



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**



**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES METALÚRGICAS**

**MAESTRÍA EN GEOCIENCIA Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO**

**INFLUENCIA CLIMÁTICA Y ANTROPOGÉNICA SOBRE LA  
VEGETACIÓN DURANTE EL HOLOCENO EN EL BAJÍO MEXICANO**

**TESIS.**

**Que para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN GEOCIENCIAS Y PLANIFICACIÓN DEL  
TERRITORIO**

**PRESENTA**

**VALERIO CASTRO LÓPEZ**

**ASESORA**

**Dra. GABRIELA DOMÍNGUEZ VÁZQUEZ**

**Morelia, Michoacán Julio del 2013**



# ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 El Holoceno en México .....	12
2.2 Registros de sequías en el centro de México .....	13
2.3 Registros de los primeros pobladores en la región del Bajío mexicano.....	15
2.4 Inicio de la agricultura desde punto de vista antropológico .....	16
2.5 Registros palinológicos sobre el inicio de la agricultura en México .....	17
2.6 Dinámica de los incendios forestales .....	18
<b>3. ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>20</b>
3.1 Localización.....	20
3.2 Marco geológico .....	22
3.3 Composición de la vegetación del Bajío mexicano.....	25
<b>4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....</b>	<b>27</b>
4.1 Objetivo general .....	27
4.2 Objetivos particulares.....	27
4.3 Hipótesis .....	27
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>28</b>
5.1 Trabajo de campo .....	28
5.2 Trabajo de laboratorio.....	29
5.2.1 <i>Geocronología</i> .....	29
5.2.2 <i>Estratigrafía</i> .....	30
5.2.3 <i>Preparación de muestra de sedimentos para obtener el polen</i> .....	30
5.2.4 <i>Preparación de muestra de sedimentos para obtener las macropartículas carbonizadas</i> ....	31
5.2.5 <i>Susceptibilidad magnética</i> .....	31
5.2.6 <i>Análisis químicos semi-cuantitativos por energía de dispersión (EDS) por medio de un microscopio electrónico de barrido</i> .....	32
<b>6. RESULTADOS DEL LAGO CRÁTER DE RINCÓN DE PARANGUEO, GUANAJUATO.....</b>	<b>34</b>
6.1 Estratigrafía del cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato.....	35
6.1.1 <i>Descripción de la unidad D (600 cm a 500 cm)</i> .....	37
6.1.2 <i>Descripción de la unidad C (500 cm a 260 cm)</i> .....	38

6.1.3	<i>Descripción de la unidad B (260 cm a 100 cm)</i> .....	39
6.1.4	<i>Descripción de la unidad A (100 cm a 0 cm)</i> .....	40
6.2	Geocronología isotópica de <sup>14</sup> C del cráter Rincón de Parangueo, Guanajuato.....	41
6.3	Análisis polínico del lago cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato.....	42
6.3.1	<i>Zona V (600 cm-545 cm) 11579 años a.P. a 11207 años a.P.</i> .....	42
6.3.2	<i>Zona IVb (545 cm-430 cm) 11207 años a.P. a 9186 años a.P.</i> .....	43
6.3.3	<i>Zona IVa (430 cm-380 cm) 9186 años a.P. a 8333 años a.P.</i> .....	43
6.3.4	<i>Zona IIIc (380 cm-270 cm) 8333 años a.P. a 6566 años a.P.</i> .....	44
6.3.5	<i>Zona IIIb (270 cm-200 cm) 6566 años a.P. a 5441 años a.P.</i> .....	44
6.3.6	<i>Zona IIIa (200 cm-170 cm) 5441 años a.P. a 4960 años a.P.</i> .....	45
6.3.7	<i>Zona II (170 cm-80 cm) 4960 años a.P. a 2983 años a.P.</i> .....	46
6.3.8	<i>Zona I (80 cm-5 cm) 2983 años a.P. a 186 años a.P.</i> .....	47
6.4	Análisis de macropartículas carbonizadas del lago cráter Rincón de Parangueo, Guanajuato ..	48
6.4.1	<i>Zona V (600 cm-545 cm) 11579 años a.P. a 11207 años a.P.</i> .....	48
6.4.2	<i>Zona IVb (545 cm-430 cm) 11207 años a.P. a 9186 años a.P.</i> .....	48
6.4.3	<i>Zona IVa (430 cm-380 cm) 9186 años a.P. a 8333 años a.P.</i> .....	48
6.4.4	<i>Zona IIIc (380 cm-270 cm) 8333 años a.P. a 6566 años a.P.</i> .....	48
6.4.5	<i>Zona IIIb (270 cm-200 cm) 6566 años a.P. a 5441 años a.P.</i> .....	49
6.4.6	<i>Zona IIIa (200 cm-170 cm) 5441 años a.P. a 4960 años a.P.</i> .....	49
6.4.7	<i>Zona II (170 cm-80 cm) 4960 años a.P. a 2983 años a.P.</i> .....	49
6.4.8	<i>Zona I (80 cm-5 cm) 2983 años a.P. a 186 años a.P.</i> .....	49
6.5	Análisis de susceptibilidad magnética del cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato .....	51
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS DEL LAGO CRÁTER LA ALBERCA DE VALLE DE SANTIAGO, GUANAJUATO ...</b>	<b>52</b>
7.1	Estratigrafía del cráter La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.....	53
7.1.1	<i>Descripción de la unidad E (900 cm a 630 cm)</i> .....	55
7.1.2	<i>Descripción de la unidad D (630 cm a 450 cm)</i> .....	56
7.1.3	<i>Descripción de la unidad C (450 cm a 160 cm)</i> .....	57
7.1.4	<i>Descripción de la unidad B (160 cm a 100 cm)</i> .....	58
7.1.5	<i>Descripción de la unidad A (100 cm a 0 cm)</i> .....	59
7.2	Geocronología isotópica del cráter La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato .....	60
7.3	Análisis polínico de La Alberca Valle Santiago, Guanajuato.....	61
7.3.1	<i>Zona VII (800 cm-750 cm) 6672 años a.P. a 5365 años a.P.</i> .....	61

7.3.2	Zona VIb (750 cm-660 cm) 5365 años a.P. a 4438 años a.P.....	62
7.3.3	Zona VIa (660 cm-535 cm) 4438 años a.P. a 3152 años a.P.....	62
7.3.4	Zona Vb (535 cm-400 cm) 3152 años a.P. a 2047 años a.P. ....	63
7.3.5	Zona Va (400 cm-375 cm) 2047 años a.P. a 1920 años a.P. ....	64
7.3.6	Zona IVb (375 cm-250 cm) 1920 años a.P. a 1279 años a.P.....	64
7.3.7	Zona IVa (250 cm-200 cm) 1279 años a.P. a 1024 años a.P.....	65
7.3.8	Zona III (200 cm-165 cm) 1024 años a.P. a 844 años a.P. ....	66
7.3.9	Zona IIb (165 cm-80 cm) 844 años a.P. a 409 años a.P. ....	67
7.3.10	Zona IIa (80 cm-45 cm) 409 años a.P. a 230 años a.P. ....	67
7.3.11	Zona I (45 cm-5 cm) 230 años a.P. a 128 años a.P. ....	68
7.4	Análisis de macropartículas carbonizadas de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.....	72
7.4.1	Zona VII (800 cm-750 cm) 6672 años a.P. a 5365 años a.P.....	72
7.4.2	Zona VIIb (750 cm-660 cm) 5365 años a.P. a 4438 años a.P.....	72
7.4.3	Zona VIa (660 cm-535 cm) 4438 años a.P. a 3152 años a.P.....	72
7.4.4	Zona Vb (535 cm-400 cm) 3152 años a.P. a 2047 años a.P. ....	72
7.4.5	Zona Va (400 cm-375 cm) 2047 años a.P. a 1920 años a.P. ....	72
7.4.6	Zona IVb (375 cm-250 cm) 1920 años a.P. a 1279 años a.P.....	72
7.4.7	Zona IVa (250 cm-200 cm) 1279 años a.P. a 1024 años a.P.....	73
7.4.8	Zona III (200 cm-165 cm) 1024 años a.P. a 844 años a.P. ....	73
7.4.9	Zona IIb (165 cm-80 cm) 844 años a.P. a 409 años a.P. ....	73
7.4.10	Zona IIa (80 cm-45 cm) 409 años a.P. a 230 años a.P. ....	73
7.4.11	Zona I (45 cm-5 cm) 230 años a.P. a 128 años a.P. ....	73
7.5	Resultados del análisis químico del cráter La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato .....	75
7.5.1	Zona VIa (660 cm-535 cm) 4438 años a.P. a 3152 años a.P.....	75
7.5.2	Zona Vb (535 cm-400 cm) 3152 años a.P. a 2047 años a.P. ....	75
7.5.3	Zona Va (400 cm-375 cm) 2047 años a.P. a 1920 años a.P. ....	76
7.5.4	Zona IVb (375 cm-250 cm) 1920 años a.P. a 1279 años a.P.....	76
7.5.5	Zona IVa (250 cm-200 cm) 1279 años a.P. a 1024 años a.P.....	76
7.5.6	Zona III (200 cm-165 cm) 1024 años a.P. a 844 años a.P. ....	77
7.5.7	Zona IIb (165 cm-80 cm) 844 años a.P. a 409 años a.P. ....	77
7.5.8	Zona IIa (80 cm-45 cm) 409 años a.P. a 230 años a.P. ....	77
7.5.9	Zona I (45 cm-5 cm) 230 años a.P. a 128 años a.P. ....	78

7.6	Análisis de susceptibilidad magnética de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.....	81
<b>8.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>82</b>
8.1	Condiciones paleoclimáticas del cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato.....	82
8.2	Condiciones paleoclimáticas del cráter de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.....	83
8.3	Comparación de los dos cráteres maares Rincón de Parangueo y La Alberca.....	84
8.4	Correlaciones de los eventos paleoclimáticos registrados en Rincón de Parangueo y La Alberca en relación con otros núcleos de sedimentos de México .....	87
8.5	Inicio de la agricultura en el Bajío mexicano .....	89
8.6	Efectos de los incendios forestales en la vegetación .....	90
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>94</b>

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Fecha mientos isotópicos de <sup>14</sup> C del cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato y su cálculo calibrado en años antes del presente.....	41
Tabla 2.	Fecha mientos isotópicos de <sup>14</sup> C de La Alberca de Valle de Santiago, Guanajuato y su cálculo calibrado en años antes del presente.....	60

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de localización de las localidades en donde se extrajeron los núcleos de sedimentos: La Alberca de Valle de Santiago y el lago cráter maar de Rincón de Parangueo, Guanajuato. ....	21
Figura 2.	Mapa de productos del maar de Rincón de Parangueo, Guanajuato b) Perfil topográfico del interior del cráter en dirección E-W (Tomado de Uribe-Cinfuente, 2006).....	23
Figura 3.	Mapa del maar de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato y perfil topográfico en dirección E-O del cráter, se observa una fuerte inclinación de sus paredes internas (Tomado de Uribe-Cinfuente, 2006). ....	24

Figura 4. Vista actual de la distribución de la vegetación de La Alberca, Valle de Santiago, Guanajuato. Observar el antiguo nivel del lago de línea blanca, así como restos de posible depósito de carbonatos en la pared. ....	26
Figura 5. Vista actual de los principales tipos de vegetación en Rincón de Parangueo, Guanajuato. Observar la abundancia de sales dentro del lago. ....	26
Figura 6. Método de extracción de los núcleos de sedimento en los dos cráteres tipo maar. A) Localizando el sitio más adecuado para la perforación en La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato. B) Extracción de los núcleos de sedimentos en el depocentro del cráter maar de Rincón de Parangueo, Guanajuato.....	28
Figura 7. A) Utilización del sondeador tipo Ruso en la extracción de los núcleos de sedimentos en La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato. B) Apreciar en el sondeador las facies de láminas y bandas en los sedimentos. ....	29
Figura 8. Equipo utilizado para el análisis elemental a través de espectrofotómetro de Difracción de Rayos X (DRX).....	33
Figura 9. Descripción de la columna estratigráfica general (600 cm a 0 cm), constituida en su mayoría por sedimentos arcillosos de Rincón de Parangueo, Guanajuato. ....	36
Figura 10. Descripción estratigráfica del paquete D (600 cm a 500 cm), compuesta por sedimentos arcillosos, sedimentos limosos y sedimentos limo-arcilloso.....	37
Figura 11. Descripción de la unidad C (500 cm a 260 cm), conformada en su mayoría por sedimentos arcillosos.....	38
Figura 12. Descripción estratigráfica de la unidad B (260 cm a 100 cm), constituida por sedimentos arcillosos, limosos y ceniza volcánica.....	39
Figura 13. Descripción estratigráfica de la unidad A (100 cm a 0 cm), compuesta por intercalaciones de sedimentos limosos, sedimentos arcillosos y sedimentos limo-arcillosas.....	40
Figura 14. Descripción de la columna estratigráfica general (900 cm a 0 cm), dividida en unidades litoestratigráficas de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato. ....	54
Figura 15. Estratigrafía de la unidad E (900 cm a 630 cm), constituida es su mayoría por sedimentos arcillosos y menor proporción sedimentos limosos. ....	55
Figura 16. Estratigrafía de la unidad D (630 cm a 450 cm), compuestas en su mayoría por facies laminares de arcillas. ....	56
Figura 17. Secuencia Estratigrafica de la unidad C (160 cm y 450 cm) constituida por sedimentos arcillosos, limos, limo-arcillosa y ceniza volcanica.....	57

Figura 18. Descripción estratigráfica del paquete B (160 cm a 100 cm) constituida en su mayoría por sedimentos limosos y facies laminares de arcillas. .... 58

Figura 19. Descripción estratigráfica del paquete A de (100 cm a 0 cm) constituida en la base por sedimentos arcillosos y hacia la cima los sedimentos limo-arcillosos. .... 59

## ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Curva de edad y la tasa de sedimentación del núcleo de Rincón de Parangueo, Guanajuato..... 41

Grafica 2. Diagrama polínico de los principales taxa del lago maar de Rincón de Parangueo, Guanajuato..... 46

Grafica 3. Resumen polínico de los principales tipos de vegetación del lago maar Rincón de Parangueo, Guanajuato. .... 47

Grafica 4. Relación de la dinámica de los incendios forestales en diferentes condiciones ambientales, así mismo se muestran las relaciones que indican los periodos húmedos y secos en Rincón de Parangueo, Guanajuato. .... 50

Grafica 5. Análisis de la susceptibilidad magnética correlacionada con la columna estratigráfica de Rincón de Parangueo, Guanajuato. .... 51

Grafica 6. Curva de edad y tasa de sedimentación del núcleo de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato..... 60

Grafica 7. Diagrama polínico de los principales taxa de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato..... 70

Grafica 8. Grafica de resumen de los principales tipos de vegetación de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato..... 71

Grafica 9. Relación de la vegetación y el efecto de los incendios, el cual nos indicó las periodisidades húmedas y secas en La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato..... 74

Grafica 10. Análisis de los elementos químicos representado en porcentaje. Se utilizó la zonación polínica para la descripción de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato..... 79

Grafica 11. Relaciones de los elementos químicos y el efecto en la vegetación, el cual nos indicó las periodisidades húmedas y secas. Durante los últimos 3000 años a.P. de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato..... 80

Grafica 12. Se observa los valores de la susceptibilidad magnética en relación a la estratigrafía de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato. .... 81

Grafica 13. Comparación de las condiciones paleoclimáticas de Rincón de Parangueo y La Alberca, dominado las condiciones secas durante los últimos 5000 años. .... 86

## **AGRADECIMIENTOS**

A la mi asesora de mi tesis la Dra. Gabriela Dominguez Vázquez, por haberme tenido la confianza, su apoyo, paciencia y dirección de este trabajo de investigación, porque me transmitió cada uno de sus conocimientos y por que me ayudó a crecer de manera profesional a lo largo de este camino.

A mis sinodales Dra. Isabel Isarade Alcántara, Dr. Pero Corona Chávez, Dr. Víctor Garduño Monrroy por sus valiosos comentarios y correcciones en la tesis y porque me ayudaron enriquecer este trabajo y poderlo concluirlo de manera satisfactoria. A cada uno de ustedes de todo corazón muchas gracias.

A mis padres Valerio Castro López y Carlota López Aparicio, a estas dos personas le debo todo por estar siempre a mi lado en todo momento, porque siempre confiaron en mí y por apoyándome de manera incondicional. A cada uno de sus consejos brindados, porque me enseñaron a pelear contra las adversidades y me enseñaron a levantarme después de un tropiezo, me enseñaron a ser perseverante y paciente, y a poner pasos firmes para alcanzar mis metas.

A mis hermanos Hugo, Mario, Estela y a cada uno de mis sobrinos porque me han brindado su apoyo, consejos y mostrarme el camino hacia el entendimiento. A mi novia Mireya, por ser parte esencial en mi vida por todo el apoyo que me han dado, sobre todo en los momentos más difíciles y por alegrarme en los días nublados.

A cada uno mis compañeros y amigos que siempre me ayudaron en el trabajo de campo y laboratorio tales como: Dulce, Neftali y Verónica por su ayuda y su apoyo moral, por darme tantos momentos memorables, divertidos y agradables, por compartir conmigo las diferentes etapas de mi vida y por ser grandes amigos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada (290611) durante el periodo de dos años 2010-2012.

## RESUMEN

La Alberca de Valle de Santiago y el cráter de Rincón de Parangueo se encuentran dentro del campo volcánico de Valle de Santiago (CVVS), el cual se caracteriza por agrupar 13 lagos tipo “maar” alineados al NNO-SSE. Los lagos volcánicos tipo maar en el CVVS se consideran sitios ideales para realizar reconstrucciones paleoambientales, en cuanto han mantenido un registro estratigráfico continuo de los eventos climáticos durante el Holoceno, que se acumulan en los sedimentos de esos cuerpos de agua continental.

En este trabajo se presenta una reconstrucción paleoambiental a partir de dos núcleos extraídos en el depocentro de dos lagos tipo maar: Rincón de Parangueo (6 metros de profundidad) y La Alberca (9 metros de profundidad). A partir de un estudio de diferentes *proxys*: estratigrafía, polen, carbón, susceptibilidad y del análisis geoquímicos de elementos mayores, se revisan las variaciones del clima, cambios en la cobertura arbórea y la actividad antropogénica durante el Holoceno.

La variabilidad climática además de la intensidad y frecuencia de los incendios forestales ocurridos durante el Holoceno han modificado la estructura y composición de la vegetación templada y mesófila en la región. Las condiciones ambientales durante el Holoceno temprano y medio son húmedas ca. 10000 años a.P. a 5000 años a.P., con bajos índices de *Pinus/Pinus+Quercus* y valores altos en la cobertura arbórea expresado en el índice: *Arbóreo/Arbóreo+Hierbas*. Durante el Holoceno tardío (ca. 4335 a 2047 años a.P., ca. 1400 a 511 años a.P., ca. 511 a 255 años a.P), se registraron condiciones esencialmente secas. Sin embargo, también se registró un periodo húmedo entre a los 2047 a 1400 años a.P.

En La Alberca de Valle de Santiago se encontró el registro más antiguo de la agricultura a los 6541 años a.P. principalmente de calabazas (*Cucurbitaceae*, *Cyonocisus*, *Cucurbita* II y *Cucurbita radicans*). Mientras, en Rincón de Parangueo el registro de la actividad agrícola comienza ca. 3729 años a.P. caracterizado por la aparición de *Zea mays*. Se considera que el impacto antropogénico se relaciona con la recurrencia de incendios, por lo que contribuyó a la modificación y transformación del paisaje del Bajío, así como el establecimiento de la vegetación de matorral, la cual es aún la vegetación dominante en la actualidad.

**Palabras clave:** lagos maar, Valle Santiago, Reconstrucción, Holoceno.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios de la temperatura reportados durante el Holoceno temprano y medio han sido ocasionados por la variabilidad climática natural. Sin embargo durante los últimos 5000 años, la influencia de la actividad antropogénica, en la modificación climática regional se ha incrementado, debido a que la agricultura ha causado impactos negativos en los ecosistemas (Lozano-García et al., 2009; Park et al., 2010; Israde-Alcántara *et al.*, 2010).

La región del Bajío abarca parte del estado de Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Querétaro. Esta área de Guanajuato pertenece al campo volcánico Michoacán-Guanajuato que se caracteriza por presentar numerosos lagos cratéricos conocidos también como lagos maar. Esta región ha sido fuertemente explotada para fines agrícolas en tiempos prehispánicos (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1987). Actualmente, se caracteriza por presentar una vegetación de matorral subtropical que tolera condiciones de temperatura elevadas, siendo muy susceptible a incendios recurrentes, que afectan a la estructura y composición de la vegetación.

Estos lagos maar presentan una estructura cerrada en la que se han registrado de manera continua eventos climáticos que han ocurrido en la región, y que han sido producidos por procesos naturales y/o antropogénicos. Una herramienta muy útil para conocer los cambios climáticos ocurridos en el pasado son las reconstrucciones o estudios paleoecológicos, donde los sedimentos de lagos y humedales son analizados a través de diferentes marcadores biológicos y geoquímicos (Rue, 1989; Jones, 1994; Goman y Byrne, 1998; Leyden, 2002, Horn, 2006)

Este trabajo tiene como objetivo describir y analizar la historia climática y vegetacional del sector sureste del Bajío mexicano durante el Holoceno, basándose en estudios de núcleos de sedimentos obtenidos en dos lagos maar: La Alberca Valle de Santiago y Rincón de Parangueo, Guanajuato, utilizando marcadores tanto biológicos (polen, carbón) como geoquímicos para la reconstrucción paleoambiental.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 El Holoceno en México

Al finalizar el periodo glacial comienza el último período interglacial llamado Holoceno, el cual abarca los últimos 11500 años y se distingue porque las condiciones climáticas tienden a ser más cálidas que el periodo glacial anterior.

Una de las hipótesis sobre el calentamiento global durante el Holoceno se relaciona con la insolación del hemisferio Norte, la cual alcanzó un máximo al inicio del Holoceno. Lo que ocasionó cambios estacionales en la radiación solar, que influyeron en la evolución de procesos como: la circulación atmosférica, desintegración del casquete de hielo Laurentide (Roberts, 1998).

Se ha dividido al Holoceno en tres etapas principales: Holoceno temprano, medio y tardío (Markgraf, 1983, Roberts, 1998). El Holoceno temprano abarca de ca. 11500 a 8000 años a.P. durante este tiempo las placas de hielo se derritieron, Laurántida se contrajo hacia el hemisferio norte, causando un aumento del nivel del mar alrededor de 55 m, los lagos empezaron a llenarse rápidamente a los 8200 a.P. (Shennan y Tooley, 1987). Estos cambios atmosféricos provocaron un incremento en las lluvias, los bosques que estaban restringidos durante esta etapa se expandieron. Para el centro y sur de México las condiciones ambientales eran húmedas y frías, con periodos cortos cálidos (Xelhuantzi-López; 1994, Lozano *et al.*, 1994; Bradbury, 2000; Metcalfe *et al.*, 2007; Israde-Alcántara *et al.*, 2010).

El Holoceno medio abarca de los 8000 a 5000 años a.P. en algunas regiones del mundo se caracteriza por periodos fríos y secos, registrándose una extensa aridez entre 6500 y 4500 años a.P. creando condiciones muy extremas y desertificando el ambiente. Durante ésta época se desarrollaron los desiertos del Sahara, Arabia y Thar. Los registros paleoclimáticos para estas zonas sugieren una transición de la sabana a una vegetación semiárida con bajos niveles en los lagos, lo que sugiere que la circulación del monzón estuvo suprimida (Street-Perrott *et al.*, 1991). Para el sur de Europa ca. 5500 años a.P. se reportan periodos de enfriamientos y de aridificación en el clima.

Las condiciones climáticas para el centro de México eran cálidas y secas, por lo que la vegetación se vio afectada negativamente debido a las condiciones extremas en el clima (Xelhuantzi-López, 1994; Bradbury, 2000; Metcalfe *et al.*, 2007; Park, 2010; Israde-Alcántara *et al.*, 2010). En algunas cuencas del centro de México se observa la presencia de eventos extremos de aridez, que han borrado el registro sedimentológico debido a procesos intensos de erosión conocidos como *hiatus* (Istrate-Alcántara *et al.*, 2010, Ortega *et al.*, 2010, Park, *et al.*, 2010). Estos *hiatus* dificultan la interpretación de la columna sedimentológica, debido a la pérdida del registro estratigráfico.

El Holoceno tardío comprende los últimos 5000 años. Esta última etapa se caracteriza por presentar una alta variabilidad climática en la mayoría de las cuencas de México, donde las condiciones ambientales tienden a fluctuar entre periodos cortos secos y húmedos. Durante los últimos 3000 años el registro sedimentario ha sido alterado en gran parte del centro de México, debido al establecimiento de los cultivos, lo que ocasionó un impacto negativo sobre la vegetación y alta tasa de erosión que afectaron a la cuenca (Berrio *et al.*, 2002). En general, muchas de las cuencas lacustres de México han experimentado una prolongada e intensa perturbación antropogénica, lo cual complica las interpretaciones paleoambientales de los últimos 3500 años a.P. (Metcalfe *et al.*, 1994).

## **2.2 Registros de sequías en el centro de México**

Las sequías es uno de los fenómenos climáticos más catastróficos debido a que provocan descensos en la precipitación, ocasionan aumentos en la temperatura, incremento en la intensidad y frecuencia de los incendios, todo lo cual, afecta a la estructura vegetal. Los datos históricos han registrado evidencias de sequías que han dado origen a epidemias, hambrunas, incendios, desplazamientos de las poblaciones, etc. Los estudios paleoclimáticos demuestran que las sequías registradas se relacionan con una tasa de sedimentación más rápida a partir del Holoceno terminal. Durante los últimos 5000 años los niveles de erosión se han intensificado debido a las actividades antropogénicas (Bradbury, 1982).

Las condiciones climáticas para el Norte de México, de acuerdo con Harrison y Metcalfe (1985) se tornaron secas durante el Holoceno medio, alcanzando mayor intensidad ca. 6000 años a.P. En el centro de México (Xelhuantzi-López, 1994; Arnauld *et al.*, 1997; Bradbury, 2000; Metcalfe *et al.* 2007; Israde-Alcántara *et al.* 2010; Park *et al.*, 2010) entre los 6000 y 4000 años a.P., los lagos de Zacapu, Cuitzeo, Pátzcuaro, Piscina de Yuriria, Chalco, Hoya Rincón de Parangueo y Hoya de San Nicolás sufren una desecación general ocasionadas por las condiciones climáticas secas. Israde-Alcántara *et al.* (2010) determinaron que en Cuitzeo los últimos 4000 a.P. se caracterizan por presentar fluctuaciones climáticas, en donde los periodos de aridez eran más prologados que los intervalos de humedad, indicando la prevalencia de un clima seco en la región. Condiciones similares se observan en Zacapu Arnauld *et al.* (1997) quienes reportan condiciones más secas ca. 4000 años a.P., que en periodos previos. A partir de esa fecha se observan fluctuaciones de periodos secos a húmedos.

En la piscina de Yuriria, Metcalfe *et al.* (1994) registran tres periodos secos: a los 4250 años a.P., a los 3000 años a.P. el cual está relacionado con el impacto de los primeros cultivos del preclásico temprano y por ultimo ca. 2550 años a.P. En la Hoya Rincón de Parangueo, Park *et al.* (2010) reporta el periodo más seco a los 1100 años a.P.

Para el sur de México, Bradbury (1971) determinó que alrededor de 6000 años a.P., las condiciones ambientales se encontraban relativamente secas con periodos cortos de aridez extrema y niveles lacustres muy bajos. En la Laguna Nája, Chiapas (Domínguez-Vázquez e Islebe, 2008) se observó una sequía muy prolongada de 1260 a 730 años a.P. que coincide con el colapso de la cultura Maya. Algunos autores concluyen que las actividades agrícolas provocaron cambios en la tasa de sedimentación, acelerando la erosión en la cuenca a largo plazo del lago Petén en Guatemala, en el cual se ha encontrado a partir de los 3500 años a.P., material inorgánico denominado Arcilla Maya, el cual contiene una gran cantidad de carbonatos, fósforos y sílice que no fueron depositados por sedimentación alogénica, si no que fueron productos de la actividad antropogénica (Turner y Harrison, 1978; Brenner, 1983). En varias zonas arqueológicas del rio verde, Oaxaca, se ha encontrado relación entre las actividades antropogénicas ligadas a las agriculturas y las variaciones en la tasa de incendios (Goman *et al.*, 2010). Cervera y Arias (1981), afirman que desde 1500 años a.C. las actividades

antropogénicas han provocado e intensificado las sequias, debido al establecimiento de la agricultura.

Durante el Posclásico (800 a.P.) en la piscina de Yuriria, Guanajuato, Metcalfe *et al.* (1994) infieren una fase compleja de erosión del suelo, indicando un clima más húmedo con episodios cortos secos. En el lago de Cuitzeo se reportan que el clima tiende a ser templado-subhúmedo, sin embargo en los últimos 400 años se muestra un incremento a condiciones secas, sustentadas por el aumento de gramíneas y compuestas (Bocanegra-Ramírez, 2010; Domínguez-Vázquez, *et al.*, sometido).

Los registros prehispánicos más importantes de sequias indican 13 episodios muy prolongados de 1332-1543 d.C.; siendo el año uno conejo (1454) el más mencionado de la historia azteca, ya que fue un evento de gran magnitud, donde registran una gran sequía, que provocó enfermedades, hambrunas y muerte de gran parte de la población (Therrell *et al.*, 2004).

### **2.3 Registros de los primeros pobladores en la región del Bajío mexicano**

Los primeros registros de la actividad antropogénica en el Bajío mexicano no se conocen con exactitud, la evidencia más antigua de actividad agrícola tiene una antigüedad de 2500 años (Florance, 2000). El inicio del Preclásico (Mountjoy, 1989), incluía actividades agrícolas incipientes que no afectaban drásticamente a los bosques. Para Michoacán los registros antiguos de ocupación humana se localizan en la región del Río Balsas ca. 1200 años a.C a 500 años d.C., cuyas evidencias indican que estuvo habitada por pequeñas aldeas a la orilla del río, siendo su fuente de sustento la agricultura, caza y recolección (Cabrera, 1986).

La cultura más antigua para la región del Bajío se le conoce como Chupícuaro; que abarca parte del estado de Michoacán y Guanajuato. En donde se han encontrado restos de estatuillas que datan del formativo tardío ca. 500 años a.C a 0 años d.C., abarcando hasta la cuenca de Cuitzeo durante el clásico ca. 300-900 años d.C. (Braniff, 1989; Goytia, 1989).

