-6.8	n.d.	1.0-7.4	0.5-5.9	0.9-5.6
Augita	0.2-5.8	0.3-5.0	0.5-7.8	0.4-5.1	n.d.	n.d.	0.5-6.3	0.5-6.3
Apatita	0.2-6.3	0.3-4.3	0.5-6.3	0.1-4.6	n.d.	n.d.	0.4-6.4	0.4-6.4
Gibsita	0.2-5.4	0.5-5.8	0.3-8.3	0.1-3.9	n.d.	n.d.	0.3-16.6	0.3-4.4
Dolomita	0.1-1.7	0.1-2.4	0.1-15.1	0.1-9.6	n.d.	n.d.	0.3-24.0	0.3-24.0
Calcita	0.5-5.7	0.5-15.6	0.1-24.6	0.1-12.7	n.d.	0.3-8.1	0.3-16.6	0.3-10.6
Anfíboles	0.3-6.5	0.6-7.4	0.4-62.4	0.2-11.9	n.d.	0.8-7.7	0.4-10.1	0.8-6.6
Tridimita	0.4-7.8	n.d.	0.3-19.5	0.2-7.8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

*n.d. = no disponible

Los principales constituyentes de la fracción de arcilla son montmorillonita (72.5-75.6%), caolinita (14.1-44.2%) y cristobalita (22.0-24.8%), mientras que en la fracción de limos son cristobalita (33.3-52.1%), montmorillonita (31.8-51.8%) y albita (28.7-34.9%). Por otro lado, la fracción de arenas del núcleo C2 está integrada principalmente por anfíbol, albita y clinocloro (>35%), mientras que el C3 se compone por albita, plagioclasa y cristobalita (>25%). Los minerales que integran tanto a las fracciones de finos (arcillas y limos) y las arenas son constituyentes habituales de esos tamaños de partícula (p.ej. montmorillonita y caolinita, siendo mayoritarios en arcillas y los minerales detríticos albita y anfíbol integrando a las arenas); además estos ensambles minerales reflejan el conjunto de rocas que forman la

cuenca del lago Chapala, que en general se constituye por rocas sedimentarias, ígneas, metamórficas y volcano-sedimentarias (INE, 2003). A continuación se presentan los perfiles de la mineralogía de los núcleos C2 y C3.

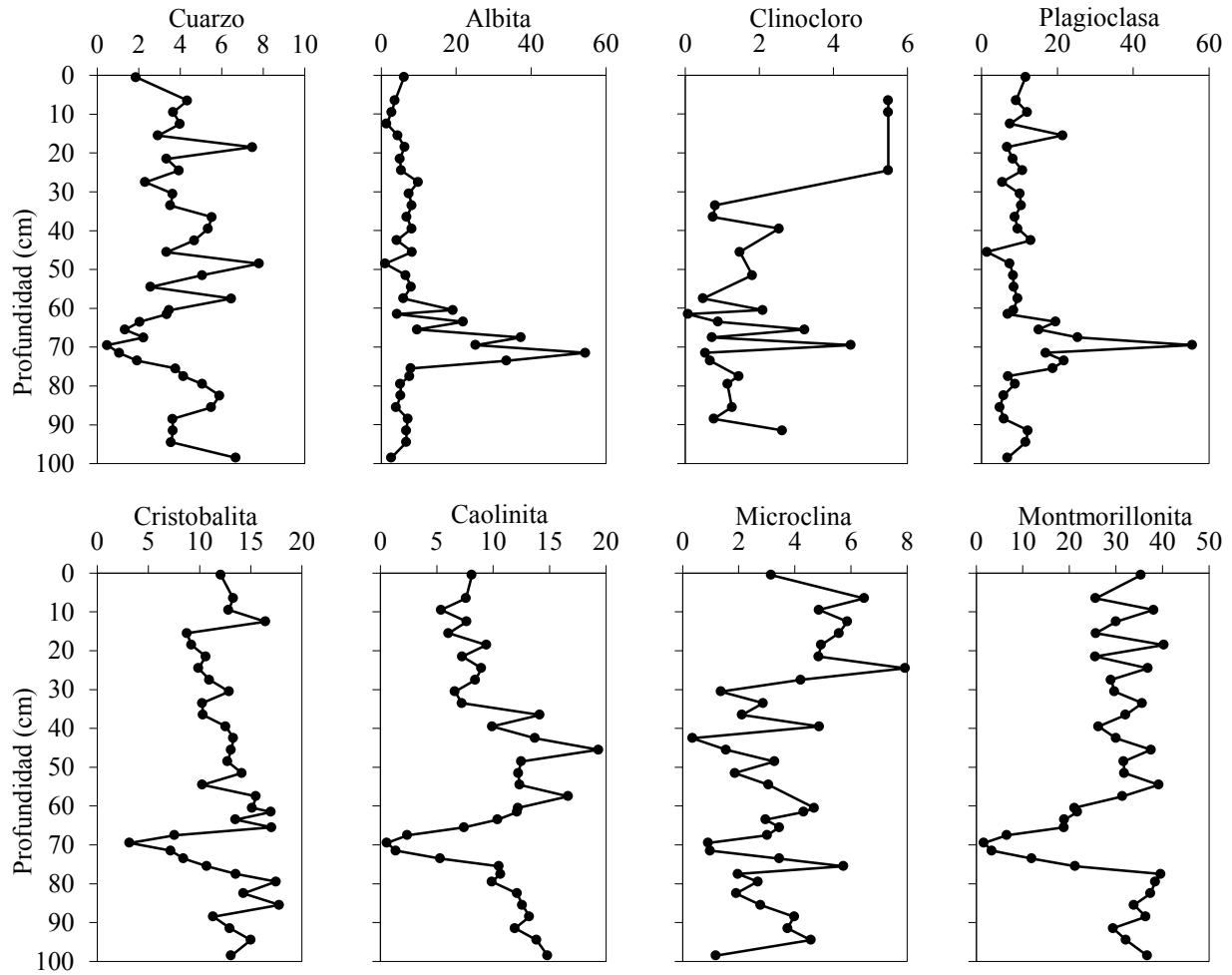


Figura 30. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2.

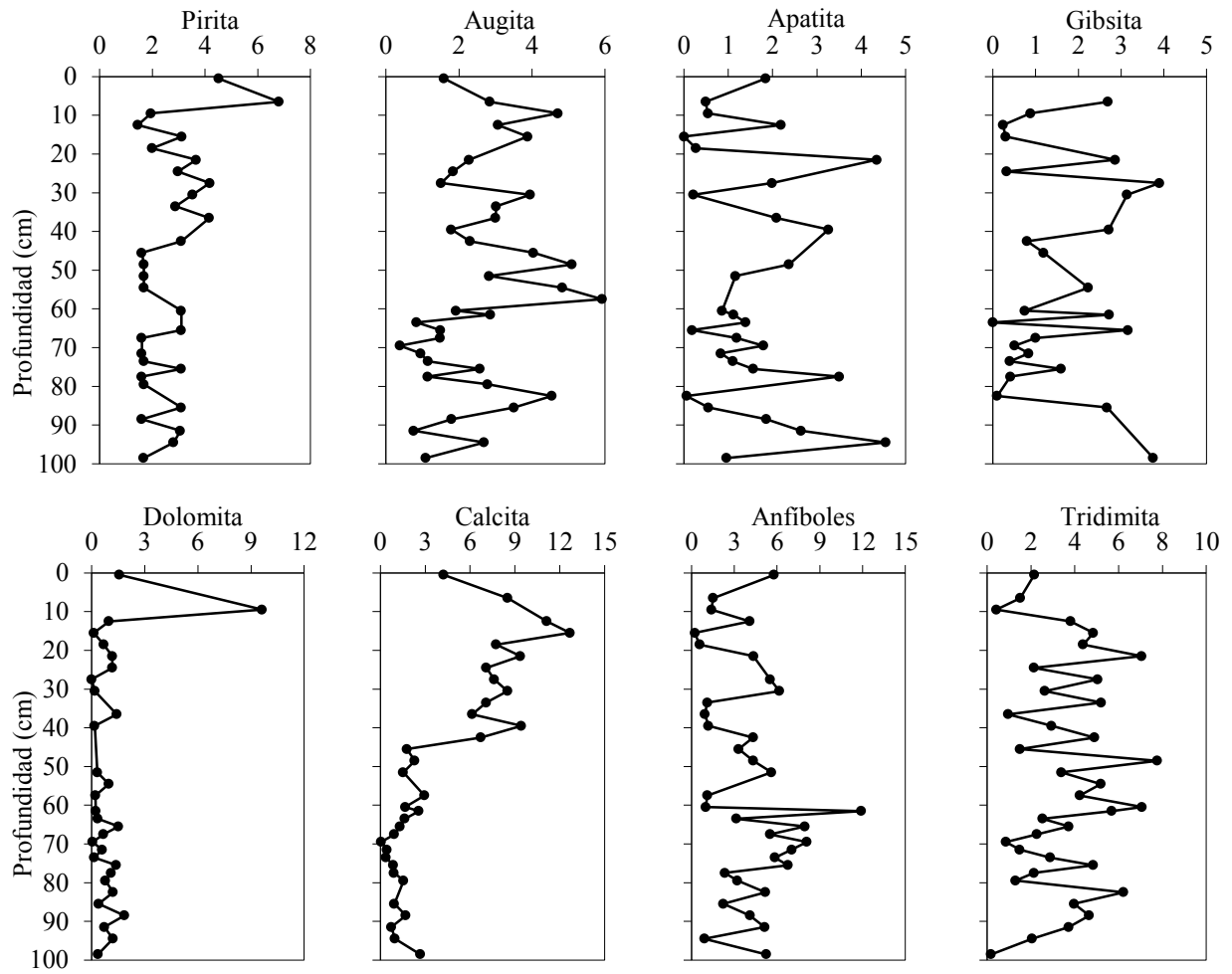


Figura 30. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2 (continuación).

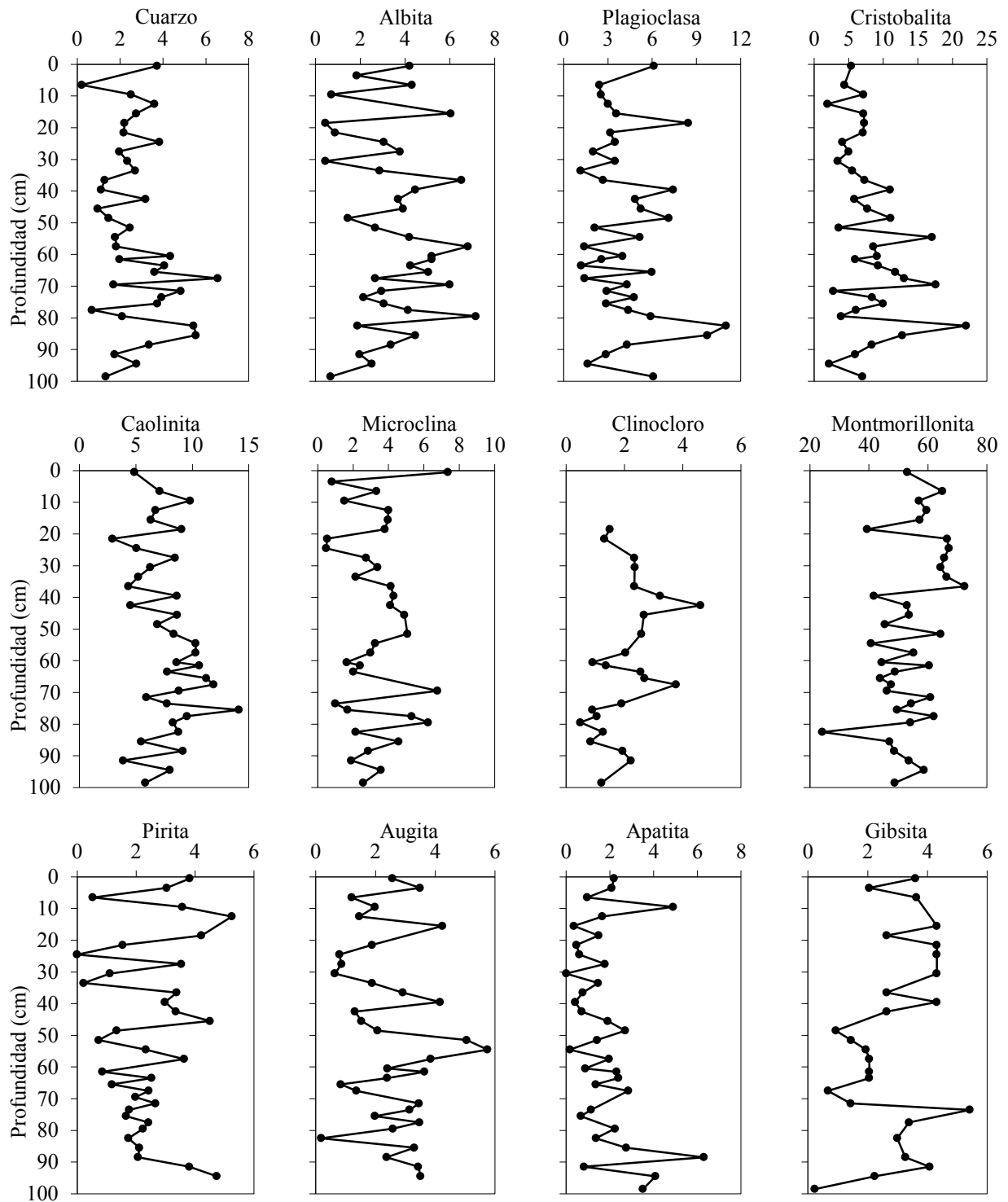


Figura 31. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2.

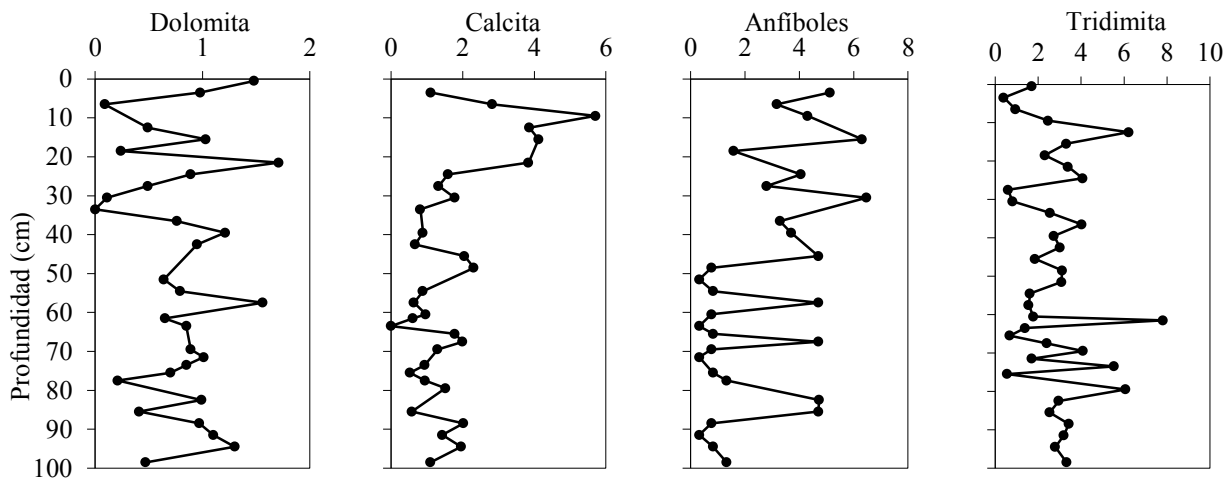


Figura 31. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2 (continuación).

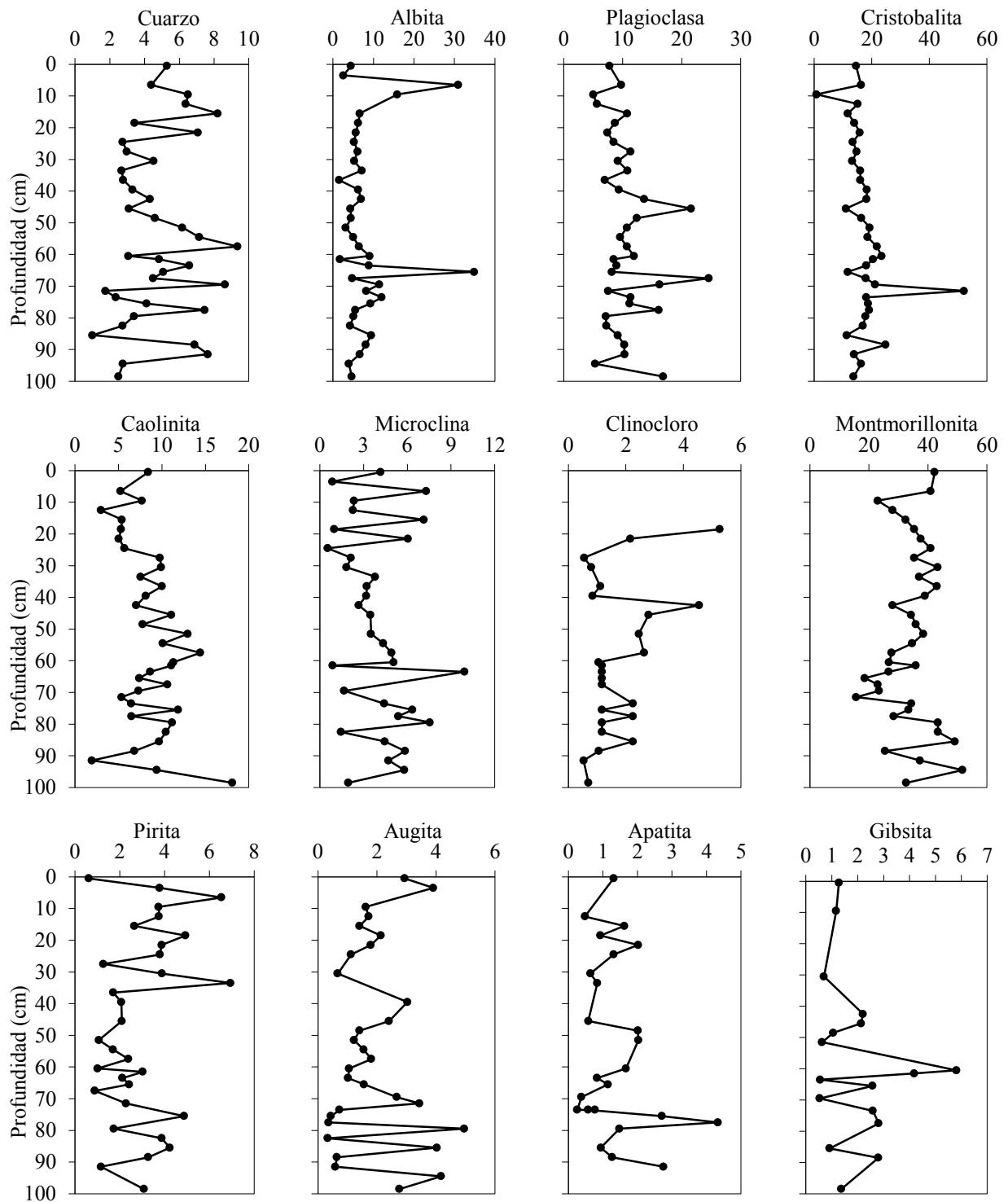


Figura 32. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2.

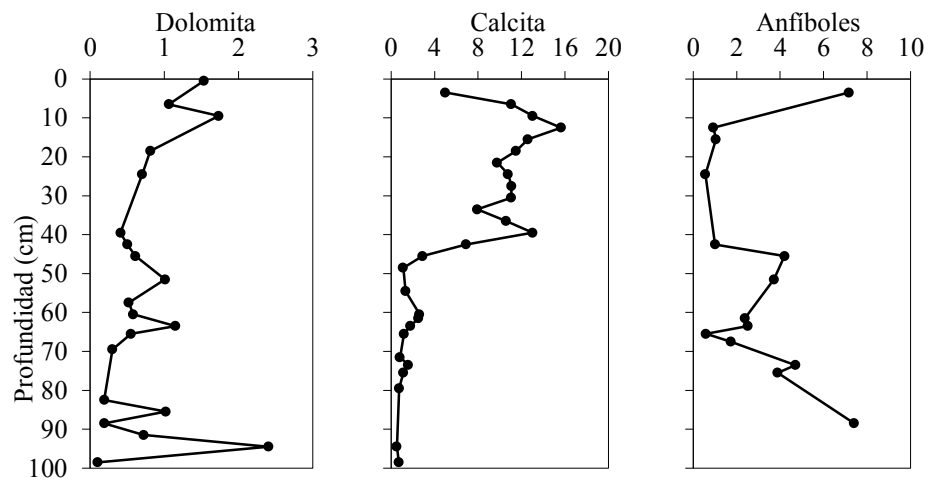


Figura 32. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2 (continuación).

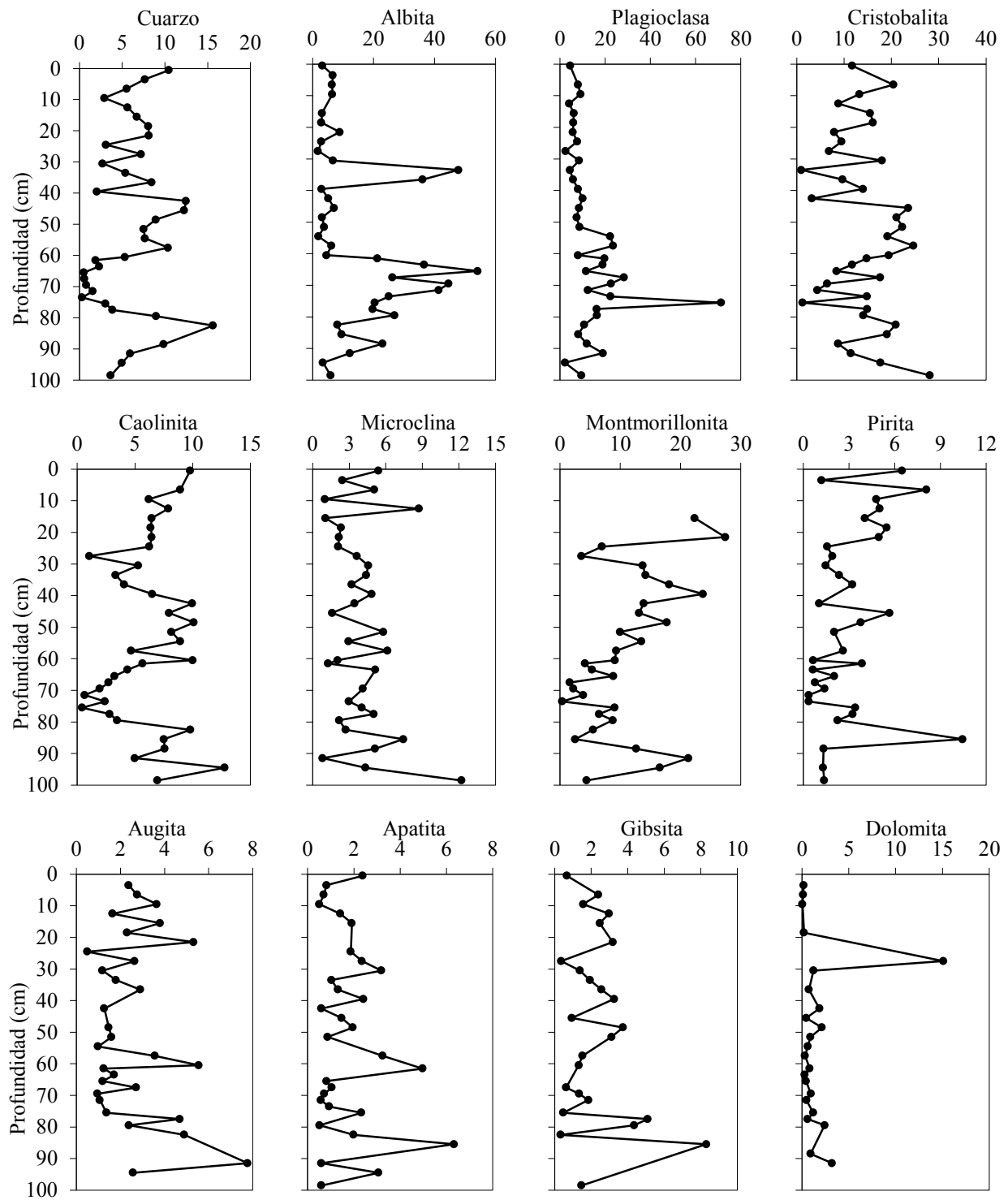


Figura 33. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2.

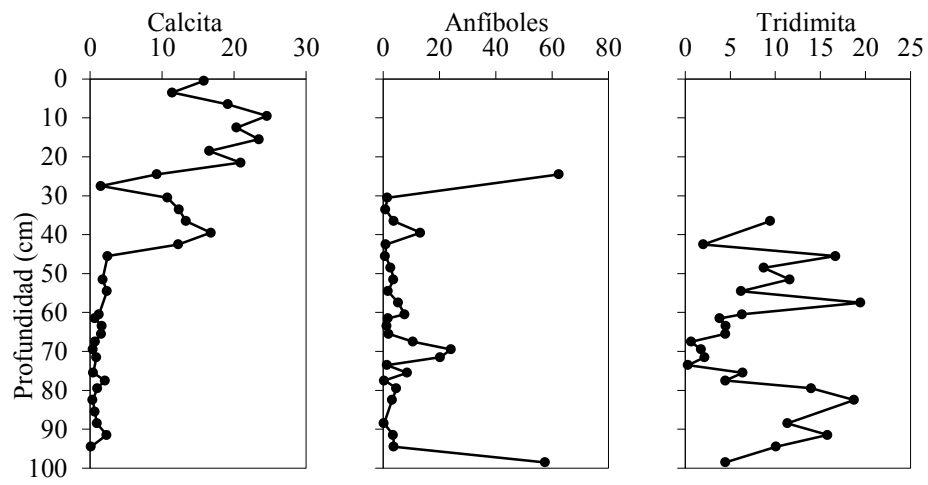


Figura 33. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C2 (continuación).

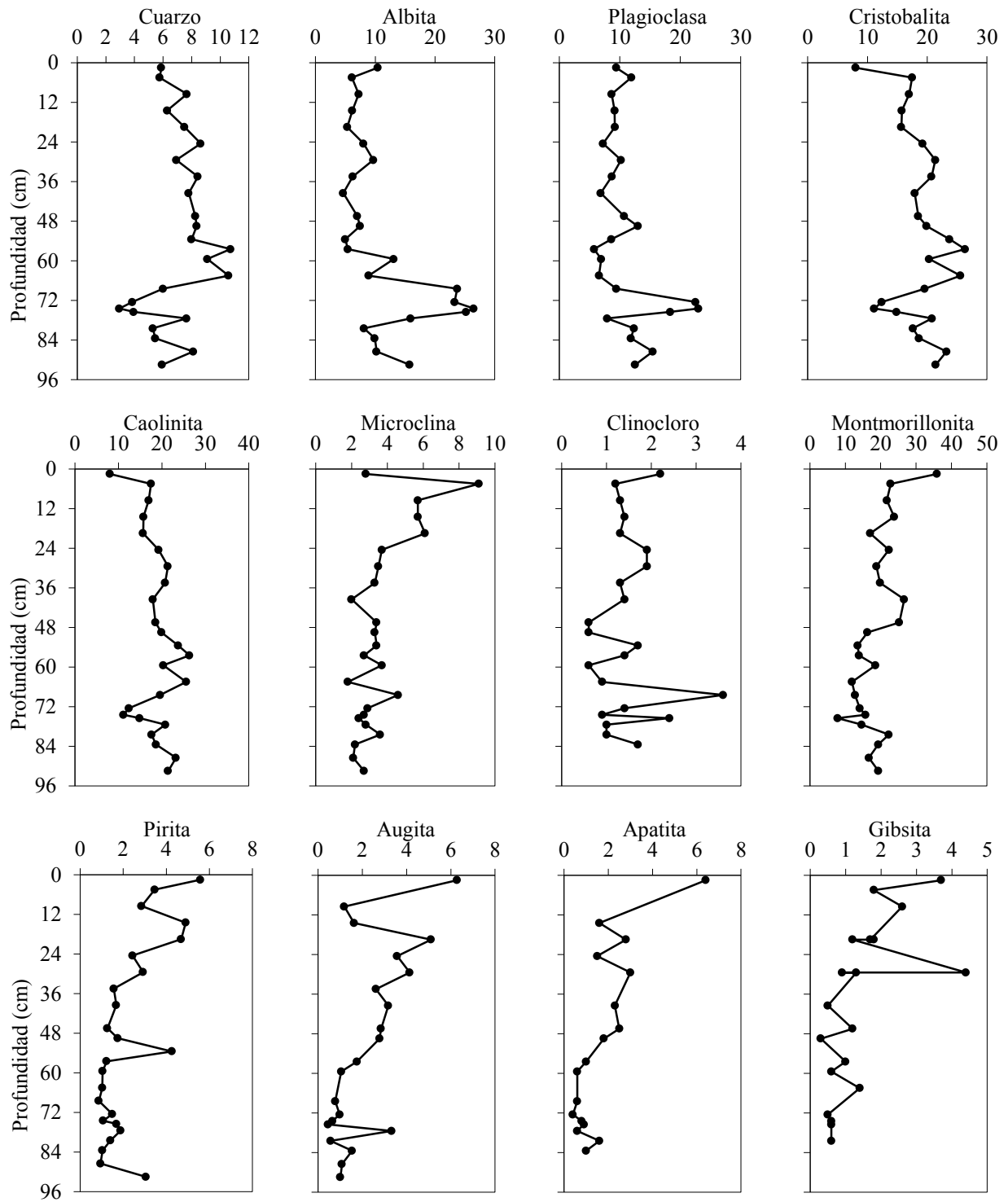


Figura 34. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3.

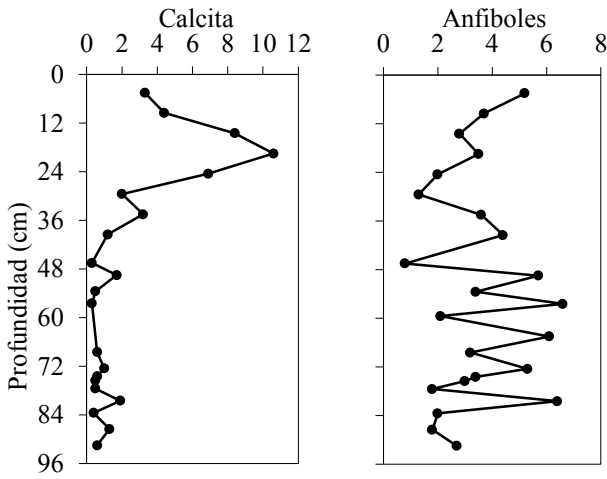


Figura 34. Concentración (%) total de minerales respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3 (continuación).

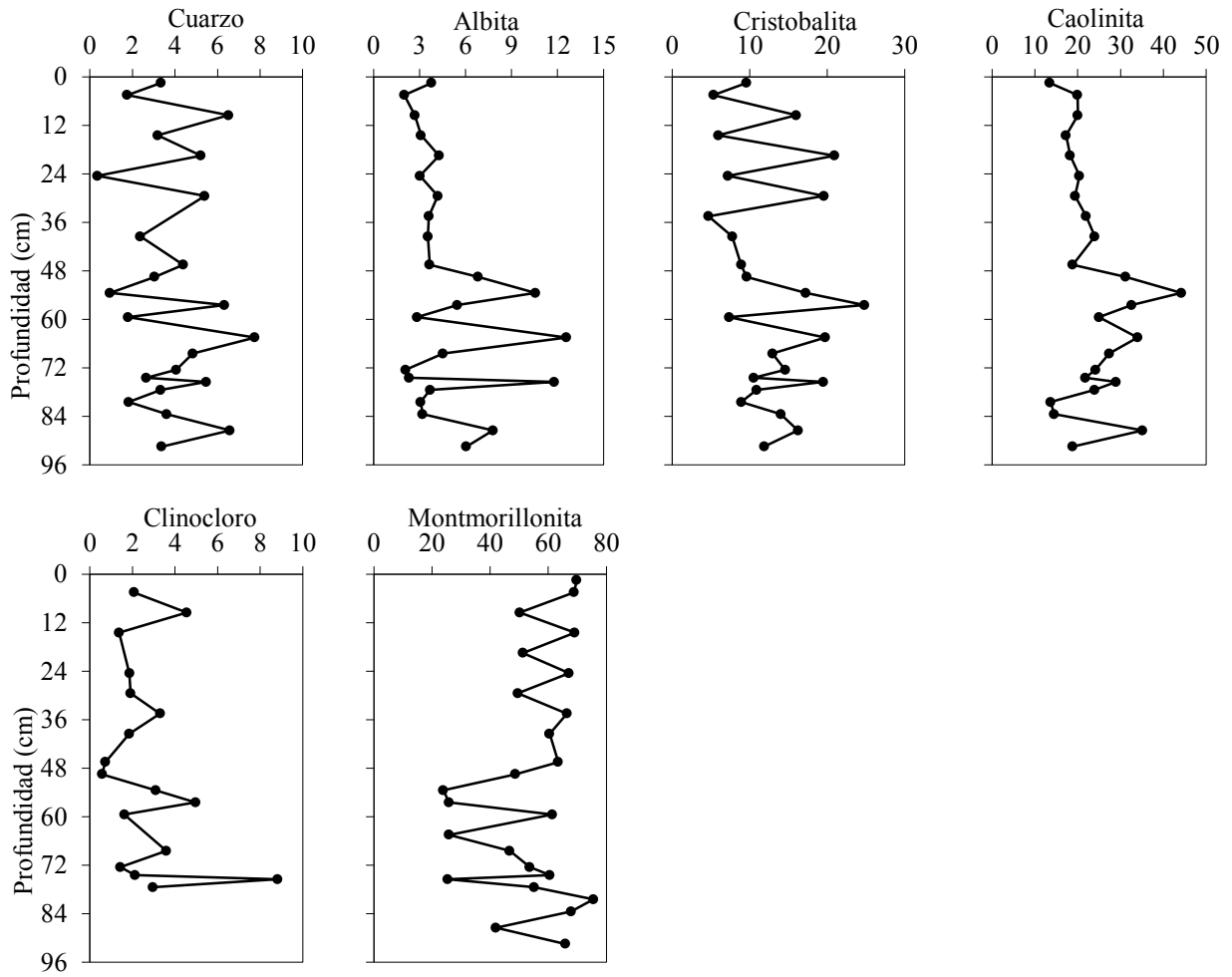


Figura 35. Concentración (%) de minerales en la fracción de arcillas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3.

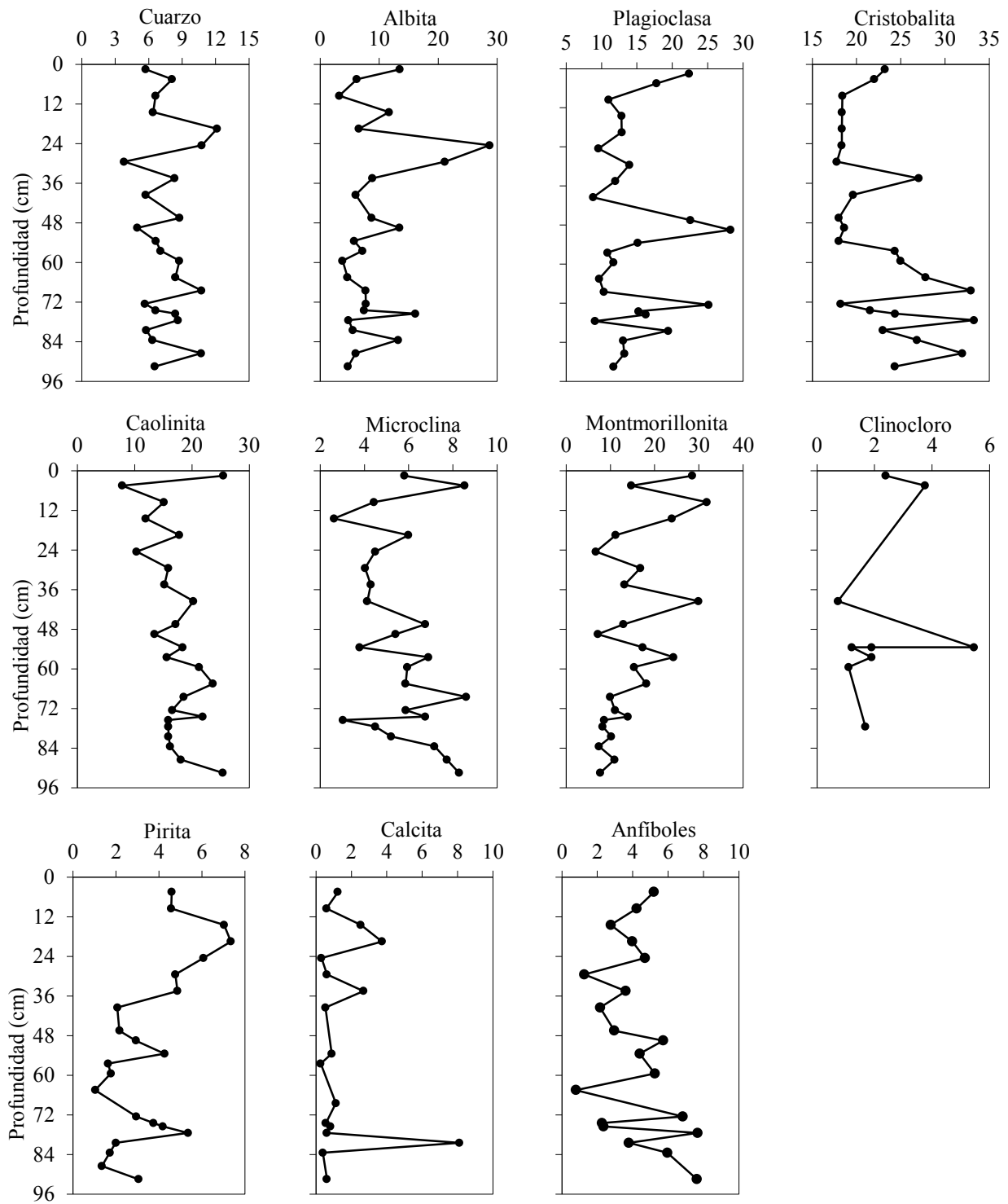


Figura 36. Concentración (%) de minerales en la fracción de limos respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3.

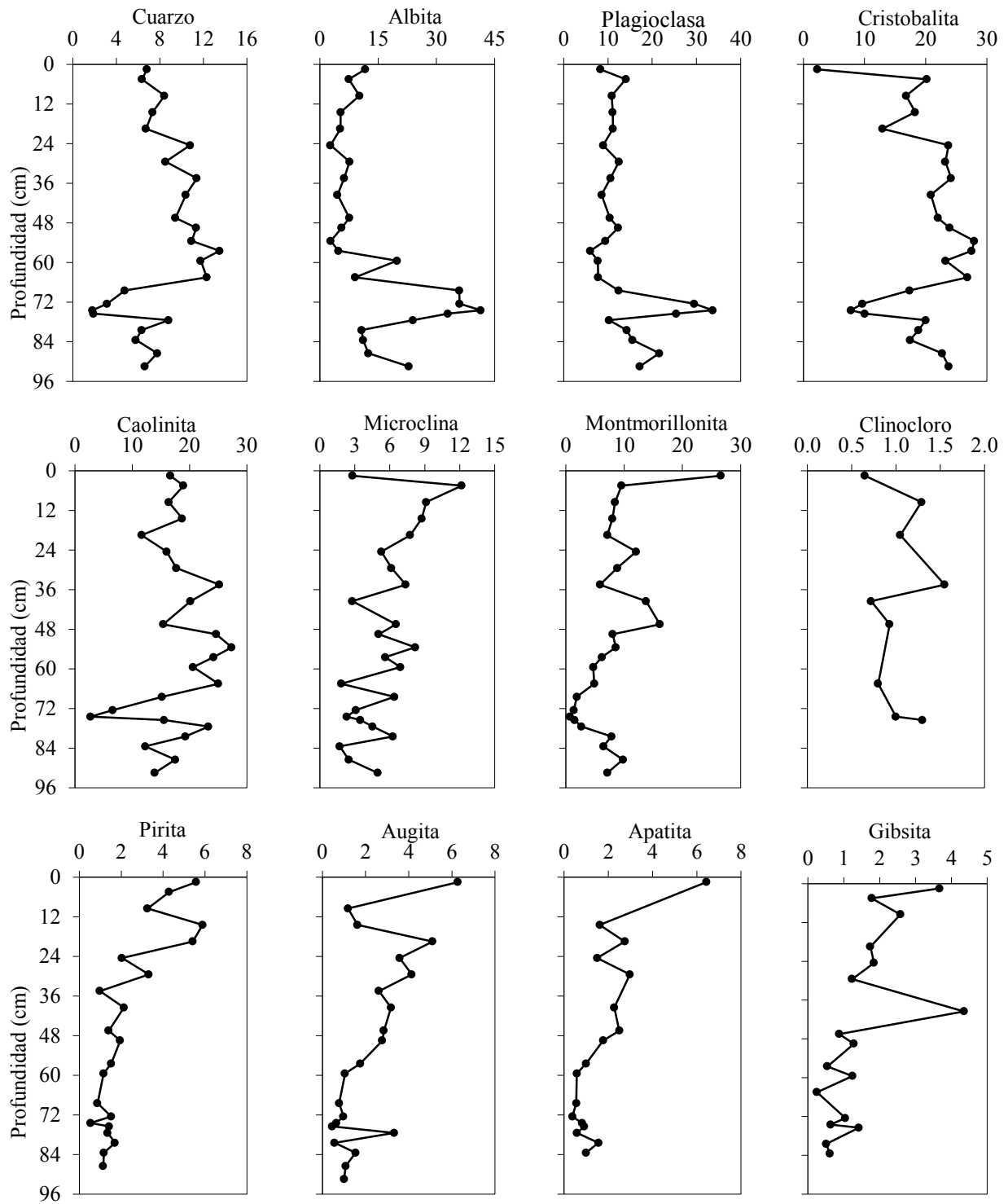


Figura 37. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3.

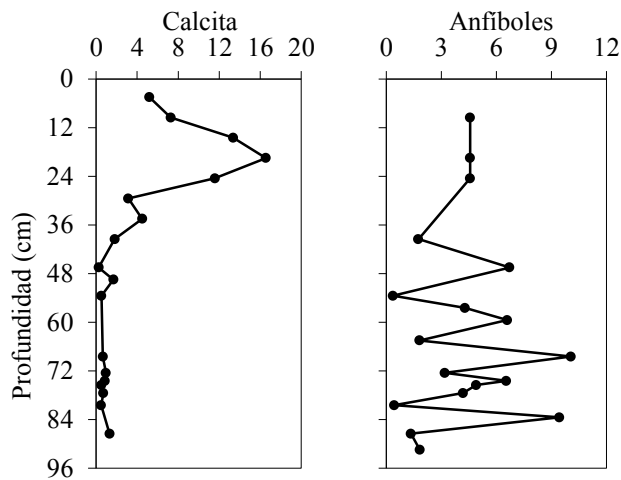


Figura 37. Concentración (%) de minerales en la fracción de arenas respecto a la profundidad en el núcleo de sedimento C3 (continuación).

En algunos de los perfiles de ambos núcleos, entre el intervalo de profundidad de 50 a 80 cm, se presentó una zona de valores máximos y mínimos en las abundancias de minerales. Por ejemplo se identificaron máximos en las muestras totales (figuras 30 y 34) y en las fracciones de arenas (figuras 33 y 37) para albita y plagioclasa; mientras que únicamente el C2 presentó máximos en las arcillas (figuras 31) y en los limos (figuras 32) en los minerales plagioclasa, albita, cristobalita y gibsita. En la sección de susceptibilidad magnética se identificó una zona de valores máximos en los núcleos C1, C2 y C3 en el mismo intervalo de profundidad que se relacionó con la actividad volcánica en la zona. Las concentraciones mínima que se presentaron en éste mismo intervalo de profundidad en ambos núcleos fueron para cuarzo y caolinita. Lo anterior podría estar relacionado, de acuerdo con Rosas-Elguera *et al.* (1997) con el aumento en el depósito de cenizas volcánicas que estaría diluyendo el aporte específico de esos minerales detríticos que se originan de las rocas calco-alcalinas, lavas andesíticas y basaltos monomagnético en el lago.

10.3. Radiocronología

10.3.1. Lago Santa Elena

10.3.1.1. ^{210}Pb total

Los perfiles de actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ (Bq kg^{-1}) respecto a la masa acumulada (g cm^{-2}) para los núcleos recolectados en el lago Santa Elena se muestran la figura 38. Asimismo en los anexos del 39 al 42 se encuentra los valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ medido en las secciones de los núcleos de sedimento.

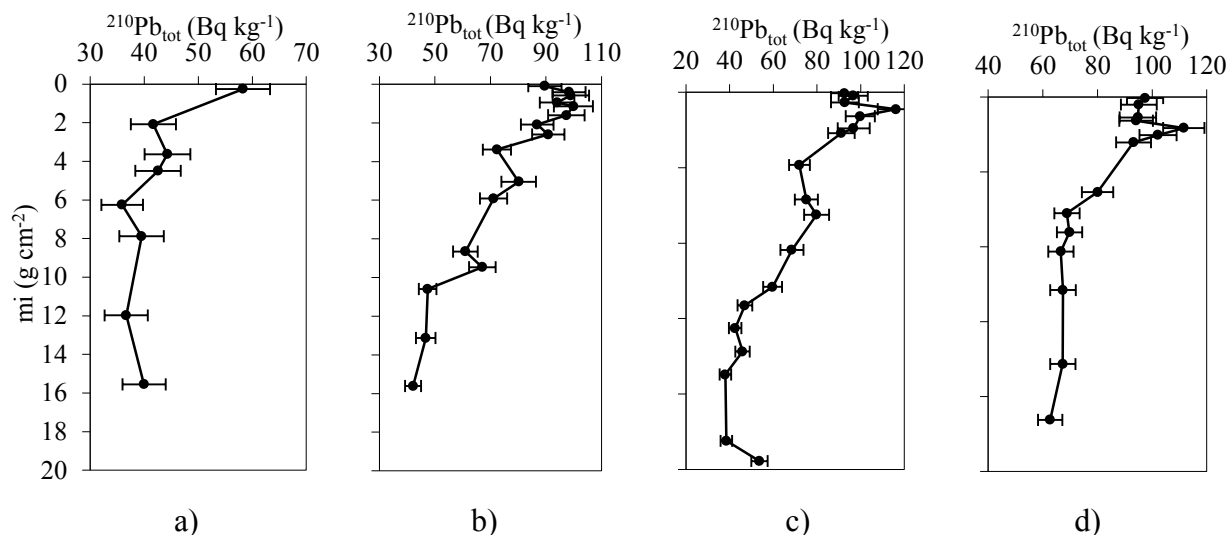


Figura 38. Actividad de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$) contra masa acumulada (m_i) de los núcleos del lago Santa Elena: a) SE1, b) SE2, c) SE3 y d) SE4.

La actividad del $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ en los núcleos SE2 ($42.2\text{-}99.9 \text{ Bq kg}^{-1}$), SE3 ($38.0\text{-}116.2 \text{ Bq kg}^{-1}$) y SE4 ($62.6\text{-}111.6 \text{ Bq kg}^{-1}$) disminuye de forma gradual desde las secciones superficiales hacia el fondo de los perfiles, llegando a la región asintótica o de ^{210}Pb de base en el SE2 y SE3. Varios autores coinciden (Robbins y Edgington, 1975; Binford, 1990; Sorgente *et al.*, 1999; Ruiz-Fernández *et al.*, 2004; Sanchez-Cabeza y Ruiz-Fernández, 2012, entre otros) en que la tendencia exponencial en los valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ es indicativo de un sistema sedimentario no perturbado, donde el mezclado físico y la bioperturbación pueden considerarse despreciables. En el núcleo SE1, por el contrario, se observó que la actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ es mucho más baja ($35.9\text{-}58.3 \text{ Bq kg}^{-1}$) semejante a los valores de la región asintótica del perfil SE2 ($42.2\text{-}47.4 \text{ Bq kg}^{-1}$). Lo anterior confirma lo observado en la figura 15 (sección 10.1.2) donde los valores de SM indicaron que el perfil SE1 está compuesto por suelo y por tanto no puede ser fechado a través de la radiocronología con ^{210}Pb .

10.3.1.2. ^{210}Pb de base

Para estimar la actividad del ^{210}Pb de base ($^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$) en los núcleos del lago Santa Elena se utilizaron dos métodos: 1) a través de los valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ de la parte asintótica del perfil SE2, de acuerdo con lo propuesto por Binford (1990) o 2) usar la actividad de ^{210}Pb medida en la base de un núcleo de suelo de un áreas aledaña al sistema acuático. Entonces, los valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ para los núcleos del lago Santa Elena son los siguientes: a) en el SE2 y SE3 se utilizó el promedio de la actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ en las últimas tres capas de sedimento (Binford, 1990), obteniendo una actividad de 45.4 ± 2.8 y 39.0 ± 1.3 Bq kg^{-1} , respectivamente y b) en el SE4 el valor de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ fue de 26.8 ± 3.0 Bq kg^{-1} y se calculó como el promedio de la actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ en las secciones del fondo de tres núcleos de suelo de los alrededores del lago Santa Elena (28.3 ± 3.0 Bq kg^{-1} ; 23.4 ± 1.7 Bq kg^{-1} ; 28.9 ± 1.9 Bq kg^{-1}).

10.3.1.3. ^{210}Pb en exceso

Los valores de ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) y de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ utilizados para la radiocronología de los núcleos del lago Santa Elena se muestran en la tabla 5 (anexos 40-42).

Tabla 5. Actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ y $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (Bq kg^{-1}) en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena.

Núcleo	$^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ (Bq kg^{-1})	$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (Bq kg^{-1})
SE2	45.4 ± 2.8	15.6–54.5
SE3	39.0 ± 1.3	5.1–77.2
SE4	26.8 ± 3.0	35.8–84.8

Ahora bien, en los núcleos SE3 y SE4 las actividades de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ presentan máximos por debajo de la sección superficial. Así los máximos sub-superficiales puede ser resultado de distintos procesos de redistribución normales del $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, por ejemplo, como resultado de un ligero mezclado biológico (Legeleux *et al.*, 1994) o como en el caso del SE3 y SE4, debido a cambios en la tasa de acumulación sedimentaria (Ruiz-Fernández *et al.*, 2007a).

10.3.1.4. Radiocronología con ^{210}Pb

Para la radiocronología de los núcleos SE3 y SE4 se utilizó el modelo de fechado CFCS, el cual asume que el flujo de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ hacia la superficie de sedimento y la tasa de acumulación másica se mantienen constantes a lo largo del registro sedimentario (Appleby y Oldfield, 1992). El criterio para aplicar el modelo CFCS es obtener una correlación altamente significativa ($r \geq 90$, $P > 0.05$) entre el $\ln^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ y la profundidad másica. Una correlación significativa ($r \geq 90$) implica que el flujo de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ y la tasa de sedimentación másica son constantes o varían proporcionalmente en el tiempo. De igual forma el

modelo CFCS puede ser utilizado en el caso que de que el perfil de $\ln^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ contra la profundidad másica muestre uno o más tramos lineales (Goldberg *et al.*, 1977). En la figura 39 se muestran los gráficos de la actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ contra masa acumulada para éstos núcleos.

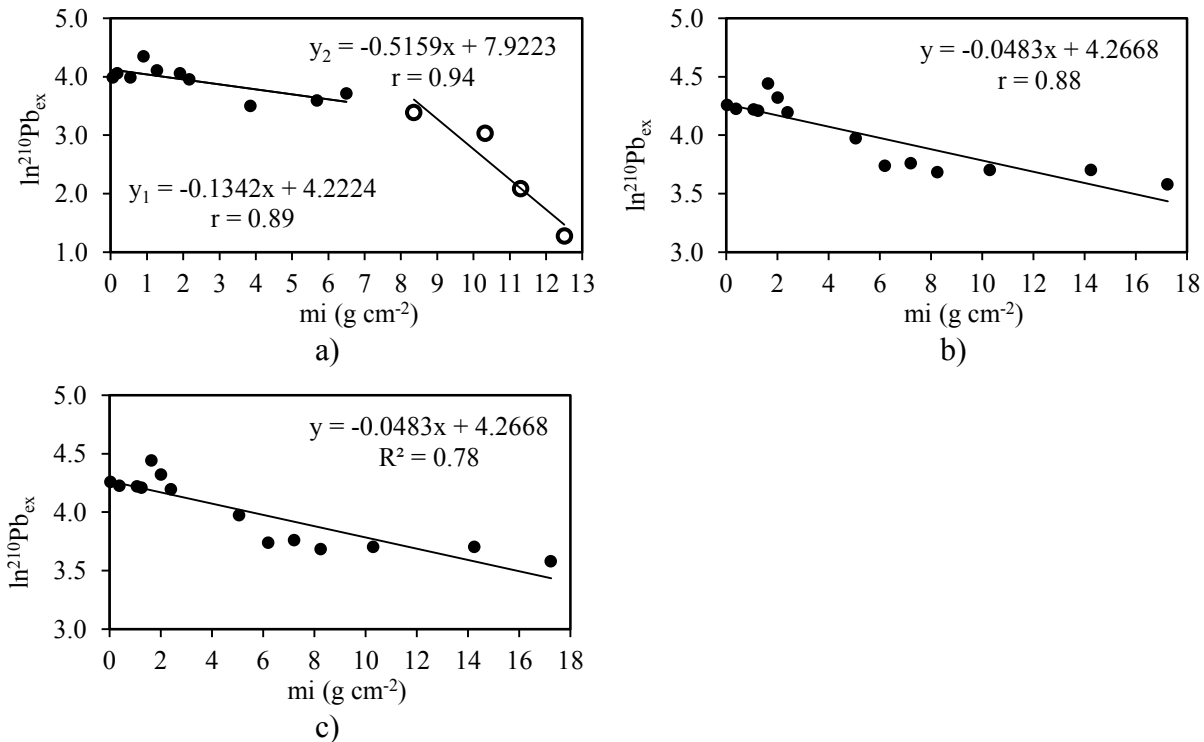


Figura 39. Actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ contra masa acumulada (m_i) de los núcleos del lago Santa Elena: a) SE2, b) SE3 y c) SE4.

Una manera de obtener fechas mediante el modelo CFCS es dividir la profundidad másica (g cm^{-2}) de una sección por la tasa de acumulación másica (TAM, $\text{g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$). Al realizar éste cálculo se debe tener claro que las fechas obtenidas son solo una aproximación dado que el fechado es resultado de un ajuste lineal y no de las propiedades intrínsecas de las secciones (Sanchez-Cabeza *et al.*, 2012). En el núcleo SE3 el perfil de $\ln^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ contra la profundidad másica mostró dos tramos lineales, por lo que además del fechado, se calculó una TAM y una TAS promedio para cada tramo. La edad máxima del núcleo SE3 se estimó en 76 ± 10 años (1935 A.D.), mientras que los sedimentos en el núcleo SE4 resultaron ser mucho más jóvenes, con una edad máxima estimada de 25 ± 4 años (1985 A.D.).

En la radiocronología del núcleo SE2 se utilizó el modelo CF. En ese modelo la hipótesis fundamental es que el flujo de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ hacia la superficie de sedimento es constante e independiente de las variaciones del flujo de partículas en hundimiento. El CF permite fechar aquellos núcleos de sedimento

que presentan desviaciones en la linealidad del perfil de $\ln^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ respecto a la profundidad másica (Goldberg, 1963; Appleby y Oldfield 1983; Sanchez-Cabeza y Ruiz-Fernández, 2012), bajo la suposición de que estas desviaciones son resultado de cambios en las tasas de acumulación sedimentaria. La edad máxima obtenida para el núcleo SE2 fue de 67 ± 15 años (1943). El reservorio del Santa Elena se construyó en 1930 (Trejo-Velázquez, 2003), lo cual está en concordancia con el fechado de los núcleos más antiguos SE2 y SE3.

10.3.1.5. Tasas de acumulación sedimentaria y másica

En los núcleos SE3 y SE4 el modelo CFCS permitió estimar las tasas promedio de acumulación sedimentaria (TAS) y másica (TAM), mientras que en el núcleo SE2 el modelo CF proporcionó ambas tasas en cada sección de sedimento hasta los 16 cm de profundidad. En la tabla 6 se muestran las TAS (cm año^{-1}) y las TAM ($\text{g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) de los núcleos del lago Santa Elena.

Tabla 6. Tasas de acumulación sedimentaria (TAS, cm año^{-1}) y másica (TAM, $\text{g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en el lago Santa Elena.

Núcleo	TAS	TAM
SE2	0.03-0.45	0.02-0.13
SE3	0.09-0.44	0.09-0.36
SE4	0.81 ± 0.11	0.70 ± 0.10

La TAS y TAM más altas se observaron en el núcleo más joven, el SE4 (1985 A.D.). Aun así los valores de las TAS y las TAM del SE2 y SE3 fueron muy semejantes. En la figura 40 se muestran los perfiles de las TAS y las TAM del núcleo SE2 estimados con el modelo CF.

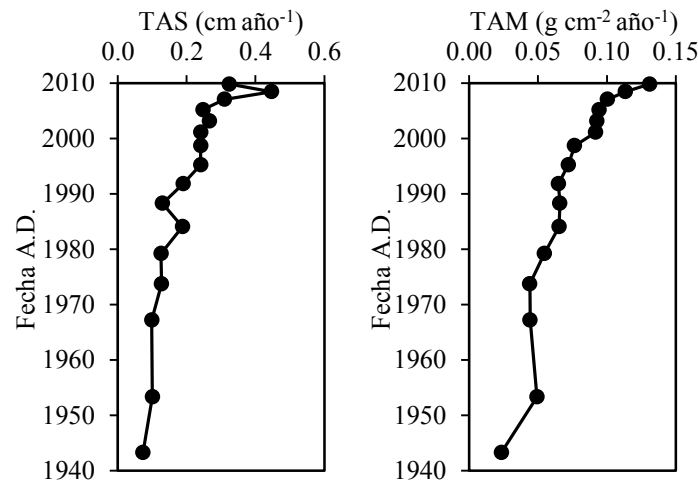


Figura 40. Tasa de acumulación sedimentaria (TAS) y másica (TAM) del SE2 del lago Santa Elena.

Se observa que las TAS ($0.03-0.45 \text{ cm año}^{-1}$) y TAM ($0.02-0.13 \text{ g cm}^2 \text{ año}^{-1}$) del núcleo SE2 aumentan lentamente desde las secciones más antiguas hasta la fecha de muestreo (Junio del 2010). Esto se relaciona con los escasos asentamientos humanos en los alrededores del lago Santa Elena, donde los principales cambios en el uso del suelo en la zona están vinculados con el pastoreo de ganado.

10.3.2. Lago Chapala

10.3.2.1. ^{210}Pb total

La actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ (Bq kg^{-1}) de los núcleos C1, C2, C3 y C4 recolectados en el lago Chapala se presenta en los anexos 44 al 47 y su distribución respecto a la profundidad, en la figura 41.

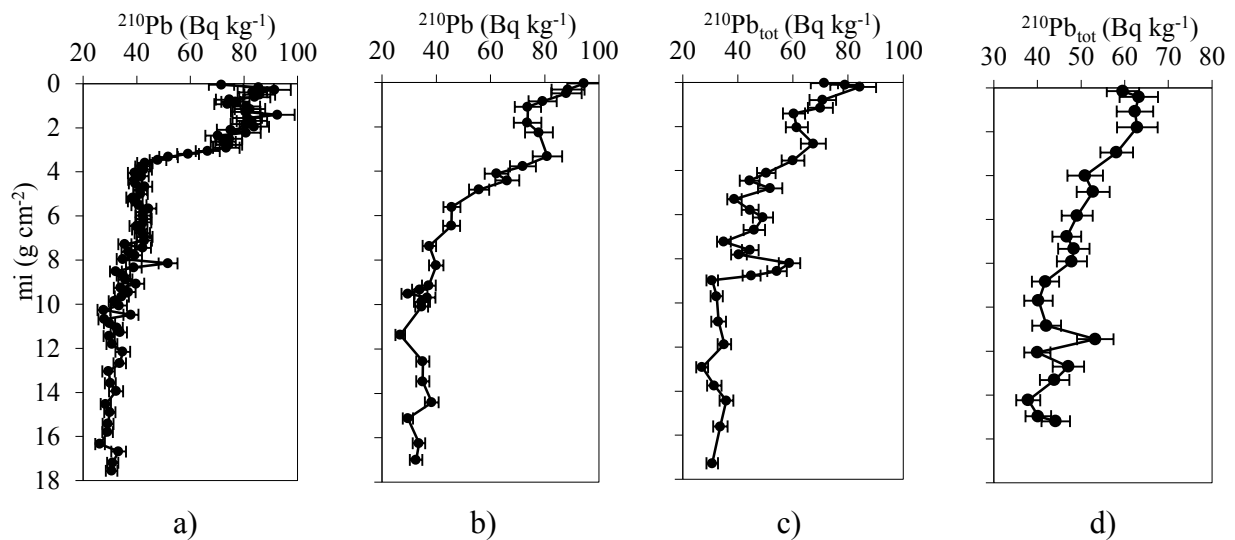


Figura 41. Actividad ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$) contra masa acumulada (m_i) de los núcleos del lago Chapala: a) C1, b) C2, c) C3 y d) C4.

En la se figura 41 se observa que los núcleos C1 ($26.3-92.5 \text{ Bq kg}^{-1}$), C2 ($26.7-94.5 \text{ Bq kg}^{-1}$) y C3 ($27.0-84.3 \text{ Bq kg}^{-1}$) tienen actividades de $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ comparables, alcanzando la región asintótica o de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ al fondo de los perfiles. En comparación los valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ del núcleo C4 son más bajos ($37.9-63.2 \text{ Bq kg}^{-1}$) y no llegan a mostrar una región asintótica. Si bien, en general la tendencia de la actividad del $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ en los cuatro perfiles es a disminuir respecto al aumento en la masa acumulada, el decaimiento no es estrictamente exponencial. Esto puede ser resultado de las variaciones a lo largo del tiempo de las tasas de sedimentación (Appleby, 2001; Ruiz-Fernández *et al.*, 2000a; Bookman *et al.*, 2010) debido a la intensidad de ocupación y uso del suelo de la zona (p.ej. deforestación, desmonte, agricultura, entre otros) (SEMARNAT, 2006).

10.3.2.2. ^{210}Pb de base

Los valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ de los núcleos C1 ($30.9 \pm 2.6 \text{ Bq kg}^{-1}$), C2 ($33.3 \pm 3.4 \text{ Bq kg}^{-1}$) y C3 ($32.2 \pm 2.7 \text{ Bq kg}^{-1}$) se estimaron como el promedio de las secciones de la región asintótica de los perfiles de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ (Binford, 1990). Estos valores son comparables con la actividad de ^{226}Ra medida en el perfil C1 (16.9 ± 0.4 a $35.0 \pm 0.8 \text{ Bq kg}^{-1}$) que se muestra en la figura 42 (anexo 43). En el C4 el perfil de la actividad $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ no llegó a la región asintótica, por lo que se utilizó como valor de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ la actividad calculada para el núcleo más próximo (C3 = $32.2 \pm 2.7 \text{ Bq kg}^{-1}$).

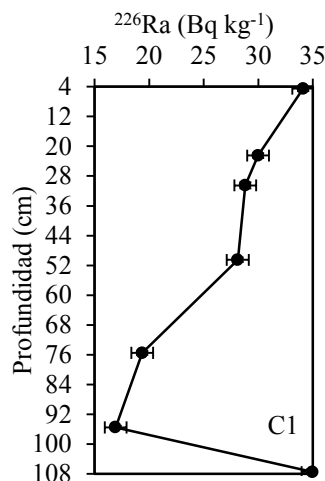


Figura 42. Actividad de ^{226}Ra (Bq kg^{-1}) del núcleo C1 del lago Chapala.

10.3.2.3. ^{210}Pb en exceso

Los valores de ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) y de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ utilizados para la radiocronología de los núcleos del lago Chapala se muestran en la tabla 7 (anexos 44-47).

Tabla 7. Actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ y $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ (Bq kg^{-1}) en los núcleos de sedimento del lago Chapala.

Núcleo	$^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ (Bq kg^{-1})	$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (Bq kg^{-1})
C1	30.9 ± 2.6	1.4–61.6
C2	33.3 ± 3.4	0.6–61.1
C3	32.2 ± 2.7	2.7–52.1
C4	32.2 ± 2.7	5.7–31.0

La profundidad máxima a la cual se halló $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ en los núcleos de Chapala osciló entre 58 y 64 cm. Los núcleos C1, C2 y C3 mostraron valores semejantes de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ de entre 0.6 a 61.6 Bq kg^{-1} .

10.3.2.4. Radiocronología con ^{210}Pb

Los perfiles de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ de los núcleos C1, C2 y C3 (sección 10.3.2.1) mostraron secciones asintóticas, lo cual implica la presencia de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$, por lo que fue posible aplicar el modelo de fechado CF; no así en el núcleo C4, donde se utilizó el modelo CFCS (figura 43).

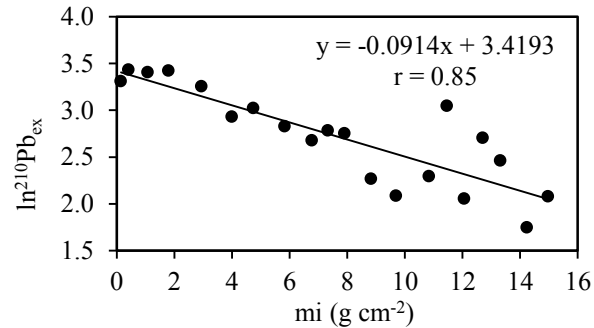


Figura 43. Actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ contra masa acumulada (m_i) del núcleo C4 del lago Chapala.

En la figura 43 la correlación significativa ($r = 0.85$, $P > 0.05$) entre el $\ln^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ y la masa acumulada ratifica la aplicación del CFCS en el núcleo C4, ya que cumple con la hipótesis del modelo que es que el flujo de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ y la tasa de acumulación másica sean constantes o varíen proporcionalmente en el tiempo (Appleby y Oldfield, 1992).

