



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**Facultad de Estudios Superiores Iztacala**

**Carrera de Biología**

RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL,  
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE POLEN Y  
FITOLITOS, DE LA EPOCA PREHISPANICA EN  
LA ZONA DEL VALLE DE TEOTIHUACAN

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**B I O L O G O**  
P R E S E N T A:  
**LUIS ANGEL YETLANEZI MARTÍNEZ RÍOS**

DIRECTORA DE TESIS: DRA EMILY S.McCLUNGHEUMANN



Los Reyes Iztacala, Edo. De México

Mayo 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, bajo la dirección de la Dra. Emily McClung y con el apoyo de una beca otorgada por el CONACYT a través del proyecto "Paisaje en transformación: Del Posclásico Tardío a la Colonia en el Valle de Teotihuacán, México. (#101988)

## **Agradecimientos**

Gracias a la Dra. Emily, por hacer posible este proyecto, por todo el tiempo dedicado, por la paciencia y el apoyo constante e incondicional no solo en el ámbito académico, gracias.

A mis sinodales, Dra. Silvia Romero Rangel, Dr. Daniel Jesus Muñoz Iniestra, M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno y Biol. Marcial García Pineda, por los comentarios y sugerencias hechos al manuscrito, los cuales enriquecieron al mismo.

A todos en el Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM; en especial al M. en C. Emilio Ibarra Morales por ayudarme con el polen, y todo lo que eso implica; a la M. en C. Carmen Cristina Adriano Moran por ayudarme con los fitolitos y despejar mis constantes dudas y a la Mtra. Diana Martínez Yrizar, gracias a todos por su ayuda.

Gracias al Dr. Jorge Gama Castro del Instituto de Geografía, UNAM por darme el tiempo, para realizar las correcciones de mis descripciones edáficas.

Al Dr. Sergio González Moreno<sup>†</sup> y la Dra. Martha Salcedo Álvarez, aunque no forma parte de mis sinodales, si de mis tutores; Gracias por el apoyo a lo largo de toda la carrera, en el ámbito personal y académico, mil gracias.

“los mejores profesores harán que de vez en cuando, quizá más de vez en cuando, te sientas un poco estúpido” (Ian Stewart).

## ***Dedicatoria***

*A mi familia: Tíos, Primos y Abuelos en especial a mi abuelo José Ríos Gutiérrez aunque ya no esté presente, siempre lo recordare, gracias por las pláticas y los consejos.*

*Para mis padres Luis Martínez Salas y Carmen Ríos Gutiérrez, que si no fuera por ellos no estaría aquí, y definitivamente no sería lo que soy; a mis hermanos Tonatzin y Ehecalt.*

*A mi hija Yarezi Quetzalzin por la que decidí continuar estudiando, y superándome en muchos ámbitos de mi vida, te quiero mucho.*

*A la Luna (Yazmin) que siempre me acompaña en las buenas y en las malas, ¡Gracias! por todo lo que compartimos y todo lo que nos falta por hacer.*

*A Antonia Leyva por el apoyo en todo momento ¡gracias!*

*Finalmente a todos mis amigos los desde hace años cuando recién entre a la UNAM "le bigband" y los más recientes aunque de años Enrique, El Robert, Jonás, Ana, Ángela, Isis Y muchos más, que no alcanzaría a nombrar gracias, por todos los momentos.*

# ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>7</b>
1.1 Estudios Paleoambientales en Teotihuacán.....	7
1.2 Polen como indicador de Cambios Paleoambientales.....	10
1.2.1 Palinología .....	14
1.2.2 Sistemática y Morfología .....	15
1.2.2.1 Descripciones palinológicas.....	16
1.2.3 Dispersión.....	22
1.3 Fitolitos como indicadores de Cambios Paleoambientales.....	23
1.3.1 Producción de fitolitos en las plantas .....	23
1.3.2 Absorción, Transporté y Acumulación .....	24
1.3.3 Sistemática y Morfología .....	26
1.3.4 Registro Taxonómico de Fitolitos .....	29
1.3.5 Liberación y Depositación.....	30
<b>II. DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>32</b>
2.1 Ubicación geográfica .....	32
2.2 Clima .....	33
2.3 Geología.....	33
2.4 Hidrografía.....	34
2.5 Edafología .....	34
2.6 Vegetación.....	35
2.6.1 Formas Biológicas .....	35
2.6.2 Tipos de vegetación .....	36
2.6.3 Pastos actuales del valle de Teotihuacán.....	42
2.7 Conclusión.....	43
<b>III. OBJETIVOS .....</b>	<b>44</b>
3.1 General .....	44
3.2 Particulares .....	44

<b>MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	<b>45</b>
3.3 Procedencia de las muestras .....	45
3.3.1 Descripción edáfica de los perfiles .....	47
“Zacatlan 9” .....	48
“Zacatlan 7” .....	48
“Zacatlan 5” .....	49
“Zacatlan 3” .....	49
3.4 Extracción de las muestras.....	50
3.4.1 Polen .....	50
3.4.2 Fitolitos .....	51
4.3 Análisis de las muestras .....	53
3.4.1 Polen .....	53
3.4.2 Fitolitos .....	54
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
3.5 Resultados Polínicos .....	55
“Zacatlan 9” Listado y Diagrama Polínico .....	56
“Zacatlan 7” Listado y Diagrama Polínico .....	58
“Zacatlan 5” Listado y Diagrama Polínico .....	60
“Zacatlan 3” Listado y Diagrama Polínico .....	62
5.2 Resultados Fitolitos .....	64
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>66</b>
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>71</b>
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	<b>76</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>78</b>
<b>9.1 Laminas Polen</b> .....	<b>78</b>
<b>9.2 Laminas Fitolitos</b> .....	<b>83</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>86</b>

## RESUMEN

En este estudio se consideran los palinomorfos y fitolitos conservados en los suelos y sedimentos de dos catenas del Valle de Teotihuacán, Estado de México.

El objetivo principal de este estudio, es contribuir al conocimiento de la flora y la vegetación del Valle de Teotihuacán, a través de la reconstrucción paleoambiental de comunidades vegetales, basado en la asociación de fitolitos y polen en depósitos lacustres.

Entre los materiales polínicos se identificaron 18 familias taxonómicas y 15 géneros, entre ellos se encuentran *Pinus*, *Abies*, *Quercus*, *Alnus*, *Artemisa* y *Zea*. Se presentan sus diagramas polínicos, los cuales indican la presencia de un taxón aun con bajo porcentaje, además de las imágenes correspondientes a cada género.

El polen encontrado representa especies arbóreas que ya no tienen una presencia significativa en la flora actual, en especial el género *Pinus*. Estos caracterizan la presencia de un bosque pino-encino y pastizal. Además se pudo observar que la familia Poaceae estaba ampliamente distribuida lo que concuerda con los datos obtenidos por los fitolitos.

Para los fitolitos se contabilizando únicamente a los fitolitos considerados como diagnósticos procedentes del horizonte superficial del paleosuelo con características vérticas, entre los que se encuentran: Las subfamilias Chloridoideae, Panicoideae y Pooideae (Festucoides). El análisis de resultados muestra que la vegetación de la zona de estudio ha soportado una vegetación de pastizales con dominancia de gramíneas *Pooide* (C3) y *Panicoide* (C3 y C4). Y en menor medida por los *Chloridoide* (C4), todos los anteriores también acompañados de sus imágenes.

## INTRODUCCIÓN

El valle de Teotihuacán se encuentra al norte de la Cuenca de México. Esta región es de suma importancia ya que en ella se encuentra una de las zonas arqueológicas más importantes de Mesoamérica, declarada patrimonio cultural de la humanidad (ICOMOS, 1986) por lo que a lo largo del tiempo ha sido objeto de numerosas investigaciones, no solo desde el punto de vista arqueológico, sino también desde otras disciplinas como la geología, la geografía, la climatología y la botánica.

Las características del entorno prevalecientes en el valle de Teotihuacán durante la época prehispánica han sido tema de interés de las investigaciones arqueológicas llevadas a cabo en la región, desde los años veinte (Gamio, 1922) y particularmente, al final de los años cincuenta y la década de los sesenta del siglo veinte. No obstante todavía existen muchas preguntas que resolver en torno a la cultura Teotihuacana.

Una de estas es que, indudablemente, el paisaje actual de la región de Teotihuacán no representa un análogo fiel de la época prehispánica, aunque existen ciertas semejanzas climáticas (temperatura y precipitación) y de tipos de vegetación. Resulta de gran dificultad el poder diferenciar entre los efectos ocasionados por del impacto humano por una parte y de cambios climáticos por otra, ya que estos últimos han sido acentuado por el efecto drástico de la introducción de nuevas técnicas agrícolas, el pastoreo, la deforestación de los cerros circundantes y el re-ordenamiento territorial que caracterizó el periodo inicial de la Colonia en el centro de México en general, manteniéndose en gran parte hasta la actualidad (McClung de Tapia, 1990).

Sanders (1965) expone que la necesidad de materiales para la construcción y como combustible aunado a la apertura de terrenos para el cultivo fueron los

factores responsables de la deforestación de los cerros circundantes cubiertos por un bosque de pino-encino, antes o durante el auge de la ciudad (citado en McClung de Tapia *et al.*, 1996). Dicho autor sugiere en la posibilidad de que han ocurrido cambios climáticos graduales, que llevaron a un decremento de la precipitación pluvial lo que a su vez, afectó la producción de recursos para la subsistencia. Si se considera esta posibilidad como verdadera, los cambios en el clima pudieron haber conducido al cambio en la vegetación.

Otros investigadores han sugerido que el bosque no tuvo nunca una extensión significativa en el área de estudio (Castilla y Tejero 1987). En el estudio florístico que realizaron en el Cerro Gordo y zonas aledañas a San Juan Teotihuacán, plantean que si el clima era como lo dice García (1974), la vegetación sería prácticamente similar a la actual. Es decir una vegetación representada por: bosque de encino, matorral xerófilo, pastizal y la que llamaron antropógena (ruderal, agrícola, arvense y la presente en bancos de brecha volcánica) estas comunidades seguramente cubrían áreas diferentes a las actuales pero donde las comunidades consideradas como clímax deberían ser las mismas

En la década de los noventa, surgió la inquietud de desarrollar una metodología interdisciplinaria, la cual pretendía evaluar los datos, que para los cambios ambientales, se han acumulado en el transcurso de los últimos tres milenios, como consecuencia tanto de fenómenos naturales como de actividades humanas (McClung de Tapia, 1992).