En la región del Bajío no se puede establecer un periodo clásico estricto ya que esta zona generalmente funcionaba como un posible refugio temporal para las poblaciones

asentadas en el Valle de México (Sánchez y Marmolejo, 1990). Durante el Clásico temprano la mayoría de las ciudades fueron abandonadas (Diehl y Berlo, 1989), lo cual se ha relacionado con el colapso de Teotihuacán y otros centros regionales como Monte Albán, Matcapán, Kaminaljuyú, Cobá, Tikal.

#### **2.4 Inicio de la agricultura desde punto de vista antropológico**

Los estudios antropológicos han determinado el inicio de la actividad agrícola temprana a partir de 4000 años a.P., pero en las últimas décadas, nuevos fechamientos revelan que el inicio de la agricultura fue más temprano de lo que se le conocía (McClung *et al.*, 2001).

El inicio de la agricultura en Mesoamérica involucró a tres especies principales: Calabaza, Frijol y Maíz. Los primeros registros de cultivos que se conocen son de calabaza principalmente de *Cucurbita pepo* (Smith, 1997b).

El hallazgo de cultivo más temprano pertenece a *Cucurbitaceae* ca. 10000 años a.P., en la cueva de Guila Naquitz, Oaxaca. Para Tehuacán los registros de calabazas comienzan a los 7900 años a.P. En Ocampo, Tamaulipas el registro es más tardío ca. 6300 años a. P. En la cueva Valenzuela, Tamaulipas los registros de *Cucurbita pepo* datan de ca. 5200 años a.C., y la cueva de Romero a los 4360 años a.C. (Smith, 1997a).

Los registros de maíz han sido reportados en la cueva de San Marcos del Valle de Tehuacán a los 7000 años. Este registro de maíz, basado en la presencia de mazorcas, se considera el más antiguo, debido a la morfología de sus olotes, el cual muestra rasgos de haber evolucionado a partir del teosinte (Benz e Iltis, 1990). Para la cueva Guila Naquitz, Oaxaca, el registro de maíz comienza ca. 5400 años a.P.; en el Valle de Tehuacán se reporta a los 4500 años a.P. (Piperno y Flannery, 2001) y en las Cuevas de Tamaulipas el registro es más tardío ca. 4500 años a.P. (Smith, 1997b).

## 2.5 Registros palinológicos sobre el inicio de la agricultura en México

Los registros palinológicos obtenidos de sedimentos extraídos de cuerpos lacustres o humedales, contribuyen al estudio sobre el inicio de la agricultura a través de la identificación de taxa como: *Zea mays*, *Cucurbita*, *Phaseolus* etc., por lo tanto estos registros que presentan mayor alcance temporal complementan a los datos arqueológicos. En algunas regiones los registros arqueológicos no han encontrado macro-restos vegetales asociados a la agricultura, por lo que no se ha podido determinar la presencia de cultivos. Sin embargo, el polen por su resistencia a la degradación, capacidad de almacenarse y facilidad de fosilizarse permiten obtener evidencias precisas de la existencia de cultivos en sitios que no cuentan con registros previos de actividad agrícola (Rue, 1989; Jones, 1994, Goman y Byrne, 1998; Leyden, 2002; Horn, 2006).

El registro más temprano de maíz (Park *et al.*, 2010) se reportó en la Hoya de San Nicolás Valle de Santiago, Guanajuato ca. 5700 años a.P. En los sedimentos de las llanuras costeras de Veracruz se registró el inicio de la agricultura a los 5000 años principalmente por *Zea mays* (Sluyter y Domínguez-Vázquez, 2006). En la laguna Pompal de los Tuxtlas, Veracruz, existe evidencia de cultivos de maíz a los 4830 años a.P., este registro polínico desaparece, reapareciendo ca. a los 2600 años a.P. aunado a una intensa perturbación de los bosques producto de la actividad antropogénica (Goman y Bryne, 1998). Para el lago de Pátzcuaro, el registro de *Zea* y *Chenopodiaceae* se reportan ca. 4000 años a.P. (Bradbury, 2000). En el lago de Zirahuén, es evidente la actividad humana alrededor del lago (Lozano-García *et al.*, 2009) desde 1200 años a.C. En Huitziltepec, Guerrero la agricultura está representada por: *Zea mays*, *Amaranthus*, *Capsicum*, *Chenopodium* y *Cucurbita mixta* ca. 2050 años a.P., en Tixtla la agricultura aparece ca. 2700 años a.P. (Berrio *et al.*, 2005). En la Hoya de Rincón de Parangueo (Park *et al.*, 2010), el registro de *Zea mays* aparece ca. 2700 a.P. Mientras que para el lago de Cuitzeo, Michoacán el registro de *Zea mays* es más tardío ca. 900 años a.P. (Israde-Alcántara *et al.*, 2010).

## 2.6 Dinámica de los incendios forestales

La actividad antropogénica ha contribuido a la modificación y transformación del paisaje. El hombre empezó a perturbar de manera significativa el ambiente a partir del inicio de la agricultura como parte de los procesos asociados a esta actividad, ocasionando: erosión del suelo, deforestación, incendios, degradando el hábitat, lo que ha ocasionado cambios en los procesos naturales, función de los ecosistemas y el clima a largo plazo (Goudie, 2006).

Los incendios forestales se pueden originar de diferentes maneras como: producto de un rayo, variaciones en el clima o por la actividad antropogénica a través de la agricultura. Se reconocen tres tipos de incendios que ocurren de manera regular en la vegetación: incendios de suelo, los incendios superficiales al suelo y los incendios de copa, este último se caracteriza por presentarse en alta intensidad en los bosques forestales (Rose, 2004). Para que se inicie un incendio y se intensifique existen varios mecanismos naturales que determinan la frecuencia e intensidad de incendios tales como: el clima, cambios en los patrones de la precipitación (Mensing *et al.*, 1999; Huber *et al.*, 2004), humedad (Rose, 2004), variaciones en la temperatura (Niklasson, 1998) y la velocidad del viento (Moore, 2000). Los cambios en el clima provocan un aumento en la temperatura, mayor evaporación y ocasiona que la materia orgánica se seque, siendo muy susceptibles a incendios intensos y frecuentes (Rose, 2004).

En los bosques cada año hay un incremento anual de materia orgánica, si esta acumulación de combustible es continua a través tiempo, aumenta la probabilidad para que se inicie un incendio intenso, siendo muy comunes en bosques de climas estables (Rose, 2004). Pero ciertos bosques presentan altos contenidos de resinas y aceites, ya que se volatilizan y facilitan la combustión del fuego (Perry y Emight, 2002).

El fuego es un factor de interrupción debido a la capacidad de transformar un ambiente en un tiempo muy corto, en cuanto a que puede devorar casi todo a su paso y consumir hasta el 80% de la biomasa del área (Hochberg *et al.*, 1994). Los incendios afectan también la función y estructura de los ecosistemas, debido a que es un agente de selección importantísimo, las especies leñosas son eliminadas, mientras que otras soportan el paso de los incendios y son favorecidas como las Gramíneas (Golicher y Ramírez-Marcial, 2008).

En los incendios forestales ya sea de origen natural o antropogénico se generan partículas de carbón: (micro y macropartículas). Las micropartículas indican incendios de manera regional (Clark, 1988a) y las macropartículas indican incendios locales, al ser éstas relativamente grandes no se transportan a distancias tan largas, por lo que se utiliza como indicadores en las reconstrucciones de paleoclima, composición de la vegetación y ciclos de incendios (Clark y Royall, 1995).

### 3. ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1 Localización

La región del Bajío mexicano está situada dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) es una porción del territorio nacional ubicada en el extremo sur de la altiplanicie mexicana y centrada en la parte meridional del estado de Guanajuato. Esta región abarca un área de aproximadamente 20000 Km<sup>2</sup>, que corresponde al estado de Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Jalisco (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1987). Durante 2009, 2010 y 2012 fueron extraídos núcleos de sedimentos, ubicados en Valle de Santiago, Guanajuato. El primer núcleo de sedimento se extrajo en el cráter La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato la cual se encuentra entre las coordenadas 20° 23.35' N 101° 12.10' O, con altitud de 1690 msnm recuperándose un núcleo de once metros de profundidad. La segunda zona de estudio se localiza en el cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato el cual se encuentra entre las coordenadas 20° 25' N 101° 15' O, con altitud de 1700 msnm. Donde se extrajo un núcleo de 14.5 metros de profundidad (Fig. 1).

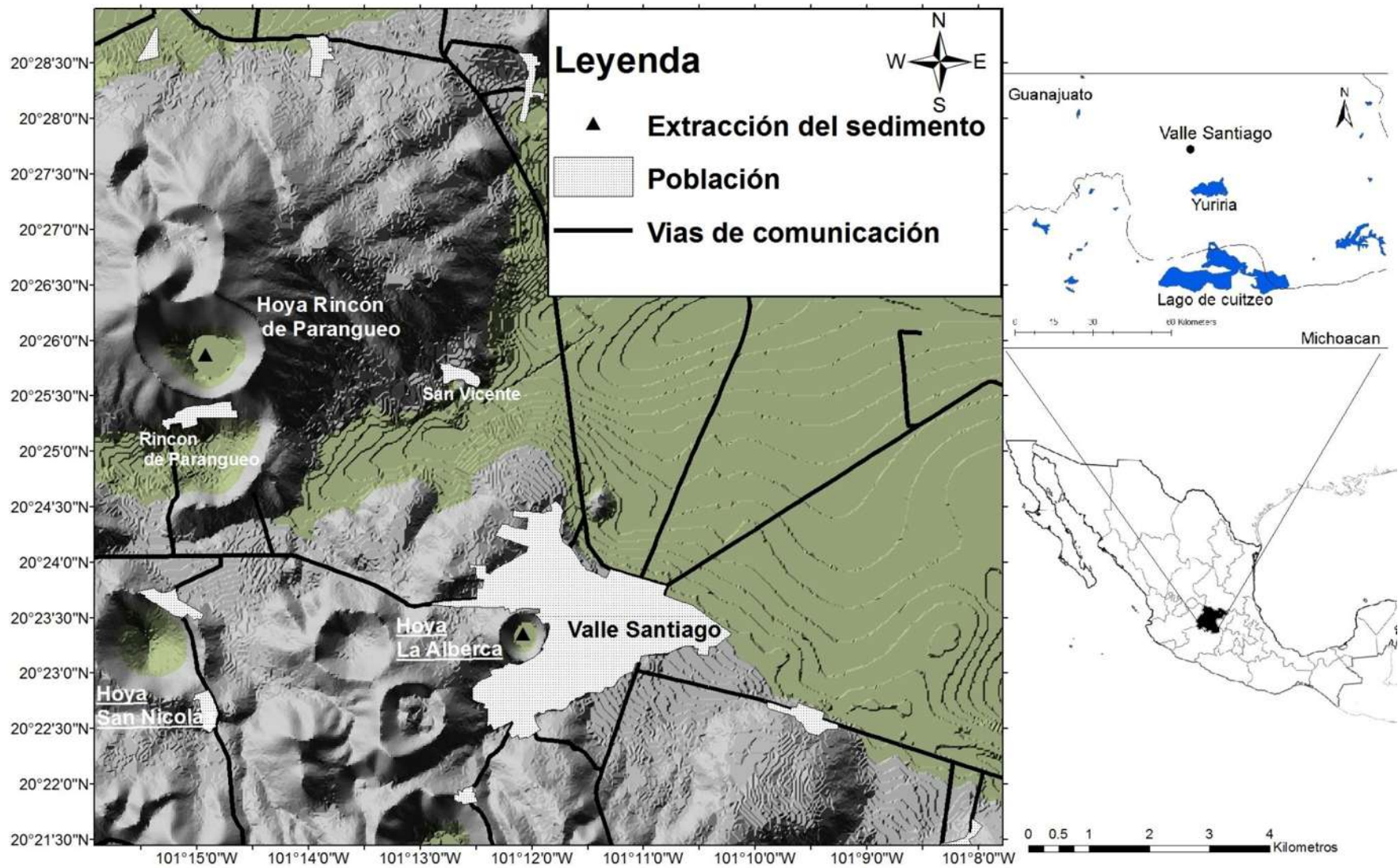


Figura 1. Mapa de localización de las localidades en donde se extrajeron los núcleos de sedimentos: La Alberca de Valle de Santiago y el lago cráter maar de Rincón de Parangueo, Guanajuato.

### 3.2 Marco geológico

El campo volcánico de Valle de Santiago (CVVS), Guanajuato se encuentra dentro del campo volcánico de Michoacán y Guanajuato (CVMG), formando parte del sector central del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM). Se caracteriza por agrupar volcanes monogenéticos, conos cineríticos, conos de escorias (Cano-Cruz y Carrasco-Núñez, 2008) y 13 lagos maares que se encuentran alineados y orientados con NNO-SSE (Murphy, 1982), estos lagos maares se formaron por el resultado de la actividad explosiva freatomagmática, donde el magma tiene contacto con el nivel freático, teniendo una actividad explosiva.

Las características morfológicas principales de los cráteres maar son el presentar un cráter por debajo del nivel del terreno y en forma de tazón, además de encontrarse rodeado por un anillo de material piroclástico que subyace por rocas regionales. Comprende por lo menos el 60% del material producto de la fragmentación de la roca preexistente y el resto es material juvenil (Uribe-Cinfuentes y Urrutia-Fucugauchi, 2006).

La composición de la mayoría del vulcanismo en el CVVS, varía de basáltico a andesítico, teniendo un rango de edad del Plioceno al Reciente, pero la mayoría de ellos son productos del Cuaternario. En toda la región de CVVS podemos encontrar productos asociados a los maares tales como: coladas de lavas, conos cineríticos, depósitos, oleadas piroclásticas y tefra (Uribe-Cinfuentes y Urrutia Fucugauchi, 2006).

Para este estudio fueron seleccionadas dos localidades con lagos tipo maar basados en el criterio que presentaran un registro estratigráfico continuo del Holoceno. La primera localidad de estudio se localiza en la comunidad de Rincón De Parangueo, Guanajuato la cual es un cráter maar de forma elíptica, edad Pleistocénica, con un diámetro de 1450 m en sentido E-O, con pendientes verticales y con una profundidad que varía de 220 m al N-S y 160 m en dirección E-O.

Uribe-Cinfuentes y Urrutia Fucugauchi (2006) realizan dos columnas estratigráficas en el Norte y Sur (Fig. 2). En la columna Norte se encuentran numerosos derrames de basaltos pertenecientes a la etapa pre-maar, después se encuentran derrames máficos, sobreyaciendo a esta secuencias se encuentra un anillo piroclástico del maar, posteriormente, esos productos

piroclásticos son cubierto por derrames máficos que son productos del cerro La Mina (basaltos vesiculares) post-maar.

La columna Sur, en su base presenta una lava máfica, posteriormente se intercalan derrames escoriáceos de color gris. Por encima de estas lavas se encuentra un paleosuelo de 15 cm de espesor de color ocre, que a su vez viene sobreyacendo por un depósito de material piroclástico formado por cenizas laminares y pequeños fragmentos líticos, sobre éstas cenizas se encuentra una secuencia de oleadas piroclásticas que viene cubierta por brechas heterolíticas de composición máfica.

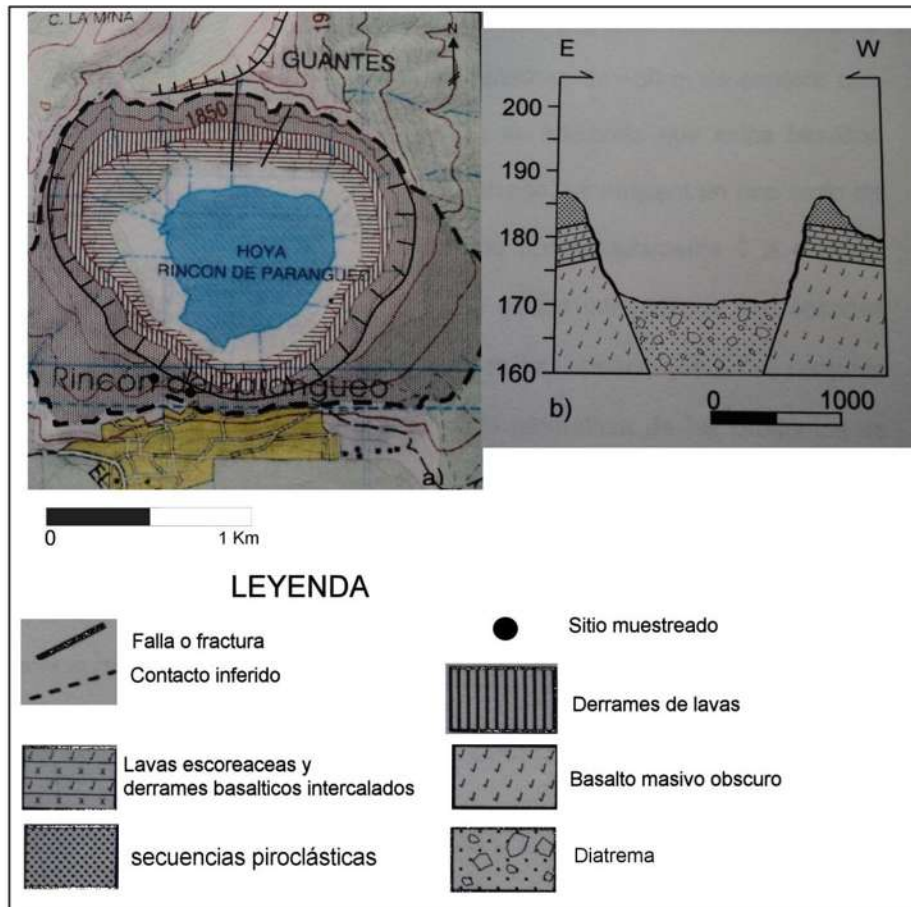


Figura 2. Mapa de productos del maar de Rincón de Parangueo, Guanajuato b) Perfil topográfico del interior del cráter en dirección E-W (Tomado de Uribe-Cinfuente, 2006).

La segunda localidad estudiada se encuentra al oeste del poblado de Valle de Santiago, Guanajuato la Hoya La Alberca, la cual tiene una edad de 0.37 Ma. (Murphy, 1982), el cráter es de forma circular y tiene un diámetro de 500 m en dirección E-O, con una altura de 60 m sobre el nivel del valle y profundidad total es de 110 m (Fig. 3).

La secuencia estratigráfica muestra que las paredes internas del cráter son casi verticales. En la base aflora una lava máfica de textura afanítica, que se considera una secuencia volcánica pre-maar. Sobreyaciendo a esta secuencia, se encuentra una capa de paleosuelo de color claro, que viene cubierto por un derrame de lava escoriácea de carácter basáltico. La parte Norte de esta unidad está ligada a un pequeño cono volcánico de tipo estromboliano que generó derrames pequeños. Por encima de estos depósitos encontramos la secuencia volcanoclásticas (Uribe-Cifuentes y Urrutia Fucugauchi 2006).

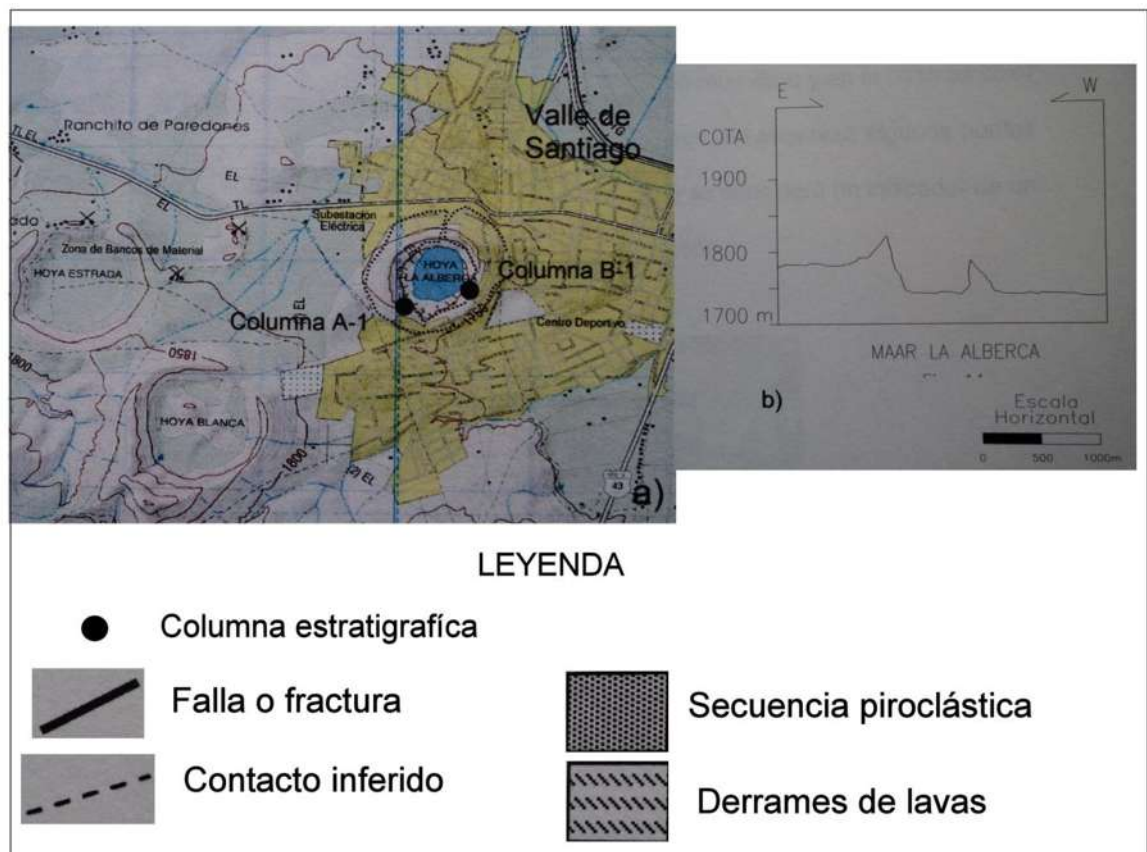


Figura 3. Mapa del maar de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato y perfil topográfico en dirección E-O del cráter, se observa una fuerte inclinación de sus paredes internas (Tomado de Uribe-Cinfuente, 2006).

### 3.3 Composición de la vegetación del Bajío mexicano

La mayor parte de la región del Bajío presenta una vegetación de matorral Xerófilo formado por nopal (*Opuntia*), garabullo (*Myrtillocactus*), granjeno (*Celtis*), uña de gato (*Mimosa*), limpia tuna (*Zaluzania*), sarabullo (*Karwinskia*) (Rzedowski y Rzedowski, 1987).

Los bosques espinosos están dominados por mezquite (*Prosopis laevigata*), cazahuate (*Ipomoea murucoides*), huizache (*Acacia farnesiana*), nopal (*Opuntia spp.*), tepame (*Acacia pennatula*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*) y palo prieto (*Lysiloma microphylla*) en ocasiones por huamúchil (*Pithecellobium dulce*). En las áreas salinas sostiene una vegetación de pastizal de *Distichlis spicata* y *Eragrotis obtusiflora*. Las orillas de los ríos y arroyos se caracterizan por agrupar un bosque en galería, caracterizado por: sauce (*Salix*), sabino (*Taxodium*), aile (*Alnus*) y fresno (*Fraxinus*). La vegetación de encino (*Quercus*) y pino (*Pinus*) está mayormente restringida a altitudes superiores de 2400 msnm y ocupan poco espacio en el Bajío (Rzedowski y Rzedowski, 1987).

La vegetación adentro del cráter de La Alberca sostiene una vegetación secundaria, derivada de áreas agrícolas y están dominadas por las familias Asteraceae (*Parthenium*, *Brickellia* y *Montanoa*), Leguminosae (*Mimosa*, *Acacia*, *Prosopis laevigata*), Cactaceae (*Opuntia*), así como pequeños árboles aislados de *Pinus* y Eucalipto (Fig. 4).

La vegetación de adentro del cráter de Rincón de Parangueo presenta un bosque tropical caducifolio (Fig. 5), conformada por especies de: *Albizia pluriyuga*, *Bursera diversifolia*, *B. palmeri*, *B. penicillata*, *Cedrela dugesii*, *Ceiba aesculifolia*, *Conzattia multiflora*, *Ehretia viscosa*, *Euphorbia tanquahuete*, *Lysiloma divaricata*, *Manihot caudata*, *Myriocarpa brachystachys*, *Prosopis laevigata*, *Senna polyantha*, *Stenocereus queretaroensis* y *Zapoteca Formosa*, así como *Opuntia* y *Saguaro* (Carranza, 2005). En los suelos alcalinos en la zona proximal del lago hay presencia de pasto salado (*Distichlis spicata*) y de romerito (*Suaeda mexicana*). Este cráter es de los pocos sitios dentro del Bajío, que representa un refugio de su vegetación primitiva y albergan un gran número de especies propias del bosque tropical caducifolio de esta región (Aguilera-Gómez, 1991).



Figura 4. Vista actual de la distribución de la vegetación de La Alberca, Valle de Santiago, Guanajuato. Observar el antiguo nivel del lago de línea blanca, así como restos de posible depósito de carbonatos en la pared.



Figura 5. Vista actual de los principales tipos de vegetación en Rincón de Parangueo, Guanajuato. Observar la abundancia de sales dentro del lago.

## **4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

- ❖ Determinar los cambios producidos por el clima y las actividades antropogénicas sobre la vegetación ocurridos en la región del Bajío durante el Holoceno.

### **4.2 Objetivos particulares**

- ❖ Describir la variación en la estructura y composición de la vegetación durante el Holoceno a través de un análisis polínico.
- ❖ Reconstruir la dinámica de los incendios forestales en el Bajío a través del análisis de macropartículas carbonizadas.
- ❖ Determinar los ciclos de sequías y humedad que han determinado la ocurrencia de incendios a través de análisis de susceptibilidad magnética y análisis químicos semi-cuantitativos por energía de dispersión (EDS) por medio de un microscopio electrónico de barrido.

### **4.3 Hipótesis**

- ❖ Los patrones de precipitación existentes durante el Holoceno temprano y medio favorecieron el desarrollo de bosques de pino-encino, los cuales fueron sustituidos por una vegetación seca y abierta hace 3500 años, como consecuencia de los cambios climáticos e impacto agrícola.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Trabajo de campo

Se realizaron varias salidas al campo durante 2009, 2010 y 2012 para extraer los núcleos de sedimento en los lagos cratéricos: La Alberca Valle de Santiago y Rincón de Parangueo, Guanajuato (Fig. 6 y 7). Para obtener los núcleos se utilizó un sondeador tipo Ruso, con el cual se recuperaron tramos de 50 cm de longitud. En Rincón de Parangueo se extrajo un núcleo de 14.5 metros de sedimento (Osuna-Vallejo, 2012). En La Alberca se extrajo un núcleo de sedimento de once metros de longitud. Ambos núcleos fueron extraídos del depocentro del lago. Cada tramo fue cubierto con plástico y fueron transportados al laboratorio para realizar los diferentes análisis.

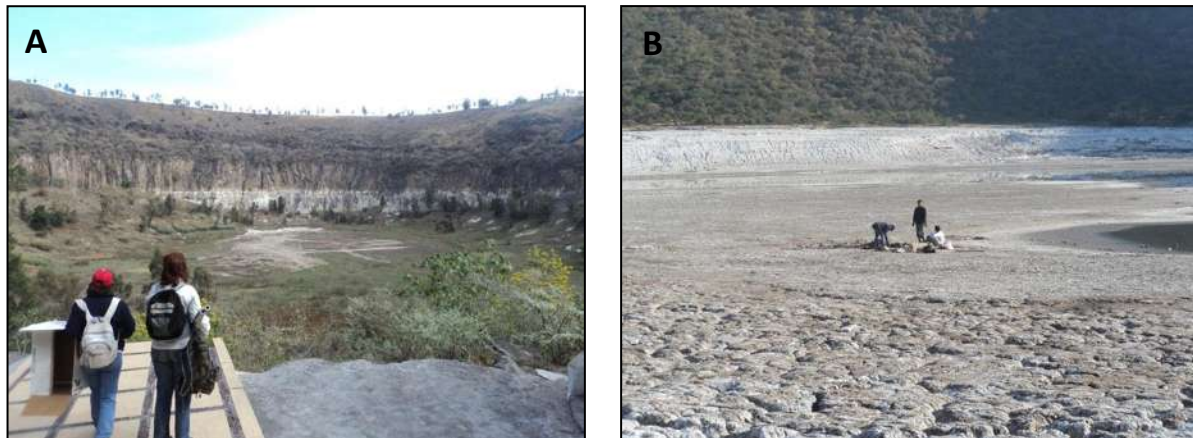


Figura 6. Método de extracción de los núcleos de sedimento en los dos cráteres tipo maar. A) Localizando el sitio más adecuado para la perforación en La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato. B) Extracción de los núcleos de sedimentos en el depocentro del cráter maar de Rincón de Parangueo, Guanajuato.



Figura 7. A) Utilización del sondeador tipo Ruso en la extracción de los núcleos de sedimentos en La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato. B) Aprender en el sondeador las facies de láminas y bandas en los sedimentos.

## 5.2 Trabajo de laboratorio

### 5.2.1 Geocronología

Las muestras de Rincón de Parangueo y La Alberca fueron fechadas a través de  $^{14}\text{C}$  y espectrometría de masa con acelerador (AMS), realizados en NOSAM US geological service. Se observó que la mayor parte de los núcleos presentaban niveles ricos de material orgánico, los cuales fueron enviados para fechamientos. Se utilizó el programa CALIB 6.0, que consistió en calibrar las edades  $^{14}\text{C}$  a años antes del presente (Reimer *et. al.*, 2009). Para La Alberca se utilizó años calendarios, esto para correlacionar los eventos de sequías con otros registros contemporáneos. A partir de los fechamientos calibrados de Rincón de Parangueo y La Alberca se extrapolaron edades, esto para dar una aproximación del inicio de la agricultura y principalmente cuando desaparecen los cultivos.

En relación de las edades  $^{14}\text{C}$  se calcularon las tasas de sedimentación, el cual se obtuvieron modelos de edad y la tasa de sedimentación en los dos cráteres maar.

### **5.2.2 Estratigrafía**

La descripción estratigráfica de los núcleos de Rincón de Parangueo y la Alberca se realizó en el laboratorio de paleoambientes del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la UMSNH. El criterio de la descripción fue basada en las características de color comparados en la tabla de Munsell, textura, tipo de estratificación, estructuras sedimentarias, así como en las reacciones químicas con el HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, indicando el contenido de carbonatos y materia orgánica respectivamente. Para estas reacciones químicas, se tomó como características entre valores bajos, medios y altos de su contenido.

### **5.2.3 Preparación de muestra de sedimentos para obtener el polen**

A continuación se sigue la metodología de cómo se prepararon y se extrajeron los granos de polen:

A partir de los núcleos de sedimentos se cortaron las muestras a cada cinco centímetros, el cual se tomaron un centímetro cubico de sedimento. A cada muestra se le agregaron dos pastillas de *Lycopodium*, así mismo se le agregaron 5 ml al 10% de ácido clorhídrico (HCl), hidróxido de potasio (KOH), ácido fluorhídrico (HF) y 5 ml de solución Acetolítica (Erdtman, 1952), esto con el fin de eliminar silicatos, carbonatos y ácido húmico en los sedimentos. Las muestras fueron calentadas y centrifugadas por 5 minutos a 3000 revoluciones por minutos (RPM). No obstante, la solución Acetolítica se enjuago 5 veces, esto para eliminar la cantidad de olor desprendido.