La edad máxima de los núcleos fechados a través del modelo CF fue de 96 ± 18 años (1914 A.D.) para C1, mientras que en C2 fue de 84 ± 17 años (1926 A.D.) y en C3 de 92 ± 13 años (1918 A.D.). El núcleo más joven fue el C4 con 44 ± 4 años (1966 A.D.).

Previo a la estimación de los flujos de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ a la superficie de sedimento se realizó el cálculo de los inventarios de ^{210}Pb . Los inventarios en el lago Chapala fueron para C1 de $2,119 \text{ Bq m}^{-2}$, en C2 de $2,454 \text{ Bq m}^{-2}$ y en C3 de $1,994 \text{ Bq m}^{-2}$, mientras que los flujos fueron para C1 de $66.1 \pm 2.0 \text{ Bq m}^2 \text{ año}^{-1}$, en C2 de $76.5 \pm 2.1 \text{ Bq m}^2 \text{ año}^{-1}$ y en C3 de $62.2 \pm 1.8 \text{ Bq m}^2 \text{ año}^{-1}$. Los flujos estimados en este estudio son comparables con los observados anteriormente por Fernex *et al.* (2001) en el lago Chapala (46.6 - $91.6 \text{ Bq m}^2 \text{ año}^{-1}$) y ligeramente más elevados a los valores reportados para el lago Zirahuen en Michoacan ($48 \text{ Bq m}^2 \text{ año}^{-1}$; Davies *et al.*, 2004) y el lago Verde en Veracruz ($42 \pm 0.5 \text{ Bq m}^2 \text{ año}^{-1}$; Ruiz-Fernández *et al.*, 2009).

10.3.2.5. Tasas de acumulación sedimentaria y másica

Las tasas de acumulación sedimentaria (TAS, cm año^{-1}) y másica (TAM, $\text{g cm}^2 \text{ año}^{-1}$) del lago Chapala se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Tasas de acumulación sedimentaria (TAS, cm año^{-1}) y másica (TAM, $\text{g cm}^2 \text{ año}^{-1}$) del lago Chapala.

Núcleo	TAS	TAM
C1	0.07-1.56	0.01-0.19
C2	0.24-2.26	0.05-0.15
C3	0.08-2.82	0.01-0.28
C4	1.08 ± 0.09	0.34 ± 0.03

En la figura 44 están los perfiles de las TAS y las TAM de los núcleos fechados con el modelo CF.

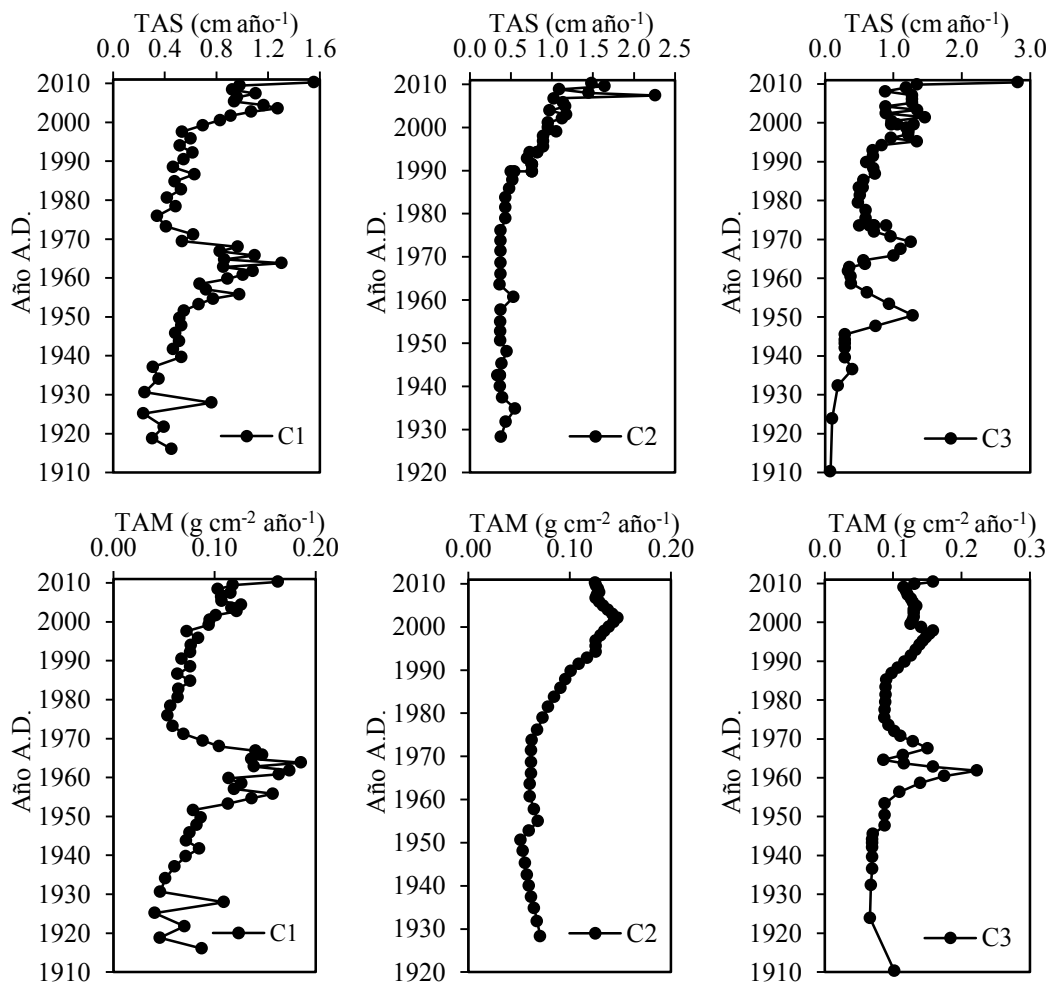


Figura 44. Tasas de acumulación sedimentaria (TAS) y másica (TAM) del lago Chapala.

Desde principios de siglo y hasta poco después de 1950 los perfiles de TAS y MAR del lago Chapala muestran un aumento progresivo. Estas tendencias pueden ser atribuidas de forma general, al desarrollo urbano, agrícola e industrial en la región. Es a partir de 1952 y hasta 1965 que las TAM de los núcleos C1 y C3 se incrementan abruptamente, alcanzando sus máximos alrededor de 1963. Este periodo coincide con una serie de épocas de sequías en el área, que ocasionaron los niveles mínimos en el nivel del lago en 1955 y 1958 (CONAGUA, 2013), que a su vez provocó el aumento en las tasas de acumulación. Asimismo, entre 1998 y 2004 se observó también un incremento (aunque menos pronunciado) en las TAS y las MAR de los tres núcleos. Este incremento en la sedimentación también se vinculó con el aumento de los procesos erosivos y por tanto, al mayor transporte de partículas desde los márgenes emergentes del lago, provocado por los bajos niveles de Chapala. Aquí la disminución del nivel del lago no solo se atribuyó a periodos de sequías, sino también a la disminución en el flujo de entrada de agua del río Lerma hacia el lago Chapala y a la extracción excesiva de agua del lago para abastecimiento de la ciudad de Guadalajara y las zonas de cultivo de los alrededores entre 1990 y 2004 (de Anda *et al.*, 2005; SEMARNAT, 2006). Por último, los perfiles C1 y C3 muestran un segmento entre 1966 y 1974 donde el lago regresa a un régimen más bajo de sedimentación debido al incremento en los niveles del lago. Después de este intervalo temporal, el incremento progresivo en las tasas de acumulación observado desde 1952 continúa hasta encontrar un máximo reciente en la superficie de los perfiles.

10.3.3. Corroboración de la radiocronología: ^{137}Cs y ^{239}Pu

10.3.3.1. Lago Santa Elena

En el lago Santa Elena se determinó la actividad de ^{137}Cs en el núcleo de sedimento SE3 (figura 45; anexo 48).

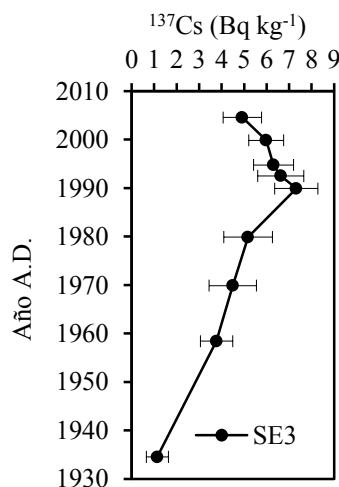


Figura 45. Actividad de ^{137}Cs (Bq kg⁻¹) en el núcleo de sedimento SE3 del lago Santa Elena.

El perfil de ^{137}Cs muestra que las actividades más bajas del radionúclido se encuentran en las secciones más antiguas, mientras que el máximo se encuentra entre el intervalo de 1975 ± 10 a 1996 ± 3 . Debido a la baja tasa de acumulación sedimentaria ($0.09\text{-}0.44\text{ cm año}^{-1}$) y al seccionamiento de las capas de sedimento a 1 cm de espesor, la resolución temporal de los estratos donde se ubica el máximo de la actividad de ^{137}Cs comprende un periodo de cerca de 20 años. Por tanto el máximo en la actividad del radionúclido pudiera ser una mezcla entre el máximo de las pruebas nucleares (1962-1964) y la señal de ^{137}Cs de las últimas detonaciones nucleares atmosféricas (e.g. Xinjiang China, 1980) y el accidente de la central nuclear de Chernóbil en 1986 (Angelo, 2004).

10.3.3.2. Lago de Chapala

En el lago Chapala se determinó la actividad de los radionúclidos ^{137}Cs y ^{239}Pu en los núcleos de sedimento C1 y C2 (figura 46; anexos 49 y 50).

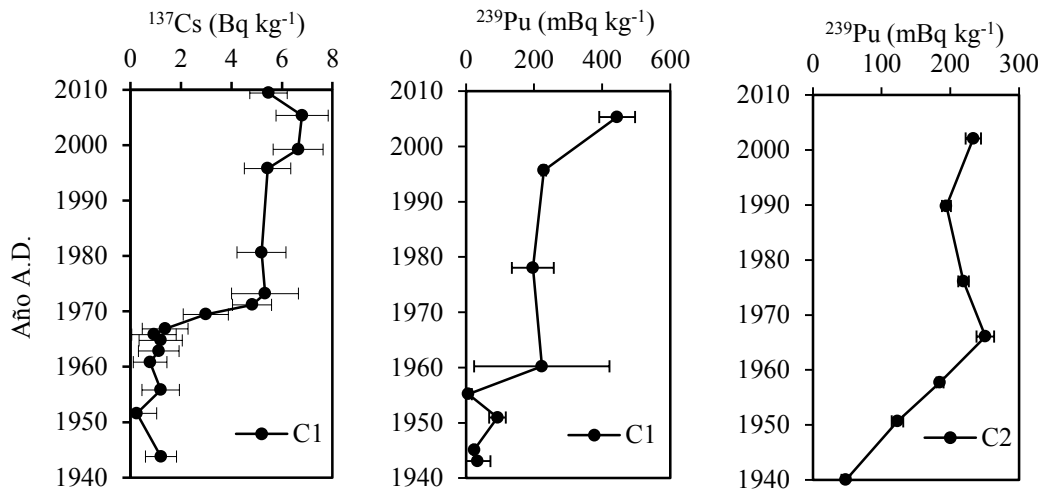


Figura 46. Actividad de ^{137}Cs (Bq kg^{-1}) y ^{239}Pu (mBq kg^{-1}) en los núcleos de sedimento C1 y C2 del lago Chapala.

En el núcleo C1 la actividad máxima del ^{137}Cs se observó en la profundidad de 24.5 y 10.5 cm, que corresponde a las fechas de 1973 ± 2.5 y 1999 ± 1.1 A.D. Por otro lado, el máximo de ^{239}Pu se ubicó a los 34.5 cm de profundidad, que corresponde a 1960 ± 1.0 , aunque desafortunadamente la incertidumbre de la medición de ^{239}Pu en esa sección de sedimento es demasiado grande ($222.7\pm 199.1\text{ mBq kg}^{-1}$) para ser usado como corroboración de la radiocronología con ^{210}Pb . En el núcleo C2 el perfil de ^{239}Pu presentó la actividad máxima en la sección de 30-31 que corresponde a la fecha de 1966 ± 5.1 . Esta fecha concuerda con el máximo de las detonaciones de armamento nuclear en la tropósfera de 1963 (UNSCEAR, 2000). Asimismo la primera detección de la actividad de ^{239}Pu se ubicó en la sección 40-

41, que corresponde a la fecha de 1940 ± 14.6 , que está en concordancia con el inicio de la deposición de ceniza radiactiva procedente de las detonaciones de armamento nuclear (UNSCEAR, 2000).

10.3.4. Coincidencias temporales: susceptibilidad magnética y tamaño de grano

En la sección 10.2.2 se observó que los perfiles de SM de los núcleos C1, C2 y C3 del lago Chapala (figura 27) exhibían tendencias semejantes, indicando la existencia de una señal bien preservada en estos registros sedimentarios. Para corroborar la radiocronología con ^{210}Pb se compararon los valores máximos y mínimos de SM de los tres núcleos respecto al marco temporal estimado a partir del modelo de fechado CF (figura 47; tabla 9).

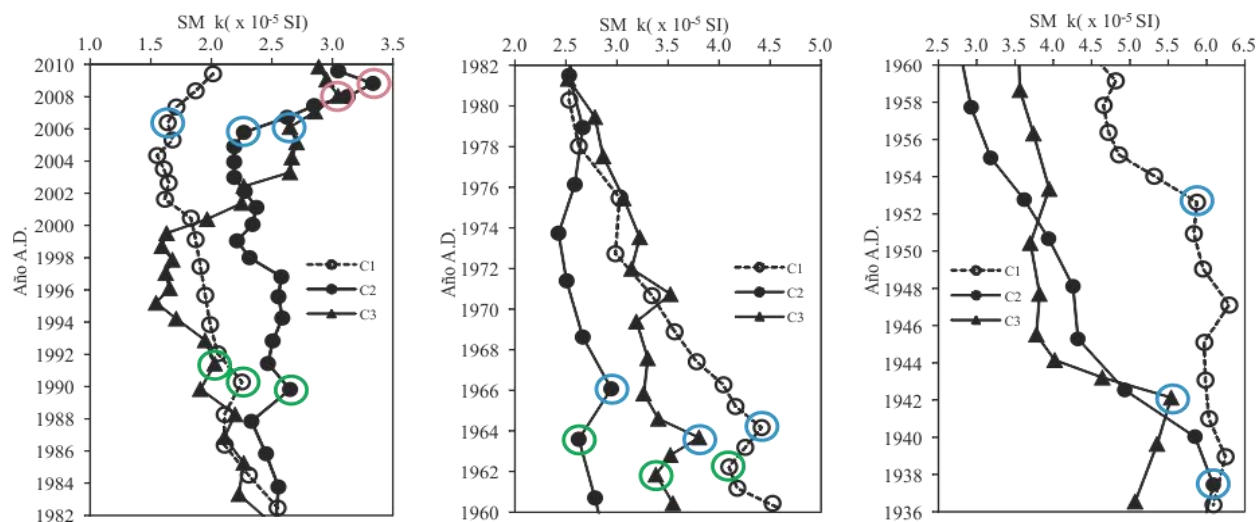


Figura 47. Coincidencias temporales de los valores de SM ($k \times 10^{-5}$ SI) en los núcleos C1, C2 y C3 del lago Chapala.

Tabla 9. Marcas temporales (años A.D.) registradas en los núcleos de sedimento del lago de Chapala.

Marca temporal	C1	C2	C3
1	-	2009-2008	2009-2007
2	2007-2006	2006-2005	2007-2006
3	1991-1990	1991-1989	1992-1991
4	1965-1964	1967-1965	1966-1965
5	1963-1962	1965-1963	1964-1963
6	1954-1952	1940-1937	1944-1942

En la tabla 9 se observa que las marcas temporales coinciden en los tres núcleos (figura 47) hasta la década de 1960. Por tanto, al corroborar la radiocronología con ^{210}Pb de los núcleos C1 y C2 con sus perfiles de ^{239}Pu se pueden utilizar éstas marcas de SM para corroborar el fechado del núcleo C3.

Por otro lado, se evaluaron los histogramas de frecuencia del análisis de tamaño de grano para verificar si las marcas temporales señaladas por los cambios en los perfiles de la SM, coincidían con algún cambio en la distribución granulométrica. Algunos autores (Inman, 1949; Folk y Ward, 1957; Visher, 1969) han señalado que los sedimentos que provienen de una fuente común exhiben histogramas de frecuencia con distribuciones unimodales; mientras que, en los casos en que la distribución es asimétrica o sesgada (p.ej. bimodal) se considera que el origen de los sedimentos es una combinación de distintas fuente o procesos. Al inspeccionar los histogramas de frecuencia de las marcas temporales de C1, C2 y C3 se observó que todas las distribuciones de tamaño de grano son unimodales, y que los únicos histogramas que presentaron bimodalidad están en el núcleo C2 en secciones por debajo de la profundidad máxima de la presencia del $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (63.5 cm de profundidad) y por tanto se encuentran fuera del marco temporal del fechado con ^{210}Pb , por lo que no se incluyeron en la interpretación.

10.4. Metales y metaloides

10.4.1. Concentraciones y flujos

La distribución vertical de las concentraciones de metales y metaloides en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena se muestran en las figuras 48 y 49 (anexos 51 y 52).

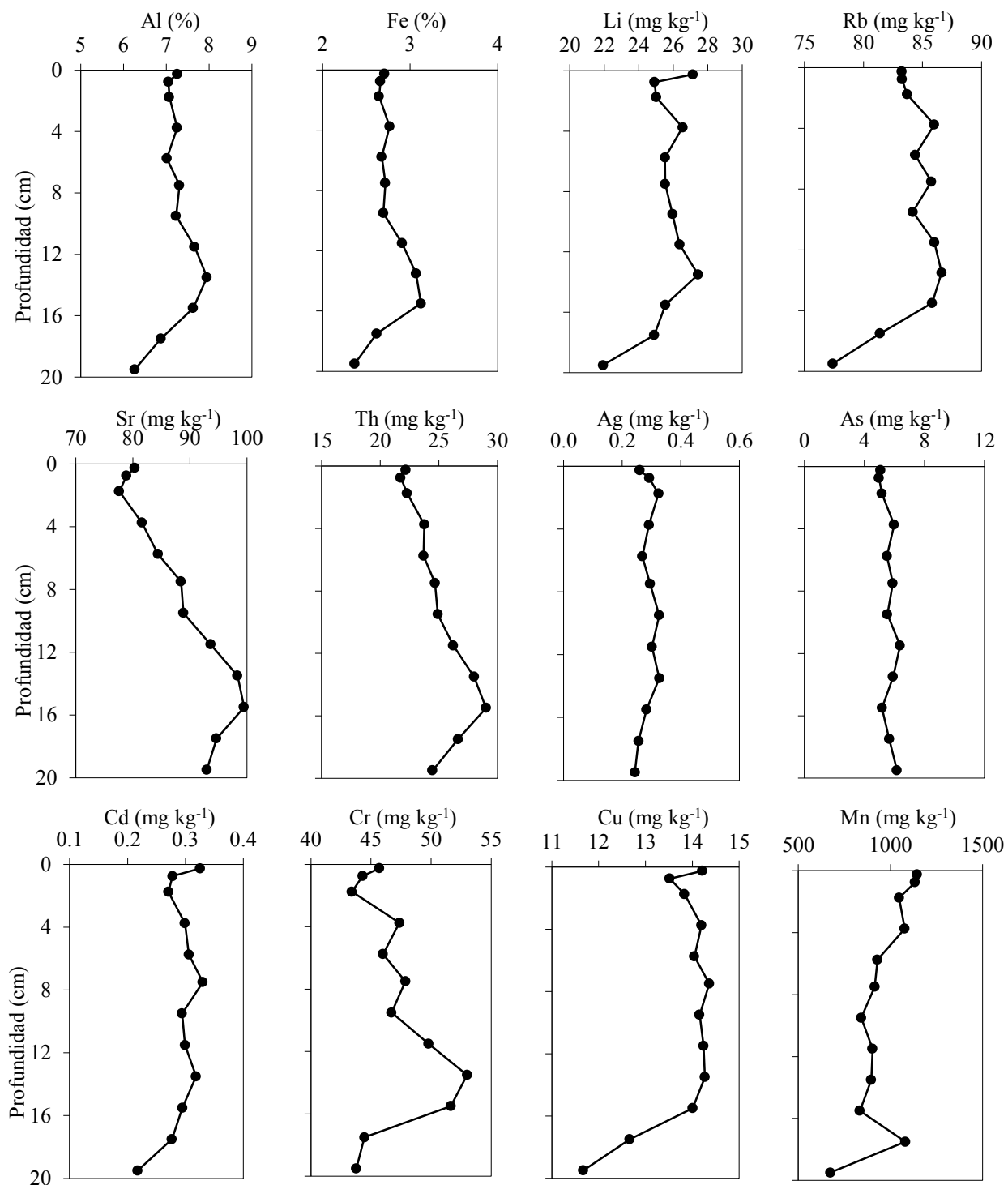


Figura 48. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento SE2.

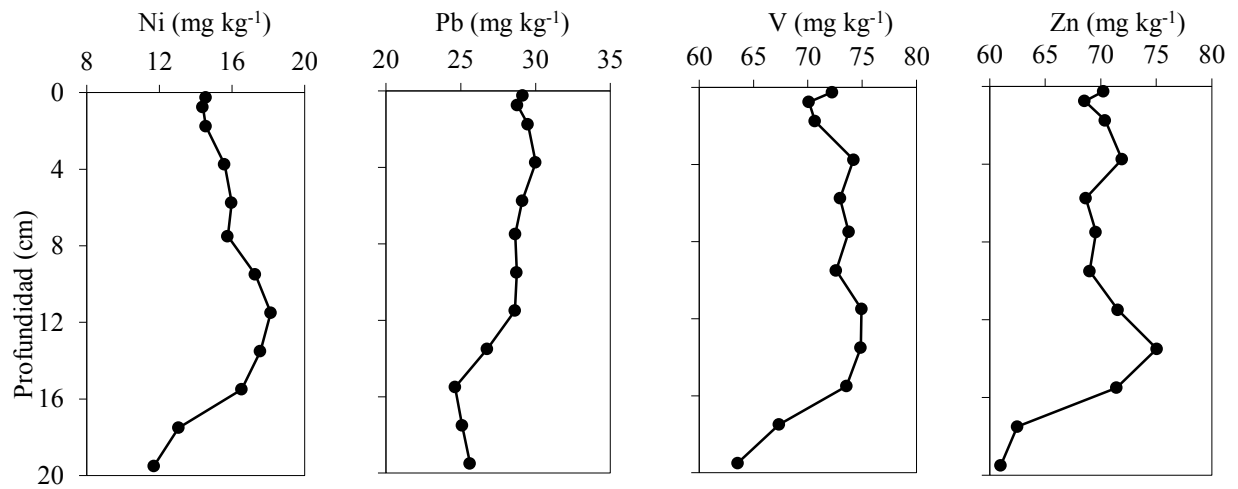


Figura 48. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento SE2 (continuación).

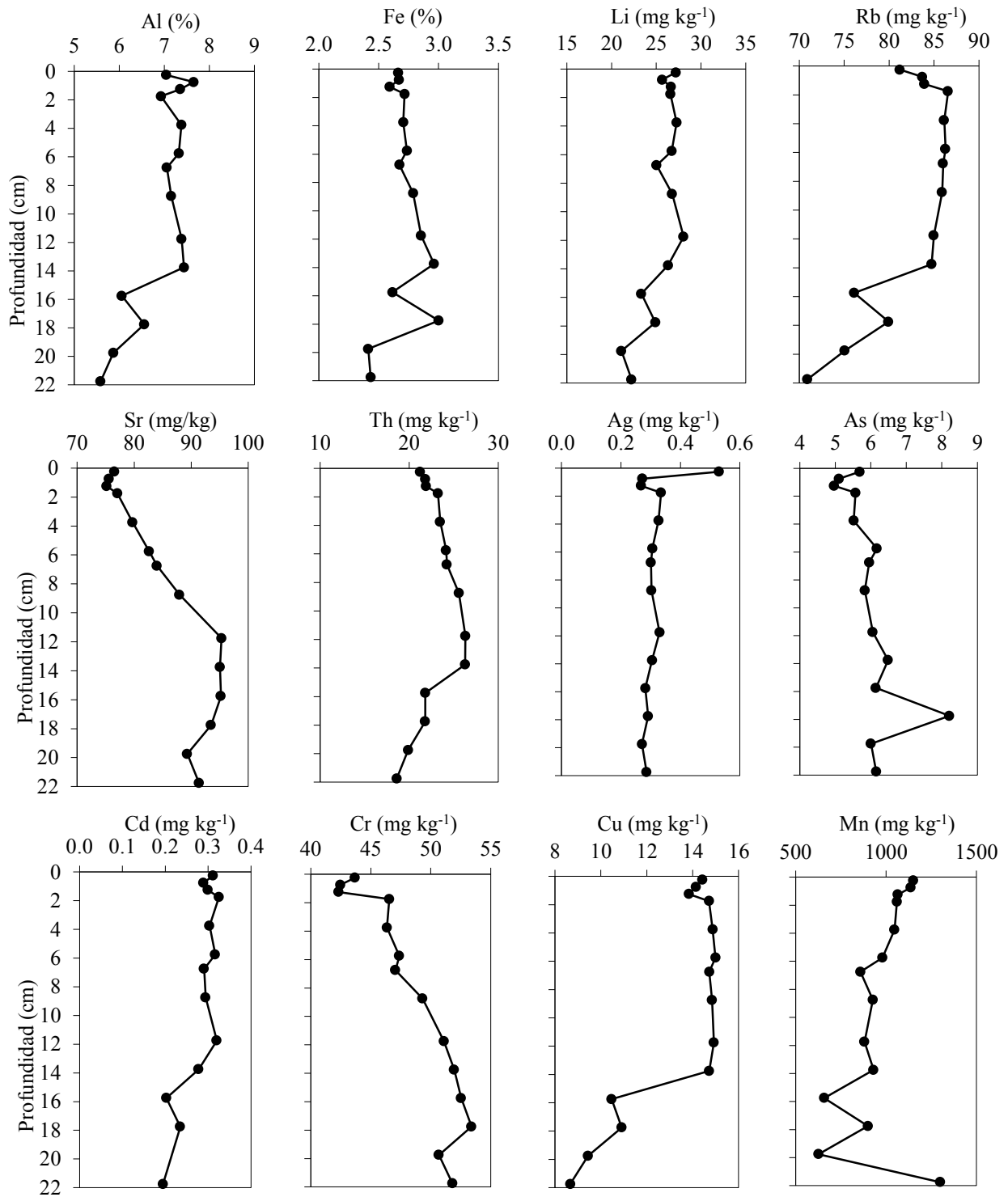


Figura 49. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento SE3.

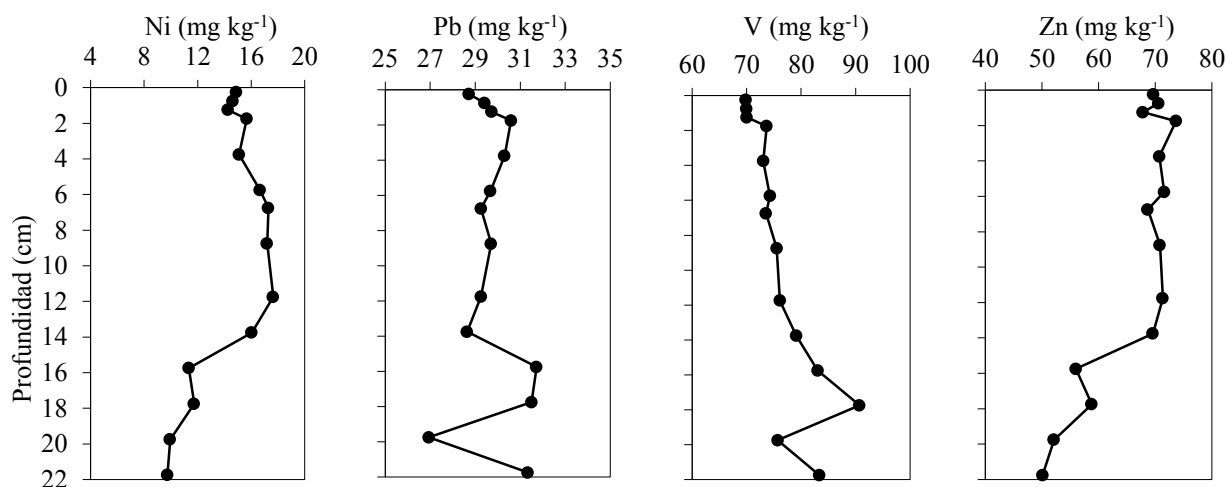


Figura 49. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento SE3 (continuación).

En general, la mayoría de los perfiles del lago Santa Elena presentaron una distribución homogénea respecto a la profundidad. Esta tendencia indica que no existe un enriquecimiento reciente de éstos elementos, por lo que podrían considerarse como concentraciones naturales, producto de los procesos de erosión e intemperismo de las rocas que componen la cuenca de drenaje (Nolting *et al.*, 1996; Gasparon y Matschullat, 2006). De igual forma otros autores (Abraham, 1998; Boyle *et al.*, 1998; Guevara *et al.*, 2005; Gasparon y Matschullat, 2006) han observado perfiles sedimentarios con concentraciones de metales y metaloides homogéneas en diferentes lagos del mundo, indicando que la composición mineralógica de las partículas que llegan por escorrentías hacia los sistemas acuáticos es el mecanismo que controlan las concentraciones de metales en los registros sedimentarios.

En el lago Chapala los perfiles de metales y metaloides de los núcleos de sedimento C1 y C2 se muestran en la figuras 50 y 51. En los anexos 53 y 54 se encuentra las tablas con las concentraciones de las secciones de sedimento analizadas para ambos núcleos.

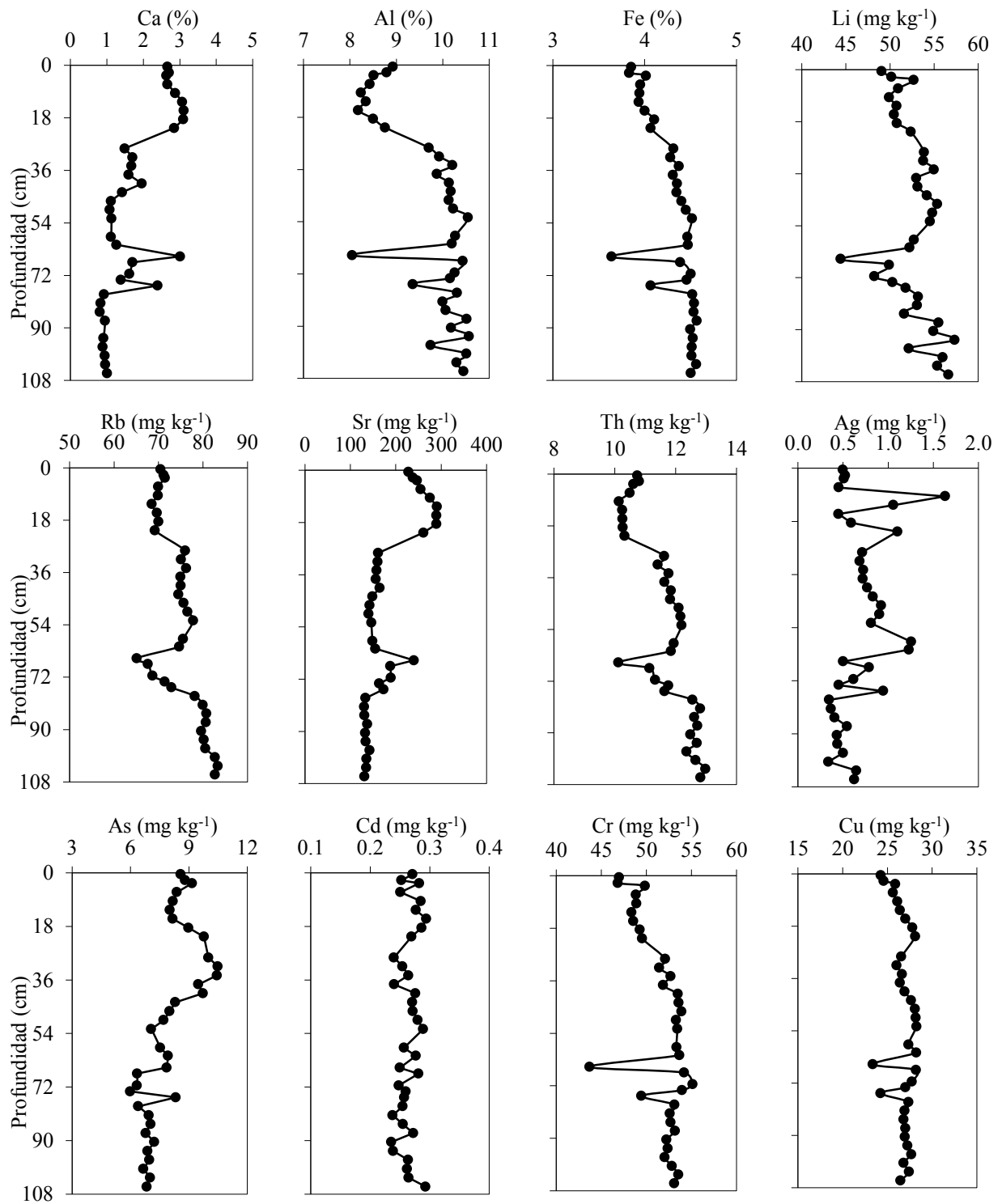


Figura 50. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento C1.

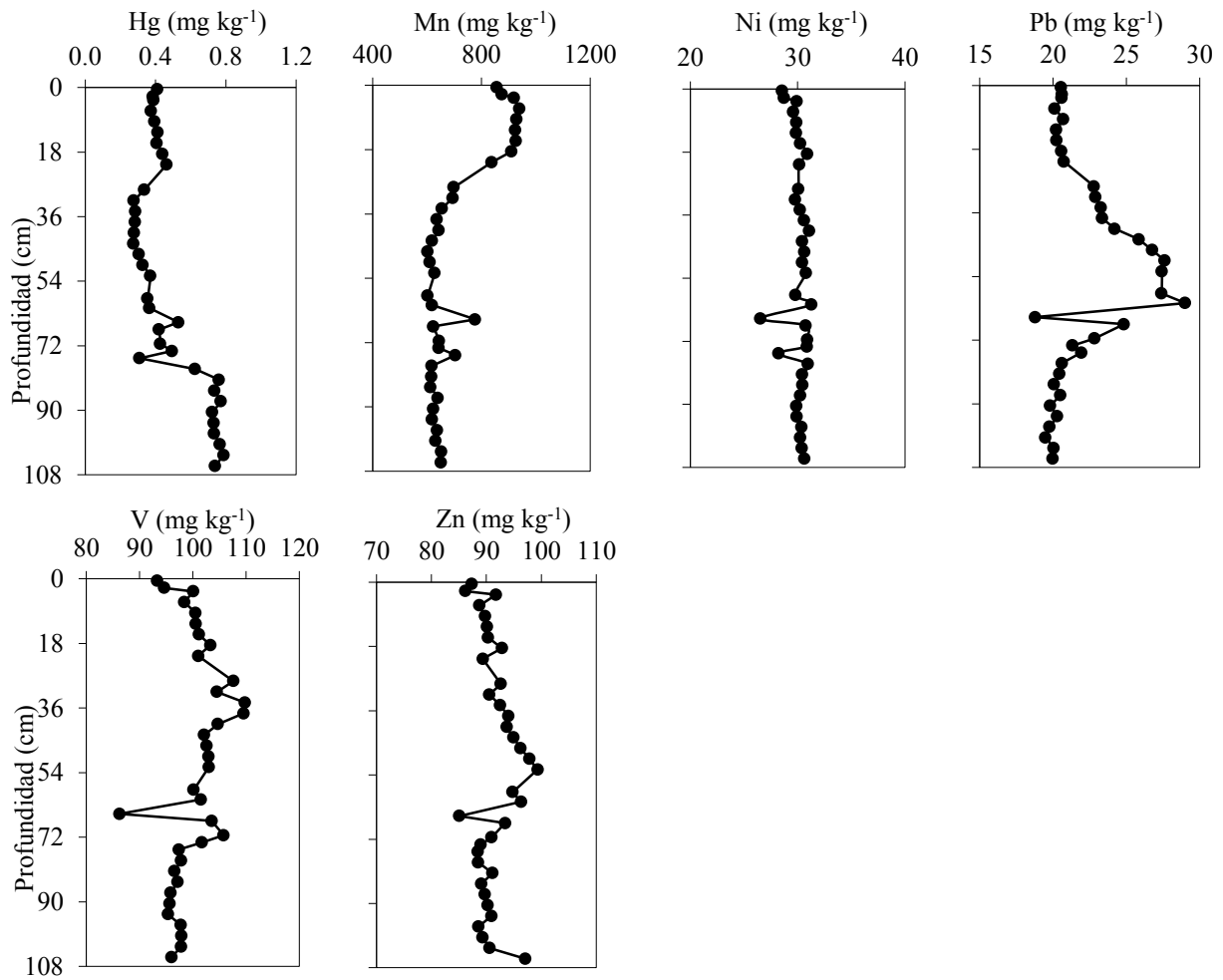


Figura 50. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento C1 (continuación).

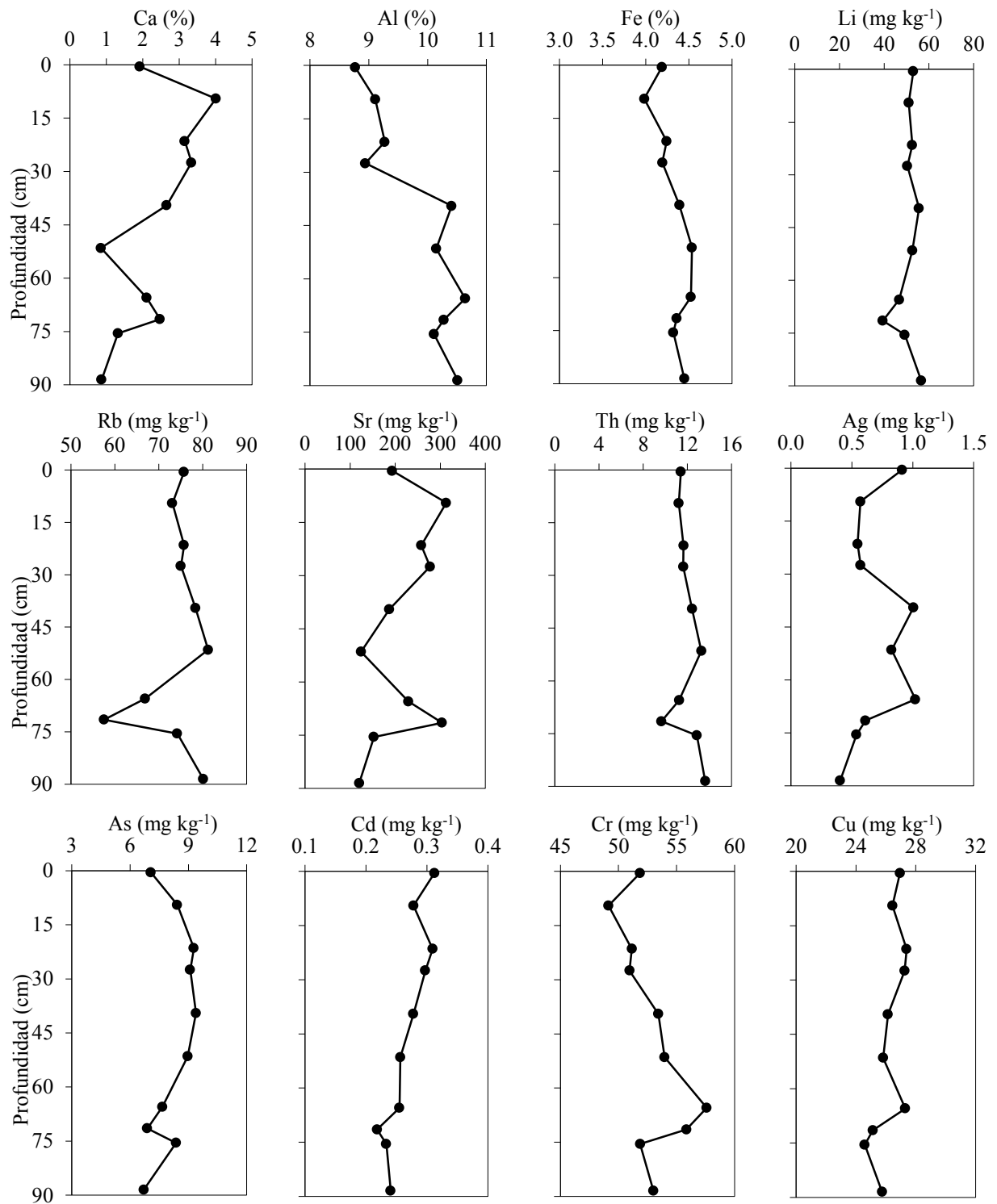


Figura 51. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento C2.

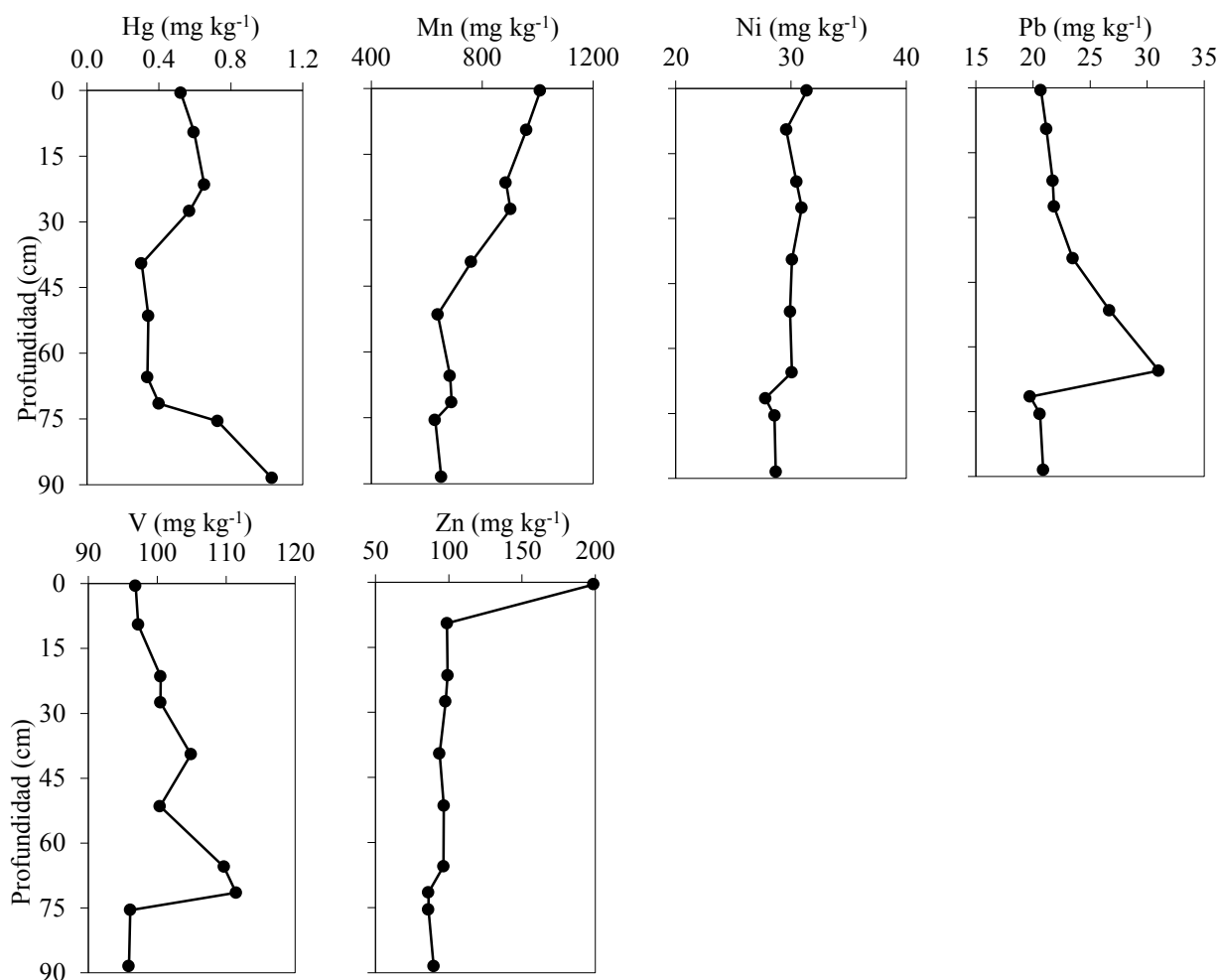


Figura 51. Perfiles de las concentraciones de metales y metaloides en el núcleo de sedimento C2 (continuación).

La mayoría de los perfiles del núcleo C1 también fueron homogéneos, con excepción de los elementos Al, Cr, Fe, Pb y V (figura 50) que presentaron una zona de concentraciones mínimas a la profundidad de entre 65.5 y 75.5 cm, que corresponde con el máximo de la señal de susceptibilidad magnética (figura 27) en este núcleo. Lo anterior podría vincularse con la entrada de partículas volcánicas hacia el lago a través del depósito atmosférico y al lavado posterior de los suelos de la cuenca de drenaje por los escurrimientos que arrastran material clástico que diluye las concentraciones de estos elementos (Hilton, 1987; Geiss *et al.*, 2004). Para el núcleo C2 (figura 51) únicamente se observaron un par de máximos en la parte superficial del perfil de Zn (198.9 mg kg⁻¹) y a los 65.5 de profundidad en el perfil de Pb (31.0 mg kg⁻¹). En el núcleo C1 el perfil de Hg presentó las más altas concentraciones en las secciones del fondo (0.6-0.8 mg kg⁻¹) para después mostrar valores casi constantes (0.3 a 0.5 mg kg⁻¹)

hacia la superficie. Mientras que en el núcleo C2 el perfil de Hg presentó una zona de concentraciones mínimas (0.3-0.4 mg kg⁻¹) entre los 39.5 y 71.5 cm de profundidad.

En la tabla 10 se compararon los intervalos de concentración de algunos elementos (Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) en las secciones superficiales de los núcleos C1 y C2 con las concentraciones publicadas por otros autores para el lago Chapala.

Tabla 10. Valores de metales en muestras de sedimento superficial del lago Chapala. Las concentraciones están dadas en mg kg⁻¹, excepto Al y Fe (%).

Sedimento superficial	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
En este estudio	8.8-8.9	47.0-51.9	24.3-27.0	3.9-4.2	857-1010	20.5-20.7	87.4-198.9
Rosales-Hoz et al. (2000)	2.4-7.3	52.1-83.3	24.6-34.5	3.3-4.2	n.d.	73.3-99.8	97.4-149.7
Trujillo-Cárdenas et al. (2010)	*n.d.	42.1-44.7	38.2-40.5	n.d.	961-1562	181.5-268.8	140.0-243.6

*n.d. = no disponible

De acuerdo con la tabla anterior las concentraciones de los elementos Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn son comparables con las concentraciones publicadas por Rosales-Hoz *et al.* (2000) y Trujillo-Cárdenas *et al.* (2010). Asimismo, las concentraciones de los metales y metaloides analizados en los lagos Santa Elena y Chapala fueron comparadas con algunos valores reportados en sedimentos de lagos en el mundo (tabla 11).

Tabla 11. Concentraciones de metales y metaloides (mg kg⁻¹) en sedimentos de lagos del mundo.

Sitio	Tipo de ecosistema	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	V	Zn	Referencia
Lagoa Grande, Brasil	Lago prístino	n.d.	7.2-14.0	n.d.	74.0-136	15.0-85.9	n.d.	n.d.	101.0-185	37.0-131	Oliveira <i>et al.</i> (2009)
Tedenac, Finlandia	Lago prístino	n.d.	2.0-62.0	<3	n.d.	9.0-44.0	0.14-0.30	25.0-225	63.0-139	133-484	Wren <i>et al.</i> (1983)
Woods, EUA	Rural: ligero desarrollo urbano	0.1-0.8	0.8-13	0.2-2.8	3.0-7.6	4.0-15.0	0.20-0.56	3.1-138	75.0-126	38.0-345	Heit <i>et al.</i> (1981)
Itaipu, Brasil/Paraguay	Rural: agricultura y ganadería	n.d.	n.d.	0.5-2.2	29.1-348	37.8-208	n.d.	26.9-67.9	n.d.	28.5-155	Kalwa <i>et al.</i> (2012)
Biwa, Japón	Lago de montaña: cuenca ligeramente urbanizada	0.03-0.45	49.6-792	0.8-1.1	38.3-53.1	56.0-65.5	0.09-0.23	32.4-70.1	78.9-104	141-179	Hiradata <i>et al.</i> (2011)
Chapala, México	Lago de montaña: desarrollo urbano y agricultura	n.d.	n.d.	14.9-15.9	42.1-44.7	38.2-40.5	n.d.	181.5-268.8	n.d.	140-243	Trujillo-Cárdenas <i>et al.</i> (2010)
Pirhuacocha, Perú	Lago de alta montaña: actividad minera	0.02-1.52	n.d.	n.d.	n.d.	26.0-170	n.d.	14.0-2512	n.d.	45.0-835	Cooke <i>et al.</i> (2007)
Pepin, EUA	Lago continental: desarrollo urbano denso	0.09-1.75	n.d.	0.4-5.7	6.7-38.9	11.1-37.1	0.03-0.51	8.6-50.4	12.3-25.4	35.1-106	Balogh <i>et al.</i> (2009)
Mulwala, Australia	Lago continental: desarrollo urbano denso	n.d.	3.0-22.0	0.09-0.37	n.d.	5.0-24.0	0.03-0.22	8.0-30.0	n.d.	31.0-140	Balwin y Howitt (2007)
Espejo de los Lirios, México	Lago continental: desarrollo urbano denso	0.13-1.43	n.d.	1.3-3.2	20.5-30.8	20.5-30.8	0.14-0.23	53.8-116	37.7-61.0	102-148	Ruiz-Fernández <i>et al.</i> (2004)
Kainji, Nigeria	Lago continental: desarrollo urbano y actividad industrial	n.d.	0.10-0.16	n.d.	23.4-30.3	22.8-26.1	0.10-0.22	17.7-20.8	22.8-26.4	43.9-71.5	Oyewale y Musa (2006)
Jebba, Nigeria	Lago continental: desarrollo urbano y actividad industrial	n.d.	0.14-0.15	n.d.	26.0-28.0	21.2-31.6	0.13-0.20	17.9-19.1	27.2-31.5	29.2-106	Oyewale y Musa (2006)
Ontario, Canadá	Lago continental: desarrollo urbano y actividad industrial	n.d.	0.2-17.0	n.d.	8.0-133	26.0-109	0.14-3.95	2.4-9.6	n.d.	n.d.	Crowder <i>et al.</i> (1989)
Kuetsjärvi, Rusia	Lago continental: refinería de níquel	n.d.	n.d.	0.5-3.4	n.d.	47.0-1499	0.02-0.42	5.0-52.0	n.d.	91.0-310	Dauvalter (2003)
Chapala, México	Lago de montaña: desarrollo urbano y agricultura.	0.3-1.3	6.0-9.4	0.2-0.3	43.7-57.6	23.4-28.3	0.3-1.0	18.8-31.0	86.2-111	85.1-198	En este trabajo
Santa Elena, México	Lago de montaña: pastoreo de ganado	0.3-0.5	5.0-8.2	0.2-0.3	42.3-53.4	8.7-15.0	<0.2	24.6-31.7	63.6-90.7	50.1-75.1	En este trabajo

En ambos lagos las concentraciones de As y V son similares a los registrados en los sedimentos no contaminados del lago Grande en Brasil (Oliveira *et al.*, 2009) y el Tedenac en Finlandia (Wren *et al.*, 1983), así como a las de los lagos con cuencas hidrográficas con poco desarrollo urbano del Woods en Norteamérica (Heit *et al.*, 1981) y el Biwa en Japón (Hiradata *et al.*, 2011). Los niveles de Cd y Pb, que son elementos asociados al transporte atmosférico de largo alcance (Steinnes, 1987), son comparables a los encontrados en el lago Mulwala que pertenece a una zona densamente urbanizada en Australia (Balwin y Howitt, 2007).

En seguida (tabla 12) se muestran los flujos de metales y metaloides calculados para los núcleo de sedimento de los lagos Santa Elena y Chapala.

Tabla 12. Flujos de los elementos potencialmente tóxicos en el lago Santa (SE2, SE3) y el lago Chapala (C1, C2). Los flujos de la mayoría de los elementos están dados en $\text{mg m}^{-2} \text{año}^{-1}$, excepto para Ca, Al, Fe y Mn que están en $\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$.

Elemento	SE2	SE3	C1	C2
Ca	n.d.	n.d.	1.2 - 33.4	18.0 - 57.0
Al	35.2 - 95.1	54.5 - 275.5	9.3 - 184.6	54.3 - 129.7
Fe	13.6 - 35.5	23.5 - 100.4	4.1 - 79.6	25.4 - 56.7
Li	11.3 - 34.1	21.0 - 98.2	4.8 - 100.1	30.6 - 72.6
Rb	38.4 - 109.2	68.5 - 311.6	6.8 - 139.7	45.5 - 104.0
Sr	43.5 - 105.4	85.5 - 316.6	14.1 - 319.1	127.0 - 445.9
Th	12.4 - 29.1	19.6 - 92.1	1.1 - 21.2	7.1 - 16.0
Ag	0.1 - 0.4	0.3 - 1.9	0.1 - 1.8	0.3 - 1.1
As	2.6 - 6.7	5.5 - 22.2	0.7 - 19.5	5.5 - 12.0
Cd	0.1 - 0.4	0.2 - 1.2	0.03 - 0.47	0.2 - 0.4
Cr	23.5 - 59.9	46.0 - 177.6	4.9 - 95.7	30.9 - 69.9
Cu	6.3 - 18.6	9.4 - 54.0	2.6 - 48.5	16.5 - 37.6
Hg	n.d.	n.d.	0.03 - 0.52	0.21 - 0.85
Mn	0.4 - 1.5	0.6 - 4.1	0.1 - 1.3	0.5 - 1.4
Ni	7.8 - 19.1	10.2 - 62.2	2.8 - 55.4	18.8 - 42.1
Pb	11.9 - 38.2	25.8 - 110.1	2.6 - 42.6	13.3 - 30.2
V	33.1 - 94.1	68.5 - 272.0	9.2 - 194.5	61.0 - 138.4
Zn	33.2 - 92.1	50.4 - 265.3	8.8 - 168.5	59.3 - 249.0

*n.d. = no disponible

Los flujos máximos de los elementos Sr, Ag, As, Cd, Cu, Ni y Zn fueron comparables en los sedimentos del lago Santa Elena y Chapala; no así para el Rb, Th y Cr que en general mostraron flujos $\geq 46\%$ en el lago Santa Elena.

10.4.2. Normalización

El cálculo de los factores de enriquecimiento (FE, sección 2.5.2) requiere del uso de un elemento de referencia que sea útil para compensar la variabilidad mineralógica y de tamaño de grano entre las capas sedimentarias (Loring y Rantala, 1992). Una estrategia para seleccionar al elemento de referencia es a través del análisis de correlación de Pearson. El elemento será elegido si sus concentraciones presenten una correlación significativa ($P \leq 0.05$) con la abundancia de la fracción fina de los sedimentos, esto es, el tamaño de partícula que corresponde a limos (2-63 μm) y arcillas ($< 2 \mu\text{m}$) (Loring, 1990; Summers *et al.*, 1996). Tanto en el lago Santa Elena como en Chapala se utilizó al aluminio como metal de referencia por ser un constituyente mayoritario de la fracción de arcillas, y por presentar la correlación significativa más alta ($r \geq 0.8$; $P \leq 0.05$) con la fracción de finos.

Adicionalmente se requiere de valores de referencia que representen las concentraciones naturales de los elementos a los cuales se pretende evaluar su nivel de enriquecimiento. Los valores de referencia o concentración natural (CN) para los elementos analizados en los núcleos SE2, SE3, C1 y C2 se muestran en la tabla 13. En el lago Santa Elena la CN se obtuvo de la determinación de la concentración de los metales y metaloides en la base de un núcleo de suelo recolectado en una zona aledaña al lago. En el lago Chapala los valores de CN se determinaron como el promedio de las concentraciones de los distintos elementos en las tres últimas secciones de sedimento de cada perfil (Binford, 1990). Asimismo en la tabla 13 se encuentra las concentraciones naturales de referencia (CNR) de la corteza terrestre para los elementos analizados (Taylor, 1964) así como los intervalos de los factores de enriquecimiento calculados. También se incluyeron los niveles TEL (nivel de umbral de efectos) y PEL (nivel de efectos probables) de la guía Internacional de la NOAA (Administración Nacional del Océano y la Atmósfera, por sus siglas en inglés) para contaminantes inorgánicos (Buchman, 2008).

Tabla 13. Concentraciones de metales y metaloides en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena y Chapala. Los valores están en mg kg⁻¹ excepto para Al, Fe y Ca (%).

Núcleo	Ca	Al	Fe	Li	Rb	Sr	Th	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
[•] C1	0.8-3.0	8.0-10.6	3.6-4.6	44.4-57.3	65.1-83.3	130-239	10.1-13.0	0.3-1.3	6.0-8.3	0.2-0.3	43.7-55.1	23.4-28.3	0.3-0.8	601-777	26.5-31.3	18.8-29.0	86.2-105.8	85.1-99.3
*CN	1.0	10.4	4.5	56.0	82.9	134	12.8	0.5	6.8	0.3	53.2	26.9	0.8	645	30.4	19.8	97.2	92.3
¹ FE	1.0-4.1		1.0-1.1	0.9-1.0	0.8-1.1	1.0-2.8	0.9-1.0	0.6-3.9	0.9-1.7	0.9-1.4	1.0-1.2	1.0-1.3	0.4-1.0	0.9-1.8	1.0-1.3	1.0-1.5	1.0-1.3	1.0-1.2
[•] C2	0.9-4.0	8.8-10.6	4.0-4.5	39.4-56.5	57.6-81.2	120-313	9.7-13.6	0.4-1.0	6.7-9.4	0.2-0.3	49.1-57.6	24.6-27.4	0.3-1.0	630-1009	27.8-31.4	19.7-31.0	95.9-111.4	86.1-198.9
CN	0.9	10.5	4.4	56.5	80.1	120	13.6	1.0	6.7	0.2	53	25.8	1.0	652	28.7	20.9	95.9	89.7
FE	1.0-5.3			0.7-1.1	0.7-1.1	1.0-3.0	0.7-1.0	1.0-2.7	1.0-1.6	0.9-1.6	1.0-1.2	1.0-1.3	0.3-1.0	1.0-1.9	1.0-1.3	1.0-1.5	1.0-1.2	1.0-2.7
[•] SE2	<0.8	6.3-8.0	2.4-3.1	21.9-27.4	77.4-86.6	77.6-99.5	21.7-29.0	0.2-0.3	5.0-6.4	0.2-0.3	43.4-53.0	11.7-14.4	<0.2	674-1145	11.7-18.1	24.6-30.0	63.6-74.9	61.0-75.1
CN	<0.8	6.3	2.4	21.9	77.4	93.0	24.5	0.2	6.2	0.2	43.8	11.7	<0.2	674	11.7	25.6	63.6	61.0
FE	<0.8		1.0-1.1	1.0-1.1	0.9-1.0	0.7-1.0	0.8-1.0	0.9-1.2	0.7-1.0	1.0-1.3	0.9-1.0	1.0-1.1	<0.2	1.0-1.5	1.0-1.3	0.8-1.0	0.9-1.0	0.9-1.0
[•] SE3	<0.8	5.6-7.7	2.4-3.0	21.1-28.0	70.9-86.6	75.2-95.3	18.6-26.3	0.3-0.5	5.0-8.2	0.2-0.3	42.3-53.4	8.7-15.0	<0.2	627-1299	9.7-17.6	26.9-31.7	69.9-90.7	50.1-73.7
CN	<0.8	5.6	2.4	22.2	70.9	91.4	18.6	0.3	6.2	0.2	51.8	8.7	<0.2	1299	9.7	31.3	83.3	50.1
FE	<0.8		0.8-1.1	0.8-1.0	0.9-1.0	0.6-1.0	0.9-1.1	0.7-1.5	0.6-1.1	1.0-1.3	0.6-1.0	1.0-1.4	<0.2	0.5-1.0	1.0-1.4	0.7-1.0	0.6-1.0	1.0-1.2
[†] CNR	4.1	n.d.	5.6	20.0	90.0	375.0	9.6	0.07	1.8	0.2	100.0	55.0	0.08	950.0	75.0	12.5	135.0	70.0
² TEL	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5.9	0.5	37.3	35.7	0.1	n.d.	18.0	35.8	n.d.	123.0
³ PEL	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17.0	3.5	90.0	197.0	0.4	n.d.	36.0	91.3	n.d.	315.0

[•] = Concentración del metal (min-max)

[†]CNR = Concentración natural de referencia (Taylor, 1964)

*CN = Concentración natural

¹FE = Factor de enriquecimiento (min-max)

²TEL = Nivel umbral de efectos (por sus siglas en Inglés) (Buchman, 2008)

³PEL = Nivel de efectos probables (por sus siglas en Inglés) (Buchman, 2008)

n.d. = no disponible

De acuerdo con la tabla 13, las concentraciones de Cr y As están por arriba del TEL en ambos lagos. Para el lago Chapala tanto los niveles de Ni como los de Zn están por arriba del TEL, mientras que las concentraciones de Hg se encuentran por arriba del PEL. Para el lago Santa Elena los niveles de Cr y Ni son mayores al TEL.

10.4.3. Factor de enriquecimiento

Para evaluar los factores de enriquecimiento de los elementos analizados (anexos 55-58) se utilizó la clasificación de Essien *et al.* (2009), donde se considera: a) el enriquecimiento menor es $1.5 < EF < 3$, b) el enriquecimiento moderado es $3 < EF < 5$ y c) un fuerte enriquecimiento es $EF > 5$.

En los núcleos recolectados en el lago Santa Elena se observó un enriquecimiento moderado para Cr y un enriquecimiento menor para Ag, Ni y V (figura 52). El resto de los elementos analizados (Fe, Li, Rb, Zn, As, Cd, Cu, Pb, Sr, Th) presentaron valores de $FE \leq 1.4$, lo que indicó que esos elementos no se encuentran enriquecidos en relación a sus niveles naturales (Yilgor *et al.*, 2012).

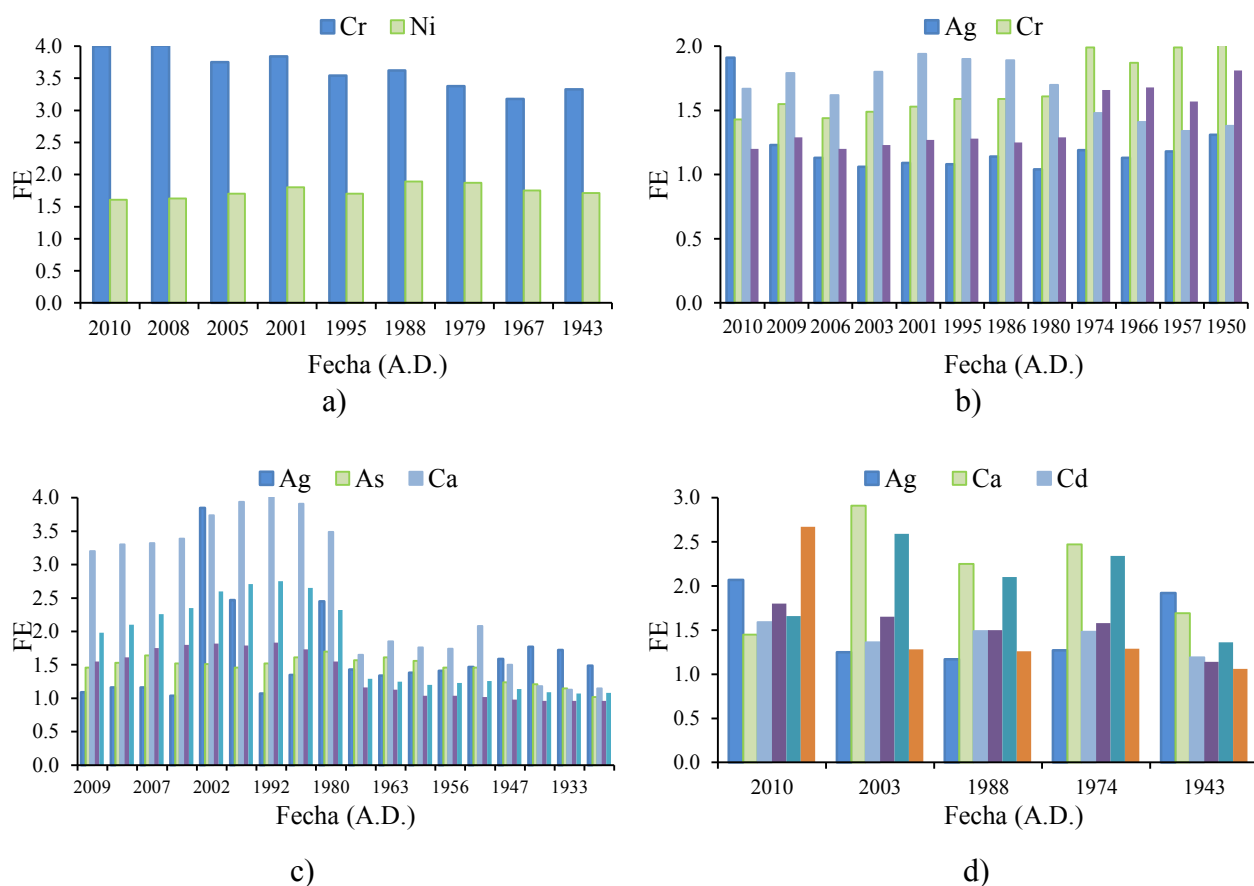


Figura 52. Reconstrucción histórica del enriquecimiento (FE) de metales y metaloides en los núcleos de sedimento de los lagos Santa Elena y Chapala: a) SE2, b) SE3, c) C1 y d) C2.