Por lo cual el estudio de las plantas fósiles (hojas, frutos, semillas, madera, polen, fitolitos y esporas) se ha vuelto de gran importancia ya que ayuda a la reconstrucción del paleoambiental y se enfoca principalmente a la descripción de la flora y vegetación, de la región en cuestión. A través de su estudio es posible entender la historia evolutiva, aportando información sobre las secuencias de cambio en cuanto a la distribución geográfica, las características y adaptaciones

específicas de los organismos que no pueden ser conocidos en base a las plantas actuales. Como resultado de lo anterior se tienen listados paleoflorísticos que permiten realizar investigaciones paleoecológicas, paleoclimáticas y paleoambientales, aunque desafortunadamente existen trabajos que no van más allá del reconocimiento y determinación de los organismos (Weber y Cevallos-Ferriz, 1994; Galván-Mendoza, 2000; Velasco-de León, 1999).

El principal objetivo del estudio de las plantas en sitios arqueológicos es tratar de reconstruir la vegetación con la que se habrá encontrado el hombre del pasado en un lugar y tiempo concreto. Pero no debemos olvidar que las plantas constituyen la base de la cadena alimenticia. Por lo tanto la comunidad vegetal de una región y durante una época determinada, proporcionan pistas sobre la vida local de hombres y animales, además reflejan características del suelo y clima. Algunos tipos de plantas reaccionan con rapidez ante los cambios climáticos y los desplazamientos de las comunidades vegetales tanto en altitud como en latitud y son uno de los indicios más claros en la transformación del clima. (Duran *et al.*,2002)

Cabe destacar, que existen muchas disciplinas a las que se puede recurrir para el estudio de los restos vegetales, pero exigen una gran cantidad de tiempo y dinero, por lo que, a la hora de hacer una valoración de las comunidades vegetales en un periodo concreto, implica el análisis no de los restos más grandes, sino de los más diminutos (micro restos) entre los que destacan el polen y los fitolitos.

La palinología es una disciplina de la Botánica, dedicada al estudio del polen y las esporas. La morfología externa de este material presenta patrones estructurales diferentes en función de las variaciones en la exina o pared externa y la versatilidad y gran resistencia a la putrefacción del polen, convierten a dicha disciplina en una importante herramienta de análisis utilizada en los estudios de

sedimentos o depósitos tanto naturales, como procedentes de excavaciones arqueológicas. (Sáenz de Rivas, 1978)

Los granos de polen han desarrollado una capa celular externa muy resistente, dicha capa conforma la exina, la cual es resistente para minimizar los daños y proteger de la desecación a la célula gamética. Por este motivo los palinomorfos son de gran importancia en la reconstrucción de la vegetación, de hecho y a pesar de tratarse de materia orgánica, los restos que encontramos en los depósitos geológicos no están fosilizados como tales; es decir, no se conservan mineralizados, y por lo tanto lo único que se conserva es la membrana, aunque al tratarse de organismos que sedimentaron en el pasado, los denominamos pólenes fósiles (Ibarra-Morales & Fernández, 2012).

Sin embargo, en palabras de Burjachs (2006) el oxígeno es el principal enemigo del polen y la materia orgánica, por lo que resulta necesario que los palinomorfos se conserven en sedimentos con un medio anaeróbico, el cual les impida oxidarse, y los lleve a transformarse en sus elementos básicos.

Por otra parte las plantas absorben elementos químicos que se encuentran en el suelo húmedo en solución, mismos que son depositados en lugares específicos dentro de la planta. Entre ellos, el sílice que es uno de los elementos más abundantes en la Tierra (sólo superado por el oxígeno). Constantemente se disuelve y precipita en zonas extensas de la superficie de la Tierra; además, es el mineral más común del medio de crecimiento de las plantas, se encuentra disuelto en el suelo húmedo en forma de ácido monosílico  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ . (Ma y Yamaji, 2006)

Por ello, los fitolitos se definen como depósitos de mineral que se forman dentro y entre las células de las plantas; de tal manera, que otras formas de sílice amorfo (ópalo) de otro origen orgánico (como diatomeas, espículas, estomatoquistes u otras formas silíceas de organismos unicelulares), no son considerados como fitolitos (Twiss, 1986).

Estas partículas de minerales sólidos tienen un contorno simétrico bien definido y asumen la forma de la célula que las contiene, conservando la morfología de las células que se silifican. A causa de esto, existen fitolitos de muchas formas y tamaños, que a su vez son producto de diversos tipos y tamaños de células vegetales (Bozarth, 1987); También, poseen características tridimensionales y comúnmente se mueven en el medio de montaje. Debido a todas estas características el diagnóstico microscópico de los fitolitos puede ayudarnos a determinar algunas taxa de plantas en particular (Bozarth, 1990; Piperno, 2006; Piperno y Pearsall ,1998).

Los fitolitos son microfósiles de plantas que permiten la reconstrucción de medios ambientes terrestres, aportando información paleoambiental y paleoclimática. Las formas de los fitolitos contenidos en los pastos están asociadas a la anatomía de la hoja debido a diferentes rutas fotosintéticas C3 y C4, que son a la vez indicadoras de temperatura y humedad (Mulholland y Rapp, 1992).

## I. ANTECEDENTES

### 1.1 Estudios Paleoambientales en Teotihuacán

La paleoecología es la reconstrucción de las formas de vida del pasado, comunidades bióticas y sus hábitats basada en la información taxonómica de equivalentes actuales; esta reconstrucción se representa con base en estructuras aisladas, como granos de polen y fitolitos. Los caracteres de dichas formas de vida se toman como una fuente de inferencia paleoambiental y principalmente paleoclimática. Muchos ambientes o ecosistemas terrestres poseen una marcada representación de las comunidades de plantas locales en el registro polínico, que reflejan las condiciones locales de las condiciones hidrológicas-edáficas del área de estudio (Islebe, 1999).

Las características del entorno prevaleciente en el valle de Teotihuacán durante la época prehispánica han sido tema de interés de las investigaciones arqueológicas llevadas a cabo en la región, desde los años veinte (Gamio, 1922) y particularmente, al final de los años cincuenta y la década de los sesenta del siglo veinte.

Sanders 1965 expone que la necesidad de materiales para la construcción y como combustible aunado a la apertura de terrenos para el cultivo fueron los factores responsables de la deforestación de los cerros circundantes cubiertos por un bosque de pino-encino, antes o durante el auge de la ciudad (citado en McClung de Tapia *et al.*, 1996) dicho autor sugiere en la posibilidad de que han ocurrido cambios climáticos graduales, que llevaron a un decremento de la precipitación pluvial lo que a su vez, afectó la producción de recursos para la subsistencia. Si se considera esta posibilidad como verdadera, los cambios en el clima pudieron haber conducido al cambio en la vegetación.

Castilla y Tejero, (1987) sugieren que el bosque no tuvo nunca una extensión significativa en el área de estudio. Años más tarde McClung de Tapia y Tapia Recillas (1997).Proponen mediante un modelo la extensión de la zona boscosa generado por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG) donde la intersección de características de elevación, suelos y vegetación actual, sugiere que el bosque cubría un máximo de 12% del área de estudio tal como se ha definido para los fines de esta investigación.

Por otra parte, Adriano (2000) realizó el análisis de muestras de carbón obtenido de contextos arqueológicos correspondiente al periodo Teotihuacano (periodo Clásico) las cuales revelan la presencia continua de pino y, en menor medida, encino en la región. En un estudio más amplio con restos de carbón que corresponden a contextos arqueológicos desde el Formativo Medio (aprox. 800 a.C.) hasta el Postclásico Tardío (aprox. 1500 d.C.) en el valle, permitió un análisis cuantitativo de los cambios temporales (Adriano y McClung de Tapia, 2008).

McClung de Tapia *et al.*, (2005). Consideran que la evidencia edafológica y botánica es útil para modelar rasgos mesoclimáticos, con base en los tipos de vegetación representativa. Los resultados del análisis de suelos sugieren la predominancia de condiciones frías y secas en la región de Teotihuacán, con ligeras fluctuaciones periódicas hacia mayor humedad.

Aunque los micro restos botánicos apoyan parcialmente este patrón, reflejan las características propias de los sectores donde se ubican los perfiles estudiados. Por lo tanto, se encuentra una mayor concentración de plantas asociadas con humedad en los perfiles ubicados en el suroeste de la región, especialmente en las cercanías de los manantiales al sur de San Juan Teotihuacán y en la zona de nivel freático alto. (McClung de Tapia *et al.*, 2003).

Es indudable que el paisaje actual de la región de Teotihuacán no representa un análogo fiel de la época prehispánica, aunque existen ciertas semejanzas climáticas (temperatura y precipitación) y de tipos de vegetación. Resulta de gran dificultad el poder diferenciar entre los efectos ocasionados por del impacto humano por un lado y de cambios climáticos por otro ya que estos últimos han sido acentuados por el efecto drástico de la introducción de nuevas técnicas agrícolas, el pastoreo, la deforestación de los cerros circundantes y el reordenamiento territorial que caracterizó el periodo inicial de la Colonia en el centro de México en general. (McClung de Tapia, 1990).

En base a lo anterior McClung *et al.*, (2005). Sostienen que el valle de Teotihuacán en el estado de México, ha estado sujeta a cambios en el transcurso del tiempo, particularmente en cuatro períodos: 5000-2000 AP (relativa estabilidad, con episodios cortos e intermitentes de la erosión); 2000-1500 AP (erosión-sedimentación, la deforestación y la agricultura intensiva); 1500-1000 AP (una relativa estabilidad, la despoblación, y parcial recuperación del paisaje), y 1000-500 AP (erosión-sedimentación, la deforestación y la agricultura intensiva).

Por lo antes mencionado, es necesario saber qué tipos de cambios se han dado en la vegetación, en la estacionalidad de las lluvias, en la temperatura, en el nivel lacustre y en su dinámica fluvial. La manera de inferir estas transformaciones es por medio de estudios multidisciplinarios de reconstrucción paleoambiental. Éstos aportaran elementos que permiten precisar la temporalidad y la variabilidad natural del sistema terrestre, proporcionando marcos de referencia, con los que se compara el ambiente actual; de esta manera se puede determinar si el cambio de las condiciones ambientales actuales son debidas a la influencia puramente antropogénica, o si son el resultado de procesos naturales.

Por tal razón, se debe de hacer especial énfasis en los estudios de reconstrucción paleoambiental ya que la base de éste es el conocimiento paleoclimático, de suma importancia en nuestro país, donde son insuficientes,

principalmente en el Holoceno. Dichos estudios nos permitirán mejorar el conocimiento acerca de las causas del cambio climático global y así caracterizar regiones vulnerables ante dicho cambio.