Las muestras procesadas se pasaron a tubos eppendorf donde se agregó una gota de glicerina y colorante para teñir el polen. Por último se utilizaron dos gotas de muestra para ser analizadas a través de un microscopio óptico, utilizando un objetivo 40X para conteo rutinario y 100X para identificación de los granos de polen.

Se calculó el índice de *Pinus/Pinus+Quercus* (P/P+Q). Esta relación nos indica periodos secos a húmedos. Así un índice alto indicaría sequía, mientras un valor bajo un periodo de humedad (Adam y Weste, 1983; Park *et al.*, 2010). Se obtuvo también un índice de cobertura

vegetal utilizando la suma de los taxa arbóreos y la suma de los taxa herbáceos, el cual está indicado en la siguiente fórmula  $\text{Arbóreo}/\text{Arbóreo}+\text{Hierbas}$  (A/A+H). Los valores altos de este índice indicarían una cubierta vegetal dominada por árboles, mientras un índice bajo indicaría dominancia de hierbas.

#### **5.2.4 Preparación de muestra de sedimentos para obtener las macropartículas carbonizadas**

Utilizando la misma resolución microscópica que para el polen, se utilizó un centímetro cubico de sedimentos, que se colocaron en vasos de precipitados agregándoles 15 ml de Hidróxido de Potasio (KOH) y 15 ml de Peróxido de Hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 10%. El líquido restante se decantó, posteriormente se pasó por tamices de 160 y 120 micras. Los sedimentos atrapados en las mallas se pasaron a cajas de petri, donde se dejó secar a medio ambiente u horno de secado. Para posteriormente proceder a los conteos utilizando un microscopio estereoscópico. Se considera un incendio a partir de 50 macropartículas carbonizadas y los resultados son expresados en número de partículas por centímetro cúbico (Stevenson y Haberle, 2005).

#### **5.2.5 Susceptibilidad magnética**

La susceptibilidad magnética es una medida del grado de magnetización de un material. El cual los minerales magnéticos (ferrimagnéticos y antiferromagnéticos) presentan valores altos, mientras que los diamagnéticos presentan valores bajos y negativos. Dichos valores presentes en los sedimentos dependen no solo de la concentración y tipo de mineral magnético presente, sino también de la forma y tamaño de los mismos (Zheng *et al.*, 1991; Chaparro *et al.* 2003). El cual están condicionados por parámetros ambientales (Dearing *et al.*, 1986; Zheng *et al.*, 1991). Por esta razón han sido utilizados en las reconstrucciones paleoclimáticas, ayudando a determinar los orígenes de los materiales magnéticos de los sedimentos lacustres y comparar su procedencia (Evans y Heller, 2003).

La susceptibilidad magnética se realizó utilizando un Magnetic Susceptibility Meter marca Bartington MS2B, el cual se encuentra en el campus de la UNAM en Morelia en el laboratorio de magnetismo. Los núcleos de sedimentos fueron analizadas a cada 2.5 cm, a partir de los mismos núcleos. Las posiciones de los núcleos se cambiaron manualmente, debido a que el sensor magnético se encuentra fijo y calibró a través de software especial.

#### **5.2.6 Análisis químicos semi-cuantitativos por energía de dispersión (EDS) por medio de un microscopio electrónico de barrido**

El análisis químico semi-cuantitativo por energía dispersa (EDS), se realizó por medio de un microscopio electrónico de barrido, modelo JEOL-JSM-6390LV/LGS que se encuentra en el Colegio de Michoacán (COLMICH) (Fig. 8). Este método consiste en la emisión de un haz de electrones, el cual excita a los átomos de una matriz y se obtienen electrones secundarios y retrodispersos. Con los electrones secundarios y retrodispersos es posible obtener imágenes, y la composición química de la matriz observada. Este es un método no destructivo el cual permite analizar las variaciones en las secuencias sedimentarias continuas, obteniendo información geoquímica de alta resolución (Arche-Millares, 2010).

El análisis químico se realizó a cada cinco centímetros, los resultados se obtuvieron en porcentajes, cuantificándose los valores de Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, O, S, N, Zn, Cl y TOC. Algunos elementos tuvieron porcentajes muy bajos que eran poco significativos, por lo que se decidió utilizar únicamente la información de los elementos más representativos los cuales fueron: Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K y Cl. Este estudio químico se complementa y se correlaciona con otros *proxys* como: susceptibilidad, incendios forestales y las relaciones de P/P+Q y A/A+H que en su conjunto permiten determinar las variaciones en el clima.



Figura 8. Equipo utilizado para el análisis elemental a través de espectrofotómetro de Difracción de Rayos X (DRX).

# **6. RESULTADOS DEL LAGO CRÁTER DE RINCÓN DE PARANGUEO, GUANAJUATO**

## **6.1 Estratigrafía del cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato**

La columna estratigráfica del núcleo del lago cráter de Rincón de Parangueo, fue extraída durante el 2009, presenta una profundidad de 1450 cm. Osuna-Vallejo, (2012) dividió la columna en cinco unidades estratigráficas desde la base (1450 cm) hasta la cima (0 cm).

Para este trabajo se utilizaron los primeros 600 cm a partir de la cima, por lo que se contempló un nuevo reordenamiento en las unidades, los cuales se dividieron en cuatro paquetes estratigráficos. La columna se caracteriza por presentar una dominancia de sedimentos arcillosos, que se intercalan con bandeamientos de sedimentos limo-arcillosos, sedimentos limosos y cenizas volcánicas. Siendo hasta la cima que dominan los sedimentos limosos. El nivel volcánico se localiza en la profundidad de 198 cm a 200 cm (Fig. 9).

Con base a las diferencias texturales y cambios de coloración fueron divididos en cuatro zonas para su descripción. A continuación se describe a detalle la columna estratigráfica de los cuatro paquetes desde la base (600 cm) hasta la cima (0 cm).

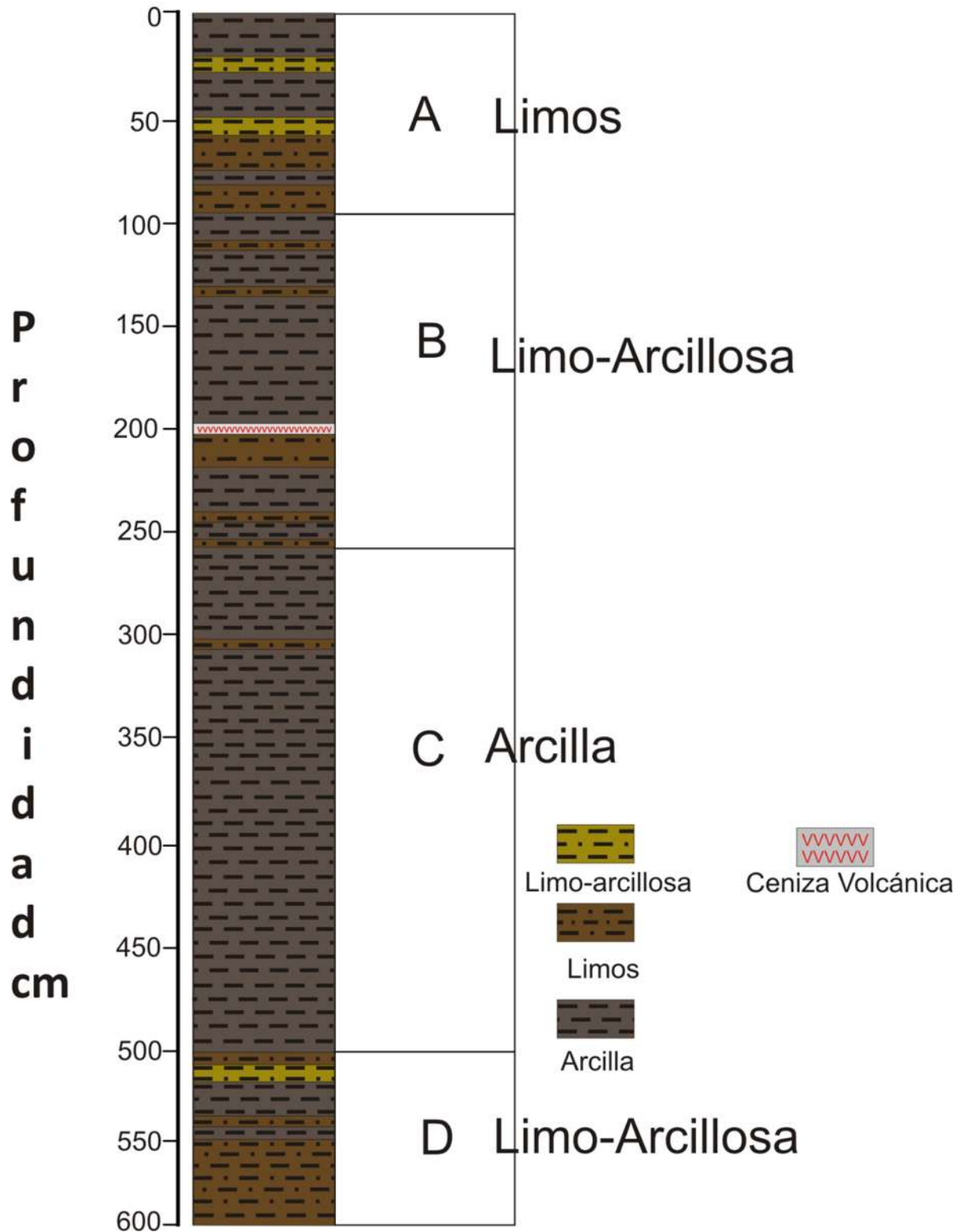


Figura 9. Descripción de la columna estratigráfica general (600 cm a 0 cm), constituida en su mayoría por sedimentos arcillosos de Rincón de Parangueo, Guanajuato.

### 6.1.1 Descripción de la unidad D (600 cm a 500 cm)

En esta unidad el paquete es de 100 cm de espesor. Las estructuras sedimentarias son horizontales en todo el tramo. La base de la unidad posee 40 cm de un estrato de color oscuro 10YR 3/2 de sedimentos arcillosos. Sobreyaciendo a esta unidad se observan intercalaciones de sedimentos arcillosos y bandas de sedimentos limosos de 10 cm de espesor de color 7.5YR 3/3, localizadas a los 560 cm, 543 cm y 538 cm. Le continúa 20 cm de espesor de color 7.5YR 3/3 de sedimento arcilloso. Le sobryace una banda de 8 cm con color 7.5YR 3/4 de sedimentos limo-arcillosos. Hacia la cima la sedimentación se vuelve más limosa (Fig. 10) de color 7.5YR 3/3. Aproximadamente a los 505 cm se observó un nivel rico de materia orgánica. En toda la unidad se presentaron valores altos de carbonatos.

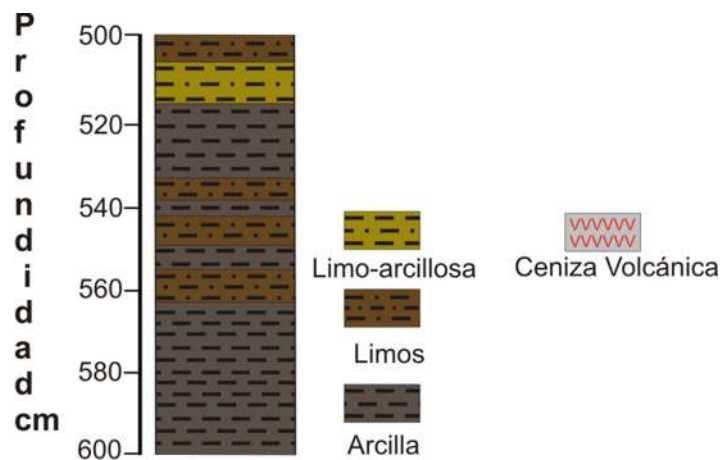


Figura 10. Descripción estratigráfica del paquete D (600 cm a 500 cm), compuesta por sedimentos arcillosos, sedimentos limosos y sedimentos limo-arcilloso.

### 6.1.2 Descripción de la unidad C (500 cm a 260 cm)

En esta unidad el paquete es de 240 cm de espesor. Se caracteriza por ser un estrato horizontal con una dominancia de sedimentos arcillosos (Fig. 11). En la base se aprecian 50 cm de un estrato de color 7.5YR 2/3 de sedimentos arcillosos. Le continúan pequeños bandeamientos de 5 cm de espesor con coloración 10YR 3/2 de sedimentos limosos con intercalaciones de estratos de 40 cm de espesor de sedimentos arcillosos. Hacia la cima le sobrayace 40 cm de espesor de color 10YR 4/3 de sedimentos arcillosos. Se observa un nivel rico de materia orgánica a los 440 cm. En toda la unidad se observó valores altos de carbonatos.

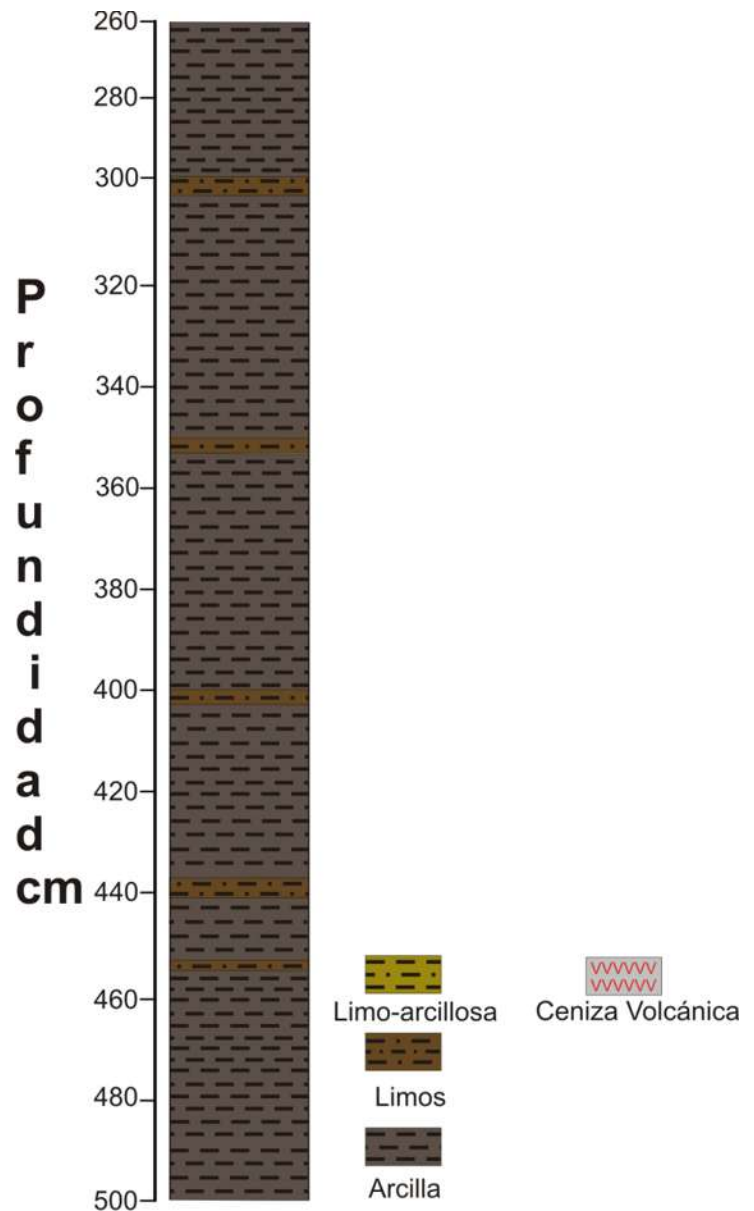


Figura 11. Descripción de la unidad C (500 cm a 260 cm), conformada en su mayoría por sedimentos arcillosos.

### 6.1.3 Descripción de la unidad B (260 cm a 100 cm)

En esta unidad el paquete es de 160 cm de espesor. El cual se caracteriza por ser una unidad que presenta intercalaciones de sedimentos limosos y arcillosos, y por presentar estructuras sedimentarias horizontales. La base se conforma por 5 cm de espesor de color 10YR 5/3 de bandas de sedimentos limosos y con intercalaciones de sedimentos arcillosos de un espesor de 25 cm de color 10YR 4/3. Le continúan 10 cm de espesor de color 7.5YR 5/4 de sedimento de limos y sedimentos arcillosos. Sobreyaciendo a esta secuencia se encuentra una ceniza volcánica de 2 cm de espesor. Le continua un estrato de 30 cm de espesor de color 7.5YR 2/3 de sedimento arcilloso.

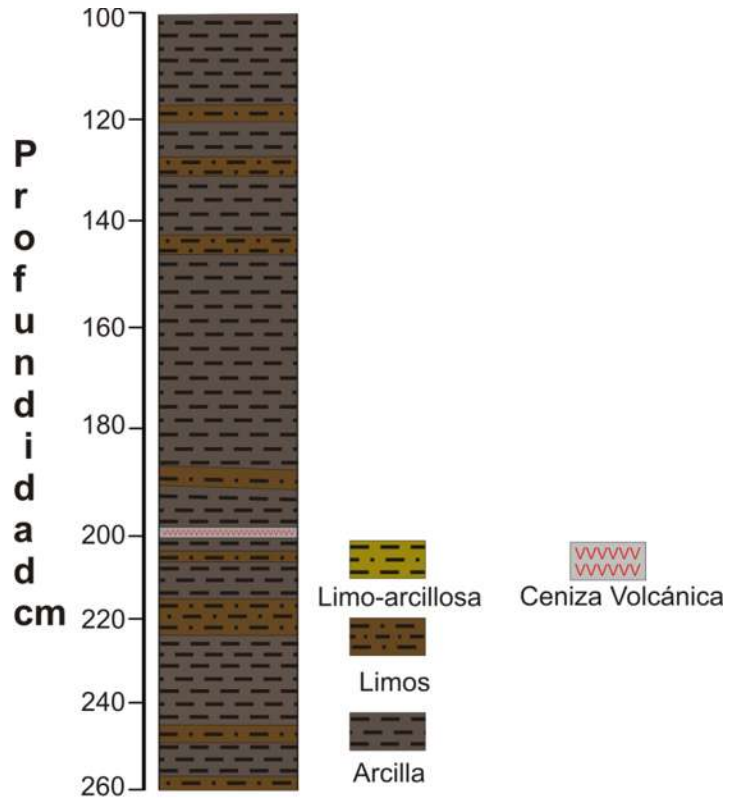


Figura 12. Descripción estratigráfica de la unidad B (260 cm a 100 cm), constituida por sedimentos arcillosos, limosos y ceniza volcánica.

Le sobreyace 25 cm de intercalaciones entre sedimentos limosos y arcillosos. Hacia la cima le sobreyace 17 cm de espesor de sedimentos arcillosos.

En toda la unidad se observó valores medios a altos de contenidos de carbonatos (Fig. 12).

#### 6.1.4 Descripción de la unidad A (100 cm a 0 cm)

En esta unidad el paquete es de 100 cm de espesor, se caracteriza de la misma manera que las anteriores por presentar estratificación horizontal (Fig. 13). Se observaron 3 cm de sedimento limoso de color 7.5YR 2.5/3, le sobreyace 3 cm de espesor de una banda de sedimento limo-arcillosos, le sigue 10 cm de espesor con color 7.5YR 4/6 de sedimento limoso. Sobreyaciendo se aprecia 10 cm de sedimento arcilloso con intercalaciones de bandas de arcillas de color 7.5YR 4/6. Le continúa 20 cm de espesor de color 10YR 3/3 de sedimento limoso. Sobreyaciendo a esta secuencia se encuentra bandeamientos de sedimentos de limo-arcillosa de color 10YR 3/3 y sedimentos limos de color 5YR 4/3, el cual presenta intercalaciones de sedimentos arcillosos. Le continúa un estrato de 15 cm de espesor de color 7.5YR 3/4 de sedimentos arcillosos. A la cima de esta unidad se aprecia 2 cm de color 10YR 3/2 de sedimentos limosos.

En toda la unidad se observó valores altos de contenido de carbonatos. Por otro lado, se apreciaron valores bajos de contenidos de materia orgánica.

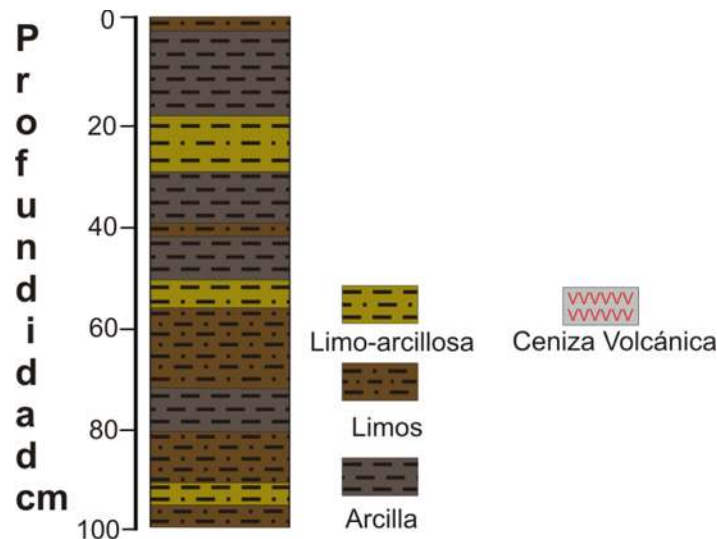


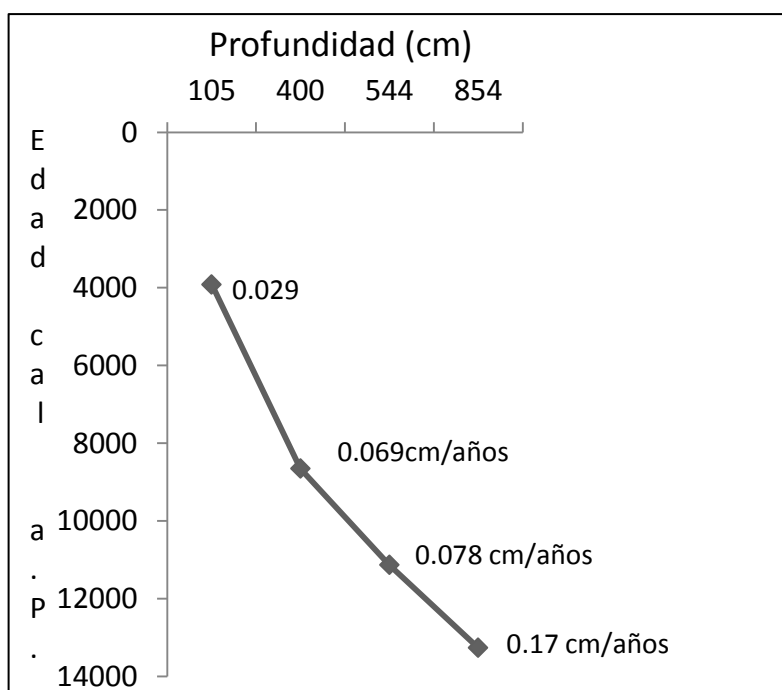
Figura 13. Descripción estratigráfica de la unidad A (100 cm a 0 cm), compuesta por intercalaciones de sedimentos limosos, sedimentos arcillosos y sedimentos limo-arcillosas.

## 6.2 Geocronología isotópica de $^{14}\text{C}$ del cráter Rincón de Parangueo, Guanajuato

El análisis de la cronología del sedimento de Rincón de Parangueo se basó en cuatro fechamientos a través de  $^{14}\text{C}$  (Tab. 1). El cual fueron calibrados a través del programa CALIB 6.0, que consiste en obtener edades en años antes del presente (a.P =1950) (Reimer *et. al.*, 2009), a partir de edades  $^{14}\text{C}$ . Se obtuvieron los modelos de edad y la tasa de sedimentación en base a las edades  $^{14}\text{C}$  (Graf. 1).

Tabla 1 Fechamientos isotópicos de  $^{14}\text{C}$  del cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato y su cálculo calibrado en años antes del presente.

Profundidad (cm)	Edad $^{14}\text{C}$	Años Cal a.P.	Edades medias (años a.P.)
105	3620±25	3849-3984	3916
400	7840±40	8542-8766	8654
544	9670±45	11065-11207	11136
854	11400±40	13150-13380	13265



Grafica 1. Curva de edad y la tasa de sedimentación del núcleo de Rincón de Parangueo, Guanajuato.

### 6.3 Análisis polínico del lago cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato

Se identificaron 71 taxa polínicos, las cuales destacan *Pinus*, *Quercus*, *Alnus*, Compositae y Gramineae (Graf. 2). Los taxa fueron agrupados por su afinidad ecológica en cinco tipos de vegetación: bosque templado, bosque mesófilo, bosque tropical, matorral y humedal (Graf. 3). El bosque templado incluye a *Pinus*, *Quercus* y *Abies*. La vegetación mesófila: *Alnus*, Betulaceae, *Salix* y *Taxodium*. El bosque tropical estuvo representado por taxa como Anacardiaceae, Leguminosae, *Celtis*, Ulmaceae, Mimosoideae, *Prosopis* y *Myrica*. El matorral por: Compositae, Gramineae, Euphorbiaceae, Brassicaceae, *Croton*, *Lupinus*, *Begonia* y *Buddleja*. El humedal: Thyphaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae, *Scirpus*, *Alternanthera* y tipo *Piper*.

El diagrama de polen se dividió en cinco zonas polínicas: Zona V (600 cm-545 cm), Zona IVb (545 cm-430 cm), Zona IVa (430 cm-380 cm), Zona IIIc (380 cm-270 cm), Zona IIIb (270 cm-200 cm), Zona IIIa (200 cm-170 cm), Zona II (170 cm-80 cm) y Zona I (80 cm-5 cm) (Graf. 2).

#### 6.3.1 Zona V (600 cm-545 cm) 11579 años a.P. a 11207 años a.P.

Los valores de la vegetación templada oscilan entre 40% y 50%, mostrando un descenso al final de la zona (550 cm) de 35%. *Pinus* varía al inicio de 20% a 30%, a los 555 cm el porcentaje es de 15%. *Quercus* alcanza dos picos importantes a los 555 cm y 580 cm ca. 20%. El bosque mesófilo mantiene valores menores a 5%. *Alnus* oscila entre 5% y 10%, *Taxodium* mantiene valores trazas. El bosque tropical inicia con 6%, descendiendo hacia el final de la zona, con valores bajos de Ulmaceae y Leguminosae. El matorral oscila entre 30% y 45%, hacia el final de la zona asciende a 50%. Compositae fluctúa entre 15% y 20%, Gramineae inicia con un valor de 23%, alcanzando tres picos importantes a los 560 cm, 570 cm y 585 cm. Valores trazas de Euphorbiaceae y *Buddleja*. La vegetación del humedal no sobrepasa el 10%, con oscilaciones de Chenopodiaceae entre 6% a 5%, apariciones regulares de Typhaceae, mientras Cyperaceae aumenta su proporción al final de zona. Se observa polen de Cucurbitaceae al final de la zona.

El radio de *Pinus/Pinus+Quercus*, muestra una tendencia a condiciones secas, mostrando hacia el final de la zona un periodo corto de humedad. Mientras que el radio de

Arbóreo/Arbóreo+Hierbas al inicio es alto, dominado por árboles y hacia el final de la zona dominan elementos herbáceos (Graf. 3 y 4).

### **5.3.2 Zona IVb (545 cm-430 cm) 11207 años a.P. a 9186 años a.P.**

La vegetación templada oscila entre 60% y 40%, la cual disminuye al final de la zona. *Pinus* varía entre 30% y 20%, alcanzando un pico a los 475 cm (40%), descendiendo al final de la zona. La proporción de *Quercus* oscila entre 20% y 10%. El bosque mesófilo mantiene valores de 4%. Con proporciones constantes de *Alnus* y *Taxodium*. El bosque tropical alcanza dos picos 505 cm y 460 cm con valores cercanos a 8%. Ulmaceae y Leguminosae varían entre 5%. La vegetación de matorral oscila de 50% a 30%, alcanzando un pico a los 490 cm (50%). Compositae alcanza tres picos a los 460 cm, 490 cm y 505 cm ca. 20%. Gramineae varía entre 30% y 25%. Se observa la presencia de Euphorbiaceae y Brassicaceae al final de la zona. El humedal varía entre 10% y 15%. Chenopodiaceae al inicio mantiene valores bajos y al final de la zona asciende a 8%. Cyperaceae inicia con proporciones de 6%, y desciende al final de la zona. *Zea Mays* aparece al final de la zona.

El radio de *Pinus/Pinus+Quercus* muestra al inicio condiciones secas, volviéndose húmedo al final. Sin embargo el radio de Arbóreo/Arbóreo+Hierbas estuvo dominado por elementos arbóreos durante toda la zona (Graf. 3 y 4).

### **6.3.3 Zona IVa (430 cm-380 cm) 9186 años a.P. a 8333 años a.P.**

La vegetación templada inicia con 43%, aumentando su porcentaje al final de la zona ca. 62%. *Pinus* inicia con 22%, aumentando su proporción a 50%. *Quercus* inicia con 18%, aumentando a 20% y disminuye al final (15%). El bosque mesófilo mantiene valores residuales. *Alnus* oscila de 10% a 5%. *Taxodium* covaría con *Alnus*. El bosque tropical inicia ca. 7%, ascendiendo al final. El porcentaje de Leguminosae es menor a 5%. Valores residuales de Ulmaceae. El matorral alcanza un pico de 43%, descendiendo sus porcentajes al final de la zona (25%). Compositae varía entre 15% y 10%. Gramineae oscila entre 25% a 20%, tendiendo a descender al final de la zona. Valores trazas de Euphorbiaceae. La vegetación de humedal

alcanza un pico a los 420 cm (14%), tendiendo a aumentar su porcentaje al final de la zona. Chenopodiaceae y Cyperaceae oscilan entre 9% y 4%. Valores residuales de Tipo *Piper*. En la base de la zona se observa la presencia de *Zea mays*.

En la mayor parte de la zona el radio *Pinus/Pinus+Quercus* indica que las condiciones son secas. En relación del radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas, las herbáceas dominan al inicio y al final de la zona los elementos arbóreos dominan. (Graf. 3 y 4).