Lo anterior se relaciona con los pocos asentamientos humanos alrededor del lago, además de que la mayoría de los campos en el área se utilizan casi exclusivamente para el pastoreo de ganado vacuno. Para el lago Chapala los núcleos C1 y C2 mostraron un enriquecimiento moderado para Ca y Ag, y un enriquecimiento menor para Sr, Zn, Mn, As y Cd (figura 52). El enriquecimiento de Ca en los sedimentos de Chapala podría relacionarse con los afloramientos de cilindros calcáreos en la cuenca del lago (Zárate del Valle *et al.*, 2001); además, algunos autores (de Anda *et al.*, 2005; Ramírez-Sánchez *et al.*, 2007) han encontrado valores altos de alcalinidad ($248 \pm 65 \text{ mg L}^{-1}$) y de dureza total ($189 \pm 51 \text{ mg L}^{-1}$) como CaCO_3 en el sistema acuático, lo que sugiere que las aguas del lago son completamente alcalinas y están supersaturadas en CaCO_3 . Por otro lado, el enriquecimiento moderado de Ag indica la presencia de descargas de aguas residuales industriales y domésticas hacia el lago (Wenchuan *et al.*, 2001; Sindern *et al.*, 2007; Samhan *et al.*, 2014).

Al realizar la comparación de las concentraciones de los elementos potencialmente tóxicos con la guía de referencia de la NOAA (Buchman, 2008) se observó que los niveles de algunos elementos (p.ej. As, Cr, Ni y Hg) se encontraban por arriba de los niveles TEL y PEL. Sin embargo, los FE del lago Santa Elena y Chapala no muestran valores que indiquen un enriquecimiento alto ($\text{EF} \leq 2.0$). Esto implica que las concentraciones naturales de éstos elementos en esas regiones son lo suficientemente altas para alcanzar niveles potencialmente tóxicos de acuerdo con Buchman (2008). Así, el incremento en la intensidad de los procesos erosivos provocada por los cambios de uso de suelo alrededor de los cuerpos de agua, pudiera inducir un riesgo toxicológico debido a la latente transferencia de estos metales hacia la biota y la población humana a través del consumo de peces.

10.5. Contaminantes orgánicos persistentes

10.5.1. Concentraciones y flujos de bifenilos policlorados

Se analizaron 209 congéneres de bifenilos policlorados (PCB) en las muestra de sedimento de los lagos Santa Elena y Chapala. Los límites de detección del método se muestran en el anexo 59. En Santa Elena únicamente fue posible cuantificar las concentraciones (ng g^{-1}) de 20 congéneres: PCBs 8, 17, 18/31, 41/71, 42, 43/52, 44, 47/48/62/65/75, 49, 56/60, 64/72, 66, 70, 74, 84/92, 88/95, 101/113, 110, 121. Los grados de cloración de estos PCBs van del CB2 al CB5 (tabla 14).

Tabla 14. Concentraciones de PCBs (ng g^{-1}) en los núcleos de sedimentos del lago Santa Elena.

Muestra	CB2	CB3	CB4	CB5	Σ PCBs
SE3 0.0-0.5	2.8	4.6	7.4	0.6	15.4
SE3 0.5-1.0	0.8	2.9	5.1	0.4	9.3
SE3 2.0-3.0	0.9	2.3	3.3	0.3	6.8
SE3 9.5-10.5	0.5	0.9	1.7	0.1	3.1
SE3 17.5-18.5	0.2	0.3	0.9	< Ld	1.5
Min	0.2	0.3	0.9	0.1	1.5
Max	2.8	4.6	7.4	0.6	15.4
SE2 0.0-0.5	2.7	4.2	4.5	< Ld	11.5
SE4 0.0-0.5	2.3	4.1	6.2	0.4	13.0
LD	0.2	0.2	0.2	0.2	
TEL ^a	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	34.1
LEL ^a	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	277

Ld = límite de detección

n.d. = no disponible

^aTEL = Nivel umbral de efectos (Buchman, 2008)

^aPEL = Nivel de efectos probables (Buchman, 2008).

En el lago Chapala se determinaron las concentraciones de PCBs en los núcleos de sedimento C3 y C4, así como en las secciones superficiales de los núcleos C1 y C2 (tabla 15), cuantificando 34 congéneres: PCBs 8, 15, 16, 17, 18, 25, 26, 28/31, 32, 41/71, 42, 43/52, 44, 47/48/62/65/75, 56/60, 61/63, 64/72, 66, 70, 74, 87/111, 88/95, 99, 101/113, 110, 118, 126, 132/153/168, 138/158, 139/149, 160/163/164, 170/190, 180/193, 182/187. El grado de cloración de los congéneres medidos en el lago Chapala se encuentra en el intervalo de grado de cloración del CB2 al CB7.

Tabla 15. Concentraciones de PCBs (ng g⁻¹) en los núcleos de sedimentos del lago de Chapala.

Muestra	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	ΣPCBs
C3 0.0-1.0	2.9	7.9	15.3	1.0	<Ld	<Ld	27.1
C3 7.0-0.8	2.1	5.0	4.8	0.5	<Ld	<Ld	12.3
C3 15-16	1.8	2.6	3.0	<Ld	<Ld	<Ld	7.5
C3 22-23	1.3	1.8	2.3	0.1	<Ld	<Ld	5.4
C3 30-31	1.2	1.1	0.8	<Ld	<Ld	<Ld	2.3
C3 38-39	1.0	1.9	2.2	0.2	<Ld	<Ld	5.2
C3 45-46	0.9	1.3	1.6	<Ld	<Ld	<Ld	3.8
C3 69-70	1.4	2.2	2.3	0.2	<Ld	<Ld	6.1
C3 84-85	1.3	1.8	1.8	0.2	<Ld	<Ld	5.1
Min	0.9	1.1	0.8	0.1	n.d.	n.d.	
Max	2.9	7.9	15.3	0.5	n.d.	n.d.	
C4 0-1	0.5	1.2	2.5	7.1	7.0	6.1	24.3
C4 2-3	0.2	0.4	0.2	<Ld	<Ld	<Ld	0.8
C4 4-5	0.7	0.6	<Ld	<Ld	0.3	<Ld	1.5
C4 6-7	0.3	0.4	0.6	0.3	0.2	0.2	2.0
C4 8-9	0.4	0.5	0.7	0.1	0.2	0.3	2.3
C4 10-11	0.1	0.4	<Ld	0.1	0.1	<Ld	0.7
C4 12-13	0.04	0.3	0.1	0.02	<Ld	0.1	0.5
C4 14-15	0.1	0.3	<Ld	<Ld	0.1	<Ld	0.4
C4 16-17	0.4	2.4	1.4	<Ld	<Ld	<Ld	4.2
C4 18-19	0.3	0.9	0.2	<Ld	<Ld	<Ld	1.3
C4 20-21	0.6	2.0	1.0	2.4	0.2	<Ld	6.2
C4 22-23	0.4	0.9	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	1.2
C4 24-25	0.2	0.3	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	0.5
C4 30-31	0.3	0.6	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	0.9
C4 32-33	0.2	0.3	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	0.6
C4 34-35	0.2	0.2	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	0.4
C4 38-39	0.3	0.6	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	0.9
C4 40-41	0.5	1.0	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	2.0
C4 42-43	0.4	0.5	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	0.9
C4 44-45	0.3	0.3	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	0.6
C4 46-47	0.1	0.2	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	0.3
Min	0.04	0.2	0.1	0.02	0.1	0.1	
Max	0.7	2.4	2.5	7.1	7.0	6.1	
C1 0.0-1.0	2.0	3.2	3.9	<Ld	<Ld	<Ld	9.0
C2 0.0-1.0	1.9	4.4	5.0	<Ld	<Ld	<Ld	11.3
Ld	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
TEL ^a	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	34.1
LEL ^a	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	277

Ld = límite de detección

n.d. = no disponible

^aTEL = Nivel umbral de efectos (Buchman, 2008)

^aPEL = Nivel de efectos probables (Buchman, 2008).

En ambos lagos la concentración total de PCBs (Σ PCBs) representa la sumatoria de los congéneres observados. Los valores para Santa Elena se encuentran entre 11.5 y 15.4 ng g^{-1} , mientras que en Chapala fueron de 9.0 y 27.1 ng g^{-1} . En la figura 53 se muestran las concentraciones de los homólogos de PCBs en los núcleos de sedimento en orden cronológico.

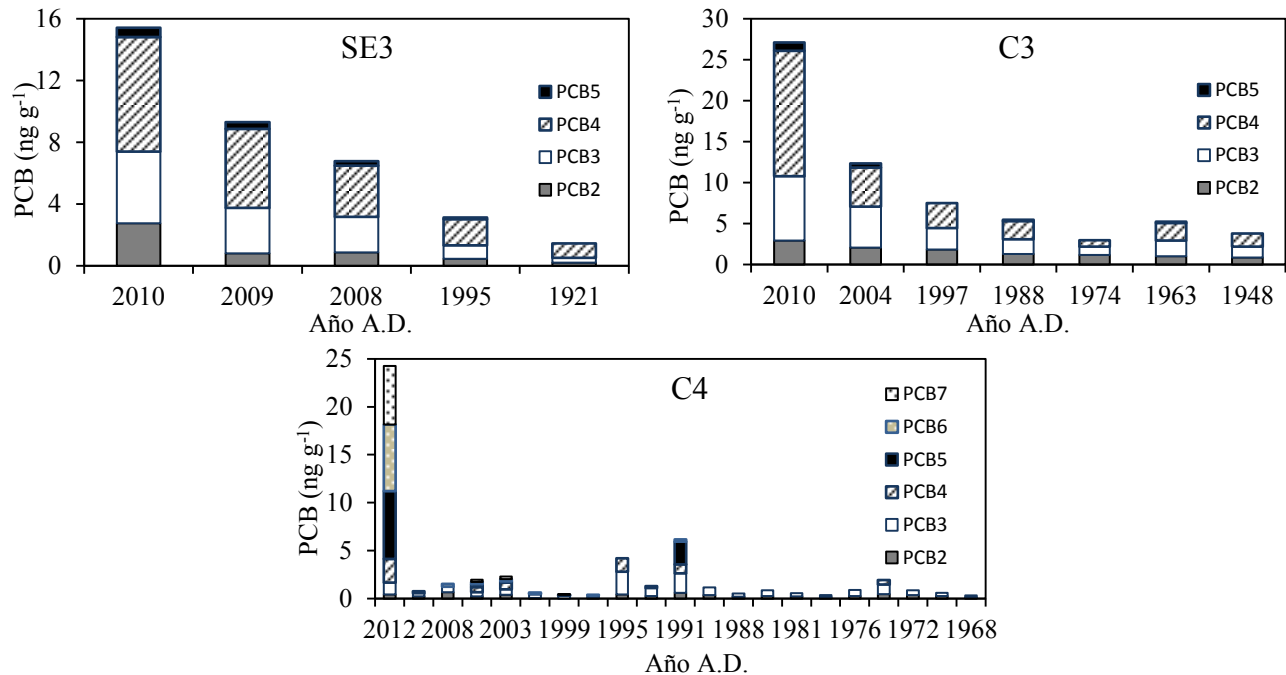


Figura 53. Reconstrucción histórica de la concentración de homólogos de PCBs en los sedimentos del lago Santa Elena (SE3) y Chapala (C3 y C4).

La presencia dominante de los congéneres de PCBs con baja cloración (CB2-CB7) en los registros sedimentarios analizados, es indicativo del transporte atmosférico de largo alcance, ya que en general, los PCBs se volatilizan del agua y los suelos en climas cálidos para ser transportados por las corrientes de aire hacia zonas más elevadas y frías, de acuerdo con la teoría del fraccionamiento global (Wania y Mackay, 1993). A través de este proceso los congéneres de baja cloración pueden ser detectados lejos de su fuente de emisión, mientras que los congéneres de alta cloración (CB8-CB10) se depositan cerca de su origen ya que tienen una mayor afinidad a las partículas (Erickson, 2001).

De acuerdo con la guía de referencia para contaminantes orgánicos en sedimentos lacustres de la NOAA (Buchman, 2008), las concentraciones de PCBs en los sedimentos superficiales de los lagos Santa Elena y Chapala están por debajo del nivel umbral de efectos de 31.62 ng g^{-1} (TEL), que es la concentración límite en sedimentos lacustres a partir de la cual se observan efectos en la biota. En la tabla 16 se muestra que las concentraciones de PCBs en los lagos Santa Elena y Chapala son

comparables con los valores publicados por otros autores para sistemas no contaminados en el mundo, como Frignani *et al.* (2001) en la laguna de Venecia en Italia (0.6-18.4 ng g⁻¹) y Hu *et al.* (2010) en el lago Baiyangdian en China (2.3-7.6 ng g⁻¹). Asimismo son comparables con valores previamente publicados en México, como los determinados por Noreña-Barroso *et al.* (1998) en la bahía de Chetumal (1.2-9.3 ng g⁻¹) y Piazza *et al.* (2008) en la costa del Pacífico Mexicano (7.1-36 ng g⁻¹).

Tabla 16. Concentraciones de PCBs (ng g⁻¹) en sedimentos del mundo y de México.

Sitio	PCB	Referencia
Lago Baikal, Rusia	0.1 - 6.1	Iwata <i>et al.</i> (1995)
Estuario Clyde, Escocia	0.5 - 500	Kelly y Campbell (1995)
Lagos Maggiore, Como y Garda, Italia	38 - 822	Provini <i>et al.</i> (1995)
Mar Baltico	0.1 - 11	Dannenberger (1996)
Vietnam (Costa norte)	0.5 - 28.1	Nhan <i>et al.</i> (1999)
Mar Adriático	6 - 2203	Picer (2000)
Laguna de Venecia, Italia	0.6 - 18.4	Fignani <i>et al.</i> (2001)
Mar Negro	0.1 - 72	Fillmann <i>et al.</i> (2002)
Bahía Narragansett, USA	0.5 - 850	Hartmann <i>et al.</i> (2005)
Lagos Ny-Ålesund, Svalbard, Noruega	27 - 711	Jiao <i>et al.</i> (2009)
Lago Thur, Suiza	0.4 - 3.8	Bogdal <i>et al.</i> (2010)
Lago Baiyangdian, China	2.3 - 7.6	Hu <i>et al.</i> (2010)
Lago Muchigan, USA	53 - 35000	Martinez <i>et al.</i> (2010)
Lagos glaciales, Nepal	1.16 ± 0.71	Guzzella <i>et al.</i> (2011)
Lago del parque Echo, USA	48 - 150	Vasquez <i>et al.</i> (2011)
México		
Golfo de México	<0.01 - 189	Sericano <i>et al.</i> (1990)
Bahía San Quintín	<10	Gutiérrez-Galindo <i>et al.</i> (1996)
Bahía Chetumal	1.2 - 9.3	Noreña-Barroso <i>et al.</i> (1998)
Ciudad de México	64 - 621	Piazza <i>et al.</i> (2008)
Costa del Pacífico	7.1 - 36	Piazza <i>et al.</i> (2008)
Lago Espejo de los Lirios	64 - 253	Piazza <i>et al.</i> (2009)
Laguna de Términos	0.02 - 0.36	Carvalho <i>et al.</i> (2009)
Río Colorado	0.07 - 4.54	Lugo-Ibarra <i>et al.</i> (2011)
Lago Santa Elena	1.5-15.4	En este estudio
Lago Chapala	0.3-27.1	En este estudio

En la figura 54 se presenta los perfiles de concentración de PCBs totales del núcleo SE3 del lago Santa Elena y C3 del lago Chapala. En el perfil del SE3 se observó un incremento en las concentraciones desde la base del núcleo (1.5 ng g^{-1}) hasta las secciones más recientes (15.4 ng g^{-1}). Asimismo para el lago Chapala las concentraciones de PCBs en el núcleo C3 también aumentaron paulatinamente desde la base del perfil hacia la superficie, donde se ubicaron las concentraciones más altas ($7.5\text{-}21.7 \text{ ng g}^{-1}$).

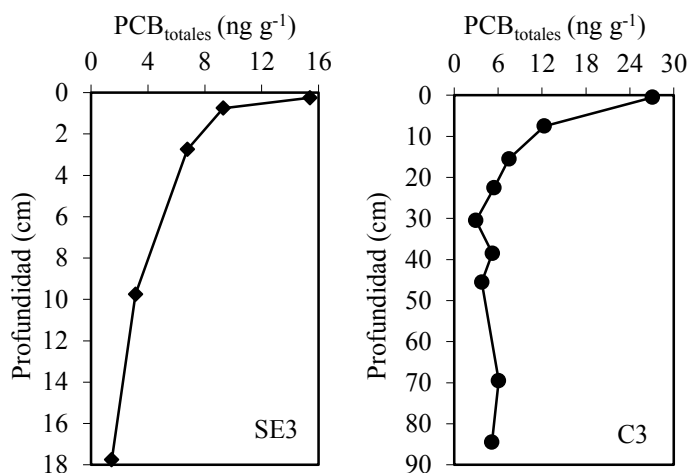


Figura 54. Perfiles de las concentraciones de PCB totales en los núcleos de sedimento SE3 y C3.

Ahora bien, los flujos de PCB totales en el núcleo SE3 fueron de 1.1 a $5.5 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$, mientras que para el lago de Chapala el núcleo C3 presentó flujos de 0.2 a $4.3 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y el C4 los flujos más altos de 0.1 a $8.2 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (anexo 60). Los flujos de la $\sum\text{PCBs}$ son semejantes a los valores reportado por Mugnai *et al.* (2010) para la laguna de Venecia ($0.1\text{-}9.7 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$), pero mucho más pequeños que los reportados por Piazza *et al.* (2009) en el lago Espejo de los Lirios ($103\text{-}983 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y Pozo *et al.* (2007) para los lagos Chungará ($2373 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$), Laja ($640 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y Castor ($4550 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en Chile.

10.5.2. Concentraciones y flujos de bifenilos polibromados

En los sedimentos de los lagos Santa Elena y Chapala se analizaron 38 congéneres de los bifenilos polibromados (PBDE). Los límites de detección del método se muestran en el anexo 61. Los congéneres que lograron ser cuantificados fueron: BDE-28, BDE-47, BDE-99 y BDE-100. Estos PBDEs son catalogados entre los congéneres menos bromados, y han sido observados en zonas apartadas lejos de su fuente de producción o uso, como en el Ártico y en áreas remotas de Norteamérica y Canadá (Hale *et al.*, 2003). Las concentraciones de los congéneres y la sumatoria de PBDEs totales en las muestras de sedimento de los dos lagos se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Concentraciones de PBDEs (ng g^{-1}) en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena y Chapala.

Muestra	BDE-28	BDE-47	BDE-99	BDE-100	Σ PBDEs
SE3 0.0-0.5	< Ld	1.0	< Ld	< Ld	1.0
SE3 0.5-1.0	< Ld	1.6	< Ld	0.2	1.8
SE3 2.0-3.0	0.1	1.1	< Ld	0.1	1.3
SE3 9.5-10.5	< Ld	0.4	< Ld	< Ld	0.4
SE3 17.5-18.5	< Ld	0.5	< Ld	< Ld	0.5
Min	n.d.	0.4	n.d.	0.1	0.4
Max	0.1	1.6	n.d.	0.2	1.8
SE2 0.0-0.5	< Ld	0.7	< Ld	< Ld	0.7
SE4 0.0-0.5	< Ld	0.9	< Ld	< Ld	0.9
C3 0.0-1.0	0.2	1.3	0.4	0.6	2.5
C3 7.0-0.8	< Ld	0.4	< Ld	< Ld	0.4
C3 15-16	< Ld	1.1	< Ld	< Ld	1.1
C3 22-23	< Ld	0.4	< Ld	< Ld	0.4
C3 30-31	< Ld	0.2	< Ld	< Ld	0.2
C3 38-39	< Ld	0.5	< Ld	< Ld	0.5
C3 45-46	< Ld	< Ld	< Ld	< Ld	n.d.
C3 69-70	< Ld	< Ld	< Ld	< Ld	n.d.
C3 84-85	< Ld	< Ld	< Ld	< Ld	n.d.
Min	n.d.	0.2	n.d.	n.d.	0.2
Max	0.2	1.3	0.4	0.6	2.5
C1 0.0-1.0	< Ld	0.6	< Ld	< Ld	0.6
C2 0.0-1.0	< Ld	0.4	< Ld	< Ld	0.4
*Ld	0.2-0.4	0.2-0.4	0.3-0.6	0.3-0.6	

*Ld = límite de detección

Para el lago Santa Elena las concentraciones de PBDEs totales en las muestras superficiales de los núcleos SE2, SE3 y SE4 varían entre 0.7 y 1.0 ng g^{-1} , mientras que para Chapala los núcleos C1, C2 y C3 presentaron concentraciones entre 0.4 y 2.5 ng g^{-1} . Los intervalos de concentración PBDEs en los dos lagos coinciden con los datos publicados por algunos autores (Zheng *et al.*, 2004; Kohler *et al.*, 2008; Bogdal *et al.*, 2010; Bartrons *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2011) para sedimentos lacustres de distintas partes del mundo (tabla 18).

Tabla 18. Concentraciones de PBDEs (ng g⁻¹) en sedimentos del mundo.

Sitio	PBDE	Referencia
Río y estuarios de Japón	21 - 59	EAJ (1991)
Estuario del río Perla, China	0.15 - 13.03	Zheng <i>et al.</i> (2004)
Lago DV09, Canadá	0.17 - 0.25	Stern <i>et al.</i> (2005)
Zona costera, Korea del Sur	0.45 - 494	Moon <i>et al.</i> (2006)
Zona costera, Kuwait	80 - 3800	Gevao <i>et al.</i> (2006)
Lago Maggiore, Italia	0.06 - 27	Vives <i>et al.</i> (2007)
Lago Greifensee, Suiza	0.14 - 7.2	Kohler <i>et al.</i> (2008)
Lagos Ny-Ålesund, Svalbard, Noruega	0.024 - 0.970	Jiao <i>et al.</i> (2009)
Lago Thur, Suiza	0.1 - 5.1	Bogdal <i>et al.</i> (2010)
Lagos Pirineos y Trata, Australia	0.006 - 50.88	Bartrons <i>et al.</i> (2011)
Lago Muskegon, USA	0.98 - 3.9	Bradley <i>et al.</i> (2011)
Lago White, USA	0.39 - 2.4	Bradley <i>et al.</i> (2011)
Lago Ontario, USA	9.5 - 14	Shen <i>et al.</i> (2011)
Lago Santa Elena, México	0.4-1.8	En este estudio
Lago Chapala, México	0.2-2.5	En este estudio

En la figura 55 se presenta los perfiles de concentración de PBDEs del núcleo SE3 del lago Santa Elena y C3 del lago Chapala. En el perfil SE3 se observó que las concentraciones de PBDEs totales aumentan desde 0.5 ng g⁻¹ en la base, hasta 1.8 ng g⁻¹ en la sección sub-superficial, para disminuir nuevamente en la superficie del perfil a 1.0 ng g⁻¹. En el núcleo C3 las concentraciones de PBDEs totales también aumentan paulatinamente desde los 39 cm de profundidad (0.02 ng g⁻¹) hacia la superficie (2.5 ng g⁻¹). Sin embargo, en las secciones del fondo del perfil (sección 45-46, 69-70 y 84-85) las concentraciones de PBDEs están por debajo del límite de detección de la técnica (tabla 17). Lo anterior se debe a que la mezcla comercial más utilizada de PBDEs, llamada penta-BDEs (contiene al congénere BDE-99) fue producida desde finales de 1970 (De Boer *et al.*, 2000) y los estratos del fondo del perfil C3 corresponden de acuerdo con la radiocronología con ²¹⁰Pb, a fechas anteriores a 1963±5 A.D.

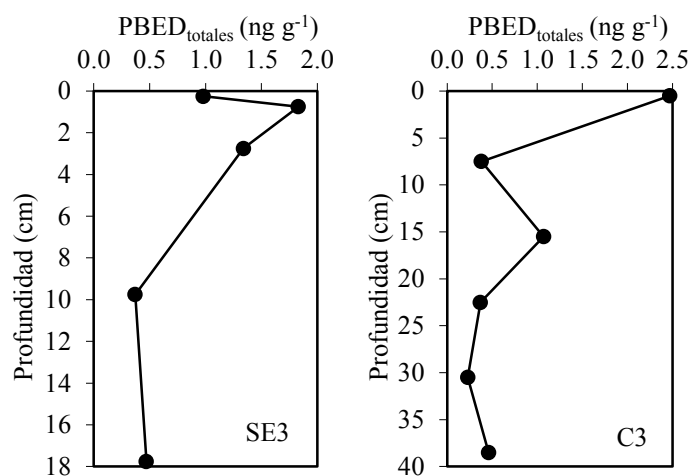


Figura 55. Perfiles de las concentraciones de PBED totales en los núcleos de sedimento SE3 y C3.

Por otro lado, los flujos de PBDEs en el lago Santa Elena (SE3) fueron de 0.13 a 0.66 $\text{ng cm}^{-2} \text{año}^{-1}$, mientras que en el lago Chapala fueron de 0.03 a 0.39 $\text{ng cm}^{-2} \text{año}^{-1}$ (anexo 62). Estos flujos son comparables a los publicados por Helm *et al.* (2011) para el lago Simcoe en Canadá (0.66 $\text{ng cm}^{-2} \text{año}^{-1}$) y por Wu *et al.* (2012) para el lago Qinghai en China (0.58 $\text{ng cm}^{-2} \text{año}^{-1}$), pero más altos que los publicados por Usenko *et al.* (2007) para lagos en áreas remotas en Norteamérica (0.016-0.29 $\text{ng cm}^{-2} \text{año}^{-1}$).

10.5.3. Concentraciones y flujos de hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los núcleos de sedimento del lago Santa Elena (SE3) y del Chapala (C3, C4) presentaron concentraciones de PAHs entre 118.7 a 363.4 ng g^{-1} y 95.4 a 1482.3 ng g^{-1} , respectivamente (tabla 19). Los límites de detección del método, así como el porcentaje de recuperación de los estándares subrogados se muestran en los anexos 63 y 64.

Tabla 19. Concentraciones de PAHs (ng g⁻¹) en los sedimentos de los lagos Santa Elena y Chapala.

Muestra	Prof. (cm)	PAHs Bajo peso molecular								PAHs Alto peso molecular								ΣPAHs	
		Na	Acy	Ace	Fluo	Phe	Anth	Flt	Py	B(a)Ant	Chry	B(b+k)Flt	B(a)Py	IPy	Db(a,h)Ant	B(g,h,i)Pe	Pe		B(e)Py
SE3	0.25	12.0	11.3	2.6	3.3	103	13.4	53.0	80.6	23.9	25.1	14.1	11.7	<Ld	<Ld	<Ld	2.6	20.8	363.4
SE3	0.75	16.2	28.5	<Ld	24.8	28.7	1.4	12.3	30.1	<Ld	24.1	1.2	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	2.1	<Ld	177.3
SE3	2.5	18.0	16.7	12.7	18.2	28.2	1.4	8.9	19.1	<Ld	17.8	1.3	0.7	<Ld	<Ld	<Ld	0.9	<Ld	142.9
SE3	10.0	25.8	5.0	<Ld	<Ld	49.4	3.4	29.3	26.8	<Ld	15.9	7.2	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	2.4	<Ld	162.8
SE3	18.0	6.8	2.7	<Ld	<Ld	64.1	5.5	13.7	21.5	<Ld	4.3	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	1.1	<Ld	118.7
Min		6.8	2.7	<Ld	<Ld	28.2	1.4	8.9	19.1	<Ld	4.3	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	0.9	<Ld	118.7
Max		25.8	28.5	12.7	24.8	103	13.4	53.0	80.6	23.9	34.1	14.1	11.7	<Ld	<Ld	<Ld	2.6	20.8	363.4
SE2	Superficie	12.9	12.9	<Ld	<Ld	92.5	19.9	74.5	167	9.0	11.0	4.7	<Ld	<Ld	<Ld	<Ld	2.2	17.4	404.5
SE4	Superficie	12.0	39.2	62.5	32.8	52.3	10.2	68.4	68.0	27.8	39.4	41.4	7.3	<Ld	<Ld	<Ld	27.2	8.3	481.6
C3	0.5	13.0	10.2	18.7	19.3	151	33.9	235	899	8.9	82.6	4.4	5.7	<Ld	<Ld	<Ld	47.2	3.3	1482.3
C3	7.5	50.7	10.9	3.7	10.4	79.8	12.3	24.1	39.2	1.0	5.3	4.0	33.9	<Ld	<Ld	<Ld	105	12.5	275.2
C3	15.5	11.4	12.1	23.9	32.6	19.4	9.8	11.3	12.3	0.4	2.5	1.5	4.6	<Ld	<Ld	<Ld	13.9	2.2	141.8
C3	22.5	48.1	9.0	5.2	8.9	59.5	28.9	25.7	33.2	1.1	9.4	7.9	38.2	<Ld	<Ld	<Ld	144	10.5	275.1
C3	30.5	11.7	3.7	<Ld	4.6	49.5	10.1	21.4	25.4	0.8	4.7	5.2	27.2	<Ld	<Ld	<Ld	141	2.8	164.4
C3	38.5	39.2	9.7	<Ld	8.2	15.8	5.0	5.7	7.5	0.8	3.5	<Ld	20.4	<Ld	<Ld	<Ld	90.6	<Ld	115.7
C3	45.5	8.9	4.8	4.9	5.3	17.2	6.3	7.6	6.6	0.7	4.2	3.2	25.7	<Ld	<Ld	<Ld	161	2.3	95.4
C3	69.5	30.0	7.5	11.1	6.8	17.5	8.5	6.5	6.5	0.7	2.9	1.6	15.6	<Ld	<Ld	<Ld	134	<Ld	115.2
C3	84.5	62.5	20.1	<Ld	<Ld	26.2	11.5	11.4	11.8	<Ld	<Ld	<Ld	26.9	<Ld	<Ld	<Ld	156	<Ld	170.6
Min		8.9	3.7	3.7	4.6	15.8	5.0	5.7	6.5	0.4	2.5	1.5	4.6	-	-	-	13.9	2.2	95.4
Max		62.5	20.1	23.9	32.6	151	33.9	235	899	8.9	82.6	7.9	4.6	-	-	-	161	12.5	1482.3
C4	0.5	63.0	6.4	1.5	8.9	16.8	5.9	19.0	21.8	15.4	23.4	47.0	16.9	22.4	5.4	23.3	327	24.4	648.6
C4	2.5	40.9	2.4	1.1	7.0	12.3	2.5	9.6	15.0	2.5	7.2	6.5	2.3	3.2	1.2	4.4	380	4.8	503.1
C4	4.5	57.0	2.7	1.4	8.1	14.2	2.8	10.3	18.4	2.9	9.4	6.2	2.1	2.8	0.8	4.1	359	4.7	507.4
C4	6.5	47.6	2.8	1.1	7.3	12.1	2.8	8.6	12.2	2.6	6.3	6.7	2.5	3.6	1.7	4.5	391	5.2	518.7
C4	8.5	32.7	2.2	1.0	5.1	10.4	2.3	6.9	10.0	1.9	5.4	5.9	2.1	3.4	1.1	3.9	306	4.1	404.4
C4	10.5	24.6	1.7	0.7	3.4	7.0	1.5	4.9	8.0	6.1	6.2	8.7	1.6	2.5	0.2	3.8	287	3.4	370.9
C4	12.5	18.2	1.5	0.4	2.8	6.3	1.2	4.3	6.9	5.0	5.1	0.5	1.2	2.3	0.1	3.2	298	2.9	360.1
C4	14.5	25.1	1.6	1.1	3.6	8.3	1.6	5.6	8.7	6.5	6.6	9.4	1.3	0.1	0.4	3.4	412	3.3	498.4
C4	16.5	18.4	1.6	0.6	2.5	6.9	1.3	4.1	7.6	5.6	5.7	6.3	1.1	2.5	0.2	3.5	295	3.3	366.3
C4	18.5	18.9	1.9	0.5	2.5	7.2	1.2	4.1	8.6	5.8	5.9	7.5	1.3	2.4	0.1	4.0	396	3.3	471.1
C4	20.5	16.5	1.4	1.2	2.4	6.6	1.3	3.3	7.6	4.9	5.0	6.7	1.1	2.5	0.5	3.5	345	3.1	412.4
C4	22.5	24.3	1.8	1.5	2.1	6.4	1.4	3.6	7.3	4.7	4.8	5.1	1.4	2.4	0.5	3.2	318	2.9	391.2
C4	24.5	18.1	1.2	0.5	1.8	5.2	1.1	4.5	6.7	3.6	3.6	4.9	1.2	1.9	1.8	2.5	305	2.7	366.2
C4	26.5	13.6	1.1	0.9	1.4	4.4	0.8	2.6	4.3	3.1	3.2	4.0	0.7	1.7	0.2	1.9	319	1.9	364.8
C4	28.5	9.6	2.8	0.7	1.8	9.3	3.3	7.9	9.9	11.6	11.9	58.3	10.3	15.1	3.4	14.9	390	15.1	576.1
C4	30.5	20.8	1.3	1.0	2.1	5.6	1.1	2.7	4.4	3.6	3.6	5.6	0.8	1.4	0.0	1.9	377	1.8	434.5
C4	32.5	25.9	2.1	1.2	2.6	6.7	1.3	3.7	5.4	3.8	3.9	5.7	0.7	1.5	0.0	2.1	415	2.1	484.0
C4	34.5	19.8	1.3	0.9	2.0	5.9	0.7	3.4	5.0	3.2	3.3	5.3	0.5	1.5	0.3	1.7	375	0.1	430.0
C4	38.5	17.9	1.2	0.7	3.4	4.9	0.9	2.6	3.8	3.2	3.3	4.7	0.4	1.0	0.2	1.3	361	0.4	410.8
C4	40.5	29.3	1.5	0.7	3.9	7.2	1.2	3.5	4.5	3.8	3.9	5.5	0.5	1.5	0.5	1.5	442	1.7	512.3
C4	42.5	10.0	0.8	0.9	2.7	5.9	1.2	3.1	3.2	4.3	4.4	8.1	0.8	2.4	1.1	2.1	608	2.2	660.9
C4	44.5	18.5	0.9	1.1	3.0	5.4	0.9	2.6	3.2	3.2	3.3	5.5	0.4	0.9	1.0	0.2	421	1.3	471.9
C4	46.5	14.8	0.9	0.4	2.5	5.2	1.0	3.0	3.7	3.5	3.6	5.8	0.5	1.5	0.2	0.7	438	1.6	487.2
Min		9.6	0.8	0.4	1.4	4.4	0.7	2.6	3.2	1.9	3.2	0.5	0.4	0.1	0.0	0.2	287	0.1	360.1
Max		63.0	6.4	1.5	8.9	16.8	5.9	19.0	21.8	15.4	23.4	58.3	16.9	22.4	5.4	23.3	608	24.4	660.9
C1	Superficie	12.3	6.0	0.0	15.4	85.5	17.1	49.8	93.9	1.2	4.3	4.6	7.9	<Ld	<LD	110	1.1	2.6	411.8
C2	Superficie	12.4	5.8	3.5	14.2	34.6	7.1	16.1	25.2	0.9	6.0	4.9	19.8	<Ld	<LD	85.6	4.6	4.9	245.6
L.d		2.1	2	3.5	1.8	1.7	1.9	3.2	3.6	1.9	2.2	2	3.1	2.6	1.3	2.4	4.4	1.9	-
TEC ^a		34.6	5.87	6.71	21.2	41.9	46.9	111	53	31.7	57.1	n.d.	31.9	n.d.	6.22	n.d.	n.d.	n.d.	1,610
LEL ^a		n.d.	n.d.	n.d.	190	560	220	750	490	320	340	240	370	200	60	170	n.d.	n.d.	4,000

Ld = límite de detección; n.d. = no disponible; ^aTEC = Concentración de efecto umbral (Buchman, 2008); ^aPEL = Nivel de efectos probables (Buchman, 2008).

Los congéneres IPy (indeno (1,2,3-c, d) pireno), Db (a, h) Ant (dibenzo (a, h) antraceno y B (g, h, i) Pe (benzo (g, h, i) perileno) solamente fueron detectados en el perfil C4 y en las secciones superficiales de los núcleos C1 y C2. En la figura 56 se presentan los perfiles de la sumatoria de los 16 PAHs considerados como prioritarios por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en Ingles), donde se observa que la tendencia general de los perfiles del lago Santa Elena (SE3) y el lago de Chapala (C3, C4) es hacia el incremento de las concentraciones de los PAHs totales, desde la base hasta la superficie de los núcleos.

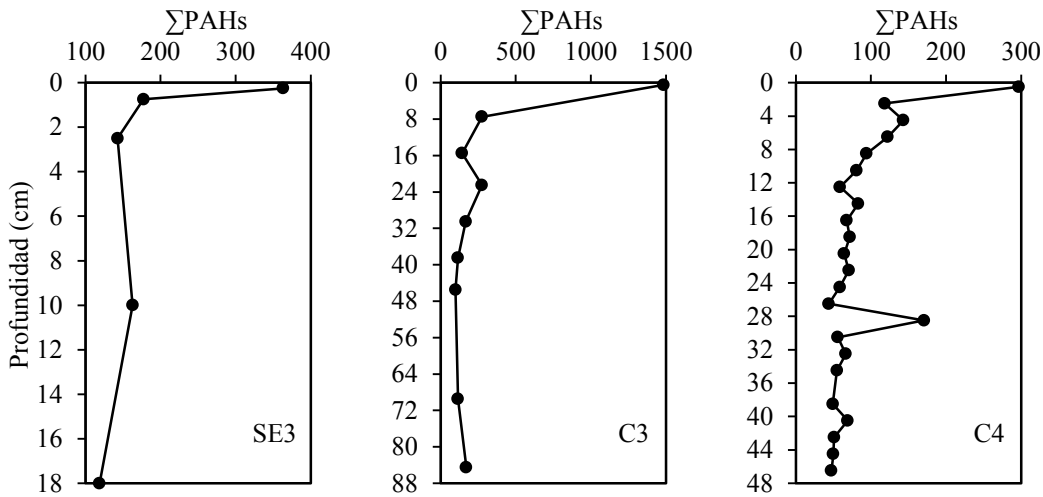


Figura 56. Perfiles de las concentraciones de PAH totales en los núcleos de sedimento SE3, C3 y C4.

Ahora bien, de acuerdo con la tabla 20 las concentraciones de PAHs totales en los sedimentos de ambos lagos son comparables con los valores reportados para lagos contaminados como el Taihu en China (Liu *et al.*, 2009), Las Matas en México (Ruiz-Fernández *et al.*, 2012b), Simcoe en Canadá (Helm *et al.*, 2011) y el Ny-Ålesund en Noruega (Jiao *et al.*, 2009). Asimismo éstas concentraciones son más elevadas que las observadas por Piazza *et al.* (2008, 2009) en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Tabla 20. Concentraciones de PAHs (ng g^{-1}) en sedimentos de lagos del mundo.

Sitio	PAH	Referencia
Guiyu y Shantou, China	240	Leung <i>et al.</i> (2006)
Mills, USA	31-240	Usenko <i>et al.</i> (2007)
Lone Pine, USA	40-280	Usenko <i>et al.</i> (2007)
Chalco, México	287	Piazza <i>et al.</i> (2008)
Tecoco, México	98	Piazza <i>et al.</i> (2008)
Espejo de los Lirios, México	122	Piazza <i>et al.</i> (2009)
Ny-Ålesund, Noruega	11-1100	Jiao <i>et al.</i> (2009)
Taihu, China	530-1180	Liu <i>et al.</i> (2009)
Himalaya, Nepal	67.9±22.1	Guzzella <i>et al.</i> (2011)
Simcoe, Canadá	229-5410	Helm <i>et al.</i> (2011)
Las Matas, México	259-1176	Ruiz-Fernández <i>et al.</i> (2012)
Santa Elena, México	118.7-481.6	En este estudio
Chapala, México	95.4-1482.3	En este estudio

Las concentraciones de PAHs totales en los sedimentos del lago Santa Elena y Chapala pueden ser consideradas como poco contaminadas ($\sum\text{PAHs} < 100 \text{ ng g}^{-1}$) de acuerdo con Tolosa *et al.* (2004); además, están por debajo del límite umbral de efectos ($1,610 \text{ ng g}^{-1}$) de la guía de referencia de la NOAA (Buchman, 2008) para contaminantes orgánicos en sedimentos lacustres. En la figura 57 se muestra la reconstrucción histórica de las concentraciones de PAHs de bajo peso molecular (BPM ≤ 3 anillos de benceno), PAHs de alto peso molecular (APM ≥ 4 anillos de benceno), así como la concentración de PAHs totales ($\sum\text{PAHs}$).

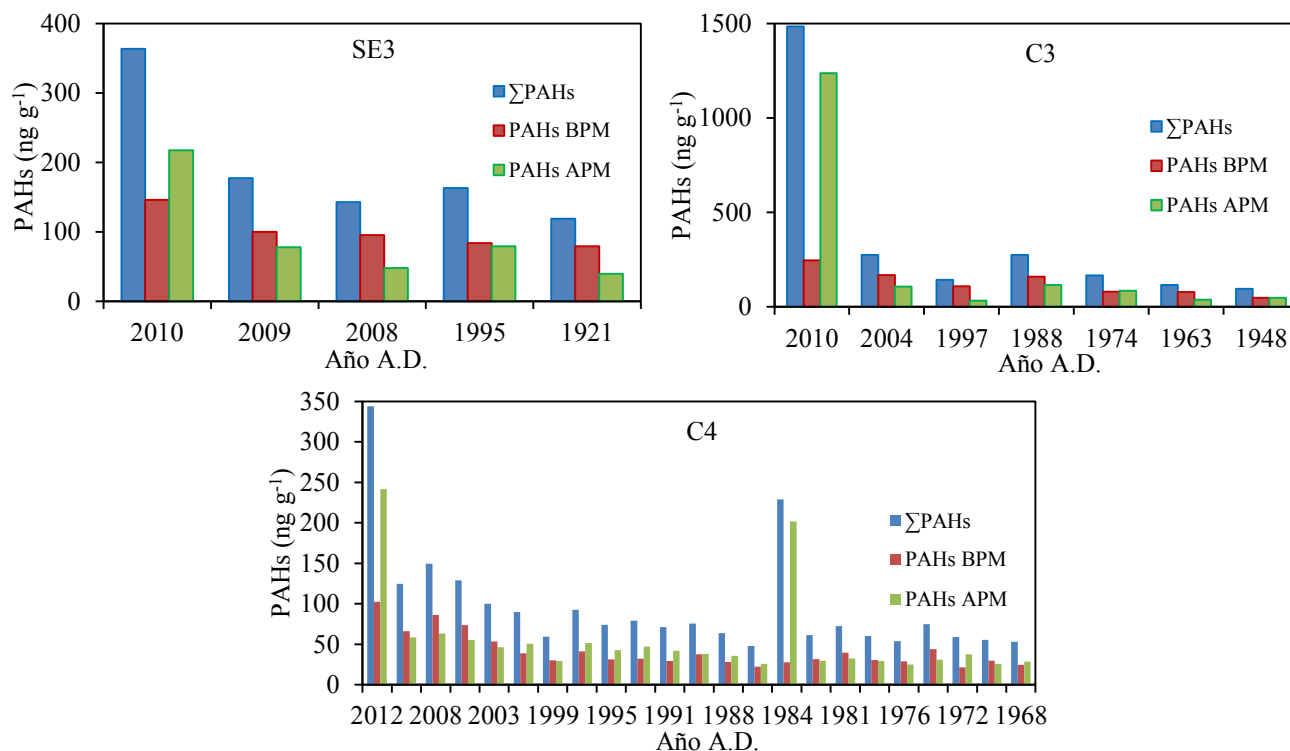


Figura 57. Reconstrucción histórica de la concentración de PAHs de bajo peso molecular (BPM), PAHs de alto peso molecular (APM) y Σ PAHs en los sedimentos del lago Santa Elena (SE3) y Chapala (C3 y C4).

En el núcleo SE3 del lago Santa Elena se observa que los PAHs de bajo peso molecular dominan desde las secciones más antiguas hasta el año 2009. Después en la sección superficial del registro, la sumatoria de congéneres de PAHs de alto peso molecular domina. En el lago de Chapala los núcleos C3 y C4 muestran que los PAHs de bajo peso molecular dominan casi por completo durante todo registro histórico; además, los máximos de las Σ PAHs se encuentran en las secciones más recientes (649 y 1,482 ng g⁻¹, respectivamente). En general los PAHs de bajo peso molecular (Na, Acy, Ace, Fl, Phe, An) se encuentran en fase gaseosa, por lo que son transportados a través de la atmósfera hacia sitios remotos lejos de su fuente de emisión. Por otro lado los PAHs de alto peso molecular del tipo de cuatro anillos bencénicos (Flt, Py, Ch, BaAn) existen en la fase vapor y de partícula, mientras que los de cinco anillos (BaPy, BghiPe) se encuentran en su mayoría en la fase de partícula (Tolosa *et al.*, 2004) por lo que se depositan cerca de su fuente de emisión (Lima *et al.*, 2005; Nam *et al.*, 2008). Los flujos de PAHs en el lago Santa Elena fueron de 51 a 131 ng cm⁻² año⁻¹, mientras que en lago Chapala, el núcleo C3 mostró flujos de 6 a 235 ng cm⁻² año⁻¹ y en el C4 de 122 a 224 ng cm⁻² año⁻¹ (anexo 65). Estos flujos con comparables con los determinados por Helm *et al.* (2011) para el lago

urbanizado Simcoe en Canadá ($38-81 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$), pero más elevados que los determinados por Usenko *et al.* (2007) en áreas remotas, como el lago Lone Pine en California ($1.3 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y el Mills en Wisconsin ($5.2 \text{ ng cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$).

10.6. Preservación y flujos de carbono orgánico

La estimación de la preservación y los flujos modelados de C_{org} se realizó en los núcleos C1, C2 y C3 del lago Chapala, de los cuales, la radiocronología con ^{210}Pb se obtuvo a través del modelo CF o flujo constante. A continuación en la figura 58 se presenta los perfiles de las concentraciones ($mg\ g^{-1}$) de C_{org} medido y C_{org} modelado (anexo 66-68).

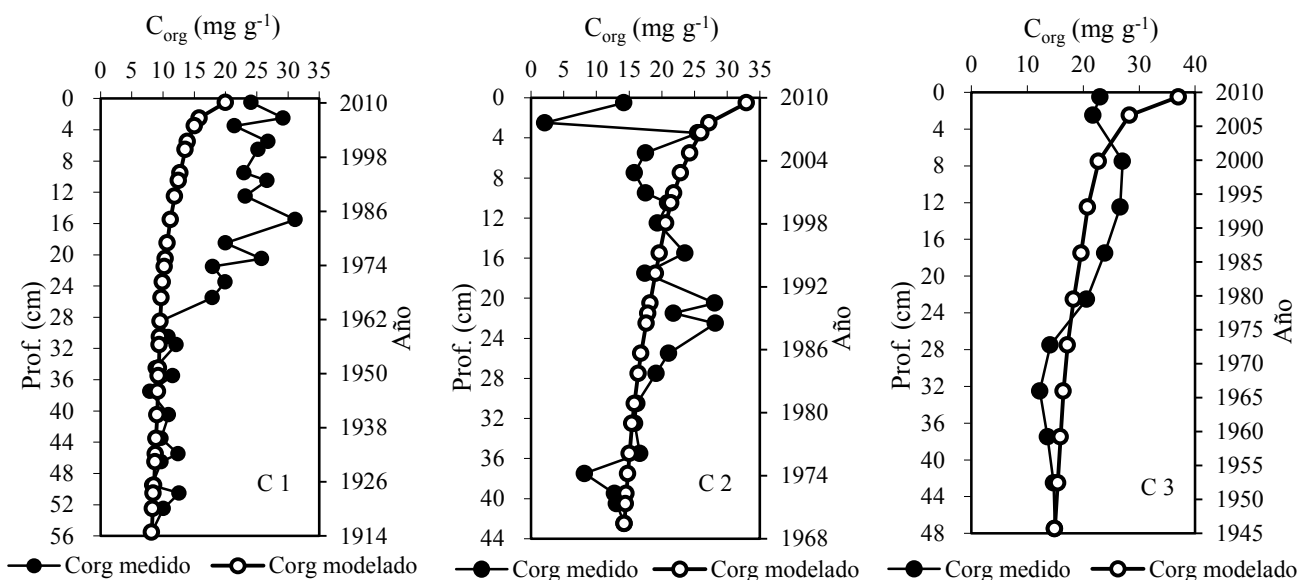


Figura 58. Reconstrucción histórica de las concentraciones de carbono orgánico [medido (●) vs modelado (○)] de los núcleos C1, C2 y C3 del lago Chapala.

En la figura se observa que el modelo de Middelburg (1989) describe parcialmente las concentraciones de C_{org} medido en los tres núcleos del lago Chapala. En el núcleo C1 es evidente la desviación entre las concentraciones de C_{org} modelado y el C_{org} medido (36% diferencia máxima) desde inicios de la década 1960s (28 cm de profundidad) hasta las secciones superficiales. Este exceso de C_{org} medido en relación al modelado podría ser atribuido al aumento en la preservación del material orgánico debido a cambios en la TAM, no obstante, en este segmento del núcleo C1, la TAM presenta una clara tendencia al descenso y no al aumento (figura 44), por lo cual, el exceso de C_{org} sólo puede atribuirse al incremento en la entrada de materia orgánica hacia el registro sedimentario. En las secciones superficiales (2001 al 2010, año A.D.) del núcleo C2 se observaron concentraciones menores del C_{org} medido en relación al C_{org} modelado (19-90%), debido al proceso de dilución del material orgánico por el aumento en la tasa de acumulación sedimentaria. En el núcleo C3, los valores de C_{org} modelado reproducen mejor el perfil de las concentraciones medidas de C_{org} . Esto indica que las concentraciones de C_{org} preservadas en el

registro sedimentario del C3 son resultado del proceso de diagénesis en conjunto con pequeñas fluctuaciones en el depósito de la materia orgánica (Alcocer *et al.*, 2014). Ahora bien, la cantidad de C_{org} perdido por diagénesis (C_{org} medido/ C_{org} modelado) en C1 fue $\leq 39\%$, mientras que en C2 fue $\leq 27\%$ y en C3 $\leq 18\%$. Por tanto la preservación de C_{org} en los núcleos recolectados en el lago Chapala fue de más del 61% para C1, y mayor al 73 y 82% para C2 y C3, respectivamente.

Los flujos de C_{org} modelados para el núcleo C1 fueron de 4 a 46 $g\ m^{-2}\ año^{-1}$, mientras que en C2 fueron de 3 a 35 $g\ m^{-2}\ año^{-1}$ y en C3 de 10 a 51 $g\ m^{-2}\ año^{-1}$ (anexos 66-68). Estos flujos son comparables con los valores publicados por Mulholland (1981) para grandes lagos mesotróficos (10-30 $g\ m^{-2}\ año^{-1}$) como el lago Ontario y Erie en Norteamérica y el Biwa en Japón. También son semejantes a valores determinados por Teodoru *et al.* (2013) en lagos Boreales en Quebec (11-55 $g\ m^{-2}\ año^{-1}$) y los de Alcocer *et al.* (2014) para el lago oligotrófico de Alchichica en México (15-35 $g\ m^{-2}\ año^{-1}$). El suministro anual de C_{org} hacia los sedimentos se relaciona con el estado trófico de un lago, que depende del tamaño del sistema acuático y de su tasa de sedimentación. Así los lagos más pequeños tienen tasas de acumulación de C_{org} mayores que lagos más grandes, debido a que generalmente presentan una mayor relación de cuenca hidrográfica al volumen del lago (Mulholland y Elwood, 1982; Downing *et al.*, 2008) o porque sus flujos son más grandes (Alcocer *et al.*, 2014).

10.7. Composición isotópica de C y N

En la figura 59 se presentan los perfiles de la composición isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, así como de la proporción C/N para el núcleo SE3 del lago Santa Elena y el núcleo C1 del lago Chapala (anexo 69).

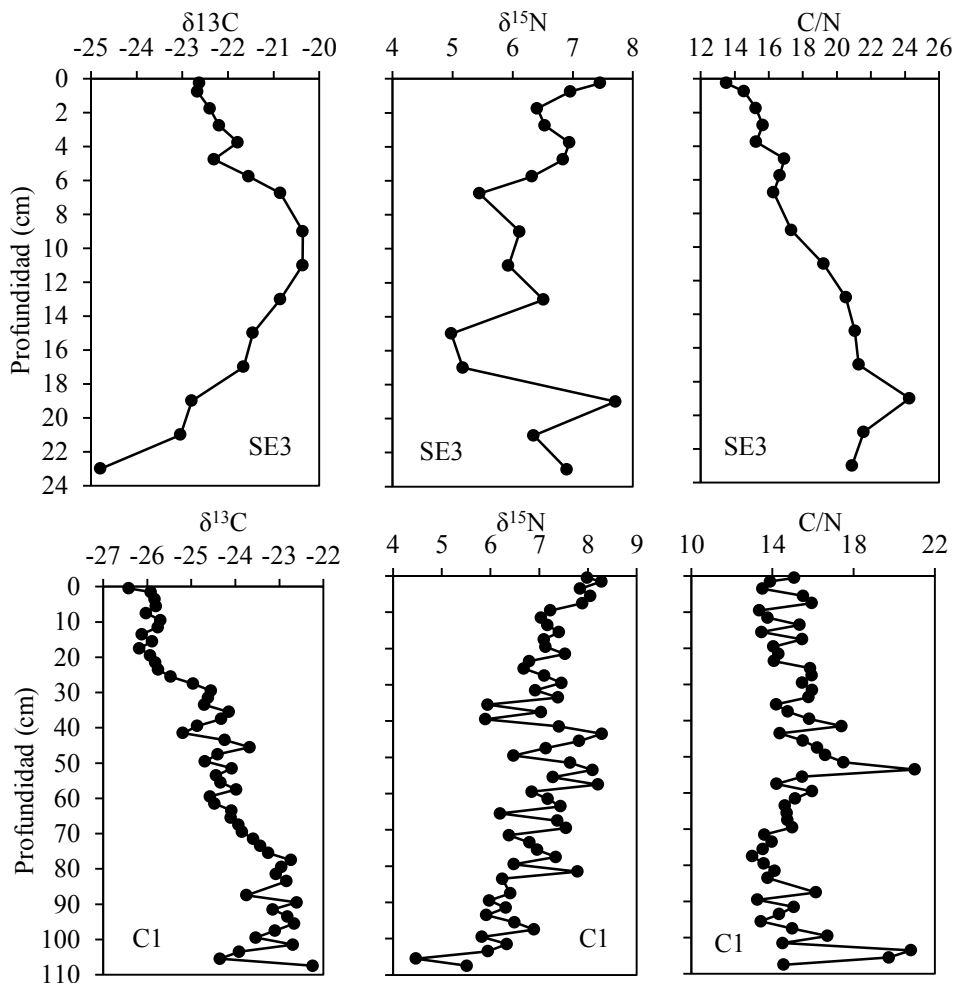


Figura 59. Perfiles de la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y la relación C/N de los núcleos SE3 y C1.

En el núcleo SE3, la distribución del $\delta^{13}\text{C}$ tiende hacia valores menos negativos desde la base hacia la superficie. De acuerdo con Cloern *et al.* (2002) el intervalo de valores de $\delta^{13}\text{C}$ en este núcleo (-25‰ a -20‰) es característico de plantas terrestres tipo C3 (-32‰ a -20‰). Por el contrario, los valores del $\delta^{15}\text{N}$ (5‰ a 8‰) indican una mezcla de material orgánico fitoplanctónico con poca influencia terrígena (Peterson y Howarth, 1987; Muzuka y Hillaire-Marcel, 1999; Ogrinc *et al.*, 2005). Asimismo, la proporción C/N que disminuye desde la base del núcleo hacia la superficie, presenta niveles (14-24) que sugieren que el material orgánico depositado es una mezcla de fuente terrestre y acuática (Meyers,

1994). Ahora bien, en el núcleo C1 el perfil de $\delta^{13}\text{C}$ presenta una tendencia hacia valores más negativos desde la base del núcleo, posiblemente relacionado con aumento en el proceso erosivo dentro de la cuenca (Ruiz-Fernández *et al.*, 2012b). Al observar los cambios en el perfil de la TAM (figura 44) del C1 se advierte que hacia las secciones más recientes hay una disminución en la TAM que corresponde valores casi constantes de $\delta^{13}\text{C}$. Lo anterior pudiera estar relacionado con los periodos de sequías del lago (1955 y 1992), ya que aunque la TAS disminuye, los procesos erosivos sobre la cuenca se mantienen y por tanto la calidad del material orgánico que llega hacia el registro sedimentario. Por otro lado, tanto el $\delta^{15}\text{N}$ (4‰ a 8‰) como la proporción C/N (13-21) indican que el material orgánico depositado es una mezcla de plantas terrestres y fitoplancton. Sin embargo, aunque los cambios en el $\delta^{15}\text{N}$ han sido utilizados para revelar las variaciones en la productividad primaria en distintos sistemas acuáticos (Altabet y Francois, 1994; Ruiz-Fernández *et al.*, 2007a; Jiang y Ji, 2013) se debe tener cuidado en su interpretación ya que la proporción isotópica del $\delta^{15}\text{N}$ puede afectarse más fácilmente por procesos biogeoquímicos o diagenético, que la huella del $\delta^{13}\text{C}$ (Ogrinc *et al.*, 2005). Por lo tanto, para evaluar las tendencias de los posibles cambios en las fuentes de materia orgánica en los sedimentos es necesario realizar una interpretación global, utilizando en conjunto la información de los tres proxies: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y C/N (figura 60).

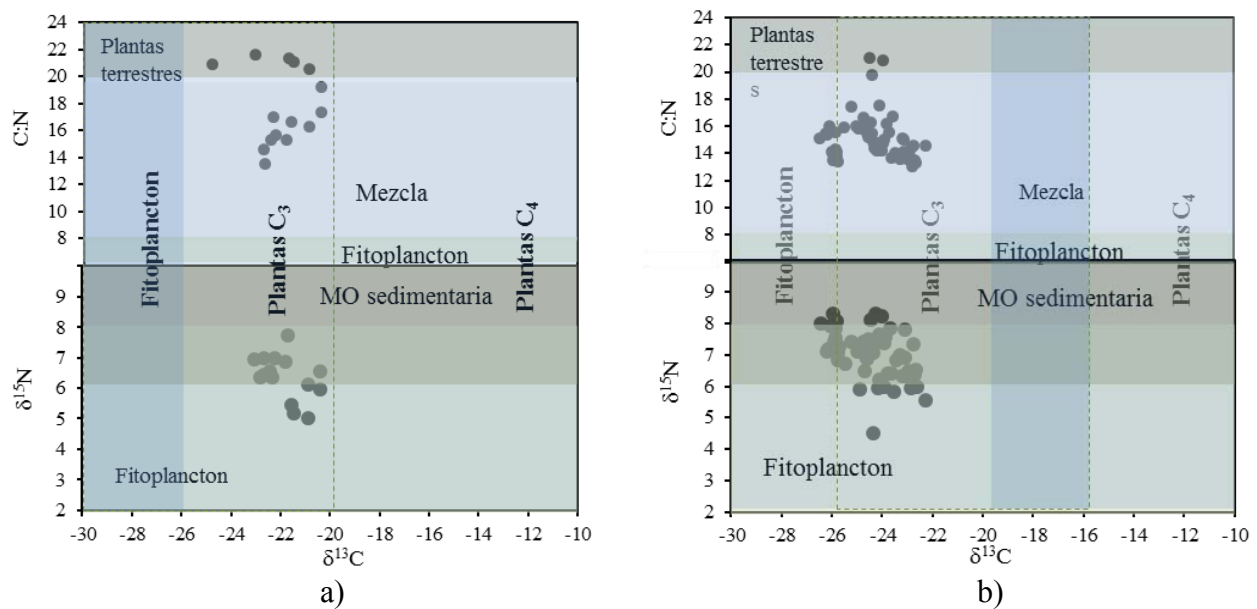


Figura 60. Relación $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y C/N en los núcleos: a) SE3 del lago Santa Elena y b) C1 del lago Chapala.

En la figura 60 se observa que la proporción C/N junto con los valores de $\delta^{15}\text{N}$ indica que la materia orgánica en ambos lagos proviene de la mezcla de plantas terrestres y fitoplancton; sin embargo al contrastar éstos proxis con los valores de $\delta^{13}\text{C}$ es evidente que el aporte principal proviene de plantas terrestres tipo C3.

11. Discusión

11.1. Interrelaciones mineralógicas

En el análisis de redundancia (RDA) de los núcleos de sedimento C2 y C3 del lago Chapala se construyeron las matrices predictoras (matriz de constricción) utilizando los valores de la composición mineralógica, susceptibilidad magnética y contenido de carbono orgánico, mientras que en las matrices de respuesta se utilizaron las concentraciones de elementos metálicos.

Los resultados del RDA del núcleo C2 se muestran en la figura 61. El análisis determinó que los factores F1 y F2 explican el 86.6% de la varianza total.

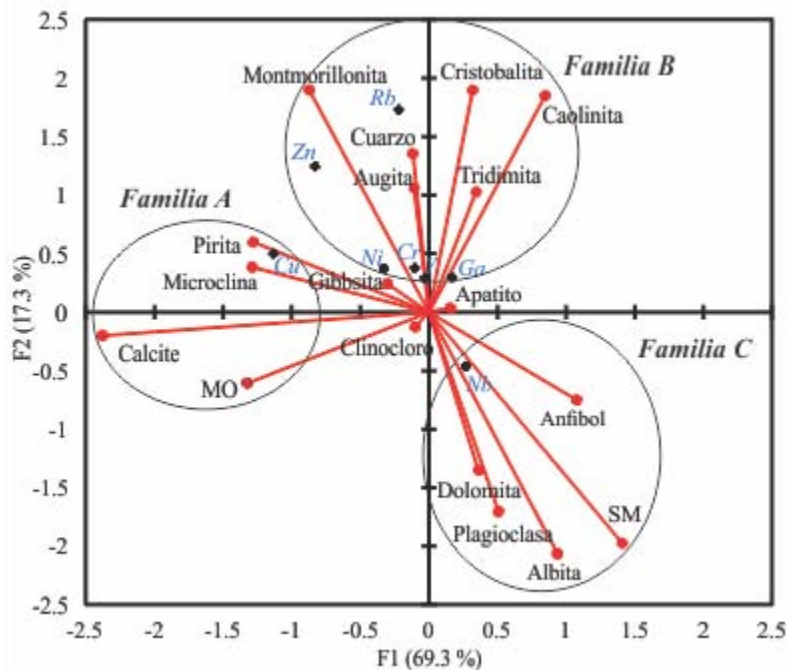


Figura 61. Análisis de redundancia (RDA) del núcleo C2 del lago Chapala. La matriz predictoras está señalada con las líneas rojas y las variables de respuesta con puntos negros.

El RDA del núcleo C2 agrupó a tres familias de variables.

- Familia A. Este grupo incluye al elemento Cu, las especies minerales pirita, microclina y calcita, así como al contenido de carbono orgánico. El lago Chapala es un sistema somero (4.5 m de profundidad promedio), cuyas características morfométricas tienen una fuerte influencia en los niveles y calidad del agua (Limón y Lind, 1990). De acuerdo con Hansen y van Afferden (2005) el lago funciona como un “sistema cerrado” donde las únicas salidas de agua son la

evaporación y el agua que se extrae para diferentes usos. Además algunos autores (de Anda *et al.*, 2005; Ramírez-Sánchez *et al.*, 2007) han clasificado al lago como un sistema alcalino, sobresaturado en CaCO_3 . Esto explica la representación dominante de la calcita en la Familia A, ya que la alcalinidad del agua y las variaciones en la profundidad del lago, en especial los periodos de profundidad mínima como los ocurridos en 1955 y 1992 (953 y 1,789 Mm^3 , respectivamente) inducen una mayor precipitación de este mineral. Ahora bien, la presencia del Cu junto a la pirita alude a condiciones reductoras en los sedimentos (Klinkhammer, 1980). Lo anterior se relaciona con la disminución en el nivel del lago y la entrada de material detrítico (p.ej. microclina) que en presencia de suficiente materia orgánica y sulfato disuelto (Fe^{+2}) produce la precipitación de sulfuros como la pirita (Berner, 1981; Klein y Philpotts, 2013).

- Familia B. Esta familia alude al transporte de terrígenos. Reúne algunos minerales del grupo de la sílice (cuarzo, la cristobalita y tridimita) y al mineral augita (grupo piroxeno). Ambos grupos son característicos de rocas volcánicas y considerados especies detríticas corrientes en los sedimentos (Berry y Mason, 1959; Klein y Hurlbut, 2003; Boggs, 2009). También aparecen filosilicatos como la caolinita y la montmorillonita que se relacionan con el transporte de material terrígeno en regiones tropicales (Borchardt, 1977; He *et al.*, 2013a). De igual forma, se encuentran presentes elementos como el Cr, Ni, Zn, Ga, Rb e Y, vinculados al intemperismo de arcillas y rocas de tipo andesita y riolita presentes en la zona (Ece y Nakagawa, 2003; USGS, 2014).
- Familia C. La presencia de la SM junto al metal de transición Nb y las especies minerales de este grupo, sugieren un posible origen volcánico de esta familia (Defant *et al.*, 1992; Minyuk *et al.*, 2007). Los minerales principales son la albita, plagioclasa y anfíbol, de origen volcánico (Aldahan *et al.*, 1999; Giralt *et al.*, 2008). Asimismo aparece la dolomita, que en relación con la actividad hidrotermal en el lago (Zárate del Valle y Simoneit, 2005; Zárate del Valle *et al.*, 2006) pudiera originarse por el enfriamiento de los fluidos que ascienden a través del sistema de fallas geológicas sobre las que se encuentra la cuenca del Chapala (Braithwaite *et al.*, 2004).

En la figura 62 se presenta el RDA del núcleo C3. El análisis explicó el 74.7% de la varianza total través de los factores F1 y F2.