## **1.2 Polen como indicador de Cambios Paleoambientales**

La razón por la cual el análisis de un registro polínico es de gran significado en la reconstrucción de los ambientes del pasado es que, los ensambles de polen a un tiempo dado y en un lugar determinado se encuentran en función de la vegetación y flora regional, que se encuentran controlados por el ambiente regional, lo que permite hacer inferencias sobre las condiciones del entorno en épocas pasadas (Montufar, 1985).

Muchos ambientes o ecosistemas terrestres poseen una marcada representación de las comunidades de plantas locales en el registro polínico, que reflejan las condiciones hidrológicas-edáficas del área de estudio (Gerald, 1999).

La dinámica de la vegetación se da a diversas escalas espaciales y temporales y los cambios en esta se manifiestan de varias formas dependiendo de la unidad ecológica (de individuos) y/o a nivel taxonómico (especies, géneros, familias, ordenes) de descripción. Muchos fenómenos bióticos contribuyen al cambio en la vegetación (Webb y Williams, 2003):

1. El establecimiento, crecimiento y muerte de las plantas en grupos.
2. Cambios en frecuencia, tamaño, arreglo genético de las poblaciones en el paisaje.
3. Cambios en la distribución de las especies, géneros y tipos funcionales de plantas a lo largo de regiones y continentes.
4. Evolución y extinción de especies.

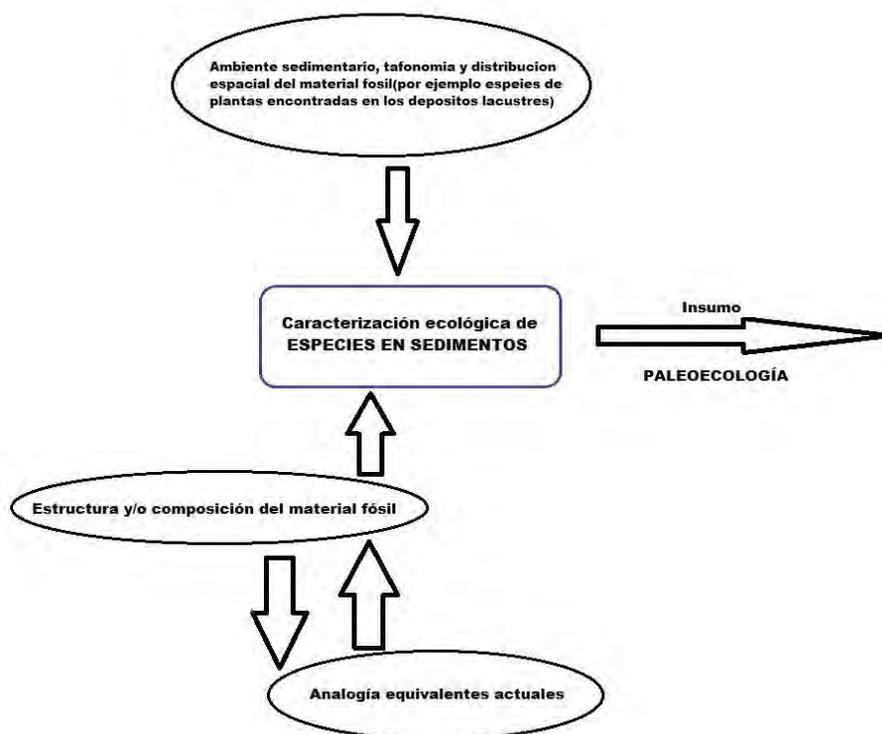
Estos fenómenos bióticos causan cambios en la estructura, densidad, extensión y composición de la vegetación que permiten y resultan en una variedad de dinámicas bióticas. Según la escala, los cambios en la vegetación son

causados por una combinación de fuerzas externas (ambientales) y los fenómenos bióticos en sí. Los cambios en la vegetación muestran cambios en la abundancia, extensión geográfica, localización y asociación de especies, que se registran como cambios en los porcentajes de polen. Las fuerzas ambientales y las respuestas inducidas, se convierten en los cambios e historia de la dinámica de la vegetación, ya que se puede relacionar el movimiento aparente en estos taxones con las fuerzas que las causan (Webb y Williams, 2003).

Usando dataciones con radiocarbono y los diagramas de polen, es posible ilustrar la fuerte conexión entre el clima y los cambios de vegetación y documentar la dinámica de la vegetación a escala regional y continental (Webb y Williams, 2003).

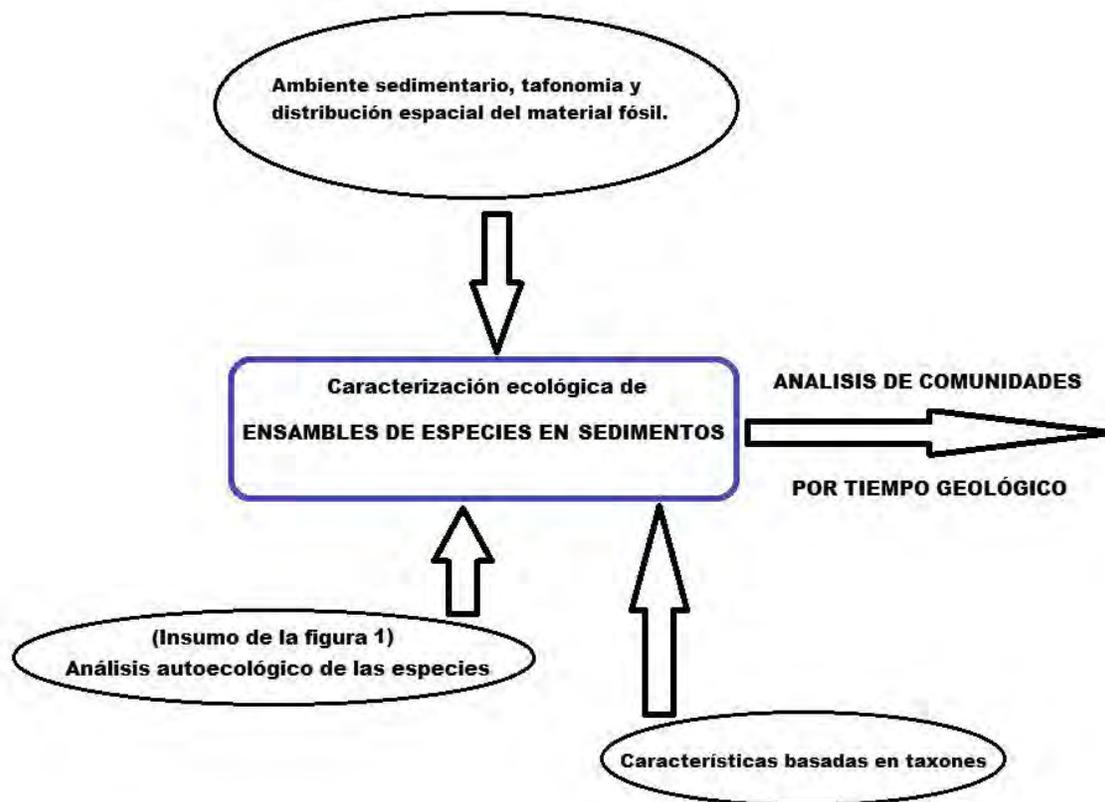
Las reconstrucciones de diferentes comunidades vegetales, ambientes y ecosistemas se hacen por analogía con las comunidades y ecosistemas actuales y con el conocimiento de preferencias ecológicas de los taxones (Moore *et al.*, 1991).

Las condiciones y procesos que permiten la preservación del registro polínico pueden delimitarse y categorizarse basado en la identificación de ensamblajes similares por comparación ecológica; sin embargo, estas reconstrucciones empiezan y/o terminan como reconstrucciones autoecológicas de las especies. Estas, están constituidas por descripciones de las comunidades: composición de especies y distribución de las mismas; la autoecología de las especies se infiere basado en la interpretación de su estructura y composición, analogía con sus equivalentes actuales o del contexto sedimentario y la distribución del material fósil de dichas especies (fig. 1), debido a que, los ensamblajes de plantas fósiles son comúnmente endémicos y por tanto preservan el contexto original y espacial de los individuos (Wing *et al.*, 1992).



**Figura 1.-** Componentes básicos en la caracterización ecológica de especies (granos de polen) depositados en sedimentos. (Modificado de Wing *et al.*, 1992).

Una vez se ha establecido la comparación de ensamblajes fósiles basado en características ecológicas de las especies, el siguiente paso es deducir y comparar los rasgos a nivel de comunidades (fig. 2). La vía más sencilla de caracterizar la asociación de especies es compararla con asociaciones taxonómicamente similares, el siguiente paso es ubicar las especies en categorías basadas en sus inferencias autoecológicas, finalmente se tiene en cuenta la distribución espacial de las asociaciones de especies (estructura de la vegetación) (Wing *et al.*, 1992).



**Figura 2.-** Componentes básicos en la caracterización ecológica de ensamblajes de especies en sedimentos, que pueden ser considerados como comunidades (Modificado de Wing *et al.*, 1992).

El estudio de la distribución del polen fósil en capas de sedimento proporciona una medida directa de la relación especies/tiempo, heterogeneidad de la vegetación basada en la composición de especies y permite definir características como diferentes tipos de vegetación (Wing *et al.*, 1992).

### **1.2.1 Palinología**

Con la palabra palinología se agrupa el estudio de los granos de polen y de las esporas desde diferentes campos como la morfología, sedimentología y dispersión. El grano de polen por su variabilidad y por su constancia taxonómica, presenta excelentes caracteres que pueden ser utilizados en sistemática. (Sáenz de Rivas, 1978)

El potencial del polen en la reconstrucción de la vegetación se debe a su capacidad de conservación. De hecho y a pesar de tratarse de materia orgánica, los restos que encontramos en los depósitos geológicos no están fosilizados como tales; es decir, no se conservan mineralizados, y por lo tanto lo único que se conserva es la membrana, aunque al tratarse de organismos que sedimentaron en el pasado, los denominamos pólenes fósiles. Esta alta resistencia de la membrana protectora (exina) de la célula masculina se debe a su composición de polisacárido, la esporopolenina (Burjachs, 2006)

La morfología externa de este material presenta patrones estructurales diferentes en función de las variaciones en la exina o pared externa y la versatilidad y gran resistencia a la putrefacción del polen, convierten a dicha disciplina en una importante herramienta de análisis utilizada en los estudios de sedimentos o depósitos tanto naturales, como procedentes de excavaciones arqueológicas. (Sáenz de Rivas, 1978)

Retomando lo dicho por Burjachs (2006) se considera que afortunadamente, el polen y la materia orgánica tienen un enemigo en común para su preservación, el oxígeno. Luego entonces, para que los pólenes se conserven, resulta necesario que sean sedimentados en un medio anaeróbico, que les impida oxidarse, y que los lleve a transformarse en sus elementos básicos, por tanto otro factor que los hace útiles es que presentan morfologías muy variadas.