#### **6.3.4 Zona IIIc (380 cm-270 cm) 8333 años a.P. a 6566 años a.P.**

La vegetación templada oscila entre 75% y 60%, alcanzando un pico a los 315 cm aprox. 90% (Graf. 3). *Pinus* alcanza tres picos: 315 cm, 355 cm y 380 cm de 55% y 40% (Graf. 2). La proporción de *Quercus* oscila entre 30% y 15%. *Abies* alcanza dos picos, a los 370 cm (20%) y 345 cm (5%). El bosque mesófilo mantiene valores residuales (5%). *Alnus* alcanza dos picos: 345 cm y 270 cm ca. 18%. Valores trazas de *Taxodium*. La vegetación tropical mantiene valores residuales. La vegetación de matorral inicia con 25%, disminuyendo su proporción a los 315 cm (10%). Compositae inicia ca. 5%, para ascender a 10%. La proporción de Gramineae varía entre 23% y 20%, mostrando un descenso a los 315 cm (5%). Euphorbiaceae mantiene su porcentaje bajo constante. Al final de la zona presencia de *Buddleja*. El humedal mantiene porcentajes entre 16% y 7% mostrando un descenso a los 315 cm ca. 3%. Chenopodiaceae oscila entre 6% y 4%, descendiendo al final de la zona. Cyperaceae alcanza un pico de 5%. *Scirpus* varía entre 5% y 2%. Typhaceae asciende al final de la zona. Presencia al final de la zona de *Zea mays*.

Al inicio el radio de *Pinus/Pinus+Quercus* es alto indicando periodos secos, con intercalaciones de periodos húmedos, al final de la zona es húmedo. El radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas es alto en su totalidad, dominado por los elementos arbóreos (Graf. 3 y 4).

#### **6.3.5 Zona IIIb (270 cm-200 cm) 6566 años a.P. a 5441 años a.P.**

El bosque templado inicia con una proporción de 70%, pasando a oscilar entre 65% a 40%. *Pinus* inicia con 34%, para oscilar entre 40% y 20%. *Quercus* mantiene proporciones entre

30% y 20%. Se observa un pico de *Abies* a los 230 cm (5%). El bosque mesófilo inicia con proporciones menores a 2%, para ascender a 5%. Al inicio *Alnus* alcanza un pico de 15%, posteriormente disminuye a 8%. *Taxodium* mantiene proporciones menores a 5%. El bosque tropical no muestra mucha variación manteniéndose entre 5%, al inicio y final de la zona. Ulmaceae presenta porcentaje menor a 2%, valores bajos de: *Celtis*, Mimosoideae, Leguminosae y *Prosopis*. El matorral oscila entre 30% a 20%, al final de la zona desciende a 10%. La proporción de Compositae es baja entre 10% y 5%. Al inicio Gramineae alcanza un pico de ca. 25%, pasando a oscilar entre 18% y 10%. El porcentaje de Euphorbiaceae es menor de 3%. Otros taxa fueron Brassicaceae, *Croton*, *Lupinus*, *Begonia* y *Buddleja*. La vegetación del humedal oscila entre 14% y 5%. Chenopodiaceae varía entre 4%. *Scirpus* mantiene un porcentaje menor a 5%. Proporciones constantes de Cyperaceae. Valores residuales de *Alternanthera*, Typhaceae y *Tipo Piper*. Presencia al inicio de la zona de cultivos, principalmente de *Zea mays* y Cucurbitaceae.

El radio de *Pinus/Pinus+Quercus* es bajo, indicando condiciones húmedas en toda la zona con intercalación de periodos secos. El radio de Arbóreo/Arbóreo+Hierbas, es grande dominado por elementos arbóreos (Graf. 3 y 4).

### **6.3.6 Zona IIIa (200 cm-170 cm) 5441 años a.P. a 4960 años a.P.**

El bosque templado inicia con ca. 70%, pasando a descender a 45%. *Pinus* inicia con 40%, disminuyendo a 30%, *Quercus* oscila entre 25% a 20%. El bosque mesófilo muestra poca variación, manteniéndose entre 3%. *Alnus* muestra valores residuales, encontrándose permanentemente a *Taxodium*. El bosque tropical inicia con menos de 2%, aumentando a 5%. Ulmaceae varía entre 4%. Leguminosae aumenta su porcentaje al final de la zona. Valores trazas de *Celtis*. El matorral inicia con 30%, aumentando al 42%, siendo la vegetación dominante durante este periodo. Compositae varía, con valores bajos de menos de 7%. Gramineae inicia con 25%, aumentando su porcentaje a 30%. Euphorbiaceae alcanza un pico de 5%. Valores trazas de *Croton*, *Lupinus* y *Buddleja*. El humedal inicia porcentaje de 5%, al final de la zona aumentan a 15%. Chenopodiaceae inicia con 10% descendiendo al final de la zona. Al contrario Typhaceae, Cyperaceae, *Scirpus* y tipo *Piper*, aumentan sus porcentajes al final de la

zona. Se observa dos picos importantes de cultivos de 10% y 5%, de *Zea mays* y Cucurbitaceae (Graf. 3).

En la mayor parte de la zona el radio de *Pinus/Pinus+Quercus* es alto, indicando periodos secos, al final de la zona se observan intercalaciones de periodos cortos de humedad y sequía. Al inicio de la zona el radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas es dominado por los elementos arbóreos, al final de la zona las hierbas tienden a dominar (Graf. 3 y 4).

### **6.3.7 Zona II (170 cm-80 cm) 4960 años a.P. a 2983 años a.P.**

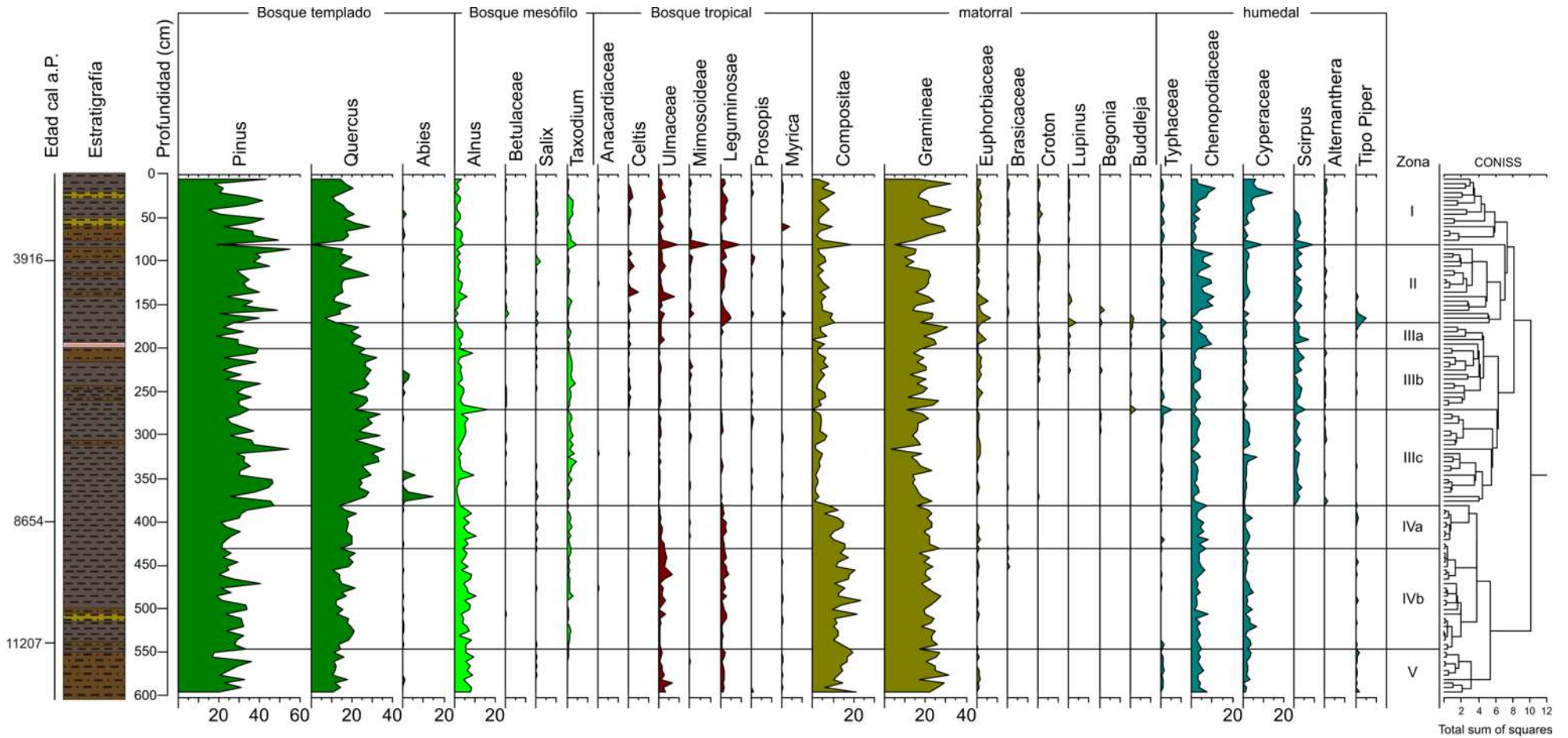
La vegetación templada inicia con valores bajos de 45%, alcanzando el último pico de mayor porcentaje a los 85 cm (73%). *Pinus* varía entre 45% y 25%, observándose dos picos: 155 cm y 85 cm ca. 53%. *Quercus* muestra dos descensos a los 165 cm y 85 cm menor a 5% y un pico de 28% (Graf. 2). Presencia mínima de *Abies* al final de la zona. El bosque mesófilo no sobrepasa los 5%. *Alnus* inicia con valores bajos ca. 2%, ascendiendo a 5%. Valores residuales de *Taxodium*. Mayor presencia de Betulaceae y *Salix*. En esta zona el bosque tropical alcanza su mayor porcentaje en relación a las otras zonas, alcanzando dos picos a los 80 cm (12%) y 160 cm (22%). Ulmaceae muestra dos picos a los 80 cm y 160 cm ca. 5%, Mimosoideae alcanza un pico a los 80 cm (5%). Leguminosae asciende su proporción al final de la zona. Al contrario *Celtis* desciende hacia el final. El matorral inicia con más de 40%, pasando a oscilar entre 40% y 20%. Compositae muestra poca variación, siendo al final de la zona que ascienden a 20%. Gramineae oscila entre 22% y 10%. Euphorbiaceae mantiene proporciones menores a 5%. Porcentaje menor de 6% de Brassicaceae. La vegetación de humedal fluctúa entre 20% y 15%. Al inicio de la zona la proporción de Chenopodiaceae es bajo (2%), aumentando a 10%, para descender al final de la zona. Cyperaceae tiende a aumentar hacia el final de la zona (7%). *Scirpus* covaría con Cyperaceae. Valores trazas de Tipo *Piper*. Presencia de *Zea mays* a los 100 cm (Graf. 3).

Se observa que el radio de *Pinus/Pinus+Quercus* es grande, indicando condiciones secas, al final de la zona estas condiciones se intensifican. La mayor parte de la zona el radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas es alto dominando los elementos arbóreos (Graf. 3 y 4).

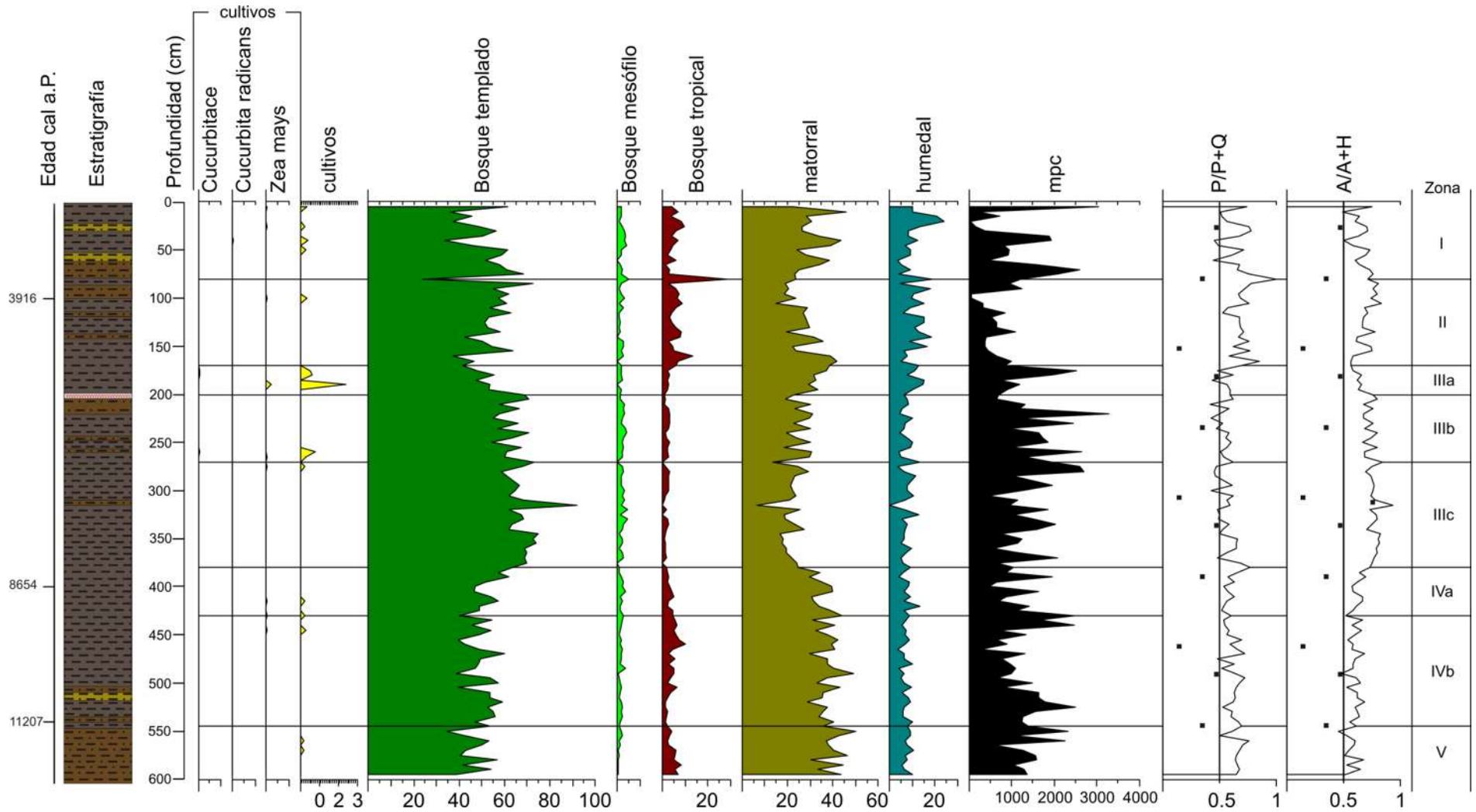
### 6.3.8 Zona I (80 cm-5 cm) 2983 años a.P. a 186 años a.P.

La vegetación templada oscila entre 68% y 35%, descendiendo al final de la zona. *Pinus* inicia con 34%, ascendiendo a más de 50% (Graf. 2). *Quercus* inicia con valores de 6%, alcanzando un pico de 28%, para descender al final de la zona (20%). El bosque mesófilo varía entre 5% a 3%. La proporción de *Alnus* mantiene porcentaje menor de 5%. *Taxodium* inicia con 5%, para descender hacia el final de la zona. El bosque tropical inicia con un pico de 20%, descendiendo a 4%, para oscilar entre 10% y 5%. Ulmaceae, Mimosoideae y Leguminosae inician con 10%, el cual al final disminuye a un valor menor a 5%. La vegetación de matorral fluctúa entre 40% y 25%, al final de la zona alcanza un pico de 45%. Compositae inicia con valores de 20% para descender al final de la zona a 10%. Gramineae inicia la zona con 10% aumentando al final a 30%. Valores residuales de Euphorbiaceae, Brassicaceae y *Croton*. La vegetación del humedal inicia con porcentajes altos de ca. 18%, descendiendo a 5%, aumentando de nuevo hasta alcanzar un pico de 25%. Chenopodiaceae muestra una tendencia aumentar hacia el final de la zona. Cyperaceae covaría con Chenopodiaceae. *Scirpus* se mantiene entre 5%. Valores trazas de *Alternanthera* y Thyphaceae. Se observa la presencia de cultivos de *Zea*, *Cucurbita radicans* y Cucurbitaceae en la mayor parte de la zona (Graf. 3).

Al inicio de la zona el radio de *Pinus/Pinus+Quercus* es bajo, mostrando dos periodos húmedos y al final de la zona las condiciones se vuelven más secas. Mientras que el radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas es alto, lo que indica que los elementos arbóreos dominan para esta zona (Graf. 3 y 4).



Gráfica 2. Diagrama polínico de los principales taxa del lago maar de Rincón de Parangueo, Guanajuato.



Grafica 3. Resumen polínico de los principales tipos de vegetación del lago maar Rincón de Parangueo, Guanajuato.

#### **6.4 Análisis de macropartículas carbonizadas del lago cráter Rincón de Parangueo, Guanajuato**

Las macropartículas (mpc) son expresadas en número de partículas/cm<sup>3</sup>, indicando la intensidad y frecuencia de los incendios. Se utilizó las mismas zonaciones que en el análisis polínico (Graf. 3 y 4).

##### **6.4.1 Zona V (600 cm-545 cm) 11579 años a.P. a 11207 años a.P.**

Las macropartículas inician con menos de 1500 mpc, alcanzando dos picos a los 560 cm y 545 cm ca. 2100 mpc para ascender al final de la zona.

##### **6.4.2 Zona IVb (545 cm-430 cm) 11207 años a.P. a 9186 años a.P.**

Las partículas alcanzan tres picos a los 525 cm, 440 cm y 430 cm ca. 2500 mpc, mostrando un descenso a los 505 cm a 440 cm ca. 1000 mpc.

##### **6.4.3 Zona IVa (430 cm-380 cm) 9186 años a.P. a 8333 años a.P.**

Las partículas muestran una tendencia descendente, iniciando con 2500 mpc, al final de la zona muestra dos picos a los 405 cm y 390 cm ca. 1500 mpc.

##### **6.4.4 Zona IIIc (380 cm-270 cm) 8333 años a.P. a 6566 años a.P.**

La proporción de carbón oscila entre 2000 mpc a 1000 mpc, mostrando que los incendios aumentan en intensidad y frecuencia hacia el final de la zona (2500 mpc).

**6.4.5 Zona IIIb (270 cm-200 cm) 6566 años a.P. a 5441 años a.P.**

Al inicio las partículas de carbón oscilan entre 2500 mpc, observándose un pico a los 220 cm ca. 3200 mpc, para descender al final de la zona a 800 mpc.

**6.4.6 Zona IIIa (200 cm-170 cm) 5441 años a.P. a 4960 años a.P.**

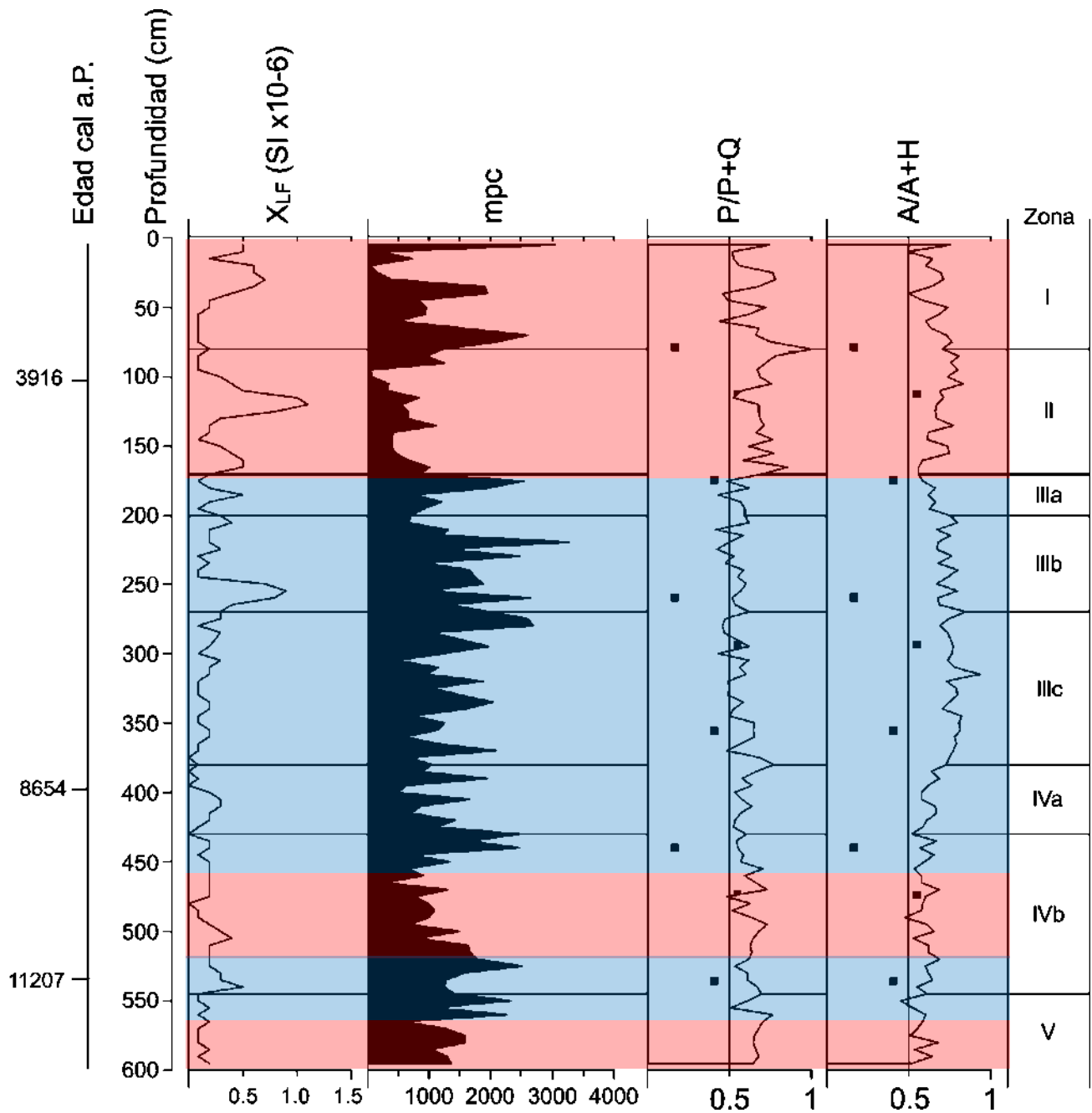
Las macropartículas ascienden hacia el final de la zona alcanzando un pico a los 175 cm de 2500 mpc.

**6.4.7 Zona II (170 cm-80 cm) 4960 años a.P. a 2983 años a.P.**

En esta zona los incendios son menos frecuentes e intensos, mostrando un descenso a los 95 cm ca. 200 mpc, hacia el final de la zona ascienden a 1500 mpc.

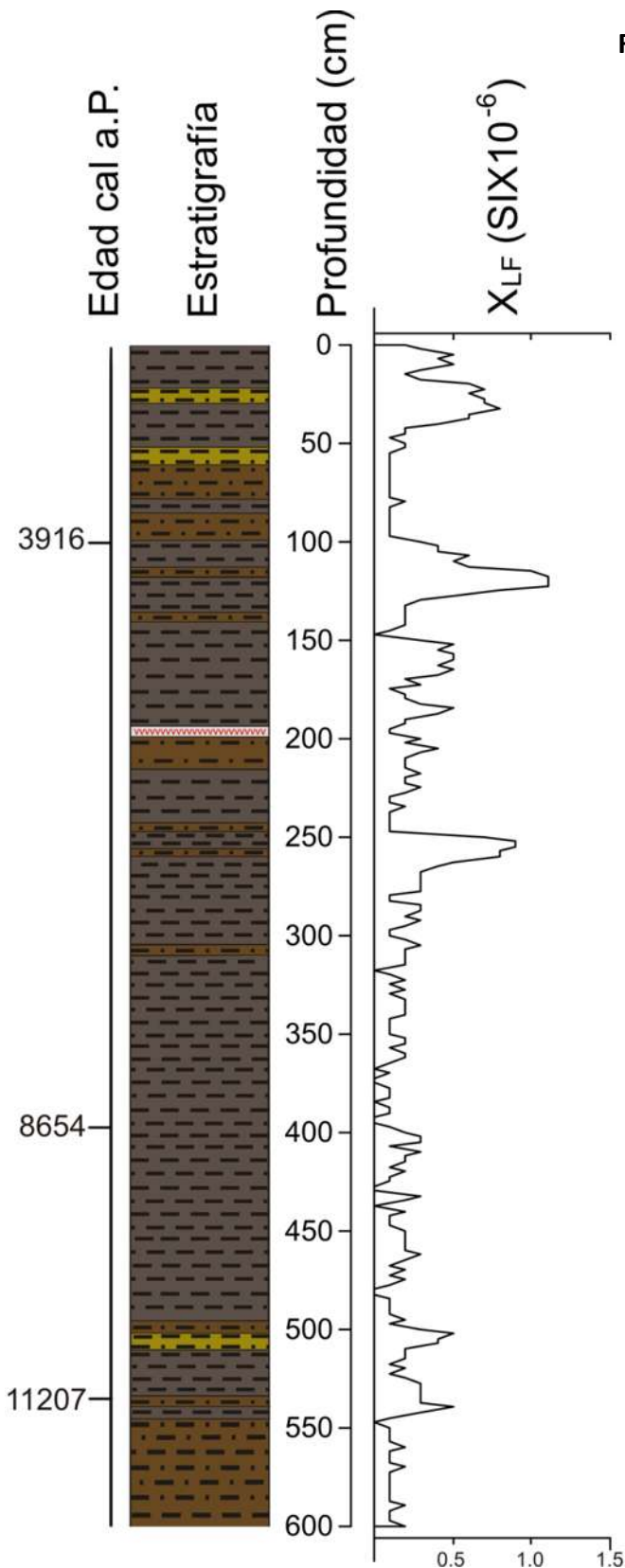
**6.4.8 Zona I (80 cm-5 cm) 2983 años a.P. a 186 años a.P.**

Las macropartículas muestran tres picos de carbón a los 70 cm, 40 cm es ca. 2000 mpc y 5 cm ca. 3000 mpc, sin embargo a los 20 cm las partículas presentan valores bajos.



Grafica 4. Relación de la dinámica de los incendios forestales en diferentes condiciones ambientales, así mismo se muestran las relaciones que indican los periodos húmedos y secos en Rincón de Parangueo, Guanajuato.

### 6.5 Análisis de susceptibilidad magnética del cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato



Se observan tres picos importantes de la susceptibilidad magnética (Graf. 5), a los 255 cm alcanzando un valor de 0.9, el segundo pico a los 120 cm (1.1) y 32 cm (0.8). Sin embargo los tres valores altos de susceptibilidad presentaron facies de sedimentos arcillosos con tendencia a mostrar ciclicidad en la sedimentación. Estos valores altos de susceptibilidad magnética se relacionan con periodos relativamente húmedos de acuerdo al índice de *Pinus/Pinus+Quercus* (Graf. 4). En la base del núcleo se observan valores bajos, menores a 0.2, estos descensos se repiten cada 50 cm.

A los 20 cm, 160 cm, 502 cm y 540 cm muestran varios picos menores a 0.5.

Grafica 5. Análisis de la susceptibilidad magnética correlacionada con la columna estratigráfica de Rincón de Parangueo, Guanajuato.

**7. RESULTADOS DEL LAGO  
CRÁTER LA ALBERCA DE  
VALLE DE SANTIAGO,  
GUANAJUATO**

## 7.1 Estratigrafía del cráter La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato

La columna sedimentaria de La Alberca integra un núcleo con una longitud de 900 cm. Está caracterizada por el dominio de facies de sedimentos arcillosas, láminas arcillosas, sedimentos limosos y sedimentos limo-arcilloso. Los estratos que se pueden observar principalmente en la base, es dominado por sedimentos arcillosos hacia la cima del núcleo dominan los sedimentos limo-arcilloso (Fig. 14).

Se observaron tres niveles de ceniza volcánica en el núcleo: el primero se observa de 784 cm a 785 cm, el segundo de 335 cm a 336 cm y el tercero de 165 cm a 166 cm. Para determinar si estos niveles procedían de fuentes volcánicas se realizó una observación a través de un microscopio para determinar los componentes de la ceniza volcánica:

A los 784 cm a 785 cm presenta vidrio de color claro, múltiples fragmentos de feldespatos alterados, plagioclasas, orto y clinopiroxeno, así como pequeños fragmentos de cuarzo y partículas de carbón.

A los 165-166 cm presenta la misma composición que la anterior con vidrio de color pardo, líticos de color gris claro y oscuro, presencia de partículas de carbón.

A los 335-336 cm presenta fragmentos de pómez con incrustaciones de partículas de carbón, plagioclasas y líticos alterados de composición intermedias.

La mayor parte de la estratificación del núcleo La Alberca es horizontal, no obstante se observan laminaciones con ligera deformación a los 570 cm, 500 cm, 430 cm, 320 cm y 180 cm.

Con base a las diferencias texturales y cambio de coloración de todo el núcleo fue dividido en cinco unidades para su descripción detallada desde la base hasta la cima del núcleo. A continuación se describen cada unidad a detalle desde la base hasta la cima.

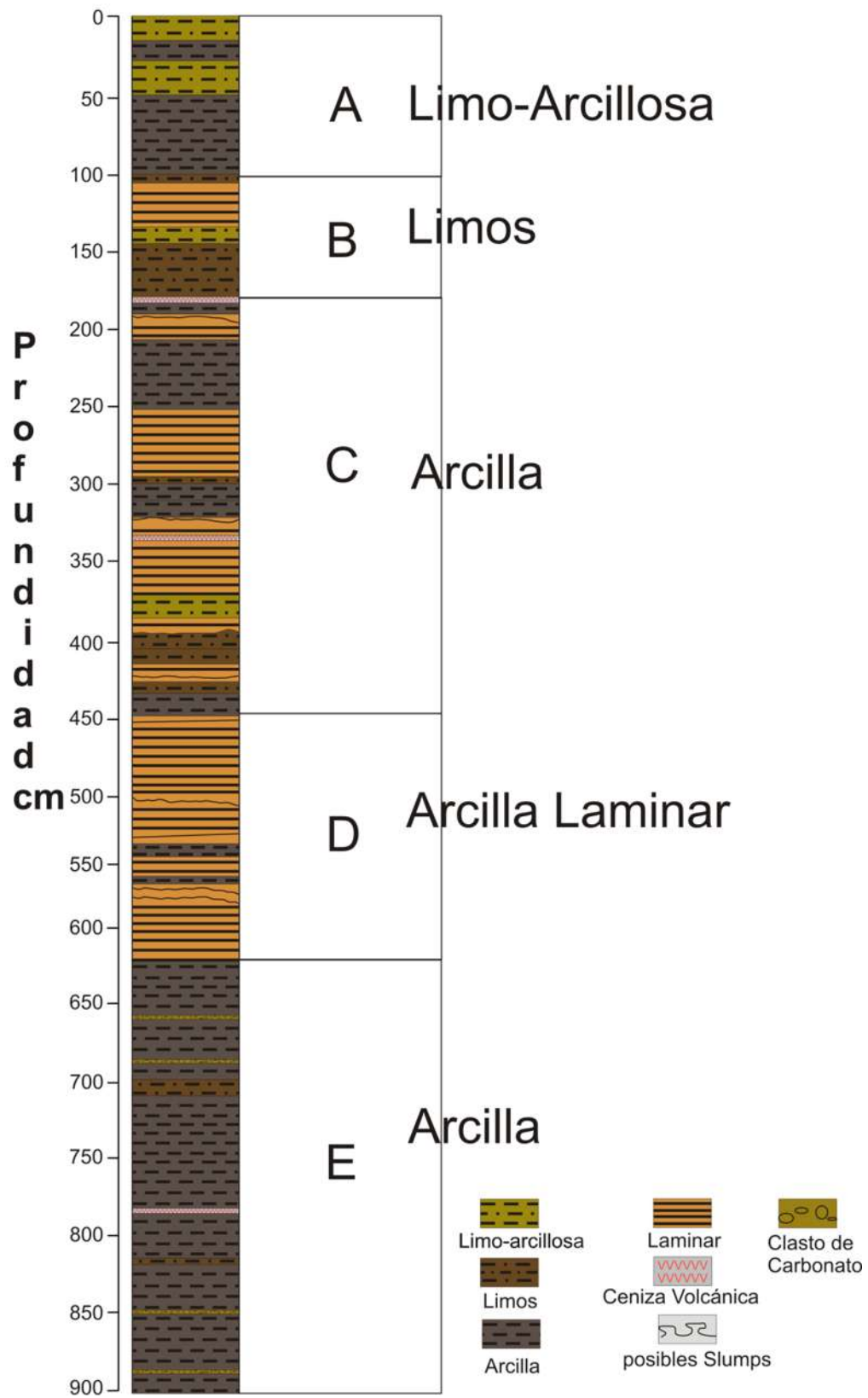


Figura 14. Descripción de la columna estratigráfica general (900 cm a 0 cm), dividida en unidades litoestratigráficas de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.