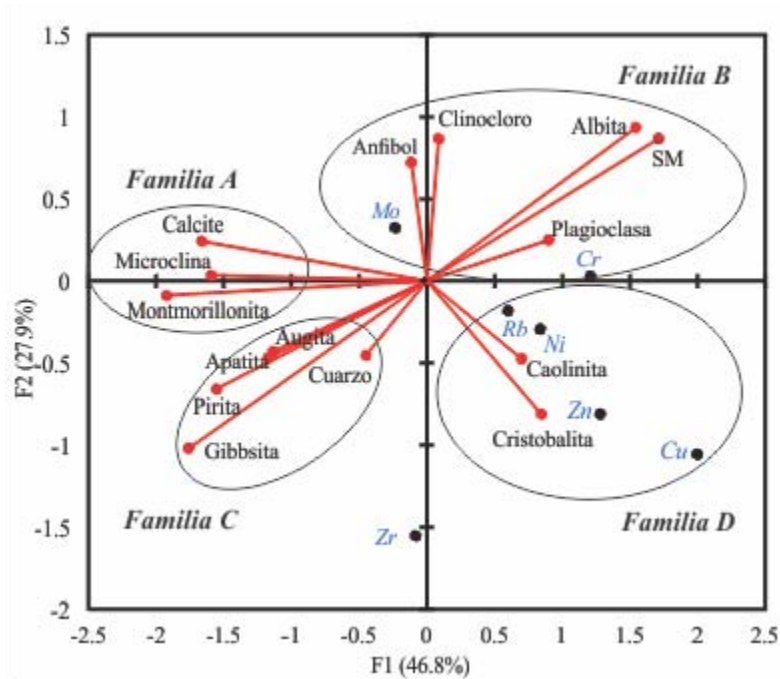


Figura 62. Análisis de redundancia (RDA) del núcleo C3 del lago Chapala. La matriz predictora está señalada con las líneas rojas y las variables de respuesta con puntos negros.

El análisis agrupó las siguientes familias de variables:

- Familia A. El grupo “arcillas” incluye como especie principal a la montmorillonita junto a los minerales microclina y calcita. La microclina es un feldespato que se caracteriza por su resistente a los procesos de intemperismo, y en los suelos y sedimentos tiende a asociarse a la fracción de arcillas (Jackson y Sherman, 1953). Por otro lado, la presencia de calcita se relaciona con la capacidad que tiene la montmorillonita para atraer cationes como el Ca^{+2} hacia la superficie de su estructura cristalina (Thompson y Troeh, 2002).
- Familia B. Reúne a los metales Mo y Cr junto al anfíbol, clinocloro, albita, plagioclasa y SM. La disolución de cenizas volcánicas libera a elementos como el Mo y Cr que son adsorbidos y transportados por los minerales arcillosos y detríticos (Rango *et al.*, 2013). Lo anterior junto con la presencia de la SM indica que la familia B tiene origen volcánico (Giralt *et al.*, 2008).
- Familia C. Se compone por los minerales gibsita, pirita, apatito, augita y cuarzo. El mineral dominante en la familia C es la gibsita, que es una especie típica de regiones húmedas donde los ácidos orgánicos derivados de la espesa vegetación son abundantes (Karamalidis y Dzomnak, 2010). De acuerdo con lo anterior, las escorrentías movilizarían hacia el lago parte de estos compuestos orgánicos terrestres, junto con materiales detríticos, como el cuarzo (Kerr,

1965) y la augita (Klein y Hurlbut, 2003) favoreciendo así las condiciones específicas para la formación de pirita (Berner, 1981) en la columna sedimentaria. De la misma manera, el agua meteórica podría estar lixiviando al mineral apatito desde las rocas que forman la cuenca de drenaje del lago (Fassbender, 1975; Melgarejo, 2003).

- Familia D. Agrupa a distintos elementos metálicos (Rb, Ni, Zn, Cu) relacionados con el transporte de material terrígeno (Wahlen y Thompson, 1980; Taher y Soliman, 1999; Karageorgis *et al.*, 2012; Cukrov *et al.*, 2013) junto a los minerales cristobalita y caolinita, los cuales se asocian al aporte de materiales volcánicos por escorrentías en zonas tropicales (Elias, 2009; He *et al.*, 2013a).

El análisis RDA reveló diferentes asociaciones geoquímicas entre los elementos metálicos; sin embargo, los mecanismos más importantes que están controlando la entrada de las especies minerales y por tanto, la distribución de los metales en los sedimentos del lago Chapala, son los procesos de intemperismo que ocurren sobre las rocas volcánicas de la cuenca hidrográfica del Lerma-Chapala y la consecuente entrada de material terrígeno, sobre todo de partículas finas del tipo de las arcillas a través de la escorrentía.

11.2. Procedencia de los elementos metálicos

Para agrupar a las variables geoquímicas a través de factores se aplicó un análisis factorial (AF) (sección 9.2.2.1) en los núcleos SE2 y SE3 del lago Santa Elena y en los núcleos C1 y C2 del lago Chapala. Para el análisis se utilizaron 24 variables con las cuales se construyó una matriz con factores de carga (FC), las cuales se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Carga significativas (> 0.65) de las variables incluidas en análisis factorial de los núcleos de sedimento del lago Santa Elena (SE2, SE3) y Chapala (C1, C2).

Núcleo Factor	SE2			SE3			C1			C2		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SM		0.86										-0.87
C _{org}			0.85		-0.68							
CaCO ₃			-0.70			0.92					0.70	
Arcilla	0.68											
Limo		-0.69		0.69						-0.93		
Arena	-0.86			-0.81						0.98		
Ca											0.93	
Al	0.93			0.91			0.71				-0.78	
Fe	0.81				0.73		0.84				-0.85	
Li	0.92			0.90			0.82					0.95
Rb	0.96			0.95			0.73					1.00
Sr		0.94			0.81						0.73	
Th		0.91		0.79			0.70					0.86
Ag												0.89
As					0.90							
Cd	0.89			0.89							0.75	
Cr	0.74				0.84		0.81					
Cu	0.95			0.95			0.74					
Hg								-0.87				-0.79
Mn											0.89	
Ni	0.89			0.89			0.80					
Pb		-0.89		-0.71				0.73				0.77
V	0.99				0.78		0.66				-0.73	
Zn	0.91			0.94								
*V. E. (%)	52.9	27.4	12.3	50.6	27.7	9.8	37.9	23.0	13.8	36.6	29.9	18.2
*V. A (%)	52.9	80.3	92.6	50.6	78.3	88.1	37.9	60.9	74.7	36.6	66.6	84.7

*V.E. = varianza explicada; V.A. = varianza acumulada

El AF en el núcleo SE2 del lago Santa Elena proporcionó tres factores que explican el 93% de la varianza total (figura 63).

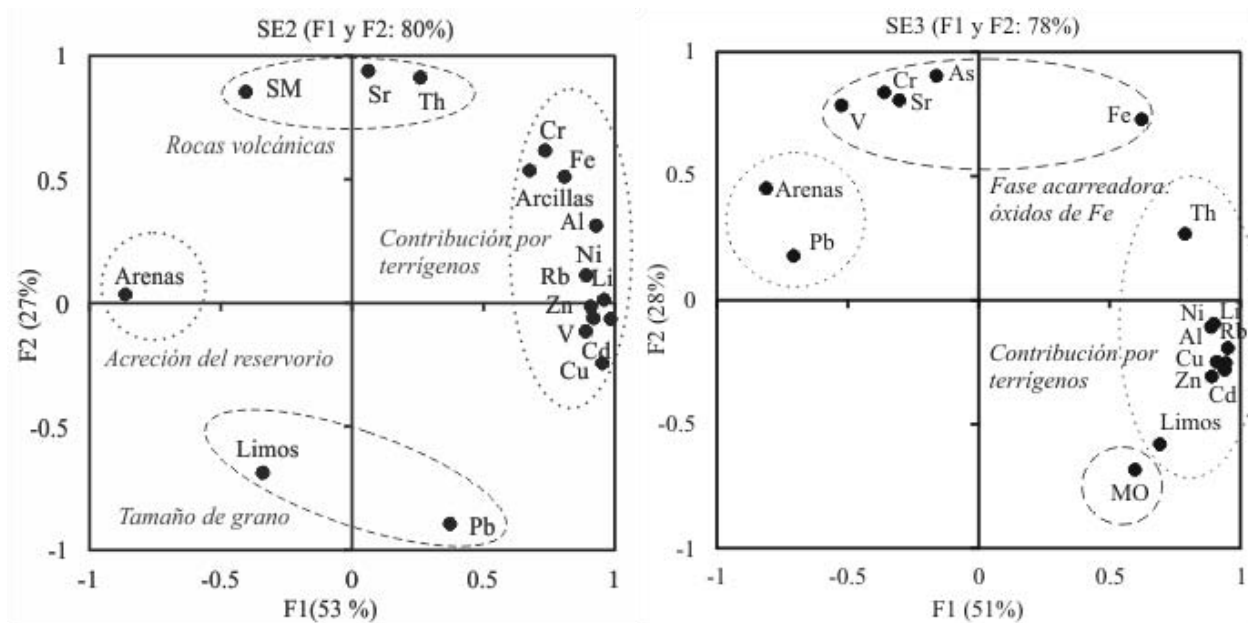


Figura 63. Gráficos de saturación para los núcleos de sedimentos SE2 y SE3 del lago Santa Elena.

El Factor 1 (contribución por terrígenos) contribuye con el 53% de la varianza e incluye como cargas positivas a los elementos terrígenos de referencia (Fe, Al, Li y Rb), metales traza (Cu, Cr, Ni, V, Cd y Zn) y al contenido de arcillas; también incluye al contenido de arenas como carga negativa. Esta asociación representa el suministro de metales traza a través de la entrada de terrígenos que son transportados por las partículas finas sedimentarias. La carga negativa de las arenas refleja la reducción del contenido de partículas gruesas al incrementarse el flujo de partículas finas desde la creación del reservorio. Asimismo las arenas son conocidas por diluir las concentraciones de metales en los sedimentos (Demina *et al.*, 2006). El Factor 2 (tamaño de grano) explica el 27% de la varianza y está integrado por el Th, Sr y la SM como cargas positivas, así como por Pb y limos como cargas negativas. Las rocas volcánicas en la cuenca de captación pueden ser una fuente directa de Sr y Th debido a los procesos de intemperismo sobre los suelos (Xu *et al.*, 2010). Al ser liberados, estos elementos son transportados por escorrentías en los tamaños de partícula más gruesos y una vez en el lago, son diluidos por el aumento en el suministro de limos. La carga negativa del Pb en este factor sugiere la presencia de una fuente distinta a la entrada de terrígenos para el elemento, posiblemente relacionada al transporte atmosférico. El Factor 3 (diagénesis de la materia orgánica) explica el 12% de la varianza e incluye al C_{org} como carga positiva y al contenido de $CaCO_3$ como carga negativa. Esto indica que las

concentraciones de C_{org} están disminuyendo debido al proceso de diagénesis, al mismo tiempo que se diluye por pequeños incrementos en el contenido de $CaCO_3$ terrígeno que llega al lago por escorrentías desde la cuenca de captación.

El 88% de la varianza total en el núcleo SE3 se explica a través de dos factores. El Factor 1 (contribución por terrígenos) incluye el 51% de la varianza e integra como cargas positivas a Al, Li, Rb, Th, Cd, Zn Cu, Ni y a los limos. Esta asociación representa el suministro de terrígenos por escorrentías. Las arenas presentan carga negativa, lo cual es resultado del proceso de dilución por el incremento en la entrada de arcillas. También el Pb tiene carga negativa, sin relacionarse con algún tamaño de partícula, ya que no se observó una correlación significativa ($r = 0.9$, $P \leq 0.05$) entre el elemento y los contenidos de arcillas, limos o arenas (anexo 71); por tanto, la carga del elemento puede atribuirse una fuente alterna como el transporte atmosférico. El Factor 2 (secuestro) explica el 28% de la varianza. Como carga positiva aquí se encuentran el Fe, As, Cr, Sr y el V; esto sugiere que los óxidos de Fe son la principal fase de adsorción de los elementos traza. De igual forma, se observaron correlaciones significativas entre este conjunto de metales ($r \geq 0.6$, $P \leq 0.05$) lo que refleja que provienen de una misma fuente (anexo 71). En este factor la C_{org} tiene carga negativa, esto apoya el rol predominante de los óxidos de Fe como principal fase acarreadora de metales traza para el factor. El Factor 3 (carbonatos) explica el 10% de la varianza y está integrado únicamente por el contenido de $CaCO_3$.

Para el lago Chapala el AF del núcleo C1 produjo tres factores que explican cerca del 75% de la varianza total (figura 64).

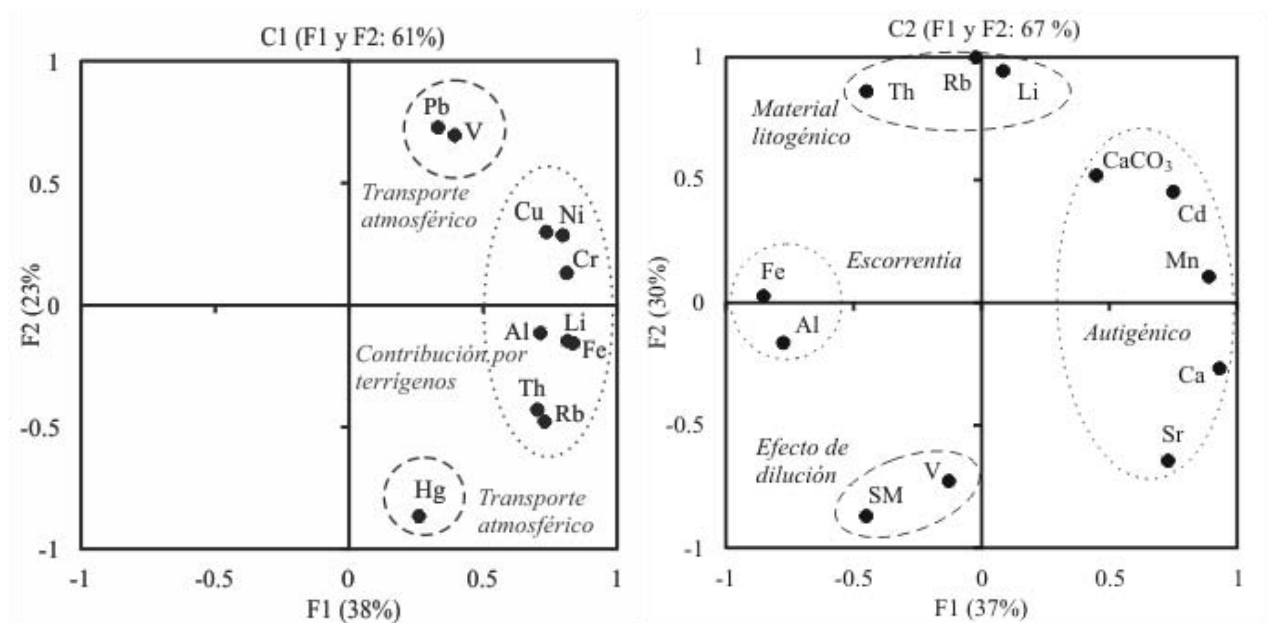


Figura 64. Gráficos de saturación para los núcleos de sedimentos C1 y C2 del lago Chapala.

El Factor 1 (contribución por terrígenos) explica el 38% de la varianza y contiene Al, Li, Rb, Th y Fe que son considerados como típicos trazadores terrígenos (Ruiz-Fernández *et al.*, 2012a) así como al Cr, Cu y Ni que son elementos que comúnmente proceden del intemperismo de basaltos y rocas graníticas (Taylor, 1964). El Factor 2 (transporte atmosférico) contribuye con el 23% de la varianza e incluye Hg, V y Pb. Estos elementos pueden ser liberados desde fuentes naturales y antropogénicas y ser sujetos al transporte de largo alcance atmosférico (Steinnes, 1987). Las fuentes naturales de estos elementos incluyen el polvo continental, los aerosoles marinos y las emisiones volcánicas. Por lo general, el V es liberado a través del intemperismo de rocas magmáticas (p.ej. magnetita, cromita), mientras que el Hg se encuentra en rocas metamórficas (p.ej. cinabrio, magnetita, cromita) y el Pb en su mayoría se encuentra en forma de sulfuros (PbS) en minerales de galena. Las principales fuentes antropogénicas son la producción minera y la quema de combustibles fósiles (Byerrum *et al.*, 1974; Sherwood-Lollar, 2007). El Factor 3 (composición del tamaño de partícula) explica el 14% de la varianza y está integrado por la fracción de limos con carga negativa y por la fracción de arenas con carga positiva.

En el núcleo C2, el 85% de la varianza total está explicada por tres factores. El Factor 1 (contribución por terrígenos) define el 37% de la varianza e incluye Al y Fe como cargas negativas, los cuales están asociados a la entrada de terrígenos a través de los suelos erosionados en la cuenca de captación (Ruiz-Fernández *et al.*, 2001; Jin *et al.*, 2011) así como Mn, Ca, Cd, Sr y CaCO₃ con cargas positivas. Este segundo grupo con cargas positivas puede estar ligado a dos procesos hidrogénicos: 1) la precipitación de oxihidróxidos de Mn debido a las condiciones en la superficie de los núcleos de sedimento; y 2) la

precipitación de calcita debido a la saturación de las aguas del lago como lo sugieren los factores de enriquecimiento (sección 10.4.3). El Factor 2 (efecto de dilución) explica el 30% de la varianza. Este factor incluye dos grupos de elementos: a) litogénicos, donde se encuentran el Li, Rb y Th con cargas positivas; y b) la SM (relacionada con la composición mineral) y V con cargas negativas. En el lago Chapala, la contribución más grande de material litogénico se relaciona con la erosión de los suelos de la cuenca. Como se observó en la figura 27, el incremento de la señal de SM entre los 60 y 75 cm de profundidad se deben a una contribución puntual de cenizas volcánicas depositadas sobre la cuenca (Michaud *et al.* 2006) que progresivamente han sido lavadas hacia el lago y que eventualmente han retornado los valores de SM a sus niveles basales característicos. Una contribución menor de V en el núcleo C2 puede estar asociada a las cenizas volcánicas, como lo sugiere la correlación significativa observada entre las concentraciones de V y la SM ($r = 0.81$; $P < 0.05$) (anexo 73). El Factor 3 (origen de elementos potencialmente tóxicos) contribuye al 18% de la varianza e incluye al Ag y al Pb con cargas positivas y al Hg con carga negativa. La Ag puede considerarse como un trazador de residuos urbanos (Ruiz-Fernández *et al.*, 2001); por otro lado, tanto Hg como Pb no se encuentran enriquecidos ($EF < 1.5$) en los sedimentos lo cual indica que provienen de una fuente natural.

El AF indicó que las principales fuentes de elementos metálicos hacia los sedimentos del lago Chapala son la entrada de material terrígeno y los procesos de intemperismo. El mecanismo que controla su transporte, es el extensivo cambio de uso de suelo debido al crecimiento urbano y al desarrollo de la agricultura en la cuenca hidrográfica del Lerma-Chapala. Anteriormente, De Anda *et al.* (2004) indicaron que las partículas terrígenas son el componente mayoritario de los sedimentos del lago Chapala, los cuales reflejan la composición mineralógica de la estructura neovolcánica del área. Por otro lado, la cuenca hidrográfica del lago Santa Elena está poco impactada debido al escaso crecimiento urbano e industrial, por tanto la distribución de los metales en sus sedimentos está controlada principalmente por el tamaño de grano, lo cual enfatiza que en este tipo de sistemas las fracciones finas de los sedimentos (limos-arcillas) juegan un papel fundamental en la adsorción y transporte de los elementos metálicos.

11.3. Contaminantes orgánicos persistentes

Para inferir el origen de los homólogos de los PCBs determinados en los sedimentos de los lagos Santa Elena y Chapala se compararon por separado sus concentraciones con la composición típica de las muestras comerciales de Arocloros (1016, 1221, 1232, 1242, 1248, 1254, 1260 y 1262) (ATSDR, 2000) a través de un análisis de componentes principales (ACP) (tabla 22).

Tabla 22. Contribuciones (%) a los componentes principales CP1 y CP2 de las muestras de sedimento superficial y núcleos de los lagos Santa Elena (SE2, SE3, SE4) y Chapala (C3, C4).

Variables (grado de cloración)	Santa Elena		Chapala	
	CP1	CP2	CP1	CP2
CB1	1.0	42.3	0.5	1.0
CB2	3.3	35.9	3.5	26.4
CB3	11.8	0.0	4.1	27.5
CB4	12.7	6.3	3.5	5.6
CB5	0.7	3.0	0.1	29.6
CB6	16.9	4.3	14.3	7.3
CB7	18.8	3.0	23.6	2.5
CB8	17.3	2.6	25.1	0.0
CB9	17.6	2.7	25.2	0.0
Varianza explicada %	50.0	22.9	40.0	25.5
Varianza acumulada %	50.0	72.9	40.0	65.5

Los componentes principales CP1 y CP2 en el lago Santa Elena representaron el 50% y el 23% de la varianza respectivamente (varianza acumulada del 73%). El CP1 se encuentra definido por los homólogos con mayor grado de cloración (CB6 a CB9), mientras que el CP2 lo integran los homólogos más ligeros (CB1, CB2 y CB4). En la figura 65 se observa que las muestras de sedimento del lago Santa Elena se agrupan juntas en una zona de coordenadas negativas junto a los Arocloros 1016, 1242 y 1248. Este agrupamiento supone que los PCBs determinados en Santa Elena tienen una configuración semejante a la de éstas mezclas comerciales de Arocloros.

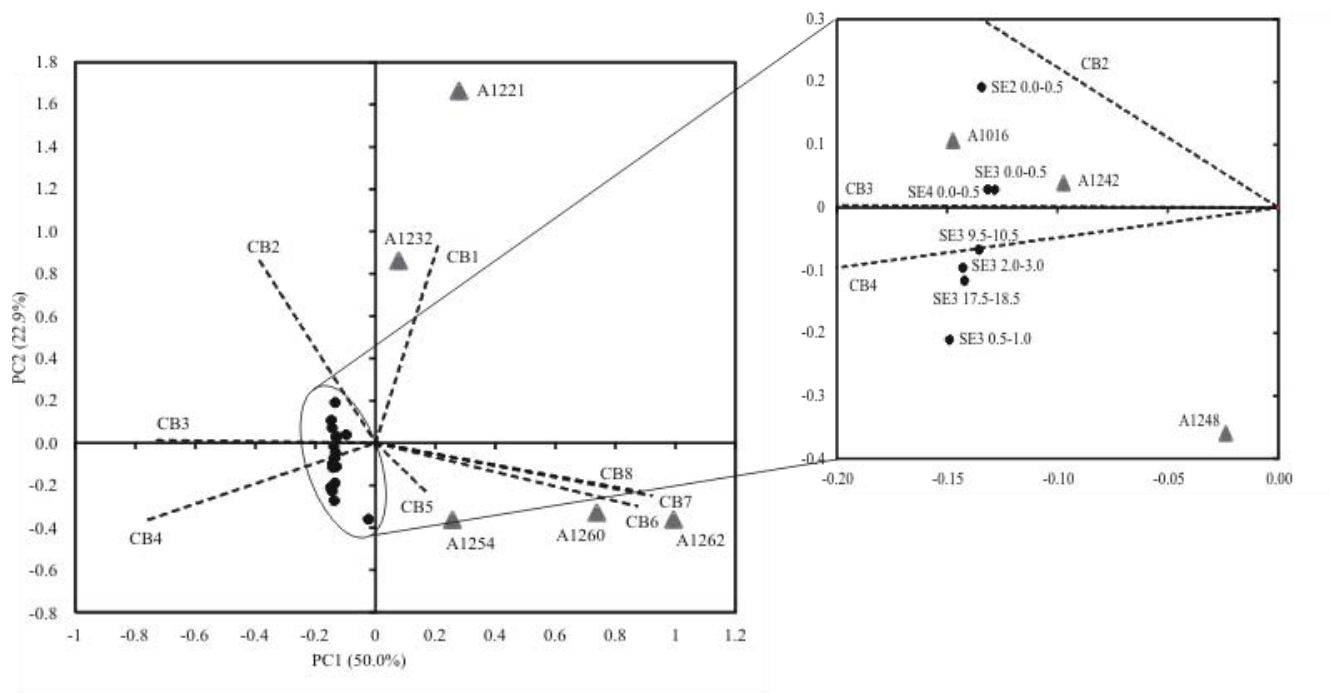


Figura 65. Análisis de componentes principales (ACP) de la composición de homólogos de PCBs en los sedimentos del lago Santa Elena y las mezclas comerciales de Arocloros.

En el lago Chapala el ACP desplegó dos CP que explican el 66% de la varianza acumulada (CP1 40% y CP2 26%). Igual que en el lago Santa Elena el CP1 de Chapala se integra por los homólogos con mayor grado de cloración (CB6 a CB9) mientras que en el CP2 se encuentran los homólogos ligeros (CB1, CB2 y CB5). La figura 66 muestra el diagrama en dos dimensiones del ACP donde se comparan a los homólogos de los PCBs observados en los sedimentos de Chapala con las mezclas comerciales de Arocloros utilizadas en México. Se observó que la mayoría de las secciones de sedimento del núcleo C3 se agrupan junto a los Arocloros 1016, 1232 y 1242, mientras que las secciones del núcleo C4 forman un conglomerado más cercano al Arocloro 1016.

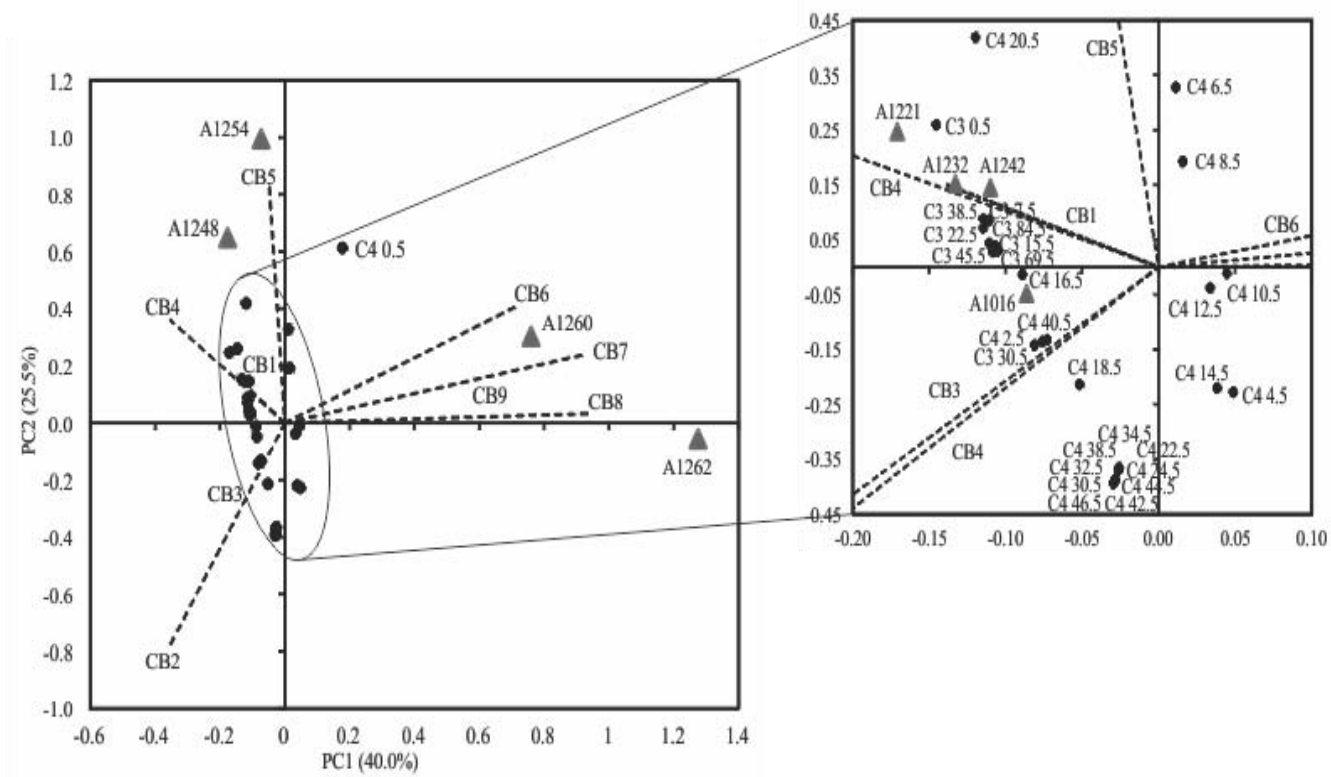


Figura 66. Análisis de componentes principales (ACP) de la composición de homólogos de PCBs en los sedimentos del lago Chapala y las mezclas comerciales de Arocloros.

Los resultados del ACP en los lagos son consistentes con el tipo de mezclas de PCB utilizadas comercialmente antes de su prohibición. La mayoría de los PCBs introducidos en México fueron importados de Norteamérica. Los Arocloros 1254 y 1260 fueron las mezclas utilizadas antes de 1950, mientras que el 1260 fue la mezcla más utilizada entre 1950 y 1960. Este último fue sustituido en 1971 por el Arocloro 1016 (Hutzinger *et al.*, 1974).

Ahora bien, la tendencia general de la Σ PBDEs en ambos sistemas acuáticos (figura 55) fue hacia el incremento desde las secciones más profundas de los perfiles, hasta la fecha de muestreo (2010). De hecho, a pesar de la prohibición de las mezclas comerciales que contenían a los congéneres de penta-BDEs y octa-BDEs desde el año 2004 en Norteamérica y Europa (USEPA, 2013), el aumento de sus concentraciones en los registros sedimentarios implica que estos COPs siguen siendo liberados debido a: 1) los productos que contienen a los PBDEs se encuentran aún en uso o son deshechados de forma inadecuada o 2) existe un desfase entre el control de las fuentes de emisión y la disminución de las concentraciones de PBDEs en el medio ambiente, debido a su volatilización y la resistencia a la degradación. El BDE-47 fue el congénere prevalente en los sedimentos de ambos lagos, y ha sido

reportado como el PBDE dominante por su distribución global en la biota y los seres humanos (EPA, 2008), así como en muestras atmosféricas (Gouin *et al.*, 2002). El BDE-47 fue uno de los componentes principales de la mezcla comercial Bromkal DE-70-5 y Bromkal DE-71 (mezclas de penta-BDE producidas en Norteamérica y Europa, respectivamente), las cuales tienen una composición similar: BDE-99 (45-49%), BDE-47 (38-40%) and BDE-100 (8-13%) (Laguardia *et al.*, 2006). Estas mezclas fueron utilizadas en su mayoría como retardantes de flama en espumas de poliuretano y circuitos electrónicos (Sakai *et al.*, 2001). El BDE-100 es el congénere menos abundante de los tres principales constituyentes del penta-BDE, y aun así fue encontrado en pequeñas cantidades en los núcleos de sedimentos del lago Santa Elena y Chapala (tabla 17). En contraste, el congénere más abundante, el BDE-99 resultó totalmente ausente en los sedimentos de los dos lagos, debido posiblemente a su fotodegradación durante el transporte atmosférico de largo alcance, ya que de los tres principales congéneres del penta-BDE, es el más foto-lábil (Eriksson *et al.*, 2004; Fang *et al.*, 2008). En cuanto a los PAHs se utilizaron algunas proporciones de sus isómeros para trazar las posibles fuentes de estos COPs (p. ej. pirogénico o petrogénico) en los lagos Santa Elena y Chapala (tabla 23).

Tabla 23. Indicadores de origen de PAHs en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena (SE3) y Chapala (C3, C4).

PAHs indicadores	SE3	C3	C4	Pirogénico	Petrogénico
BPM/APM (Readman <i>et al.</i> , 2002)	0.7-2.0	0.3-5.0	0.7-7.3	< 1	> 1
Phe/Ant (Readman <i>et al.</i> , 2002)	7.7-20.7	2.0-6.5	2.8-8.1	< 10	> 15
BaAn/Ch (Readman <i>et al.</i> , 2002)	n.d-1.0	0.1-0.3	0.3-1.0	> 0.9	≤ 0.4
Flt/Py (Readman <i>et al.</i> , 2002)	0.4-1.0	0.3-1.1	0.4-0.9	≤ 1	> 1
BaAn/(BaAn+Chr) (Readman <i>et al.</i> , 2002)	n.d-0.5	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.35	< 0.35
An/(An+Phe) (Budzinski <i>et al.</i> , 1997)	0.05-0.11	0.1-0.3	0.1-0.3	a	
Flt/(Flt+Py) (Yunker <i>et al.</i> , 2002)	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.5	> 0.4 ^a	< 0.4

Pirogénico  Petrogénico  Mezcla 

n.d. = no disponible. El cálculo no fue posible debido a la ausencia de congéneres

^aTipo de combustión de acuerdo al PAH indicador: An/(An+Phe), combustión de petróleo <10; quema de combustibles pesados >0.10; Flt/(Flt+Py), petrogénico <0.04; quema de combustible fósiles (vehículos y aceite crudo) 0.4-0.5; carbón mineral+biomasa >0.5.

Los núcleos de sedimento SE3, C3 y C4 mostraron una distribución irregular de los valores de las proporciones de PAHs con respecto a la profundidad. Por ejemplo, algunas secciones presentaron

proporciones de BPM/APM > 1 (origen petrogénico) con capas intercaladas con proporciones < 1 (origen pirogénico), indicando entradas intermitentes de fuentes distintas. Lo anterior fue confirmado con las proporciones de Phe/Ant, BaAn/Ch y BaAn/(BaAn+Ch). La proporción Flt/(Flt + Py) también indicó una mezcla entre fuentes petrogénicas y pirogénicas (quema de combustibles fósiles, p.ej. vehículos y aceites crudos), mientras que la proporción An/(An+Phe) indicó una mezcla de petróleo (< 0.10) y quema de combustible pesado (> 0.10). Por otro lado, la proporción BaAn/Ch ha sido utilizada para estimar de la fuente potencial de PAHs (Mai *et al.*, 2003), donde entre menor sea el valor de la proporción BaAn/Ch, mayor será la distancia de la fuente de emisión de los PAHs. En los núcleos del lago Santa Elena y Chapala los valores del BaAn/Ch son menores a 0.6, lo que sugiere que los PAHs fueron transportados desde áreas lejanas.

12. Conclusiones

La radiocronología con ^{210}Pb permitió el fechado de los núcleos de sedimento de los lagos Santa Elena y Chapala, posicionando el origen del marco temporal durante las primeras décadas del siglo XX (~1914 y ~1935, respectivamente). Al estimar las tasas de acumulación sedimentarias (TAS) y acumulación másica (TAM), en el lago Santa Elena se observó que el ritmo de acumulación ha aumentado de manera progresiva a lo largo del periodo contenido en sus registros (TAS, 0.03-0.45 cm año^{-1} ; TAM, 0.02-0.13 $\text{g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$). En contraste, el lago Chapala presentó incrementos abruptos en la sedimentación a partir de la década de 1950 y los máximos se registraron en 1963, 2004 y 2010 (TAS, 1.3-1.5 cm año^{-1} ; TAM, 0.12-0.18 $\text{g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$). Estos incrementos en las TAS y TAM se relacionaron directamente con las fluctuaciones en el nivel del lago ocasionadas por extensos periodos de sequías, junto con la extracción excesiva de agua para el abastecimiento de la ciudad de Guadalajara y las zonas de cultivo de los alrededores.

La caracterización geoquímica de los núcleos de sedimento del lago Santa Elena y Chapala se utilizó para establecer los niveles de concentración natural (CN) locales de varios elementos. Ninguno de los sistemas acuáticos presentó evidencia de un alto grado de contaminación por metales o metaloides ($\text{EF} \geq 2$). De acuerdo con el análisis factorial, la mayoría de los elementos observados en los sedimentos de ambos sistemas acuáticos proceden de fuentes naturales y han sido transportados a través de los procesos de intemperismo y erosión que operan en sus cuencas hidrográficas. No obstante, los valores de As, Cr, Cu, Hg y Ni, aun en las concentraciones naturales observadas, excedieron los límites TEL (nivel de umbral de efectos) y PEL (nivel de efectos probables), lo que implica la posibilidad de efectos tóxicos para la biota.

En cuando a los contaminantes orgánicos persistentes, los registros sedimentarios de ambos lagos mostraron contaminación ligera por PCBs, PBDEs y PAHs, con intervalos de concentraciones y flujos comparables con otras áreas urbanizadas del mundo. Únicamente congéneres de PCBs de baja cloración (di a penta-CB) y baja brominación PBDEs (tri a penta-BDE) fueron detectados en los dos sitios. A pesar de las restricciones en el uso comercial de las mezclas de PCBs (en 1977) y PBDEs (en 2004), sus concentraciones totales en los sedimentos mostraron tendencias crecientes aún en los sedimentos más jóvenes (recolección de los núcleos en 2010). Debido a que no existen fuentes puntuales de PCBs y PBDEs alrededor de los sitios de estudio, y ya que la contribución predominante fue de congéneres de bajo peso molecular, se infiere que los PCBs y PBDEs detectados son producto del transporte y depósito atmosférico a partir de fuentes distantes (debido al efecto de fraccionamiento

global). Por otro lado, las concentraciones de PAHs no mostraron una tendencia temporal definida, y su señal en los núcleos del Santa Elena y Chapala fue una mezcla de fuentes petrogénicas y pirogénicas. Debido a las características de los perfiles de carbono orgánico (C_{org}) en el lago Santa Elena, la estimación de la preservación y los flujos modelados de C_{org} se realizó únicamente en el lago Chapala. En general los flujos de C_{org} fueron de 3 a 51 $g\ m^{-2}\ año^{-1}$, los cuales son comparables con valores registrados para grandes lagos mesotróficos de otras partes del mundo. Tomando en cuenta que la pérdida máxima de C_{org} por diagénesis en los registros sedimentarios fue de $\sim 39\%$, se concluye que el lago tiene una gran capacidad para preservar el C_{org} que es enterrado en los sedimentos. Esto apoya la hipótesis de que los sedimentos lacustres son reservorios que tienen una alta eficiencia como sumideros de CO_2 a partir de detritus orgánicos. Se evaluó la tendencia histórica de los cambios en las fuentes de materia orgánica en los sedimentos del lago Santa Elena y Chapala, utilizando los proxies: $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ y C/N; donde, la relación C/N junto con los valores de $\delta^{15}N$ indicaron que la materia orgánica en ambos lagos proviene de la mezcla de plantas terrestres y fitoplancton; sin embargo, al contrastar estos proxis con los valores de $\delta^{13}C$ fue evidente que el aporte principal fueron las plantas terrestres tipo C3.

13. Bibliografía

- Abraham, J., 1998. Spatial distribution of major and trace elements in shallow reservoir sediments: an example from Lake Waco, Texas. *Environmental Geology* 36, 3-4.
- Abraham, G.M.S., Parker, R.J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring Assessment* 136, 227-238.
- Adriano, D.C., 1986. Trace element in terrestrial environment, second ed. Springer-Verlag, New York.
- Alcocer, J., López-Anaya, D.P., Oseguera, L.A., 2007. Dinámica del carbono orgánico particulado en un lago tropical profundo, en: Hernández de la Torre, B., Gaxiola-Castro, G. (Eds.), Carbono en ecosistemas acuáticos de México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, pp. 239-247.
- Alcocer, J., Ruiz-Fernández, A.C., Escobar, E., Pérez-Bernal, L., Oseguera, L.A., Ardiles-Gloria, V., 2014. Deposition, burial and sequestration of carbon in an oligotrophic, tropical lake. *Journal of Limnology* 73(2), 223-235.
- Aldahan, A., Haiping, Y., Possnert, G., 1999. Distribution of beryllium between solution and minerals (biotite and albite) under atmospheric conditions and variable pH. *Chemical Geology* 156, 209-229.
- Allan, J.F. 1986. Geology of the Northern Colima and Zacoalco Grabens, southwest Mexico: late Cenozoic rifting in the Mexican volcanic belt. *Geological Society of America Bulletin* 97, 473-485.
- Allen, M.P., 1997. Understanding regression analysis. Plenum Press, New York.
- Aller, R.C., Blair, N.E., Xia, Q., Rude, P.D., 1996. Remineralization rates, recycling, and storage of carbon in Amazon shelf sediments. *Continental Shelf Research* 16, 753-786.
- Altabet, M.A., Francois, R., 1994. Sedimentary nitrogen isotopic ratio as a recorder for surface ocean nitrate utilization. *Global Biogeochemical Cycles* 8, 103-116.
- Anda, J., Shear, H., Maniak, U., Zárate del Valle, P.F., 2004. Solid distribution in Lake Chapala, Mexico. *Journal of the American Water Resource Association* 2064, 97-109
- Anderson, L., Finney, B.P., Shapley, M.D., 2011. Lake carbonate- $\delta^{18}\text{O}$ records from the Yukon Territory, Canada: Little Ice Age moisture variability and patterns. *Quaternary Science Reviews* 30, 887-898.
- Angelo, J.A., 2004. Nuclear technology. Greenwood Press, Westport, USA.
- Appleby, P.G., Oldfield, F., 1978. The calculation of ^{210}Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena* 5, 1-8.

- Appleby, P.G., Oldfield, F., 1983. The assessment of ^{210}Pb data from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiologia* 103, 29-35.
- Appleby, P.G., Oldfield, F., 1992. Uranium series disequilibrium: Application to Earth, Marine and Environmental Science, in: Ivanovich, M., Harmon, R.S. (Eds.), *Application of lead-210 to sedimentation studies*. Oxford University. Oxford, pp. 731-778.
- Appleby, P.G., 1998. Dating of sediments and determination of sedimentation rate. Proceedings of a seminar held in Helsinki, 2-3 April 1997.
- Appleby P. G., 2001. Basin Analysis, Coring and Chronological Techniques. *Chronostratigraphic techniques in recent sediments*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 1: 2-32.
- Ardiles, V., Alcocer, J., Vilaclara, G., Oseguera, L.A., Velasco, L., 2012. Diatom fluxes in a tropical, oligotrophic lake dominated by large-sized phytoplankton. *Hydrobiologia* 679, 77-90.
- Armenta-Arteaga, G., Elizalde-González, M.P.E., 2003. Contamination by PAHs, PCBs, PCPs and Heavy Metals in the Mecocacán Lake Estuarine Water and Sediments after Oil Spilling. *Journal of Soils and Sediments* 3, 35-40.
- ATSDR, 2000. Agency of toxic substances & disease registry. Toxicological profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Atlanta, GA: US. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp17.pdf>. Noviembre 11, 2013.
- ATSDR, 2013. Agency of toxic substances & disease registry. <http://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=26>. Noviembre 8, 2013.
- Attix, F.H., 1986. *Introduction to radiological physics and radiation dosimetry*. Wiley, New York.
- Balwin, D.S., Howitt, J.A., 2007. Baseline assessment of metals and hydrocarbons in the sediments of Lake Mulwala, Australia. *Lakes & Reservoirs: Research & Management* 12, 167-174.
- Bartrons, M., Grimalt, J.O., Catalan, J., 2011. Altitudinal distributions of BDE-209 and other polybromodiphenyl ethers in high mountain lakes. *Environmental Pollution* 159, 1816-1822.
- Bartlett, M.S., 1937. Properties of sufficiency and statistical test. *Proceedings of the Royal Society* 160, 268-282.
- Berner, R.A., 1980. A rate model for organic carbon decomposition during bacterial sulfate reduction in marine sediments. *Biogeochemistry of Organic Matter at the Sediment–Water Interface*. CNRS Int. Colloq., pp. 35-44.
- Berner, R.A., 1981. A new geochemical classification of sedimentary environments. *Journal of Sedimentary Petrology* 51, 359-365.

- Berry, L.G., Mason, B., 1959. *Mineralogy: Concepts, descriptions, determinations*. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Besoain, E., 1985. *Mineralogía de arcillas de suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Binford, M.W., 1990. Calculation and uncertainty analysis of ^{210}Pb dates for PIRLA project lake sediment cores. *Journal of Paleolimnology* 3, 253-267.
- Biscaye, P.E., 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geological Society of American Bulletin* 76, 803-832.
- Bjorlykke, K., Aagaard, P., Egeberg, P.K., Simmons, S.P., 1995. Geochemical constraints from formation water analyses from the North Sea and the Gulf Coast basins on quartz, feldspar and illite precipitation in reservoir rocks. En: Cubitt, J.M., England, W.A. (Eds.), *The Geochemistry of reservoirs*, Geological Society of Special Publications, vol. 86, pp. 33-50.
- Boggs, S.Jr., 2009. Petrology of sedimentary rocks, in: Boggs, S.Jr. (Ed.), *Carbonate sedimentary rocks*. Cambridge, New York, pp. 311-408.
- Borchardt, C.A., 1977. Montmorillonite and other smectite minerals, en: Dinauer, R.C. (Ed.), *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 293-330.
- Bradley, P.W., Wam, Y., Jones, P.D., Wiseman, S., Chang, H., Lam, M.H.W., Long, D.T., Giesy, J., 2011. PBDEs and methoxylated analogues in sediment cores from two Michigan, USA, inland lakes. *Environmental Chemistry* 30, 1236-1242.
- Braithwaite, C.J.R., Rizzi, G., Darke, G., 2004. The geometry and petrogenesis of dolomite hydrocarbon reservoirs, in: Wright, D.T., Wacey, D., *Sedimentary dolomite: a reality check*. The Geological Society Publishing House, Bodmin, pp. 65-75.
- Brancelj, A., Šiško, M., Muri, G., Appleby, P., Lami, A., Shilland, E., Rose, N.L., Kamenik, C., Brooks, S.J., Dearing, J.A., 2002. Lake Jezero v Ledvici (NW Slovenia) – changes in sediment records over the last two centuries. *Journal of Paleolimnology* 28, 47–58.
- Brown, M.E., Curtin, T.M., Gallagher, C.J., Halfman, J.D., 2012. Historic nutrient loading and recent species invasions caused shifts in water quality and zooplankton demography in two Finger Lakes (New York, USA). *Journal of Paleolimnology* 48, 623-639.
- Bogdal, C., Scheringer, M., Schmid, P., Bläuenstein, M., Kohler, M., Hungerbühler K., 2010. Levels, fluxes and time trends of persistent organic pollutants in Lake Thun, Switzerland: Combining trace analysis and multimedia modeling. *Science of the Total Environment* 408, 3654-3663.

- Bookman, R., Driscoll, C.T., Effler, S.W., Engstrom, D.R., 2010. Anthropogenic impacts recorded in recent sediments from Otisco Lake, New York, USA. *Journal of Paleolimnology* 43, 449-462.
- Boyle, J.F., Mackay, A.W., Rose, N.L., Flower, R.J., Appleby, P.G., 1998. Sediment heavy metal record in Lake Baikal: natural and anthropogenic sources. *Journal of Paleolimnology* 20, 135-150.
- Buchman, M.F., 2008. NOAA screening quick reference tables, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pages.
- Budzinski, H., Jones, I., Bellocq, J., Piérard, C., Garrigues, P., 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry* 58, 85-97.
- Byerrum, R.U., Eckardt, R.E., Hopkins, L.L., Libsch, J.F., Rostoker, W., Zenz, C., et al., 1974. Vanadium. *National Academy of Sciences* 18, 1-117.
- Caitcheon G., 1993. Sediment source tracing using environmental magnetism: a new approach with examples from Australia. *Hydrological Processes* 7, 349-358.
- Callender, E., 2003. Heavy Metals in the Environment-Historical Trends, in: Turekian, K.K, Hollan, H.D. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*. Elsevier, Miami, pp. 67-105.
- Carnero-Bravo, V., Merino-Ibarra, M., Ruiz-Fernández, A.C., Sanchez-Cabeza, J.A., Ghaleb, B., 2014. Sedimentary record of water column trophic conditions and sediment carbon fluxes in a tropical water reservoir (Valle de Bravo, Mexico). *Environmental Science and Pollution Research*. DOI 10.1007/s11356-014-3703-0.
- Carvalho, F.P., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Rendón, J., Mota de Oliveira, J., 2009. Ecological risk assessment of PCBs and other organic contaminant residues in Laguna de Terminos, Mexico. *Ecotoxicology* 18, 403-416.
- Casper, P., Marbely, S.C., Hall, G.H., Finlay, B.J., 2000. Fluxes of methane and carbon dioxide from a small productive lake to the atmosphere. *Biogeochemistry* 49, 1-19.
- CEA, 2014. Comisión Estatal del Agua, Jalisco. <http://www.ceajalisco.gob.mx/reg03.html#>. Marzo 24, 2014.
- Chesterman, C.W., 1978. *The Audubon Society Field Guide to North American Rocks and Minerals*. Alfred A. Knopf, Inc., Kingsport Tennessee.
- CEC, 2013. Commission for Environmental Cooperation. Three countries working together to protect our shared environment. <http://www.cec.org/Page.asp?PageID=924&SiteNodeID=1018>. Febrero 25, 2014.

- Clark, J.S., Cachier, H., Goldammer, J.G., Stocks, B., 1997. Sediment records of biomass burning and global change. Springer-Verlag, Berlin.
- Cloern, J.E., Canuel, E.A., Harris, D., 2002. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnology and Oceanography* 47, 713-729.
- Cochran, J.K., Hirschberg, D.J., Wang, J., Dere, C., 1998. Atmospheric deposition of metals to coastal waters (Long Island Sound, New York U.S.A.): Evidence from saltmarsh deposition. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46, 503-522.
- Cohen, A.S., 2003. *Paleolimnology: The history and evolution of lake systems*. Oxford University Press, New York.
- CONAGUA, 2006. Comisión Nacional del Agua. Formulación del Programa Hídrico por Organismo de Cuenca, Visión 2030, de la Región Hidrológico-Administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico: Resumen Ejecutivo. Integración del Programa Hídrico Regional, México.
- CONAGUA, 2013. Comisión Nacional del Agua. Niveles máximos y mínimos del Lago Chapala 1900-2013. <http://www.ceajalisco.gob.mx/sia/niveles/niveles.html>. Julio 11, 2013.
- Cornwell, J.C., Stevenson, J.C., Conley, D.J., Owens, M., 1996. A sediment chronology of Chesapeake Bay eutrophication. *Estuaries* 19, 488-499.
- Cook, H.E., Johnson, P.D., Matti, J.C., Zemmels, I., 1975. Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis, in: Hayes, D.E., Frakes, L.A. (Eds.). *Init. Repts. DSDP 28*, US Govt Printing Office, Washington, pp 999-1007.
- Cooke, C.A., Abbott, M.B., Wolfe, A.P., Kittleson, J.L., 2007. A Millennium of Metallurgy Recorded by Lake Sediments from Morococha, Peruvian Andes. *Environmental Science & Technology* 41, 3469-3474.
- Crowder, A., Dushenko, W.T., Greig, J., Poland, J.S., 1989. Metal contamination in sediments and biota of the Bay of Quinte, Lake Ontario, Canada. *Hydrobiologia* 188/189, 337-343.
- Cukrov, N., Cuculić, V., Barišić, D., Lojen, S., Mikelić, I.L., Oreščanin, V., Vdović, N., Fiket, Z., Čermelj, B., Mlakar, M., 2013. Elemental and isotopic records in recent fluvio-lacustrine sediments in karstic river Krka, Croatia. *Journal of Geochemical Exploration* 134, 51-60.
- Curtis, C.D., 1966. The incorporation of soluble organic matter into sediments and its effect on trace-element assemblages. In: G.D. Hobson and M.C. Louis (Eds), *Advances in Organic Geochemistry*. Pergamon Press, Oxford, pp. 1-13.

- Dannenberger, D., 1996. Chlorinated microcontaminants in surface sediments of the Baltic Sea— investigations in the Belt Sea, the Arkona Sea and the Pomeranian Bight. *Marine Pollution Bulletin* 32, 772-781.
- Darnerud, P.O., Eriksen, G.S., Johannesson, T., Larsen, P.B., Viluksela, M., 2001. Polybrominated diphenyl ethers: occurrence, dietary exposure, and toxicology. *Environmental Health Perspectives* 109, 49-68.
- Dauvalter, V., 2003. Impact of mining and refining on the distribution and accumulation of nickel and other heavy metals in sediments of subarctic Lake Kuetsjärvi, Murmansk Region, Russia. *Journal of Environmental Monitoring* 5, 210-215.
- Davies, S.J., Metcalfe, S.E., Caballero, M.E., Juggins, S., 2002. Developing diatom based transfer functions for central Mexican lakes. *Hydrobiologia* 467, 199-213.
- Davies, S.J., Metcalfe, S.E., MacKenzie, A.B., Newton, A.J., Endfield, G.H., Farmer, J.G., 2004. Environmental changes in the Zirahuén Basin, Michoacán, Mexico, during the last 1000 years. *Journal of Paleolimnology* 31, 77-98.
- Davies, S.J., Metcalfe, S.E., Bernal-Brooks, F., Chacón-Torres, A., Farmer, J.G., MacKenzie, A.B., Newton, A.J., 2005. Lake sediments record sensitivity of two hydrologically closed upland lakes in Mexico to human impact. *Ambio* 34, 470-475.
- DDEP, 2013. Data Decay Evaluation Project. LNELNHB/CEA – Table de radionucléides ^{210}Pb . http://www.nucleide.org/DDEP_WG/Nuclides/Pb-210_tables.pdf. Abril 15, 2013a.
- DDEP, 2013. Data Decay Evaluation Project. LNELNHB/CEA – Table de radionucléides ^{210}Po . http://www.nucleide.org/DDEP_WG/Nuclides/Po-210_tables.pdf. Abril 15, 2013b.
- DDEP, 2013. Data Decay Evaluation Project. LNELNHB/CEA – Table de radionucléides ^{222}Rn . http://www.nucleide.org/DDEP_WG/Nuclides/Rn-222_tables.pdf. Abril 16, 2013c.
- DDEP, 2013. Data Decay Evaluation Project. LNELNHB/CEA – Table de radionucléides ^{226}Ra . http://www.nucleide.org/DDEP_WG/Nuclides/Ra-226_tables.pdf. Abril 16, 2013d.
- De Anda, J., Shear, H., Maniak, U., Zárate del Valle, P.F., 2004. Solids distribution in Lake Chapala, Mexico. *Journal of the American Water Resources Association* 40, 97-109.
- De Anda, J., Shear, H., Zavala, J.L., 2005. Simplified hydrologic correlations to forecast the natural regime of Lake Chapala. *Journal of Environmental Hydrology* 13, 1-12.
- De Boer, J., de Boer, K., Boon, J.P., 2000. Polybrominated diphenyls and diphenylethers. In: Paasivirta J, editor. *New types of persistent halogenated compounds*. Chapter 4. *The handbook of environmental chemistry*. Berlin7 Springer. pp. 62-95.

- Demina, L.L., Levitan, M.A., Politova, N.V., 2006. Speciation of some heavy metals in bottom sediments of the Ob and Yenisei. Estuarine zone. *Geochemistry International* 44, 182-195.
- Dean, W.E., Gorham, E., 1998. Magnitude and significance of carbon burial in lakes, reservoirs, and peatlands. *Geology* 26, 535-538.
- Defant, M.J., Jackson, T.E., Drummond, M.S., deBoer, J.Z., Bellon, H., Feigenson, M.D., Maury, R.C., Stewart, R.H., 1992. The geochemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica: an overview. *Journal of the Geological Society of London* 149, 569-579.
- Den-Heyer, C., Kalff, J., 1998. Organic matter mineralization rates in sediments: A within- and among-lake study. *Limnology and Oceanography* 43, 695-705.
- Dekov, V., Scholten, J., Garbe-Schonberg, C.D., Botz, R., Cuadros, J., Schmidt, M., Stoffers, P., 2008. Hydrothermal sediment alteration at a seafloor vent field: Grimsey Graben, Tjörnes Fracture Zone, north of Iceland. *Journal of Geophysical Research* 113, 1-20.
- Douben, P.E.T., 2003. PAHs: An ecotoxicological perspective. Jhon Wiley & Sons Ltd, Chichester England.
- Downing, J.A., Cole, J.J., Middelburg, J.J., Striegl, R.G., Duarte, C.M., Kortelainen, P., Prairie, Y.T., Laube, K.A., 2008. Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century. *Global Biogeochemical Cycles* 22, 1-10.
- Dunteman, G.H., 1989. Principal components analysis: Quantitative Applications in the Social Sciences. Sage University Paper, California.
- Ece, O.I., Nakagawa, Z.E., 2003. Alteration of volcanic rocks and genesis of kaolin deposits in the Sile Region, northern Istanbul, Turkey. Part II: mobility of elements. *Clay Minerals* 4, 529-550.
- Elias, X., 2009. Reciclaje de residuos industriales: residuos sólidos urbanos y fangos de depuradoras, segunda ed. Ediciones Díaz de Santos, Madrid.
- EAJ, 1991. Environmental Agency Japan. Chemicals in the environment Report on environmental survey and wildlife monitoring of chemicals in FY 1988 and 1989. Environmental Agency Japan. Tokyo, Japan: Department of Environmental Health, Office of Health Studies.
- Erickson, M.D., 2001. Introduction: PCBs properties, uses, occurrence, and regulatory history. In: Robertson LW, Hansen LG, editors. PCBs: recent advances in environmental toxicology and health effects. Lexington, The University Press of Kentucky.
- Eriksson, J., Green, N., Marsh, G., Bergman, Å., 2004. Photochemical decomposition of 15 polybrominated diphenyl ether congeners in methanol/water. *Environmental Science & Technology* 38, 3119-3125.

- EPA, 2007. US Environmental Protection Agency. Method 3051A: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>, 2007. Octubre 29, 2012.
- EPA, 2008. U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC. Toxicological review of 2,2',4,4'-tetrabromodiphenyl ether (BDE-47). EPA/635/R-07/005 F. <http://www.epa.gov/iris/toxreviews/1010tr.pdf>. Febrero 8, 2014.
- Essien, J.P., Antai, S.P., Olajire, A.A., 2009. Distribution, seasonal variations and ecotoxicological significance of heavy metals in sediments of cross river estuary mangrove swamp. *Water, Air, & Soil Pollution* 197, 91-105.
- Evans, M.E., Heller, F. 2003. *Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics*. Academic Press, San Diego.
- Fagel, N., Boski, T., Likhoshway, L., Oberhaensli, H., 2003. Late Quaternary clay mineral record in Central Lake Baikal (Academician Ridge, Siberia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193, 159-179.
- Fang, M.D., Lee, C.L., Yu, C.S., 2003. Distribution and source recognition of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of Hsin-ta Harbour and adjacent coastal areas, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* 46, 941-953.
- Fassbender, H.W., 1975. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. IICA, Turrialba.
- Fernex, F., Zárate-del Valle, P., Ramírez-Sánchez, H., Michaud, F., Parron, C., Dalmasso, J., Barci-Funel, G., Guzmán-Arroyo, M., 2001. Sedimentation rates in lake Chapala (western Mexico): possible active tectonic control. *Chemical Geology* 177, 213-228.
- Fillmann, G., Readman, J.W., Tolosa, I., Bartocci, J., Villeneuve, J.-P., Cattini, C., Mee, L.D., 2002. Persistent organochlorine residues in sediments from the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin* 44, 122-133.
- Filonov, A.E., Tereshchenko, I.E., Monzón, C.O., 1998. Oscillations of the hydrometeorological characteristics in the region of Lake Chapala for intervals of days to decades. *Geofísica Internacional* 37, 293-307.
- Flynn, W.W., 1968. The determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. *Analytica Chimica Acta* 43, 221-227.
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of sedimentary petrology* 27, 3-26.

- Ford, T., Ryan, D.K., 1992. Evaluation of heavy metals in water, sediment and organisms in Lake Chapala. Final Report to the state of Jalisco. Cambridge, Massachusetts.
- Frignani, M., Bellucci, L.G., Carraro, C., Raccanelli, S., 2001. Polychlorinated biphenyls in sediments of the Venice Lagoon. *Chemosphere* 43, 567-575.
- Gallego, E., Grimalt, J.O., Bartrons, M., López, J.F., 2007. Altitudinal gradients of PBDEs and PCBs in fish from European High Mountain Lakes. *Environmental Science and Technology* 41, 2196-2202.
- Garrels, R.M., MacKenzie, F.T., 1971. *Evolution of Sedimentary Rocks*. Norton & Company, New York.
- Gasparon, M., Matschullat, J., 2006. Geogenic sources and sinks of trace metals in the Larsemann Hills, East Antarctica: Natural processes and human impact. *Applied Geochemistry* 21, 318-334.
- Gaudette, H., Flight, W., 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* 44, 249-253.
- Geiss, C.E., Banerjee, S.K., Camille, P., Umbanhowar Jr., C.E., 2004. Sediment-magnetic signature of land-use and drought as recorded in lake sediment from south-central Minnesota, USA. *Quaternary Research* 62, 117-125.
- Gevao, B., Beg, M.U., Al-Ghadban, A.N., Al-Omair, A., Helaleh, M., Zafar, J., 2006. Spatial distribution of polybrominated diphenyl ethers in coastal marine sediments receiving industrial and municipal effluents in Kuwait. *Chemosphere* 62, 1078-1086.
- Giralt, S., Moreno, A., Bao, R., Sáez, A., Prego, R., Valero-Garcés, B.L, Pueyo, J.J., González-Sampériz, P., Taberner, C., 2008. A statistical approach to disentangle environmental forcings in a lacustrine record: the Lago Chungará case (Chilean Altiplano). *Journal of Paleolimnology* 40, 195-215.
- Griffin, J.J., Windom, H., Goldberg, E.D., 1968. The distribution of clay minerals in the World Ocean. *Deep Sea Research* 15, 433-459.
- Grim, R.E., 1953. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book Company, Inc, New York.
- Gruber, N., Galloway, J.N., 2008. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature* 451, 293-296.
- Glasby, G.P., Szefer, P., 1998. Marine pollution in Gdansk Bay, Puck Bay and the Vistula Lagoon, Poland: An overview. *The Science of the Total Environment* 212, 49-57.
- Goldberg, E.D., 1963. Geochronology with ^{210}Pb . In: *Radioactive Dating*. Proceedings of a Symposium, International Atomic Energy Agency, Vienna. 121-131.

- Goldberg, E.D., Gamble, E., Griffin, J.J., Koide, M., 1977. Pollution history of Narragansett Bay as recorded in its sediments. *Estuarine and Coastal Marine Science* 5, 549-561.
- Gouin, T., Thomas, G.O., Cousins, I., Barber, J., MacKay, D., Jones, K.C., 2002. Air–surface exchange of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls. *Environmental Science & Technology* 36, 1426-1434.
- Gudasz, C., Bastviken, D., Steger, K., Premke, K., Sobek, S., Tranvik, L.J., 2010. Temperature-controlled organic carbon mineralization in lake sediments. *Nature* 466, 478-482.
- Guevara, S.R., Rizzo, A., Sánchez, R., Arribére, M., 2005. Heavy metal inputs in Northern Patagonia lakes from short sediment core analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 3, 481-493.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Villaescusa-Celaya, J.A., Flores-Muñoz, G., Sericano, J.L., 1996. Organic contaminants in sediments from San Quintín Bay, Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 32, 378-381.
- Guzmán-Arroyo, M., 1995. El Lago de Chapala, en: De La Lanza-Espino, G., García-Calderón, J.L., (Eds.), *Lagos y presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo, págs. 129-145.
- Guzzella, L., Roscoli, C., Viganò, L., Saha, M., Sakar, S.K., 2005. Evaluation of the concentration of HCH, DDT, HCB, PCB and PAH in the sediments along the lower stretch of Hugli estuary, West Bengal, northeast India. *Environment International* 31, 523-534.
- Guzzella, L., Poma, G., Paolis, A., Roscioli, C., Viviano, G., 2011. Organic persistent toxic substances in soils, waters and sediments along an altitudinal gradient at Mt. Sagarmatha, Himalayas, Nepal. *Environmental Pollution* 159, 2552-2564.
- Hale, R.C., Alaei, M., Manchester-Neesvig, J.B., Stapleton, H.M., Ikonomou, M.G., 2003. Polybrominated diphenyl ether flame retardants in the North American environment. *Environment International* 29, 771-9.
- Harris, D.C., 2003. *Análisis químico cuantitativo*, tercera ed. Reverté, Barcelona.
- Hartmann, P.C., Quinn, J.G., Cairns, R.W., King, J.W., 2005. Depositional history of organic contaminants in Narragansett Bay, Rhode Island, USA. *Marine Pollution Bulletin* 50, 388-395.
- Hansen, A.M., van Afferden, M., 2005. El lago de Chapala: destino final del río Lerma, in: Jiménez, B, Marín, L. (Ed), *El agua en México vista desde la academia*. Academia Mexicana de Ciencias, México, pp. 117-135.
- Hansen, A.M., 2012. Lake sediment cores as indicators of historical metal(loid) accumulation – A case study in Mexico. *Applied Geochemistry* 27, 1745-1752.