Así mismo, los caracteres polínicos son verdaderamente reveladores del parentesco y procedencia de los diversos grupos, por ejemplo el tamaño del polen puede tomarse como un carácter taxonómico, ya que en general permanece constante dentro de la misma especie, otro puede ser el número de aperturas del grano de polen, aun cuando a veces coexisten dentro de la misma especie granos con diferente número (Burjachs, 2006).

Es decir, como lo señala Kapp, Ronald O. (1969) el tamaño, grosor, decoración externa, las formas y combinación de las oberturas (poros y colpos) por donde sale el tubo polínico necesario para la fecundación del ovario, etc., los hace muy variables permitiéndonos afiliar a cada tipo polínico una especie, género o familia vegetal.

### ***1.2.2 Sistemática y morfología***

Los estudios morfológicos pretenden caracterizar los granos de polen en cuanto a sus tipos de aberturas (forma, tamaño, número), la arquitectura de la pared (estructura y escultura), tipo de agrupación, polaridad y simetría (Kapp, 1969).

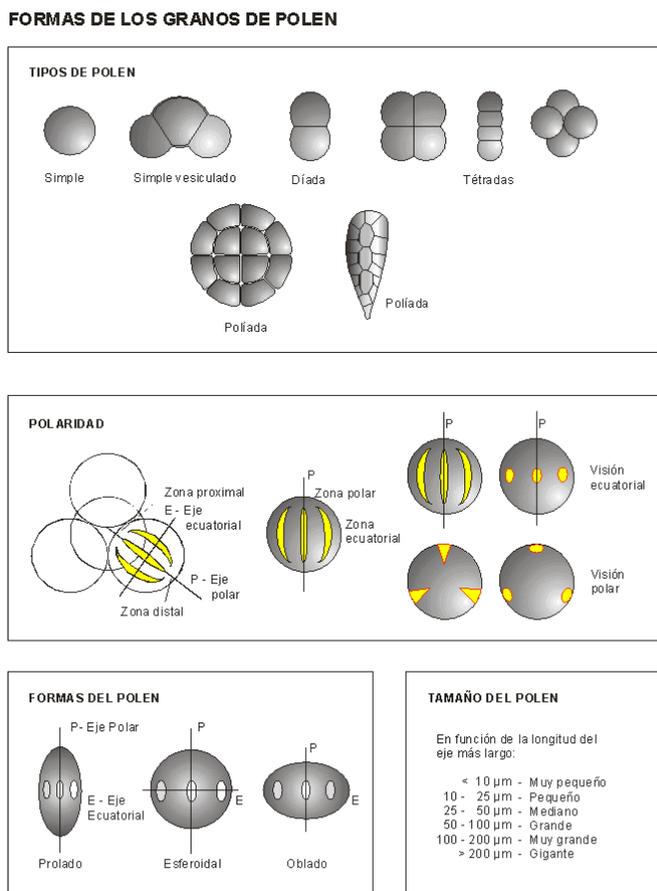
La morfología de los granos de polen permite la identificación a nivel de familia, género o especie de las plantas; los granos de polen depositados en el sedimento se recuperan, separan, identifican y cuantifican permitiendo establecer la abundancia relativa de cada taxón en la zona de estudio (Sáenz de Rivas, 1978).

### 1.2.2.1 Descripciones palinológicas

Las características morfológicas importantes en la descripción del polen son: la forma, el tamaño, el número y tipo de aperturas, la estructura y escultura de la exina (Martínez-Hernández et al., 1993), algunas de ellas son particulares para cada especie.

Es importante considerar las descripciones asociadas a los granos de polen, y saber si son tétradas o políadas indicando en estas últimas el número de mónadas que las componen, la forma y dimensión de los granos en alguna de sus dos posiciones: la vista ecuatorial (**VE**) y la vista polar (**VP**). En la vista ecuatorial se miden los ejes polar (**EP**) y ecuatorial (**EE**); en la vista polar se mide el diámetro (**d**) y la distancia entre los colpos (**dc**) (figura 3). (Palacios et al., 1991)

**Figura 3.-** Componentes básicos generales de los granos de polen (Modificado de Belmonte J. y Roure J., 1995).



El conjunto de las características de un polen es constante para cada planta y hace posible identificar con más o menos precisión de que taxón procede el polen. Es necesario el uso de la palabra taxón (que designa cualquier unidad de determinación dentro de un sistema jerárquico de categorías) por que no siempre puede identificarse de que especie procede el polen; en bastantes casos la precisión llega solo al nivel de género (es decir, a un grupo de especies), familia (es decir, a un grupo de géneros), o incluso a un grupo de familias o categorías superiores. (Belmonte J. y Roure J., 1995)

## **ACERACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Polen de tipo mónada isopolar radiosimétrico o apolar asimétrico; de forma aproximadamente esférica, aberturas simples o compuestas usualmente tricolporadas o tetracolporadas, columelas dispuestas en estrías, a menudo agrupados en parches de distintas orientaciones, intectado, surcos largo (Extendidos a aproximadamente  $3 \mu$  de polos) es significativamente grande. (Pozhidaev, 1993; Kapp, 1969)

## **AGAVACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Un amplio surco que corta es evidente. La exina es per-reticulada (perforada tectado) el retículo es grueso, con forma subesférica y con caras claramente aplanadas. (Kapp, 1969)

## **AMARANTHACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Mónadas; isopolares, apolares, radiosimétrico; periporadas o fenestradas; ámbitocircular a hexagonal; forma esferoidal, prolado; exina granulada o gemada, baculada, psilada, tectada (Lozano y Martínez, 1990).

## **ANACARDIACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Mónadas isopolares radiosimétricas; tricolporadas; exina semitectada, exina reticulada, estriada, estriada-reticulada; ámbito circular, granos oblado-esferoidales a prolados (Lozano y Martínez, 1990)

## **ASTERACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Polen de tipo mónada isopolar radiosimétrico o apolar asimétrico; aberturas simples o compuestas usualmente tricolporadas o tetracolporadas; exina tectada o tectada perforada, supra espinada, escabrada, fosulada o psilada; ámbito es circular, elíptico o triangular convexo, granos suboblados u oblado esferoidales (Wortley *et al.*, 2007).

## **BETULACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Los géneros *Alnus* y *Betula* Manifiestan homogeneidad de los caracteres polínicos generales y esto permite considerar a esta familia como estenopalinomorfológica. Polen simple. Simetría bilateral, isopolar. En visión polar presenta un contorno de tetra a pentagonal en *Alnus*, muy ocasionalmente triangular. En *Betula*, el contorno es subtriangular. En visión ecuatorial, el contorno es elipsoidal breviáxico en los dos géneros. El tamaño del polen es pequeño a mediano, con valores que oscilan entre las 15 y 30  $\mu$ . Aberturas simples. Poros. Polen 3-4-5-pororado. Los poros presentan un ligero alargamiento en sentido longitudinal (Roure, 1985).

## **CUPRESSACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

El polen es esferoidal, intectado, monoporado y escabroso, microverugado a microgemado. La uniformidad de la morfología del polen apoya la unidad

sistemática de esta familia. El poro individual con un anillo se considera como los rasgos característicos. (Bortenschlager, 1990).

## **CYPERACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Mónadas, apolares, heteropolares, asimétricas; inaberturadas o pueden presentar aberturas tenuemente demarcadas poroides o alargadas (o manchas granuladas, tremoides); exina tectada a intectada, escabrada, baculada, verrugada; granos oblados a esferoidales, suboblados o subprolados, ámbito cuadrangular (Van Wichelen *et al.*, 1999).

## **FABACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Mónadas excepción de los géneros *Inga* y *Acacia* que se presentaron en poliadas isopolares, radiosimétricas; tricolporados, triporados, tricolpados, tricolporoidados, sincolporados, estefanocolpados, sincolpados; exina semitectada, tectada o intectada, psilada, reticulada o microreticulada, verrugada, escabrada o granulada, ámbito circular o triangular, granos suboblados, subprolados a prolados (Ventura y Huamán, 2008).

## **FAGACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Abertura: tricolporado, anguloaperturado. El poro parece pertenecer a una endoabertura. Colpo de 24  $\mu$  de largo x 1.25  $\mu$  de ancho y con margen muy grueso de 3.7  $\mu$ , membrana psilada; exina: Tectado. Supraverrugado. Infrareticulado. Con un grosor de 1.25  $\mu$ . (Limon, 1980) Mónadas, isopolar, radial. Con exina superficial verrugada parece tener una estructura de grano fino con verrugas dispersa, surcos a menudo irregulares o doblados en la extremidad ecuatorial. Tricolpados excepto *Acacia* (generalmente tetracolpado) (Kapp, 1969)

## **IRIDACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Tamaño aproximado: 50 x 70  $\mu$ ; retículo grueso, excepto cerca de surcos donde es más fino. Surco muy largo y ancho, con bordes irregulares. Forma elíptica (Kapp, 1969).

## **MALVACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Mónadas apolares, asimétricas, isopolares, radiosimétricas; periporadas; exina tectada, equinada, microbaculada; granos esferoidales, ámbito circular (Jiménez, 2003).

## **MYRTACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Mónadas isopolares radiosimétricas, tricolporadas, tetracolporadas, sincolporadas a parasincolporadas de exina escabrada a granulada; ámbito angular, granos peroblados a suboblados (Roubik y Moreno, 1991).

## **PINACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Mónada, heteropolar, bilateral. Abertura: Monosulcado. Vesiculado. Sulco distal. Exina: la exina del cuerpo central es más gruesa en la parte proximal, 3.7 y es más delgada en la parte distal, de 1.2. El cuerpo central es tectado, en la parte dorsal es escabroso y en la parte ventral, es psilado. Los sacos aéreos son alveolares. (Limon, 1980)

## **POACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Mónadas, heteropolares, radiosimétricas; monoporados, raramente biporados; exina tectada, psilada, escabrada, granulada, baculada, reticulada o verrugada, más o menos esferoidales-ovoides (Kapp, 1969).