### 7.1.1 Descripción de la unidad E (900 cm a 630 cm)

En esta unidad el paquete es de 270 cm de espesor, las estructuras sedimentarias son horizontales en todo el tramo (Fig. 15). Conformado por 80 cm de espesor con color 10YR 3/2 de sedimentos arcillosos, además se observaron intercalaciones de láminas de clastos de carbonatos a los 890 cm y 850 cm. Le continúa una banda con un espesor de 10 cm de sedimento limoso. Continuándose con 25 cm de sedimentos arcillosos, que después pasa a una ceniza volcánica muy fina de color 2.5YR 4/2. Le sobreyace a esta unidad intercalaciones con un espesor de 30 cm de sedimentos arcillosos y bandeamientos de sedimentos limosos con un espesor de 10 cm. Se observaron facies de láminas de carbonatos a los 665 cm y 679 cm. Hacia la cima predominan 40 cm de espesor de color 7.5YR 2.5/3 de sedimentos arcillosos. En toda la unidad se observaron valores altos de contenido de carbonatos.

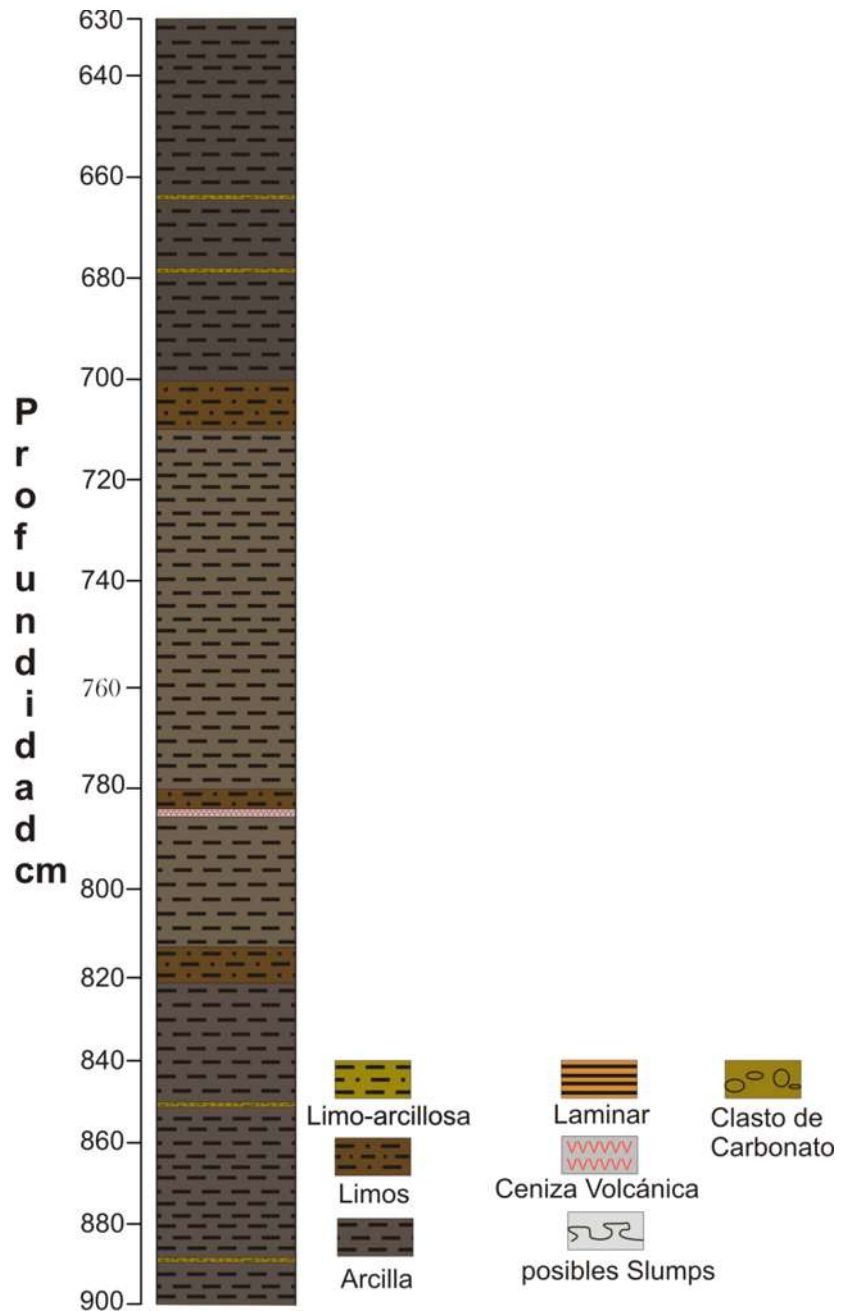


Figura 15. Estratigrafía de la unidad E (900 cm a 630 cm), constituida es su mayoría por sedimentos arcillosos y menor proporción sedimentos limosos.

### 7.1.2 Descripción de la unidad D (630 cm a 450 cm)

En este paquete es de 180 cm de espesor, las estructuras sedimentarias en la mayor parte el tramo son laminares (Fig. 16). En la base se conforma por 35 cm de espesor de color ocre (7.5YR 2.5/3) de facies laminares arcillosas. Le sobreyace bandeamientos de 5 cm de espesor de sedimentos de limos y limo-arcillosa, le continua 20 cm espesor de láminas ligeramente deformadas. Le sobreyace 5 cm de color 7.5YR 3/4 de sedimento arcilloso, el cual le sobreyace 18 cm de láminas de color ocre. Le continua 10 cm de espesor de sedimento arcilloso de color oscuro. Sobreyaciendo se aprecia 40 cm de láminas arcillosas. A los 500 cm se aprecian una ligera deformación en las láminas.

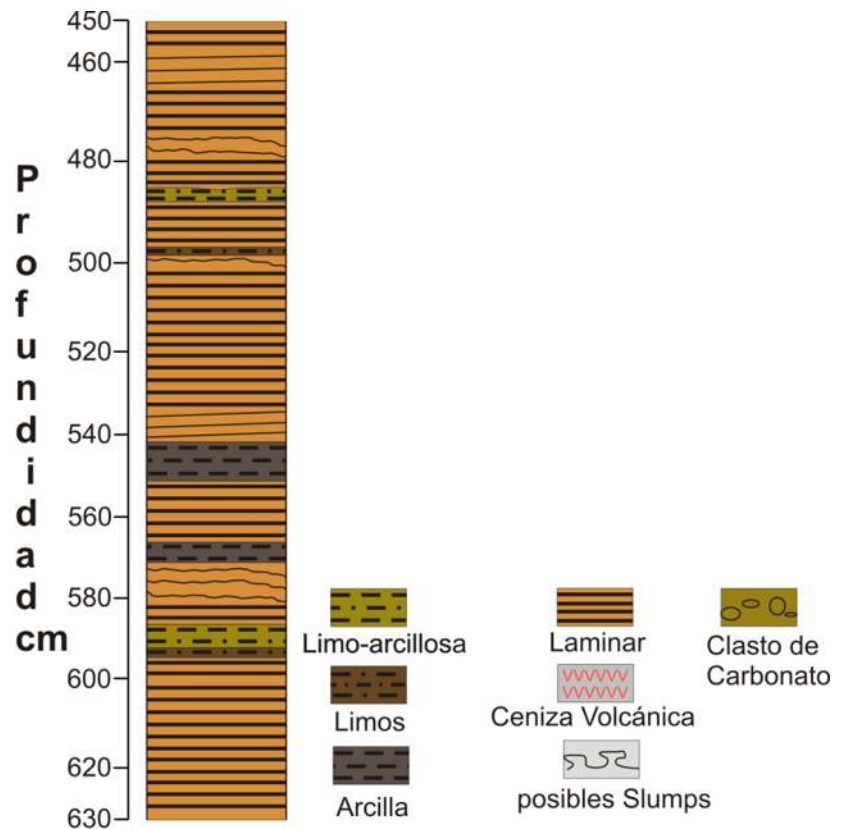


Figura 16. Estratigrafía de la unidad D (630 cm a 450 cm), compuestas en su mayoría por facies laminares de arcillas.

Sobreyaciendo aparece 5 cm de bandas de sedimentos de limos y limo-arcillas. Se aprecia una ligera deformación de las láminas a los 480. Hacia la cima se conforma por 30 cm de láminas arcillosas de color ocre.

En todo el paquete se observaron valores altos de carbonatos.

### 7.1.3 Descripción de la unidad C (450 cm a 160 cm)

En este paquete consta de 290 cm de espesor, el cual las estructuras sedimentarias son horizontales con intercalaciones de láminas finas (Fig. 17). La base presenta bandas de 5 cm de espesor de color 10YR 2/1 de sedimentos limosos, con intercalaciones de arcillas de 15 cm de espesor de color 7.5YR 2.5/3. Le sobreyace 15 cm de color 7.5YR 2.5/3 de láminas arcillosas, el cual se encuentra ligeramente deformada. Le sobreyace en contacto erosivo bandeamientos de sedimentos limosos de 5 cm de espesor, el cual se intercalan con láminas de arcillas de color ocre y sedimentos limosos de 10 cm de espesor con color 10YR 3/2. En contacto transicional le sobreyace 58 cm de láminas arcillosas y 1 cm de ceniza volcánica muy fina de color 2.5YR 4/2, a los 320 cm las láminas se encuentran ligeramente deformadas. Le continúan bandeamientos de 10 cm de espesor de sedimentos de arcillosas, limos y láminas. Le sobreyace 35 cm de color 10YR 3/3 de sedimento arcilloso.

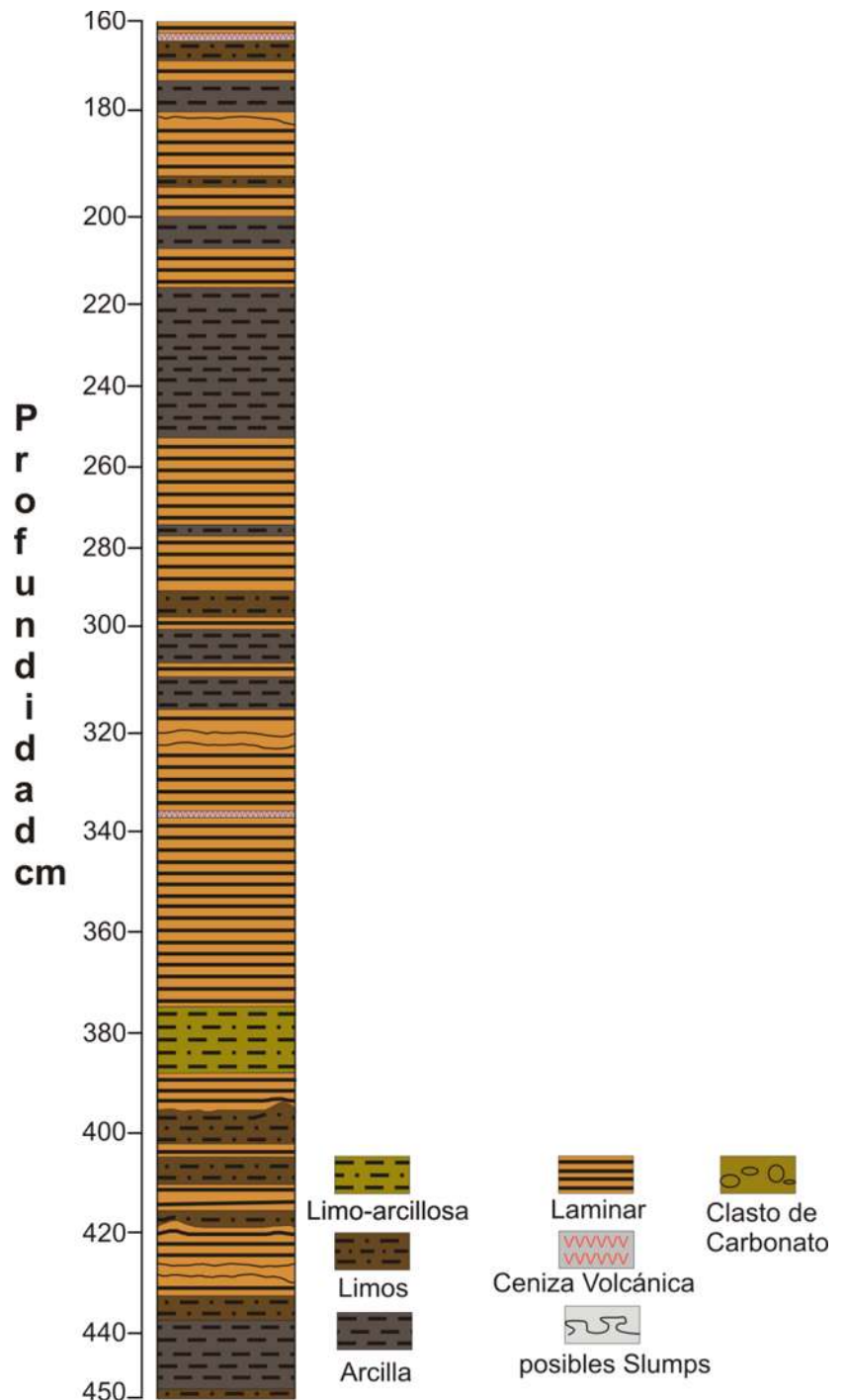


Figura 17. Secuencia Estratigráfica de la unidad C (160 cm y 450 cm) constituida por sedimentos arcillosos, limos, limo-arcillosa y ceniza volcánica.

Los últimos 45 cm de la cima existe intercalaciones de bandas entre 5 a 10 cm de espesor de láminas arcillosas, sedimentos arcillosos y sedimentos limosos. Le continúa 1 cm de ceniza volcánica y 2 cm de láminas de sedimentos arcillosos. En toda la unidad, se observó valores bajos a medios de contenido de carbonatos, por otro lado valores bajos de materia orgánica.

#### 7.1.4 Descripción de la unidad B (160 cm a 100 cm)

Este paquete consta de 60 cm de espesor. Las estructuras sedimentarias son horizontales con intercalaciones de láminas. La base está constituido por 10 cm de espesor con color 10YR 2/2 de sedimentos limosos. Sobreyaciendo se aprecia 3 cm de un posible slump (Fig. 18). Le sobryace en contacto transicional 15 cm de color 10YR 3/2 de sedimentos limosos, le continua 5 cm de láminas arcillosas. Le sobryace 4 cm de sedimento limo-arcilloso. Hacia la cima le continúa 20 cm de láminas arcillosas. Le sigue 5 cm de color 7.5YR 3/4 de sedimento limoso. En todo el paquete se observó valores altos de contenidos de carbonatos, y valores bajos de materia orgánica.

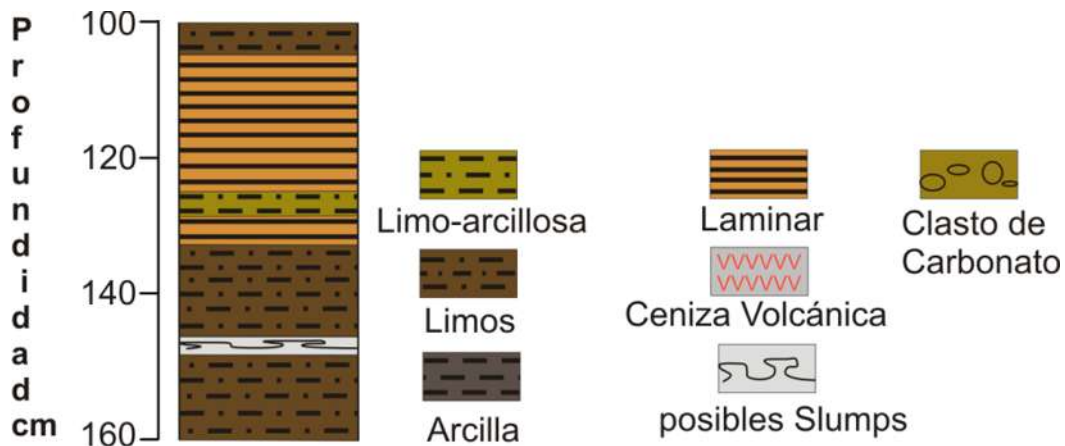


Figura 18. Descripción estratigráfica del paquete B (160 cm a 100 cm) constituida en su mayoría por sedimentos limosos y facies laminares de arcillas.

### 7.1.5 Descripción de la unidad A (100 cm a 0 cm)

Este paquete consta de 100 cm de espesor. Las estructuras sedimentarias son horizontales. En la base la constituye 50 cm de color 10YR 3/3 un estrato de sedimento arcilloso. Le sobreyace 10 cm de sedimento limo-arcilloso, seguido por 4 cm de láminas de color ocre, continuando con 10 cm de espesor de color 10YR 2/3 de sedimentos limosos, que le sobreyace en contacto transicional 10 cm de sedimento arcilloso. Culminando la unidad con 16 cm de sedimento limo-arcilloso (Fig. 19).

La mayor parte de esta unidad se observó valores altos de contenidos de carbonatos y valores bajos de materia orgánica

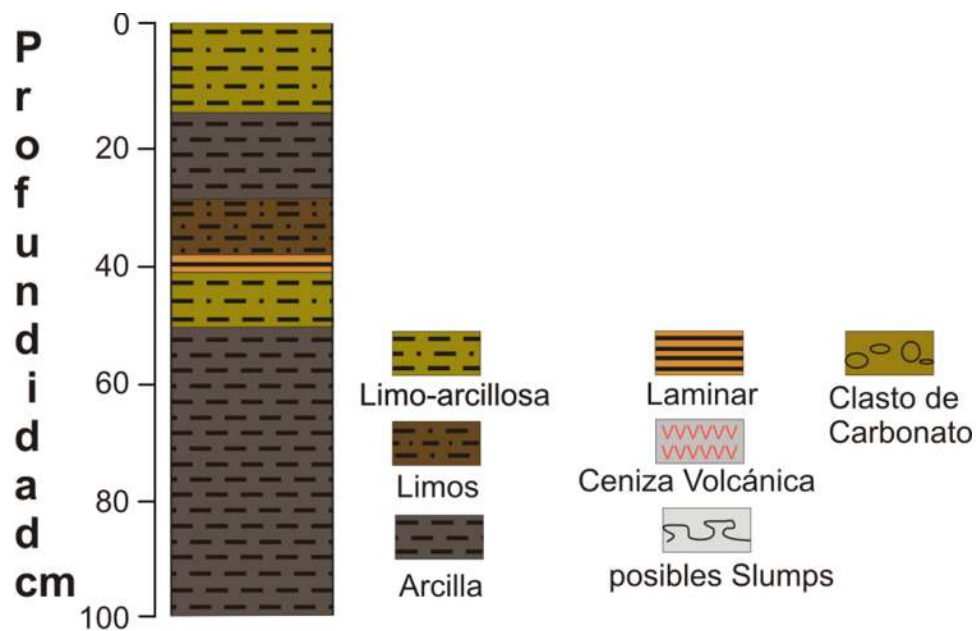


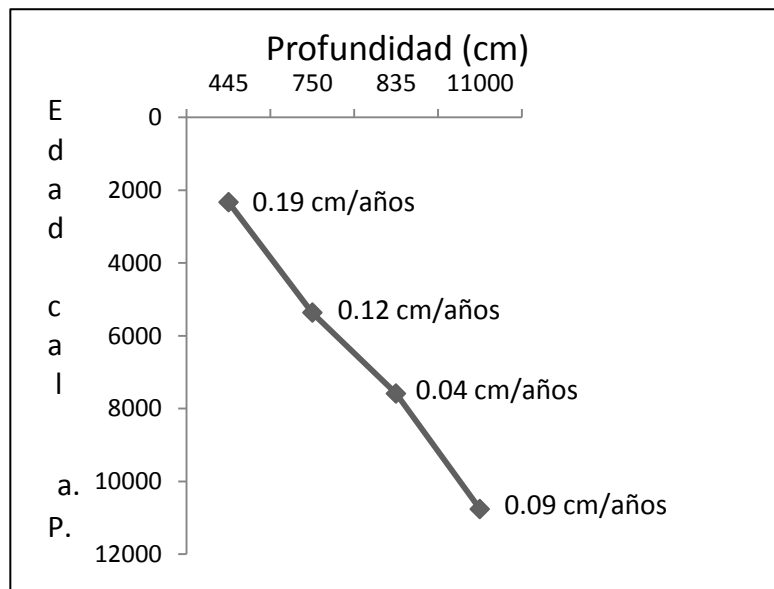
Figura 19. Descripción estratigráfica del paquete A de (100 cm a 0 cm) constituida en la base por sedimentos arcillosos y hacia la cima los sedimentos limo-arcillosos.

## 7.2 Geocronología isotópica del cráter La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato

Para el análisis geocronológico del núcleo de sedimentos de La Alberca se realizaron cuatro fechamientos, por lo que se seleccionaron niveles que contenían mayor porcentaje de carbón, utilizando el método isotópico de  $^{14}\text{C}$ . Las fechas fueron calibrados utilizando el programa CALIB 6.0, (Tabla 2) (Reimer *et. al.*, 2009). A partir de las edades  $^{14}\text{C}$  se obtuvieron modelos de edad y la tasa de sedimentación (Graf. 6).

Tabla 2. Fechamientos isotópico de  $^{14}\text{C}$  de La Alberca de Valle de Santiago, Guanajuato y su cálculo calibrado en años antes del presente.

Profundidad (cm)	Edad $^{14}\text{C}$	Años Cal a.P.	Edades medias (años a.P.)
455	2290±30	2310-2348	2329
750	4700±40	5326-5405	5367
835	6710±30	7566-7608	7587
1100	9500±40	10654-10870	10765



Grafica 6. Curva de edad y tasa de sedimentación del núcleo de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.

### 7.3 Análisis polínico de La Alberca Valle Santiago, Guanajuato

Se identificaron 75 taxa polínicos, entre las cuales destacan *Pinus*, *Alnus*, *Quercus*, Compositae y Gramineae (Graf. 7). Los taxa fueron agrupados de acuerdo a su afinidad ecológica en cinco tipos principales de vegetación: bosque templado, bosque mesófilo, bosque tropical, matorral y humedal (Graf. 8): el bosque templado incluye a *Pinus*, *Quercus* y *Abies*. El bosque mesófilo: *Taxodium*, Betulaceae, *Salix* y *Alnus*. El bosque tropical estuvo representado por *Prosopis*, *Myrica*, Anacardiaceae, Leguminosae, Mimosoideae, Myrthaceae, *Acacia*, *Celtis* y Ulmaceae. Los matorrales por Compositae, *Croton*, Gramineae, Euphorbiaceae, Labiatae, Solanaceae, *Buddleja*, Brassicaceae y Convolvulaceae. El humedal: *Alternanthera*, Chenopodiaceae, Cyperaceae, Tipo *Piper*, *Heliotropium* y *Thypha*.

El diagrama de polen se dividió en siete zonas polínicas: Zona VII (800 cm-750 cm), Zona VIb (750 cm-660 cm), Zona VIa (660 cm-535 cm), Zona Vb (535 cm-400 cm), Zona Va (400cm-375cm), Zona IVb (375 cm-250 cm), Zona IVa (250 cm-200 cm), Zona III (200 cm-165 cm), Zona IIb (165 cm-80 cm), zona IIa (80 cm-45 cm), zona I (45 cm-5 cm), las cuales se describen a continuación (Graf. 7).

#### 7.3.1 Zona VII (800 cm-750 cm) 6672 años a.P. a 5365 años a.P.

La vegetación templada fluctúa entre 70% y 60%, dominado en esta zona (Graf. 8). *Pinus* oscila entre 55% a 40%, al final desciende su porcentaje. *Quercus* inicia con valores bajos de 15%, al final de la zona asciende a 20%. El bosque mesófilo mantiene valores menores de 8%. Valores residuales de *Alnus*. La vegetación tropical presenta valores menores a 5%. Valores trazas de Ulmaceae. La proporción del matorral oscila entre 35% y 20%. Compositae presenta porcentaje menor a 10%. Gramineae muestra una tendencia a descender al final de la zona (25%). La vegetación del humedal presenta valores residuales (3%). Valores trazas de Chenopodiaceae, Cyperaceae y *Piper*.

Los valores de los cultivos son bajos, menores a 15%, el cual es caracterizado por Cucurbitaceae y *Cucurbita* II (Graf. 8).

El radio de *Pinus/Pinus+Quercus* es alto, el cual muestra periodos secos. El radio Arboles/Arboles+Hierbas indica que la cobertura arbórea domina en toda la zona (Fig. 8 y 12).

### **7.3.2 Zona VIb (750 cm-660 cm) 5365 años a.P. a 4438 años a.P.**

La vegetación templada inicia con valores de 45%, para ascender al final de la zona a 60%. *Pinus* oscila entre 40% y 20%, descendiendo al final de la zona. *Quercus* alcanza un pico a los 680 cm (28%), para descender al final de la zona (17%). El bosque mesófilo alcanza dos picos a los 700 cm y 715 cm ca. 18%, descendiendo al final de la zona (8%). *Alnus* alcanza un pico a los 700 cm de 18%, para descender al final de la zona a 5%, se observan valores residuales de *Taxodium*, *Salix* y Betulaceae. El bosque tropical inicia con proporciones menores a 3%, ascendiendo al final de la zona a 8%. Ulmaceae y Leguminosae, muestran una tendencia ascendente. *Prosopis*, *Myrica* y *Celtis* presentan valores residuales. La proporción del matorral oscila entre 35% y 28%. Compositae alcanza un pico a los 660 cm. Gramineae inicia con 29%, para descender hacia el final de la zona. Valores trazas de *Croton*, Brassicaceae, Euphorbiaceae y Solanaceae. La vegetación del humedal tiende a oscilar entre 5% y 10%. Se observan valores residuales de Cyperaceae, Chenopodiaceae, Typhaceae, Tipo *Piper* y *Alternanthera*.

En esta zona se observa la presencia de cultivo dominado por polen de calabaza (Cucurbitaceae), pudiéndose diferenciar tres taxa: Cucurbitaceae, *Cyonocistus* y tipo *Cucurbita*. Los cultivos muestran dos picos entre 30% y 50%, descendiendo al final de la zona (10%). Cucurbitaceae fue el taxón más representativo mostrando dos picos entre 15% y 35% (Graf. 8).

El radio de *Pinus/Pinus+Quercus* muestra periodos húmedos, con intercalaciones de periodos secos. El radio Arboles/Arboles+Hierbas indica que la zona estaba caracterizada por una estructura arbórea (Graf. 8 y 9).

### **7.3.3 Zona VIa (660 cm-535 cm) 4438 años a.P. a 3152 años a.P.**

La vegetación templada inicia con valores bajos de 35%, para después oscilar entre 45% y 50%. *Pinus* inicia con 15%, variando entre 35% a 20%. *Quercus* mantiene porcentaje entre 20% y 15% (Graf. 7). Valor residual de *Abies*. El bosque mesófilo alcanza un pico a los 640

cm (10%). *Alnus* presenta porcentaje menor a 5%. Valores trazas de Betulaceae, *Taxodium* y *Salix*. El bosque tropical inicia con 8% y 5%. Compositae alcanza un pico a los 660 cm de 20%, descendiendo al final de la zona. Gramineae oscila entre 30% y 20%. Porcentaje constante de Euphorbiaceae (3%). Valores trazas de *Croton* y Solanaceae. El humedal varía entre 10% a 6%. Chenopodiaceae oscila entre 8% a 3%. Cyperaceae mantiene proporciones debajo de 4%. Valores residuales de Typhaceae y *Heliotropium*.

Los cultivos continúan presentes, iniciando con 40%, alcanzando un pico a los 605 cm de 65%. Cucurbitaceae muestra un pico a los 605 cm (55%). *Cynocisus* inicia con 10%, el cual al final de la zona desciende a 3% (Fig. 8).

Al inicio el radio de *Pinus/Pinus+Quercus* muestra periodos secos, al final de la zona pasa a condiciones más húmedas. En la mayor parte de la zona el radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas, es dominado por los elementos arbóreos, sin embargo al final de la zona dominan las hierbas (Graf. 8).

#### **7.3.4 Zona Vb (535 cm-400 cm) 3152 años a.P. a 2047 años a.P.**

La vegetación templada muestra dos descensos a los 530 cm y 450 cm (30%) y un pico a los 425 cm de 65% (Graf. 8). *Pinus* oscila entre 30% y 10%. *Quercus* varía entre 25% y 12%. El bosque mesófilo varía entre 10% y 4%. *Alnus* mantiene porcentajes menores a 5%. El bosque tropical no muestra mucha variación manteniéndose entre 5%. Valores residuales de Leguminosae y Mimosoideae. El matorral muestra un pico a los 450 cm de 41%, para después oscilar entre 35% y 25%. Se observan varios picos de Compositae ca. 13%. Gramineae oscila entre 25% y 15%. Euphorbiaceae alcanza un pico a los 450 cm (10%). Valores residuales de *Croton* y Solanaceae. El humedal inicia con tres picos de 510 cm a 520 cm (20%). Chenopodiaceae inicia con dos picos a los 505 cm y 515 cm (12%). La proporción de Cyperaceae es menor a 5%. Valores residuales de Typhaceae y *Heliotropium*.