- Hartnett, H.E., Keil, R.G., Hedges, J.I., Devol, A.H., 1998. Influence of oxygen exposure time on organic carbon preservation in continental margin sediments. *Nature* 391, 572-574.
- He, M., Zheng, H., Huang, X., Jia, J., Li, L., 2013a. Yangtze River sediments from source to sink traced with clay mineralogy. *Journal of Asian Earth Sciences* 69, 60-69.
- He, W., Qin, N., Kong, X., Liu, W., He, Q., Ouyang, H., Wang, Q., Yang, B., Yang, C., Jiang, Y., Xu, F., 2013b. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the surface sediments and suspended particulate matter (SPM) from Lake Chaohu, a large shallow Chinese lake. *Science of the Total Environment* 463/464, 1163-1173.
- Heathcote, A.J., Downing, J.A., 2012. Impacts of eutrophication on carbon burial in freshwater lakes in an intensively agricultural landscape. *Ecosystems* 15, 60-70.
- Hefferan, K., O'Brien, J., 2010. *Earth materials*. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Heit, M., Tan, Y., Klusek, C., Burke, J.C., 1981. Anthropogenic trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbon levels in sediment cores from two lakes in the adirondack acid lake region. *Water, Air, & Soil Pollution* 15, 441-464.
- Helm, P.A., Milne, J., Hiriart-Baer, V., Crozier, P., Kolic, T., Lega, R., Chen, T., MacPherson, K., Gewurtz, S., Winter, J., Myers, A., Marin, C.H., Reiner, E.J., 2011. Lake-wide distribution and depositional history of current- and past-use persistent organic pollutants in Lake Simcoe, Ontario, Canada. *Journal of Great Lakes Research* 37, 132-141.
- Higueras-Higueras, P.L., 1995. Procesos petrogénicos y de alteración de las rocas magmáticas asociadas a las mineralizaciones del mercurio del distrito de Almadén. Universidad de Castilla-La Mancha, Murcia.
- Hill, M.K., 2010. *Understanding environmental pollution*, third ed. Cambridge, New York.
- Hilton, J., 1987. A simple model for the interpretation of magnetic records in lacustrine and ocean sediments. *Quaternary Research* 27, 160-166.
- Hiradata, S.H., Hayase, D., Eguchi, A., Itai, T., Nomiya, K., Isobe, T., Agusa, T., Ishikawa, T., Kumagai, M., Tanabe, S., 2011. Arsenic and Mn levels in Isaza (*Gymnogobius isaza*) during the mass mortality event in Lake Biwa, Japan. *Environmental Pollution* 159, 2798-2796.
- Hodell, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H., 2007. Climate and cultural history of the Northeastern Yucatan Peninsula, Quintana Roo, Mexico. *Climatic Change* 83, 215-240.
- Hu, G., Luo, X., Li, F., Dai, J., Guo, J., Chen, S., Hong, C., Mai, B., Xu, M., 2010. Organochlorine compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment from Baiyangdian Lake,

- North China: Concentrations, sources profiles and potential risk. *Journal of Environmental Sciences* 22, 176-183.
- Hung, C., Gong, G., Jiann, K., Yeager, K.M., Santschi, P.H., Wade, T.L., Sericano, J.L., Hsieh, H., 2006. Relationship between carbonaceous materials and polychlorinated biphenyls (PCBs) in the sediments of the Danshui River and adjacent coastal areas, Taiwan. *Chemosphere* 65, 1452-1461.
- Hutzinger, O., Safe, S., Zitko, V., 1974. *The chemistry of PCBs*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- IAEA, 1997. Standard operating procedures for trace metals determination. Training course for laboratory manager. Marine Environmental Laboratory, Marine Environmental Studies Laboratory.
- IARC, 2014. Polychlorinated biphenyls (PCBs). International Agency for Research on Cancer. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Publications/techrep42/TR42-17.pdf>. Febrero 25, 2014.
- INE, 2003. Diagnóstico bio-físico y socio-económico de la cuenca Lerma-Chapala. Dirección de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, 285 pp.
- INE, 2008. Contaminantes orgánicos persistentes. Instituto Nacional de Ecología. http://www.ine.gob.mx/dgicur/sqre/ti_COP.html#1. Abril 20, 2009.
- INEGI, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. San Ignacio Cerro Gordo, Jalisco 9 pp.
- Inman, D.L., 1949. Sorting of sediments in the light of fluid mechanics. *Journal of Sedimentary Petrology* 19, 51-70.
- Iwata, H., Tanabe, S., Ueda, K., Tatsukawa, R., 1995. Persistent organochlorine residues in air, water, sediments, and soils from the Lake Baikal region, Russia. *Environmental Science & Technology* 29, 792-801.
- Jackson, K.S., Jonasson, I.R., Skippen, G.B., 1978. The nature of metals-sediment-water interaction in fresh water bodies, with emphasis on the role of organic matter. *Earth Science Reviews* 14, 97-146.
- Jackson, J.E., 1991. *A user's guide to principal components*. Jhon Wiley & Sons Inc., New York.
- Jackson, M.L., Sherman, G.D., 1953. Chemical weathering of minerals in soils. *Advances in Agronomy* 5, 219-318.
- Jiang, J., Ji, H., 2013. Isotopic indicators of source and fate of particulate organic carbon in a karstic watershed on the Yunnan-Guizhou Plateau. *Applied Geochemistry* 36, 153-167.
- Jiao, L., Zheng, G.J., Minh, T.B., Richardson, B., Chen, L., Zhang, Y., Yeung, L.W., Lam, J.C.W., Yang, X., Lam, P.K.S., Wong, M.H., 2009. Persistent toxic substances in remote lake and coastal sediments from Svalbard, Norwegian Arctic: Levels, sources and fluxes. *Environmental Pollution* 157, 1342-1351.

- Jin, Z., Bickle, M.J., Chapman, H.J., Yu, J., An, Z., Wang, S., Greaves, M.J., 2011. Ostracod Mg/Sr/Ca and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ geochemistry from Tibetan lake sediments: Implications for early to mid-Pleistocene Indian monsoon and catchment weathering. *Boreas* 40, 320-31.
- Jolliffe, I.T., 2002. Principal component analysis. Springer-Verlag, New York.
- Jonathan, M.P., Roy, P.D., Rodríguez-Espinosa, P.F., Sarkar, S.K., Muñoz-Sevilla, N.P., Navarrete-López, M., Srinivasalu, S., Thangadurai, N., 2013. Evaluation of trace element concentration (acid leachable) in sediments from River Pa'nuco and its adjacent lagoon areas, NE México. *Environmental Earth Science* 68, 2239-2252.
- Kannan K., Tanabe S., Giesy J. P., Tatsukawa R., 1997. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in foodstuffs from Asian and Oceanic countries. *Revision Environmental Contamination Toxicology* 15, 1-55.
- Kalwa, M., Pércio-Quináia, S., Pletsch, A.L., Techy, L., Felsner, M.L., 2013. Fractionation and Potential Toxic Risk of Metals From Superficial Sediment in Itaipu Lake-Boundary between Brazil and Paraguay. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 64, 12-22.
- Karageorgis, A.P., Sioulas, A., Krasakopoulou, E., Anagnostou, C.L., Hatiris, G.A., Kyriakidou, H., Vasilopoulos, K., 2012. Geochemistry of surface sediments and heavy metal contamination assessment: Messolonghi lagoon complex, Greece. *Environmental Earth Sciences* 65, 1619-1629.
- Karamalidis, A.K., Dzomnak, D.A., 2010. Surface complexation modeling: gibbsite. Wiley, New Jersey.
- Kelly, A.G., Campbell, L.A., 1995. Persistent organochlorine contaminants in the Firth of Clyde in relation to sewage sludge input. *Marine Environmental Research* 41, 99-132.
- Kerr, P.F., 1965. *Mineralogía óptica*. McGraw-Hill, Inc., Madrid.
- Khalil, M.K.H., El Zokm, G.M., Fahmy, M.A., Said, T.O., Shreadah, M.A., 2013. Geochemistry of Some Major and Trace Elements in Sediments of Edku and Mariut Lakes, North Egypt. *World Applied Sciences Journal* 24, 282-294.
- Kienel, U., Wulf Bowen, S., Byre, R., Park, J., Böhnelt, H., Dulski, P., Luhr, J.F., Siebert, L., Haug, G.H., Negendank, J.F.W., 2009. First lacustrine varve chronologies from Mexico: impact of droughts, ENSO and human activity since AD 1840 as recorded in maar sediments from Valle de Santiago. *Journal of Paleolimnology* 42, 587-609.
- Klein, C., Hurlbut, C.S., 2003. *Manual de mineralogía*. Reverté, Barcelona.
- Klein, C., Philpotts, A.R., 2013. *Earth materials: Introduction of mineralogy and petrology*. Cambridge University Press, New York.

- Klinkhammer, G., 1980. Early diagenesis in sediments for the eastern equatorial Pacific, II. Pore water metal results. *Earth and Planetary Science Letters* 49, 81-101.
- Klug, H.P., Alexander, L.E., 1974. X-ray diffraction procedures, second ed. John Wiley & Sons, New York.
- Kohler, M., Zennegg, M., Bogdal, C., Gerecke, A.C., Schmid, P., Heeb, N.V., Sturm, M., Vonmont, H., Kohler, H.P.E., Giger, W., 2008. Temporal Trends, Congener Patterns, and Sources of Octa-, Nona-, and Decabromodiphenyl Ethers (PBDE) and Hexabromocyclododecanes (HBCD) in Swiss Lake Sediments. *Environmental Science & Technology* 42, 6378-6384.
- Koide, M., Soutar, A., Goldberg, E.D., 1972. Marine geochronology with ^{210}Pb . *Earth and planetary science letters* 14, 442-446.
- Krishnaswami, S., Lal, D., Martin, J.M., Meybeck, M., 1971. Geochronology of lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters* 11, 407-414.
- Laguardia, M.J., Hale, R.C., Harvey, E., 2006. Detailed polybrominated diphenyl ether (PBDE) congener composition of the widely used penta-, octa-, and deca-PBDE technical flame-retardant mixtures. *Environmental Science & Technology* 40, 6247-6254.
- Larocque, A.C.L., Rasmussen, P.E., 1998. An overview of trace metals in the environment from mobilization to remediation. *Journal Environmental Geology* 33, 2-3.
- Larose, D.T., 2006. Data mining, methods and models. John Wiley & Sons Inc, New Jersey.
- Larsen, G., Chilingar, G.V., 1979. Developments in sedimentology: Diagenesis in sediments and sedimentary rocks. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Last, W.M., 2001. Mineralogical analysis of lake sediments, in: Last, W.M., Smol, J.P. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Physical and Geochemical Methods*, vol. 2. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, pp. 143–187.
- Legeleux, F., Reyss, J.L., Schmidt S., 1994. Particle mixes rate in the sediments of the north-east tropical Atlantic: evidence from ^{210}Pb , ^{137}Cs , $^{228}\text{Th}_{\text{XS}}$, and $^{234}\text{Th}_{\text{XS}}$ downcore distribution. *Earth and Planetary Science Letters* 128, 545-562.
- Leng, M.J., Metcalfe, S.E., Davies, S.J., 2005. Investigating Late Holocene climate variability in central Mexico using carbon isotope ratios in organic materials and oxygen isotope ratios from diatom silica within lacustrine sediments. *Journal of Paleolimnology* 34, 413-431.
- León, L.F., Escalante, M., 1993. Flow and pollutant transport in Lake Chapala, Mexico, en: Wrobel, L.C., Brebbia, C.A. (Eds.), *Water pollution II: modelling, measuring and prediction*. Computational Mechanics, Boston, 739 p.

- Leroy, S., Kazanci, N., Ileri, O., Kibar, M., Emre, O., McGee, E., Griffiths, H.I., 2002. Abrupt environmental changes within a late Holocene lacustrine sequence south of the Marmara Sea (Lake Manyas, N–W Turkey): possible links with seismic events. *Marine Geology* 190, 531-552.
- Leung, A., Cai, Z.W., Wong, M.H., 2006. Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu, southeast China. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 8, 21-33.
- Lewis, D.W., 1984. *Practical Sedimentology*. Hutchinson Ross Publishing Company, Pennsylvania.
- Liang, K., Hu, X., Li, S., Huang, C., Tang, Y., 2014. Anthropogenic effect on deposition dynamics of lake sediments based on ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ techniques in Jiuzhaigou National Nature Reserve, China. *Chinese Geographical Science* 24, 180-190.
- Lima, A.L.C, Farrington, J.W., Reddy, C.M., 2005. Combustion-derived polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment-a review. *Environmental Forensics* 6,109-131.
- Limón, J.G, Lind, O.T., 1990. The management of Lake Chapala (Mexico): Considerations after significant changes in the water regime. *Lake and Reservoir Management* 6, 61-70.
- Lind, O.T., Davalos-Lind, L., 1991. Association of turbidity and organic carbon with bacterial abundance and cell size in a large, turbid, tropical lake. *Limnology and Oceanography* 36, 1200-1208.
- Linderholm, L., Jakobsson, K., Lundh, T., Zamir, R., Shoeb, M., Nahar, N., Bergman, A., 2011. Environmental exposure to COP and heavy metals in urban children from Dhaka, Bangladesh. *Journal of Environmental Monitoring* 13, 2728-2734
- Liu, G., Zhang, G., Jin, Z., Li, J., 2009. Sedimentary record of hydrophobic organic compounds in relation to regional economic development: a study of Taihu Lake, East China. *Environmental Pollution* 157, 2994-3000.
- López-Mestas, L., Ramos de la Vega, J., Santos-Rodríguez, C., 1994. Sitios y materiales: avances del Proyecto Arqueológico Altos de Jalisco, en: Williams, E. (Ed.), *Contribuciones a la arqueología y etnohistoria del occidente de México*. El Colegio de Michoacán, Zamora Michoacán, pp. 279-296.
- Loring, D.H., 1990. Lithium - a new approach for the granulometric normalization of trace metal data. *Marine Chemistry* 29, 155-168.
- Loring, D.H., Rantala, R.T.T., 1992. Geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. Fisheries and Marine Services, Technical Report, 700.
- Lu, Y., Meyers, P.A., Johengen, T.H., Eadie, B.J., Robbins, J.A., Han, H., 2010. $\delta^{15}\text{N}$ values in Lake Erie sediments as indicators of nitrogen biogeochemical dynamics during cultural eutrophication. *Chemical Geology* 273, 1-7.

- Lugo-Ibarra, K.C., Daesslé, L.W., Macías-Zamora, J.V., Ramírez-Álvarez, N., 2011. Persistent organic pollutants associated to water fluxes and sedimentary processes in the Colorado River delta, Baja California, México. *Chemosphere* 85, 210-217.
- Mackenzie, F.T., 2005. Formation and diagenesis of carbonated sediments, in: Morse, J.W., (Eds), *Sediments, diagenesis, and sedimentary rocks: Treatise on geochemistry*. Elsevier Ltd, Oxford, pp. 67-86.
- Mackey, A., Gass, S.M., 2005. *Second Language Research: Methodology and Design*. Routledge, Mahwah, New Jersey.
- Maher, B.A., Thompson, R. 1999. *Quaternary climates, environments and magnetism*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mahood, G., 1980. Geological evolution of a pleistocene rhyolitic center — Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 8, 199-230.
- Mai, B., Qi, S., Zeng, E.Y., Yang, Q., Zhang, G., Fu, J., Sheng, G., Peng, P., Wang, Z., 2003. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal region off Macao, China: assessment of input sources and transport pathways using compositional analysis. *Environmental Science & Technology* 37, 4855-63.
- Mange, M.A., Wright, D.T., 2007. *Heavy minerals in use: Developments in sedimentology*. Elsevier, Amsterdam.
- Margalef, R., 1983. *Limnología*. Omega, Barcelona.
- Marieni, C., Henstock, T.J., Teagle, D.A.H., 2013. Geological storage of CO₂ within the oceanic crust by gravitational trapping. *Geophysical Research Letters* 40, 6219-6224.
- Martinez, A., Wang, K., Hornbuckle, K.C., 2010. Fate of PCB Congeners in an Industrial Harbor of Lake Michigan. *Environmental Science & Technology* 44, 2803-2808.
- Mayer, L.M., 1994. Relationships between mineral surfaces and organic carbon concentrations in soils and sediments. *Chemical Geology* 114, 347-363.
- Melgarejo, J.C., 2003. *Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada*. UB, España.
- Merino-Pareja, J., 1997. *Estudios sobre el ciclo del plutonio en ecosistemas acuáticos*. Tesis Doctoral. UAB: Facultat de Ciències Departament de Física, Grup de Física de les Radiacions. Barcelona, España.
- Metcalfé, S.E., 1987. Historical data and climate change in Mexico a review. *The Geographical Journal* 153, 211-222.

- Metcalfé, S.E., Davies, S.J., Braisby, J.D., Leng, M.J., Newton, A.J., Terrett, N.L., O'Hara, S.L., 2007. Long and short-term change in the Pátzcuaro Basin, central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 247, 272-295.
- Meyers, P.A., 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology* 114, 289-302.
- Michaud, F., Gasse, F., Bourgois, J., Quintero, O., 1999. Tectonic control on lake distribution in the Jalisco block area (western Mexico) from Pliocene to Present. *Geology Society of American, Special Paper* 334, 99-110.
- Michaud, F., Ramírez-Sánchez, H.U., Parron, C., Zárate-del Valle, Fernex, F., Barci-Funel, G., 2006. Strong magnetic levels in Lake Chapala sediments (western Mexico): their mineralogy and stratigraphic significance. *Journal of Paleolimnology* 35, 819-836.
- Middelburg, J.J., 1989. A simple rate model for organic matter decomposition in marine sediments. *Geochim et Cosmochim Acta* 53, 1577-1581.
- Middelburg, J.J., Nieuwenhuize, J., 1998. Carbon and nitrogen stable isotopes in suspended matter and sediments from the Schelde Estuary. *Marine Chemistry* 60, 217-225.
- Minyuk, P.S., Brigham-Grette, J., Melles, M., Borkhodoev, V.Y., Glushkova, O.Y., 2007. Inorganic geochemistry of El'gygytgyn Lake sediments (northeastern Russia) as an indicator of paleoclimatic change for the last 250 kyr. *Journal of Paleolimnology* 37, 123-133.
- Moody, J.R., Lindstrom, R.M., 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element samples. *Analytical Chemistry* 49, 2264-2267.
- Moon, H.B., Kannan, K., Lee, S.J., Choi, M., 2006. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediment and bivalves from Korean coastal waters. *Chemosphere* 66, 243-51.
- Moore, D.M., Reynolds, R.C., 1989. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press, New York.
- Mugnai, C., Giuliani, S., Bellucci, L.G., Carraro, C., Favotto, M., Frignani, M., 2010. Polychlorinated biphenyls in two salt marsh sediments of the Venice Lagoon. *Environmental Monitoring and Assessment* 181, 243-254.
- Mulholland, P.J., 1981. Inland aquatic ecosystems and the perturbed global carbon cycle. Institute for Energy Analysis, Oak Ridge Associated Universities, ORAU/IEA-8 1-7(M), Oak Ridge, Tennessee.
- Mulholland, P., Elwood, J., 1982. The role of lake and reservoir sediments as sinks in the perturbed global carbon cycle. *Tellus* 34, 490-499.

- Muzuka, A.N.N., Hillaire-Marcel, C., 1999. Burial rates of organic matter along the eastern Canadian margin and stable isotope constraints on its origin and diagenetic evolution. *Marine Geology* 160, 251-270.
- Nam, J.J., Thomas, G.O., Jaward, F.M., Steinnes, E., Gustafsson, O., Jones, K.C., 2008. PAHs in background soils from Western Europe: influence of atmospheric deposition and soil organic matter. *Chemosphere* 70, 1596-1602.
- Navarrete, I.A., Tsutsuki, K., Asio, V.B., Kondo, R., 2009. Characteristics and formation of rain forest soils derived from late Quaternary basaltic rocks in Leyte, Philippines. *Environmental Geology* 58, 1257-1627.
- Nieuwenhuize, J., Maas, Y.E.M., Middelburg, J.J., 1994. Rapid analysis of organic carbon and nitrogen in particulate materials. *Marine Chemistry* 45, 217-224.
- Nhan, D.D., Am, M.M., Carvalho, F.P., Villeneuve, J.P., Cattini, C., 1999. Organochlorine pesticides and PCBs along the coast of north Vietnam. *Science of the Total Environment* 237-238, 363-371.
- Niisoe, T., Nakamura, E., Harada, K., Ishikawa, H., Hitomi, T., Watanabe, T., Wang, Z., Koizumi, A., 2010. A global transport model of lead in the atmosphere. *Atmospheric Environment* 44, 1806-1814.
- Nolting, R.F., Dalen, M., Helder, W., 1996. Distribution of trace and major elements in sediment and pore waters of the Lena Delta and Laptev Sea. *Marine Chemistry* 53, 285-299.
- Noreña-Barroso, E., Zapata-Pérez, O., Ceja-Moreno, V., Gold-Bouchot, G., 1998. Hydrocarbon and organochlorine residue concentrations in sediments from Bay of Chetumal, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 61, 80-87.
- Nriagu, J.O., 1990. Global metal pollution. *Environment* 32, 7-33.
- Oçakoğlu, F., Kir, O., Yilmaz, İ.Ö., Açıklın, S., Erayık, C., Tunoğlu, C., Leroy, S.A.G., 2013. Early to Mid-Holocene Lake level and temperature records from the terraces of Lake Sünnet in NW Turkey. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 369, 175-184.
- Ogrinc, N., Fontolanb, G., Faganelic, J., Covellib, S., 2005. Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Marine Chemistry* 95, 163-181.
- Oliveira, S.M.B.d., Saia, S.E.M.G., Pessenda, L.C.R., Favaro, D.I.T., 2009. Lacustrine sediments provide geochemical evidence of environmental change during the last millennium in southeastern Brazil. *Chemie der Erde* 69, 395-405.
- Ontiveros-Cuadras, J.F., Ruiz-Fernández, A.C., Sanchez-Cabeza, J.A., Pérez-Bernal, L.H., Sericano, J.L., Preda, M., Liong Wee Kwong, L., Páez-Osuna, F., 2014. Trace element fluxes and natural

- potential risks from ^{210}Pb -dated sediment cores in lacustrine environments at the Central Mexican Plateau. *Science of the Total Environment* 469, 677-687.
- Orta-García, S.T., León-Moreno, L.C., González-Vega, C., Dominguez-Cortinas, G., Espinosa-Reyes, G., Pérez-Maldonado, I.N., 2012. Assessment of the Levels of Polybrominated Diphenyl Ethers in Blood Samples from Guadalajara, Jalisco, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 89, 925-929.
- Orta-García, S., Pérez-Vázquez, F., González-Vega, C., Varela-Silva, J.A., Hernández-González, L., Pérez-Maldonado, I., 2014. Concentrations of persistent organic pollutants (POPs) in human blood samples from Mexico City, Mexico. *Science of the Total Environment* 472, 496-501.
- Ortega, B., Vázquez, G., Caballero, M., Israde, I., Lozano-García, S., Schaaf, P., Torres, E., 2010. Late Pleistocene: Holocene record of environmental changes in Lake Zirahuén, Central Mexico. *Journal of Paleolimnology* 44, 745-760.
- Oyewale, A.O., Musa, I., 2006. Pollution assessment of the lower basin of Lakes Kainji/Jebba, Nigeria: heavy metal status of the waters, sediments and fishes. *Environmental Geochemistry and Health* 28, 273-281.
- Parrington, J.R., Zoller, W.H., Aras, N.K., 1983. Asian dust: seasonal transport to the Hawaiian Islands. *Science* 220, 195-197.
- Piazza, R., Ruiz-Fernández, A.C., Frignani, M., Zangrando, R., Bellucci, L.G., Moret, I., Páez-Osuna, F., 2008. PCBs and PAHs in surficial sediments from aquatic environments of Mexico City and the coastal states of Sonora, Sinaloa, Oaxaca and Veracruz (Mexico). *Environmental Geology* 53, 1537-1545.
- Piazza, R., Ruiz-Fernández, A.C., Frignani, M., Vecchiato, M., Bellucci, L.G., Gambaro, A., Pérez-Bernal, L.H., Páez-Osuna, F., 2009. Historical PCB fluxes in the Mexico City Metropolitan Zone as evidenced by a sedimentary record from the Espejo de los Lirios lake. *Chemosphere* 75, 1252-1258.
- Picer, M., 2000. DDTs and PCBs in the Adriatic Sea. *Croatia Chemica Acta* 73, 123-186.
- Peralta, L., Escobar, E., Alcocer, J., Lugo, A., 2002. Oligochaetes from six tropical crater lakes in Central Mexico: species composition, density and biomass. *Hydrobiologia* 467, 109-116.
- Pérez-Maldonado, I.N., Ramírez-Jiménez, M.R., Martínez-Arévalo, L.P., López-Guzmán, O.D., Athanasiadou, M., Bergman, Å., Yarto-Ramírez, M., Gavilán-García, A., Yáñez, L., Díaz-Barriga, F., 2009. Exposure assessment of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Mexican children. *Chemosphere* 75, 1215-1220.

- Peterson, B.J., Howarth, R.W., 1987. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. *Limnology and Oceanography* 32, 1195-1213.
- Petschick, R., Kuhn, G., Gingele, F.X., 1996. Clay mineral distribution in surface sediments of the South Atlantic sources, transport and relation to oceanography. *Marine Geology* 130, 203-229.
- Pozo, K., Urrutia, R., Barra, R., Mariottini, M., Treutler, H., Araneda, A., Focardi, S., 2007. Records of polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments of four remote Chilean Andean Lakes. *Chemosphere* 66, 1911-1921.
- Preiss, N., Mélières, M.A., Pourchet, M., 1996. A compilation of data on lead-210 concentration in surface air and fluxes at the air surface and water-sediment interfaces. *Journal of Geophysical Research* 101, 28847-28862.
- Provini, A., Galassi, S., Guzzella, L., Valli, G., 1995. PCB profiles in sediments of lakes Maggiore, Como and Garda (Italy). *Marine & Freshwater Research* 46, 129-136.
- Pueyo, J.J., Sáez, A., Giralt, S., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Bao, R., 2011. Carbonate and organic matter sedimentation and isotopic signatures in Lake Chungará, Chilean Altiplano, during the last 12.3 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 307, 339-355.
- Ramírez-Sánchez, H.U., Zárate del Valle, P.F., García-Guadalupe, M.E., Villaseñor, O., Israde-Alcántara, I., Meulenert-Peña, A.R., 2007. Disolución de sílice biogénica en sedimentos de lagos utilizados como bioindicadores de la calidad del agua. *e-Gnosis* 5, 1-19.
- Rango, T., Vengosh, A., Dwyer, G., Bianchini, G., 2013. Mobilization of arsenic and other naturally occurring contaminants in groundwater of the Main Ethiopian Rift aquifers. *Water Research* 47, 5801-5818.
- Reading, H.G., 2009. Sedimentary environments, en: Talbot, M.R., Allen, P.A. (Eds.), *Lakes*. Blackwell Publishing, Oxford UK, pp. 83-123.
- Readman, J.W., Fillmann, G., Tolosa, I., Bartocci, J., Villeneuve, J.P., Catinni, C., Mee, L.D., 2002. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin* 44, 48-62.
- Rencher, A.C., Christensen, W.F., 2012. *Methods of multivariate analysis*, third ed. Jhon Wiley & Sons Inc., New Jersey.
- Robbins, J.A., Edgington, D.N., 1975. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 39, 288-304.
- Robbins, J.A., 1978. Geochemical and geophysical applications of radioactive lead, in: Nriagu, J.O., (Ed.), *Biogeochemistry of lead in the environment*, Elsevier Scientific, Amsterdam, pp. 332-367.

- Robertson, L.W., Hansen, L.G., 2001. PCBs: Recent advances in environmental toxicology and health effects. The University Press of Kentucky, Lexington Kentucky.
- Rodríguez-Jaume, M.J., Mora-Catalá, R., 2002. Estadística informática: casos y ejemplos con el SPSS. Universidad de Alicante, Valencia.
- Rogers, A.F., 1928. Natural history of the silica minerals. *American Mineralogist* 13, 73-92.
- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Group, Singapore.
- Romo-Gómez, C., Monks, S., Pulido-Flores, G., Gordillo-Martínez, A.J., 2010. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in superficial water and sediment of Lake Tecocomulco, Mexico. *Interciencia* 35, 905-911.
- Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Lopez-Hernandez, M., 2000. Heavy metals in sediments of a large, turbid tropical lake affected by anthropogenic discharges. *Environmental Geology* 39, 378-383.
- Rosas-Elguera, J., Ferrari, L., Garduno, V.H., Urrutia-Fucugauchi, J., 1996. The continental boundaries of the Jalisco block and their influence in the Pliocene–quaternary kinematics of western Mexico. *Geology* 24, 921-924.
- Rosas-Elguera J., Ferrari, L., Lopez-Martinez, M., Urrutia-Fucugauchi, J., 1997. Stratigraphy and tectonics of the Guadalajara region and Triple-Junction area, western Mexico. *International Geology Review* 39, 125-140.
- Roy, P.D., Caballero, M., Lozano, R., Ortega, B., Lozano, S., Pi, T., Israde, I., Morton, O., 2010. Geochemical record of the Late Quaternary paleoclimate from lacustrine sediments of paleo-lake San Felipe, western Sonora Desert, Mexico. *Journal of South American Earth Science* 29, 586-596.
- Ruiz-Fernández, A.C., 1999. Distribución espacial y temporal de metales pesados en sedimentos lacustres de la cuenca México: Chalco, Texcoco y Cuautitlan Izcalli, Estado de México. Tesis Doctoral, UNAM, Mazatlán, 204 p.
- Ruiz-Fernández, A.C., Páez-Osuna, F., Hillaire-Marcel, C., Soto-Jiménez, M., Ghaleb, B., 2001. Principal component analysis applied to the assessment of metal pollution from urban waste in the Culiacán River Estuary. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67, 741-748.
- Ruiz-Fernández, A.C., Páez-Osuna, F., Soto-Jiménez, M., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., 2003. The loading history of trace metals and nutrients in Altata-Ensenada del Pabellón, lagoon complex, northwestern Mexico. *Journal of Environmental Radioactivity* 69, 129-143.

- Ruiz-Fernández, A.C., Páez-Osuna, F., Machain-Castillo, M.L., Arellano-Torres, E., 2004. ^{210}Pb geochronology and trace metal fluxes (Cd, Cu and Pb) in the Gulf of Tehuantepec, South Pacific of Mexico. *Journal of Environmental Radioactivity* 76, 161-175.
- Ruiz-Fernández, A.C., Páez-Osuna, F., Urrutia-Fucugauchi, J., Preda, M., 2005. ^{210}Pb geochronology of sediment accumulation rates in Mexico City Metropolitan Zone as recorded at Espejo de los Lirios lake sediment. *Catena* 61, 31-48.
- Ruiz-Fernández, A.C., Frignani, M., Tesi, T., Bojórquez-Leyva, H., Bellucci, L.G., Páez-Osuna, F., 2007a. Recent sedimentary history of organic matter and nutrient accumulation in the Ohuira Lagoon, Northwestern Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 53, 159-167.
- Ruiz-Fernández, A.C., Hillaire-Marcel, C., Páez-Osuna, F., Ghaleb, B., Caballero, M., 2007b. ^{210}Pb chronology and trace metal geochemistry at Los Tuxtlas, Mexico, as evidenced by a sedimentary record from the Lago Verde crater lake. *Quaternary Research* 67, 181-192.
- Ruiz-Fernández, A.C., Hillaire-Marcel, C., de Vernal, A., Machain-Castillo, M.L., Vásquez, L., Ghaleb, B., Aspiazu-Fabián, J.A., Páez-Osuna, F., 2009. Changes of coastal sedimentation in the Gulf of Tehuantepec, South Pacific. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 82, 525-536.
- Ruiz-Fernández, A.C., Sanchez-Cabeza, J.A., Alonso-Hernández, C., Martínez-Herrera, V., Pérez-Bernal, L.H., Preda, M., Hillaire-Marcel, C., Gastaud, J., Quejido-Cabezas, A.J., 2012a. Effects of land use change and sediment mobilization on coastal contamination (Coatzacoalcos River, Mexico). *Continental Shelf Research* 37, 57-65.
- Ruiz-Fernández, A.C., Sprovieri, M., Piazza, R., Frignani, M., Sanchez-Cabeza, J.A., Feo, M.L., Bellucci, L.G., Vecchiato, M., Pérez-Bernal, L.H., Páez-Osuna, F., 2012b. ^{210}Pb -derived history of PAH and PCB accumulation in sediments of a tropical inner lagoon (Las Matas, Gulf of Mexico) near a major oil refinery. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82, 136-153.
- Ruiz-Fernández, A.C., Sanchez-Cabeza, J.A., Ontiveros-Cuadras, J.F., Páez-Osuna, F., Pérez-Bernal, L.H., 2014. Registros ambientales del cambio global. *Ciencia y Tecnología* 40, 6-11.
- Rutherford, E., 1906. *Radioactive Transformation*, Archibald Constable and Son, London.
- Saccà, C., Saccà, D., Nucera, P., De Fazio, A., 2011. Composition and geochemistry of clay sediments offshore the northeastern Sicilian coast (Southeastern Tyrrhenian Sea, Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92, 564-572.

- Sakai, S., Honda, Y., Takatsuki, H., Watanabe, J., Aoki, I., Nakamura, K., 2001. Polybrominated substances in waste electrical and electronic plastics and their behavior in the incineration plants. *Organohalogen Compound* 52, 35-38.
- Sapozhnikov, Y.A., Egorov, O.B., Efimov, I.P., Pirogova, S.V., Kutseva, N.K., 1993. Determination of lead-210 in bottom sediments via bismuth-210. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Letters* 176, 353-359.
- Salomons, W., Förstner, U., 1984. *Metals in the Hydrocycle*. Springer-Verlag, Berlin.
- Samhan, S., Friese, K., Tümping, W., P. Ilmann, H., Hoetzi, H., Ghanem, M., 2014. Anthropogenic influence of trace metals in sediments of the Al-Qilt catchment, West Bank, Palestine: 1. Contamination factor and bonding forms. *Environmental Earth Sciences* 71, 1533-1539.
- Sanchez-Cabeza, J.A., Masqué, P., Ani-Ragolta, I., 1998. ^{210}Pb and ^{210}Po analysis in sediments and soils by microwave acid digestion. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Letters* 227, 19-22.
- Sanchez-Cabeza, J.A., Wee-Kwong, L.L., Betti, M., 2010. Method to determine ^{226}Ra in small sediments samples by ultralow background liquid scintillation. *Analytical Chemistry* 82, 6847-6853.
- Sanchez-Cabeza, J.A., Ruiz-Fernández, A.C., 2012. ^{210}Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82, 183-200.
- Sandgren, P., Fredskild, B., 1992. Magnetic measurements recording Late Holocene man-induced erosion in S Greenland. *Boreas* 20, 315-331.
- Schnitzer, M., Khan, S.U., 1972. *Humic Substances in the Environment*. Marcel Dekker, New York, N.Y.
- Schlesinger, W.H., 1990. Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soils. *Nature* 348, 232-234.
- Schoijet, M., 2008. *Límites del crecimiento y cambio climático. SIGLO XXI*, Madrid, España.
- SCPOP, 2008. Stockholm Convention. The new POPs under the Stockholm Convention. <http://chm.pops.int/Implementation/NewPOPs/TheNewPOPs/tabid/672/Default.aspx>. Febrero 26, 2014.
- SEMARNAT, 2006. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo por el que se da a conocer el estudio técnico de los recursos hídricos del área geográfica Lerma-Chapala. *Diario Oficial*, Lunes 24 de julio del 2006, México.

- Sericano, J.L., Atlas, E.L., Wade, T.L., Brooks, J.M., 1990. NOAAs status and trends mussel watch program: chlorinated pesticides and PCBs in oysters (*Crassostrea virginica*) and sediments from the Gulf of Mexico, 1986–1987. *Marine Environmental Research* 29, 161-203.
- Sericano, J.L., 2002. Quantitative determination of polychlorinated biphenyls by gas chromatography/mass spectrometry using the selected ion monitoring mode. GERG SOP-0205, pp. 24.
- SGM, 2000. Carta Geológico-Minera Guadalajara F13-12 Jalisco, Michoacán y Guanajuato. Servicio Geológico Mexicano. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- SGM, 2008. Carta Geológico-Minera Estados de Colima y Jalisco. Servicio Geológico Mexicano. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Shaw, D.M., Truscott, M.G., Gray, E.A., Middleton, T.A., 1988. Boron and lithium in rocks and minerals from the Wawa-Kapuskasing region, Ontario. *Canadian Journal of Earth Science* 25, 1425-1502.
- Shen, L., Reiner, E.J., Helm, P.A., Marvin, C.H., Hill, B., Zhang, X., MacPherson, K.A., Kolic, T.M., Tomy, G.T., Brindle, I.D., 2011. Historic Trends of Dechloranes 602, 603, 604, Dechlorane Plus and Other Norbornene Derivatives and Their Bioaccumulation Potential in Lake Ontario. *Environmental Science & Technology* 45, 3333-3340.
- Sherwood-Lollar, D., 2007. Environmental geochemistry. In: Callender E, editor. Heavy metal in environment-Historical trends. Kidlington: Elsevier Ltd. p. 67-106.
- Sindern, S., Lima, R.F.S., Schwarzbauer, J., Petta, R.A., 2007. Anthropogenic heavy metal signatures for the fast growing urban area of Natal (NE-Brazil). *Environmental Geology* 52, 731-737.
- Smol, J.P., Stoermer, E.F., 2010. The diatoms: application for the environmental and earth science, second ed. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Soto-Jiménez, M.F., Hibdon, S.A., Rankin, C.W., Aggarawl, J., Ruiz-Fernández, A.C., Páez-Osuna, F., Flegal, A.R., 2006. Chronocling a Century of Lead Pollution in Mexico: Stable Lead Isotopic Composition Analyses of Dated Sediment Cores. *Environmental Science & Technology* 40, 764-770.
- Summers, J.K., Wade, T.L., Engle, V.D., 1996. Normalization of metal concentrations in estuarine sediments from the Gulf of Mexico. *Estuaries* 19, 581-594.
- Sorgente, D., Frignani, M., Langone, L., Ravaioli, M., 1999. Chronology of marine sediments, interpretation of activity-depth profiles of ^{210}Pb and other radioactive tracers, Part I. Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto per la Geologia Marina, Bologna.

- Snedecor, G.W., Cochran, W.G., 1978. Métodos estadísticos. CECSA, D.F.
- Steinnes, E., 1987. Impact of long-range atmospheric transport of heavy metals to the terrestrial environment in Norway. In Hutchinson, T.C. and Meema, K.M, (Eds), Lead, biogeochemistry of small catchments. Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment. Jhon Wiley & Sons, Chi Chester, UK, pp. 107-117.
- Stone, J.S., St-Onge, G., 2007. Magnetic stratigraphy in paleoceanography: reversal, excursions, paleointensity, and secular variation. *Developments in Marine Geology* 1, 99-138.
- Stuardo, J., Villaroel, M., 1976. Lagunas costeras del estado de Guerrero. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 3, 1-180.
- Surdam, R.C., Eugster, H.P., 1976. Mineral reaction in the sedimentary deposits of the Lake Magadi region, Kenya. *Geological Society of America Bulletin* 87, 1739-1752.
- Tabor, R., Haugerud, R., 2002. *Geology of North Cascades: A mountain mosaic*, second ed. The mountaineers. Seattle.
- Taher, A.G., Soliman, A.A., 1999. Heavy metal concentrations in surficial sediments from Wadi El Natrun saline lakes, Egypt. *International Journal of Salt Lake Research* 8, 75-92.
- Tamayo, J., Vizcarra, A., 2000. *Jalisco: sociedad, economía, política y cultura*. Centro Interdisciplinario en Ciencias y Humanidades, D.F., México.
- Tanabe S., 2000. Sea at the millennium: an environmental evaluation. In: Sheppard CRC. (Ed.), *Asian developing regions: persistent organic pollutants in seas*. Elsevier, Amsterdam, pp. 447-462.
- Taylor, S.R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 28, 1273-1285.
- Teodoru, C.R., del Giorgio, P.A., Prairie, Y.T., St-Pierre, A., 2013. Depositional fluxes and sources of particulate carbon and nitrogen in natural lakes and a young boreal reservoir in Northern Quebec. *Biogeochemistry* 113, 323-339.
- Ter Braak, C.J.F., 1994. Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear models. *Ecoscience* 1, 127-140.
- Thompson, L.M., Troeh, F.R., 2002. *Los suelos y su fertilidad*, cuarta ed. Reverté, Barcelona.
- Thompson, R., Bloemendal, J., Dearing, J.A., Oldfield, F., Rummery, T.A., Stober, J. C., Turner, G.M., 1980. Environmental applications of magnetic measurements. *Science* 207, 481-486.
- Tolosa, I., de Mora, S., Sheikholeslami, M.R., Villeneuve, J.P., Bartocci, J., Cattini, C., 2004. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. *Marine Pollution Bulletin* 48, 44-60.

- Torres-Rodríguez, E., Lozano-García, S., Figueroa-Rangel, B.L., Ortega-Guerrero, B., Vázquez-Castro, G., 2012. Cambio ambiental y respuestas de la vegetación de los últimos 17,000 años en el centro de México: el registro del lago de Zirahuén. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29, 764-778.
- Tranvik, L.J., Downing, J.A., Cotner, J.B., Loiselle, S.A., Striegl, R.G., Ballatore, T.J., Dillon, P., Finlay, K., Fortino, K., Knoll, L.B., Korte-lainen, P.L., Kutser, T., Larsen, S., Laurion, I., Leech, D.M., Mc Call-ister, S.L., McKnight, D.M., Melack, J.M., Overholt, E., Porter, J.A., Prairie, Y., Renwick, W.H., Roland, F., Sherman, B.S., Schindler, D.W., Sobek, S., Tremblay, A., Vanni, M.J., Verschoor, A.M., von Wachenfeldt, E., Weyhenmeyer, G.A., 2009. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography* 54, 2298-2314.
- Trejo-Velázquez, M.A., 2003. Política y Religión: Procesos readaptativos de estructuras de poder en San Julián, Jalisco. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Ciudad de México.
- Trujillo-Cárdenas, J.L., Saucedo-Torres, N.P., Zárate del Valle, P.F., Ríos-Donato, N., Mendizábal, E., Gómez-Salazar, S., 2010. Speciation and source of toxic metals in sediments of Lake Chapala, Mexico. *Journal of the Mexican Chemical Society* 54, 79-87.
- Košler, J., Šilar, J., Jelínek, E., 2004. Man-made and natural radioactivity in environmental pollution and radiochronology, en Tykva, R., Berg, D. (Eds.), *Application of environmental radionuclides in radiochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 147-271.
- UNEP, 1995. United Nations Environment Programme. Manual for the geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. Reference methods for marine pollution studies. No. 63.
- UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York.
- Usenko S., Landers, D.H., Appleby, P.G., Simonich, S., 2007. Current and historical deposition of PBDEs, pesticides, PCBs, and PAHs to Rocky Mountain National Park. *Environmental Science & Technology* 41, 7235-7241.
- USEPA, 2013. Penta-BDE facts. U. S. Environmental Protection Agency. Design for the Environment. <http://www.epa.gov/dfe/pubs/flameret/altrep-v1/altrep-v1aapp-a.pdf>. Febrero 8, 2014.
- USGS, 2014. United State Geological Survey. Mineral commodity summaries 2014. USGS science for a changing world, Virginia.
- Venkatesan, M.I., 1988. Occurrence and Possible Sources of Perylene in Marine Sediments-a Review. *Marine Chemistry* 25, 1-27.

- Verardo, D.J., Froelich, P.N., McIntyre, A., 1990. Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo Erba NA-1500. *Deep-Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers* 37, 157-165.
- Visher, G.S., 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology* 39, 1074-1106.
- Vives, I., Canuti, E., Castro-Jiménez, J., Christoph, E.H., Eisenreich, S.J., Hanke, G., Huber, T., Mariani, G., Anne Mueller A., Skejo, H., UmLaufa, G., Wollgasta, J., 2007. Occurrence of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Lake Maggiore (Italy and Switzerland). *Journal of Environmental Monitoring* 9, 589-598.
- Wakeham, S.G., Schaffner, C., Giger, W., 1980. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Recent lake sediments-II. Compounds derived from biogenic precursors during early diagenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, 415-429.
- Wahlen, M., Thompson, R.C., 1980. Pollution records from sediments of three lakes in New York State. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, 333-339.
- Wan, G.J., Chen, J.A., Wu, F.C., Xu, S.Q., Bai, Z.G., Wan, E.Y., Wang, C.S., Huang, R.G., Yeager, K.M., Santschi, P.H., 2005. Coupling between $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and organic matter in sediments of a nutrient-enriched lake: and example from Lake Chenghai, China. *Chemical Geology* 224, 223-236.
- Wang, L.K., Chen, J.P., Hung, Y., Shamas, N.Z., 2009. *Heavy metals in the environment*, first ed. CRC Press, Boca Raton FL.
- Wania, F., Mackay, D., 1993. Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in polar regions. *Ambio* 22, 10-18.
- Weinberg, J., 2009. *Guía para las ONG sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes: Marco para las medidas de protección de la salud humana y el medio ambiente de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)*. IPEN, Edo. de México, México.
- Wenchuan, Q., Dickman, M., Sumin, W., 2001. Multivariate analysis of heavy metal and nutrient concentrations in sediments of Taihu Lake, China. *Hydrobiologia* 450, 83-89.
- Westrich, J.T., Berner, R.A., 1984. The role of sedimentary organic matter in bacterial sulfate reduction: The G model tested. *Limnology and Oceanography* 29, 236-249.
- Wetzel, R.G., 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems*, third ed. Elsevier, San Diego.
- WHO, 1994. *Environmental health criteria 162: Brominated diphenyl ethers*. Geneva: World Health Organisation, p. 31-34.

- Wren, C.D., Maccrimmon, H.R., Loescher, B.R., 1983. Examination of bioaccumulation and biomagnification of metals in a precambrian shield lake. *Water, Air and Soil Pollution* 19, 277-291.
- Wu, F., Guo, J., Chang, H., Liao, H., Zhao, X., Mai, B., Xing, B., 2012. Polybrominated diphenyl ethers and decabromodiphenylethane in sediments from twelve lakes in China. *Environmental Pollution* 162, 262-268.
- Xu, H., Liu, B., Wu, F., 2010. Spatial and temporal variations of Rb/Sr ratios of the bulk surface sediments in Lake Qinghai. *Geochemical Transactions* 11, 2-8.
- Xu, H., Lan, J., Liu, B., Sheng, E., Yeager, K.M., 2013. Modern carbon burial in Lake Qinghai, China. *Applied Geochemistry* 39, 150-155.
- Yilgor, S., Kucuksezgin, F., Ozel, E., 2012. Assessment of Metal Concentrations in Sediments from Lake Bafa (Western Anatolia): An Index Analysis Approach. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 89, 512-18.
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D., Sylvestre, S., 2002. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry* 33, 489-515.
- Zárate del Valle, P.F., Simoneit, B.R.T., 2005. Hydrothermal bitumen generated from sedimentary organic matter rift lakes – Lake Chapala, Citala Rift, western Mexico. *Applied Geochemistry* 20, 2343-2350.
- Zárate del Valle, P.F., Rushdi, A.I., Simoneit, B.R.T., 2006. Hydrothermal petroleum of Lake Chapala, Citala Rift, western Mexico: Bitumen compositions from source sediments and application of hydrous pyrolysis. *Applied Geochemistry* 21, 701-712.
- Zhang, F., Hu, W., Yu, H., Sun, H., Shen, O., Wang, X., Liu, H., Lam, M.H.W., Giesy, J.P., Zhang, X., 2011. Endocrine disruption effects of 2,2',4,4',6-pentabromodiphenylether (BDE100) in reporter gene assays. *Journal of Environmental Monitoring* 13, 850-4.
- Zheng, G.J., Martin, M., Richardson, B.J., Yu, H.X., Liu, Y., Zhou, C.H., 2004. Concentrations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Pearl River Delta sediments. *Marine Pollution Bulletin* 49, 520-524.

14. Anexos

Anexo 1. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento SE1.

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
0.25	51.8	72.8	0.7	0.3
0.75	37.8	60.3	1.0	1.1
1.25	26.3	47.2	1.3	2.1
1.75	24.9	45.3	1.4	2.7
2.25	24.8	45.2	1.4	3.2
2.75	26.3	47.2	1.3	3.6
3.25	25.6	46.2	1.3	4.1
3.75	24.3	44.6	1.4	4.5
4.25	23.7	43.7	1.4	4.9
4.75	23.8	43.8	1.4	5.6
5.25	22.5	42.0	1.5	6.3
5.75	23.8	43.9	1.4	6.8
6.50	22.7	42.4	1.4	7.9
7.50	24.6	44.9	1.4	9.2
8.50	22.8	42.4	1.4	10.6
9.50	21.7	41.0	1.5	12.0
10.5	23.0	42.8	1.4	13.6
11.5	22.5	42.0	1.4	15.6

Anexo 2. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento SE2.

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
0.25	75.4	88.5	0.3	0.1
0.75	70.7	85.8	0.4	0.3
1.25	69.7	85.2	0.4	0.4
1.75	68.0	84.1	0.4	0.6
2.25	67.5	83.9	0.4	0.8
2.75	67.3	83.7	0.4	1.0
3.25	66.2	83.0	0.4	1.1
3.75	64.2	81.7	0.5	1.4
4.25	62.7	80.8	0.5	1.6
4.75	62.5	80.6	0.5	1.8
5.25	62.2	80.4	0.5	2.1
5.75	58.8	78.1	0.5	2.4
6.25	57.5	77.2	0.6	2.6

Anexo 2. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento SE2 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
6.75	51.9	73.0	0.7	2.9
7.50	43.3	65.7	0.9	3.4
8.50	42.3	64.7	0.9	4.1
9.50	41.2	63.6	0.9	5.0
10.5	39.9	62.4	0.9	5.9
11.5	38.3	60.8	1.0	6.7
12.5	37.3	59.8	1.0	7.6
13.5	36.7	59.2	1.0	8.7
14.5	35.1	57.5	1.1	9.5
15.5	34.1	56.4	1.1	10.6
16.5	32.8	55.0	1.1	11.8
17.5	31.1	53.0	1.2	13.1
18.5	28.7	50.2	1.2	14.7
19.5	28.6	50.0	1.2	15.6

Anexo 3. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento SE3.

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
0.25	81.2	91.5	0.2	0.1
0.75	75.5	88.5	0.3	0.2
1.25	71.1	86.0	0.3	0.4
1.75	69.9	85.3	0.4	0.5
2.25	68.8	84.6	0.4	0.7
2.75	66.9	83.5	0.4	0.9
3.25	65.5	82.6	0.4	1.1
3.75	65.0	82.3	0.4	1.3
4.25	65.8	82.8	0.4	1.5
4.75	65.3	82.5	0.4	1.7
5.25	63.9	81.5	0.5	1.9
5.75	60.9	79.5	0.5	2.2
6.25	55.5	75.7	0.6	2.4
7.00	43.3	65.7	0.9	3.0
8.00	39.3	61.8	1.0	3.9
9.00	37.7	60.2	1.0	4.7
10.0	37.6	60.1	1.0	5.7
11.0	37.8	60.3	1.0	6.5
12.0	39.1	61.6	1.0	7.4
13.0	38.6	61.1	1.0	8.4
14.0	35.9	58.4	1.0	9.3
15.0	33.3	55.5	1.1	10.3

Anexo 3. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento SE3 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
16.0	30.6	52.5	1.2	11.3
17.0	28.9	50.4	1.2	12.5
18.0	27.6	48.8	1.3	13.7
19.0	27.2	48.3	1.3	15.0
20.0	24.9	45.4	1.4	16.3
21.0	24.8	45.2	1.4	17.5
22.0	24.6	44.9	1.4	18.5
23.0	25.1	45.5	1.4	19.5

Anexo 4. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento SE4.

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
0.25	79.3	90.6	0.2	0.1
1.25	73.6	87.5	0.3	0.2
1.75	69.7	85.2	0.4	0.4
2.25	68.6	84.5	0.4	0.6
2.75	67.9	84.1	0.4	0.7
3.25	69.2	84.9	0.4	0.9
3.75	68.5	84.5	0.4	1.1
4.25	66.9	83.5	0.4	1.3
4.75	65.7	82.7	0.4	1.4
5.25	67.0	83.5	0.4	1.6
5.75	66.2	83.1	0.4	1.8
6.25	64.7	82.1	0.4	2.0
6.75	62.0	80.3	0.5	2.2
7.25	62.6	80.7	0.5	2.4
7.75	52.0	73.1	0.7	2.7
8.50	44.3	66.5	0.8	3.2
9.50	34.4	56.7	1.1	4.0
10.5	33.2	55.4	1.1	5.1
11.5	31.9	54.0	1.2	6.2
12.5	32.7	54.8	1.1	7.2
13.5	32.8	54.9	1.1	8.3
14.5	32.9	55.1	1.1	9.3
15.5	34.8	57.2	1.1	10.3
16.5	33.8	56.1	1.1	11.4
17.5	34.8	57.2	1.1	12.3
18.5	34.6	56.9	1.1	13.3
19.5	32.4	54.5	1.1	14.3
20.5	34.0	56.3	1.1	15.3
21.5	31.2	53.1	1.2	16.4
22.5	31.9	53.9	1.2	17.2

Anexo 5. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento SE1.

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
0.25	4.6	65.6	29.8
0.75	4.1	65.3	30.6
1.25	5.3	67.7	27.0
1.75	5.4	71.8	22.8
2.25	6.1	68.9	24.9
2.75	6.5	76.7	16.7
3.25	5.6	74.8	19.6
3.75	5.5	76.0	18.5
4.25	5.5	79.8	14.7
4.75	5.4	79.4	15.2
5.25	6.7	82.2	11.1
5.75	6.3	86.0	7.7
6.5	7.4	78.2	14.4
7.5	7.0	77.6	15.4
8.5	7.8	78.4	13.8
9.5	7.0	79.4	13.6
10.5	7.5	82.6	9.9
11.5	7.3	77.8	14.8

Anexo 6. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento SE2.

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
0.25	10.2	87.9	1.9
0.75	10.4	87.3	2.3
1.25	12.8	85.3	1.9
1.75	11.8	87.5	0.7
2.25	13.7	85.0	1.4
2.75	15.3	83.0	1.7
3.25	7.4	90.4	2.2
3.75	10.8	87.6	1.6
4.25	10.5	88.3	1.2
4.75	11.2	87.9	0.9
5.25	10.8	88.3	0.9
5.75	11.9	85.6	2.6
6.25	11.9	86.9	1.2
6.75	8.9	89.3	1.8
7.5	15.4	83.9	0.7
8.5	13.5	85.4	1.1

Anexo 6. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento SE2 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
9.5	14.4	84.9	0.7
10.5	13.3	86.0	0.7
11.5	16.8	82.7	0.5
12.5	21.2	78.8	0.0
13.5	22.9	77.1	0.0
14.5	16.7	82.5	0.8
15.5	14.8	84.7	0.5
16.5	14.2	80.5	5.3
17.5	12.0	83.0	5.1
18.5	9.1	86.3	4.6
19.5	8.6	85.7	5.7

Anexo 7. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento SE3.

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
0.25	7.1	90.7	2.2
0.75	7.0	91.9	1.1
1.25	10.0	89.0	1.0
1.75	9.7	88.5	1.8
2.25	11.0	88.3	0.7
2.75	12.7	86.1	1.2
3.25	10.3	88.4	1.3
3.75	10.4	89.0	0.6
4.25	9.8	89.1	1.0
4.75	8.6	90.5	0.9
5.25	9.2	89.7	1.1
5.75	10.2	88.3	1.5
6.25	13.2	86.8	0.0
7.0	11.1	88.6	0.3
8.0	10.6	88.3	1.2
9.0	12.4	86.6	1.0
10.0	11.0	86.5	2.5
11.0	11.0	86.9	2.1
12.0	10.6	89.0	0.4
13.0	11.3	87.5	1.2
14.0	12.9	86.5	0.6
15.0	10.7	85.7	3.6
16.0	12.9	79.7	7.4
17.0	7.0	81.5	11.6

Anexo 7. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento SE3 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
18.0	10.2	78.9	10.9
19.0	9.1	80.1	10.8
20.0	6.4	79.9	13.7
21.0	6.2	79.5	14.3
22.0	8.2	81.5	10.3
23.0	7.7	83.8	8.5

Anexo 8. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento SE4.

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
0.25	5.3	91.9	2.7
1.25	5.9	91.4	2.7
1.75	10.3	87.7	1.9
2.25	9.2	88.7	2.1
2.75	7.8	90.4	1.8
3.25	6.6	92.5	0.9
3.75	6.9	91.0	2.0
4.25	7.2	89.8	3.0
4.75	7.2	92.0	0.9
5.25	7.1	89.0	3.9
5.75	8.5	91.5	0.0
6.25	8.2	90.3	1.5
6.75	7.0	89.2	3.8
7.25	6.7	90.5	2.8
7.75	8.2	90.2	1.7
8.5	8.8	87.1	4.1
9.5	7.0	87.5	5.4
10.5	8.2	87.5	4.2
11.5	8.3	84.2	7.6
12.5	10.2	83.1	6.7
13.5	7.8	83.7	8.4
14.5	7.2	84.7	8.1
15.5	9.0	85.1	6.0
16.5	9.1	85.3	5.6
17.5	13.1	83.9	3.0
18.5	10.6	85.6	3.8
19.5	17.1	77.8	5.1
20.5	15.0	84.3	0.7
21.5	9.0	84.9	6.0
22.5	9.7	84.5	5.8

Anexo 9. Valores de susceptibilidad magnética (SM) volumétrica k ($\times 10^5$ SI) para los núcleos de sedimento del lago Santa Elena.

Prof. (cm)	SE1	Prof. (cm)	SE2	Prof. (cm)	SE3	Prof. (cm)	SE4
0.5	3.17	0.5	1.10	0.5	1.06	0.5	1.15
1.0	3.17	1.0	1.06	1.0	1.07	1.5	1.14
1.5	2.97	1.5	1.01	1.5	1.03	2.0	1.10
2.0	2.59	2.0	1.03	2.0	0.99	2.5	1.10
2.5	2.51	2.5	1.11	2.5	1.06	3.0	1.22
3.0	2.39	3.0	1.07	3.0	0.99	3.5	1.15
3.5	2.27	3.5	1.06	3.5	1.06	4.0	1.15
4.0	2.16	4.0	1.15	4.0	1.12	4.5	1.19
4.5	1.77	4.5	1.07	4.5	1.14	5.0	1.23
5.0	1.87	5.0	1.11	5.0	1.10	5.5	1.15
5.5	1.91	5.5	1.14	5.5	1.06	6.0	1.23
6.0	2.01	6.0	1.07	6.0	1.11	6.5	1.27
7.0	2.11	6.5	1.07	6.5	1.10	7.0	1.20
8.0	1.79	7.0	1.22	7.5	1.11	7.5	1.26
9.0	1.73	8.0	1.23	8.5	1.22	8.0	1.35
10.0	1.81	9.0	1.22	9.5	1.25	9.0	1.39
11.0	1.55	10.0	1.18	10.5	1.18	10.0	1.23
12.0	1.58	11.0	1.23	11.5	1.35	11.0	1.42
		12.0	1.23	12.5	1.26	12.0	1.63
		13.0	1.30	13.5	1.35	13.0	1.45
		14.0	1.34	14.5	3.15	14.0	1.69
		15.0	1.42	15.5	2.11	15.0	1.55
		16.0	1.47	16.5	2.43	16.0	1.47
		17.0	1.70	17.5	2.51	17.0	1.47
		18.0	1.48	18.5	2.29	18.0	1.43
		19.0	1.79	19.5	2.67	19.0	1.59
		20.0	1.55	20.5	2.35	20.0	1.58
				21.5	2.49	21.0	1.51
				22.5	2.67	22.0	1.78
				23.5	2.27	23.0	1.75

Anexo 10. Concentraciones (%) de carbono orgánico (C_{org}) en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena.

SE1		SE2		SE3		SE4	
Prof. (cm)	C_{org}	Prof. (cm)	C_{org}	Prof. (cm)	C_{org}	Prof. (cm)	C_{org}
1.3	0.0	0.3	2.2	0.3	1.9	1.8	2.5
2.3	0.4	0.8	0.9	0.8	1.7	3.3	1.9
3.3	0.1	1.3	1.5	1.3	2.2	5.3	2.1
4.3	0.5	1.8	2.0	1.8	1.6	7.3	1.7
5.3	0.4	3.3	1.5	3.3	1.7	9.5	1.2

Anexo 10. Concentraciones (%) de carbono orgánico (C_{org}) en los núcleos de sedimento del lago Santa Elena (continuación).

SE1		SE2		SE3		SE4	
Prof. (cm)	C_{org}	Prof. (cm)	C_{org}	Prof. (cm)	C_{org}	Prof. (cm)	C_{org}
6.5	0.7	3.8	1.8	3.8	2.5	13.5	1.1
7.5	0.8	5.3	1.5	5.3	1.6	17.5	0.8
8.5	1.0	5.8	1.7	5.8	1.5	21.5	1.1
9.5	1.4	7.5	0.9	6.8	1.7		
10.5	0.3	9.5	0.9	9.0	1.3		
11.5	0.1	11.5	0.8	11.0	1.2		
		13.5	1.0	11.8	1.1		
		15.5	1.0	14.0	1.5		
		17.5	0.7	15.8	1.0		
		19.5	0.9	18.0	0.7		
				20.0	0.5		
				22.0	1.2		
				23.0	1.3		

Anexo 11. Concentraciones (%) de carbonatos ($CaCO_3$) para los núcleos de sedimento del lago Santa Elena.

SE2		SE3	
Prof. (cm)	$CaCO_3$	Prof. (cm)	$CaCO_3$
0.3	3.2	0.3	2.3
0.8	5.1	0.8	11.1
1.8	4.1	1.3	3.2
3.8	7.4	1.8	14.8
5.8	5.7	2.3	1.7
7.5	4.1	3.8	5.2
9.5	5.6	5.8	4.7
11.5	5.6	6.8	3.9
13.5	4.2	8.8	3.8
15.5	2.9	11.8	5.0
17.5	3.7	13.8	3.8
19.5	2.1	15.8	4.3
		17.8	3.2
		19.8	1.4
		21.8	2.1

Anexo 12. Abundancia (%) total de minerales para el núcleo SE3.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Sanidina	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsita	Calcita	Anfiboles	Dolomita
0.50	14.8	5.3	18.5	6.2	30.2	11.4	9.0	0.7	3.1	1.3	1.1	1.1	0.6	0.2	0.8	0.2
3.75	14.9	9.0	17.8	10.4	30.4	10.5	10.8	0.4	n.d.	n.d.	1.9	n.d.	1.0	0.1	0.8	1.4
6.75	14.8	8.2	14.3	8.1	34.8	10.1	9.0	0.5	1.8	n.d.	3.3	0.6	2.4	1.2	0.3	0.2
10.0	12.8	8.2	22.6	9.9	30.0	8.7	10.6	0.3	0.8	1.1	1.7	n.d.	1.1	0.1	0.9	0.8
13.0	13.1	11.8	14.7	11.9	29.4	8.0	12.7	1.5	0.5	3.4	2.0	0.9	1.0	0.4	1.1	0.4
15.0	16.1	11.3	15.2	9.8	29.2	6.4	9.2	0.4	2.0	2.3	1.8	1.2	1.3	2.0	0.6	0.1
17.0	22.9	11.4	18.2	10.1	25.3	6.8	11.9	3.3	n.d.	2.9	4.1	n.d.	n.d.	n.d.	1.4	0.8
20.0	18.4	13.0	18.4	11.0	27.0	8.1	11.1	0.4	1.1	1.6	1.3	0.9	0.7	0.4	1.5	0.8
23.0	18.6	11.4	21.3	9.0	19.7	10.3	12.0	4.2	n.d.	n.d.	1.9	n.d.	2.1	n.d.	7.0	1.0

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 13. Abundancia (%) de minerales en la fracción de arcillas para el núcleo SE3.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Sanidina	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita
0.50	12.3	7.5	11.1	6.2	34.7	18.1	8.0	2.2	n.d.
3.75	12.0	7.0	9.9	10.4	40.7	10.6	8.1	1.4	n.d.
6.75	10.7	5.7	8.4	8.1	37.7	15.7	10.3	3.4	n.d.
10.0	12.6	6.9	7.8	9.9	32.3	14.9	14.0	1.7	n.d.
13.0	9.9	5.5	8.4	11.9	37.2	8.6	5.2	n.d.	13.3
15.0	13.0	4.7	9.1	9.8	37.4	16.6	7.1	2.3	n.d.
17.0	13.3	6.4	11.2	10.1	38.0	9.4	8.4	3.3	n.d.
20.0	10.2	8.9	10.7	11.0	36.2	11.0	10.4	1.7	n.d.
23.0	10.1	4.8	11.1	9.0	31.6	20.5	8.8	4.2	n.d.

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 14. Abundancia (%) de minerales en la fracción de limos para el núcleo SE3.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Calcita	Anfiboles	Dolomita
0.50	16.2	5.2	15.2	33.9	10.3	9.2	1.7	6.8	1.6
3.75	15.4	8.4	13.3	34.6	11.7	10.6	0.6	4.0	1.4
6.75	14.0	7.7	13.9	36.6	11.5	8.6	1.2	5.2	1.4
10.0	12.6	8.7	16.0	34.2	10.2	11.9	1.1	4.3	0.8
13.0	14.1	7.2	14.1	35.5	9.8	11.8	1.5	4.9	1.1
15.0	15.6	5.5	13.0	36.5	7.6	9.1	2.0	10.0	0.7
17.0	20.6	9.2	14.5	34.6	8.5	10.4	n.d.	1.4	0.8
20.0	18.0	7.1	14.0	37.4	10.7	10.2	0.4	1.5	0.8
23.0	17.4	7.0	16.5	26.6	13.6	11.0	n.d.	7.0	1.0

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 15. Abundancia (%) de minerales en la fracción de arenas para el núcleo SE3.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsita	Calcita	Anfiboles	Dolomita
0.50	11.4	5.4	26.5	21.1	13.9	8.5	2.3	3.1	1.3	1.1	1.1	0.6	0.5	2.7	0.6
3.75	13.8	10.7	28.7	20.4	7.6	11.5	1.5	n.d.	n.d.	1.9	n.d.	1.0	0.4	2.5	n.d.
6.75	16.9	9.5	15.3	30.4	6.6	10.1	1.7	1.8	n.d.	3.3	0.6	2.4	n.d.	1.0	0.5
10.0	13.2	7.0	38.4	20.0	5.0	7.2	1.0	0.8	1.1	1.7	n.d.	1.1	0.4	3.1	n.d.
13.0	10.9	22.8	16.3	14.9	3.8	14.8	1.5	1.5	3.4	2.0	0.9	1.0	1.3	3.5	1.4
15.0	17.4	25.3	20.6	11.9	3.3	9.6	1.2	2.0	2.3	1.8	1.2	1.3	n.d.	2.0	0.3
17.0	28.4	16.6	27.0	3.1	2.6	15.3	n.d.	n.d.	2.9	4.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
20.0	19.4	27.3	29.1	2.3	1.6	13.2	1.4	1.1	1.6	1.3	0.9	0.7	n.d.	n.d.	n.d.
23.0	21.7	21.9	32.8	3.1	2.2	14.4	n.d.	n.d.	n.d.	1.9	n.d.	2.1	n.d.	n.d.	n.d.