## **ROSACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Los granos de polen son isopolar, radialmente simétrica, mónadas. Son tricolporadas y principalmente entre 20-35  $\mu$  en el eje polar, la forma varía de un elipsoide alargado a un oblato elipsoide, pero es sobre todo subesféricos. La estructura de aberturas por lo general consiste de un colpo endoaperturado y ecuatorial. Su escultura es comúnmente de un estriado general, tipo que consiste principalmente de crestas con valles. La exina es tectada perforada. Hay, sin embargo, numerosas desviaciones a partir de los patrones anteriores, especialmente en la estructura del poro y en escultura (Hebda y Chinappa, 1990).

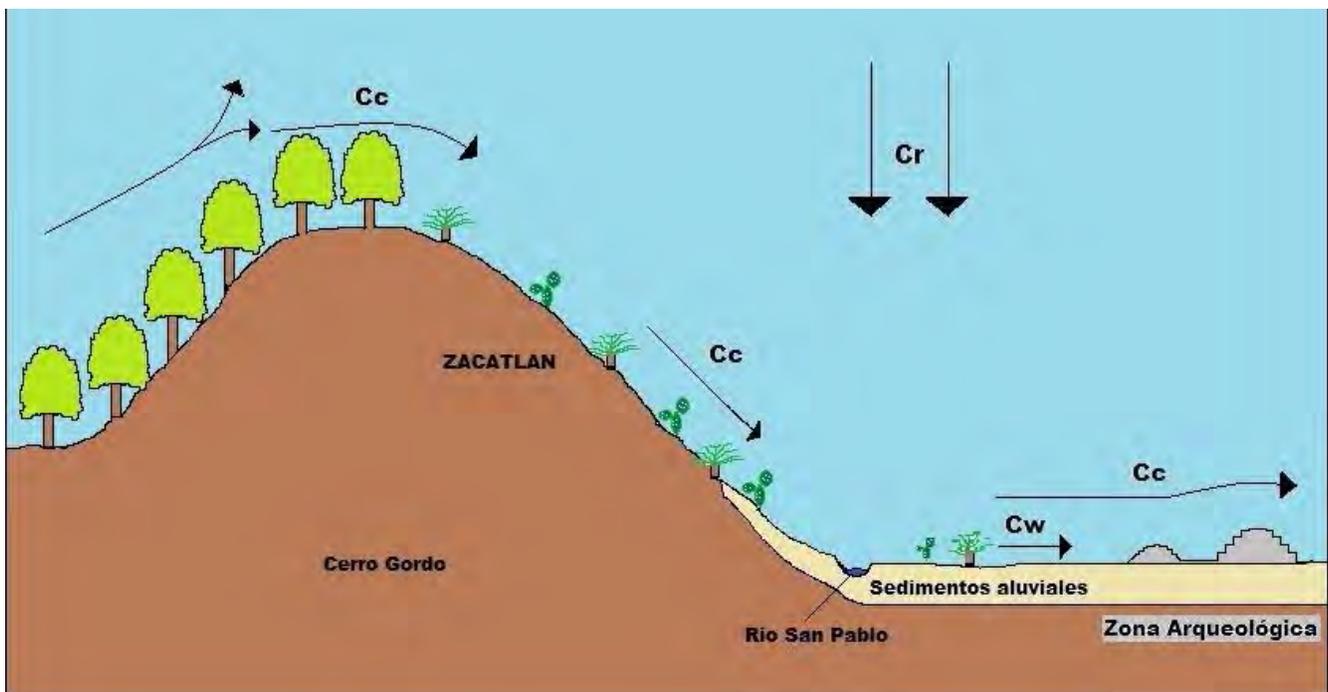
## **RUBIACEAE**

### **Generalidades palinológicas de la familia**

Mónadas; isopolares, radiosimétricas; exina intectada, semitectada o tectada; inaperturados, diporados, triporados, periporados, estefanoporados, tricolpados, estefanocolpados, tricolporados a estefanocolporados; exina reticulada a baculada, menos frecuente psilada, granulada, escabrada, verrugada o equinada; granos esferoidales, ámbito circular (Lozano G. y Martínez H., 1990).

### 1.2.3 Dispersión

El estudio de la dispersión del polen, es indispensable para conocer la cantidad producida por cada tipo de taxón y verificar, que plantas son las responsables de los granos más frecuentes que se encuentran en el ambiente. La mayor parte de los granos de polen que se acumulan en los sedimentos, provienen de las corrientes de aire que los transportan a grandes distancias (fig.3); también, pueden ser arrastrados por las lluvias y por escurrimiento superficial llegan hasta las corrientes de agua que desembocan en ríos y lagos y terminan sedimentando en el fondo; la gran dispersión de los granos permite reunir entonces en el sedimento, el polen de las plantas del lugar y el de la vegetación regional de un radio de más de 50km (Moore *et al.*, 1991).



**Figura 3.-** En situaciones semi-áridas, los sedimentos coluviales y aluviales están fuertemente influenciadas por materiales secundarios depositados por el agua (Cw); los componentes del dosel (Cc) puede ser pocos en las zonas aluviales debido a la baja densidad de plantas y el transporte a larga distancia (Cr) proporciona una gran entrada de polen. (Modificado de Moore *et al.*, 1991).

## **1.3 Fitolitos como indicadores de Cambios Paleoambientales**

### ***1.3.1 Producción de fitolitos en las plantas***

La formación de fitolitos es común en el reino de las plantas y presentan formas variadas tanto en cantidad como en morfología, también presentan diferencias en su frecuencia, tamaño, distribución, localidad y orientación dentro de la planta. La extensión y el control de la silificación, particularmente, en el tejido maduro están sujetos a diferentes condiciones locales; como el suministro de sílice y el rango de transpiración (Piperno, 2006).

Los fitolitos se componen de sílice amorfo, el cual es un mineral absorbido por las plantas del suelo húmedo. Experimentos por Hodson *et al.*, (2005), Ma y Yamaji (2006) y otros han mostrado que el ácido monosilícico es la forma como el sílice se encuentra en la solución del suelo, el cual es des-ionizado y solubilizado. La mayor parte, si no es que todo el sílice es absorbido y disuelto como ácido monosilícico ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) en el interior de las plantas.

El ácido monosilícico determina la absorción o desabsorción del sílice. Este es relativamente insoluble en un rango de pH de 5 a 8 el cual es normal en la mayoría de los suelos. Inicialmente es un producto de los minerales silicatados formado por el intemperismo de estos minerales tales como el cuarzo y el feldespato. En climas cálidos y ambientes tropicales húmedos estos procesos de intemperismo se incrementan, aumentando la disponibilidad del sílice por lo que los suelos tropicales tienen mucho más concentraciones de sílice soluble, especialmente en aquellos que son pobremente drenados. Las concentraciones de ácido no se acumulan debido a la lluvia que se la lleva hacia el fondo del perfil del suelo (Ma y Yamaji, 2006).

Los factores que regulan la concentración de ácido monosilícico en los suelos y subsecuentemente en las plantas son: la presencia de fierro y especialmente de óxidos de aluminio ya que son activos absorbentes de sílice; el

pH del suelo, también tiene un papel importante; por ejemplo en suelos calcáreos con un pH alto decrece la solubilidad del sílice para la absorción y su disponibilidad para las plantas; otros factores importantes son la disolución de los fitolitos contenidos en la materia orgánica, la temperatura, la evaporación, la cantidad de agua, la humedad del suelo, la misma materia orgánica, la lixiviación del mineral soluble y la disolución de nitrógeno y fósforo (Piperno, 1998).

En los trabajos de Høgh-Jensen *et al.*, (2001), sugieren que el ascenso del sílice en las plantas está controlado por la concentración de sílice en la solución del suelo y por la velocidad de transpiración de la planta misma. Las plantas absorben sílice de la solución del suelo en grandes cantidades si las concentraciones de sílice son altas en el agua del suelo.

### **1.3.2 Absorción, Transporte y Acumulación**

La absorción y el transporte del sílice a través de las plantas sucede por dos vías: 1) el transporte activo del ácido monosilícico que es llevado a cabo por las raíces, a través de la difusión de un soluto no polar (Ma y Yamaji, 2006). Este tipo de transporte es llevado a cabo independientemente de la cantidad de sílice disuelto siendo más eficiente en los pastos; 2) el transporte pasivo se refiere a la absorción no selectiva y se lleva a cabo en la transpiración estomática. Estos procesos desechan el exceso de sílice dentro de la planta.

La depositación suele atribuirse tanto a mecanismo de transporte activos como pasivo. Se propone un sistema enzimático para la depositación. Este es sintetizado o segregado por algunas células que se producen en sitios específicos de alta polimerización. Esta particularidad va a estar determinada filogenéticamente, la cual finalmente, va a determinar los patrones de distribución de sílice en la planta (Ma y Yamaji, 2006).

Los factores que tienen que ver principalmente con la regulación del transporte son: el sílice en el agua del suelo y la transpiración de agua; lo que deja grandes concentraciones de sílice en las plantas sobre todo en los días de alta temperatura.

Una vez que el sílice se encuentra en la planta en su interior es llevado a las partes superiores a través del xilema. Dentro de la hoja el ácido monosilícico es polimerizado y precipitado como un gel formando depósitos sólidos de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), estos procesos se relacionan con la transpiración estomática.

Se sabe que en la calabaza (*Cucurbita* sp.) y el arroz (*Oryza* sp.), existe un loci que interviene en la acumulación de silicio, afirman que existe una restricción en las formas de células silificadas, lo que implica que puede haber un orden por el cual diferentes células “típicas y atípicas” son silificadas, variando con respecto a la edad de la planta y la disponibilidad de sílice. En los pastos, primero se deposita el mineral en las células silificadas normales o “típicas” y subsecuentemente las células “atípicas” (Piperno et al., 2002).

En las áreas costales de la hoja se lleva a cabo la silificación típica, los nombres morfológicos se basan en la apariencia del contorno; por ejemplo, las formas de “silla de montar”, “dumbellas” (formas de mancuernillas de gimnasta, también llamados bilobulados), “polilobulados” etc.; todas ellas también conocidas como células cortas. (Piperno *et al.*, 2002).