Al inicio de la zona el porcentaje de los cultivos es bajo ca. 30%, al final de la zona aumentan a más de 60%. Cucurbitaceae es el taxa más frecuente y con mayor porcentaje en la zona, al final de la zona asciende ca. 60%. Presencia de *Cynocisus* (8%) (Graf. 8).

Al inicio de la zona el radio de *Pinus/Pinus+Quercus* indica condiciones húmedas, al final de la zona pasa a condiciones más secas. El radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas, es dominado por los arbóreos, sin embargo a los 445 cm dominan las herbáceas (Graf. 8 y 9).

### **7.3.5 Zona Va (400 cm-375 cm) 2047 años a.P. a 1920 años a.P.**

La vegetación templada oscila entre 70% y 50%, aumentando su porcentaje al final de la zona. *Pinus* oscila entre 50% y 25%, ascendiendo hacia el final de la zona. *Quercus* alcanza dos picos a los 400 cm y 390 cm ca. 25%. Al inicio y final de la zona la vegetación mesófila presenta porcentajes de 6%, de 380 cm a 390 cm los valores son bajos. Valores residuales de *Alnus*, *Taxodium* y *Salix*. El bosque tropical varía entre 5% y 9%. Ulmaceae y Leguminosae ascienden hacia el final de la zona. Valores trazas de Anacardiaceae, *Acacia* y *Celtis*. El matorral oscila entre 35% a 30%, mostrando un descenso a los 375 cm de 20%. Compositae inicia con 5%, aumentando su proporción al final de la zona (12%). Gramineae inicia con 25%, descendiendo al final de la zona a 5%. El humedal varía entre 11% y 5%. Chenopodiaceae y Cyperaceae mantienen valores residuales. Presencia al inicio de *Alternanthera* y *Heliotropium*.

En esta zona se observa un pico de cultivo a los 385 cm (80%). Cucurbitaceae muestra un pico a los 385 cm de 75%. La proporción de *Cyonocisus* es menor a 5%. Presencia de *Zea mays* a los 400 cm y 380 cm (Graf. 8).

El radio de *Pinus/Pinus+Quercus* muestra condiciones secas en toda la zona. Los elementos arbóreos dominan en la relación Arbóreo/Arbóreo+Hierbas (Graf. 8 y 9).

### **7.3.6 Zona IVb (375 cm-250 cm) 1920 años a.P. a 1279 años a.P.**

La vegetación templada inicia con ca. 65%, para después varía entre 45% y 30%, descendiendo al final de la zona. *Pinus* alcanza un pico a los 375 cm de 45%, posteriormente oscila de 30% a 18%. *Quercus* oscila entre 25% y 15%, descendiendo hacia el final de la zona (Graf. 7). La vegetación mesófila presenta porcentajes bajos de 330 cm a 310 cm ca. 2%, sin embargo los porcentajes no sobrepasan el 5%. *Alnus* incrementa su porcentaje al final de la zona (5%). Valores trazas de *Taxodium*, *Salix* y Betulaceae. El bosque tropical varía entre 13% a

5%, mostrando un pico a los 295 cm de 20%. La proporción de Ulmaceae no varía de 5%. Valores trazas de *Acacia*, Mimosoideae, Leguminosae, Anacardiaceae, *Myrica* y *Prosopis*. El matorral oscila entre 60% y 30%, alcanzando un pico a los 260 cm (65%). La proporción de Compositae oscila entre 30% y 10%. Gramineae varía entre 35% a 20%, descendiendo hacia el final de la zona. Presencia de *Croton*, *Buddleja*, Solanaceae y Brassicaceae. La vegetación del humedal tiende ascender al final de la zona, observándose dos picos a los 335 cm y 275 cm ca. 20%. Chenopodiaceae logra alcanzar dos picos a los 335 cm y 275 cm (11%). Cyperaceae no varía menos de 5%. Presencia de Tipo *Piper* al final de la zona.

Los cultivos oscilan entre 90% a 50%, descendiendo hacia el final de la zona. Cucurbitaceae oscila entre 80% a 35% mostrando un descenso a los 305 cm ca. 30%. Valores residuales de *Cynocistus*, *Cucurbita* II y *Zea mays* (Graf. 8).

Al inicio el radio de *Pinus/Pinus+Quercus* muestra periodos secos con periodos cortos de humedad, al final de la zona pasa a condiciones más húmedas (Graf. 9). El radio de Arbóreo/Arbóreo+Hierbas indican que los elementos herbáceos dominan en toda la zona.

### **7.3.7 Zona IVa (250 cm-200 cm) 1279 años a.P. a 1024 años a.P.**

La vegetación templada muestra un pico a los 240 cm de 55%, para después descender al final de la zona ca. 40%. *Pinus* varía entre 30% y 25%. *Quercus* oscila entre 25% y 18%. La vegetación mesófila varía entre 5% y 8%. *Alnus* desciende su proporción al final de la zona. Valores residuales de *Taxodium*, *Salix* y Betulaceae. El bosque tropical oscila entre 5%, alcanzando un pico a los 210 cm de 9%. Ulmaceae asciende al final de la zona. Valores trazas de Mimosoideae y Leguminosae. La vegetación de matorral oscila entre 30% a 50%. La proporción de Compositae varía entre 15% y 5%, alcanzando un pico a los 205 cm de 23%. Gramineae fluctúa entre 25% y 20%. Presencia al inicio y final de *Croton* y *Buddleja*. El humedal inicia con 15%, alcanzando un pico a los 245 cm de 20%, para descender al final de la zona (10%). Chenopodiaceae inicia con un pico de 15%, para después descender a 7%. Cyperaceae incrementa su valor al final de la zona a 5%. Valores trazas de *Heliotropium*, *Piper* y Typhaceae (Fig. 7 y 8).

Los cultivos inician con valores de 60%, para después oscilar entre 80% a 70%. Cucurbitaceae varía entre 75% y 55%. *Cynocistus* mantiene porcentaje menor a 7% (Fig. 8).

En esta zona la relación de *Pinus/Pinus+Quercus* es dominada por condiciones secas. Al inicio y final de la zona el radio de Arbóreo/Arbóreo+Hierbas es dominado por las herbáceas, en la parte central dominan los arbóreos (Graf. 9).

### **7.3.8 Zona III (200 cm-165 cm) 1024 años a.P. a 844 años a.P.**

La vegetación templada inicia con 45%, para descender al final de la zona (30%). *Pinus* fluctúa entre 25% y 15%. *Quercus* oscila entre 20% y 5%. La vegetación mesófila no sobrepasa de 5%. *Alnus* asciende su porcentaje al final de la zona. El bosque tropical muestra un pico a los 190 cm de 17%, para después descender su proporción al final de la zona a 11%. Myrthaceae alcanza un pico a los 190 cm (8%). Presencia de *Acacia*, *Celtis*, Anacardiaceae. La vegetación de matorral muestra un pico a los 195 cm de 60%, y desciende a menos de 40%. Compositae mantiene su porcentaje entre 20% y 15%. Gramineae inicia la zona con 30% y finaliza en 21%. Se observa un pico a los 185 cm de Labiatae (6%). Presencia al final de la zona de Solanaceae. Valores residuales de Euphorbiaceae, *Croton* y *Buddleja*. La vegetación del humedal no varía, manteniéndose entre 10%. La proporción de Chenopodiaceae oscila entre 6% y 3 %. Cyperaceae covaría con Chenopodiaceae. *Piper* muestra un pico de 6%. *Heliotropium* covaría con *Piper*. Presencia al final de la zona de *Alternanthera*.

Los cultivos se mantienen entre 75%. Cucurbitaceae varía entre 60%, descendiendo al final de la zona. *Cynocistus* muestra un pico a los 190 cm de 20% (Graf. 8).

El radio de *Pinus/Pinus+Quercus* indica que las condiciones son secas, al final de la zona pasa a condiciones más húmedas. Sin embargo, en la mayor parte de la zona el radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas es dominado por elementos herbáceos (Graf. 8 y 9).

### **7.3.9 Zona IIb (165 cm-80 cm) 844 años a.P. a 409 años a.P.**

El bosque templado mantiene valores entre 40% a 30%, ascendiendo hacia el final de la zona a más 50% (Graf. 8), dominando la zona. Al inicio *Pinus* oscila entre 30% y 19%, siendo al final de la zona que aumenta su proporción ca. 40%. *Quercus* inicia con valores altos de 23% y finaliza con 20%. *Abies* alcanza 5% a los 100 cm de (Graf. 7). El bosque mesófilo varía entre 9% a 5%. *Alnus* asciende su porcentaje al final (6%). De misma manera *Taxodium* asciende a 4%. Presencia de Betulaceae. El bosque tropical mantiene valores constantes entre 10%. Ulmaceae no varía menos de 8%. Valores trazas de *Celtis*, Mimosoideae, Leguminosae y Anacardiaceae. El matorral inicia con 37%, ascendiendo a 50% y finaliza en 25%. Compositae oscila entre 15% a 10%, descendiendo al final de la zona (5%). Gramineae varía entre 30% a 20%. Valores residuales de Euphorbiaceae, Labiatae, Solanaceae, *Buddleja* y *Croton*. La vegetación del humedal muestra dos descensos a los 145 cm y 80 cm ca. 4%. Los porcentajes de Chenopodiaceae y Cyperaceae no varían menos de 5%. Presencia mínima de *Piper*, *Heliotropium* y *Alternanthera*.

Los cultivos muestran una tendencia a descender al final de la zona oscilando entre 75% a 33%. De 100 cm a 80 cm los cultivos desaparecen. Cucurbitaceae oscila entre 60% a 32%, desapareciendo el registro a los 100 cm. *Cyonocisus* alcanza un pico a los 105 cm de 34%, desapareciendo de la misma manera que los demás taxa cultivados. Presencia de *Zea* a los 150 cm, 120 cm y 105 cm (Graf. 8).

El radio de *Pinus/Pinus+Quercus* muestra periodos húmedos, posteriormente pasa a condiciones más secas. Al inicio el radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas es dominado por las herbáceas, al final de la zona los elementos arbóreos dominan (Graf. 8 y 9).

### **7.3.10 Zona IIa (80 cm-45 cm) 409 años a.P. a 230 años a.P.**

La vegetación templada inicia con porcentajes altos de 50%, al final de la zona desciende a 30%. *Pinus* muestra una tendencia descendente, iniciando con 33% y finaliza con 20%. *Quercus* inicia con 18%, para después aumentar al final de la zona (20%). La vegetación mesófila inicia con 10% y finaliza la zona con 4%. *Alnus* alcanza un pico a los 70 cm (6%). Valores trazas de *Taxodium* y Betulaceae. El bosque tropical oscila entre 11% y 15% y finaliza con 9%.

Ulmaceae no varía menos de 7%. *Celtis* inicia con 5%, desapareciendo al final de la zona. Mimosoideae mantiene porcentaje menor a 3%. Al final de la zona aumenta la proporción de Myrthaceae. *Prosopis* inicia con valores altos, descendiendo al final de la zona. La vegetación del matorral oscila entre 42% y 35%. Compositae varía entre 18% a 15%. Gramineae oscila entre 20% a 16%. Se observa un pico a los 55 cm de 10% de Euphorbiaceae. Al final de la zona el humedal asciende a 11%. Valores residuales de Chenopodiaceae, Cyperaceae, *Piper* y *Heliotropium*.

De 75 cm a 55 cm no se observan la presencia de cultivos, a partir de los 55 cm reaparecen los cultivos ca. 40%. Presencia al final de la zona de Cucurbitaceae (35%). *Cyonocisus* no pasa de 7% (Graf. 8).

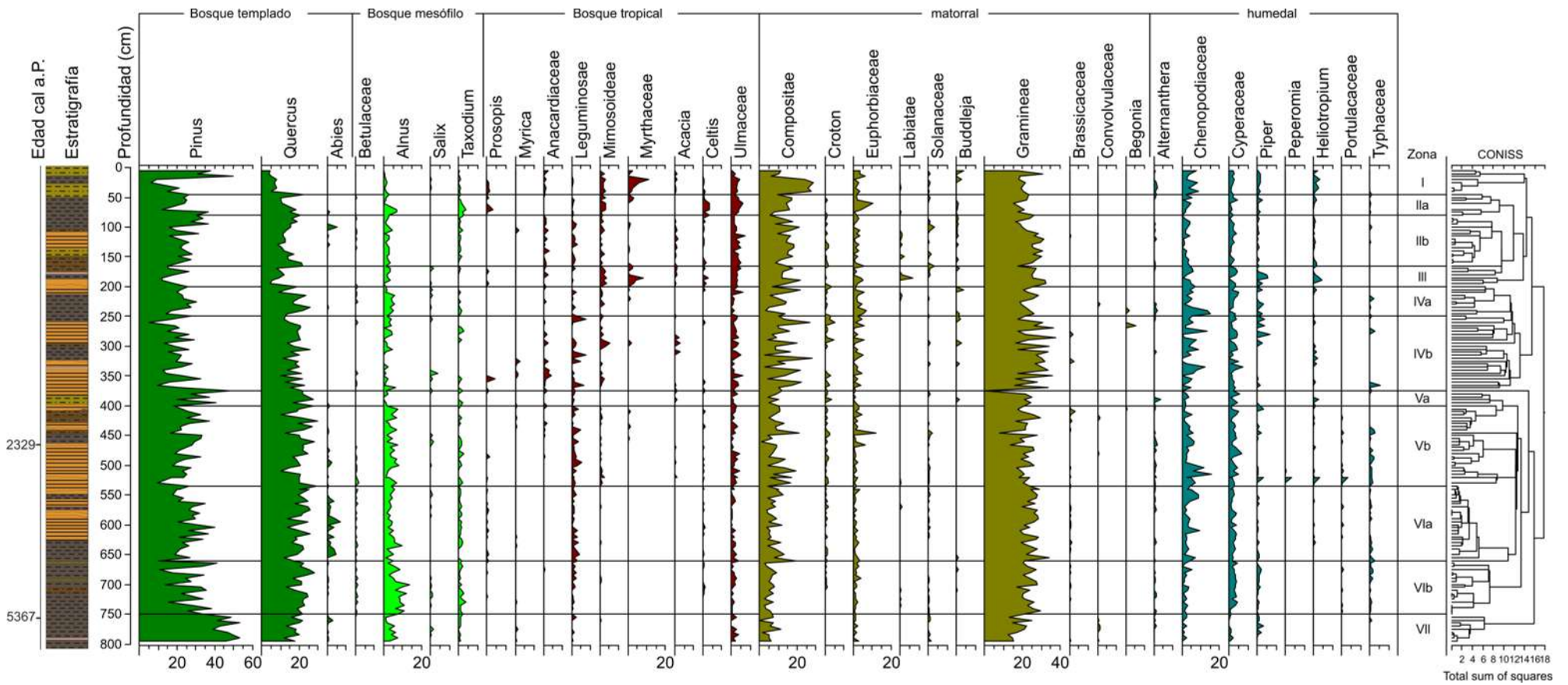
El radio de *Pinus/Pinus+Quercus* indica que es un periodo húmedo, sin embargo al final de la zona pasa a condiciones más secas. El radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas es dominado por los elementos arbóreos (Graf. 9).

### **7.3.11 Zona I (45 cm-5 cm) 230 años a.P. a 128 años a.P.**

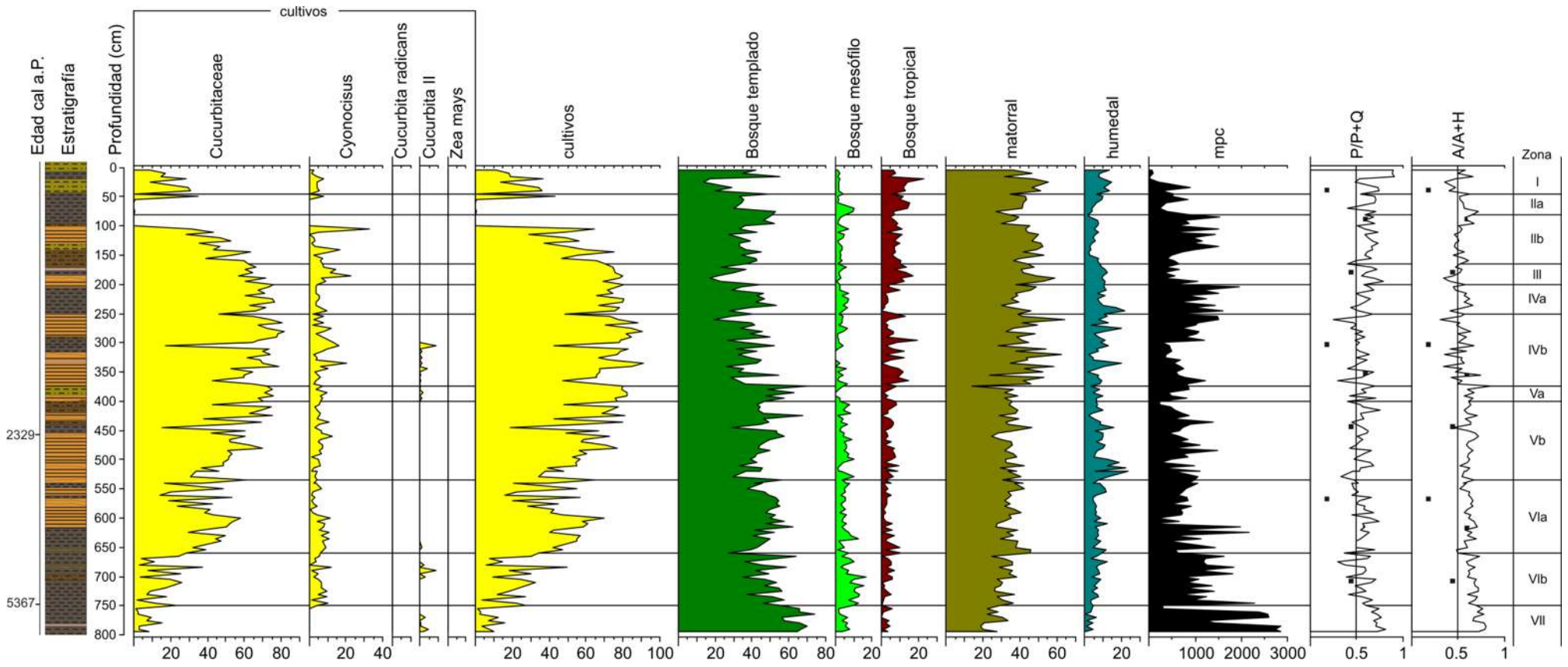
La vegetación templada inicia con porcentaje de 45%, se observan un descenso a los 25 cm ca. 20%, posteriormente la vegetación vuelve ascender a 60%. *Pinus* inicia con 24% descendiendo a los 25 cm (10%), para aumentar hasta 60% al final de la zona. Al contrario *Quercus* inicia con 20%, el cual desciende al final de la zona (10%). El bosque mesófilo varía entre 5%. *Alnus* y *Taxodium* desciende al final de la zona. La vegetación tropical inicia con 10%, alcanzando un pico a los 20 cm de 20%, para disminuir al final de la zona menos del 10%. A los 20 cm Myrthaceae alcanza un pico de 10%. Valores residuales de Mimosoideae y Ulmaceae. El matorral inicia con 40% y aumentar hasta 50%, mostrando una tendencia a descender al final de la zona. Compositae inicia menos del 20%, posteriormente se establece y se mantiene desde los 40 cm a 25 cm (25%), y disminuir al final de la zona. Gramineae alcanza un pico a los 10 cm (35%), para finalizar con 20%. Presencia al final de la zona de Euphorbiaceae, *Buddleja* y Solanaceae. La vegetación de humedal presenta porcentaje similar a la zona IV, alcanzando un pico a los 25 cm 15%. Valores trazas de Chenopodiaceae, *Heliotropium*, Cyperaceae y *Alternanthera* (Graf. 7 y 8).

Los cultivos descienden al final de la zona, al inicio varían entre 37% a 18%. Cucurbitaceae oscila entre 30% y 14%. Valores residuales de *Cyonocisus* (Graf. 8).

Al inicio y final de la zona el radio de *Pinus/Pinus+Quercus* indica periodos secos, a los 25 cm se observa un periodo de humedad corto. Al inicio el radio Arbóreo/Arbóreo+Hierbas es dominado por elementos herbáceos, incrementándose los elementos arbóreos al final de la zona (Graf. 8 y 9).



Grafica 7. Diagrama polínico de los principales taxa de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.



Grafica 8. Grafica de resumen de los principales tipos de vegetación de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.

#### **7.4 Análisis de macropartículas carbonizadas de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato**

##### **7.4.1 Zona VII (800 cm-750 cm) 6672 años a.P. a 5365 años a.P.**

En esta zona las macropartículas muestran dos picos 765 y 790 ca. 3000 mpc, al final de la zona el valor desciende a menos de 600 mpc (Graf 8 y 9).

##### **7.4.2 Zona VIIb (750 cm-660 cm) 5365 años a.P. a 4438 años a.P.**

Las macropartículas muestran un pico a los 745 cm ca. 2300 mpc, para oscilar al final de La zona entre 1500 mpc a 1000 mpc.

##### **7.4.3 Zona VIa (660 cm-535 cm) 4438 años a.P. a 3152 años a.P.**

Las macropartículas alcanzan dos picos a los 615 cm y 625 cm con ca. 2100 mpc, se observa un descenso en el número de partículas carbonizadas a menos de 500 mpc entre 600 y 610 cm.

##### **7.4.4 Zona Vb (535 cm-400 cm) 3152 años a.P. a 2047 años a.P.**

En esta zona las partículas de carbón oscilan entre 1500 mpc y 1000 mpc.

##### **7.4.5 Zona Va (400 cm-375 cm) 2047 años a.P. a 1920 años a.P.**

En esta zona el número de macropartículas no sobrepasan de 1000 mpc.

##### **7.4.6 Zona IVb (375 cm-250 cm) 1920 años a.P. a 1279 años a.P.**

Esta zona muestra una tendencia ascendente, inicia con ca. 1000 mpc, al final de la zona termina con 1500 mpc.

**7.4.7 Zona IVa (250 cm-200 cm) 1279 años a.P. a 1024 años a.P.**

Al inicio las mpc oscilan entre 1500 a 1000 mpc, alcanzando al final de la zona alcanza un máximo de 2000 mpc.

**7.4.8 Zona III (200 cm-165 cm) 1024 años a.P. a 844 años a.P.**

Los incendios son menos intensos. Los valores que se registran son menores a 600 mpc, los cuales son de los más bajos de todas las zonas.

**7.4.9 Zona IIb (165 cm-80 cm) 844 años a.P. a 409 años a.P.**

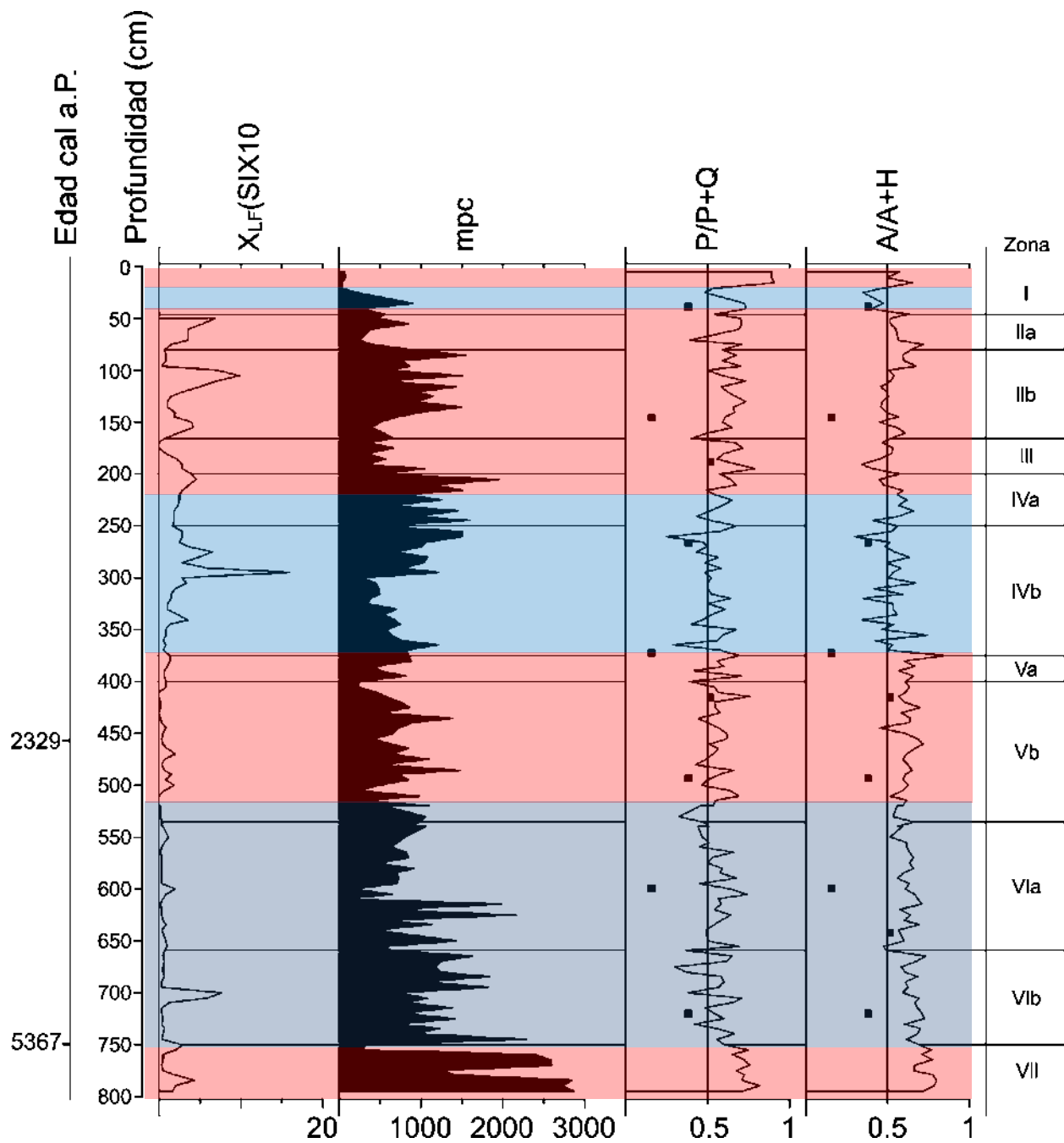
La zona inicia con 600 mpc, al final de la zona alcanza cuatro picos de 1500 mpc.

**7.4.10 Zona IIa (80 cm-45 cm) 409 años a.P. a 230 años a.P.**

Esta zona mantiene valores bajos menos de 650 mpc. Similares a los encontrados en la zona III.

**7.4.11 Zona I (45 cm-5 cm) 230 años a.P. a 128 años a.P.**

Las macropartículas de carbón muestran un último pico a los 35 cm de 800 mpc, al final de la zona descienden a menos de 100 mpc.



Gráfica 9. Relación de la vegetación y el efecto de los incendios, el cual nos indicó las periodisidades húmedas y secas en La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.

## **7.5 Resultados del análisis químico del cráter La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato**

Los elementos mayores trabajados corresponden a Al, Ti, Fe, Ca y K los cuales son derivados de fuentes detríticas alogenéticas. Los elementos de Na y Mg son muy solubles, mientras que el Ti, Al y Fe son resistentes al intemperismo, sin embargo, al contacto con el agua se vuelven altamente solubles (Smykatz *et al.*, 2010), por lo que han sido utilizados como indicadores de cambios de aporte clástico y aporte hídrico a la cuenca (Peterson y Haug, 2006; Rothwell y Rack, 2006; Rothwell *et al.*, 2006). Los altos valores de estos elementos indican mayor humedad, mientras que los valores bajos indican periodos de menor aporte clástico y por lo tanto menor precipitación (Sosa-Nájera *et al.* 2010). Un alto valor de Na se relaciona con una disminución en la precipitación y un aumento en la evaporación (Park *et al.*, 2010).

En algunas zonas no se distinguen con mucha claridad los periodos cálidos o húmedos, por lo que se calculó las relaciones de Ca/K, Ca/Ti, Na/Ti, Mg/Ti y Mg/Al. Cuando los valores son altos indican periodos secos, caracterizados por una menor precipitación y mayor evaporación en el lago (Eugster y Hardie 1978).

### **7.5.1 Zona VIa (660 cm-535 cm) 4438 años a.P. a 3152 años a.P.**

Los valores de Al son bajos, alcanzan un pico a los 555. El Ti alcanza dos picos a los 555 cm y 535 (0.05%). De la misma manera el Fe alcanza dos picos de 1.4%. Mientras que el K mantiene un porcentaje menor de 0.5%. El Mn inicia con un porcentaje bajo, siendo al final de la zona que asciende a 0.04%. El Ca inicia con 15%, para descender al final de la zona (10%). El Cl y Na presenta valores bajos (Graf. 10).

La relación Ca/Ti y Ca/K muestran valores altos indicando un periodos de sequía, por otro lado, se observan periodos cortos de humedad (Graf. 11).

### **7.5.2 Zona Vb (535 cm-400 cm) 3152 años a.P. a 2047 años a.P.**

El ion de Al alcanza un pico a los 515 cm de 2.9%, para posteriormente fluctuar entre 2% a 0.5%. El Ti inicia con un pico a los 510 cm (0.08%), para variar entre 0.04% y 0.01%. El Fe

alcanza un pico a los 510 cm de 2.5%. El K muestra poca variación manteniéndose entre 1% y 0.3%. El porcentaje de Mn inicia con un pico a los 510 cm (0.06%), para variar entre 0.03% y 0.01%. El Ca mantiene un porcentaje entre 15% y 5% (Graf. 10).

La relación de Ca/K, Ca/Ti y Mn/Ti, indican intercalaciones entre periodos secos con periodos cortos de humedad. (Graf. 11).

### **7.5.3 Zona Va (400 cm-375 cm) 2047 años a.P. a 1920 años a.P.**

En toda la zona el porcentaje de Al es menor de 1%. De la misma manera el Ti y Fe mantienen valores bajos de 0.02%. La proporción de K es menor de 0.5%. El porcentaje de Mn asciende al final de la zona (0.02%), mientras Ca varía entre 10% y 8% (Graf. 10).

Se observan valores altos en la relación de Ca/K y Ca/Ti, lo que indican periodos secos en toda la zona (Graf. 11).

### **7.5.4 Zona IVb (375 cm-250 cm) 1920 años a.P. a 1279 años a.P.**

En esta zona solo se observó un solo pico de Al a los 300 cm (3%). El valor del Ti fluctúa entre 0.09% y 0.01%. El porcentaje de Fe alcanza un pico a los 300 cm (2.5%), para pasar a fluctuar entre 1.5% y 0.5%. El K oscila entre 0.08% y 0.01%. El valor de Mn tiende a oscilar entre 0.04% y 0.01%. El porcentaje de Ca varía entre 12% a 7%, alcanzando un pico a los 275 cm de 21% (Graf. 10).