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 16. Abundancia (%) total de minerales para el núcleo SE4.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsita	Dolomita	Calcita	Anfíboles	Tridimita
0.25	11.8	16.0	12.8	19.6	6.4	9.7	5.8	4.0	n.d.	1.4	2.8	0.7	0.6	0.1	3.4	4.9
2.25	13.7	13.8	17.4	13.4	6.0	6.8	2.4	10.0	2.8	3.8	3.1	n.d.	0.8	n.d.	6.1	n.d.
3.75	11.4	9.8	13.3	16.7	6.7	13.4	1.4	4.9	2.0	1.4	3.8	n.d.	1.0	0.4	7.5	6.3
5.25	23.8	6.9	16.3	14.5	5.9	7.6	n.d.	8.3	n.d.	n.d.	1.7	2.8	1.1	n.d.	4.1	7.0
6.75	12.2	17.1	16.8	22.5	6.0	8.7	n.d.	7.4	4.6	0.8	2.2	n.d.	n.d.	n.d.	1.6	n.d.
8.5	34.0	8.9	11.7	15.2	5.3	5.2	1.5	2.8	2.4	n.d.	2.4	n.d.	1.0	0.6	3.3	5.6
11.5	15.0	13.3	17.4	17.1	1.2	20.3	n.d.	4.1	n.d.	3.2	n.d.	2.4	1.0	n.d.	n.d.	5.0
14.5	15.1	10.5	23.7	20.8	4.9	10.2	2.7	4.5	1.0	n.d.	1.9	2.8	1.2	n.d.	0.8	n.d.
15.5	13.7	8.4	12.1	23.7	5.5	10.9	n.d.	6.3	2.5	5.7	n.d.	1.3	0.6	n.d.	5.4	4.0
16.5	7.6	5.5	52.7	10.3	2.9	5.3	1.4	2.8	2.6	n.d.	1.1	0.6	0.5	0.4	2.4	3.8
17.5	7.7	45.8	9.9	13.3	3.3	4.4	n.d.	1.3	2.5	1.5	0.6	1.7	1.2	0.3	3.5	3.0
20.5	15.1	8.8	16.6	19.5	4.7	12.7	0.8	6.2	1.6	1.4	1.0	1.2	0.3	0.3	4.2	5.8
22.5	11.6	8.2	26.2	14.1	4.3	13.6	2.4	5.9	3.5	n.d.	n.d.	2.1	n.d.	0.6	3.6	3.9

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 17. Abundancia (%) de minerales en la fracción de arcillas para el núcleo SE4.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsita	Dolomita	Anfíboles	Tridimita
0.25	13.9	2.9	15.1	33.0	5.6	0.4	3.0	n.d.	0.6	n.d.	0.3	1.8	1.7	0.5	9.4
2.25	10.1	4.4	10.5	25.7	8.2	11.0	n.d.	n.d.	8.2	2.8	n.d.	n.d.	1.4	n.d.	2.2
3.75	7.7	1.3	7.7	23.5	3.7	7.5	9.0	10.7	4.3	6.8	1.9	5.1	3.2	2.5	n.d.
5.25	7.5	4.8	7.7	25.7	8.9	3.5	4.1	8.9	2.5	0.8	2.2	1.2	4.5	10.2	3.0
6.75	10.1	6.0	3.4	24.5	8.4	5.6	4.4	16.7	3.8	3.3	2.3	2.9	n.d.	8.7	n.d.
8.5	10.1	2.7	8.6	21.3	10.7	3.1	7.2	25.2	n.d.	1.4	n.d.	3.5	n.d.	1.9	n.d.
11.5	9.2	6.2	3.1	17.1	4.9	2.0	n.d.	39.7	n.d.	n.d.	1.7	n.d.	4.9	11.3	n.d.
14.5	5.3	7.8	13.0	24.3	6.9	5.2	n.d.	20.2	4.2	n.d.	n.d.	1.0	1.4	5.0	n.d.
15.5	9.3	2.8	5.2	20.7	7.6	3.0	5.6	31.5	1.0	n.d.	1.0	2.5	1.3	6.0	2.1
16.5	4.0	3.6	8.1	26.0	5.5	6.5	n.d.	30.1	4.9	1.0	n.d.	2.6	n.d.	0.3	n.d.
17.5	12.0	3.9	8.9	24.0	6.3	3.4	n.d.	22.4	1.9	n.d.	5.2	4.8	n.d.	0.5	n.d.
20.5	5.4	8.7	9.2	21.5	8.0	6.1	n.d.	19.3	4.0	n.d.	1.8	n.d.	n.d.	8.5	4.6
22.5	12.4	3.1	11.1	27.4	5.5	6.8	8.6	13.9	n.d.	n.d.	1.1	3.2	0.6	3.7	1.4

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 18. Abundancia (%) de minerales en la fracción de limos para el núcleo SE4.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsita	Dolomita	Calcita	Anfiboles	Tridimita
0.25	18.6	7.4	8.2	17.9	n.d.	6.0	7.4	6.8	0.8	5.2	n.d.	7.6	1.2	1.8	0.7	10.3
2.25	18.2	6.0	11.6	33.1	2.4	8.6	5.6	1.4	0.9	6.1	0.8	n.d.	n.d.	n.d.	0.4	4.9
3.75	23.0	5.5	10.4	16.3	7.6	7.3	0.6	7.0	1.1	1.0	3.6	1.1	1.9	0.7	4.0	9.0
5.25	14.9	6.2	23.9	18.9	2.7	6.8	3.0	6.7	n.d.	3.4	0.6	1.3	n.d.	n.d.	3.5	8.2
6.75	14.1	5.3	10.1	20.6	4.1	8.7	5.2	6.8	4.4	2.0	3.8	2.7	3.2	n.d.	4.3	4.5
8.5	16.4	7.1	9.0	21.4	10.0	10.1	1.6	5.5	2.7	n.d.	n.d.	4.2	0.7	0.4	5.0	6.0
11.5	24.1	6.3	12.3	21.9	2.5	9.3	n.d.	4.0	1.3	4.9	n.d.	2.1	0.3	1.7	0.4	8.9
14.5	16.3	12.6	10.7	29.2	1.2	7.2	1.9	7.5	0.6	2.5	1.5	n.d.	0.7	0.2	4.4	3.4
15.5	9.9	4.6	10.0	20.4	4.1	11.1	0.7	10.3	2.6	7.7	0.3	3.0	0.9	2.1	4.7	7.6
16.5	29.9	7.6	7.6	17.0	3.7	3.9	n.d.	5.8	2.0	4.6	n.d.	n.d.	1.3	2.4	9.3	5.1
17.5	12.8	8.7	15.6	14.8	7.2	6.8	5.5	6.3	3.6	2.8	n.d.	4.4	2.2	n.d.	3.1	6.2
20.5	18.4	5.7	13.3	21.9	3.8	11.2	3.2	6.3	1.0	1.5	1.6	0.3	1.3	n.d.	3.2	7.4
22.5	13.8	10.5	18.3	23.9	4.1	7.6	n.d.	3.2	n.d.	3.4	n.d.	n.d.	0.2	n.d.	2.4	12.6

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 19. Abundancia (%) de minerales en la fracción de arenas para el núcleo SE4.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsita	Dolomita	Calcita	Anfiboles	Tridimita
0.25	10.0	2.3	40.8	14.5	2.2	9.4	1.2	2.5	0.5	2.1	2.4	3.0	2.1	n.d.	4.4	2.5
2.25	13.6	7.6	15.6	24.2	5.8	7.5	n.d.	4.4	4.0	n.d.	2.9	4.1	0.3	n.d.	2.0	8.0
3.75	19.0	9.3	15.0	21.7	5.8	5.1	2.1	2.7	0.3	5.1	1.8	2.4	1.0	0.6	n.d.	8.1
5.25	13.1	15.6	13.3	28.2	4.4	10.4	5.0	1.9	1.0	2.2	n.d.	n.d.	1.0	1.9	n.d.	2.1
6.75	21.9	9.3	11.5	20.7	8.1	9.1	3.4	2.3	0.3	4.5	3.6	n.d.	n.d.	n.d.	1.6	3.9
8.5	25.0	6.7	12.3	16.9	4.1	14.6	n.d.	1.7	n.d.	4.2	n.d.	3.5	1.5	0.2	2.2	7.1
11.5	10.7	38.9	10.3	14.4	3.2	7.5	1.3	2.2	2.1	0.7	1.1	2.1	n.d.	0.4	1.3	3.7
14.5	7.4	47.8	10.4	10.1	1.2	7.9	3.4	1.7	n.d.	2.8	n.d.	3.4	0.3	1.8	n.d.	2.0
15.5	12.9	24.8	10.7	17.8	2.1	12.1	2.1	2.1	2.4	2.2	0.8	0.3	2.4	0.5	0.6	6.2
16.5	8.1	39.4	19.8	5.4	1.7	14.3	n.d.	2.1	0.6	0.7	0.6	1.6	0.5	0.3	2.3	2.5
17.5	7.8	61.2	5.9	7.4	1.8	5.1	0.7	2.1	1.0	1.3	0.3	0.9	0.4	0.4	1.4	2.4
20.5	7.0	24.0	37.1	10.1	6.3	3.9	n.d.	n.d.	n.d.	1.8	2.8	0.8	1.0	0.9	2.7	1.6
22.5	8.2	51.9	11.4	7.6	3.2	5.0	0.6	2.2	n.d.	1.5	1.3	0.9	1.0	0.5	1.5	3.4

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 20. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C1.

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
0.5	86.2	94	0.2	0.1
1.5	88	94.8	0.1	0.2
2.5	88.5	95.1	0.1	0.3
3.5	88.9	95.2	0.1	0.4
4.5	89	95.3	0.1	0.5
5.5	88.9	95.3	0.1	0.6
6.5	89.1	95.3	0.1	0.7
7.5	89.2	95.4	0.1	0.8
8.5	89	95.3	0.1	0.9
9.5	88.5	95.1	0.1	1.0
10.5	87.9	94.8	0.1	1.1
11.5	86.8	94.3	0.1	1.3
12.5	86.2	94	0.2	1.4
13.5	85.6	93.7	0.2	1.5
14.5	85.8	93.8	0.2	1.7
15.5	86.1	94	0.2	1.8
16.5	86.4	94.1	0.1	2.0
17.5	86.7	94.2	0.1	2.1
18.5	86.6	94.2	0.1	2.2
19.5	86.4	94.1	0.1	2.4
20.5	86.1	93.9	0.2	2.5
21.5	85.9	93.9	0.2	2.6
22.5	85.8	93.8	0.2	2.8
23.5	85.6	93.7	0.2	2.9
24.5	85.9	93.9	0.2	3.1
25.5	85.9	93.8	0.2	3.2
26.5	86.2	94	0.2	3.3
27.5	86	93.9	0.2	3.5
28.5	85.6	93.7	0.2	3.6
29.5	85.4	93.6	0.2	3.8
30.5	85.4	93.6	0.2	3.9
31.5	85.2	93.5	0.2	4.0
32.5	84.5	93.2	0.2	4.2
33.5	84.5	93.2	0.2	4.4
34.5	84.4	93.1	0.2	4.5
35.5	84.2	93	0.2	4.7
36.5	84.2	93	0.2	4.8
37.5	84.1	93	0.2	5.0
38.5	84.3	93.1	0.2	5.2
39.5	84.9	93.3	0.2	5.3
40.5	84.9	93.4	0.2	5.5

Anexo 20. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C1 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
41.5	84.8	93.3	0.2	5.7
42.5	84.7	93.2	0.2	5.8
43.5	84.9	93.3	0.2	6.0
44.5	84.6	93.2	0.2	6.1
45.5	84.3	93.1	0.2	6.3
46.5	84.3	93.1	0.2	6.5
47.5	83.5	92.7	0.2	6.6
48.5	83.9	92.9	0.2	6.8
49.5	83.8	92.8	0.2	6.9
50.5	83.6	92.7	0.2	7.1
51.5	83.7	92.8	0.2	7.3
52.5	83.6	92.7	0.2	7.4
53.5	83.4	92.6	0.2	7.6
54.5	82.7	92.3	0.2	7.8
55.5	82.6	92.2	0.2	8.0
56.5	82.5	92.2	0.2	8.1
57.5	82.1	92	0.2	8.3
58.5	81.7	91.8	0.2	8.5
59.5	81.7	91.8	0.2	8.7
60.5	82.1	92	0.2	8.9
61.5	81.7	91.8	0.2	9.1
62.5	81.4	91.6	0.2	9.3
63.5	81.3	91.6	0.2	9.5
64.5	81.6	91.7	0.2	9.7
65.5	80.9	91.4	0.2	9.9
66.5	80.3	91.1	0.2	10.1
67.5	80.4	91.1	0.2	10.3
68.5	80.3	91.1	0.2	10.5
69.5	80.3	91.1	0.2	10.7
70.5	80.6	91.2	0.2	10.9
71.5	81	91.4	0.2	11.1
72.5	81.7	91.8	0.2	11.3
73.5	82.1	92	0.2	11.4
74.5	82.5	92.2	0.2	11.6
75.5	82.8	92.3	0.2	11.8
76.5	83.2	92.5	0.2	12.0
77.5	83.4	92.6	0.2	12.2
78.5	83.3	92.6	0.2	12.3
79.5	83.3	92.6	0.2	12.5
80.5	83.4	92.6	0.2	12.7
81.5	83.1	92.5	0.2	12.9

Anexo 20. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C1 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
82.5	82.6	92.2	0.2	13.0
83.5	82.4	92.1	0.2	13.2
84.5	82.8	92.3	0.2	13.4
85.5	82.5	92.2	0.2	13.6
86.5	82	91.9	0.2	13.8
87.5	82.3	92.1	0.2	13.9
88.5	81.7	91.8	0.2	14.2
89.5	81.8	91.8	0.2	14.3
90.5	82	91.9	0.2	14.5
91.5	82	91.9	0.2	14.7
92.5	81.7	91.8	0.2	14.9
93.5	82	91.9	0.2	15.1
94.5	81.9	91.9	0.2	15.2
95.5	81.9	91.9	0.2	15.4
96.5	82.2	92	0.2	15.6
97.5	82.4	92.1	0.2	15.8
98.5	82.3	92.1	0.2	16.0
99.5	82.3	92.1	0.2	16.2
100.5	82.4	92.1	0.2	16.3
101.5	82.5	92.2	0.2	16.5
102.5	82.7	92.3	0.2	16.7
103.5	82.6	92.2	0.2	16.8
104.5	82.1	92	0.2	17.0
105.5	82.6	92.2	0.2	17.2
106.5	82.4	92.1	0.2	17.4
107.5	82	91.9	0.2	17.6

Anexo 21. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C2.

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
0.5	93.7	97.4	0.1	0.04
1.5	93.1	97.1	0.1	0.1
2.5	92.3	96.8	0.1	0.2
3.5	91.7	96.5	0.1	0.3
4.5	91	96.2	0.1	0.4
5.5	90.4	95.9	0.1	0.5
6.5	89.1	95.3	0.1	0.6
7.5	88.8	95.2	0.1	0.7
8.5	88.5	95.1	0.1	0.8

Anexo 21. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C2 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
9.5	87.8	94.7	0.1	1.0
10.5	86.7	94.2	0.1	1.1
11.5	85.5	93.6	0.2	1.2
12.5	85.4	93.6	0.2	1.4
13.5	86.1	93.9	0.2	1.5
14.5	86.1	93.9	0.2	1.7
15.5	85.7	93.7	0.2	1.8
16.5	85.8	93.8	0.2	2.0
17.5	85.3	93.5	0.2	2.1
18.5	85.2	93.5	0.2	2.3
19.5	85.2	93.5	0.2	2.4
20.5	84.8	93.3	0.2	2.5
21.5	85	93.4	0.2	2.7
22.5	84.3	93.1	0.2	2.9
23.5	84.5	93.2	0.2	3.0
24.5	84.9	93.4	0.2	3.2
25.5	84.5	93.2	0.2	3.3
26.5	84.5	93.2	0.2	3.5
27.5	84.8	93.3	0.2	3.6
28.5	85.1	93.4	0.2	3.8
29.5	84.7	93.2	0.2	3.9
30.5	84.3	93.1	0.2	4.1
31.5	85.2	93.5	0.2	4.3
32.5	84.9	93.3	0.2	4.4
33.5	84.7	93.3	0.2	4.6
34.5	84.9	93.3	0.2	4.7
35.5	90.9	96.2	0.1	4.8
36.5	84.7	93.3	0.2	4.9
37.5	84.4	93.1	0.2	5.1
38.5	84.3	93.1	0.2	5.3
39.5	83.8	92.8	0.2	5.4
40.5	84.2	93	0.2	5.6
41.5	83.9	92.9	0.2	5.8
42.5	83.8	92.8	0.2	5.9
43.5	83.6	92.7	0.2	6.1
44.5	83.4	92.6	0.2	6.3
45.5	82.6	92.2	0.2	6.5
46.5	83.8	92.8	0.2	6.6
47.5	82.3	92.1	0.2	6.8
48.5	83.6	92.7	0.2	7.0
49.5	81.8	91.8	0.2	7.2

Anexo 21. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C2 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
50.5	83	92.4	0.2	7.4
51.5	83.5	92.7	0.2	7.5
52.5	83.5	92.7	0.2	7.7
53.5	83.1	92.5	0.2	7.9
54.5	83	92.4	0.2	8.1
55.5	82.1	92	0.2	8.2
56.5	81.6	91.7	0.2	8.4
57.5	82.9	92.4	0.2	8.6
58.5	83	92.4	0.2	8.8
59.5	82.6	92.2	0.2	9.0
60.5	81.8	91.8	0.2	9.1
61.5	82.3	92.1	0.2	9.3
62.5	82	91.9	0.2	9.5
63.5	81.7	91.8	0.2	9.7
64.5	81	91.4	0.2	9.9
65.5	79.1	90.4	0.2	10.1
66.5	78	89.8	0.3	10.3
67.5	76.6	89.1	0.3	10.6
68.5	76.1	88.8	0.3	10.8
69.5	75.5	88.5	0.3	11.1
70.5	74.2	87.8	0.3	11.4
71.5	76.1	88.8	0.3	11.6
72.5	77.3	89.5	0.3	11.9
73.5	78.1	89.9	0.3	12.1
74.5	79.7	90.8	0.2	12.4
75.5	81.3	91.6	0.2	12.6
76.5	82.1	92	0.2	12.7
77.5	82.5	92.2	0.2	12.9
78.5	82.4	92.1	0.2	13.1
79.5	82.3	92.1	0.2	13.3
80.5	82	91.9	0.2	13.5
81.5	82.9	92.4	0.2	13.6
82.5	82.6	92.2	0.2	13.8
83.5	82.5	92.2	0.2	14.0
84.5	82.5	92.2	0.2	14.2
85.5	81.9	91.9	0.2	14.4
86.5	82.5	92.2	0.2	14.6
87.5	82.5	92.2	0.2	14.8
88.5	82.5	92.2	0.2	14.9
89.5	82.6	92.2	0.2	15.1

Anexo 21. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C2 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
90.5	82.5	92.2	0.2	15.3
91.5	82.9	92.4	0.2	15.5
92.5	82.4	92.1	0.2	15.7
93.5	82.5	92.2	0.2	15.9
94.5	82.6	92.2	0.2	16.1
95.5	81.9	91.9	0.2	16.2
96.5	82.5	92.2	0.2	16.4
97.5	82.5	92.2	0.2	16.6
98.5	82	92	0.2	16.8
99.5	78.9	90.4	0.2	17.0

Anexo 22. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C3.

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
0.5	96.2	98.5	0.04	0.03
1.5	93.5	97.3	0.1	0.1
2.5	93.3	97.2	0.1	0.2
3.5	91.1	96.3	0.1	0.3
4.5	91.4	96.4	0.1	0.4
5.5	90.5	96	0.1	0.6
6.5	90.7	96.1	0.1	0.7
7.5	90.1	95.8	0.1	0.8
8.5	89.7	95.6	0.1	0.9
9.5	89.9	95.7	0.1	1.0
10.5	89.9	95.7	0.1	1.2
11.5	89.6	95.6	0.1	1.3
12.5	89.5	95.5	0.1	1.4
13.5	89.5	95.5	0.1	1.5
14.5	90.5	96	0.1	1.7
15.5	88.8	95.2	0.1	1.8
16.5	88.7	95.1	0.1	1.9
17.5	88.7	95.1	0.1	2.0
18.5	88.4	95	0.1	2.2
19.5	87.4	94.5	0.1	2.3
20.5	87.4	94.6	0.1	2.5
21.5	87.5	94.6	0.1	2.6

Anexo 22. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C3 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
22.5	88.1	94.9	0.1	2.8
23.5	87.6	94.6	0.1	2.9
24.5	87.3	94.5	0.1	3
25.5	86.8	94.3	0.1	3.2
26.5	85.8	93.8	0.2	3.4
27.5	85.8	93.8	0.2	3.5
28.5	85.2	93.5	0.2	3.7
29.5	84.7	93.3	0.2	3.9
30.5	84.1	93	0.2	4.1
31.5	83.6	92.7	0.2	4.3
32.5	83.8	92.8	0.2	4.5
33.5	83.5	92.7	0.2	4.6
34.5	83.5	92.7	0.2	4.8
35.5	84.1	93	0.2	5.0
36.5	84.5	93.2	0.2	5.1
37.5	84.5	93.2	0.2	5.3
38.5	85.2	93.5	0.2	5.5
39.5	85.6	93.7	0.2	5.6
40.5	85.7	93.7	0.2	5.8
41.5	85.6	93.7	0.2	6.0
42.5	85.1	93.5	0.2	6.1
43.5	84.6	93.2	0.2	6.3
44.5	84.3	93.1	0.2	6.5
45.5	84.4	93.1	0.2	6.7
46.5	84.4	93.1	0.2	6.9
47.5	84.4	93.1	0.2	7.0
48.5	83.2	92.5	0.2	7.2
49.5	81.9	91.9	0.2	7.4
50.5	82.4	92.1	0.2	7.6
51.5	82.4	92.1	0.2	7.8
52.5	82.6	92.2	0.2	8.0
53.5	82.5	92.2	0.2	8.2
54.5	82.4	92.1	0.2	8.4
55.5	82	91.9	0.2	8.6
56.5	81.6	91.7	0.2	8.8
57.5	81.4	91.6	0.2	9.0
58.5	81.8	91.8	0.2	9.2
59.5	81.8	91.9	0.2	9.4
60.5	81.8	91.8	0.2	9.7
61.5	81.5	91.7	0.2	10.0
62.5	81.3	91.6	0.2	10.2

Anexo 22. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C3 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
63.5	80.9	91.4	0.2	10.4
64.5	81.1	91.5	0.2	10.6
65.5	80.9	91.4	0.2	10.8
66.5	81.3	91.6	0.2	11.1
67.5	80.6	91.2	0.2	11.2
68.5	80.2	91	0.2	11.4
69.5	80	90.9	0.2	11.6
70.5	79.5	90.7	0.2	11.9
71.5	79.5	90.7	0.2	12.1
72.5	78.5	90.1	0.2	12.3
73.5	77.2	89.4	0.3	12.6
74.5	74.2	87.8	0.3	12.9
75.5	77.9	89.8	0.3	13.2
76.5	79.7	90.7	0.2	13.5
77.5	79.6	90.7	0.2	13.7
78.5	79.8	90.8	0.2	14.0
79.5	80.3	91	0.2	14.2
80.5	81.2	91.5	0.2	14.4
81.5	81.1	91.5	0.2	14.6
82.5	81.4	91.6	0.2	14.9
83.5	81.5	91.7	0.2	15.1
84.5	81.2	91.5	0.2	15.4
85.5	80.9	91.3	0.2	15.6
86.5	80.4	91.1	0.2	15.9
87.5	80.6	91.2	0.2	16.1
88.5	79	90.4	0.2	16.3
89.5	79.9	90.9	0.2	16.6
90.5	80.1	91	0.2	16.9
91.5	78.2	90	0.3	17.3

Anexo 23. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C4.

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
0.5	77.3	89.5	0.3	0.1
1.5	72.4	86.8	0.3	0.4
2.5	67.2	83.7	0.4	0.7
3.5	65.9	82.9	0.4	1.1
4.5	66.1	83	0.4	1.4
5.5	65.7	82.7	0.4	1.8

Anexo 23. Humedad (%), porosidad (%), densidad (g cm^{-3}) y masa acumulada (g cm^{-2}) para el núcleo de sedimento C4 (continuación).

Prof. (cm)	Humedad	Porosidad	Densidad	Masa acumulada
6.5	67.2	83.6	0.4	2.2
7.5	69.5	85.1	0.4	2.6
8.5	73.1	87.2	0.3	2.9
9.5	70.7	85.8	0.4	3.3
10.5	68.6	84.6	0.4	3.7
11.5	69.9	85.3	0.4	4.0
12.5	68.3	84.3	0.4	4.4
13.5	69.1	84.8	0.4	4.7
14.5	66.5	83.2	0.4	5.1
15.5	69.2	84.9	0.4	5.5
16.5	67.8	84	0.4	5.8
17.5	72.5	86.8	0.3	6.2
18.5	73.8	87.6	0.3	6.5
19.5	75.2	88.4	0.3	6.8
20.5	72.3	86.7	0.3	7.1
21.5	75.4	88.5	0.3	7.3
22.5	73.2	87.2	0.3	7.6
23.5	73.9	87.6	0.3	7.9
24.5	72	86.6	0.3	8.2
25.5	73.3	87.3	0.3	8.5
26.5	71.6	86.3	0.3	8.8
27.5	73.9	87.6	0.3	9.1
28.5	73	87.1	0.3	9.4
29.5	75.4	88.5	0.3	9.7
30.5	71.9	86.5	0.3	10.0
31.5	73.8	87.6	0.3	10.3
32.5	72.5	86.8	0.3	10.5
33.5	74	87.7	0.3	10.8
34.5	73.4	87.4	0.3	11.2
35.5	73.5	87.4	0.3	11.5
36.5	72.6	86.9	0.3	11.8
37.5	73.3	87.3	0.3	12.1
38.5	72.1	86.6	0.3	12.4
39.5	73.1	87.2	0.3	12.7
40.5	71.1	86	0.3	13.0
41.5	73.1	87.2	0.3	13.3
42.5	72.9	87.1	0.3	13.6
43.5	74.2	87.8	0.3	14.0
44.5	72.8	87	0.3	14.2
45.5	74.8	88.1	0.3	14.6
46.5	74.4	87.9	0.3	15.0

Anexo 24. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento C1.

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
0.5	4.3	94.2	1.5
1.5	3.9	94.2	2.0
2.5	2.4	85.1	12.5
3.5	3.0	92.8	4.1
4.5	1.8	64.6	33.6
5.5	2.4	70.2	27.4
6.5	3.5	92.7	3.8
7.5	7.9	87.1	4.9
8.5	5.5	87.3	7.2
9.5	3.5	92.3	4.2
10.5	5.0	84.3	10.7
11.5	10.3	88.5	1.3
12.5	4.1	94.7	1.2
13.5	9.9	89.7	0.5
14.5	9.1	90.6	0.3
15.5	3.8	92.5	3.7
16.5	5.8	87.1	7.1
17.5	3.7	84.2	12.1
18.5	4.2	93.5	2.3
19.5	7.1	91.4	1.5
20.5	9.7	90.3	0.0
21.5	3.8	91.2	5.0
22.5	7.7	91.9	0.5
23.5	6.5	89.9	3.6
24.5	2.0	77.6	20.3
25.5	1.6	52.4	45.9
26.5	4.6	85.3	10.1
27.5	5.2	83.2	11.5
28.5	5.0	94.0	1.0
29.5	7.2	82.8	10.0
30.5	3.9	82.2	13.9
31.5	4.0	87.8	8.3
32.5	5.6	81.4	12.9
33.5	11.3	88.4	0.3
34.5	6.0	89.4	4.6
35.5	12.3	85.5	2.2
36.5	10.6	89.1	0.4
37.5	5.2	93.7	1.2
38.5	7.6	87.2	5.2
39.5	11.7	86.8	1.4
40.5	1.9	84.4	13.7
41.5	15.8	83.8	0.3
42.5	13.4	85.7	0.9

Anexo 24. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 μm), limos (2-63 μm) y arenas (> 63 μm) en el núcleo de sedimento C1 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
43.5	8.4	89.2	2.4
44.5	13.9	85.9	0.2
45.5	15.6	84.4	0.0
46.5	2.0	86.3	11.7
47.5	14.9	85.0	0.1
48.5	14.1	85.9	0.0
49.5	4.9	93.5	1.6
50.5	15.7	84.3	0.0
51.5	13.7	86.3	0.1
52.5	4.5	93.6	1.9
53.5	13.7	86.3	0.0
54.5	7.4	84.8	7.8
55.5	4.0	81.2	14.8
56.5	8.9	88.3	2.8
57.5	7.7	88.7	3.6
58.5	4.6	93.9	1.4
59.5	9.4	88.0	2.6
60.5	15.2	84.6	0.3
61.5	4.6	93.8	1.6
62.5	7.0	85.6	7.4
63.5	12.3	87.7	0.0
64.5	9.0	87.4	3.5
65.5	5.9	93.1	1.1
66.5	11.6	86.2	2.2
67.5	5.2	90.5	4.3
68.5	7.7	85.4	6.9
69.5	19.2	74.5	6.4
70.5	8.1	85.3	6.6
71.5	5.7	94.2	0.1
72.5	10.2	86.9	2.9
73.5	4.0	90.4	5.5
74.5	9.1	89.7	1.2
75.5	4.8	91.8	3.4
76.5	6.0	88.7	5.3
77.5	15.4	83.9	0.7
78.5	3.8	91.9	4.3
79.5	8.5	86.6	4.9
80.5	9.5	89.9	0.6
81.5	4.6	91.8	3.6
82.5	5.1	83.7	11.1
83.5	9.5	89.2	1.3
84.5	2.3	80.0	17.7

Anexo 24. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento C1 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
85.5	8.8	88.2	2.9
86.5	1.6	61.0	37.3
87.5	2.0	85.8	12.2
88.5	6.9	85.7	7.5
89.5	5.4	90.0	4.6
90.5	4.5	89.2	6.3
91.5	4.6	80.8	14.6
92.5	6.5	83.1	10.4
93.5	5.1	93.0	1.9
94.5	3.7	86.2	10.1
95.5	6.6	88.9	4.5
96.5	2.3	63.6	34.2
97.5	2.9	76.4	20.7
98.5	2.8	67.9	29.3
99.5	5.5	93.2	1.4
100.5	5.3	75.8	18.9
101.5	8.1	86.0	6.0
102.5	2.7	64.2	33.0
103.5	8.3	91.7	0.0
104.5	1.1	46.0	52.9
105.5	6.5	91.9	1.7
106.5	1.8	43.9	54.3
107.5	7.0	88.1	4.9

Anexo 25. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento C2.

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
0.5	3.7	91.6	4.6
1.5	13.3	85.7	1.0
2.5	10.6	87.9	1.6
3.5	10.0	89.0	1.0
4.5	2.6	70.8	26.5
5.5	11.2	88.8	0.0
6.5	10.7	89.3	0.0
7.5	9.1	90.9	0.0
8.5	2.8	55.5	41.7
9.5	3.4	89.9	6.7
10.5	8.1	90.8	1.0
11.5	8.3	88.7	3.1

Anexo 25. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 μm), limos (2-63 μm) y arenas (> 63 μm) en el núcleo de sedimento C2 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
12.5	10.3	89.5	0.2
13.5	10.3	87.8	2.0
14.5	10.2	87.5	2.3
15.5	11.6	86.5	2.0
16.5	13.6	84.4	2.1
17.5	10.5	88.9	0.6
18.5	10.2	89.8	0.0
19.5	10.6	88.9	0.5
20.5	9.2	90.5	0.3
21.5	3.5	87.6	8.9
22.5	3.9	78.4	17.7
23.5	5.1	92.1	2.8
24.5	6.0	92.4	1.7
25.5	4.0	93.7	2.3
26.5	8.1	91.2	0.8
27.5	3.4	91.7	4.9
28.5	7.4	92.3	0.3
29.5	8.9	90.9	0.2
30.5	6.9	90.6	2.5
31.5	5.8	93.6	0.5
32.5	7.8	91.6	0.6
33.5	2.0	87.8	10.2
34.5	1.8	86.7	11.5
35.5	2.2	91.2	6.6
36.5	4.7	61.1	34.3
37.5	2.1	87.8	10.1
38.5	1.3	44.7	54.0
39.5	3.9	92.8	3.3
40.5	2.3	92.3	5.4
41.5	2.3	78.7	19.0
42.5	2.7	53.5	43.8
43.5	13.6	86.0	0.4
44.5	9.6	90.1	0.3
45.5	15.3	81.7	3.1
46.5	15.6	84.3	0.1
47.5	15.3	84.3	0.4
48.5	2.5	57.7	39.8
49.5	15.8	81.5	2.7
50.5	15.6	84.4	0.0
51.5	1.6	59.1	39.3

Anexo 25. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 μm), limos (2-63 μm) y arenas (> 63 μm) en el núcleo de sedimento C2 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
52.5	16.9	80.3	2.8
53.5	15.1	83.1	1.8
54.5	16.5	81.2	2.3
55.5	17.6	81.4	1.0
56.5	16.9	83.1	0.0
57.5	12.2	84.2	3.7
58.5	15.6	81.7	2.7
59.5	17.6	78.3	4.1
60.5	13.8	82.3	3.9
61.5	13.6	81.5	4.9
62.5	13.9	76.5	9.6
63.5	16.5	74.3	9.2
64.5	15.1	77.9	7.0
65.5	4.5	85.4	10.1
66.5	11.8	65.3	22.9
67.5	12.0	72.7	15.3
68.5	5.7	42.2	52.0
69.5	7.9	34.9	57.2
70.5	12.0	36.1	51.9
71.5	4.6	74.8	20.6
72.5	16.8	64.6	18.6
73.5	10.6	37.2	52.3
74.5	12.7	77.5	9.8
75.5	3.7	87.3	9.0
76.5	15.0	82.6	2.4
77.5	15.7	82.7	1.6
78.5	16.7	83.3	0.0
79.5	15.3	84.7	0.0
80.5	20.4	77.3	2.3
81.5	11.6	87.1	1.3
82.5	20.2	79.8	0.0
83.5	15.2	84.8	0.0
84.5	15.5	84.5	0.0
85.5	13.4	86.3	0.3
86.5	15.0	85.0	0.0
87.5	16.3	81.5	2.2
88.5	1.6	81.8	16.6
89.5	17.7	82.3	0.0
90.5	14.3	84.5	1.2
91.5	14.8	82.8	2.4

Anexo 25. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento C2 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
92.5	13.1	86.9	0.0
93.5	10.9	89.0	0.1
94.5	10.1	88.9	1.0
95.5	9.8	88.7	1.5
96.5	10.6	88.0	1.4
97.5	3.1	79.4	17.5
98.5	14.6	85.0	0.4
99.5	1.9	63.0	35.1

Anexo 26. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento C3.

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
0.5	3.2	92.1	4.6
1.5	7.3	92.7	0.0
2.5	6.4	93.5	0.1
3.5	11.3	88.7	0.0
4.5	4.4	94.6	1.0
5.5	8.9	91.1	0.0
6.5	4.0	94.3	1.7
7.5	4.3	92.7	2.9
8.5	4.0	94.5	1.5
9.5	3.2	90.8	6.0
10.5	4.8	91.9	3.3
11.5	5.0	93.3	1.7
12.5	6.0	93.2	0.8
13.5	5.6	92.8	1.6
14.5	6.1	92.7	1.1
15.5	10.2	88.8	1.0
16.5	8.3	88.9	2.8
17.5	5.7	91.6	2.7
18.5	7.6	92.2	0.2
19.5	5.7	90.7	3.6
20.5	10.3	87.5	2.2
21.5	1.5	64.5	34.0
22.5	7.2	92.0	0.8
23.5	6.7	91.2	2.0
24.5	8.6	90.5	0.8
25.5	8.8	88.5	2.7
26.5	7.4	88.9	3.7

Anexo 26. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 μm), limos (2-63 μm) y arenas (> 63 μm) en el núcleo de sedimento C3 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
27.5	2.6	89.7	7.7
28.5	8.2	89.7	2.1
29.5	9.4	90.2	0.4
30.5	7.3	90.2	2.5
31.5	8.2	88.9	2.9
32.5	5.3	86.9	7.8
33.5	9.0	88.9	2.1
34.5	6.9	90.0	3.0
35.5	10.6	89.1	0.3
36.5	12.5	87.5	0.0
37.5	9.9	90.1	0.0
38.5	9.2	90.5	0.4
39.5	1.6	61.7	36.7
40.5	6.0	91.7	2.2
41.5	8.3	91.6	0.1
42.5	8.8	91.1	0.2
43.5	7.1	92.6	0.4
44.5	12.4	87.6	0.0
45.5	9.0	90.9	0.1
46.5	9.9	90.1	0.0
47.5	7.7	92.1	0.2
48.5	7.6	91.4	1.0
49.5	11.1	88.7	0.1
50.5	11.1	88.9	0.0
51.5	3.3	89.3	7.4
52.5	5.2	91.9	2.9
53.5	5.9	92.6	1.5
54.5	5.2	92.2	2.6
55.5	10.6	89.4	0.0
56.5	12.7	85.7	1.6
57.5	11.4	88.0	0.6
58.5	8.2	91.5	0.3
59.5	8.6	90.3	1.0
60.5	9.3	90.5	0.1
61.5	5.7	91.9	2.4
62.5	7.3	90.3	2.4
63.5	13.1	86.9	0.0
64.5	7.4	90.1	2.5
65.5	3.2	67.1	29.7
66.5	7.6	88.8	3.6

Anexo 26. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento C3 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
67.5	5.4	90.1	4.5
68.5	21.1	76.8	2.0
69.5	8.5	88.0	3.5
70.5	4.2	87.4	8.4
71.5	3.0	88.6	8.4
72.5	5.8	79.8	14.4
73.5	14.5	79.5	6.0
74.5	11.4	78.8	9.8
75.5	1.4	48.6	50.0
76.5	9.3	89.0	1.7
77.5	6.5	89.2	4.3
78.5	5.0	84.3	10.7
79.5	10.0	86.9	3.1
80.5	15.5	84.0	0.5
81.5	14.0	86.0	0.0
82.5	12.6	84.2	3.2
83.5	11.1	88.7	0.2
84.5	13.8	86.2	0.0
85.5	14.3	85.7	0.0
86.5	13.8	86.2	0.0
87.5	13.3	86.6	0.1
88.5	1.7	78.1	20.2
89.5	11.8	88.1	0.1
90.5	14.8	85.2	0.0
91.5	1.0	48.9	50.1

Anexo 27. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 µm), limos (2-63 µm) y arenas (> 63 µm) en el núcleo de sedimento C4.

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
0.5	16.4	81.8	1.7
1.5	15.6	83.9	0.6
2.5	17.5	82.0	0.5
3.5	18.1	81.2	0.7
4.5	18.6	81.3	0.2
5.5	16.7	81.0	2.3
6.5	16.9	83.1	0.0
7.5	20.5	79.5	0.0
8.5	19.3	80.6	0.1
9.5	18.3	80.6	1.2

Anexo 27. Distribución del tamaño de grano (%) para arcillas (< 2 μm), limos (2-63 μm) y arenas (> 63 μm) en el núcleo de sedimento C4 (continuación).

Prof. (cm)	Arcilla	Limo	Arena
10.5	26.2	72.7	1.1
11.5	29.7	69.2	1.1
12.5	36.3	63.4	0.3
13.5	24.3	71.4	4.3
14.5	32.2	61.2	6.6
15.5	29.4	65.2	5.4
16.5	29.6	62.2	8.1
17.5	26.0	69.4	4.5
18.5	29.0	65.9	5.1
19.5	31.9	62.3	5.7
20.5	27.9	68.7	3.4
21.5	26.4	67.4	6.2
22.5	1.2	45.8	53.0
23.5	1.4	46.4	52.1
24.5	20.7	79.3	0.0
25.5	22.2	76.5	1.3
26.5	15.9	84.1	0.0
27.5	18.2	77.3	4.5
28.5	16.4	79.9	3.7
29.5	17.9	79.8	2.3
30.5	20.0	80.0	0.0
31.5	15.3	83.8	0.9
32.5	11.2	87.8	1.0
33.5	13.0	87.0	0.0
34.5	13.2	86.6	0.1
35.5	12.3	87.5	0.3
36.5	13.1	86.7	0.2
37.5	16.4	83.2	0.3
38.5	16.4	83.6	0.0
39.5	16.9	83.1	0.0
40.5	19.8	80.1	0.1
41.5	19.2	80.8	0.0
42.5	13.4	86.0	0.6
43.5	13.9	85.1	1.0
44.5	13.0	86.7	0.3
45.5	12.2	87.8	0.0

Anexo 28. Valores de susceptibilidad magnética (SM) volumétrica k ($\times 10^5$ SI) para los núcleos de sedimento del lago Chapala.

Prof. (cm)	C1	C2	C3	C4
0.5	2.08	2.93	2.65	2.54
1.5	2.01	3.05	2.89	2.41
2.5	1.87	3.33	2.95	2.71
3.5	1.71	3.13	3.05	2.61
4.5	1.64	2.85	2.86	2.47
5.5	1.68	2.63	2.65	2.55
6.5	1.55	2.27	2.71	2.47
7.5	1.61	2.19	2.67	2.37
8.5	1.65	2.19	2.65	2.43
9.5	1.62	2.19	2.27	2.32
10.5	1.83	2.28	2.25	2.16
11.5	1.87	2.37	1.97	2.17
12.5	1.91	2.34	1.63	2.07
13.5	1.95	2.21	1.59	2.08
14.5	1.99	2.32	1.68	2.17
15.5	2.05	2.58	1.62	1.95
16.5	2.25	2.55	1.66	1.97
17.5	2.11	2.59	1.54	1.84
18.5	2.11	2.51	1.71	1.81
19.5	2.31	2.47	1.95	1.68
20.5	2.55	2.65	2.03	1.73
21.5	2.53	2.33	1.91	1.70
22.5	2.63	2.45	2.20	1.71
23.5	3.02	2.55	2.11	1.70
24.5	2.98	2.53	2.27	1.63
25.5	3.34	2.67	2.23	1.68
26.5	3.57	2.59	2.52	1.70
27.5	3.78	2.43	2.79	1.81
28.5	4.04	2.51	2.86	2.03
29.5	4.16	2.67	3.06	1.84
30.5	4.42	2.94	3.22	1.87
31.5	4.26	2.63	3.14	1.83
32.5	4.10	2.79	3.53	1.89
33.5	4.18	2.93	3.19	1.89
34.5	4.58	3.18	3.30	2.01
35.5	4.81	3.62	3.26	1.88
36.5	4.66	3.94	3.41	1.87
37.5	4.72	4.26	3.80	1.95
38.5	4.85	4.32	3.53	2.03
39.5	5.32	4.93	3.38	1.91

Anexo 28. Valores de susceptibilidad magnética (SM) volumétrica k ($\times 10^5$ SI) para los núcleos de sedimento del lago Chapala (continuación).

Prof. (cm)	C1	C2	C3	C4
40.5	5.87	5.85	3.55	2.03
41.5	5.83	6.09	3.57	1.99
42.5	5.95	5.93	3.74	2.11
43.5	6.29	6.18	3.95	1.95
44.5	5.97	6.26	3.70	2.11
45.5	5.98	6.60	3.82	2.07
46.5	6.03	6.19	3.78	2.03
47.5	6.25	6.41	4.02	
48.5	6.09	6.17	4.64	
49.5	6.01	6.00	5.54	
50.5	5.98	6.01	5.36	
51.5	5.83	5.05	5.07	
52.5	5.77	5.57	5.16	
53.5	5.83	5.85	4.40	
54.5	5.85	5.63	4.36	
55.5	6.25	5.71	4.40	
56.5	6.04	5.79	4.32	
57.5	6.33	6.27	4.75	
58.5	6.39	7.04	4.32	
59.5	6.20	7.48	4.85	
60.5	6.67	9.15	4.92	
61.5	6.61	8.78	5.00	
62.5	6.17	9.88	5.13	
63.5	5.75	10.91	4.64	
64.5	6.17	11.65	4.68	
65.5	7.18	14.61	5.34	
66.5	8.57	15.82	6.07	
67.5	9.13	21.29	7.57	
68.5	9.06	18.82	8.02	
69.5	10.55	24.97	8.38	
70.5	9.77	23.71	7.92	
71.5	10.07	20.25	9.33	
72.5	8.24	17.64	10.85	
73.5	7.04	15.37	13.85	
74.5	7.56	12.73	15.49	
75.5	5.85	8.12	11.42	
76.5	5.45	5.69	6.59	
77.5	4.68	4.89	6.76	
78.5	4.73	4.70	6.03	

Anexo 28. Valores de susceptibilidad magnética (SM) volumétrica k ($\times 10^5$ SI) para los núcleos de sedimento del lago Chapala (continuación).

Prof. (cm)	C1	C2	C3	C4
79.5	4.72	4.62	6.22	
80.5	4.62	4.31	5.93	
81.5	4.10	4.18	5.85	
82.5	4.23	4.24	5.55	
83.5	4.02	4.08	5.61	
84.5	4.31	4.26	5.19	
85.5	4.40	3.90	4.26	
86.5	4.28	4.02	4.20	
87.5	4.50	3.78	4.34	
88.5	4.04	3.94	4.03	
89.5	4.10	3.70	4.10	
90.5	4.42	3.61	3.98	
91.5	4.31	3.78	4.23	
92.5	4.03	3.68		
93.5	3.80	3.66		
94.5	3.99	3.76		
95.5	4.10	3.60		
96.5	4.07	3.76		
97.5	3.93	3.60		
98.5	4.26	3.74		
99.5	3.64	4.81		
100.5	3.73			
101.5	3.54			
102.5	3.59			
103.5	3.43			
104.5	3.57			
105.5	3.46			
106.5	3.62			
107.5	3.96			

Anexo 29. Concentraciones (%) de carbono orgánico (C_{org}) en los núcleos de sedimento del lago Chapala.

C1		C2		C3		C4	
Prof. (cm)	C _{org}	Prof. (cm)	C _{org}	Prof. (cm)	C _{org}	Prof. (cm)	C _{org}
0.5	2.4	0.5	1.4	0.5	2.3	0.5	1.6
2.5	2.9	2.5	0.2	2.5	2.2	2.5	2.3
3.5	2.1	3.5	2.6	7.5	2.7	4.5	2.9
5.5	2.7	5.5	1.8	12.5	2.7	6.5	2.2
6.5	2.5	7.5	1.6	17.5	2.4	8.5	1.8
9.5	2.3	9.5	1.8	22.5	2.1	10.5	2.6
10.5	2.7	10.5	2.1	27.5	1.4	12.5	1.3
12.5	2.3	12.5	1.9	32.5	1.2	14.5	1.3
15.5	3.1	15.5	2.4	37.5	1.4	16.5	0.7
18.5	2.0	17.5	1.7	42.5	1.5	18.5	1.0
20.5	2.6	20.5	2.8	47.5	1.5	20.5	1.1
21.5	1.8	21.5	2.2	57.5	1.2	22.5	0.8
23.5	2.0	22.5	2.8	67.5	1.7	24.5	1.4
25.5	1.8	25.5	2.1	77.5	1.3	26.5	1.0
28.5	1.0	27.5	1.9	87.5	0.9	28.5	1.1
30.5	1.1	30.5	1.6			30.5	0.6
31.5	1.2	32.5	1.6			32.5	2.0
35.5	1.2	35.5	1.7			34.5	1.4
34.5	0.9	37.5	0.8			36.5	0.8
37.5	0.8	39.5	1.3			38.5	1.3
40.5	1.1	40.5	1.3			40.5	1.3
43.5	1.0	42.5	1.4			42.5	1.2
45.5	1.2	45.5	1.1			44.5	1.5
46.5	1.0	47.5	1.7			46.5	2.0
49.5	0.8	50.5	1.0				
50.5	1.3	51.5	2.3				
52.5	1.0	52.5	2.2				
55.5	0.8	55.5	0.6				
58.5	1.0	57.5	1.3				
60.5	0.8	60.5	0.7				
61.5	1.0	62.5	0.9				
63.5	1.0	65.5	0.2				
65.5	0.9	67.5	1.5				
67.5	1.1	70.5	0.1				
70.5	0.9	71.5	1.6				
71.5	0.9	72.5	1.5				
73.5	0.5	75.5	0.5				

Anexo 29. Concentraciones (%) de carbono orgánico (C_{org}) en los núcleos de sedimento del lago Chapala (continuación).

C1		C2		C3		C4	
Prof. (cm)	C _{org}	Prof. (cm)	C _{org}	Prof. (cm)	C _{org}	Prof. (cm)	C _{org}
75.5	0.4	77.5	0.8				
78.5	0.6	80.5	0.7				
80.5	1.3	82.5	1.6				
81.5	1.0	85.5	0.8				
84.5	1.2	87.5	1.6				
87.5	0.2	88.5	1.5				
90.5	1.2	90.5	1.1				
93.5	0.5	92.5	1.2				
96.5	0.5	95.5	0.7				
99.5	0.7	97.5	0.9				
100.5	1.1	99.5	1.1				
102.5	0.7						
105.5	0.2						
107.5	1.1						

Anexo 30. Concentraciones (%) de carbonatos (CaCO₃) para los núcleos de sedimento del lago Chapala.

C1		C2		C4	
Prof. (cm)	CaCO ₃	Prof. (cm)	CaCO ₃	Prof. (cm)	CaCO ₃
0.5	10.5	0.5	11.1	0.5	4.3
2.5	10.9	9.5	12.4	2.5	2.5
3.5	15.1	21.5	10.7	4.5	2.7
6.5	13.8	27.5	9.6	6.5	2.7
9.5	12.2	39.5	10.3	8.5	3.0
12.5	10.9	51.5	5.6	10.5	3.5
15.5	14.1	65.5	7.0	12.5	4.5
18.5	18.8	71.5	6.8	14.5	5.1
21.5	13.4	75.5	6.3	16.5	6.3
28.5	8.5	88.5	5.6	18.5	5.9
31.5	9.2			20.5	4.8
34.5	8.6			22.5	3.9
37.5	10.0			24.5	4.5
40.5	8.8			26.5	9.6
43.5	8.0			28.5	5.6
46.5	9.0			30.5	5.0
49.5	7.7			32.5	4.0
52.5	7.8			34.5	5.2

Anexo 30. Concentraciones (%) de carbonatos (CaCO₃) para los núcleos de sedimento del lago Chapala (continuación).

C1		C2		C4	
Prof. (cm)	CaCO ₃	Prof. (cm)	CaCO ₃	Prof. (cm)	CaCO ₃
58.8	7.7			36.5	1.8
61.5	8.0			38.5	6.1
65.5	6.2			40.5	4.6
67.5	6.6			42.5	8.0
71.5	7.3			44.5	8.0
73.5	7.2			46.5	6.4
75.5	1.4				
78.5	6.8				
81.5	4.2				
84.5	5.9				
87.5	4.9				
90.5	6.2				
93.5	5.4				
96.5	6.3				
99.5	6.8				
102.5	5.2				
105.5	9.2				

Anexo 31. Abundancia (%) total de minerales para el núcleo C2.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibbsita	Dolomita	Calcita	Anfiboles	Tridimita
0.5	1.9	6.1	11.6	12.1	8.1	3.2	n.d.	35.4	4.5	1.6	1.8	n.d.	1.6	4.2	5.8	2.2
6.5	4.4	3.7	9.1	13.3	7.6	6.5	5.5	25.7	6.8	2.8	0.5	2.7	n.d.	8.5	1.5	1.5
9.5	3.7	2.8	12.1	12.8	5.4	4.9	0.8	38.1	2.0	4.7	0.5	0.9	9.6	n.d.	1.4	0.4
12.5	4.0	1.5	7.5	16.4	7.7	5.9	n.d.	30.1	1.5	3.1	2.2	0.2	1.0	11.1	4.1	3.8
15.5	2.9	4.4	21.4	8.8	6.1	5.6	n.d.	25.7	3.1	3.9	n.d.	0.3	0.1	12.7	0.2	4.9
18.5	7.5	6.3	6.7	9.2	9.4	4.9	n.d.	40.3	2.0	n.d.	0.3	n.d.	0.7	7.8	0.6	4.4
21.5	3.4	5.0	8.3	10.6	7.3	4.8	n.d.	25.6	3.7	2.3	4.4	2.9	1.2	9.4	4.3	7.1
24.5	3.9	5.3	10.8	9.9	9.0	7.9	0.8	36.9	3.0	1.8	n.d.	0.3	1.2	7.1	n.d.	2.1
27.5	2.3	9.9	5.5	11.0	8.4	4.2	n.d.	29.0	4.2	1.5	2.0	3.9	n.d.	7.6	5.5	5.1
30.5	3.6	7.4	10.1	12.9	6.6	1.4	n.d.	29.7	3.5	4.0	0.2	3.1	0.2	8.5	6.2	2.6
33.5	3.5	8.2	10.4	10.3	7.2	2.9	2.5	35.7	2.9	3.0	n.d.	n.d.	n.d.	7.1	1.1	5.2
36.5	5.5	6.8	8.8	10.3	14.1	2.1	1.5	32.1	4.2	3.0	2.1	n.d.	1.4	6.2	0.9	1.0
39.5	5.3	8.2	9.6	12.6	9.9	4.9	1.8	26.3	n.d.	1.8	3.3	2.7	0.2	9.4	1.2	2.9
42.5	4.7	4.2	13.0	13.3	13.7	0.4	n.d.	30.0	1.7	2.3	n.d.	0.8	n.d.	6.7	4.3	4.9
45.5	3.4	8.3	1.4	13.1	19.3	1.6	0.5	37.6	3.1	4.0	n.d.	1.2	n.d.	1.8	3.3	1.5
48.5	7.8	1.1	7.5	12.7	12.5	3.3	n.d.	31.7	1.6	5.1	2.4	n.d.	n.d.	2.3	4.3	7.8
51.5	5.1	6.6	8.3	14.1	12.2	1.9	2.1	31.8	3.1	2.8	1.2	n.d.	0.3	1.5	5.6	3.4
54.5	2.6	8.0	8.5	10.3	12.3	3.1	n.d.	39.2	2.8	4.8	n.d.	2.2	1.0	n.d.	n.d.	5.2
57.5	6.5	5.9	9.5	15.5	16.7	n.d.	0.1	31.4	n.d.	5.9	n.d.	n.d.	0.2	3.0	1.1	4.2
60.5	3.5	19.2	8.4	15.1	12.2	4.7	0.9	21.1	1.7	1.9	0.9	0.8	n.d.	1.7	1.0	7.1
61.5	3.4	4.2	6.9	17.0	12.1	4.3	3.2	21.8	n.d.	2.9	1.1	2.7	0.2	2.6	11.9	5.7
63.5	2.1	21.9	19.6	13.5	10.4	3.0	0.7	19.0	n.d.	0.8	1.4	n.d.	0.4	1.6	3.1	2.5
65.5	1.3	9.6	15.1	17.0	7.4	3.5	4.5	18.9	3.3	1.5	0.2	3.2	1.5	1.3	8.0	3.7
67.5	2.2	37.3	25.4	7.6	2.4	3.0	0.5	6.6	2.0	1.5	1.2	1.0	0.7	0.9	5.5	2.3
69.5	0.5	25.2	55.6	3.2	0.6	0.9	0.7	1.7	n.d.	0.4	1.8	0.5	0.1	0.1	8.1	0.9
71.5	1.1	54.5	16.9	7.2	1.4	1.0	1.4	3.3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.6	0.5	7.0	1.5
73.5	1.9	33.5	21.8	8.4	5.3	3.4	1.1	11.9	0.6	1.2	1.1	0.4	0.2	0.4	5.9	2.9
75.5	3.8	7.9	18.8	10.7	10.5	5.7	n.d.	21.3	1.7	2.6	1.6	1.6	1.4	0.9	6.8	4.8
77.5	4.2	7.6	7.0	13.6	10.7	2.0	1.3	39.6	2.7	1.1	3.5	0.4	1.1	0.9	2.3	2.1
79.5	5.1	5.1	8.8	17.5	9.9	2.7	0.8	38.5	2.1	2.8	n.d.	n.d.	0.8	1.6	3.2	1.3
82.5	5.9	5.2	5.8	14.3	12.1	1.9	n.d.	37.5	n.d.	4.5	0.1	0.1	1.2	n.d.	5.2	6.2
85.5	5.5	4.0	4.8	17.8	12.6	2.8	2.6	33.9	1.7	3.5	0.6	2.7	0.4	0.9	2.2	4.0
88.5	3.6	7.1	5.9	11.3	13.2	4.0	1.5	36.4	0.9	1.8	1.9	n.d.	1.9	1.7	4.1	4.7
91.5	3.7	6.7	12.2	13.0	11.9	3.7	0.3	29.4	5.4	0.8	2.6	n.d.	0.7	0.7	5.1	3.7
94.5	3.6	6.7	11.7	15.0	13.8	4.6	n.d.	32.2	0.1	2.7	4.6	n.d.	1.2	1.0	0.9	2.1
98.5	6.7	2.7	6.9	13.1	14.8	1.2	n.d.	36.8	3.7	1.1	1.0	3.8	0.4	2.7	5.2	0.2

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 32. Abundancia (%) de minerales en la fracción de arcillas para el núcleo C2.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibbsite	Dolomita	Calcita	Anfiboles	Tridimita
0.5	3.7	4.2	6.1	5.4	4.9	7.4	n.d.	53.0	3.8	2.6	2.2	3.6	1.5	n.d.	n.d.	1.7
3.5	0.2	1.8	2.4	4.4	7.1	0.8	n.d.	65.0	3.0	3.5	2.1	2.1	1.0	1.1	5.1	0.4
6.5	2.5	4.3	2.5	7.1	9.8	3.3	n.d.	57.0	0.5	1.2	1.0	3.6	0.1	2.8	3.2	0.9
9.5	3.6	0.7	3.0	2.0	6.7	1.5	n.d.	59.6	3.6	2.0	4.9	n.d.	n.d.	5.7	4.3	2.5
12.5	2.8	n.d.	3.6	7.2	6.3	4.0	n.d.	57.3	5.3	1.5	1.7	n.d.	0.5	3.9	n.d.	6.2
15.5	2.2	6.0	8.4	7.3	9.1	4.0	n.d.	39.4	n.d.	4.2	0.4	4.3	1.0	4.1	6.3	3.3
18.5	2.2	0.4	3.2	7.1	2.9	3.8	1.5	66.5	4.2	n.d.	1.5	2.6	0.2	n.d.	1.6	2.3
21.5	3.8	0.9	3.5	4.1	5.1	0.5	1.3	67.1	1.6	1.9	0.5	0.9	1.7	3.8	n.d.	3.4
24.5	2.0	3.1	2.0	5.0	8.5	0.5	n.d.	65.6	n.d.	0.8	0.6	1.4	0.9	1.6	4.1	4.1
27.5	2.3	3.8	3.5	3.4	6.3	2.7	2.3	64.3	3.5	0.9	1.8	n.d.	0.5	1.3	2.8	0.6
30.5	2.7	0.4	1.2	5.5	5.2	3.4	2.4	66.4	1.1	0.6	n.d.	1.9	0.1	1.8	6.5	0.8
33.5	1.3	2.9	2.7	7.3	4.4	2.1	n.d.	72.5	0.2	1.9	1.5	n.d.	n.d.	0.8	n.d.	2.6
36.5	1.1	6.5	7.4	11.0	8.6	4.1	2.3	41.7	3.4	2.9	0.8	2.1	0.8	n.d.	3.3	4.0
39.5	3.2	4.5	4.8	5.8	4.5	4.3	3.2	52.9	3.0	4.2	0.4	0.7	1.2	0.9	3.7	2.7
42.5	1.0	3.7	5.2	7.7	8.7	4.1	4.6	53.7	3.4	1.3	0.7	1.4	1.0	0.7	n.d.	3.0
45.5	1.5	3.9	7.1	11.1	6.9	4.9	2.7	45.4	4.5	1.5	1.9	n.d.	n.d.	2.1	4.7	1.9
48.5	2.5	1.5	2.1	3.6	8.4	n.d.	n.d.	64.3	1.3	2.1	2.7	5.4	n.d.	2.3	0.8	3.1
51.5	1.8	2.7	5.2	17.1	10.3	5.1	2.6	40.8	0.7	5.1	1.4	3.4	0.6	n.d.	0.3	3.1
54.5	1.8	4.2	1.4	8.6	10.3	3.3	n.d.	55.1	2.3	5.8	0.2	3.0	0.8	0.9	0.8	1.6
57.5	4.3	6.8	4.0	9.1	8.6	3.0	2.0	44.4	3.6	3.9	2.0	3.3	1.6	0.6	1.3	1.6
60.5	2.0	5.2	2.6	5.9	10.6	1.6	0.9	60.4	n.d.	2.4	0.9	n.d.	n.d.	1.0	4.7	1.8
61.5	4.1	5.2	1.2	9.2	7.8	2.4	1.4	48.8	0.9	3.6	2.3	4.1	0.7	0.6	n.d.	7.8
63.5	3.6	4.2	6.0	11.7	11.2	2.0	2.6	43.9	2.5	2.4	2.4	2.2	0.9	n.d.	3.0	1.4
65.5	6.6	5.0	1.4	13.0	11.9	n.d.	2.7	47.6	1.2	0.8	1.4	n.d.	n.d.	1.8	6.0	0.7
67.5	1.7	2.7	4.3	17.6	8.8	n.d.	3.8	46.1	2.4	1.4	2.8	0.2	n.d.	2.0	3.8	2.4
69.5	4.8	6.0	2.9	2.8	5.9	6.8	n.d.	60.9	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	0.9	1.3	1.7	4.1
71.5	3.9	2.9	4.8	8.4	7.8	n.d.	n.d.	54.3	2.7	3.5	n.d.	3.8	1.0	n.d.	5.3	1.7
73.5	3.7	2.1	2.9	10.0	14.1	1.0	1.9	49.6	1.8	3.1	1.1	1.3	0.9	0.9	n.d.	5.5
75.5	0.7	3.1	4.4	6.0	9.5	1.7	0.9	62.0	1.7	2.0	0.7	n.d.	0.7	0.5	5.6	0.6
77.5	2.1	4.1	5.9	3.9	8.3	5.3	1.1	54.1	2.4	3.5	n.d.	2.6	0.2	1.0	5.6	n.d.
79.5	5.4	7.2	11.0	22.0	8.8	6.2	0.5	24.3	2.2	2.6	2.2	n.d.	n.d.	1.5	n.d.	6.1
82.5	5.5	1.9	9.7	12.7	5.5	2.1	1.3	47.0	1.7	0.2	1.4	3.5	1.0	n.d.	3.5	3.0
85.5	3.4	4.5	4.3	8.4	9.2	4.6	0.8	48.6	2.1	3.3	2.7	n.d.	0.4	0.6	4.7	2.5
88.5	1.8	3.4	2.9	5.9	3.9	2.9	1.9	53.6	2.1	2.4	6.3	5.1	1.0	2.0	1.7	3.4
91.5	2.8	2.0	1.6	2.2	8.0	1.9	2.2	58.6	3.8	3.4	0.8	3.1	1.1	1.4	3.8	3.2
94.5	1.3	2.5	6.1	7.0	5.8	3.6	n.d.	48.8	4.7	3.5	4.1	2.0	1.3	2.0	4.5	2.8
98.5	3.2	0.7	4.7	7.7	6.0	2.6	1.2	57.9	n.d.	n.d.	3.5	2.9	0.5	1.1	4.7	3.3

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 33. Abundancia (%) de minerales en la fracción de limos para el núcleo C2.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsita	Dolomita	Calcita	Anfíbol
0.5	5.3	4.5	7.8	14.6	8.4	4.2	5.3	42.3	0.6	2.9	1.3	1.3	1.5	n.d.	n.d.
3.5	4.4	2.6	9.8	16.3	5.2	0.9	n.d.	41.0	3.8	3.9	n.d.	n.d.	n.d.	5.0	7.2
6.5	6.5	31.0	5.0	0.8	7.7	7.3	n.d.	23.0	6.5	n.d.	n.d.	n.d.	1.1	11.1	n.d.
9.5	6.4	15.9	5.6	15.2	3.0	2.4	2.2	28.1	3.7	1.6	n.d.	1.2	1.7	13.0	n.d.
12.5	8.2	6.6	10.8	11.7	5.4	2.3	n.d.	32.5	3.8	1.7	0.5	n.d.	n.d.	15.6	0.9
15.5	3.4	6.3	8.7	14.0	5.3	7.1	0.6	35.4	2.7	1.4	1.6	n.d.	n.d.	12.6	1.1
18.5	7.1	5.7	7.4	15.9	5.1	1.0	n.d.	37.6	4.9	2.1	0.9	n.d.	0.8	11.5	n.d.
21.5	2.7	5.3	8.5	13.4	5.7	6.1	n.d.	40.9	3.9	1.8	2.0	n.d.	n.d.	9.8	n.d.
24.5	3.0	6.1	11.3	14.8	9.8	0.5	0.8	35.4	3.8	1.1	1.3	n.d.	0.7	10.8	0.6
27.5	4.5	5.3	9.2	13.2	9.9	2.1	n.d.	43.4	1.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	11.1	n.d.
30.5	2.7	7.2	10.8	16.0	7.6	1.8	n.d.	37.0	3.9	0.7	0.6	0.7	n.d.	11.1	n.d.
33.5	2.8	1.6	7.0	16.1	10.0	3.8	n.d.	43.1	6.9	n.d.	0.8	n.d.	n.d.	7.9	n.d.
36.5	3.3	6.2	9.4	18.3	8.2	3.2	n.d.	39.0	1.7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10.6	n.d.
39.5	4.3	7.0	13.6	18.2	7.1	3.2	n.d.	28.0	2.1	3.0	n.d.	n.d.	0.4	13.0	n.d.
42.5	3.1	4.3	21.6	11.1	11.1	2.7	1.1	34.4	n.d.	n.d.	n.d.	2.2	0.5	6.9	1.0
45.5	4.6	4.5	12.4	16.4	7.8	3.5	n.d.	36.0	2.1	2.4	0.6	2.1	0.6	2.9	4.2
48.5	6.2	3.2	10.7	19.3	13.0	3.5	n.d.	38.5	n.d.	1.4	2.0	1.1	n.d.	1.1	n.d.
51.5	7.2	5.0	9.6	18.5	10.1	4.4	0.8	34.7	1.1	1.2	2.0	0.6	1.0	n.d.	3.7
54.5	9.4	6.5	10.7	21.8	14.4	4.9	n.d.	27.7	1.7	1.6	n.d.	n.d.	n.d.	1.4	n.d.
57.5	3.1	9.1	11.9	23.4	11.3	5.1	4.5	26.8	2.4	1.8	n.d.	n.d.	0.5	n.d.	n.d.
60.5	4.9	1.8	8.5	20.5	11.1	0.9	2.8	35.9	1.0	1.1	1.7	5.8	0.6	2.6	n.d.
61.5	6.6	8.9	8.9	18.1	8.7	9.9	n.d.	26.8	3.0	n.d.	n.d.	4.2	n.d.	2.5	2.4
63.5	5.1	34.9	8.2	11.7	7.4	1.7	2.5	18.6	2.1	1.0	0.8	0.6	1.2	1.8	2.5
65.5	4.5	4.8	24.6	17.9	10.7	4.4	n.d.	23.1	2.4	1.6	1.2	2.6	0.6	1.2	0.6
67.5	8.6	11.5	16.3	21.2	7.3	6.4	2.6	23.5	0.9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.7
69.5	1.8	8.3	7.6	52.1	5.4	5.4	n.d.	15.7	n.d.	2.7	0.4	0.5	0.3	n.d.	n.d.
71.5	2.4	12.1	11.3	18.2	6.5	7.6	1.1	34.4	2.3	3.4	n.d.	n.d.	n.d.	0.8	n.d.
73.5	4.1	9.3	11.2	18.8	11.9	1.5	n.d.	33.4	n.d.	0.7	0.3	2.6	n.d.	1.6	4.7
75.5	7.5	5.5	16.1	19.2	6.5	4.5	1.2	28.5	4.9	0.4	0.8	n.d.	n.d.	1.1	3.9
77.5	3.4	5.1	7.2	17.9	11.2	5.9	2.2	43.4	n.d.	0.4	0.6	2.8	n.d.	n.d.	n.d.
79.5	2.8	4.3	7.2	16.9	10.5	4.7	n.d.	43.5	1.7	5.0	2.7	n.d.	n.d.	0.8	n.d.
82.5	1.0	9.5	9.2	11.3	9.7	5.8	n.d.	49.2	3.9	0.3	n.d.	n.d.	0.2	n.d.	n.d.
85.5	6.9	8.1	10.3	24.8	6.8	2.0	1.1	25.5	4.2	4.0	4.3	0.9	1.0	n.d.	n.d.
88.5	7.7	6.6	10.3	13.9	2.0	6.5	n.d.	37.3	3.3	0.6	1.5	2.8	0.2	n.d.	7.4
91.5	2.8	3.9	5.3	16.3	9.4	6.6	0.5	51.8	1.2	0.6	0.9	n.d.	0.7	n.d.	n.d.
94.5	2.5	4.7	16.9	13.7	18.1	3.1	n.d.	32.7	n.d.	4.2	1.3	n.d.	2.4	0.5	n.d.
98.5	2.6	2.3	4.8	15.3	8.5	7.0	0.7	48.0	3.1	2.8	2.8	1.4	0.1	0.7	n.d.