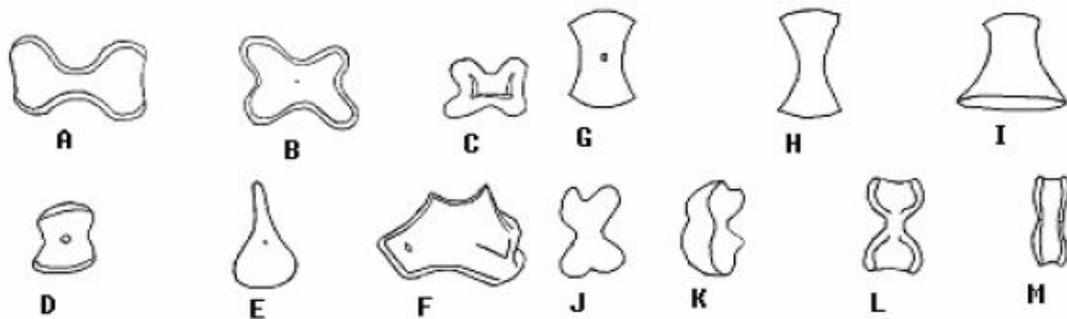
En la silificación atípica son células silificadas del tejido epidérmico que no son ordinariamente utilizadas por las plantas como un depósito de sílice y son las últimas en silificarse, por ejemplo; células largas (longitudinales), las células estomáticas y células buliformes. Este patrón de depositación de sílice es menos común (Piperno *et al.*, 2002).

### **1.3.3 Sistemática y morfología**

Existen dos sistemas de clasificación: el primero tiene como base el método geométrico, donde, a cada fitolito se le trata como una entidad separada, el cual, una vez descrito se le asigna un nombre en latín mostrando la sistemática Lineada, como lo hizo por primera vez Ehrenberg en 1854. Los taxa son descritos únicamente con base a su morfología en donde las formas geométricas se basan en su contorno y las agrupaciones se consideran como parataxa. El método no se esfuerza en identificar a la planta original, pero tiene la ventaja de ser fácil y entendible. Esta forma de clasificar ha sido desarrollada por autores como Twiss (1969,1992), Piperno (1988, 2006) y Mulholland y Rapp (1989).

El segundo método es el anatómico, el cual relaciona los tipos de fitolitos con la anatomía de la planta como Piperno (1988, 2006) trabajan en la identificación del maíz con cuerpos en forma de cruz, donde, realizan clasificaciones y divisiones primarias que se basan en el tipo celular de los fitolitos en el tejido vivo como: epidermis, células pilosas, bases pilosas y mesófilo (mismos que se silifican más) además de los estomas, esclerenquimas y tejido vascular.

Las divisiones secundarias se basan en su morfología donde el método requiere de un gran conocimiento de la anatomía de la planta. Estos avances los han llevado a cabo en muchas familias de plantas tropicales. Piperno (1988, 2006) ilustra estas clasificaciones para monocotiledóneas, menciona que estas formas pueden variar dependiendo de la orientación. (Figura4).



**Figura 4.-** Fitolitos de Monocotiledóneas de células cortas de pastos (A-F) Fitolitos en diferentes orientaciones: forma de silla de montar (G-I); forma de cruz (J-K); forma de mancuernilla de gimnasia (bilobulado o lumbella) (L-M) (Piperno, 1988)

Expandiendo la clasificación hecha por Twiss *et al.* (1969) los nombres morfológicos están basados en la apariencia del contorno, por ejemplo; planos, alargados, tricomas, de silla de montar, bilobulado o “dumbella”, polilobulados y cruces.

Actualmente en lo reportado por Twiss (1992) se están usando las siguientes formas básicas de las gramíneas sin dejar de reconocer que no existe excepción taxonómica para cada uno. Se denominan los tres primeros "regulares" y otras formas se pueden agregar según sea necesario. (Figura 5). Esto permite el estudio de fitolitos para la solución de problemas paleontológicos, que mejoran mucho, al considerar tanto el morfométrico como el anatómico.



**Figura 5.-** Clasificación de los fitolitos. Subfamilia 1 Poideae Subfamilia 2 Chloridoideae. Subfamilia 3Panicoideae. Clase 4 Alargados. Clase 5 En abanico. Clase 6 Forma de punta. Twiss (1992).

Piperno (1988) proponen que los sitios donde se lleva a cabo la silificación son:

- 1) En la pared celular a menudo llamada de silificación, donde las células que se lignifican y silifican son delgadas y frágiles. La sílice depositada forma un forro frágil sobre la célula a manera de ganchillos pilosos, espinas y tricomas, el cual invariablemente se rompe.

- 2) En el lumen celular donde es rellenado completamente o bien casi completamente, formando replicas mineralizadas de un molde sólido interno de la célula, este depósito generalmente ocurre en una vacuola.
- 3) En los espacios intersticiales de la planta, así como, cristales extracelulares que no conforman estructuras regulares.

El grado de desarrollo de los fitolitos en las plantas dependerá de factores como el clima, de la naturaleza del suelo, del aumento del agua en el suelo, la edad de la planta y la afinidad genética de la planta a la absorción del sílice. Funcionalmente parece que no contribuye activamente a la respiración de la planta aunque puede afectarla en el uso de otros minerales pesados (Ma y Yamaji, 2006).

Debido a lo anterior los fitolitos presentan una amplia variación morfológica, variación en las asociaciones de partículas dentro de un grupo de plantas, variación entre las partes de una planta y variación entre los miembros de un grupo de plantas. Por lo tanto, los fitolitos están sujetos a factores de multiplicidad (producción de muchas formas en un taxón) y redundancia (ocurrencia de una forma en muchos taxones) (Mulholland y Rapp, 1992).

#### **1.3.4 Registro taxonómico de fitolitos**

Los fitolitos tienen un significado taxonómico, porque son producidos por muchas familias de plantas superiores. La presencia de los fitolitos han sido reportados en Angiospermas, tanto en Liliópsidas (monocotiledóneas) como en Magnóliopsidas (dicotiledóneas); en las segundas se presentan principalmente en árboles caducifolios (Madella, 1998), Gimnospermas y Pteridofitas (Piperno, 1988). Las familias más conocidas como acumuladores de cuerpos de sílice identificable son entre otras: Gramíneas hoy conocidas como Poaceae (pastos), Cyperaceae(juncia); Ulmaceae (olmo), Fabáceae o Leguminosas (frijol), Cucurbitáceae (calabaza) y Asterácea o Compuestas (girasol) (Piperno, 1988).

Mulholland (1989) afirma que el análisis en detalle de las formas de fitolitos en las familias Poaceae y Cyperaceae puede aportar información significativa no apreciable en otras familias fijadoras de sílice. Sin embargo, la depositación del sílice no es universal debido a que muchas familias producen poco o nada de fitolitos identificables (Piperno, 2006).

Desarrollar una adecuada taxonomía de fitolitos basada en su morfología para su uso en paleobotánica puede ser muy complejo, pero es necesario para ser más eficiente la investigación arqueológica y paleontológica. La mayoría de investigaciones se han concentrado en la taxonomía de las monocotiledóneas, especialmente en la familia Poaceae (gramíneas), dado que en este grupo de plantas es posible un grado taxonómico más preciso. Las plantas de esta categoría tienden a ser altamente silíceas porque producen grandes cantidades de distintas partículas morfológicas, correspondientemente, ellas tienen un gran potencial para su identificación individual y colectiva, en un contexto paleobotánico. (Twiss *et. al.*, 1969; Piperno, 2006).

### **1.3.5 Liberación y Depositación**

Los fitolitos formados en los tejidos y células de las plantas vivientes son liberados y depositados por mecanismos de decaimiento *in situ* (Piperno, 1988).

Existen tres mecanismos por los cuales pueden ser liberados los fitolitos:

- 1) la descomposición natural del tejido de las plantas que los contienen.
- 2) como consecuencia de incendios de bosques y pastos.
- 3) en el estiércol de animales herbívoros. Los fitolitos son depositados en la superficie o en el subsuelo junto con la materia orgánica, donde se lleva a cabo la descomposición de las plantas (Piperno, 1988).

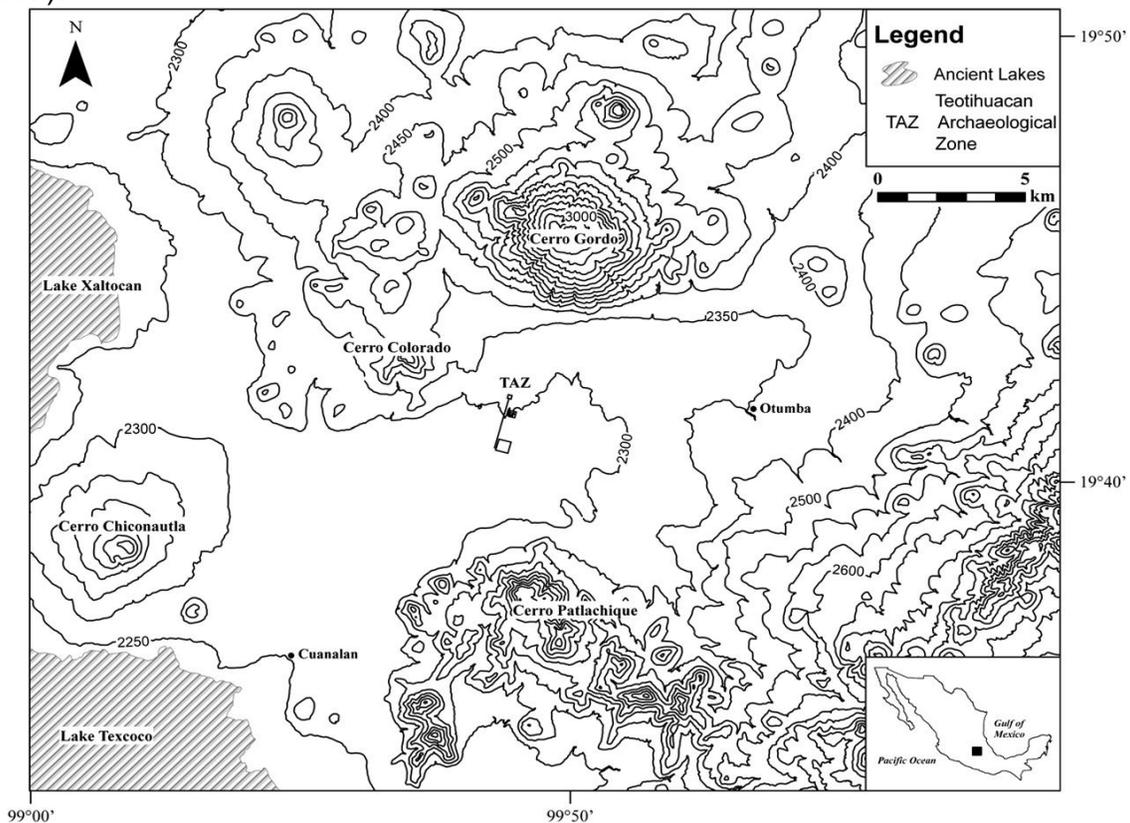
Cuando sucede una descomposición normal, los fitolitos se introducen en las capas de humus incorporándose directamente al suelo produciendo un registro de la vegetación local. Los fitolitos depositados son componentes estables en horizontes de sedimentos, y poseen una consistencia morfológica distintiva. Aunque los variados procesos fisicoquímicos activos en los suelos y sedimentos afectan el registro fósil de fitolitos, son virtualmente invulnerables a la descomposición en la mayoría de los ambientes de sedimentación y presentan una notable durabilidad en el suelo a través del tiempo (Piperno, 1988; Hogh-Jensen *et al.*, 2001).