La relación entre Ca/Ti y Ca/K presenta valores bajos, lo que indica periodos húmedos, al final de la zona las condiciones ambientales se vuelven más secas (Graf. 11).

### **7.5.5 Zona IVa (250 cm-200 cm) 1279 años a.P. a 1024 años a.P.**

El Al fluctúa entre 1.5% y 0.5%. El valor del Ti es bajo en toda la zona (0.05%). El Fe muestra dos picos a los 210 cm y 225 cm de 1.5%. Los porcentajes de K, Mn y Cl son bajos en toda la zona. El Ca alcanza tres picos a los 200 cm, 215 cm y 235 cm de 19%. El Na muestra un pico a los 225 cm de 6% (Graf. 10).

Las relaciones de Ca/Ti y Ca/K son altos en toda la zona, lo que indican periodos secos (Graf. 11).

#### **7.5.6 Zona III (200 cm-165 cm) 1024 años a.P. a 844 años a.P.**

El porcentaje de Al varía de 1.5% a 0.5%. El Ti alcanza un pico de 0.05%. La proporción del Fe alcanza un pico de a los 180 cm de 1.5% y desciende al final de la zona (0.8%). El porcentaje del Mn alcanza un pico a los 180 cm de 0.03%. El Ca inicia con un pico de 20%, el cual al final de la zona desciende a 15%. Los valores de K, Cl y Na son bajos en toda la zona (Graf. 10).

La relación de Ca/K y Ca/Ti indican condiciones secas en toda la zona.

#### **7.5.7 Zona IIb (165 cm-80 cm) 844 años a.P. a 409 años a.P.**

El valor de Al muestra una tendencia a fluctuar entre 1.0% y 0.01%, alcanzando un pico a los 110 cm de 1.8%. El porcentaje de Ti oscila entre 0.04% y 0.01%, observándose un pico de 0.06%. El Fe alcanza un pico a los 110 cm de 1.7%, para descender a menos de 1%. El valor del K oscila entre 0.5% y 0.3%, el cual al final de la zona asciende a 1.7%. Se observa un pico de Mn a los 110 cm de 0.045%, para posteriormente oscilar entre 0.02% y 0.001%. El Ca inicia con 12%, descendiendo al final de la zona a menos de 4%. El porcentaje de Cl muestra un pico a los 95 cm de 8.7%. El Na muestra la misma tendencia alcanzando un pico a los 95 cm de 19.8% (Graf. 10).

La relación de Ca/K y Ca/Ti indican que al inicio predominan condiciones secas, al final de la zona se vuelve húmedo. Por otro lado, la relación de Mg/Al sugiere que a los 95 cm existe un alto grado de salinidad (Graf. 11).

#### **7.5.8 Zona IIa (80 cm-45 cm) 409 años a.P. a 230 años a.P.**

El Al inicia con porcentaje bajo, el cual al final de la zona asciende hasta 2.5%. El Ti presenta valor menor de 0.02%. El porcentaje del Fe asciende al final de la zona (2.2%). La

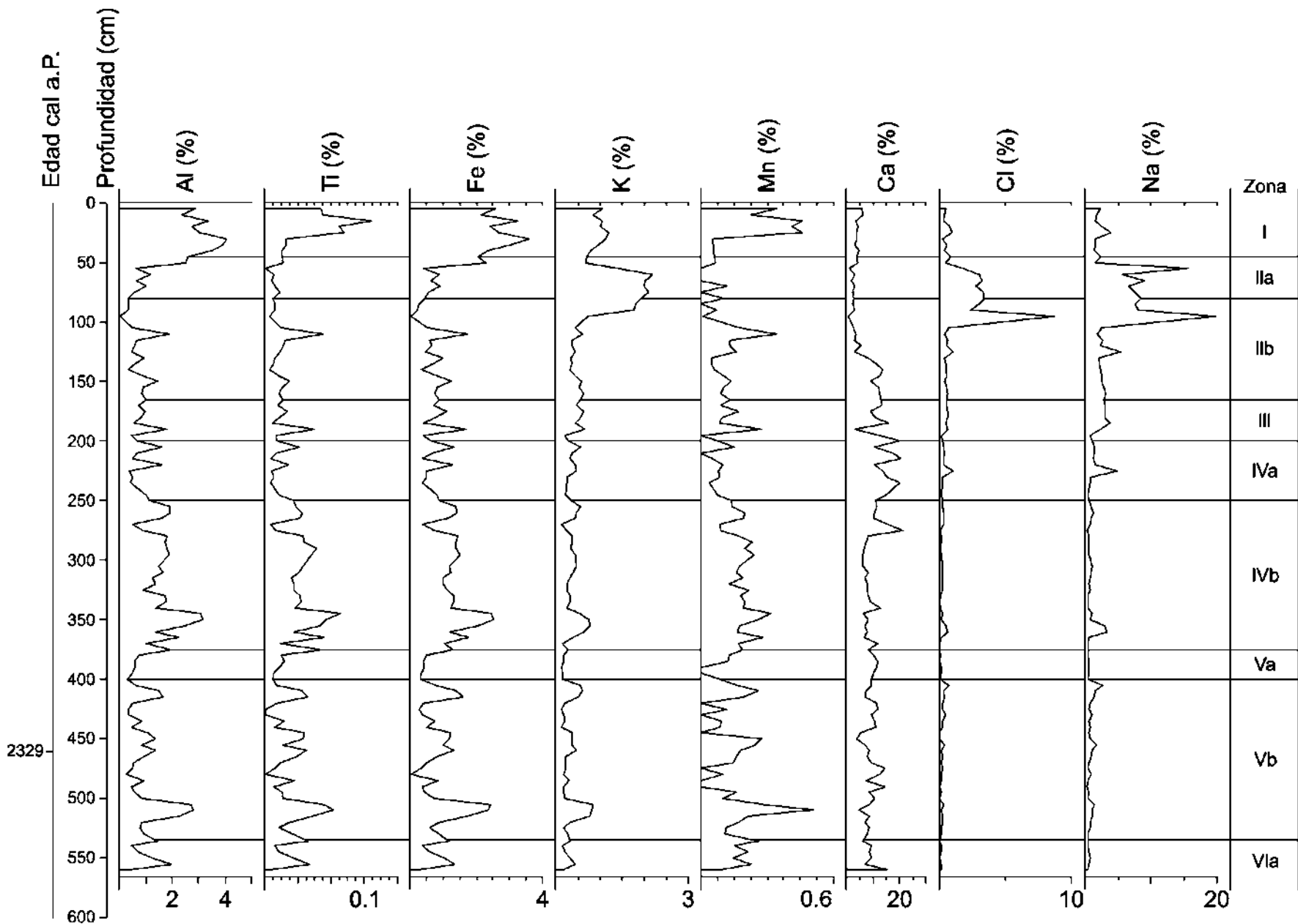
proporción de K inicia con 2.1%, al final de la zona desciende a 0.6%. El Mn mantiene porcentaje menor a 0.01%. El Ca muestra una tendencia fluctuante entre 4% y 2%. El Cl inicia con 3.4%, para el final descender a menos de 1%. Se observa un pico de Na a los 55 cm (15.7%) (Graf. 10).

La relación de Na/Ti y Mg/Ti indican que la mayor parte de la zona, hubo una alta tasa de evaporación y salinidad en el lago (Graf. 11).

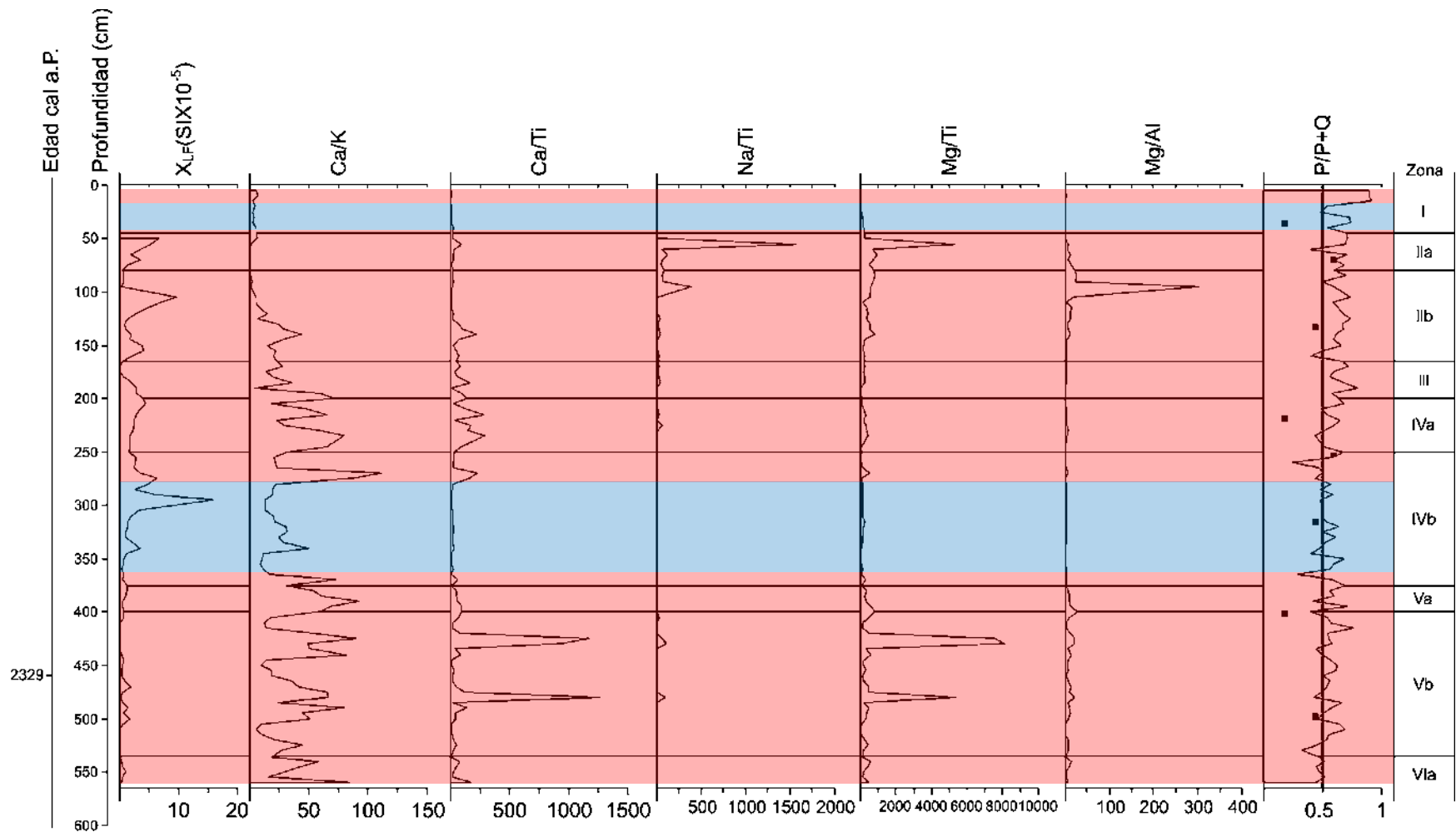
#### **7.5.9 Zona I (45 cm-5 cm) 230 años a.P. a 128 años a.P.**

El porcentaje de Al alcanza un pico a los 40 cm de 4.07%, posteriormente tiende a descender (2.8%). El Ti alcanza un pico a los 30 cm de 0.1%, el cual al final de la zona desciende a menos de 0.01%. El valor de Fe oscila entre 2.1% a 2.6%. El K mantiene un porcentaje menor a 1%. El Mn inicia con proporción baja (0.01%), ascendiendo al final entre 0.06%. El Na conserva valores menores a 4% (Graf. 10).

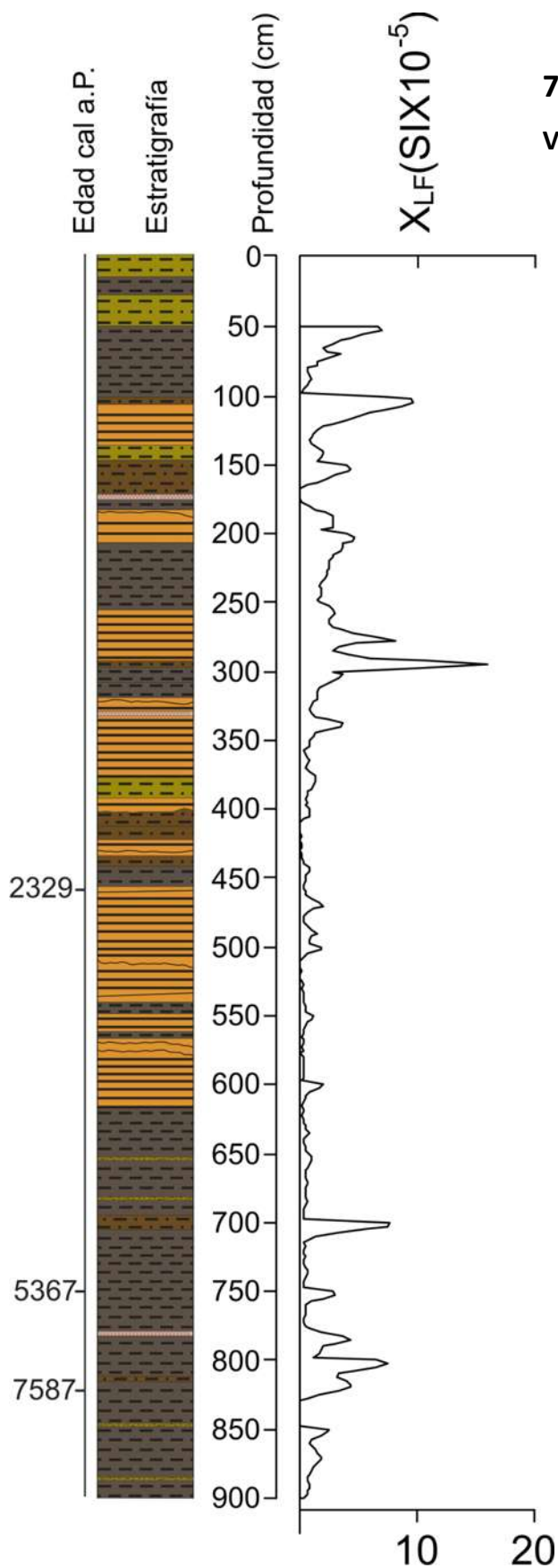
La relación de Ca/Ti, Ca/K y Mn/Ti, muestran valores bajos, lo que indica condiciones húmedas (Graf. 11).



Gráfica 10. Análisis de los elementos químicos representado en porcentaje. Se utilizó la zonación polínica para la descripción de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.



Gráfica 11. Relaciones de los elementos químicos y el efecto en la vegetación, el cual nos indicó las periodos húmedas y secas. Durante los últimos 3000 años a.P. de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.



## 7.6 Análisis de susceptibilidad magnética de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato

La susceptibilidad magnética de La Alberca muestra cinco picos de mayor susceptibilidad a los 802.5 cm, 700 cm a 702.5, 295 cm, 277 cm, 105 cm y 52 cm (Fig. 12). A los 802.5 cm muestra un valor de 7.6. A los 700 cm alcanza un máximo de 7.6, A los 295 cm muestra un valor de 16, relacionándose con periodos húmedos de acuerdo a la relación de: *Pinus/Pinus+Quercus*, Ca/Ti, Mn/Ti y Ca/Ti. A los 277 cm tiene un valor de 8.2. Se observa un pico de 9.7 a los 105 cm, lo que se vincula con condiciones secas determinadas por la relación de *Pinus/Pinus+Quercus*. El ultimo pico se alcanza a los 52 cm, con un valor de 6.9 relacionándose con periodos secos indicados por *Pinus/Pinus+Quercus* y valores altos de Na (Graf. 9 y 10).

Grafica 12. Se observa los valores de la susceptibilidad magnética en relación a la estratigrafía de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato.

## 8. DISCUSIÓN

El propósito de este trabajo de investigación fue documentar las variaciones climáticas y ambientales del Bajío mexicano a través de núcleos de sedimentos lacustres en dos cráteres maar: Rincón de Parangueo y La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato, utilizando diferentes *proxy* como: estratigrafía, polen, carbón, susceptibilidad magnética y análisis geoquímico.

La discusión de este trabajo se limita temporalmente al Holoceno, la cual se ha dividido en Holoceno temprano, medio y tardío para facilitar su comprensión. Se discute principalmente en términos espaciales a la Región denominada Bajío, extrapolando los resultados obtenidos en ambos maares a toda ésta región biogeográfica.

### 8.1 Condiciones paleoclimáticas del cráter de Rincón de Parangueo, Guanajuato

Las condiciones climáticas durante la transición Pleistoceno-Holoceno fueron secas, lo que ocasionó erosión y el depósito de sedimentos limosos. La vegetación estaba conformada por una vegetación abierta caracterizada por: Gramineae, Compositae, Chenopodiaceae, Typhaceae, Ulmaceae, *Pinus* y *Quercus*. Estas condiciones secas se relacionan con altos valores de la relación P/P+Q y un alto número de incendios forestales.

Entre 10000 y 8000 años a.P., durante el Holoceno temprano las condiciones climáticas son húmedas ocasionando una cobertura arbórea cerrada caracteriza por *Pinus*, *Alnus* y *Quercus*, lo que se vio reflejada en los valores bajos en la relación P/P+Q y valores altos de la susceptibilidad magnética y baja frecuencia de incendios forestales.

Durante el Holoceno medio, entre 8000 y 5000 años a.P. se presentaron condiciones húmedas y frías donde el nivel del lago se mantuvo alto, con una dominancia de sedimentos arcillosos. Estas condiciones permitieron el desarrollo de una cobertura cerrada representada por *Pinus*, *Abies*, *Quercus*, *Alnus* y *Salix*. Lo que se relaciona con los valores altos de la susceptibilidad magnética y valores bajos de P/P+Q.

Durante el Holoceno tardío las condiciones climáticas han sido variables, dominado por condiciones secas en su mayor parte y con algunos intervalos húmedos. Las condiciones secas permitieron el establecimiento de la vegetación tropical en las zonas bajas caracterizada por Euphorbiaceae, Leguminosae, Mimosoideae, Ulmaceae y Gramineae, mientras en las partes altas estuvo dominada por *Pinus* y *Quercus*. Las condiciones ambientales ocasionaron un nivel del lago bajo, lo que favoreció el desarrollo de un pantano representado por Chenopodiaceae, Cyperaceae y *Scirpus*. Lo que se refleja en valores altos de P/P+Q y de susceptibilidad magnética.

## 8.2 Condiciones paleoclimáticas del cráter de La Alberca Valle de Santiago, Guanajuato

La Alberca abarca parte del Holoceno medio y un registro detallado del Holoceno tardío.

El Holoceno medio en La Alberca posee un registro corto seco de 6672 a 5367 años a.P., donde el nivel del lago se mantuvo bajo. Estas condiciones secas estuvieron dominadas por sedimentos arcillosos, el cual permitió el desarrollo de un bosque de *Pinus*. Las condiciones húmedas se establecen a los 5360 a 5000 años a.P., permitiendo el desarrollo de una vegetación de *Quercus*, *Alnus* y *Taxodium*. Este periodo húmedo se refleja en los valores bajos en P/P+Q y valores altos de susceptibilidad magnética.

El Holoceno tardío en La Alberca ha sido variable fluctuando entre periodos secos largos y periodos cortos húmedos. Al inicio del Holoceno tardío las condiciones son húmedas hasta los 4335 años a.P., desarrollándose una vegetación cerrada, caracterizada por *Quercus*, *Alnus* y *Taxodium*, y correlaciona con valores bajo de P/P+Q.

Se observa un periodo seco que abarca de 4335 a 2047 años a.P., estas condiciones secas provocaron que la vegetación no leñosa se estableciera caracterizada por: Leguminosae, Gramineae, Ulmaceae, Chenopodiaceae y Cyperaceae.

Condiciones húmedas permanecen de 2047 a 1400 años a.P., con dominancia de *Pinus*, *Quercus*, *Alnus* y Gramineae. Estas condiciones se relacionan con los valores altos de Ti, Fe, Al, K, y valores bajos de Ca/Ti y Ca/K, P/P+Q y A/A+H.

El periodo más seco se registró de 1400 a 511 años a.P. (550 d.C. a 1438 d.C.), el cual se vio reflejada por una vegetación de matorral en las orillas del lago como: Gramineae, Leguminosae, Mimosoideae, Ulmaceae y Euphorbiaceae, en las partes altas estuvo representado por *Pinus*. Estas condiciones secas se relacionan con valores altos de Ca/Ti, Ca/K y P/P+Q. Las condiciones secas son más áridas y secas de 511 a 255 años a.P. (1438 d.C. a 1694 d.C.) durando 256 años, lo que ocasiono que el lago se secase y estableciera un bosque seco mezclado con elementos de matorral. Esta sequia alcanza su máximo a los 486 años a.P. (1463 d.C.), ocasionando un alto grado de evaporación y salinidad en el lago, provocando elevados valores de Na y Cl, y en la relación Mg/Al.

### **8.3 Comparación de los dos cráteres maeres Rincón de Parangueo y La Alberca**

La tasa de sedimentación de ambos maeres no es la misma. En Rincón de Parangueo es de 0.1 mm/años, debido a que no hay evidencias de deslizamientos en las estructuras internas, lo que permitió que el lago siempre fuera estable y con poca entradas de sedimentos. Al contrario La Alberca presenta una tasa más rápida, de 0.19 mm/años, relacionada con un deslizamiento que se observó en las paredes internas del cráter, en dirección oeste (Fig. 4). Este deslizamiento trajo consigo mucho aporte de material sedimentológico provocando una alta tasa de sedimentación en el lago.

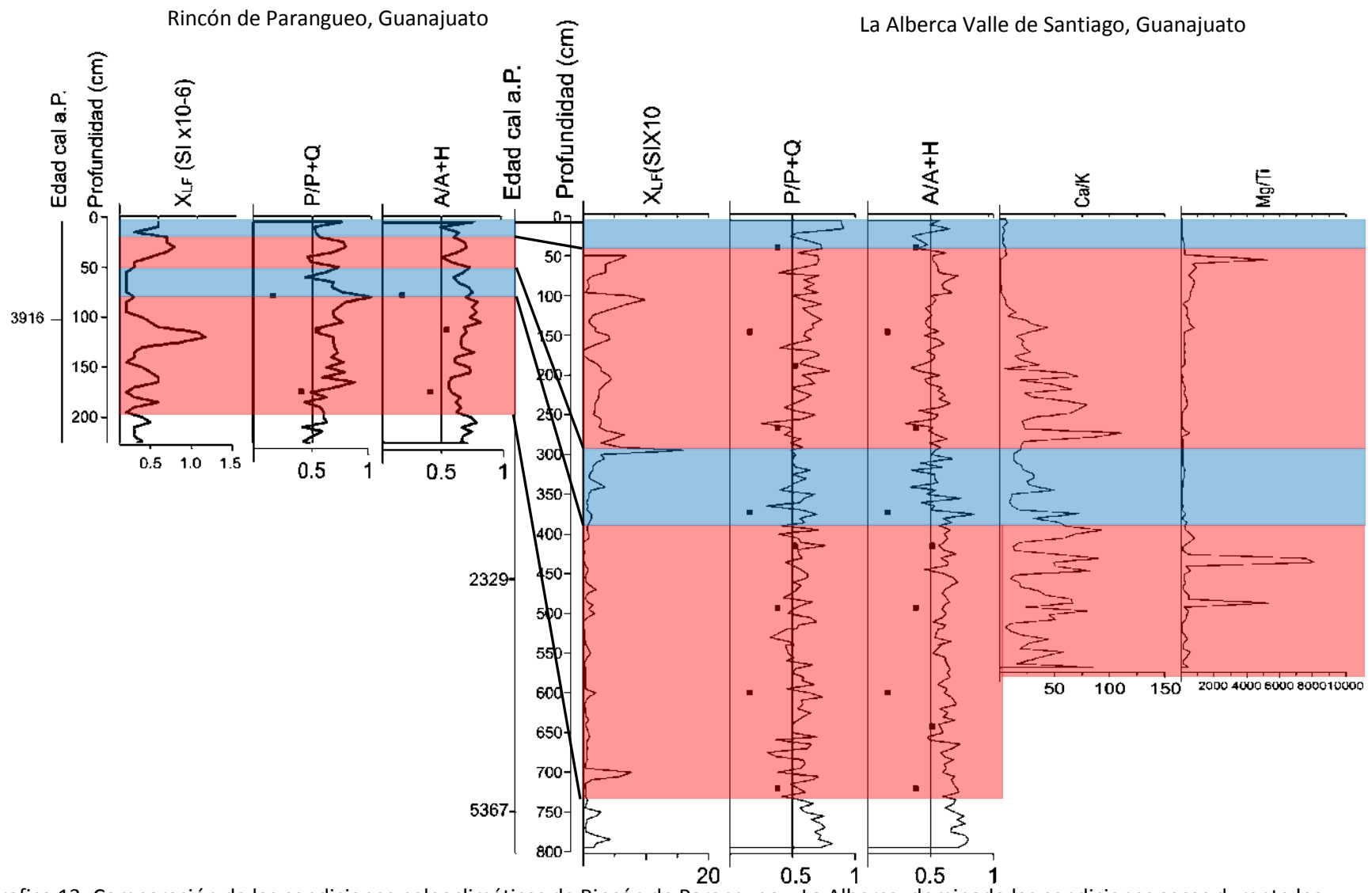
En ambos maeres se presentan condiciones húmedas durante el Holoceno medio. En Rincón de Parangueo este periodo húmedo se extiende hasta los 5000 años a.P., mientras en La Alberca las condiciones climáticas han sido secas desde 6600 a 5400 años a.P., al final del Holoceno medio pasa a condiciones húmedas extendiéndose hasta 4300 años a.P. (Graf. 13). En los dos sitios existe una similitud de la vegetación conformada por *Pinus*, *Abies* y *Alnus*. Por otro lado, en La Alberca se presenta un registro más antiguo de ocupación humana, lo cual será discutido posteriormente.

El Holoceno tardío se caracterizó por ser árido y seco en los dos maeres estableciéndose condiciones secas a partir de 5000 hasta 2000 años a.P. (Graf. 13).

En La Alberca se observó un periodo húmedo de 2000 a 1400 años a.P., mientras en Rincón de Parangueo no se logró apreciar este periodo húmedo. La cobertura arbórea difiere en los dos sitios, por ejemplo en La Alberca presenta una cobertura arbórea abierta ocasionada por las actividades agrícolas, al contrario en Rincón de Parangueo la cobertura arbórea es cerrada.

El último periodo seco se reporta de 1400 a 230 años a.P., el cual se observó en los dos cráteres. Estas condiciones secas trajeron consigo el establecimiento de la vegetación de matorral y el bosque tropical, en ambos núcleos también se observa una dominancia de sedimentos limosos durante este periodo.

La aridez presente en La Alberca y Rincón de Parangueo culmina a los 230 a.P. (1694 d.C.) restableciéndose condiciones de humedad después de esta fecha.



Grafica 13. Comparación de las condiciones paleoclimáticas de Rincón de Parangueo y La Alberca, dominado las condiciones secas durante los últimos 5000 años.

#### **8.4 Correlaciones de los eventos paleoclimáticos registrados en Rincón de Parangueo y La Alberca en relación con otros núcleos de sedimentos de México**

En el cráter maar de Rincón de Parangueo que alcanza una escala temporal más amplia, se observa que durante la transición Pleistoceno-Holoceno existen algunos periodos secos con cortos intervalos de humedad, pero dominan condiciones secas. Estas condiciones secas durante la transición Pleistoceno-Holoceno concuerdan con otras zonas lacustres como: San Nicolás, Rincón de Parangueo, Cuitzeo, Pátzcuaro, Zacapu y Zirahuén (Bradbury, 2000; Ortega *et al.*, 2002; Park *et al.*, 2010; Bocanegra-Ramírez, 2010; Israde-Alcántara *et al.*, 2010, Ortega *et al.*, 2010; Domínguez-Vázquez *et al.*, sometido).

Por otro lado, las condiciones secas observadas en Rincón de Parangueo no concuerdan con el registro contemporáneo procedente de Chalco, el cual muestran condiciones húmedas a los 12000 años a.P. (Lozano, 1996)

El Holoceno temprano (ca. 10000 a 8000 años a.P.) en Rincón de Parangueo las condiciones climáticas se vuelven más húmedas durante este periodo. Estas condiciones húmedas registradas en Rincón de Parangueo concuerda con los registros procedentes de otros lagos de centro y sur de México como: San Nicolás, Rincón de Parangueo, Cuitzeo, Pátzcuaro y Chalco (Watts y Bradbury, 1982; Bradbury, 2000; Park *et al.*, 2010; Israde-Alcántara *et al.*, 2010). Estas condiciones húmedas también se reportan para el Sur de México, lo que ocasionó un incremento del nivel lacustre en el lago Petén (Curtis *et al.*, 1993).

Durante el Holoceno medio ca. 8000 a 5000 años a.P. en Rincón de Parangueo y La Alberca se reportan condiciones húmedas y relativamente frías. Estas condiciones registradas durante el Holoceno medio, han sido descritas en el centro México como en: San Nicolás, Rincón de Parangueo, la cuenca del alto Lerma, Zacapu, Chalco y en la playa de Tlapacoya (González-Quintero *et al.*, 1986; Neiderberger, 1987; Xelhauntzi-López, 1994; 1995; Caballero *et al.*, 2002; Park *et al.*, 2010).

Sin embargo, este periodo húmedo, se contradice con otros registros paleoambientales, los cuales han reportado en el Holoceno medio un periodo seco y árido que causó un hiatus en la sedimentación. Este hiatus puede deberse a demasiada erosión o causas tectónicas como ha

sido reportado para Cuitzeo, Zacapu, Pátzcuaro y Zirahuén (Arnault *et al.*, 1997; Metcalfe *et al.*, 2007; Israde-Alcántara *et al.*, 2010; Bocanegra-Ramírez, 2010; Ortega *et al.*, 2010; Domínguez-Vázquez *et al.*, sometido).

El Holoceno tardío en Rincón de Parangueo y La Alberca se caracterizó por ser árido y seco. Este periodo seco reportado concuerdan con otros registros encontrados del centro de México como: San Nicolás, Rincón de Parangueo, la Piscina de Yuriria, Cuitzeo, Zacapu, Pátzcuaro, Zirahuén, Chalco y Chignahuapan (Xelhuantzi-López, 1994; Metcalfe *et al.*, 1994; 2000; Caballero *et al.*, 2002; Ortega *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2010; Israde-Alcántara *et al.*, 2010). Estas condiciones secas también se han encontrado hasta el sureste de México (Domínguez-Vázquez e Islebe, 2008; Carrillo-Bastos *et al.*, 2010).