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 34. Abundancia (%) de minerales en la fracción de arenas para el núcleo C2.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsitita	Dolomita	Calcita	Anfibol	Tridimita
0.5	10.5	3.3	4.5	11.7	9.8	5.4	29.5	n.d.	6.5	n.d.	2.4	0.7	n.d.	15.8	n.d.	n.d.
3.5	7.7	6.7	8.0	20.5	8.9	2.4	29.9	n.d.	1.2	2.4	0.8	n.d.	0.2	11.4	n.d.	n.d.
6.5	5.5	6.4	9.1	13.3	6.2	5.1	21.2	n.d.	8.1	2.8	0.7	2.4	0.1	19.1	n.d.	n.d.
9.5	2.9	6.5	4.1	8.8	7.9	1.0	33.6	n.d.	4.8	3.7	0.5	1.6	0.1	24.6	n.d.	n.d.
12.5	5.6	3.1	6.1	15.5	6.5	8.7	23.1	n.d.	5.0	1.7	1.4	3.0	n.d.	20.3	n.d.	n.d.
15.5	6.7	2.9	6.0	16.1	6.4	1.1	2.8	22.4	4.1	3.8	1.9	2.5	n.d.	23.4	n.d.	n.d.
18.5	8.1	8.9	5.8	8.0	6.5	2.3	36.0	n.d.	5.5	2.3	n.d.	n.d.	0.2	16.6	n.d.	n.d.
21.5	8.1	2.9	7.6	9.5	6.3	2.2	1.6	27.4	5.0	5.3	n.d.	3.2	n.d.	20.9	n.d.	n.d.
24.5	3.1	1.8	2.5	6.8	1.1	2.1	n.d.	7.0	1.6	0.5	1.9	n.d.	n.d.	9.2	62.4	n.d.
27.5	7.2	6.7	8.5	18.0	5.3	3.6	23.2	3.5	1.9	2.7	2.4	0.4	15.1	1.5	n.d.	n.d.
30.5	2.7	47.9	4.4	1.0	3.3	4.6	1.6	13.7	1.5	1.2	3.2	1.4	1.2	10.7	1.5	n.d.
33.5	5.4	36.2	5.8	9.7	4.1	4.4	n.d.	14.2	2.4	1.8	1.0	1.9	n.d.	12.3	0.9	n.d.
36.5	8.5	3.0	8.0	14.0	6.5	3.2	1.4	18.1	3.2	2.9	1.3	2.6	0.8	13.3	3.8	9.4
39.5	2.1	5.2	10.0	3.2	10.0	4.9	5.3	23.7	n.d.	n.d.	2.4	3.3	n.d.	16.8	13.3	n.d.
42.5	12.5	7.1	8.4	23.6	8.0	3.5	3.1	13.9	1.1	1.3	0.6	n.d.	1.9	12.3	1.0	2.0
45.5	12.3	3.1	7.4	21.1	10.1	1.6	2.8	13.1	5.7	n.d.	1.5	0.9	0.5	2.4	0.8	16.7
48.5	8.9	3.8	8.7	22.4	8.2	5.8	n.d.	17.7	3.8	1.5	2.0	3.7	2.1	n.d.	2.7	8.7
51.5	7.5	1.9	22.3	19.2	8.9	3.0	1.6	10.0	2.0	1.6	0.9	3.1	0.9	1.7	3.7	11.6
54.5	7.7	6.2	23.5	24.7	4.7	6.2	1.6	13.5	n.d.	1.0	n.d.	n.d.	0.6	2.3	1.8	6.2
57.5	10.4	4.6	8.0	19.5	10.0	2.1	n.d.	9.3	2.6	3.6	3.3	1.5	0.3	n.d.	5.4	19.5
60.5	5.4	21.3	19.7	14.8	5.7	1.3	n.d.	9.1	0.7	5.6	n.d.	1.3	n.d.	1.2	7.7	6.3
61.5	1.9	36.7	18.9	11.7	4.4	5.2	n.d.	4.2	3.9	1.2	5.0	n.d.	0.8	0.7	1.8	3.8
63.5	2.3	54.2	11.6	8.5	3.2	4.1	0.6	5.3	0.6	1.7	n.d.	n.d.	0.3	1.6	1.3	4.5
65.5	0.5	26.3	28.3	17.6	2.7	3.0	0.2	8.8	2.1	1.2	0.8	n.d.	0.4	1.5	2.0	4.5
67.5	0.6	44.6	22.6	6.5	2.0	4.1	1.0	1.6	0.8	2.7	1.0	0.6	n.d.	0.7	10.7	0.7
69.5	0.8	41.4	12.3	4.4	0.7	5.0	1.5	2.2	1.4	1.0	0.7	1.3	1.0	0.4	24.2	1.8
71.5	1.6	25.1	22.3	14.9	2.4	2.2	n.d.	3.8	0.4	1.1	0.6	1.8	0.5	0.9	20.4	2.2
73.5	0.3	20.4	71.3	1.3	0.4	2.7	0.1	0.4	0.4	n.d.	0.9	n.d.	n.d.	n.d.	1.5	0.3
75.5	3.1	19.8	16.3	14.9	2.8	7.4	2.4	9.1	3.4	1.4	2.3	0.5	1.2	0.4	8.6	6.4
77.5	3.9	26.9	16.4	14.1	3.5	5.1	3.0	6.5	3.3	4.7	n.d.	5.1	0.6	2.0	0.5	4.5
79.5	9.0	8.2	10.8	20.9	9.8	0.8	n.d.	8.8	2.3	2.4	0.5	4.4	2.4	1.0	4.8	14.0
82.5	15.6	9.6	8.1	19.1	7.5	4.3	0.8	5.5	n.d.	4.9	2.0	0.3	n.d.	0.3	3.2	18.7
85.5	n.d.	23.0	11.9	8.8	7.6	12.2	8.3	2.5	10.5	n.d.	6.3	8.3	n.d.	0.6	n.d.	n.d.
88.5	9.9	12.3	19.0	11.5	5.0	13.1	1.8	12.6	1.3	n.d.	n.d.	n.d.	0.9	0.9	0.4	11.4
91.5	6.0	3.4	2.2	17.7	12.8	3.3	n.d.	21.3	n.d.	7.8	0.6	n.d.	3.2	2.3	3.6	15.8
94.5	5.0	5.9	9.5	28.2	6.9	6.9	n.d.	16.6	1.3	2.6	3.1	n.d.	n.d.	0.1	3.9	10.1
98.5	3.7	4.2	3.3	10.1	2.7	5.4	n.d.	4.4	1.4	n.d.	1.5	1.5	n.d.	n.d.	57.5	4.5

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 35. Abundancia (%) total de minerales para el núcleo C3.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsita	Calcita	Anfiboles	Dolomita
1.5	5.9	10.4	9.4	8.0	17.8	2.8	2.2	35.9	5.6	6.3	6.4	3.7	n.d.	n.d.	n.d.
4.5	5.8	6.1	11.9	17.5	16.9	9.1	1.2	22.8	3.5	n.d.	n.d.	1.8	3.3	5.2	n.d.
9.5	7.7	7.2	8.6	17.0	16.9	5.7	1.3	21.8	2.9	1.2	n.d.	2.6	4.4	3.7	n.d.
14.5	6.3	6.2	9.1	15.8	17.0	5.7	1.4	23.8	4.9	1.6	1.6	n.d.	8.4	2.8	n.d.
19.5	7.5	5.3	9.2	15.7	14.3	6.1	1.3	17.1	4.7	5.1	2.8	1.7	10.6	3.5	n.d.
24.5	8.6	8.0	7.2	19.2	15.8	3.7	1.9	22.3	2.4	3.6	1.5	n.d.	6.9	2.0	n.d.
29.5	6.9	9.7	10.2	21.4	17.7	3.5	1.9	18.8	2.9	4.1	3.0	1.8	2.0	1.3	n.d.
34.5	8.4	6.2	8.7	20.7	22.5	3.3	1.3	19.8	1.6	2.6	n.d.	n.d.	3.2	3.6	n.d.
39.5	7.8	4.6	6.8	17.9	21.0	2.0	1.4	26.7	1.7	3.2	2.3	1.2	1.2	4.4	n.d.
46.5	8.3	7.0	10.7	18.5	16.5	3.4	0.6	25.3	1.3	2.9	2.5	4.4	0.3	0.8	n.d.
49.5	8.4	7.5	13.0	19.9	23.7	3.3	0.6	16.3	1.7	2.8	1.8	0.9	1.7	5.7	n.d.
53.5	8.0	5.0	8.6	23.7	29.0	3.4	1.7	13.5	4.3	n.d.	n.d.	n.d.	0.5	3.4	n.d.
56.5	10.7	5.4	5.7	26.3	24.2	2.7	1.4	13.9	1.2	1.8	1.0	1.3	0.3	6.6	n.d.
59.5	9.1	13.1	6.9	20.3	21.7	3.7	0.6	18.5	1.0	1.1	0.6	0.5	n.d.	2.1	n.d.
64.5	10.6	8.9	6.6	25.6	26.6	1.8	0.9	11.9	1.0	n.d.	n.d.	1.2	n.d.	6.1	n.d.
68.5	6.0	23.7	9.4	19.6	18.4	4.6	3.6	12.8	0.9	0.8	0.6	n.d.	0.6	3.2	n.d.
72.5	3.9	23.3	22.5	12.4	12.2	2.9	1.4	14.1	1.5	1.0	0.4	0.3	1.0	5.3	n.d.
74.5	2.9	26.5	23.0	11.1	10.5	2.7	0.9	15.7	1.1	0.7	0.8	1.0	0.6	3.4	n.d.
75.5	4.0	25.2	18.3	14.9	18.4	2.4	2.4	7.9	1.7	0.5	0.9	0.6	0.5	3.0	n.d.
77.5	7.6	15.9	7.9	20.8	21.9	2.8	1.0	14.6	1.9	3.3	0.6	n.d.	0.5	1.8	n.d.
80.5	5.3	8.1	12.3	17.6	17.4	3.6	1.0	22.3	1.4	0.6	1.6	1.4	1.9	6.4	n.d.
83.5	5.5	9.9	11.8	18.6	13.5	2.2	1.7	19.3	1.0	1.5	1.0	0.5	0.4	2.0	24.0
87.5	8.1	10.2	15.5	23.2	21.3	2.1	n.d.	16.7	0.9	1.1	n.d.	n.d.	1.3	1.8	0.3
91.5	5.9	15.8	12.5	21.4	17.2	2.7	n.d.	19.4	3.1	1.0	n.d.	0.6	0.6	2.7	n.d.

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 36. Abundancia (%) de minerales en la fracción de arcillas para el núcleo C3.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Cristobalita	Caolinita	Clinocloro	Montmorillonita
1.5	3.3	3.8	9.6	13.5	n.d.	69.8
4.5	1.8	2.0	5.3	19.9	2.1	68.9
9.5	6.5	2.7	16.0	20.0	4.6	50.2
14.5	3.2	3.1	6.0	17.3	1.4	69.1
19.5	5.2	4.3	21.0	18.2	n.d.	51.3
24.5	0.4	3.0	7.2	20.4	1.9	67.2
29.5	5.4	4.2	19.6	19.4	1.9	49.6
34.5	n.d.	3.6	4.7	21.9	3.3	66.5
39.5	2.4	3.6	7.8	24.0	1.9	60.5
46.5	4.4	3.7	8.9	18.8	0.7	63.5
49.5	3.1	6.8	9.6	31.2	0.6	48.8
53.5	1.0	10.6	17.3	44.2	3.1	23.9
56.5	6.3	5.5	24.8	32.6	5.0	25.8
59.5	1.8	2.8	7.4	25.0	1.6	61.4
64.5	7.8	12.6	19.8	34.0	n.d.	25.9
68.5	4.8	4.5	12.9	27.4	3.6	46.8
72.5	4.1	2.1	14.6	24.1	1.4	53.7
74.5	2.7	2.3	10.5	21.8	2.1	60.6
75.5	5.5	11.8	19.5	29.0	8.8	25.4
77.5	3.3	3.7	10.9	23.9	3.0	55.2
80.5	1.8	3.1	8.9	13.7	n.d.	75.6
83.5	3.6	3.2	14.0	14.5	n.d.	67.9
87.5	6.6	7.8	16.2	35.1	n.d.	42.0
91.5	3.4	6.1	11.9	18.8	n.d.	65.9

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 37. Abundancia (%) de minerales en la fracción de limos para el núcleo C3.

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Calcita	Anfíbol
1.5	5.7	13.5	22.4	23.2	25.5	5.8	2.4	28.5	n.d.	n.d.	n.d.
4.5	8.1	6.2	17.8	22.0	7.8	8.5	3.8	14.7	4.6	1.2	5.2
9.5	6.6	3.3	11.0	18.4	15.1	4.4	n.d.	31.8	4.6	0.6	4.2
14.5	6.4	11.7	12.8	18.4	11.9	2.6	n.d.	23.9	7.0	2.5	2.8
19.5	12.1	6.6	12.9	18.4	17.8	6.0	n.d.	11.2	7.4	3.7	4.0
24.5	10.8	28.7	9.6	18.3	10.3	4.5	n.d.	6.7	6.1	0.3	4.7
29.5	3.8	21.2	13.9	17.8	15.9	4.0	n.d.	16.8	4.8	0.6	1.3
34.5	8.3	8.9	12.0	27.0	15.2	4.3	n.d.	13.2	4.9	2.7	3.6
39.5	5.7	6.0	8.8	19.6	20.3	4.1	0.7	29.9	2.1	0.5	2.2
46.5	8.8	8.7	22.5	18.0	17.1	6.8	n.d.	13.0	2.2	n.d.	3.0
49.5	5.0	13.5	28.2	18.6	13.5	5.4	n.d.	7.2	2.9	n.d.	5.7
53.5	6.6	5.8	15.1	18.0	18.4	3.8	5.5	17.3	4.3	0.9	4.4
56.5	7.1	7.2	10.8	24.3	15.6	6.9	1.9	24.3	1.6	0.3	n.d.
59.5	8.8	3.8	11.7	25.0	21.3	5.9	1.2	15.3	1.8	n.d.	5.3
64.5	8.4	4.6	9.7	27.8	23.7	5.9	n.d.	18.1	1.0	n.d.	0.8
68.5	10.7	7.7	10.3	32.9	18.6	8.6	n.d.	10.0	n.d.	1.1	n.d.
72.5	5.7	7.8	25.1	18.2	16.6	5.9	n.d.	11.1	2.9	n.d.	6.8
74.5	6.6	7.4	15.2	21.6	21.9	6.8	n.d.	14.0	3.7	0.6	2.3
75.5	8.4	16.2	16.2	24.4	15.9	3.0	n.d.	8.6	4.2	0.8	2.4
77.5	8.6	4.8	9.1	33.3	15.9	4.5	1.9	8.3	5.4	0.6	7.7
80.5	5.8	5.5	19.4	23.0	15.9	5.2	1.1	10.2	2.0	8.1	3.8
83.5	6.4	13.2	13.1	26.9	16.2	7.2	1.7	7.4	1.7	0.4	6.0
87.5	10.7	6.0	13.2	32.0	18.1	7.7	n.d.	11.0	1.3	n.d.	n.d.
91.5	6.6	4.7	11.7	24.3	25.4	8.3	n.d.	7.7	3.1	0.6	7.6

*n.d.= no detectable (< 0.1%)

Anexo 38. Abundancia (%) de minerales en la fracción de arenas para el núcleo C3

Prof. (cm)	Cuarzo	Albita	Plagioclasa	Cristobalita	Caolinita	Microclina	Clinocloro	Montmorillonita	Pirita	Augita	Apatita	Gibsita	Calcita	Anfiboles	Dolomita
1.5	6.8	11.7	8.3	2.3	16.7	2.8	2.9	26.6	5.6	6.3	6.4	3.7	n.d.	n.d.	n.d.
4.5	6.4	7.5	14.0	20.2	19.0	12.2	n.d.	9.6	4.3	n.d.	n.d.	1.8	5.2	n.d.	n.d.
9.5	8.4	10.2	10.9	16.8	16.4	9.1	0.7	8.4	3.3	1.2	n.d.	2.6	7.3	4.8	n.d.
14.5	7.3	5.4	11.1	18.3	18.7	8.7	n.d.	8.0	5.9	1.6	1.6	n.d.	13.4	n.d.	n.d.
19.5	6.7	5.3	11.1	12.9	11.7	7.8	1.3	7.1	5.4	5.1	2.8	1.7	16.6	4.6	n.d.
24.5	10.8	2.7	8.9	23.7	16.0	5.3	n.d.	12.1	2.0	3.6	1.5	n.d.	11.6	1.8	n.d.
29.5	8.5	7.7	12.5	23.2	17.7	6.1	n.d.	8.8	3.3	4.1	3.0	1.8	3.1	n.d.	n.d.
34.5	11.4	6.3	10.6	24.2	25.2	7.4	1.1	5.9	1.0	2.6	n.d.	n.d.	4.5	n.d.	n.d.
39.5	10.4	4.6	8.6	20.9	20.2	2.8	1.6	13.8	2.1	3.2	2.3	1.2	1.8	6.7	n.d.
46.5	9.4	7.6	10.4	22.0	15.4	6.5	0.7	16.1	1.4	2.9	2.5	4.4	0.3	0.4	n.d.
49.5	11.4	5.6	12.3	23.9	24.7	5.1	n.d.	8.0	2.0	2.8	1.8	0.9	1.7	n.d.	n.d.
53.5	10.9	2.8	9.4	28.0	27.4	8.2	n.d.	8.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.5	4.3	n.d.
56.5	13.5	4.8	6.0	27.5	24.2	5.6	n.d.	6.2	1.5	1.8	1.0	1.3	n.d.	6.6	n.d.
59.5	11.8	19.9	7.7	23.3	20.6	6.9	n.d.	4.7	1.2	1.1	0.6	0.5	n.d.	1.8	n.d.
64.5	12.3	9.1	7.8	26.9	25.0	1.8	0.9	4.9	n.d.	n.d.	n.d.	1.2	n.d.	10.1	n.d.
68.5	4.8	35.9	12.4	17.4	15.2	6.4	n.d.	1.9	0.9	0.8	0.6	n.d.	0.7	3.2	n.d.
72.5	3.2	36.0	29.5	9.7	6.6	3.1	n.d.	1.4	1.5	1.0	0.4	0.3	1.0	6.6	n.d.
74.5	1.8	41.4	33.7	7.8	2.7	2.3	0.8	0.7	0.5	0.7	0.8	1.0	0.9	4.9	n.d.
75.5	1.9	33.0	25.4	10.1	15.6	3.5	1.0	1.5	1.4	0.5	0.9	0.6	0.5	4.2	n.d.
77.5	8.8	24.0	10.3	20.0	23.3	4.5	n.d.	2.7	1.4	3.3	0.6	n.d.	0.7	0.4	n.d.
80.5	6.3	10.8	14.2	18.8	19.3	6.3	1.3	7.8	1.7	0.6	1.6	1.4	0.5	9.4	n.d.
83.5	5.8	11.2	15.6	17.5	12.3	1.7	n.d.	6.5	1.2	1.5	1.0	0.5	n.d.	1.3	24.0
87.5	7.8	12.5	21.6	22.7	17.5	2.5	n.d.	9.8	1.1	1.1	n.d.	n.d.	1.3	1.8	0.3
91.5	6.6	22.9	17.2	23.8	13.9	5.0	n.d.	7.1	n.d.	1.0	n.d.	0.6	n.d.	1.9	n.d.

*n.d.= no detectable

Anexo 39. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) en el núcleo de sedimento SE1.

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$	u
0.0-0.5	0.3	58.3	4.0	31.4	5.0
1.0-1.5	1.3	41.7	2.9	14.8	4.2
2.5-3.0	2.8	44.3	3.0	17.4	4.2
3.5-4.0	3.8	42.6	3.0	15.7	4.2
5.0-5.5	5.3	35.9	2.4	9.1	3.8
6.0-7.0	6.5	39.5	2.8	12.7	4.1
9.0-10.0	9.5	36.7	2.6	9.8	4.0
11.0-12.0	11.5	40.0	2.6	13.1	4.0

Anexo 40. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) en el núcleo de sedimento SE2.

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$	u
0.0-0.5	0.3	89.6	6.0	44.2	6.7
1.0-1.5	1.3	98.4	5.9	53.0	6.6
1.5-2.0	1.8	99.0	6.5	53.5	7.1
2.5-3.0	2.8	94.0	6.3	48.6	6.9
3.0-3.5	3.3	99.9	7.1	54.5	7.6
4.0-4.5	4.3	97.4	6.6	52.0	7.2
5.0-5.5	5.3	86.9	5.9	41.4	6.5
6.0-6.5	6.3	90.8	5.8	45.4	6.2
7.0-8.0	7.5	72.3	5.1	26.9	5.9
9.0-10.0	9.5	80.2	6.3	34.8	6.9
10.0-11.0	10.5	71.1	4.9	25.7	5.7
13.0-14.0	13.5	61.0	4.4	15.6	5.3
14.0-15.0	14.5	67.1	4.8	21.7	5.6
15.0-16.0	15.5	47.4	3.2		
17.0-18.0	17.5	46.7	3.5		
19.0-20.0	19.5	42.2	2.8		

Anexo 41. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) en el núcleo de sedimento SE3.

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$	u
0.0-0.5	0.3	92.7	6.2	53.8	6.4
0.5-1.0	0.8	96.6	6.6	57.7	6.7
1.5-2.0	1.8	92.7	6.4	53.8	6.5
2.5-3.0	2.8	116.2	8.4	77.3	8.5
3.5-4.0	3.8	99.8	6.7	60.8	6.8
5.0-5.5	5.3	96.8	7.3	57.9	7.4

Anexo 41. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$) en el núcleo de sedimento SE3 (continuación).

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$	u
5.5-6.0	5.8	91.2	6.0	52.2	6.2
7.5-8.5	8.0	71.9	4.8	33.0	5.0
9.5-10.5	10.0	75.1	5.3	36.2	5.4
10.5-11.5	11.0	79.8	5.8	40.9	5.9
12.5-13.5	13.0	68.5	5.3	29.5	5.4
14.5-15.5	15.0	59.7	4.4	20.7	4.5
15.5-16.5	16.0	47.0	3.4	8.0	3.6
16.5-17.5	17.0	42.5	2.9	3.6	3.2
17.5-18.5	18.0	45.9	3.3	7.0	3.5
18.5-19.5	19.0	38.0	2.7		
21.5-22.5	22.0	38.5	2.6		
22.5-23.5	23.0	53.7	3.8	14.7	4.0

Anexo 42. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$) en el núcleo de sedimento SE4.

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$	u
0.0-0.5	0.3	97.4	6.6	70.6	7.3
1.5-2.0	1.8	95.1	6.6	68.3	7.2
3.5-4.0	3.8	94.8	6.6	67.9	7.3
4.0-4.5	4.3	94.1	6.1	67.3	6.8
5.0-5.5	5.3	111.6	7.6	84.8	8.2
6.0-6.5	6.3	102.2	6.8	75.3	7.5
7.0-7.5	7.3	93.2	6.4	66.3	7.0
10.0-11.0	10.5	80.0	5.8	53.2	6.5
11.0-12.0	11.5	68.8	4.6	42.0	5.5
12.0-13.0	12.5	69.8	4.7	42.9	5.6
13.0-14.0	13.5	66.6	4.6	39.7	5.5
15.0-16.0	15.5	67.4	4.7	40.5	5.6
19.0-20.0	19.5	67.3	4.7	40.5	5.6
22.0-23.0	22.5	62.6	4.4	35.8	5.4

Anexo 43. Actividad del ^{226}Ra (Bq kg^{-1}) en los núcleos de sedimento del lago Chapala.

Sección	^{226}Ra	u
C1 4-5	34.1	0.6
C1 22-23	30.0	0.6
C1 30-31	28.8	0.8
C1 50-51	28.1	0.6
C1 75-76	19.4	0.5
C1 95-96	16.9	0.4
C1 107-108	35.0	0.8
Secciones del fondo		
C2 95-96	16.2	0.5
C3 91-92	32.9	0.6

Anexo 44. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$) en el núcleo de sedimento C1.

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$	u
0-1	0.5	71.6	4.7	40.8	5.4
1-2	1.5	85.5	5.7	54.6	6.3
2-3	2.5	91.4	6.0	60.5	6.6
3-4	3.5	83.1	5.5	52.3	6.1
4-5	4.5	85.9	5.8	55.0	6.3
5-6	5.5	84.0	5.8	53.2	6.3
6-7	6.5	74.6	5.1	43.7	5.7
7-8	7.5	76.8	5.3	46.0	5.9
8-9	8.5	73.8	4.9	43.0	5.6
9-10	9.5	80.9	5.1	50.1	5.8
10-11	10.5	82.2	5.7	51.4	6.3
11-12	11.5	80.6	5.5	49.7	6.1
12-13	12.5	92.5	6.4	61.6	6.9
13-14	13.5	81.2	5.4	50.4	6.0
14-15	14.5	82.9	5.6	52.1	6.2
15-16	15.5	80.6	5.6	49.8	6.2
16-17	16.5	83.8	5.5	53.0	6.1
17-18	17.5	75.0	5.1	44.2	5.8
18-19	18.5	80.8	5.4	50.0	6.0
19-20	19.5	70.2	4.7	39.4	5.4
20-21	20.5	74.5	4.8	43.7	5.5
21-22	21.5	72.3	4.6	41.4	5.3
22-23	22.5	74.3	5.0	43.5	5.7
23-24	23.5	73.4	5.0	42.5	5.6
24-25	24.5	66.4	4.5	35.6	5.2
25-26	25.5	59.1	4.1	28.3	4.9
26-27	26.5	51.8	3.4	21.0	4.3
27-28	27.5	47.9	3.1	17.0	4.1
28-29	28.5	43.0	2.8	12.2	3.9
29-30	29.5	42.1	2.7	11.3	3.8
30-31	30.5	42.6	3.1	11.7	4.0
31-32	31.5	39.2	2.6	8.4	3.7
32-33	32.5	41.7	2.7	10.9	3.8
33-34	33.5	39.3	2.5	8.4	3.6
34-35	34.5	39.5	2.5	8.7	3.6
35-36	35.5	42.9	2.9	12.1	3.9
36-37	36.5	41.3	2.6	10.4	3.7
37-38	37.5	41.4	2.6	10.6	3.7
38-39	38.5	38.6	2.5	7.7	3.6
39-40	39.5	39.4	2.7	8.6	3.8
40-41	40.5	40.8	2.8	9.9	3.9

Anexo 44. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$) en el núcleo de sedimento C1 (continuación).

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$	u
41-42	41.5	44.4	3.0	13.5	4.0
42-43	42.5	42.5	2.9	11.6	3.9
43-44	43.5	42.3	2.8	11.5	3.9
44-45	44.5	42.6	2.9	11.8	3.9
45-46	45.5	42.5	3.0	11.6	4.0
46-47	46.5	40.1	2.8	9.2	3.8
47-48	47.5	41.1	2.8	10.3	3.9
48-49	48.5	42.1	2.9	11.2	3.9
49-50	49.5	42.8	3.0	12.0	4.0
50-51	50.5	42.8	2.8	12.0	3.9
51-52	51.5	35.5	2.4	4.7	3.6
52-53	52.5	42.3	3.0	11.4	4.0
53-54	53.5	36.8	2.5	6.0	3.7
54-55	54.5	39.2	2.7	8.4	3.8
55-56	55.5	34.9	2.3	4.0	3.5
56-57	56.5	51.6	3.5	20.8	4.4
57-58	57.5	38.9	2.9	8.0	3.9
58-59	58.5	32.2	2.2	1.4	3.5
59-60	59.5	35.0	2.5	4.1	3.6
60-61	60.5	35.7	2.6	4.9	3.7
61-62	61.5	39.7	3.1	8.8	4.1
62-63	62.5	34.0	2.6	3.2	3.7
63-64	63.5	36.8	2.7	6.0	3.8
64-65	64.5	34.4	2.6		
65-66	65.5	31.6	2.1		
66-67	66.5	33.3	2.9		
67-68	67.5	27.7	2.4		
68-69	68.5	37.8	2.8		
69-70	69.5	27.9	2.3		
70-71	70.5	29.8	2.1		
71-72	71.5	32.5	2.3		
72-73	72.5	33.8	2.6		
73-74	73.5	29.7	2.1		
75-76	75.5	30.7	2.0		
77-78	77.5	34.8	2.8		
80-81	80.5	33.6	2.4		
82-83	82.5	29.5	2.4		
85-86	85.5	30.2	2.0		
87-88	87.5	32.3	2.7		
88-89	90.5	28.4	1.9		
89-90	92.5	29.9	2.1		

Anexo 44. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$) en el núcleo de sedimento C1 (continuación).

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$	u
95-96	95.5	29.2	2.0		
96-97	97.5	29.1	2.0		
100-101	100.5	26.3	1.7		
102-103	102.5	33.2	2.8		
105-106	105.5	31.0	2.1		
107-108	107.5	30.6	2.1		

Anexo 45. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$) en el núcleo de sedimento C2.

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$	u
0-1	0.5	94.5	6.2	61.1	7.1
3-4	3.5	88.5	6.1	55.2	7.0
5-6	5.5	88.0	5.6	54.7	6.6
8-9	8.5	79.2	5.2	45.9	6.2
10-11	10.5	73.7	4.9	40.4	5.9
15-16	15.5	73.6	5.1	40.3	6.1
18-19	18.5	77.8	5.2	44.5	6.2
25-26	25.5	80.9	5.4	47.6	6.4
28-29	28.5	72.0	4.8	38.6	5.9
30-31	30.5	62.2	4.4	28.9	5.5
32-33	32.5	66.1	4.4	32.8	5.6
35-36	35.5	55.8	3.7	22.5	5.1
40-41	40.5	45.7	3.1	12.4	4.6
45-46	45.5	45.6	3.2	12.3	4.6
50-51	50.5	37.5	2.5	4.1	4.2
55-56	55.5	40.0	2.7	6.6	4.3
60-61	60.5	37.2	2.5	3.9	4.2
61-62	61.5	33.9	2.8	0.6	4.4
62-63	62.5	29.6	2.4	0.0	4.2
63-64	63.5	36.7	3.0	3.3	4.5
64-65	64.5	34.7	2.9		
65-66	65.5	34.6	2.4		
70-71	70.5	26.7	1.8		
75-76	75.5	35.0	2.4		
80-81	80.5	35.0	2.4		
85-86	85.5	38.3	2.6		
89-90	89.5	29.5	1.9		
95-96	95.5	33.6	2.3		
99-100	99.5	32.5	2.3		

Anexo 46. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$) en el núcleo de sedimento C3.

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$	u
0-1	0.5	71.4	4.9	39.2	5.6
1-2	1.5	79.0	5.5	46.8	6.1
2-3	2.5	84.3	5.9	52.1	6.5
7-8	7.5	70.8	4.8	38.6	5.5
10-11	10.5	70.0	4.5	37.8	5.2
12-13	12.5	60.3	4.0	28.2	4.8
17-18	17.5	61.4	4.0	29.2	4.8
22-23	22.5	67.4	4.5	35.2	5.3
27-28	27.5	60.0	4.1	27.8	4.9
30-31	30.5	50.4	3.4	18.2	4.3
32-33	32.5	44.3	3.6	12.1	4.5
34-35	34.5	51.7	4.4	19.6	5.1
37-38	37.5	38.7	2.6	6.5	3.7
40-41	40.5	44.5	3.0	12.3	4.0
42-43	42.5	49.1	3.7	16.9	4.5
45-46	45.5	46.0	3.9	13.8	4.7
48-49	48.5	34.9	2.5	2.7	3.7
50-51	50.5	44.5	3.0	12.3	4.0
51-52	51.5	40.4	2.9	8.2	3.9
53-54	53.5	58.8	3.9	26.6	4.7
55-56	55.5	54.2	3.6	22.0	4.5
56-57	56.5	44.9	3.2	12.7	4.2
57-58	57.5	30.7	2.1		
60-61	60.5	32.3	2.2		
65-66	65.5	33.0	2.7		
70-71	70.5	35.1	2.5		
74-75	74.5	27.0	2.2		
77-78	77.5	31.5	2.6		
80-81	80.5	35.8	2.5		
85-86	85.5	33.6	2.6		
91-92	91.5	30.7	2.1		

Anexo 47. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) de ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) y ^{210}Pb en exceso ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) en el núcleo de sedimento C4.

Sección	Profundidad (cm)	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$	u	$^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$	u
0-1	0.5	59.6	3.7	27.4	4.6
1-2	1.5	63.2	4.4	31.0	5.1
3-4	3.5	62.4	4.2	30.2	5.0
5-6	5.5	62.9	4.6	30.7	5.3
8-9	8.5	58.2	3.7	26.0	4.6
11-12	11.5	50.9	4.1	18.8	4.9
13-14	13.5	52.8	3.8	20.6	4.6
16-17	16.5	49.1	3.6	16.9	4.4
19-20	19.5	46.7	3.3	14.6	4.2
21-22	21.5	48.4	3.6	16.2	4.5
23-24	23.5	47.9	3.5	15.7	4.4
26-27	26.5	41.9	3.1	9.7	4.1
29-30	29.5	40.2	3.2	8.1	4.2
33-34	33.5	42.1	3.3	9.9	4.2
35-36	35.5	53.3	4.2	21.1	4.9
37-38	37.5	40.0	3.0	7.8	4.0
39-40	39.5	47.1	3.6	14.9	4.5
41-42	41.5	43.9	3.4	11.7	4.3
44-45	44.5	37.9	2.8	5.7	3.8
46-47	46.5	40.2	2.9	8.0	3.9

Anexo 48. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) del ^{137}Cs en el núcleo de sedimento SE3 del lago Santa Elena.

Sección	Profundidad (cm)	^{137}Cs	u
SE3 5.0-5.5	5.2	4.6	0.8
SE3 7.5-8.5	8.0	5.6	0.7
SE3 9.5-10.5	10.0	5.9	0.8
SE3 10.5-11.5	11.0	6.2	1.0
SE3 11.5-12.5	12.0	6.9	0.9
SE3 12.5-13.5	13.0	4.9	1.0
SE3 13.5-14.5	14.0	4.2	1.0
SE3 14.5-15.5	15.0	3.6	0.7
SE3 16.5-17.5	17.0	1.1	0.5
SE3 17.5-18.5	18.0	0.1	0.8

Anexo 49. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) del ^{137}Cs en el núcleo de sedimento C1 del lago Chapala.

Sección	Profundidad (cm)	^{137}Cs	u
C1 1-2	1.5	5.5	0.7
C1 5-6	5.5	6.8	1.0
C1 10-11	10.5	6.6	1.0
C1 13-14	13.5	5.4	0.9
C1 21-22	21.5	5.2	1.0
C1 24-25	24.5	5.3	1.3
C1 25-26	25.5	4.8	0.8
C1 26-27	26.5	3.0	0.9
C1 28-29	28.5	1.4	0.9
C1 29-30	29.5	0.9	0.9
C1 30-31	30.5	1.2	0.9
C1 32-33	32.5	1.1	0.8
C1 34-35	34.5	0.8	0.7
C1 38-39	38.5	1.2	0.7
C1 41-42	41.5	0.3	0.8
C1 45-46	45.5	1.2	0.6

Anexo 50. Actividad e incertidumbre (Bq kg^{-1}) del ^{239}Pu en los núcleos C1 y C2 del lago Chapala.

Sección	Profundidad (cm)	^{239}Pu	u
C1 5-6	5.5	444.0	52.5
C1 13-14	13.5	228.6	7.1
C1 22-23	22.5	196.5	61.5
C1 34-35	34.5	222.7	199.1
C1 38-39	38.5	6.5	10.4
C1 41-42	41.5	92.6	24.7
C1 44-45	44.5	24.2	3.9
C1 45-46	45.5	33.8	38.3
C2 10-11	10.5	233.6	11.2
C2 20-21	20.5	194.2	6.6
C2 26-27	26.5	219.3	7.6
C2 30-31	30.5	251.0	12.7
C2 33-34	33.5	185.0	5.0
C2 36-37	36.5	123.2	8.4
C2 40-41	40.5	48.1	6.7

Anexo 51. Concentraciones de metales para el núcleo de sedimento SE2. Las concentraciones están dadas en mg kg⁻¹, excepto Al y Fe que están en %.

Prof. (cm)	Al	Fe	Li	Rb	Sr	Th	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
0.25	7.3	2.7	27.1	83.2	80.4	22.2	0.3	5.1	0.3	45.7	14.2	1145	14.6	29.1	72.2	70.3
0.75	7.1	2.7	24.9	83.3	78.9	21.7	0.3	5.0	0.3	44.3	13.5	1134	14.4	28.8	70.1	68.6
1.75	7.1	2.6	25.0	83.7	77.6	22.3	0.3	5.2	0.3	43.4	13.8	1047	14.6	29.5	70.7	70.4
3.75	7.3	2.8	26.6	86.0	81.6	23.8	0.3	6.0	0.3	47.4	14.2	1078	15.6	30.0	74.2	71.9
5.75	7.0	2.7	25.5	84.4	84.4	23.7	0.3	5.5	0.3	46.0	14.0	930	16.0	29.1	73.0	68.7
7.50	7.3	2.7	25.5	85.8	88.4	24.7	0.3	5.9	0.3	47.9	14.4	915	15.8	28.6	73.8	69.6
9.50	7.2	2.7	26.0	84.2	88.9	24.9	0.3	5.5	0.3	46.7	14.2	842	17.3	28.7	72.6	69.0
11.5	7.7	2.9	26.4	86.0	93.6	26.2	0.3	6.4	0.3	49.8	14.2	903	18.1	28.6	74.9	71.6
13.5	8.0	3.1	27.4	86.6	98.3	28.0	0.3	5.9	0.3	53.0	14.3	896	17.6	26.8	74.9	75.1
15.5	7.6	3.1	25.6	85.8	99.5	29.0	0.3	5.2	0.3	51.6	14.0	834	16.5	24.6	73.6	71.4
17.5	6.9	2.6	24.9	81.4	94.6	26.6	0.3	5.7	0.3	44.5	12.7	1081	13.1	25.1	67.4	62.5
19.5	6.3	2.4	21.9	77.4	93.0	24.5	0.2	6.2	0.2	43.8	11.7	675	11.7	25.6	63.6	61.0

Anexo 52. Concentraciones de metales para el núcleo de sedimento SE3. Las concentraciones están dadas en mg kg⁻¹, excepto Al y Fe que están en %.

Prof. (cm)	Al	Fe	Li	Rb	Sr	Th	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
0.25	7.0	2.7	27.2	81.2	76.5	21.2	0.5	5.7	0.3	43.7	14.4	1151	14.9	28.7	69.9	69.7
0.75	7.7	2.7	25.7	83.7	75.6	21.8	0.3	5.1	0.3	42.5	14.1	1136	14.6	29.4	70.0	70.6
1.25	7.4	2.6	26.7	83.9	75.2	21.9	0.3	5.0	0.3	42.3	13.8	1065	14.3	29.7	70.0	67.8
1.75	6.9	2.7	26.6	86.6	77.1	23.2	0.3	5.6	0.3	46.5	14.7	1061	15.7	30.6	73.7	73.7
3.75	7.4	2.7	27.3	86.1	79.7	23.5	0.3	5.5	0.3	46.4	14.9	1047	15.1	30.3	73.1	70.7
5.75	7.3	2.7	26.7	86.3	82.6	24.1	0.3	6.2	0.3	47.4	15.0	980	16.6	29.7	74.3	71.6
7.00	7.1	2.7	25.0	86.0	84.0	24.2	0.3	6.0	0.3	47.1	14.7	859	17.3	29.3	73.6	68.7
9.00	7.2	2.8	26.8	85.9	87.9	25.6	0.3	5.8	0.3	49.3	14.8	928	17.2	29.7	75.6	70.8
12.00	7.4	2.9	28.0	85.0	95.3	26.3	0.3	6.1	0.3	51.1	14.9	881	17.6	29.3	76.1	71.3
14.00	7.4	3.0	26.3	84.7	95.0	26.3	0.3	6.5	0.3	52.0	14.7	931	16.0	28.6	79.1	69.6
16.00	6.1	2.6	23.3	76.1	95.2	21.8	0.3	6.1	0.2	52.5	10.5	659	11.3	31.7	83.1	56.0
18.00	6.6	3.0	24.9	79.9	93.5	21.8	0.3	8.2	0.2	53.4	10.9	900	11.7	31.5	90.7	58.8
20.00	5.9	2.4	21.1	75.1	89.3	19.9	0.3	6.0	< 0.1	50.7	9.4	627	10.0	26.9	75.7	52.1
22.00	5.6	2.4	22.2	70.9	91.4	18.6	0.3	6.2	0.2	51.8	8.7	1300	9.7	31.3	83.3	50.1

Anexo 53. Concentraciones de metales para el núcleo de sedimento C1. Las concentraciones están dadas en mg kg⁻¹, excepto Al y Fe que están en %.

Prof. (cm)	Ca	Al	Fe	Li	Rb	Sr	Th	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
0.5	2.7	8.9	3.9	49.0	70.5	228	10.7	0.5	8.6	0.3	47.0	24.3	0.4	857	28.6	20.5	93.3	87.4
2.5	2.7	8.8	3.8	50.2	71.2	238	10.8	0.5	8.8	0.3	46.8	24.6	0.4	875	28.7	20.6	94.6	86.2
3.5	2.6	8.5	4.0	52.7	71.5	247	10.6	0.5	9.2	0.3	49.8	25.9	0.4	921	29.9	20.6	100.0	91.8
6.5	2.7	8.4	4.0	50.9	70.0	255	10.5	0.5	8.4	0.3	48.8	25.6	0.4	940	29.6	20.1	98.4	88.7
9.5	2.9	8.2	3.9	49.9	69.9	275	10.1	1.6	8.2	0.3	48.9	26.1	0.4	930	29.9	20.7	100.5	89.8
12.5	3.1	8.3	3.9	50.8	68.5	291	10.2	1.1	8.0	0.3	48.3	26.4	0.4	925	29.9	20.2	100.5	90.2
15.5	3.1	8.2	4.0	50.5	69.7	289	10.3	0.4	8.2	0.3	48.6	27.0	0.4	928	30.3	20.2	101.1	90.3
18.5	3.1	8.5	4.1	50.8	70.0	290	10.3	0.6	9.0	0.3	49.3	27.8	0.4	911	30.9	20.6	103.3	92.8
21.5	2.8	8.8	4.1	52.4	69.2	261	10.3	1.1	9.8	0.3	49.5	28.1	0.5	838	30.2	20.7	101.0	89.4
28.5	1.5	9.7	4.3	53.9	76.0	161	11.6	0.7	10.0	0.2	52.1	26.6	0.3	699	30.1	22.8	107.6	92.6
31.5	1.7	9.9	4.3	53.8	75.1	160	11.4	0.7	10.5	0.3	51.4	26.1	0.3	695	29.8	22.9	104.5	90.5
34.5	1.7	10.2	4.4	55.0	76.2	158	11.8	0.7	10.4	0.3	52.7	26.7	0.3	655	30.2	23.3	109.7	92.5
37.5	1.6	9.9	4.3	53.0	75.0	156	11.6	0.7	9.5	0.2	51.9	26.4	0.3	636	30.6	23.4	109.5	94.0
40.5	2.0	10.1	4.4	53.2	75.0	164	11.8	0.8	9.7	0.3	53.5	26.9	0.3	644	31.1	24.2	104.7	93.7
43.5	1.4	10.2	4.3	54.2	74.5	149	11.8	0.8	8.3	0.3	53.6	27.7	0.3	619	30.4	25.9	102.1	94.9
46.5	1.1	10.1	4.4	55.4	75.7	142	12.1	0.9	8.0	0.3	53.9	28.1	0.3	602	30.6	26.8	102.6	96.2
49.5	1.1	10.2	4.4	54.8	76.5	140	12.2	0.9	7.7	0.3	53.3	28.2	0.3	611	30.4	27.6	102.9	97.8
52.5	1.1	10.5	4.5	54.5	77.8	146	12.2	0.8	7.1	0.3	53.4	28.3	0.4	629	30.8	27.4	103.0	99.3
58.5	1.1	10.3	4.5	52.7	75.6	149	11.9	1.3	7.5	0.3	53.3	27.4	0.4	603	29.8	27.4	100.1	94.8
61.5	1.3	10.2	4.5	52.2	74.7	155	11.9	1.2	7.9	0.3	53.7	28.2	0.4	618	31.3	29.0	101.5	96.3
65.5	3.0	8.0	3.6	44.4	65.1	240	10.1	0.5	7.9	0.2	43.7	23.4	0.5	778	26.5	18.8	86.2	85.1
67.5	1.7	10.4	4.4	49.9	67.6	188	11.1	0.8	6.3	0.3	54.2	28.2	0.4	623	30.8	24.8	103.5	93.4
71.5	1.6	10.3	4.5	48.2	68.7	189	11.3	0.6	6.3	0.2	55.1	27.8	0.4	645	30.9	22.8	105.8	91.0
73.5	1.4	10.2	4.5	50.3	71.4	163	11.8	0.5	6.0	0.3	54.0	27.0	0.5	644	30.9	21.3	101.7	89.0
75.5	2.4	9.4	4.1	51.8	72.9	173	11.6	0.9	8.3	0.3	49.4	24.3	0.3	705	28.2	21.9	97.4	88.4
78.5	0.9	10.3	4.5	53.2	78.2	133	12.6	0.3	6.4	0.3	53.1	27.4	0.6	617	31.0	20.6	97.8	88.5
81.5	0.8	10.0	4.5	53.1	80.0	130	12.8	0.4	6.9	0.2	52.6	26.9	0.8	617	30.4	20.4	96.5	91.1
84.5	0.8	10.1	4.5	51.6	80.8	131	12.6	0.4	7.0	0.3	52.7	26.8	0.7	613	30.4	20.1	97.2	89.1
87.5	1.0	10.5	4.6	55.5	80.7	137	12.7	0.5	6.8	0.3	53.2	27.0	0.8	640	30.2	20.5	95.8	89.7
90.5	< 0.8	10.2	4.5	54.9	79.6	133	12.5	0.4	7.2	0.2	52.2	27.0	0.7	623	29.9	19.8	95.6	90.2
93.5	0.9	10.6	4.5	57.3	80.2	134	12.7	0.4	6.9	0.2	52.4	27.3	0.7	619	29.9	20.3	95.3	90.9
96.5	0.9	9.7	4.5	52.1	80.6	143	12.4	0.5	7.0	0.3	52.0	27.7	0.7	637	30.4	19.8	97.7	88.5
99.5	0.9	10.5	4.5	56.0	82.7	136	12.7	0.3	6.7	0.3	52.8	26.8	0.8	632	30.3	19.5	97.8	89.3
102.5	1.0	10.3	4.6	55.4	83.3	135	13.0	0.6	7.0	0.3	53.6	27.4	0.8	653	30.4	20.1	97.8	90.6
105.5	1.0	10.4	4.5	56.6	82.7	131	12.8	0.6	6.8	0.3	53.1	26.5	0.7	652	30.6	20.0	96.0	97.1

Anexo 54. Concentraciones de metales para el núcleo de sedimento C2. Las concentraciones están dadas en mg kg⁻¹, excepto Al, Fe que están en %.

Prof. (cm)	Ca	Al	Fe	Li	Rb	Sr	Th	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
0.5	1.9	8.8	4.2	53.0	75.7	193	11.4	0.9	7.1	0.3	51.9	27.0	0.5	1010	31.4	20.7	96.8	198.9
9.5	4.0	9.1	4.0	51.0	73.1	313	11.2	0.6	8.4	0.3	49.1	26.4	0.6	960	29.6	21.2	97.3	98.8
21.5	3.2	9.3	4.2	52.6	75.7	258	11.7	0.5	9.3	0.3	51.1	27.4	0.7	886	30.5	21.7	100.5	99.3
27.5	3.3	8.9	4.2	50.4	75.0	277	11.6	0.6	9.1	0.3	51.0	27.3	0.6	903	30.9	21.9	100.5	97.8
39.5	2.7	10.4	4.4	55.6	78.4	187	12.4	1.0	9.4	0.3	53.4	26.1	0.3	761	30.1	23.5	104.9	93.7
51.5	0.9	10.1	4.5	52.6	81.2	125	13.3	0.8	9.0	0.3	54.0	25.8	0.3	640	29.9	26.7	100.4	96.7
65.5	2.1	10.6	4.5	46.7	66.9	229	11.3	1.0	7.7	0.3	57.6	27.3	0.3	684	30.1	31.0	109.7	96.4
71.5	2.5	10.3	4.4	39.4	57.6	304	9.7	0.6	6.9	0.2	55.8	25.1	0.4	690	27.8	19.7	111.4	86.2
75.5	1.3	10.1	4.3	49.2	74.2	153	12.9	0.5	8.4	0.2	51.9	24.6	0.7	630	28.6	20.6	96.1	86.1
88.5	0.9	10.5	4.4	56.5	80.1	120	13.6	0.4	6.7	0.2	53.0	25.8	1.0	653	28.7	20.9	95.9	89.7

Anexo 55. Factor de enriquecimiento (FE), calculado a partir de las concentraciones de Al para el núcleo de sedimento SE2.

Prof. (cm)	Fe	Li	Rb	Sr	Th	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
0.25	1.1	0.8	0.8	1.1	1.3	0.9	0.7	1.3	3.7	1.2	1.0	1.6	0.9	1.2	1.0
0.75	1.1	0.8	0.8	1.1	1.3	1.1	0.7	1.1	4.0	1.2	1.0	1.6	0.9	1.2	1.0
1.75	1.1	0.8	0.8	1.1	1.4	1.2	0.7	1.1	4.0	1.2	1.0	1.6	1.0	1.2	1.0
3.75	1.1	0.8	0.8	1.1	1.4	1.0	0.8	1.2	3.8	1.2	1.0	1.7	1.0	1.2	1.0
5.75	1.1	0.9	0.8	1.2	1.4	1.0	0.8	1.3	3.8	1.3	0.9	1.8	1.0	1.3	1.0
7.5	1.1	0.8	0.8	1.2	1.4	1.0	0.8	1.3	3.5	1.3	0.8	1.7	0.9	1.2	1.0
9.5	1.1	0.8	0.8	1.2	1.5	1.1	0.8	1.2	3.6	1.2	0.8	1.9	0.9	1.2	1.0
11.5	1.1	0.7	0.8	1.2	1.5	1.0	0.9	1.1	3.4	1.2	0.8	1.9	0.9	1.2	0.9
13.5	1.1	0.7	0.8	1.2	1.5	1.0	0.8	1.2	3.2	1.1	0.7	1.7	0.8	1.1	1.0
15.5	1.2	0.7	0.8	1.3	1.6	0.9	0.7	1.1	3.3	1.2	0.7	1.7	0.7	1.2	0.9
17.5	1.1	0.8	0.8	1.3	1.7	0.9	0.8	1.2	3.5	1.2	1.0	1.5	0.8	1.2	0.9
19.5	1.1	1.0	0.9	1.4	1.7	1.0	1.0	1.0	3.8	1.2	0.7	1.5	1.0	1.2	1.0

Anexo 56. Factor de enriquecimiento (FE), calculado a partir de las concentraciones de Al para el núcleo de sedimento SE3.

Prof. (cm)	Fe	Li	Rb	Sr	Th	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
0.25	1.1	0.9	0.8	1.1	1.3	1.9	0.8	1.3	1.4	1.3	1.1	1.7	0.9	1.2	1.0
0.75	1.0	0.7	0.8	1.0	1.2	0.9	0.7	1.1	1.3	1.2	1.0	1.5	0.9	1.1	0.9
1.25	1.0	0.8	0.8	1.0	1.3	0.9	0.7	1.2	1.3	1.2	0.9	1.5	0.9	1.2	0.9
1.75	1.1	0.9	0.9	1.1	1.4	1.2	0.8	1.4	1.5	1.4	1.0	1.8	1.0	1.3	1.1
3.75	1.1	0.8	0.8	1.1	1.4	1.1	0.8	1.2	1.4	1.3	0.9	1.6	1.0	1.2	1.0
5.75	1.1	0.8	0.8	1.1	1.4	1.1	0.9	1.3	1.5	1.3	0.9	1.8	0.9	1.2	1.0
7.00	1.1	0.8	0.9	1.2	1.5	1.1	0.9	1.2	1.5	1.3	0.8	1.9	1.0	1.3	1.0
9.00	1.1	0.8	0.8	1.2	1.5	1.1	0.8	1.2	1.6	1.3	0.8	1.9	1.0	1.3	1.0
12.00	1.1	0.8	0.8	1.3	1.5	1.1	0.8	1.3	1.6	1.3	0.8	1.9	0.9	1.3	1.0
14.00	1.1	0.8	0.8	1.2	1.5	1.0	0.9	1.1	1.6	1.3	0.8	1.7	0.9	1.3	0.9
16.00	1.2	0.9	0.9	1.5	1.5	1.2	1.0	1.0	2.0	1.1	0.7	1.5	1.2	1.7	0.9
18.00	1.3	0.8	0.9	1.4	1.4	1.1	1.3	1.0	1.9	1.1	0.9	1.4	1.1	1.7	0.9
20.00	1.2	0.8	0.9	1.5	1.5	1.2	1.0	0.0	2.0	1.0	0.7	1.3	1.1	1.6	0.9
22.00	1.3	0.9	0.9	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0	2.1	1.0	1.5	1.4	1.3	1.8	0.9

Anexo 57. Factor de enriquecimiento (FE), calculado a partir de las concentraciones de Al para el núcleo de sedimento C1.

Prof. (cm)	Ca	Fe	Li	Rb	Sr	Th	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
0.5	3.2	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.1	1.5	1.2	1.0	1.1	0.6	1.5	1.1	1.2	1.1	1.1
2.5	3.3	1.0	1.1	1.0	2.1	1.0	1.2	1.5	1.1	1.0	1.1	0.6	1.6	1.1	1.2	1.2	1.1
3.5	3.3	1.1	1.2	1.1	2.3	1.0	1.2	1.6	1.3	1.1	1.2	0.6	1.7	1.2	1.3	1.3	1.2
6.5	3.4	1.1	1.1	1.0	2.4	1.0	1.0	1.5	1.1	1.1	1.2	0.6	1.8	1.2	1.3	1.3	1.2
9.5	3.7	1.1	1.1	1.1	2.6	1.0	3.9	1.5	1.3	1.2	1.2	0.7	1.8	1.2	1.3	1.3	1.2
12.5	3.9	1.1	1.1	1.0	2.7	1.0	2.5	1.5	1.3	1.1	1.2	0.7	1.8	1.2	1.3	1.3	1.2
15.5	4.1	1.1	1.1	1.1	2.8	1.0	1.1	1.5	1.4	1.2	1.3	0.7	1.8	1.3	1.3	1.3	1.2
18.5	3.9	1.1	1.1	1.0	2.7	1.0	1.4	1.6	1.3	1.1	1.3	0.7	1.7	1.2	1.3	1.3	1.2
21.5	3.5	1.1	1.1	1.0	2.3	1.0	2.5	1.7	1.2	1.1	1.2	0.7	1.5	1.2	1.2	1.2	1.2
28.5	1.6	1.0	1.0	1.0	1.3	1.0	1.4	1.6	0.9	1.1	1.1	0.5	1.2	1.1	1.2	1.2	1.1
31.5	1.8	1.0	1.0	1.0	1.3	0.9	1.3	1.6	1.0	1.0	1.0	0.4	1.1	1.0	1.2	1.1	1.0
34.5	1.8	1.0	1.0	0.9	1.2	0.9	1.4	1.6	1.0	1.0	1.0	0.4	1.0	1.0	1.2	1.2	1.0
37.5	1.7	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.4	1.5	0.9	1.0	1.0	0.4	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1
40.5	2.1	1.0	1.0	0.9	1.3	0.9	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	0.4	1.0	1.0	1.3	1.1	1.0
43.5	1.5	1.0	1.0	0.9	1.1	0.9	1.6	1.2	1.0	1.0	1.1	0.4	1.0	1.0	1.3	1.1	1.1
46.5	1.2	1.0	1.0	0.9	1.1	1.0	1.8	1.2	1.0	1.0	1.1	0.4	1.0	1.0	1.4	1.1	1.1
49.5	1.1	1.0	1.0	0.9	1.1	1.0	1.7	1.1	1.0	1.0	1.1	0.4	1.0	1.0	1.4	1.1	1.1
52.5	1.2	1.0	1.0	0.9	1.1	0.9	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.4	1.0	1.1
58.5	1.2	1.0	1.0	0.9	1.1	0.9	2.4	1.1	1.0	1.0	1.0	0.5	0.9	1.0	1.4	1.0	1.0
61.5	1.3	1.0	1.0	0.9	1.2	0.9	2.3	1.2	1.0	1.0	1.1	0.5	1.0	1.1	1.5	1.1	1.1
65.5	4.0	1.0	1.0	1.0	2.3	1.0	1.2	1.5	1.2	1.1	1.1	0.9	1.6	1.1	1.2	1.1	1.2
67.5	1.8	1.0	0.9	0.8	1.4	0.9	1.5	0.9	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.2	1.1	1.0
71.5	1.7	1.0	0.9	0.8	1.4	0.9	1.2	0.9	0.9	1.1	1.0	0.6	1.0	1.0	1.2	1.1	1.0
73.5	1.5	1.0	0.9	0.9	1.3	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0
75.5	2.7	1.0	1.0	1.0	1.4	1.0	2.0	1.4	1.0	1.0	1.0	0.5	1.2	1.0	1.2	1.1	1.1
78.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.9	0.9	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
81.5	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	1.1	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0
84.5	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
87.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
90.5	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.1	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
93.5	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0
96.5	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
99.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
102.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
105.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Anexo 58. Factor de enriquecimiento (FE), calculado a partir de las concentraciones de Al para el núcleo de sedimento C2.

Prof. (cm)	Ca	Fe	Li	Rb	Sr	Th	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
0.5	1.4	1.1	1.3	1.3	1.7	1.0	2.1	1.1	1.6	1.1	1.3	0.9	1.8	1.3	1.2	1.2	2.7
9.5	2.9	1.0	1.2	1.2	2.6	1.0	1.2	1.3	1.4	1.0	1.2	0.9	1.6	1.2	1.2	1.1	1.3
21.5	2.3	1.1	1.2	1.2	2.1	1.0	1.2	1.4	1.5	1.1	1.2	1.0	1.5	1.2	1.2	1.2	1.3
27.5	2.5	1.1	1.2	1.2	2.3	1.0	1.3	1.4	1.5	1.1	1.2	0.9	1.6	1.3	1.2	1.2	1.3
39.5	1.7	1.0	1.1	1.1	1.4	0.9	1.9	1.3	1.2	1.0	1.0	0.4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
51.5	0.6	1.1	1.1	1.2	0.9	1.0	1.6	1.2	1.1	1.0	1.0	0.5	1.0	1.1	1.3	1.1	1.1
65.5	1.3	1.0	0.9	0.9	1.6	0.8	1.9	1.0	1.1	1.0	1.1	0.5	1.0	1.0	1.5	1.1	1.1
71.5	1.6	1.0	0.8	0.8	2.2	0.7	1.2	0.9	0.9	1.0	1.0	0.6	1.1	1.0	1.0	1.2	1.0
75.5	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
88.5	0.5	1.0	1.1	1.1	0.9	1.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Anexo 59. Límites de detección (LD) en ng g⁻¹ para los bifenilos policlorados (PCB).

Congéneres	LD	Congéneres	LD	Congéneres	LD	Congéneres	LD	Congéneres	LD	Congéneres	LD
PCB 1	0.09-0.16	PCB 36	0.09-0.16	PCB 73	0.11-0.20	PCB 110	0.07-0.12	PCB 147	0.11-0.20	PCB 185	0.11-0.20
PCB 2	0.09-0.16	PCB 37	0.09-0.16	PCB 74	0.11-0.20	PCB 112/119	0.11-0.20	PCB 148	0.11-0.20	PCB 186	0.11-0.20
PCB 3	0.09-0.16	PCB 38	0.09-0.16	PCB 76	0.11-0.20	PCB 114	0.11-0.20	PCB 150	0.11-0.20	PCB 188	0.11-0.20
PCB 4/10	0.09-0.16	PCB 39	0.09-0.16	PCB 77	0.11-0.20	PCB 115	0.11-0.20	PCB 151	0.11-0.20	PCB 189	0.11-0.20
PCB 5	0.09-0.16	PCB 40	0.11-0.20	PCB 78	0.11-0.20	PCB 116/125	0.11-0.20	PCB 152	0.11-0.20	PCB 191	0.11-0.20
PCB 6	0.09-0.16	PCB 41/71	0.11-0.20	PCB 79	0.11-0.20	PCB 117	0.11-0.20	PCB 154	0.11-0.20	PCB 192	0.11-0.20
PCB 7/9	0.09-0.16	PCB 42	0.11-0.20	PCB 80	0.11-0.20	PCB 118	0.15-0.28	PCB 155	0.11-0.20	PCB 194	0.11-0.20
PCB 8	0.09-0.16	PCB 43/52	0.07-0.12	PCB 81	0.11-0.20	PCB 120	0.11-0.20	PCB 156	0.11-0.20	PCB 195	0.09-0.16
PCB 11	0.09-0.16	PCB 44	0.07-0.12	PCB 82	0.11-0.20	PCB 121	0.11-0.20	PCB 157	0.11-0.20	PCB 196/203	0.11-0.20
PCB 12	0.09-0.16	PCB 45	0.11-0.20	PCB 83/109	0.11-0.20	PCB 122	0.11-0.20	PCB 159	0.11-0.20	PCB 197	0.11-0.20
PCB 13	0.09-0.16	PCB 46	0.11-0.20	PCB 84/92	0.11-0.20	PCB 126	0.11-0.20	PCB 160/163/164	0.13-.24	PCB 199	0.11-0.20
PCB 14	0.09-0.16	PCB 47/48/62/65/75	0.11-0.20	PCB 85	0.11-0.20	PCB 127	0.11-0.20	PCB 165	0.11-0.20	PCB 200/201	0.07-0.12
PCB 15	0.09-0.16	PCB 49	0.11-0.20	PCB 86/97	0.11-0.20	PCB 128/162	0.09-0.16	PCB 166	0.11-0.20	PCB 202	0.11-0.20
PCB 16	0.09-0.16	PCB 50	0.11-0.20	PCB 87/111	0.09-0.16	PCB 129	0.11-0.20	PCB 167	0.11-0.20	PCB 204	0.11-0.20
PCB 17	0.09-0.16	PCB 51	0.11-0.20	PCB 88/95	0.11-0.20	PCB 130	0.11-0.20	PCB 169	0.11-0.20	PCB 205	0.11-0.20
PCB 18	0.09-0.16	PCB 53	0.11-0.20	PCB 89	0.11-0.20	PCB 131/142	0.11-0.20	PCB 170/190	0.09-0.16	PCB 206	0.13-0.24
PCB 19	0.09-0.16	PCB 54	0.11-0.20	PCB 90	0.11-0.20	PCB 132/153/168	0.13-0.24	PCB 171	0.11-0.20	PCB 207	0.11-0.20
PCB 20/33	0.09-0.16	PCB 55	0.11-0.20	PCB 91	0.11-0.20	PCB 133	0.11-0.20	PCB 172	0.11-0.20	PCB 208	0.11-0.20
PCB 21	0.09-0.16	PCB 56/60	0.11-0.20	PCB 93/98/102	0.11-0.20	PCB 134/143	0.11-0.20	PCB 173	0.11-0.20	PCB 209	0.24-0.44
PCB 22	0.09-0.16	PCB 57	0.11-0.20	PCB 94	0.11-0.20	PCB 135	0.11-0.20	PCB 174/181	0.11-0.20		
PCB 23/34	0.09-0.16	PCB 58	0.11-0.20	PCB 96	0.11-0.20	PCB 136	0.11-0.20	PCB 175	0.11-0.20		
PCB 24/27	0.09-0.16	PCB 59	0.11-0.20	PCB 99	0.11-0.20	PCB 137	0.11-0.20	PCB 176	0.11-0.20		
PCB 25	0.09-0.16	PCB 61/63	0.11-0.20	PCB 100	0.11-0.20	PCB 138/158	0.11-0.20	PCB 177	0.11-0.20		
PCB 26	0.09-0.16	PCB 64/72	0.11-0.20	PCB 101/113	0.04-0.08	PCB 139/149	0.11-0.20	PCB 178	0.11-0.20		
PCB 28/31	0.09-0.16	PCB 66	0.07-0.12	PCB 104	0.11-0.20	PCB 140	0.11-0.20	PCB 179	0.11-0.20		
PCB 29	0.09-0.16	PCB 67	0.11-0.20	PCB 105	0.13-0.24	PCB 141	0.11-0.20	PCB 180/193	0.11-0.20		
PCB 30	0.09-0.16	PCB 68	0.11-0.20	PCB 106	0.11-0.20	PCB 144	0.11-0.20	PCB 182/187	0.20-0.36		
PCB 32	0.09-0.16	PCB 69	0.11-0.20	PCB 107/123	0.11-0.20	PCB 145	0.11-0.20	PCB 183	0.11-0.20		
PCB 35	0.09-0.16	PCB 70	0.11-0.20	PCB 108/124	0.11-0.20	PCB 146/161	0.11-0.20	PCB 184	0.11-0.20		

Anexo 60. Flujos de PCBs ($\text{ng cm}^{-2} \text{año}^{-1}$) en el lago Santa Elena (SE3) y el lago Chapala (C3, C4).