También pueden transportarse a grandes distancias por fuego, aire y corrientes de agua. En general, fuertes procesos de erosión introducen fitolitos dentro de la hidrosfera y la atmósfera donde se lleva a cabo este transporte de tal manera que pueden formar tanto asociaciones fósiles autóctonas como alóctonas.

## II. DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 Ubicación geográfica

El área de estudio referida aquí como Valle de Teotihuacán, se ubica en el sector noreste del Valle de México (19°34'N, 99°40'O) entre 2240-3100 msnm en el Sistema Volcánico Transversal del centro del país, que incluye una franja al norte (Cerro Gordo), fuera de la cuenca hidrológica del río San Juan. El límite norte abarca una parte de la región de Temascalapa, y así definido, cubre una extensión de aproximadamente 900 km<sup>2</sup> (Figura 6). La historia volcánica de la cuenca de México en general se manifiesta en esta región, pues los cerros que rodean la planicie son formaciones miocénicas y pliocénicas o del Pleistoceno temprano; mientras que otros depósitos aluviales, lavas y basaltos, estratovolcanes y conos cineríticos son del Cuaternario (McClung y Tapia-Recillas, 1997).



**Figura 6.-** Ubicación del Valle de Teotihuacán, incluyendo la Zona Arqueológica (antigua ciudad de Teotihuacán) (McClung de Tapia *et al.*, 2005)

## 2.2 Clima

El clima de un área está determinado por la temperatura, la cantidad de lluvia y la evapotranspiración, a su vez estos factores están determinados por una serie de elementos geográficos dentro de los cuales destacan por su importancia, la latitud y la altitud.

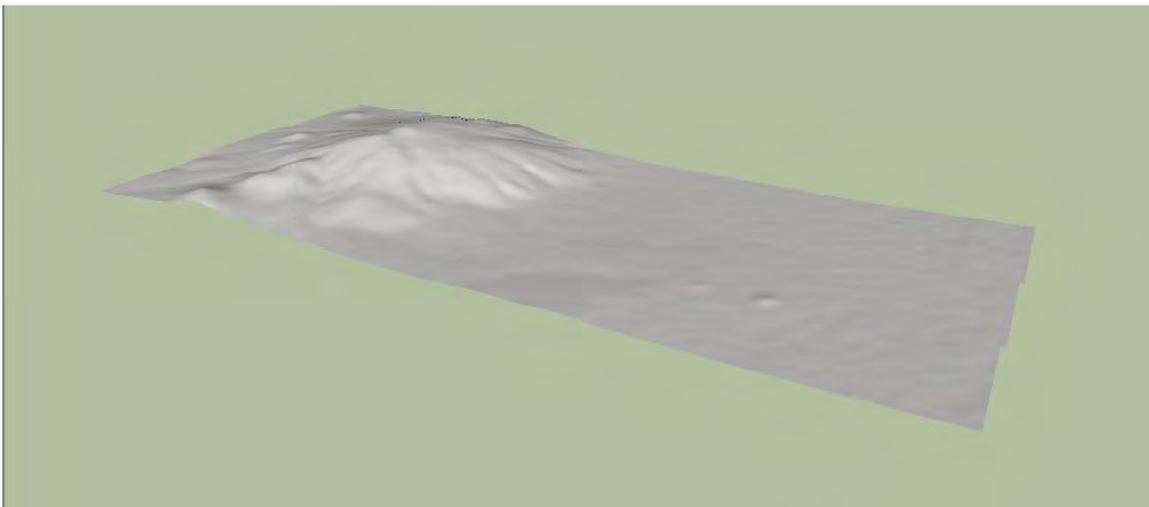
En general en el área según el sistema de clasificación de Köppen, modificado por García, el clima es C (W<sub>o</sub>) b (e) g, que es templado subhúmedo, con lluvias en verano, la lluvia invernal está entre 5% y 10.2% de la precipitación actual anual, con verano fresco y largo (temperatura media del mes más caliente inferior a 22°C). Asimismo se encuentra el clima BS<sub>1</sub>k'w (w) (i) g, que es seco, templado con verano cálido, la temperatura media anual entre 12 y 18°C y la del mes más frío entre 3 y 18°C, la del mes más caliente superior 18°C con lluvias en verano y una oscilación térmica menor de 5°C (García, 1981).

Presenta una precipitación anual entre 500-600mm el 80 ó 90% de la misma ocurre entre los meses de mayo y octubre. La escasa precipitación en la región se debe fundamentalmente a dos factores: por un lado a la barrera de la Sierra Madre Oriental de donde provienen los vientos alisios del Golfo de México y por el otro, al efecto de sombra orográfica que la Sierra de Pachuca ejerce sobre la parte septentrional de la cuenca de México (García, 1968).

## 2.3 Geología

Las rocas presentes, son de origen ígneo que pertenecen a la Época del Plioceno-Holoceno, de la Era Cenozoica y al Periodo Cuaternario con una edad comprendida entre 37 y 10 millones de años. El Cerro Gordo es la estructura más joven y constituye el tipo más característico de un volcán moderno. Éste surgió a partir de la formación de dos volcanes del Pleistoceno y por lo menos tuvo dos etapas de actividad hasta su colapso (Mooser, 1968)

El volcán tiene flujos hídricos superficiales que forman un drenaje radial y debido a la topografía funcionan geohidrológicamente como una zona de recarga natural y no de extracción (Figura7), (elaborada con el programa SketchUp8, [www.sketchup.com/intl/es//download/gsu.html](http://www.sketchup.com/intl/es//download/gsu.html)).



**Figura 7.-** Representación de la topografía del cerro Gordo, en el Valle de Teotihuacán.  
(Elaboro: Luis Angel Yetlanezi Martínez Ríos)

## 2.4 Hidrografía

La hidrografía de la región se relaciona de manera estrecha con la historia geológica y el clima. La mayoría de las corrientes son estacionales, la lluvia que se precipita sobre las regiones más altas, fluye a través de los tres ríos principales: El San Juan, El Huixulco y El San Lorenzo; las cuales se infiltran en el suelo para aparecer como manantiales en algunos casos, por ejemplo, los que se encuentran en el poblado de San Juan Teotihuacán (Lorenzo, 1968).

## 2.5 Edafología

Los principales tipos de suelos en la región de Teotihuacán son cuatro y incluyen: los Feozems con un (48%), formados a partir de depósitos no consolidados, incluyendo los de aluvión; los Vertisoles con un (16%),

desarrollados a partir de depósitos superficiales como aluvión y sedimentos lacustres o la intemperización progresiva de roca subyacente como basalto o ceniza volcánica; los Cambisoles con un (13%), también formados por depósitos no consolidados y los Leptosoles con un (13.5%), suelos de muy poca profundidad sobre roca (McClung y Tapia-Recillas, 1997).

## **2.6 Vegetación**

### **2.6.1 Formas biológicas**

Existe una gran variedad de plantas con estructuras que acentúan su sobrevivencia y crecimiento bajo variadas condiciones ambientales.

Las adaptaciones de plantas al ambiente pueden ser de tipo morfológico o bien de tipo fisiológico. Es posible reunir a las especies en grupos más o menos homogéneos tomando como base para el análisis de estos organismos las características antes mencionadas. En otras palabras es posible reconocer analogías en el modo con que se han adaptado y con que desarrollan algunas de sus más importantes funciones vitales. De ahí que sea posible determinar grupos amplios, con significados ecológicos más o menos precisos o especializados, relativos al tipo de adaptación experimentado por la especie en el curso de la evolución. Los organismos con notables analogías morfológico-funcionales se reúnen en grupos denominados formas biológicas incluso cuando pertenezcan a taxa distintas entre sí.

La idea de forma biológica se inicia con un trabajo publicado por A. von Humbolt en 1806 y en esto le han sucedido numerosos autores hasta la fecha. Sin embargo, es el sistema de Raunkiaer el que más ha sido utilizado entre los botánicos (Castilla & Tejero, 1987).

Dicho sistema se basa en la altura que alcanzaban sobre el suelo(o debajo del mismo) sus órganos vivaces, es decir, las partes que se hallan en constante crecimiento, como son los típicos brotes o vástagos.

Las principales formas biológicas vegetales, según el sistema de Raunkiaer, son las siguientes:

**Terófitos (T):** Son especies anuales y efímeras, cuyos ciclos de vida no exceden el año, carecen de yemas de renuevo y cuyos órganos de activación del crecimiento consisten en embriones seminales o semillas.

**Geófitos (G):** Vegetales cuyas yemas de renuevo yacen bajo tierra, de modo que la parte aérea muere año tras año, y las yemas quedan protegidas en bulbos, tubérculos, rizomas o raíces gemíferas, como la papa.

**Hemicriptófitos (H):** Vegetales cuyas yemas de renuevo están a ras del suelo. La parte aérea muere todos los años después de la fructificación y quedan las yemas de renuevo protegidas por la hojarasca y los detritos vegetales. (Pastos).

**Camefitos (Ch):** Vegetales con la parte leñosa y persistente y cuyas yemas de renuevo se elevan a menos de 30cm del suelo. Se incluyen a los arbustos.

**Fanerófitos cespitosos(Pcesp)** y **Fanerófitos escaposos(Psca):** Vegetales cuyas yemas de renuevo se elevan a mas de 30 cm del suelo.

**Epifitas(E):** Vegetales que viven sobre otras plantas sin nutrirse de ellas o como parásitos. A este grupo pertenecen muchas orquídeas y bromelias etc.

### ***2.6.2 Tipos de Vegetación***

La mayoría de los estudios florísticos del Estado de México como los realizados por Martínez y Mutada (1979), Rezedowski y Rendowski (1979, 1985, 1990), Sánchez (1980), y Espinosa y Sarukán (1997) se centran en el Valle de México así como en el cerro Gordo de San Martín de las Pirámides, Teotihuacán, Castillo y Tejero (1987).