La sequía dominante durante el Holoceno tardío, pudo deberse al desplazamiento del ITCZ hacia el sur, lo cual contribuyó a los cambios en el clima muy rápidos impulsados por ciclos bond o los ciclos solares (Metcalfe, 2007).

Rincón de Parangueo y La Alberca presenta condiciones secas a los 511 a 255 años a.P. (1438 d.C. a 1694 d.C.), principalmente se ve más afectada a los 486 años a.P. (1463 d.C.). Este evento coincide con los registros históricos del centro de México, principalmente el año 1 Conejo (1454), en el cual se señalan periodos de escasez de lluvias, epidemias y hambruna (O'Hara y Metcalfe, 1997; Acuña-Soto *et al.*, 2002; Therrell *et al.*, 2004; García-Acosta *et al.*, 2004; Mendoza *et al.*, 2005). Estas mismas condiciones también se han encontrado para el sur y norte de México como: la península de Yucatán, Santa María del Oro, Nuevo León, Chihuahua, Durango, Sonora y Sinaloa (Mendoza *et al.*, 2007; Villanueva-Díaz *et al.*, 2007, *et al.*, 2009; Constante-García, *et al.*, 2009; Sosa-Nájera *et al.*, 2010).

## 8.5 Inicio de la agricultura en el Bajío mexicano

La Alberca presentó el registro de polen más antiguo de actividad agrícola ca. 6672 años a.P., el cual mantuvo además un registro continuo de agricultura representada principalmente por calabazas (Cucurbitaceae, *Cucurbita* II, *Cyonocysus* y *Cucurbita radicans*). Estos registros principalmente de calabazas no han sido reportados para este tiempo en otros trabajos. Los únicos registros antiguos que se reportan son a través de restos macrobotánicos de calabazas ca. 10000 años a.P. encontrados en Guila Naquitz, Oaxaca (Smith, 1997a).

Los registros más antiguos de agricultura que se han podido determinar a través del polen, son principalmente de maíz (*Zea mays*) como: la Hoya de San Nicolás ca. 5700 años a.P. (Park *et al.*, 2010) y las llanuras costeras de Veracruz a los 5000 años a.P. (Sluyter y Domínguez-Vázquez, 2006).

En otros sitios los registros de la actividad agrícola son más tardíos, como las de la laguna Pompal de los Tuxtlas, Veracruz a los 4830 años a.P. caracterizado por *Zea* (Goman y Bryne, 1998). En el lago de Pátzcuaro ca. 4000 años a.P. (Bradbury, 2000), en la Hoya de San Nicolás, el alto Lerma y Zacapu ca. 3500 a.P. (Metcalf *et al.*, 1989). En Tixtla Guerrero, la agricultura aparece ca. 2700 años a.P. representado por *Zea mays*, *Amaranthus*, *Capsicum*, *Chenopodium* y *Cucúrbita mixta* y Huitziltepec, Guerrero a los 2050 años a.P. (Berrio *et al.*, 2005). Para el sureste de México en el lago Petén, la actividad antropogénica provocó una intensa deforestación y una alta erosión en el suelo ca. 2800 años a.P. (Curtis *et al.*, 1993).

El cultivo de maíz es más difícil de identificar debido a la poca diferenciación entre maíz silvestre y el maíz domesticado. Este trabajo reporta la presencia de *Zea* en Rincón de Parangueo a los 5200 años a.P., el cual podría ser *Zea mexicana* como lo reportan Park *et al.* (2010) en Rincón de Parangueo a los 4800 años a.P. Este estudio registró la presencia de *Zea mays* en Rincón de Parangueo a los 3729 años a.P. y La Alberca a los 2047 años a.P. que son incluso más antiguos a los reportados por Park *et al.* (2010).

Finalmente en La Alberca y Rincón de Parangueo la agricultura desaparece de la zona entre los años 511 y 255 años a.P. (1438 d.C. a 1694 d.C.), esto se debió a que las condiciones ambientales eran áridas, lo que provocó que las tribus asentadas migraran a otros sitios

buscando mejores condiciones para poder subsistir. Posteriormente la actividad agrícola se restablece en el sitio a partir de 255 años a.P. (1700 d.C.), pero con menos frecuencia y menor intensidad.

## **8.6 Efectos de los incendios forestales en la vegetación**

El estudio de macropartículas sugiere que en Rincón de Parangueo durante la transición Pleistoceno-Holoceno los incendios fueron intensos y frecuentes, afectando de manera directa la vegetación templada y mesófila de la región. Esta perturbación ocasionada por los incendios derivó en la expansión de la vegetación de matorral (Golicher y Ramírez, 2008).

Durante el Holoceno temprano la vegetación se mantuvo húmeda, lo cual ocasionó que los incendios fueran menos intensos y menos frecuentes, provocando que la vegetación de templada no se redujera.

El Holoceno medio en Rincón de Parangueo y La Alberca, los incendios se intensificaron, debido a que hubo mayor acumulación de material leñoso. Aunque las condiciones son húmedas afectaron negativamente a la vegetación templada principalmente a *Pinus* y *Quercus*, ya que presentan resinas y aceites que los hacen más volátiles a la combustión y favorecen la intensificación de los incendios (Perry y Emight, 2002).

Los incendios forestales durante el Holoceno tardío en Rincón de Parangueo, fueron intensos pero menos frecuentes, modificando la composición de la vegetación de *Pinus* y *Quercus*. El cual se sustituyó por una vegetación secundaria caracterizada por: Mimosoideae, Leguminosae, Ulmaceae, Compositae y Gramineae (Búrquez y Martínez, 2010; Pérez-García *et al.*, 2010). En La Alberca los incendios fueron frecuentes y en algunos periodos intensos, se observó que durante algunos intervalos se vuelven de baja intensidad, debido a la dominancia del matorral, el cual, aunque es de fácil combustión, al quemarse produce escasas partículas carbonizadas.

En La Alberca aproximadamente a los 100 años a.P. los incendios son muy bajos o casi nulos, debido a que la vegetación arborea ha desaparecido dentro del cráter y lo que se está quemando es vegetación no leñosa como Gramineae, Cyperaceae, Compositae, etc. La mayor

parte de las macropartículas de carbón formadas por esta vegetación secundaria son muy frágiles y cuando se movilizan de su lugar de origen se desintegran por procesos de transporte. Al contrario en Rincón de Parangueo los incendios se intensificaron. Esto se debió a que los incendios afectaron a la vegetación tropical leñosa caracterizada por *Acacia*, *Eysenhardtia*, *Bursera*, *Prosopis*, etc.

## 9. CONCLUSIONES

Los lagos tipo maar debido a que presentan una estructura cerrada y paredes casi verticales, favorecen la acumulación de un registro continuo y sin interrupción de los eventos paleoecológicos ocurridos durante el Holoceno.

Las condiciones climáticas en Rincón de Parangueo, durante la transición Pleistoceno-Holoceno son secas, favoreciendo el desarrollo una vegetación de *Pinus*.

El Holoceno temprano es húmedo con periodos cortos secos, dominando los bosques templados (*Pinus* y *Quercus*).

El Holoceno medio es más húmedo que el Holoceno temprano, permitiendo el desarrollo de un bosque templado (*Abies*, *Pinus* y *Quercus*) con algunos elementos de bosque mesófilo (*Alnus*, *Taxodium* y *Salix*).

Las condiciones ambientales durante el Holoceno tardío son variables dominando condiciones secas, encontrándose las condiciones más secas entre los años 511 y 255 años a.P. (1438 d.C. a 1694 d.C.). Mientras el periodo más húmedo ocurre ca. 2047 a 1400 años a.P.

Las condiciones actuales del paisaje del Bajío se establecen durante el inicio del Holoceno tardío, donde la vegetación templada es sustituida por una vegetación de matorral y un bosque tropical. Ésta pérdida de la cobertura arbórea fue ocasionada por la continua perturbación, debido a la intensificación de las actividades agrícolas que se desarrollaban dentro y fuera del cráter.

El registro de la agricultura en La Alberca es el más antiguo que se ha podido registrar en el Bajío mexicano, dando una fecha aproximada del inicio de agricultura ca. 6672 años a.P. Esta agricultura primitiva estuvo representada por cultivos representado por calabazas e incorporando a los cultivos maíz 3000 años después (2047 años a.P.). En Rincón de Parangueo no se pudieron encontrar registros representativos de Cucurbitaceae, sin embargo la agricultura inicia ca. 3729 años a.P. siendo *Zea mays* el primer cultivo registrado.

Los incendios forestales en La Alberca están relacionados con la variabilidad climática y a las actividades antropogénicas. En Rincón de Parangueo estos episodios de incendios fueron

producidos en mayor parte por variabilidad climática, afectando a los bosques templados y mesófilos, favoreciendo al desarrollo del matorral.

## 10. REFERENCIAS

- Arche-Millares, A. 2010. Sedimentología, del proceso físico de la cuenca sedimentaria. Primera edición. Consejo superior de investigaciones científicas. España, pp. 1274
- Acuña-Soto, R., D. W. Sthale, M. K. Cleaveland y M. D. Therrell. 2002. Megadrought and megadeath in 16th Century Mexico: *Revista Biomédica* (13): 289-292.
- Adam, D. P. y G. J. West. 1983. Temperature and precipitation estimates through the last glacial cycle from Clear Lake, California, pollen data. *Science* (219): 168-170.
- Aguilera-Gómez, L. 1991. Estudio florístico y sinecológico de la vegetación en el cráter Hoya del Rincón de Parangueo, Valle de Santiago, Guanajuato. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, pp. 99.
- Arnauld, C., S. E. Metcalfe y P. Petrequin. 1997. Holocene climatic change in the Zacapu lake basin, Michoacán: synthesis of results. *Quaternary International* 43-44: 173-179.
- Bocanegra-Ramírez, D. M. 2010. Reconstrucción Paleovegetacional del Holoceno en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México, pp. 39.
- Benz, B. F. y H. H. Iltis. 1990. Studies in Archaeological Maize: The Wild Maize from San Marcos Cave Reexamination. *American Antiquity* 55 (3): 500-511.
- Berrio, J. C., H. Hooghiemstra, R. Marchant y O. Rangel. 2002. Late glacial and Holocene history of the dry forest area in the south Colombian Cauca Valley. *Journal of Quaternary Science* 17 (7): 667-82.
- Berrio, J. C., H. Hooghiemstra, B. Van-Geel y B. Ludlow-Wiechers. 2005. Environmental history of the dry forest biome of Guerrero, Mexico, and human impact during the last 2700 years. *The Holocene* 16 (1): 63-80.
- Braniff, B. 1989. Oscilación de la frontera norte mesoamericana: un nuevo ensayo. *Arqueología* 1: 99-114.
- Brenner, M. 1983. Paleolimnology of the Peten Lake district, Guatemala. *Hydrobiologia* 103 (1): 211-216.

- Bradbury, J. P. 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco, Mexico. *Limnology and Oceanography* 16 (2): 180-200.
- Bradbury, J. P. 1982. Holocene Chronostratigraphy of Mexico and Central America. *Striae* 16: 46-48.
- Bradbury, J. P. 2000. Limnologic history of Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México for the past 48,000 years: impacts of climate and man. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 163: 69-65.
- Búrquez, A. y A. Martínez-Yrizar. 2010. Límites geográficos entre la selva seca y matorrales espinosos y xerófilos: ¿Qué conservar? En: Ceballos, G., L., Martínez, A. García, E. Espinosa, j. B. Creel, R. Dirzo (Ed) selvas secas del pacifico de México. México, pp. 53-62.
- Carranza, E. 2005. Conocimiento actual de la flora y la diversidad vegetal del estado de Guanajuato, México en la Flora del bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, pp. 14-15.
- Cabrera, R. 1986. El desarrollo cultural prehispánico del Bajo Rio Balsas, Arqueología y etnohistoria del estado de Guerrero, INAH Gobierno del estado de Guerrero, pp. 119-154.
- Caballero, M., B. Ortega, F. Valadez, S. Metcalfe, J. L. Macias y Y. Sugiera. 2002. Sta. Cruz Atizapan: a 22-ka lake level record and climatic implications for the late Holocene human occupation in the Upper Lerma Basin, central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186: 217-235.
- Carrillo-Bastosa, A., G. A. Islebe, N. Torrescano-Vallea y N. E. González. 2010. Holocene vegetation and climate history of central Quintana Roo, Yucatán Península, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 160: 189-196.
- Cervera, J. S. y D. P. Arias. 1981. A perspective study of droughts in Mexico. *Journal Hydrology* 51: 41-55.
- Clark, J.S. 1988a. Drought cycles, the Little Ice Age and fuels: A 750 yr record of fire in northwestern Minnesota. *Nature* 334: 233-235.

- Clark, J. S. y P. D. Royall. 1995. Particle-size evidence for source areas of charcoal accumulation in late Holocene sediments of eastern North American lakes. *Quaternary Research* 43 (1): 80-92.
- Cano-Cruz, M. y G. Carrasco-Núñez. 2008. Evolución de un cráter de explosión (maar) riolítico: Hoya de Estrada, Campo Volcánico Valle de Santiago, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 25 (3): 549-564.
- Constante-García, V., J. Villanueva-Díaz, J. Cerano-Paredes, E. H. Cornejo-Oviedo y S. Valencia-Manzo. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila: *Revista Ciencia Forestal en México* 34 (106): 17-38.
- Curtis, J. H., M. Brenner, D. A. Hodell, R. A. Balsler, G. A. Islebe y H. Hooghiemstra. 1993. A multiproxy study of Holocene environmental change in the Maya Lowlands of Peten, Guatemala. *Journal of Paleolimnology* 19 (2): 139-159.
- Chaparro, M. A. E., J. C. Bidegain, A. M. Sinito, C. S. G. Gogorza, S. Jurado. 2003. Preliminary results of magnetic measurements on stream sediments from Buenos Aires Province, Argentina, *Studia Geophys. Geod.* 47 (1): 121-145.
- Diehl, R. y J. C. Berlo. 1989. "Introduction", en *Mesoamerica after the decline of Teotihuacan A.D. 700-900*. En: Diehl R.A. y J.C. Berlo, *Dumbarton Oaks, Washington, D.C.*, pp. 1-7.
- Domínguez-Vázquez, G. y G. A. Islebe. 2008. Protracted drought during the late Holocene in the Lacandon rain forest, Mexico. *Veget Hist Archaeobot* 17 (3): 327-333.
- Domínguez-Vázquez, G, D. M. Bocanegra-Ramírez, I. Israde-Alcántara, J. Bischoff y V. H. Garduño-Monroy. Sin años. A Holocene record of paleoenvironmental and vegetation history of the Cuitzeo basin, Michoacán, Mexico *Quaternary Science Reviews*. Sometido.
- Dearing, J., R. Morton, T. Price, I. Foster. 1986. Tracing movements of topsoil by magnetic measurements: Two case studies, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 42: 93-104.
- Erdtman, G. 1952. *Pollen Morphology and Plant Taxonomy. Angiosperms (An Introduction to Palynology I)*. Almqvist and Wiksell (Stockholm), pp. 539.

- Eugster, H. P. y L. A. Hardie. 1978. Saline lakes. In: Lerman A (ed) Lakes: chemistry, geology and physics. *Springer Verlag, New York*, pp. 237-293.
- Evans, M. E., F. Heller. 2003. Environmental magnetism, principles and applications of enviromagnetics: San Diego, Academic Press, pp. 299.
- Florance, C. A. 2000. The late and terminal Preclassic in southeastern Guanajuato: heartland of periphery. In: Foster, M.S., Gorenstein, S. (Eds.), Greater Mesoamerica-The Archaeology of West and Northwest Mexico. The University of Utah Press, Salt Lake City, pp. 21-33
- García-Acosta, V., J. M. Pérez Zevallos y A. Molina del Villar. 2004. Desastres agrícolas en México. Catálogo histórico, I. Épocas prehispánica y colonial (958-1822): México, D. F., Fondo de Cultura Económica, pp. 506.
- Golicher, D. y N. Ramírez-Marcial. 2008. Causas ecológicas de los incendios forestales. *Ecofronteras* 18: 6-9.
- Goudie, A. 2006. The human impact on natural environment: past, present and future 6<sup>a</sup>. Edición. Garsington Road, Oxford, pp. 110.
- Goman, M. y R. Byrne. 1998. A 5000-year record of agriculture and tropical forest clearance in the Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *The Holocene* January 8 (1): 83-89.
- Goman, M., A. Joyce, R. Mueller y L. Paschyn. 2010. Multiproxy paleoecological reconstruction of prehistoric land-use history in the western region of the lower Río Verde Valley, Oaxaca, Mexico. *The Holocene* 20 (5). 761-772.
- Goytia, M. 1989. "La cuenca de Cuitzeo", en Historia general de Michoacán. En: E. Florescano, vol. I, Gobierno del estado de Michoacán/Instituto Michoacano de Cultura, pp. 169-190.
- González-Quintero, L. 1986. Análisis polínicos de los sedimentos. En: Lorenzo, J.L., L. Mirambell (Eds.). Tlapacoya: 35,000 años de historia del Lago de Chalco. Colección Científica, Serie Prehistoria, Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 157-166.
- Hochberg, M. E., J. C. Menault y J. Gignoux. 1994. The influence of tree biology and fire in the spatial structure of the West African savannah. *Journal of Ecology* 82 (2): 217-226.

- Harrison, S. P. y S. E. Metcalfe. 1985. Spatial variations in lake levels since the last glacial maximum in the Americas north of the equator. *Z. Gletscherkunde u. Glazialgeologie* 21: 1-1.
- Huber, U. M., V. Markgraf y F. Schabitz. 2004. Geographical and temporal trends in Late Quaternary fire histories of Fuego-Patagonia, South America. *Quaternary Science Reviews* 23: 1079-1097.
- Horn, S. 2006. Pre-Columbian maize agriculture in Costa Rica, pollen and other evidence from lake and swamp sediments. En: Staller J, R. Tykot y B, Benz (eds) *Histories of Maize, Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication and Evolution of Maize*. Elsevier, pp 367-380.
- Israde-Alcántara, I., R. Velázquez-Durán, M. S. Lozano-García, J. Bischoff, G. Domínguez-Vázquez y V. H. Garduño-Monroy. 2010. Evolución Paleolimnológica del Lago Cuitzeo, Michoacán durante el Pleistoceno-Holoceno. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62 (3): 345-357.
- Jones, J. G. 1994. Pollen evidence for early settlement and agriculture in Northern Belize. *Palynology* 18: 205-211.
- Leyden, B. W. 2002. Pollen evidence for climatic variability and cultural disturbance in the Maya Lowlands. *Ancient Mesoamerica* 13 (1): 85-101.
- Lozano-García, M. S. y B. Ortega-Guerrero. 1994. Palynological and magnetic susceptibility records of Lake Chalco, central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109: 177-191.
- Lozano-García, M. S. 1996. La vegetación del cuaternario tardío en el centro de México: registros palinológicos e implicaciones paleoclimáticas. *Bol. Soc. Bot. México* (58): 113-127.
- Lozano-García, M. S., G. Vázquez-Castro y I. Israde-Alcántara. 2009. Registro polínico de la perturbación humana y natural de los últimos 3200 años en el lago de Zirahuén, centro-occidente de México. En: Ortiz-Paniagua, C. F., M. B. Rendón-López (Ed.) *Estudios sobre ambientes y desarrollo en la cuenca del lago de Zirahuén*. UMSNH, pp. 89-114.

- Markgraf, V. 1983. Late and postglacial vegetational and paleoclimatic changes in subarctic, temperate, and arid environments in Argentina. *Palynology* 7:43-70
- Mensing, S. A., J. Michaelsen y R. Bryne. 1999. A 560 year record of Santa Ana fires reconstructed from charcoal deposited in the Santa Barbara Basin, California. *Quaternary Research* 51 (3): 295-305.
- Metcalf, S. E., F. A. Street-Perrott, R. B. Brown, P. E. Hales, R. A. Perrott y F. M. Steininger. 1989. Late Holocene human impact on lake basins in central Mexico. *Geoarchaeology* 4: 119-141.
- Metcalf, S. E., F. A. Street-Perrott, S. L. O'Hara, P. E. Hales y R. A. Perrott. 1994. The palaeolimnological record of environmental change: examples from the arid frontier of Mesoamerica. En: Millington A.C. y K. Pye (Ed.), *Environmental Change in Drylands: Biogeographical and Geomorphological Perspectives*. Wiley, London, pp. 131-145.
- Metcalf, S. E., S. J. Davies, J. D. Braisby, M. J. Leng, A. J. Newton, N. L. Terrett y S. L. O'Hara. 2007. Long and short-term change in the Pátzcuaro Basin, central México. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 21: 287-292.
- Mendoza, B., E. Jauregui, R. Díaz-Sandoval, V. García-Acosta, V. Velasco y G. Cordero, 2005. Historical droughts in Central México and their relation with El Niño. *Journal of Applied Meteorology* 44: 709-716.
- Mendoza, B., V. García-Acosta, V. Velasco, E. Jauregui y R. Díaz-Sandoval. 2007. Frequency and duration of historical droughts from the 16<sup>th</sup> to the 19th centuries in the Mexican Maya lands, Yucatan Peninsula: *Climatic Change* 83: 151-168.
- Moore, J. 2000. Forest fire and human interaction in the early Holocene woodlands of Britain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164: 125-137.
- Mountjoy, J. B. 1989. Algunas observaciones de Tomatlán, San Blas y el Valle de Banderas sobre el desarrollo del Preclásico en la llanura costera del Occidente, en *El Preclásico o Formativo: avances y perspectivas*, seminario de arqueología "Dr. Román Pifia Chan, coordinado por Martha Carmona Macías, INAH/ Museo Nacional de Antropología, México, pp. 11-26.

- Murphy, G. P. 1982. The Chronology, Pyroclastic Stratigraphy, and Petrology of the Valle de Santiago Maar Field, Central Mexico. M. A. Thesis, University of California, Berkeley.
- McClung, E., D. Martínez-Yrizar, G. Acosta, F. Zalaquet, E. A. Robitaille. 2001. Nuevos fechamientos para las plantas domesticadas en el México prehispánico. En: María Ramos R. (Ed). *Anales de Antropología*. Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 125-156.
- Neiderberger, C. 1987. Paleopaysages et archéologie pre-urbaine de Bassin de Mexico. Collection Etudes Mesoaméricaines. Centre d'Etudes Mexicaines et Centraméricaines, México, D.F.
- Niklasson, M. 1998. introduction. In Dendroecological studies in forest and fire history. SLU Grafiska enheten, Doctor's dissertation. *Universitatis agriculturae Sueciae Silvestria* 52 Umea, pp 7-32.
- Ortega, B., C. Caballero, S. Lozano-García, I. Israde-Alcántara y G. Villaclara 2002. "52000 years of environmental history in Zacapu basin, Michoacán, México: the magnetic record". *Earth and Planetary Science Letters* 202: 663-675.
- Ortega, B., G. Vázquez, M. Caballero, I. Israde-Alcántara, S. Lozano-García, P. Schaaf y E. Torres. 2010. Late Pleistocene: Holocene record of environmental changes in Lake Zirahuén, Central Mexico. *J Paleolimnol* 44: 745-760.
- O'Hara, S. L. y S. E. Metcalfe. 1997. The climate of Mexico since the Aztec period: *Quaternary International*: 25-31.
- Osuna-Vallejo, V. 2012. Reconstrucción Paleoecológica durante el Pleistoceno tardío del Maar Rincón de Parangueo en Valle de Santiago, en el estado de Guanajuato. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México, pp. 80.
- Park, J., R. Byrne, H. Bohnel, R. Molina-Garza y M. Conserva. 2010. Holocene climate change and human impact, central Mexico: a record base on maar lake pollen and sediment chemistry. *Quaternary Science Reviews* 29: 618-632.

- Perry, G. L. W., y N. J. Emight. 2002. Humans, fire and landscape pattern: understanding a maquis-forest complex, Mont Do, New Caledonia, using a Spatial state and transition model. *Journal of Biogeography* 29 (9): 1143-1158.
- Piperno, D.R. y K.V. Flannery. 2001 The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98 (4): 2101-2103.
- Pérez-García, E. A., J. Meave y S. Salas. 2010. Nizanda, Oaxaca. En: Ceballos, G., L., Martínez, A. García, E. Espinosa, j. B. Creel, R. Dirzo (Ed) selvas secas del pacifico de México. México, pp. 538-542.
- Peterson, L. C., y G. H. Haug. 2006, Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 234: 97-113.
- Rothwell, R. G. y F. R. Rack. 2006. New Techniques in sediment core analysis: an introduction. In Rothwell, R.G. (ed.), *New Techniques in Sediment Core Analysis* (Special Publication No. 267): Londres, The Geological Society, pp. 1-29.
- Rothwell, R.G., Hoogakker, B., Thomson, J., Croudace, I.W., Frenz, M., 2006, Turbidite emplacement on the southern Balearic Abyssal Plain (western Mediterranean Sea) during Marine Isotope Stages 1-3: an application of ITRAX XRF scanning of sediment cores to lithostratigraphic analysis. In Rothwell, R.G. (ed.), *New Techniques in Sediment Core Analysis* (Special Publication No. 267): Londres, The Geological Society, pp. 79-98.
- Roberts, N. 1998. *The Holocene, and Environmental History*. Second Edition. Blackwell, Oxford, pp. 316.
- Rose, R. A. 2004. Holocene fire regimes reconstructed from peat core charcoal analysis, in the South Island, New Zealand. Tesis de maestria. Department of Biological Sciences University of Canterbury Christchurch, New Zealand, pp. 113.
- Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski. 1987. El bosque tropical caducifolio de La región Mexicana del Bajío. *Trace* 12: 12-21.

- Rue, D.J. 1989. Archaic Middle American agriculture and settlement: recent pollen data from Honduras. *Journal of Field Archaeology* 16: 177-184.
- Rosenmeier, M. F., D. A. Hodell, M. Brenner, J. H. Curtis, y T. P. Guilderson. 2002. A 4000-Year Lacustrine Record of Environmental Change in the Southern Maya Lowlands, Petén, Guatemala. *Quaternary Research* 57 (2): 183-190.
- Reimer, P. J., M. G. L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, P. G. Blackwell, C. Bronk, Ramsey, C. E. Buck, G. S. Burr, R. L. Edwards, M. Friedrich, P. M. Grootes, T. P. Guilderson, I. Hajdas, T. J. Heaton, A. G. Hogg, K. A. Hughen, K. F. Kaiser, B. Kromer, F. G. McCormac, S. W. Manning, R. W. Reimer, D. A. Richards, J. R. Southon, S. Talamo, C. S. M. Turney, J. van der Plicht y C. E. Weyhenmeyer. 2009. INTCAL09 and MARINE09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal B.P. *UAIR radiocarbon* 51 (4): 1111-1150.
- Sluyter, A. y G. Dominguez-Vazquez. 2005. Early maize (*Zea mays* L.) cultivation in Mexico: Dating sedimentary pollen records and its implications. *PNAS* 103 (4): 1147-1151.
- Sánchez, S. y E. G. Marmolejo. 1990 "Algunas apreciaciones sobre el Clásico en el Bajío central, Guanajuato", en *La época Clásica: nuevos hallazgos, Nuevas ideas*, coordinado por Amalia Cardos de Méndez, INAH/Museo Nacional de Antropología, México, pp. 267-278.
- Sosa-Nájera, S., M. S. Lozano-García, P. D. Roy y M. Caballero. 2010. Registro de sequías históricas en el occidente de México con base en el análisis elemental de sedimentos lacustres: El caso del lago de Santa María del Oro. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62 (3): 437-451.
- Smith, B. A. 1997a. The initial domestication of *Cucurbita pepo* in the Americas 10,000 years ago. *Science* 273: 932-934.
- Smith, B. A. 1997b. Reconsidering the Ocampo caves and the era of incipient cultivation in Mesoamerica. *Latin American Antiquity* 8: 342-383.
- Street-Perrott, F. A., J. F. B. Mitchell, D. S. Marchand y J. S. Brunner. 1991. Milankovitch and albedo forcing of the tropical monsoons: a comparison of geological evidence and numerical simulations for 9000 yr A.P. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Science* 81: 27-407.

- Stevenson, J. y S. Haberle. 2005. Macro-Charcoal Analysis: A modified technique used by the Department of Archaeology and Natural History. <http://palaeoworks.anu.edu.au/paltr05.pdf>.
- Zheng, H., F. Oldfield, L. Yu, J. Shaw, Z. An. 1991. The magnetic properties of particle-sized sample from the Luo Chuan loess section: evidence for pedogenesis. *Physics of the Earth Planetary Interiors* 68: 250-258.
- Smykatz-Kloss, W. y P. D. Roy. 2010. Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for palaeoclimatic investigations in arid regions: A synthesis. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62 (3): 379-390.
- Shennan, I. y M.J. Tooley. 1987. Conspectus of fundamental and strategic research on sea level changes. In *Sea Level Changes*, M.J. Tooley y I. Shennan (eds). Blackwell, Oxford, pp. 90-371.
- Turner, B. L. y P. Harrison. 1978. Implications from Agriculture for Maya Prehistory. En: Harrison, P. y B. L. Turner (Ed.) *Pre-Hispanic Maya Agriculture*. Univ. New Mexico Press, Albuquerque, pp. 337-373.
- Therrell, M. D., D. W. Stahle y R. Acuña-Soto. 2004. Aztec drought and the "curse of one rabbit". *Bulletin of the American Meteorological Society* 85 (9): 1263-1272.
- Uribe-Cinfuentes, R. M. y J. Urrutia-Fucugauchi, 2006. Xenolitos y vulcanismo en la región de valle Santiago, Guanajuato-estudios paleomagnéticos y magnéticos de rocas. Tesis doctoral en ciencias, sismología y física del interior de la tierra. UNAM, pp. 192.
- Villanueva-Díaz, J., D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano-Paredes, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland y E. Cornejo-Oviedo. 2007. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico: *Climatic Change* 83: 117-131.
- Villanueva-Díaz, J., P. Z. Fulé, J. Cerano-Paredes, J. Estrada-Ávalos y I. Sánchez-Cohen. 2009. Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco: *Revista Ciencia Forestal en México* 34: 39-71.

- Watts, A. W. y J. P. Bradbury. 1982, Paleoecological studies at Lake Patzcuaro on the west-central Mexican Plateau and at Chalco in the basin of Mexico: *Quaternary Research* 17: 56-70.
- Xelhuantzi-López, M. S. 1994. Estudio palinológico de cuatro sitios en la cuenca de Zacapu: Fondo de la Ciénega, Contacto Lomas-Ciénega, Pantano interno y Loma Alta; En: Petrequin P. 8000 Años de la cuenca de Zacapu, evolución de los paisajes y primeros desmontes. Cuadernos de Estudios Michoacanos 6: 81-93.
- Xelhuantzi-López, M. S. 1995, Palynologie et paléoenvironnement du bassin de Zacapu, Michoacán, Mexique, depuis 8000 ans. *Geofísica internacional* 34 (2): 239-248.