Núcleo	Flujo
Santa Elena	
SE3 0.0-0.5	5.5
SE3 0.5-1.0	3.3
SE3 2.0-3.0	2.4
SE3 9.5-10.5	1.1
Chapala	
C3 0-1	4.3
C3 7-8	1.7
C3 15-16	1.1
C3 22-23	0.5
C3 30-31	0.3
C3 38-39	0.9
C3 45-46	0.2
C4 0-1	8.2
C4 2-3	0.3
C4 4-5	0.5
C4 6-7	0.7
C4 8-9	0.8
C4 10-11	0.2
C4 12-13	0.2
C4 14-15	0.1
C4 16-17	1.4
C4 18-19	0.4
C4 20-21	2.1
C4 22-23	0.4
C4 24-25	0.2
C4 30-31	0.3
C4 32-33	0.2
C4 34-35	0.1
C4 38-39	0.3
C4 40-41	0.7
C4 42-43	0.3
C4 44-45	0.2
C4 46-47	0.1

Anexo 61. Límites de detección (LD) en ng g⁻¹ para los éteres de bifenilos polibromados (PBDE).

Congéneres	LD
BDE 1 (2-MonoBDE)	0.22-0.40
BDE 2 (3-MonoBDE)	0.22-0.40
BDE 3 (4-MonoBDE)	0.22-0.40
BDE 7 (2,4-DiBDE)	0.22-0.40
BDE 8/11 (2,4'-DiBDE/3,3'-DiBDE)	0.44-0.79
BDE 10 (2,6-DiBDE)	0.22-0.40
BDE 12 (3,4-DiBDE)	0.22-0.40
BDE 13 (3,4'-DiBDE)	0.22-0.40
BDE 15 (4,4'-DiBDE)	0.22-0.40
BDE 17 (2,2',4-TriBDE)	0.22-0.40
BDE 25 (2,3',4-TriBDE)	0.22-0.40
BDE 28 (2,4,4'-TriBDE)	0.22-0.40
BDE 30 (2,4,6-TriBDE)	0.22-0.40
BDE 32 (2,4',6-TriBDE)	0.22-0.40
BDE 33 (2',3,4-TriBDE)	0.22-0.40
BDE 35 (3,3',4-TriBDE)	0.22-0.40
BDE 37 (3,4,4'-TriBDE)	0.22-0.40
BDE 47 (2,2',4,4'-TetraBDE)	0.22-0.40
BDE 49 (2,2',4,5'-TetraBDE)	0.22-0.40
BDE 66 (2,3',4,4'-TetraBDE)	0.22-0.40
BDE 71 (2,3',4',6-TetraBDE)	0.22-0.40
BDE 75 (2,4,4',6-TetraBDE)	0.22-0.40
BDE 77 (3,3',4,4'-TetraBDE)	0.22-0.40
BDE 85 (2,2',3,4,4'-PentaBDE)	0.33-0.59
BDE 99 (2,2',4,4',5-PentaBDE)	0.33-0.59
BDE 100 (2,2',4,4',6-PentaBDE)	0.33-0.59
BDE 116 (2,3,4,5,6-PentaBDE)	0.33-0.59
BDE 118 (2,3',4,4',5-PentaBDE)	0.33-0.59
BDE 119 (2,3',4,4',6-PentaBDE)	0.33-0.59
BDE 126 (3,3',4,4',5-PentaBDE)	0.33-0.59
BDE 138 (2,2',3,4,4',5'-HexaBDE)	0.44-0.79
BDE 153 (2,2',4,4',5,5'-HexaBDE)	0.44-0.79
BDE 154 (2,2',4,4',5,6'-HexaBDE)	0.44-0.79
BDE 155 (2,2',4,4',6,6'-HexaBDE)	0.44-0.79
BDE 166 (2,3,4,4',5,6-HexaBDE)	0.44-0.79
BDE 181 (2,2',3,4,4',5,6-HeptaBDE)	0.55-0.99
BDE 183 (2,2',3,4,4',5',6-HeptaBDE)	0.55-0.99
BDE 190 (2,3,3',4,4',5,6-HeptaBDE)	0.55-0.99

Anexo 62. Flujos de PBDEs ($\text{ng cm}^{-2} \text{año}^{-1}$) en el lago Santa Elena (SE3) y el lago Chapala (C3).

Núcleo	Flujo
Santa Elena	
SE3 0.0-0.5	0.35
SE3 0.5-1.0	0.66
SE3 2.0-3.0	0.48
SE3 9.5-10.5	0.13
Chapala	
C3 0-1	0.39
C3 7-8	0.05
C3 15-16	0.15
C3 22-23	0.03
C3 30-31	0.03
C3 38-39	0.08

Anexo 63. Límites de detección (LD) en ng g^{-1} para los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH).

Congéneres	LD
Naftaleno	2.1-9.6
Bifenilo	1.4-6.5
Acenaftileno	2.0-9.2
Acenafteno	3.5-16.0
Fluoreno	1.8-8.2
Fenantreno	1.7-7.9
Antraceno	1.9-8.8
Dibenzotiofeno	1.2-5.3
Fluoranteno	3.2-14.5
Pireno	3.6-16.6
Benzo(a)antraceno	1.9-8.4
Criseno	2.2-10.0
Benzo(b+k)fluoranteno	2.0-9.2
Benzo(e)pireno	1.9-8.5
Benzo(a)pireno	3.1-14.2
Perileno	4.4-20.1
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	2.6-11.7
Dibenzo(a,h)antraceno	1.3-5.8
Benzo(g,h,i)perileno	2.4-11.0
2-Metilnaftaleno	3.8-17.4
1-Metilnaftaleno	2.9-13.3
2,6-Dimetilnaftaleno	0.9-4.0
1,6,7-Trimetilnaftaleno	1.8-8.3
1-Metilfenantreno	1.7-7.9

Anexo 64. Recuperación (%) de los estándares subrogados.

Compuesto	Subrogado	%
PAH	d8-Naftaleno	43-68
	d10-Acenaftaleno	40-118
	d10-Fenantreno	49-113
	d12-Criseno	41-116
	d12-Perileno	52-120
PCB	PCB 103 (2,2',4,5',6-PentaPCB)	54-106
PBDE	BDE 28 (2,4,4'-TriBDE)	70-71
	BDE 47 (2,2',4,4'-TetraBDE)	72-78
	BDE 99 (2,2',4,4',5-PentaBDE)	64-85
	BDE 100 (2,2',4,4',6-PentaBDE)	62-77
	BDE 153 (2,2',4,4',5,5'-HexaBDE)	72-85

Anexo 65. Flujos de PAHs ($\text{ng cm}^{-2} \text{año}^{-1}$) en el lago Santa Elena (SE3) y el lago Chapala (C3, C4).

Núcleo	Flujo
Santa Elena	
SE3 0.0-0.5	130.8
SE3 0.5-1.0	63.8
SE3 2.0-3.0	51.4
SE3 9.5-10.5	58.6
Chapala	
C3 0-1	235.1
C3 7-8	37.0
C3 15-16	20.3
C3 22-23	24.8
C3 30-31	18.2
C3 38-39	20.2
C3 45-46	6.3
C4 0-1	220.1
C4 2-3	170.7
C4 4-5	172.2
C4 6-7	176.0
C4 8-9	137.2
C4 10-11	125.9
C4 12-13	122.2
C4 14-15	169.1
C4 16-17	124.3
C4 18-19	159.9
C4 20-21	139.9
C4 22-23	132.7
C4 24-25	124.3
C4 26-27	123.8
C4 28-29	195.5
C4 30-31	147.4
C4 32-33	164.2
C4 34-35	145.9
C4 38-39	139.4
C4 40-41	173.8
C4 42-43	224.3
C4 44-45	160.1
C4 46-47	165.3

Anexo 66. Flujos modelados de carbono orgánico para el núcleo C1 del lago Chapala.

Sección	Edad (años)	TAM (g cm ⁻² año ⁻¹)	u (TAM)	C _{org} medido (mg g ⁻¹)	C _{org} modelado (mg g ⁻¹)	C _{org} perdido (mg g ⁻¹)	C _{org} corregido (mg g ⁻¹)	Flujo C _{org} (mg cm ⁻² año ⁻¹)	u (Flujo C _{org})
C1 0-1	0.6	0.16	0.02	24.1	20.0	4.1	28.2	4.6	0.6
C1 2-3	2.8	0.10	0.01	29.2	15.8	13.4	42.7	4.4	0.5
C1 3-4	3.7	0.11	0.01	21.5	15.0	6.4	27.9	3.2	0.4
C1 5-6	5.8	0.11	0.01	26.8	13.9	12.9	39.7	4.2	0.5
C1 6-7	6.7	0.13	0.02	25.2	13.6	11.6	36.8	4.6	0.6
C1 9-10	9.5	0.10	0.01	23.0	12.7	10.2	33.2	3.3	0.4
C1 10-11	10.7	0.09	0.01	26.7	12.5	14.2	40.8	3.9	0.5
C1 12-13	14.1	0.07	0.01	23.2	11.9	11.3	34.5	2.5	0.3
C1 15-16	19.4	0.07	0.01	31.2	11.2	20.0	51.1	3.8	0.5
C1 18-19	25.0	0.06	0.01	20.0	10.7	9.3	29.3	1.8	0.2
C1 20-21	29.1	0.06	0.01	25.8	10.4	15.4	41.2	2.6	0.3
C1 21-22	31.5	0.06	0.01	18.0	10.2	7.7	25.7	1.6	0.2
C1 23-24	36.6	0.05	0.01	20.0	9.9	10.0	30.0	1.6	0.2
C1 25-26	40.7	0.07	0.01	17.9	9.7	8.2	26.1	1.8	0.3
C1 28-29	44.9	0.14	0.05	9.6	9.5	0.0	9.6	1.3	0.4
C1 30-31	47.0	0.14	0.05	10.8	9.5	1.4	12.2	1.7	0.6
C1 31-32	47.8	0.19	0.08	12.1	9.4	2.7	14.9	2.8	1.3
C1 34-35	50.9	0.16	0.07	8.8	9.3	-0.5	8.8	1.4	0.6
C1 35-36	52.0	0.11	0.04	11.6	9.3	2.3	13.8	1.6	0.5
C1 37-38	54.9	0.12	0.04	7.9	9.2	-1.3	7.9	0.9	0.3
C1 40-41	58.7	0.11	0.05	10.9	9.1	1.9	12.8	1.4	0.6
C1 43-44	64.4	0.08	0.03	9.7	8.9	0.8	10.5	0.9	0.3
C1 45-46	68.5	0.07	0.03	12.4	8.8	3.6	16.1	1.1	0.4
C1 46-47	70.7	0.08	0.04	9.7	8.7	1.0	10.7	0.9	0.4
C1 49-50	78.7	0.05	0.02	8.2	8.6	-0.3	7.9	0.4	0.1
C1 50-51	82.9	0.05	0.02	12.6	8.5	4.1	16.7	0.8	0.3
C1 52-53	88.5	0.04	0.01	10.1	8.4	1.7	11.8	0.5	0.2
C1 55-56	96.5	0.09	0.08	8.2	8.2	0.0	8.2	0.7	0.7

Anexo 67. Flujos modelados de carbono orgánico para el núcleo C2 del lago Chapala.

Sección	Edad (años)	TAM (g cm ⁻² año ⁻¹)	u (TAM)	C _{org} medido (mg g ⁻¹)	C _{org} modelado (mg g ⁻¹)	C _{org} perdido (mg g ⁻¹)	C _{org} corregido (mg g ⁻¹)	Flujo C _{org} (mg cm ⁻² año ⁻¹)	u (Flujo C _{org})
C2 0-1	0.7	0.13	0.01	14.2	33.0	-18.8	14.2	1.8	0.2
C2 2-3	2.2	0.13	0.02	2.1	27.2	-25.1	2.1	0.3	0.0
C2 3-4	2.9	0.13	0.02	25.5	26.0	-0.5	25.5	3.3	0.4
C2 5-6	4.4	0.13	0.02	17.5	24.3	-6.8	17.5	2.2	0.3
C2 7-8	6.1	0.13	0.02	15.8	22.9	-7.1	15.8	2.1	0.3
C2 9-10	8.0	0.14	0.02	17.6	21.8	-4.3	17.6	2.5	0.4
C2 10-11	8.9	0.15	0.02	20.9	21.4	-0.5	20.9	3.1	0.5
C2 12-13	11.1	0.14	0.02	19.4	20.6	-1.2	19.4	2.7	0.4
C2 15-16	14.4	0.13	0.02	23.6	19.6	3.9	27.5	3.5	0.5
C2 17-18	17.0	0.11	0.02	17.4	19.0	-1.6	17.4	1.9	0.3
C2 20-21	21.7	0.09	0.01	28.1	18.2	9.9	38.0	3.5	0.5
C2 21-22	23.8	0.08	0.01	21.8	17.9	3.9	25.7	2.2	0.3
C2 22-23	25.7	0.08	0.01	28.2	17.6	10.6	38.7	3.1	0.4
C2 25-26	33.0	0.06	0.01	21.0	16.8	4.2	25.3	1.6	0.2
C2 27-28	37.8	0.06	0.01	19.1	16.4	2.7	21.9	1.3	0.2
C2 30-31	45.6	0.07	0.01	16.2	15.8	0.4	16.6	1.1	0.2
C2 32-33	51.4	0.05	0.01	15.9	15.4	0.4	16.3	0.8	0.2
C2 35-36	58.7	0.06	0.01	16.6	15.0	1.6	18.2	1.1	0.3
C2 37-38	63.8	0.06	0.02	8.2	14.8	-6.6	8.2	0.5	0.1
C2 39-40	69.3	0.07	0.02	12.8	14.6	-1.8	12.8	0.9	0.3
C2 40-41	71.8	0.07	0.03	13.1	14.5	-1.4	13.1	0.9	0.4
C2 42-43	77.1	0.06	0.02	14.3	14.3	0.0	14.3	0.9	0.4

Anexo 68. Flujos modelados de carbono orgánico para el núcleo C3 del lago Chapala.

Sección	Edad (años)	TAM ($\text{g cm}^{-2} \text{año}^{-1}$)	u (TAM)	C_{org} medido (mg g^{-1})	C_{org} modelado (mg g^{-1})	C_{org} perdido (mg g^{-1})	C_{org} corregido (mg g^{-1})	Flujo C_{org} ($\text{mg cm}^{-2} \text{año}^{-1}$)	u (Flujo C_{org})
C3 0-1	0.4	0.16	0.02	23.0	37.0	-14.0	23.0	3.7	0.5
C3 2-3	2.0	0.12	0.01	21.8	28.3	-6.5	21.8	2.5	0.3
C3 7-8	6.9	0.13	0.02	27.0	22.8	4.3	31.3	4.2	0.6
C3 12-13	11.4	0.16	0.03	26.6	20.8	5.8	32.4	5.1	0.9
C3 17-18	15.8	0.13	0.02	23.9	19.6	4.2	28.1	3.7	0.6
C3 22-23	23.0	0.09	0.01	20.6	18.3	2.3	23.0	2.1	0.3
C3 27-28	32.1	0.09	0.02	14.1	17.2	-3.1	14.1	1.2	0.2
C3 32-33	40.4	0.15	0.06	12.3	16.5	-4.2	12.3	1.8	0.7
C3 37-38	47.3	0.22	0.13	13.6	16.0	-2.3	13.6	3.0	1.7
C3 42-43	55.7	0.07	0.02	14.7	15.5	-0.7	14.7	1.0	0.3
C3 47-48	67.0	0.16	0.13	14.9	14.9	0.0	14.9	2.4	2.0

Anexo 69. Composición isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) y valores de C/N para el núcleo SE3 del lago Santa Elena y el C1 del lago Chapala.

Núcleo	Prof. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C/N
SE3 0-0.5	0.25	-22.6	7.5	13.5
SE3 0.5-1	0.75	-22.7	7.0	14.5
SE3 1.5-2	1.75	-22.4	6.4	15.2
SE3 2.5-3	2.75	-22.2	6.5	15.7
SE3 3.5-4	3.75	-21.8	6.9	15.3
SE3 4.5-5	4.75	-22.3	6.8	16.9
SE3 5.5-6	5.75	-21.5	6.3	16.6
SE3 6.5-7.5	6.75	-20.9	5.4	16.3
SE3 8.5-9.5	9.0	-20.4	6.1	17.3
SE3 10.5-11.5	11.0	-20.4	5.9	19.2
SE3 12.5-13.5	13.0	-20.9	6.5	20.5
SE3 14.5-15.5	15.0	-21.5	5.0	21.1
SE3 16.5-17.5	17.0	-21.7	5.2	21.3
SE3 18.5-19.5	19.0	-22.8	7.7	24.3
SE3 20.5-21.5	21.0	-23.0	6.4	21.6
SE3 22.5-23.5	23.0	-24.8	6.9	20.9
C1 0-1	0.5	-26.4	8.0	15.1
C1 1-2	1.5	-25.9	8.3	13.9
C1 3-4	3.5	-25.8	7.8	13.5
C1 5-6	5.5	-25.8	8.1	15.5
C1 7-8	7.5	-26.0	7.9	15.9
C1 9-10	9.5	-25.7	7.2	13.3
C1 11-12	11.5	-25.8	7.0	13.8
C1 13-14	13.5	-26.1	7.2	15.3
C1 15-16	15.5	-25.9	7.4	13.5
C1 17-18	17.5	-26.2	7.1	15.5
C1 19-20	19.5	-25.9	7.1	14.1
C1 21-22	21.5	-25.8	7.5	14.3
C1 23-24	23.5	-25.7	6.8	14.1
C1 25-26	25.5	-25.5	6.7	15.9
C1 27-28	27.5	-25.0	7.1	15.9
C1 29-30	29.5	-24.5	7.5	15.5
C1 31-32	31.5	-24.6	6.9	16.0
C1 33-34	33.5	-24.7	7.4	15.8
C1 35-36	35.5	-24.1	5.9	14.2
C1 37-38	37.5	-24.3	7.0	14.8
C1 39-40	39.5	-24.9	5.9	15.8
C1 41-42	41.5	-25.2	7.4	17.4
C1 43-44	43.5	-24.2	8.3	14.4

Anexo 69. Composición isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) y valores de C/N para el núcleo SE3 del lago Santa Elena y el C1 del lago Chapala (continuación).

Núcleo	Prof. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C/N
C1 45-46	45.5	-23.7	7.8	15.5
C1 47-48	47.5	-24.4	7.1	16.2
C1 49-50	49.5	-24.7	6.5	16.6
C1 51-52	51.5	-24.1	7.6	17.5
C1 53-54	53.5	-24.4	8.1	21.0
C1 55-56	55.5	-24.3	7.3	15.5
C1 57-58	57.5	-24.0	8.2	14.2
C1 59-60	59.5	-24.6	6.8	16.0
C1 61-62	61.5	-24.5	7.2	15.1
C1 63-64	63.5	-24.1	7.4	14.6
C1 65-66	65.5	-24.1	6.2	14.7
C1 67-68	67.5	-23.9	7.4	14.7
C1 69-70	69.5	-23.8	7.5	15.0
C1 71-72	71.5	-23.6	6.4	13.6
C1 73-74	73.5	-23.4	6.8	14.0
C1 75-76	75.5	-23.3	7.0	13.5
C1 77-78	77.5	-22.7	7.3	13.0
C1 79-80	79.5	-22.9	6.5	13.6
C1 81-82	81.5	-23.1	7.8	14.1
C1 83-84	83.5	-22.8	6.2	13.8
C1 87-88	87.5	-23.7	6.4	16.2
C1 89-90	89.5	-22.6	6.0	13.3
C1 91-92	91.5	-23.1	6.3	15.1
C1 93-94	93.5	-22.8	5.9	14.3
C1 95-96	95.5	-22.7	6.5	13.4
C1 97-98	97.5	-23.1	6.9	15.0
C1 99-100	99.5	-23.5	5.8	16.7
C1 101-102	101.5	-22.7	6.3	14.5
C1 103-104	103.5	-23.9	5.9	20.8
C1 105-106	105.5	-24.3	4.5	19.7
C1 107-108	107.5	-22.2	5.5	14.6

Anexo 70. Análisis factorial: matriz de coeficientes de correlaciones de Pearson para el núcleo de sedimento SE2 del lago Santa Elena.

	Arcilla	Limo	Arena	Al	Li	Rb	Th	Fe	Zn	Mn	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	V	MO	CaCO ₃	SM
Arcilla	1	-0.89	-0.65	0.83	0.57	0.66	0.68	0.76	0.64	-0.25	0.63	0.31	0.52	0.85	0.51	0.76	-0.16	0.60	0.63	0.06	0.29	0.15
Limo	-0.89	1	0.22	-0.54	-0.29	-0.31	-0.76	-0.52	-0.25	0.37	-0.31	-0.48	-0.25	-0.70	-0.10	-0.45	0.45	-0.78	-0.26	0.18	-0.46	-0.47
Arena	-0.65	0.22	1	-0.86	-0.73	-0.89	-0.17	-0.75	-0.93	-0.07	-0.82	0.12	-0.68	-0.64	-0.90	-0.86	-0.41	0.02	-0.89	-0.41	0.15	0.45
Al	0.83	-0.54	-0.86	1	0.85	0.91	0.49	0.94	0.90	0.11	0.63	0.02	0.76	0.87	0.82	0.88	0.10	0.31	0.89	0.35	0.15	-0.16
Li	0.57	-0.29	-0.73	0.85	1	0.84	0.15	0.70	0.84	0.45	0.50	-0.10	0.88	0.59	0.88	0.75	0.40	-0.04	0.87	0.32	0.09	-0.43
Rb	0.66	-0.31	-0.89	0.91	0.84	1	0.29	0.82	0.91	0.22	0.66	-0.01	0.82	0.72	0.93	0.88	0.36	0.05	0.98	0.25	0.09	-0.39
Th	0.68	-0.76	-0.17	0.49	0.15	0.29	1	0.66	0.16	-0.51	0.10	0.36	0.11	0.77	0.03	0.40	-0.73	0.95	0.23	-0.22	0.52	0.73
Fe	0.76	-0.52	-0.75	0.94	0.70	0.82	0.66	1	0.80	-0.01	0.47	-0.03	0.60	0.92	0.67	0.78	-0.16	0.47	0.78	0.32	0.22	0.06
Zn	0.64	-0.25	-0.93	0.90	0.84	0.91	0.16	0.80	1	0.21	0.71	-0.09	0.72	0.70	0.89	0.82	0.42	-0.05	0.92	0.51	-0.08	-0.46
Mn	-0.25	0.37	-0.07	0.11	0.45	0.22	-0.51	-0.01	0.21	1	0.02	-0.51	0.37	-0.30	0.31	-0.10	0.47	-0.64	0.18	0.51	-0.43	-0.60
Ag	0.63	-0.31	-0.82	0.63	0.50	0.66	0.10	0.47	0.71	0.02	1	-0.03	0.35	0.40	0.63	0.70	0.39	-0.06	0.60	0.33	-0.29	-0.41
As	0.31	-0.48	0.12	0.02	-0.10	-0.01	0.36	-0.03	-0.09	-0.51	-0.03	1	-0.12	0.29	-0.16	0.16	-0.10	0.47	0.02	-0.44	0.45	0.42
Cd	0.52	-0.25	-0.68	0.76	0.88	0.82	0.11	0.60	0.72	0.37	0.35	-0.12	1	0.55	0.89	0.68	0.38	-0.04	0.86	0.12	0.21	-0.42
Cr	0.85	-0.70	-0.64	0.87	0.59	0.72	0.77	0.92	0.70	-0.30	0.40	0.29	0.55	1	0.55	0.77	-0.24	0.66	0.71	0.09	0.47	0.26
Cu	0.51	-0.10	-0.90	0.82	0.88	0.93	0.03	0.67	0.89	0.31	0.63	-0.16	0.89	0.55	1	0.84	0.57	-0.18	0.96	0.26	-0.01	-0.60
Ni	0.76	-0.45	-0.86	0.88	0.75	0.88	0.40	0.78	0.82	-0.10	0.70	0.16	0.68	0.77	0.84	1	0.27	0.25	0.91	0.02	0.27	-0.27
Pb	-0.16	0.45	-0.41	0.10	0.40	0.36	-0.73	-0.16	0.42	0.47	0.39	-0.10	0.38	-0.24	0.57	0.27	1	-0.81	0.44	0.20	-0.35	-0.92
Sr	0.60	-0.78	0.02	0.31	-0.04	0.05	0.95	0.47	-0.05	-0.64	-0.06	0.47	-0.04	0.66	-0.18	0.25	-0.81	1	0.02	-0.35	0.61	0.85
V	0.63	-0.26	-0.89	0.89	0.87	0.98	0.23	0.78	0.92	0.18	0.60	0.02	0.86	0.71	0.96	0.91	0.44	0.02	1	0.20	0.15	-0.44
MO	0.06	0.18	-0.41	0.35	0.32	0.25	-0.22	0.32	0.51	0.51	0.33	-0.44	0.12	0.09	0.26	0.02	0.20	-0.35	0.20	1	-0.66	-0.32
CaCO ₃	0.29	-0.46	0.15	0.15	0.09	0.09	0.52	0.22	-0.08	-0.43	-0.29	0.45	0.21	0.47	-0.01	0.27	-0.35	0.61	0.15	-0.66	1	0.45
SM	0.15	-0.47	0.45	-0.16	-0.43	-0.39	0.73	0.06	-0.46	-0.60	-0.41	0.42	-0.42	0.26	-0.60	-0.27	-0.92	0.85	-0.44	-0.32	0.45	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha=0.05$ (prueba bilateral)

Anexo 71. Análisis factorial: matriz de coeficientes de correlaciones de Pearson para el núcleo de sedimento SE3 del lago Santa Elena.

	Arcilla	Limo	Arena	Al	Li	Rb	Th	Fe	Zn	Mn	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	V	MO	CaCO ₃	SM
Arcilla	1	-0.39	-0.07	-0.03	-0.01	0.18	0.60	0.41	-0.02	-0.79	-0.38	0.26	-0.16	0.57	0.06	0.20	0.10	0.61	0.35	-0.37	0.32	0.39
Limo	-0.39	1	-0.89	0.81	0.73	0.71	0.35	-0.08	0.85	0.34	0.33	-0.72	0.87	-0.81	0.84	0.73	-0.80	-0.71	-0.94	0.85	0.42	-0.75
Arena	-0.07	-0.89	1	-0.87	-0.78	-0.86	-0.68	-0.12	-0.91	0.03	-0.17	0.64	-0.87	0.59	-0.95	-0.90	0.82	0.47	0.85	-0.73	-0.62	0.61
Al	-0.03	0.81	-0.87	1	0.85	0.89	0.65	0.43	0.91	-0.02	0.10	-0.38	0.85	-0.56	0.91	0.81	-0.78	-0.45	-0.68	0.75	0.31	-0.55
Li	-0.01	0.73	-0.78	0.85	1	0.83	0.66	0.45	0.90	-0.01	0.39	-0.30	0.92	-0.43	0.89	0.81	-0.68	-0.37	-0.61	0.65	0.42	-0.61
Rb	0.18	0.71	-0.86	0.89	0.83	1	0.77	0.47	0.95	-0.20	0.05	-0.28	0.89	-0.43	0.95	0.90	-0.62	-0.40	-0.59	0.63	0.37	-0.62
Th	0.60	0.35	-0.68	0.65	0.66	0.77	1	0.67	0.68	-0.52	-0.07	0.02	0.58	0.15	0.74	0.85	-0.56	0.24	-0.19	0.12	0.66	-0.14
Fe	0.41	-0.08	-0.12	0.43	0.45	0.47	0.67	1	0.35	-0.45	0.00	0.61	0.26	0.39	0.35	0.39	-0.23	0.39	0.31	-0.10	0.02	0.19
Zn	-0.02	0.85	-0.91	0.91	0.90	0.95	0.68	0.35	1	-0.02	0.27	-0.44	0.96	-0.56	0.98	0.90	-0.74	-0.51	-0.74	0.75	0.45	-0.68
Mn	-0.79	0.34	0.03	-0.02	-0.01	-0.20	-0.52	-0.45	-0.02	1	0.25	-0.35	0.11	-0.46	-0.08	-0.21	-0.13	-0.53	-0.32	0.35	-0.23	-0.17
Ag	-0.38	0.33	-0.17	0.10	0.39	0.05	-0.07	0.00	0.27	0.25	1	-0.09	0.36	-0.27	0.27	0.18	-0.40	-0.28	-0.33	0.26	0.19	-0.27
As	0.26	-0.72	0.64	-0.38	-0.30	-0.28	0.02	0.61	-0.44	-0.35	-0.09	1	-0.45	0.77	-0.43	-0.31	0.40	0.68	0.88	-0.71	-0.35	0.59
Cd	-0.16	0.87	-0.87	0.85	0.92	0.89	0.58	0.26	0.96	0.11	0.36	-0.45	1	-0.61	0.94	0.87	-0.72	-0.57	-0.77	0.76	0.43	-0.77
Cr	0.57	-0.81	0.59	-0.56	-0.43	-0.43	0.15	0.39	-0.56	-0.46	-0.27	0.77	-0.61	1	-0.52	-0.32	0.48	0.96	0.89	-0.92	0.02	0.77
Cu	0.06	0.84	-0.95	0.91	0.89	0.95	0.74	0.35	0.98	-0.08	0.27	-0.43	0.94	-0.52	1	0.94	-0.80	-0.45	-0.74	0.70	0.52	-0.64
Ni	0.20	0.73	-0.90	0.81	0.81	0.90	0.85	0.39	0.90	-0.21	0.18	-0.31	0.87	-0.32	0.94	1	-0.77	-0.22	-0.61	0.48	0.70	-0.57
Pb	0.10	-0.80	0.82	-0.78	-0.68	-0.62	-0.56	-0.23	-0.74	-0.13	-0.40	0.40	-0.72	0.48	-0.80	-0.77	1	0.31	0.69	-0.60	-0.58	0.35
Sr	0.61	-0.71	0.47	-0.45	-0.37	-0.40	0.24	0.39	-0.51	-0.53	-0.28	0.68	-0.57	0.96	-0.45	-0.22	0.31	1	0.80	-0.87	0.17	0.76
V	0.35	-0.94	0.85	-0.68	-0.61	-0.59	-0.19	0.31	-0.74	-0.32	-0.33	0.88	-0.77	0.89	-0.74	-0.61	0.69	0.80	1	-0.88	-0.40	0.77
MO	-0.37	0.85	-0.73	0.75	0.65	0.63	0.12	-0.10	0.75	0.35	0.26	-0.71	0.76	-0.92	0.70	0.48	-0.60	-0.87	-0.88	1	0.03	-0.68
CaCO ₃	0.32	0.42	-0.62	0.31	0.42	0.37	0.66	0.02	0.45	-0.23	0.19	-0.35	0.43	0.02	0.52	0.70	-0.58	0.17	-0.40	0.03	1	-0.23
SM	0.39	-0.75	0.61	-0.55	-0.61	-0.62	-0.14	0.19	-0.68	-0.17	-0.27	0.59	-0.77	0.77	-0.64	-0.57	0.35	0.76	0.77	-0.68	-0.23	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha=0.05$ (prueba bilateral)

Anexo 72. Análisis factorial: matriz de coeficientes de correlaciones de Pearson para el núcleo de sedimento C1 del lago Chapala.

	Arcilla	Limo	Arena	Al	Li	Rb	Th	Fe	Zn	Mn	Ag	As	Ca	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	V	MO	CaCO ₃	SM
Arcilla	1	0.51	-0.63	0.19	0.04	-0.08	0.02	0.08	0.28	-0.23	0.07	-0.04	-0.09	-0.08	0.12	0.04	-0.15	-0.05	0.20	-0.14	0.15	-0.15	0.15	0.36
Limo	0.51	1	-0.99	-0.17	-0.15	-0.42	-0.36	-0.25	0.22	0.19	0.18	0.13	0.28	0.04	-0.14	-0.09	-0.39	-0.07	0.22	0.27	0.17	0.18	0.38	0.08
Arena	-0.63	-0.99	1	0.12	0.13	0.39	0.32	0.21	-0.25	-0.13	-0.18	-0.11	-0.23	-0.02	0.11	0.08	0.38	0.07	-0.23	-0.22	-0.18	-0.13	-0.37	-0.14
Al	0.19	-0.17	0.12	1	0.65	0.71	0.88	0.92	0.48	-0.93	-0.12	-0.41	-0.89	-0.18	0.89	0.54	0.28	0.54	0.43	-0.92	0.24	-0.43	-0.14	0.57
Li	0.04	-0.15	0.13	0.65	1	0.82	0.73	0.67	0.51	-0.50	-0.05	-0.02	-0.66	0.00	0.60	0.46	0.26	0.47	0.20	-0.64	0.23	-0.12	-0.10	-0.12
Rb	-0.08	-0.42	0.39	0.71	0.82	1	0.92	0.78	0.26	-0.64	-0.28	-0.30	-0.83	-0.17	0.58	0.31	0.61	0.37	-0.02	-0.81	-0.07	-0.27	-0.22	-0.05
Th	0.02	-0.36	0.32	0.88	0.73	0.92	1	0.89	0.31	-0.85	-0.29	-0.47	-0.94	-0.26	0.74	0.38	0.55	0.40	0.15	-0.95	-0.04	-0.40	-0.21	0.29
Fe	0.08	-0.25	0.21	0.92	0.67	0.78	0.89	1	0.48	-0.86	-0.15	-0.48	-0.91	-0.14	0.93	0.71	0.42	0.71	0.32	-0.86	0.27	-0.41	-0.14	0.44
Zn	0.28	0.22	-0.25	0.48	0.51	0.26	0.31	0.48	1	-0.42	0.39	0.03	-0.35	0.41	0.60	0.63	-0.31	0.59	0.78	-0.36	0.55	-0.14	0.10	0.31
Mn	-0.23	0.19	-0.13	-0.93	-0.50	-0.64	-0.85	-0.86	-0.42	1	0.10	0.40	0.89	0.30	-0.80	-0.46	-0.26	-0.38	-0.44	0.95	-0.15	0.48	0.12	-0.69
Ag	0.07	0.18	-0.18	-0.12	-0.05	-0.28	-0.29	-0.15	0.39	0.10	1	0.26	0.23	0.36	0.03	0.19	-0.51	0.07	0.54	0.21	0.33	-0.12	0.28	0.09
As	-0.04	0.13	-0.11	-0.41	-0.02	-0.30	-0.47	-0.48	0.03	0.40	0.26	1	0.50	0.01	-0.37	-0.28	-0.65	-0.20	0.11	0.36	0.42	0.19	0.27	-0.37
Ca	-0.09	0.28	-0.23	-0.89	-0.66	-0.83	-0.94	-0.91	-0.35	0.89	0.23	0.50	1	0.33	-0.79	-0.48	-0.50	-0.45	-0.24	0.94	-0.03	0.39	0.18	-0.40
Cd	-0.08	0.04	-0.02	-0.18	0.00	-0.17	-0.26	-0.14	0.41	0.30	0.36	0.01	0.33	1	-0.02	0.26	-0.21	0.27	0.23	0.35	0.13	0.26	-0.03	-0.15
Cr	0.12	-0.14	0.11	0.89	0.60	0.58	0.74	0.93	0.60	-0.80	0.03	-0.37	-0.79	-0.02	1	0.76	0.15	0.80	0.50	-0.76	0.49	-0.39	-0.07	0.54
Cu	0.04	-0.09	0.08	0.54	0.46	0.31	0.38	0.71	0.63	-0.46	0.19	-0.28	-0.48	0.26	0.76	1	0.09	0.86	0.49	-0.34	0.50	-0.20	0.00	0.30
Hg	-0.15	-0.39	0.38	0.28	0.26	0.61	0.55	0.42	-0.31	-0.26	-0.51	-0.65	-0.50	-0.21	0.15	0.09	1	0.06	-0.60	-0.36	-0.59	-0.06	-0.41	-0.14
Ni	-0.05	-0.07	0.07	0.54	0.47	0.37	0.40	0.71	0.59	-0.38	0.07	-0.20	-0.45	0.27	0.80	0.86	0.06	1	0.37	-0.33	0.62	-0.14	0.07	0.17
Pb	0.20	0.22	-0.23	0.43	0.20	-0.02	0.15	0.32	0.78	-0.44	0.54	0.11	-0.24	0.23	0.50	0.49	-0.60	0.37	1	-0.32	0.53	-0.31	0.29	0.55
Sr	-0.14	0.27	-0.22	-0.92	-0.64	-0.81	-0.95	-0.86	-0.36	0.95	0.21	0.36	0.94	0.35	-0.76	-0.34	-0.36	-0.33	-0.32	1	-0.06	0.45	0.15	-0.48
V	0.15	0.17	-0.18	0.24	0.23	-0.07	-0.04	0.27	0.55	-0.15	0.33	0.42	-0.03	0.13	0.49	0.50	-0.59	0.62	0.53	-0.06	1	-0.16	0.30	0.21
MO	-0.15	0.18	-0.13	-0.43	-0.12	-0.27	-0.40	-0.41	-0.14	0.48	-0.12	0.19	0.39	0.26	-0.39	-0.20	-0.06	-0.14	-0.31	0.45	-0.16	1	-0.42	-0.40
CaCO ₃	0.15	0.38	-0.37	-0.14	-0.10	-0.22	-0.21	-0.14	0.10	0.12	0.28	0.27	0.18	-0.03	-0.07	0.00	-0.41	0.07	0.29	0.15	0.30	-0.42	1	-0.07
SM	0.36	0.08	-0.14	0.57	-0.12	-0.05	0.29	0.44	0.31	-0.69	0.09	-0.37	-0.40	-0.15	0.54	0.30	-0.14	0.17	0.55	-0.48	0.21	-0.40	-0.07	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha=0.05$ (prueba bilateral)

Anexo 73. Análisis factorial: matriz de coeficientes de correlaciones de Pearson para el núcleo de sedimento C2 del lago Chapala.

	Arcilla	Limo	Arena	Al	Li	Rb	Th	Fe	Zn	Mn	Ag	As	Ca	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	V	OM	CaCO ₃	MS
Arcilla	1	0.22	-0.49	-0.50	-0.05	-0.15	-0.38	-0.32	0.93	0.58	0.42	-0.36	0.06	0.45	-0.05	0.27	-0.19	0.47	-0.19	0.10	-0.07	0.31	-0.05	-0.03
Limo	0.22	1	-0.96	-0.33	0.19	0.00	-0.17	-0.55	0.09	0.50	-0.05	0.18	0.60	0.43	-0.41	0.36	0.22	0.29	-0.25	0.37	-0.14	0.39	0.51	-0.29
Arena	-0.49	-0.96	1	0.44	-0.16	0.05	0.27	0.59	-0.36	-0.62	-0.08	-0.05	-0.55	-0.52	0.38	-0.40	-0.14	-0.40	0.28	-0.36	0.15	-0.44	-0.44	0.27
Al	-0.50	-0.33	0.44	1	-0.15	-0.16	0.27	0.84	-0.58	-0.91	0.18	-0.21	-0.56	-0.78	0.76	-0.49	-0.11	-0.63	0.44	-0.44	0.47	-0.79	-0.14	0.59
Li	-0.05	0.19	-0.16	-0.15	1	0.95	0.77	-0.03	0.22	0.20	0.02	0.32	-0.18	0.49	-0.47	0.24	0.37	0.47	-0.01	-0.57	-0.68	0.66	0.62	-0.86
Rb	-0.15	0.00	0.05	-0.16	0.95	1	0.86	0.03	0.15	0.09	-0.03	0.43	-0.29	0.42	-0.48	0.13	0.32	0.45	0.03	-0.65	-0.74	0.60	0.53	-0.86
Th	-0.38	-0.17	0.27	0.27	0.77	0.86	1	0.38	-0.15	-0.39	-0.12	0.23	-0.62	-0.05	-0.18	-0.22	0.43	0.04	0.12	-0.87	-0.62	0.15	0.27	-0.55
Fe	-0.32	-0.55	0.59	0.84	-0.03	0.03	0.38	1	-0.31	-0.84	0.34	-0.14	-0.75	-0.52	0.82	-0.25	-0.21	-0.26	0.60	-0.63	0.42	-0.67	-0.21	0.45
Zn	0.93	0.09	-0.36	-0.58	0.22	0.15	-0.15	-0.31	1	0.63	0.37	-0.29	-0.04	0.59	-0.19	0.37	-0.08	0.62	-0.15	-0.07	-0.29	0.53	0.00	-0.30
Mn	0.58	0.50	-0.62	-0.91	0.20	0.09	-0.39	-0.84	0.63	1	0.03	0.16	0.70	0.85	-0.64	0.65	-0.02	0.68	-0.33	0.54	-0.29	0.83	0.32	-0.54
Ag	0.42	-0.05	-0.08	0.18	0.02	-0.03	-0.12	0.34	0.37	0.03	1	0.13	-0.06	0.21	0.50	0.31	-0.81	0.46	0.66	-0.12	0.46	0.00	0.32	0.18
As	-0.36	0.18	-0.05	-0.21	0.32	0.43	0.23	-0.14	-0.29	0.16	0.13	1	0.39	0.44	-0.37	0.26	-0.32	0.42	0.18	0.08	-0.09	0.35	0.68	-0.47
Ca	0.06	0.60	-0.55	-0.56	-0.18	-0.29	-0.62	-0.75	-0.04	0.70	-0.06	0.39	1	0.49	-0.44	0.50	-0.20	0.29	-0.19	0.89	0.17	0.44	0.37	-0.16
Cd	0.45	0.43	-0.52	-0.78	0.49	0.42	-0.05	-0.52	0.59	0.85	0.21	0.44	0.49	1	-0.55	0.80	-0.08	0.92	-0.05	0.22	-0.33	0.87	0.51	-0.71
Cr	-0.05	-0.41	0.38	0.76	-0.47	-0.48	-0.18	0.82	-0.19	-0.64	0.50	-0.37	-0.44	-0.55	1	-0.12	-0.46	-0.30	0.62	-0.17	0.79	-0.78	-0.38	0.81
Cu	0.27	0.36	-0.40	-0.49	0.24	0.13	-0.22	-0.25	0.37	0.65	0.31	0.26	0.50	0.80	-0.12	1	-0.18	0.83	0.36	0.36	0.06	0.59	0.25	-0.37
Hg	-0.19	0.22	-0.14	-0.11	0.37	0.32	0.43	-0.21	-0.08	-0.02	-0.81	-0.32	-0.20	-0.08	-0.46	-0.18	1	-0.25	-0.53	-0.25	-0.69	0.16	-0.21	-0.38
Ni	0.47	0.29	-0.40	-0.63	0.47	0.45	0.04	-0.26	0.62	0.68	0.46	0.42	0.29	0.92	-0.30	0.83	-0.25	1	0.26	0.05	-0.22	0.75	0.45	-0.61
Pb	-0.19	-0.25	0.28	0.44	-0.01	0.03	0.12	0.60	-0.15	-0.33	0.66	0.18	-0.19	-0.05	0.62	0.36	-0.53	0.26	1	-0.19	0.43	-0.20	0.01	0.22
Sr	0.10	0.37	-0.36	-0.44	-0.57	-0.65	-0.87	-0.63	-0.07	0.54	-0.12	0.08	0.89	0.22	-0.17	0.36	-0.25	0.05	-0.19	1	0.40	0.12	-0.04	0.22
V	-0.07	-0.14	0.15	0.47	-0.68	-0.74	-0.62	0.42	-0.29	-0.29	0.46	-0.09	0.17	-0.33	0.79	0.06	-0.69	-0.22	0.43	0.40	1	-0.63	-0.16	0.81
OM	0.31	0.39	-0.44	-0.79	0.66	0.60	0.15	-0.67	0.53	0.83	0.00	0.35	0.44	0.87	-0.78	0.59	0.16	0.75	-0.20	0.12	-0.63	1	0.53	-0.89
CaCO ₃	-0.05	0.51	-0.44	-0.14	0.62	0.53	0.27	-0.21	0.00	0.32	0.32	0.68	0.37	0.51	-0.38	0.25	-0.21	0.45	0.01	-0.04	-0.16	0.53	1	-0.57
MS	-0.03	-0.29	0.27	0.59	-0.86	-0.86	-0.55	0.45	-0.30	-0.54	0.18	-0.47	-0.16	-0.71	0.81	-0.37	-0.38	-0.61	0.22	0.22	0.81	-0.89	-0.57	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha=0.05$ (prueba bilateral)

Anexo 74. Análisis de componentes principales: matriz de coeficientes de correlaciones de Pearson para el lago Santa Elena.

	*CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9
CB1	1	0.63	-0.29	-0.46	-0.09	-0.11	-0.09	-0.08	-0.08
CB2	0.63	1	0.41	0.01	-0.48	-0.60	-0.50	-0.45	-0.46
CB3	-0.29	0.41	1	0.37	-0.32	-0.67	-0.56	-0.51	-0.52
CB4	-0.46	0.01	0.37	1	-0.40	-0.63	-0.54	-0.49	-0.50
CB5	-0.09	-0.48	-0.32	-0.40	1	0.32	-0.04	-0.07	-0.05
CB6	-0.11	-0.60	-0.67	-0.63	0.32	1	0.86	0.72	0.73
CB7	-0.09	-0.50	-0.56	-0.54	-0.04	0.86	1	0.96	0.96
CB8	-0.08	-0.45	-0.51	-0.49	-0.07	0.72	0.96	1	1.00
CB9	-0.08	-0.46	-0.52	-0.50	-0.05	0.73	0.96	1.00	1

*CB = grado de cloración

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha=0.05$ (prueba bilateral)

Anexo 75. Análisis de componentes principales: matriz de coeficientes de correlaciones de Pearson para el lago Chapala.

	*CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9
CB1	1	0.14	-0.32	-0.17	-0.05	-0.11	-0.08	-0.05	-0.06
CB2	0.14	1	0.56	-0.32	-0.59	-0.52	-0.53	-0.36	-0.36
CB3	-0.32	0.56	1	-0.21	-0.51	-0.57	-0.56	-0.43	-0.42
CB4	-0.17	-0.32	-0.21	1	-0.01	-0.34	-0.20	-0.21	-0.22
CB5	-0.05	-0.59	-0.51	-0.01	1	0.35	0.09	-0.04	-0.03
CB6	-0.11	-0.52	-0.57	-0.34	0.35	1	0.75	0.55	0.56
CB7	-0.08	-0.53	-0.56	-0.20	0.09	0.75	1	0.84	0.84
CB8	-0.05	-0.36	-0.43	-0.21	-0.04	0.55	0.84	1	1.00
CB9	-0.06	-0.36	-0.42	-0.22	-0.03	0.56	0.84	1.00	1

*CB = grado de cloración

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha=0.05$ (prueba bilateral)

Anexo 76. Minerales observados en los sedimentos de los lagos Santa Elena y Chapala.

Mineral	Composición	Ocurrencia*
<u>Minerales de carbonatos</u>		
Calcita	CaCO_3	D, E, A
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	D
<u>Minerales de fosfatos</u>		
Apatita	$\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_3\text{F}_2$	D, A
<u>Hidróxidos</u>		
Gibbsite	$\text{Al}(\text{OH})_3$	D
<u>Minerales de silicatos</u>		
<i>Tectosilicatos: grupo de la sílice</i>		
Anfiboles	$\text{NaCa}_3\text{KMg}_6\text{Fe}_4\text{Al}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{44}(\text{OH})_4$	D
Cristobalita	SiO_2	D
Tridimita	SiO_2	D
Cuarzo	SiO_2	D
<i>Feldespatos</i>		
Microclina	KAlSi_3O_8	D
Sanidina	$(\text{K}, \text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	D
Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	D
Plagioclasa	$\text{Al}_3\text{Ca}_{0.5}\text{Si}_3\text{O}_{11}$	D
<i>Filosilicatos</i>		
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	D, A
Clinocloro	$\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	D
Montmorillonita	$(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	D, A
<i>Inosilicatos: grupo piroxeno</i>		
Augita	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$	D
<u>Sulfuros</u>		
Pirita	FeS_2	D, E, A

*A=autigénico; E=endogénico; D=detrítico.

Anexo 77. Glosario mineralógico.

77.1. Minerales de carbonatos

Los minerales de carbonatos son compuestos formados por la unión de un metaloide o un metal (K, Ca, Mn, Fe, Zn, Pb) al anión CO_3^{2-} . Estos minerales forman masas extensivas en rocas sedimentarias y metamórficas, aunque también se encuentran en depósitos hidrotermales junto a minerales del grupo de los sulfuros (Berry y Mason, 1959). En los sedimentos lacustres los minerales de carbonatos pueden proporcionar información sobre la composición química del agua así como la evolución temporal de los niveles de salinidad durante el periodo de formación de los minerales (Kienel *et al.*, 2009). Un ejemplo es el efecto directo que tienen los periodos de evaporación extraordinarios en el aumento en la salinidad; esto ocasiona que aumenten las concentraciones de Mg, favoreciendo así la formación de minerales autóctonos como Mg-calcita, aragonita y dolomita. Por otro lado, en los lagos donde su cuenca hidrográfica está constituida por rocas carbonatadas (p.ej. calizas y dolomitas), el arrastre por escorrentías del material erosionado puede importar minerales de carbonatos alóctonos hacia los sedimentos junto con el detritus terrígeno. Al llegar a los sedimentos, los minerales de carbonatos autóctonos y alóctonos son parcialmente reactivos a los procesos de disolución y reemplazo bajo condiciones de diagénesis (Cohen, 2003; Boggs, 2009).

- La calcita es el principal constituyente de las calizas sedimentarias y metamórficas, aunque también se encuentra en las cavidades de rocas ígneas asociada a las zeolitas. Junto con el cuarzo, la calcita es uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre (Kerr, 1965). En lagos de aguas duras ($> 100 \text{ mg L}^{-1}$ de CaCO_3) existe precipitación directa de carbonatos del tipo calcita, monohidrocalcita, Mg-calcita y aragonita. Éste mineral también puede precipitar a través de reacciones biogeoquímicas mediadas por ejemplo, por florecimientos de diatomeas y fitoplancton. En los lagos de baja salinidad, la formación de calcita es habitual, mientras que la Mg-calcita y la aragonita precipitan en cuerpos de agua salobres y salinos (Harris, 2003; Reading, 2009).
- La dolomita se origina a partir de la alteración diagenética de calizas o corales que están en contacto con soluciones de magnesio, en sedimentos ricos en materia orgánica donde la sulfato reducción y la metanogénesis están activas. A este proceso se le conoce como dolomitización. En sistemas lacustres, la dolomita se produce en aguas salobres o con alta proporción Mg/Ca (Berry y Mason, 1959; Mackenzie, 2005). Éste mineral también puede producirse por hidrotermalismo, a partir del enfriamiento de los fluidos que ascienden a través de las fallas geológicas (Braithwaite *et al.*, 2004).

77.2. Minerales de fosfato

Los minerales de fosfatos tienen una amplia distribución como constituyentes de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. El fósforo representa cerca del 0.1 % de la corteza terrestre, en su mayoría se encuentra en minerales del grupo de la apatita como hidroxiapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) o fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$). Procesos como el intemperismo liberan a estos minerales, los cuales al llegar a los lagos son fácilmente adsorbidos por los hidróxidos de Fe presentes en la columna de agua. En los sedimentos y en condiciones reducidas, el Fe^{+3} se reduce liberando los minerales de fosfatos adsorbidos hacia el agua intersticial. Asimismo, condiciones de pH básico inducen la liberación de los fosfatos que pueden precipitar nuevamente como P-minerales o ser adsorbidos sobre los minerales de carbonatos (Cohen, 2003).

- La apatita ocurre en materiales criptocristalinos formando recubrimientos sobre rocas fosfatadas o ígneas tipo alcalinas y ácidas. También se presenta en rocas metamórficas asociado a minerales de piroxenos, anfíbol, flogopita y espinela. Los miembros del grupo apatita se dividen en dos series: 1) serie apatita y 2) serie piromorfita. La serie apatita incluye al fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), chlorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$), hidroxiapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) y carbonato-apatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{CO}_3)\text{H}_2\text{O}$). Aquí, el Sr, Mn, Ce y en menor medida el Na sustituyen al Ca. Los miembros de esta serie son los minerales fosfatados más abundantes en la corteza terrestre (e.g., fluorapatita y carbonato-apatita). En la serie piromorfita el principal metal que sustituye al calcio es el Pb. Se incluyen a los minerales piromorfita ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$), mimetita ($\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$) y vanadinita ($\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$) (Berry y Mason, 1959). En los sistemas lacustres la mayoría del fósforo orgánico que llega a los sedimentos es degradado e hidrolizado. Por tanto, una parte importante del fósforo en este reservorio es inorgánico y proviene de la cuenca de drenaje en forma mineral de apatita (Wetzel, 2001).

77.3. Hidróxidos

Los hidróxidos son los compuestos formados a partir de la unión de un metal (p.ej. Al, V, Cr, Pb y Hg) con un ion hidroxilo (OH^{-1}), donde el hidrógeno puede actuar como catión (H^{+}) o como agente de hidratación (Berry y Mason, 1959). Por lo general, los hidróxidos se originan a partir de la alteración (p.ej. intemperismo) de minerales preexistentes (Hefferan y O'Brien, 2010).

- La gibsitita forma parte de los minerales de bauxitas, que es el término genérico para las rocas ricas en hidróxidos de aluminio. Las bauxitas se forman a partir de los procesos de meteorización que ocurren en las regiones cálidas y húmedas en las que los ácidos orgánicos derivados de la espesa vegetación son abundantes. A este proceso se le llama lateritización y la

gibbsite es una de las formas dominantes de los óxidos de aluminio. El tiempo de cristalización de los hidróxidos de aluminio determina la formación del producto final, donde una cristalización rápida induce la creación del mineral bayerita, mientras que una cristalización lenta da como resultado la formación de gibbsite. Por tanto, la presencia y abundancia del mineral gibbsite se explica a través de las condiciones ambientales (ej. clima tropical-húmedo) que favorecen su formación (Kerr, 1965; Karamalidis y Dzomnak, 2010).

77.4. Minerales de silicatos

Cerca del 95% de la corteza terrestre está compuesta por minerales de silicatos, de los cuales el 60% son feldespatos y el 12% son cuarzos. La abundancia de silicatos y aluminosilicatos es un reflejo de la cantidad de oxígeno (47%), silicio (28%) y aluminio (8%) presente en la corteza terrestre. La estructura cristalina básica de los minerales de silicatos es un tetraedro isométrico. En ésta configuración cristalina el átomo de silicio se encuentra al centro de la estructura mientras que los átomos de oxígeno ocupan las esquinas. La manera en que interactúan los tetraedros determina la forma del mineral de silicato, así pueden formar grupos independientes, estructuras laminares o dobles, en forma de anillo, cadena o redes tridimensionales (Chesterman, 1978).

Tectosilicatos: minerales no arcillosos

Son el grupo más grande de la división estructural de los silicatos. Los miembros de esta serie forman un reticulado continuo tridimensional debido a que los iones de oxígeno en el tetraedro de SiO_4 están compartidos con los tetraedros vecinos, dando lugar a una estructura con fuertes enlaces, en la que la relación Si:O es 1:2 (Kerr, 1965; Klein y Hurlbut, 2003).

Grupo de la sílice

Aquí se incluyen a los minerales anfíboles, cristobalita, cuarzo y tridimita. El cuarzo es el mineral más abundante dentro del grupo, seguido por la cristobalita y la tridimita que tienen una amplia distribución en las rocas volcánicas. Una característica del grupo de la sílice es que las variaciones estructurales de estos minerales produce diferencias de densidad, donde: cuarzo > cristobalita > tridimita (Berry y Mason, 1959).

- Los anfíboles son minerales paramagnéticos que se originan a partir de rocas máficas. Son silicatos que forman prismas o cristales en forma de aguja, comúnmente relacionados a dolomitas silíceas y sus estructuras cristalinas contienen agua y elementos como Fe, Mg, Ca y Al, en diferentes cantidades. Este mineral se preserva bien en sedimentos detríticos jóvenes (< 1000 años) (Tabor y Haugerud, 2002; Mange y Wright, 2007).

- La cristobalita puede formarse durante periodos de alteración magmática temprana o tardía dependiendo de la secuencia de cristalización del mineral. Se encuentra en las cavidades de rocas volcánicas (obsidiana, riolita, andesita, auganita, basalto) formando agregados o de forma intercalada entre las fibras feldespáticas de esferulitas (Del gr. *sphaira* = esfera y *lithos* = roca; son matrices vítreas compuestas por feldespatos alcalinos y polimorfos de SiO₂) (Rogers, 1928; Kerr, 1965; Elias, 2009). Durante el proceso de diagénesis sedimentaria, las diatomeas pueden transformarse de forma secuencial en distintas fases minerales de la sílice; primero en una forma desordenada de cristobalita/tridimita y eventualmente en cuarzos o pizarras (Larsen y Chilingar, 1979; Smol y Stoermer, 2010).
- La tridimita es un mineral característico de las rocas volcánicas del tipo obsidiana, riolitas y andesita, con rara ocurrencia en sedimentos detríticos. De la misma manera que la cristobalita, la tridimita es considerada como una variación del mineral cuarzo (SiO₂). Generalmente se presenta como agregados cristalinos porosos o en forma de diminutos cristales euhédricos (i.e. bien desarrollado) forrando cavidades rocosas (Higueras-Higueras, 1995; Boggs, 2009).
- El cuarzo es uno de los minerales detríticos más comunes. Se encuentra en muchos tipos de rocas como mineral esencial, accesorio o secundario. Es abundante en las areniscas, arenas, cuarcitas, granitos y riolitas (Kerr, 1965). Igual que la cristobalita y la tridimita, el cuarzo presentan polimorfismo a alta (α) y baja (β) temperatura. El Cuarzo- α (cuarzo-bajo) es un mineral hidrotermal típico que se forma a temperaturas por debajo de los 575°C. El polimorfismo del cuarzo a alta (>575°C) o baja temperatura no rompe las uniones entre los tetraedros de SiO₄ que integran la estructura mineral sino que desplaza y rota la estructura cristalina sin romper ninguna unión. El cuarzo- α ocurre como una ampliación secundaria de granos de arenas y areniscas, así como en rocas sedimentarias (Rogers, 1928; Berry y Mason, 1959).

Feldespatos

Basados en su composición química, los feldespatos pueden dividirse en dos grupos minerales: 1) los feldespatos plagioclasas y 2) los feldespatos potásicos. Los feldespatos plagioclasas son una serie continua de minerales, donde Ca y Na pueden sustituirse mutuamente dentro de sus estructuras cristalinas. Las plagioclasas son minerales comunes en rocas ígneas y metamórficas, y debido a las similitudes estructurales todas las variedades de estos minerales tienen propiedades semejantes (Kerr, 1965).

- La microclina es un constituyente principal de rocas ígneas y metamórficas como granitos y sienitas que se enfriaron lentamente en intrusiones profundas, formando cristales euhédricos. La microclina es un mineral común en sedimentos detríticos (Klein y Philpotts, 2013).
- La albita es un mineral común en la corteza terrestre y en relación a otros feldespatos es químicamente más estable durante los procesos de sedimentación. La albita autigénica comúnmente se forma en rocas carbonatadas, mientras que la albita de baja temperatura es de origen magmático (Aldahan *et al.*, 1999).
- La plagioclasa son un tipo de minerales característicos de las rocas ígneas intermedias y máficas, así como de rocas metamórficas de alto grado y rocas carbonatadas metamórficas. Generalmente se asocian a la biotita, anfíboles y piroxenos (Biscaye *et al.*, 1965).
- La sanidina es un feldespato potásico polimorfo de alta temperatura que ocurre en forma de fenocristales (i.e. cristal de tamaño mucho mayor que la materia que le rodea) en rocas volcánicas (e.g. riolita, traquita) que se han enfriado rápidamente (Klein y Philpotts, 2013).

Filosilicatos: minerales arcillosos

Los filosilicatos son minerales ampliamente distribuidos en sedimentos, rocas sedimentarias, depósitos hidrotermales y en la mayoría de los suelos. Existen dos clases de filosilicatos, denominados primarios y secundarios. Los filosilicatos primarios se forman bajo las mismas condiciones que las rocas ígneas y metamórficas, mientras que los secundarios son producto de la meteorización o transformación de minerales preexistentes. Un ejemplo de filosilicatos secundarios son las arcillas en los suelos. Los filosilicatos se caracterizan por una estructura organizada con base en hojas de tetraedros de sílice SiO_4 y de octaedros de alúmina (AlO_6) o $\text{Al}(\text{OH})_6$, en forma de trama hexagonal. Por sustitución isomórfica los tetraedros pueden ser de aluminio (AlO_4) y los octaedros magnésicos, ferrosos o incluir otros metales. Todos los filosilicatos son hidratados (Besoain, 1985).

- La caolinita es un producto del intemperismo químico de feldespatos de potasio y micas de moscovita en rocas graníticas. Es un mineral abundante en regiones tropicales con climas húmedos donde el fenómeno de hidrólisis sobre las arcillas es fuerte y continuo. En las rocas ígneas y metamórficas la caolinita tiende a formarse durante las etapas tempranas de intemperismo de los minerales ricos en Fe, Mg y Ca; por ejemplo, cuando las esmécticas se encuentra en capas sedimentarias profundas estas gradualmente se transforma en caolinita estable a través de una combinación de tiempo y temperatura (He *et al.*, 2013a).
- El clinocloro es un aluminosilicato hidratado de Fe y Mg que pertenece al grupo de la clorita. El clinocloro es un mineral de origen secundario que se desarrolla a partir de rocas ígneas

alteradas. En los sedimentos, la presencia de clinocloro indica una fuerte influencia de detritos continentales (Saccà *et al.*, 2011).

- La montmorillonita es el mineral arcilloso dominante en las cenizas volcánicas alteradas. Se forma en ambientes que favorecen la existencia de un medio alcalino, en condiciones áridas o de drenaje restringido. La montmorillonita es un componente común de las pizarras, que son rocas metamórficas de grano fino y a veces aparece como material de alteración en diques de pegmatita (Berry y Mason, 1959). En su estructura cristalina los átomos de Al puede ser sustituido por Fe o Mg, y parte del Si por Al; estas sustituciones catiónicas dan lugar a una deficiencia de cargas positivas dentro de la estructura, lo que produce una carga neta negativa. Debido a esto, la montmorillonita posee una capacidad relativamente alta para atraer cationes, como el Ca^{+2} . Además posee una red cristalina expandible que le permite absorber moléculas de agua entre sus hojas (Thompson y Troeh, 2002).

Inosilicatos: estructuras en cadena

En los inosilicatos, los tetraedros de SiO_4 están enlazados a través de los átomos de oxígeno formando cadenas sencillas. Estas cadenas pueden unirse después lateralmente y formar bandas o cadenas dobles. En la estructura de cadena sencillas dos de los cuatro oxígenos del tetraedro son compartidos con los tetraedros vecinos dando una relación $\text{Si}:\text{O} = 1:3$. En la estructura de bandas, la mitad de los tetraedros comparten tres oxígenos y la otra mitad solo dos, con lo cual la relación es $\text{Si}:\text{O} = 4:11$. Existen dos grupos importantes de inosilicatos: los piroxenos que son de cadena única y los anfíboles que son de cadena doble (Klein y Hurlbut, 2003).

Grupo piroxeno

Son metasilicatos que forman a las rocas primigenias, ya que cristalizan a temperaturas más elevadas que sus análogos anfíboles. Este grupo mineral se forma en las rocas metamórficas ricas en Mg y Fe (Klein y Hurlbut, 2003).

- La augita es el piroxeno más común, considerado un mineral detrítico corriente. Se encuentra en rocas ígneas oscuras, tales como lavas basálticas e intrusivas, peridotitas, gabros y andesita. Las augitas son frecuentes en zonas de rocas enfriadas rápidamente como los basaltos lunares (Kerr, 1965; Klein y Hurlbut, 2003).

77.5. Sulfuros

Los sulfuros son un grupo de minerales en su mayoría metálicos donde el átomo de S puede ser sustituido por As, Sb, Bi, Se o Te (Berry y Mason, 1959). En los minerales de sulfuros más simples se encuentra una coordinación tetraédrica u octaédrica regular alrededor del azufre, mientras que en los

sulfuros más complejos pueden encontrarse poliedros de coordinación distorsionada. Muchos de los sulfuros tienen enlaces iónicos y covalentes, mientras que otros que poseen enlaces metálicos parciales (Klein y Hurlbut, 2003).

- La pirita o disulfuro de hierro es considerado el mineral de sulfuro más común por su extensa distribución en distintos ambientes geológicos como: 1) mineral accesorio en rocas ígneas ácidas y básicas; 2) en segregaciones magmáticas (p.ej. pegmatitas graníticas) asociada a minerales como cuarzo, microclina y biotita; 3) dentro de un amplio intervalo de temperaturas en vetas hidrotermales de sulfuro o yacimientos de sustitución y 4) en rocas sedimentarias y metamórficas (Berry y Mason, 1959). La pirita puede formar cristales euhédricos, granos irregulares y masas, donde Ni y Co pueden sustituir al átomo de Fe dentro de la estructura cristalina. La pirita tiene importancia comercial como fuente de azufre para la manufactura de ácido sulfúrico, así como en la extracción de oro (Kerr, 1965; Chesterman, 1978).