En cuanto a la vegetación actual del valle de Teotihuacán Rzedowski (2005) señala que está alterada, producto de la actividad humana, esto ha producido que solo existan algunas comunidades vegetales. Los autores Castilla y Tejero (1987)

distinguen los siguientes tipos de vegetación presentes en la región del Cerro Gordo y las zonas aledañas al Norte de San Juan Teotihuacán.

- **MATORRAL XEROFILO.** Corresponde al tipo de vegetación más extendido en el área encontrándose en todos los terrenos accidentados, lomeríos y cerros, hasta una altitud de 2750 m aproximadamente, fisonómicamente lo domina los vegetales cuya forma biológica es la fanerofita cespitosa, mientras que florísticamente está representado por las hemicriptofitas y terofitas.

Las especies que presentan mayor distribución y que son características de este tipo de vegetación, corresponden a: *Opuntia streptacantha*, *Zaluzania augusta* y *Mimosa aculeaticarpa* var *biuncifera* (Benth.) Barneby (*M. biuncifera* Benth.), pero dependiendo del tipo de sustrato, orientación y el grado de perturbación se pueden distinguir 8 asociaciones en las que se encuentran las siguientes especies, entre otras, *Senecio praecox*, *Acacia schaffneri*, *Loeselia mexicana*, *Eupatorium espinosarum*, *E. peticolare*, *Brickellia veronicifolia*, *Gymnosperma glutinosium*, *Eysenhardtia polystachya*, *Schinus molle*, *Opuntia robusta*, *Agave sp.*, *Yucca filifera*, *Plumbago pulchella*, *Echinocereus cinerascens*, *Opuntia imbricata*, *Dalea bicolor* Humb. Y Bonpl. var. *bicolor*, *Cheilanthes myriophylla*, *Cheilanthes bonariensis* (Willd.) Proctor, *Selaginella peruviana*, *S. sellowii*, *Erioneuron avenaceum* (Kunth) Tateoka, *Adolphia infesta*, *Buchloe dactyloides*, *Agrostis semiverticillata*, *Bacopa procumbens*, *Calochortus barbatus*, *Commelina diffusa*, *Desmodium neomexicanum*, *Gnaphalium rosaceum*, *Ipomoea stans*, *Oxalis alpina*, *Salvia polystachya*, *Setaria geniculata*, *Solanum cervantesi*, *Stevia micrantha*, *Stevia serrata*, *Tillandsia recurvata*.

- **MATORRAL DE ENCINO *Quercus frutex* Trel.** (*Quercus microphylla*) Esta comunidad se desarrolla entre el matorral xerófilo y el bosque de encinos, creciendo sobre suelos someros en una franja que va desde los 2850 a los 3000 msnm, en la ladera sur y de los 2700 a los 2800 msnm en la ladera norte del Cerro Gordo; por el poniente se extiende hasta el Cerro Tompiate, que desciende hasta una altitud de 2650 m.

Fisonómicamente se encuentra dominado por la especie *Quercus frutex* anteriormente clasificado como *Quercus microphylla*, Rzedowski *et al.*, (2005) que es una fanerofita cespitosa formando un conjunto cerrado de fuerte reproducción vegetativa a través de rizomas. En su parte más densa convive con *Dalea minutifolia*, mientras que en el estrato inferior con *Acourtia cordata* (Cerv.)Turner, *Euphorbia macropus*, *Galium sp.*, *Lamourouxia multifida*, entre otras. En los claros se encuentran especies como *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum* y enclaves de pastizal con *Senecio salignus*. Rzedowski *et al.*, (2005) atribuyen su presencia debido al fuego repetido, aunque en la región podría deberse a la tala del bosque de encino.

Florísticamente las que están mejor representadas son las hemicriptofitas y las geofitas entre las que se encuentran *Ceanothus coeruleus*, *Daucus montanus*, *Echeveria mucronata*, *Helianthemum glomeratum*, *Hypoxis mexicana*, *Lithospermum strictum*, *Prinosciadium thapsoides*, *Senecio peltiferus*, *Senecio reticulatus*, *Stipa ichu*, *Nassella mucronata* (H.B.K.)R.Pohl, *Stevia salicifolia*, *Verbesina virgata*.

- **PASTIZAL.** Es una comunidad poco extendida generalmente asociada con el matorral xerófilo, matorral de encino o matorral de *Senecio salignus* y *Baccharis conferta*. Se localiza en abanicos aluviales, lomeríos y valles situados entre los 2400 y los 3050 msnm. Se encuentran dos tipos de pastizal, uno de *Buchloë dactyloides* con *Hilaria cenchroides* y/o *Bouteloua gracilis*, muy influenciado por los matorrales y sin un verdadero límite y el otro, el zacatonal de *Stipa ichu*.

El zacatonal ocupa la menor área de los dos pastizales, se localiza al sureste y en algunas cañadas de la vertiente norte del Cerro Gordo, alrededor de los 3000 msnm. Cuando el bosque ha sido perturbado el zacatonal se mezcla con el matorral de encino y con sus especies acompañantes.

El pastizal de *Buchloë dactyloides* es mucho más extenso. Castilla y Tejero (1987) señalan que su existencia se debe a la combinación de factores climáticos y antropogénicos ya que al parecer se desarrolla después del abandono de las parcelas de cultivo y la decadencia de las malezas; es una fase intermedia entre el cultivo y el restablecimiento de la vegetación clímax. Suele ser mantenido para el pastoreo y su sobreutilización puede contribuir a la erosión.

Fisonómicamente lo caracteriza un conjunto de gramíneas y formas gramínoideas, florísticamente representado por las hemicriptofitas y teridofitas tal como corresponde a un ambiente xerofítico. Se pueden encontrar las siguientes especies arbóreas, *Acacia schaffneri*, *Opuntia streptacantha* y *Schinus molle*.

Los arbustos más frecuentes son: *Opuntia x pallida* Rose (*Cylindropuntia x pallida* (Rose) Knuth), *Eupatorium espinosarum*, *Mimosa biuncifera*, *Opuntia heliabravoana*, *Zaluzania augusta*.

Entre las herbáceas se encuentran: *Agave sp.*, *Bouteloua gracilis*, *Drymaria arenarioides*, *Ferocactus latispinus*, *Mammillaria magnimamma*, *Polygala compacta*, *Sanvitalia procumbens*, *Stenandrium dulce*, *Stevia serrata*.

En la segunda forma de pastizal representado por *Stipa ichu*, cambian las especies acompañantes y algunas son poco representadas en la anterior forma de pastizal. Entre los árboles suele haber *Quercus sp.* Y los arbustos están representados por: *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Quercus frutex*, y *Senecio salignus*.

Mientras que las herbáceas más frecuentes son: *Arenaria lycopodioides*, *Cirsium subuliforme*, *Commelina orchioides* Booth (*C. alpestris* Standl. y Steyerl.), *Echeandia nana*, *Oxalis corniculata*, *Ranunculus dichotomus*, *Silvia prostrata*, *Verbena ciliata*.

- **BOSQUE DE ENCINOS (*Quercus sp.*)** Esta comunidad vegetal ocupa una pequeña área restringida a la ladera norte del Cerro Gordo desde los 2800 hasta los 3050 msnm, extendiéndose hasta el pico aledaño Cerro Palo Huérfano. Castilla y Tejero (1987) mencionan que es posible que antaño ocupara mayor área por lo menos hasta la cota de distribución actual del matorral de encinos; esto lo suponen ya que en la ladera sur se encuentran árboles de encino muy dispersos y además existe un manchón en la cúspide del cerro Tompiate a 2700 msnm, mientras que en la ladera norte los encinos llegan hasta los 2500 msnm aproximadamente. Fisonómicamente consiste en conjuntos dominados por los árboles *Quercus crassipes*, *Q. greggii* y *Q. mexicana* con una altura de 3 a 5 m.

El sotobosque está dominado por los arbustos: *Ribes affine*, *Rhamnus serrata*, *Salvia elegans*, *Senecio angulifolius*, *Senecio barba-johannis*, *Symphoricarpos microphyllus*.

En los lugares perturbados se encuentra *Archibaccharis asperifolia* (Benth) Blake, *Alchemilla procumbens*, *Cheilanthes lendigera*, *Didymaea alsinoides*, *Eupatorium pazcuarensis*, *Geranium sp.*, *Solanum sp.* Castilla y Tejero (1987) hacen notar que existió un intento de reforestación años atrás con *Eucalyptus sp.* y *Cupressus lindleyi*.

Florísticamente al igual que con el matorral de encino las hemicriptofitas, geofitas y camefitas son las más importantes, además de las especies ya mencionadas, también se caracteriza por las siguientes: *Arbutus xalapensis*, *Brachypodium mexicanum*, *Buddleia parviflora*, *Dahlia sp.*, *Eupatorium rubricaulis*, *Euphorbia furcillata*, *Thalictrum strigillosum*.

- **VEGETACIÓN HIDROFILA.** Esta comunidad se manifiesta únicamente en las temporadas de lluvia, o bien se encuentra en sistemas mantenidos artificialmente con agua como son las presas, zanjas para riego, aljibes y jagüeyes, en forma natural en los remansos de las avenidas, en los sitios

inundables y los restos de manantiales en San Juan Teotihuacán, todo lo anterior entre los 2290 y 2500 msnm.

Entre las especies frecuentes se encuentran: *Zannichellia palustris*, *Limosella aquatica*, *Lilaea scilloide* (Poir.)Hauman(*Lilaea subulata*), *Juncus arcticus* var.*mexicanus*, *Baccharis salicifolia*, *Eupatorium* sp. *Desmodium* sp. *Polygonum aviculare*, *Datura ceratocaula*, *Lemna minima*, *Eragrostis pectinacea*, *Cynodon dactylon*, entre otros.

- **VEGETACIÓN ANTROPOGENA.** Correspondiente a las asociaciones de plantas arvenses y ruderales que se desarrollan como consecuencia de las actividades humanas, por lo tanto es una vegetación secundaria. Se dividen en tres tipos. 1) **vegetación agrícola y arvense**, incluye plantas cultivadas con fines comerciales como la tuna blanca (*Opuntia amyclaea*) la cebada (*Hordeum vulgare*), el maíz (*Zea mays*), la alfalfa (*Medicago sativa*, el maguey (*Agave* sp.), las especies presentes en los huertos familiares y las arvenses asociadas son *Montanoa tomentosa*, *Salvia polystachya*, *Solanum rostratum*, *Bouvardia ternifolia*, *Tithonia tubiformis*, *Simsia amplexicaulis*, *Amaranthus hybridus*, *Bidens odorata*, *Dyssodia papposa*, *Medicago polymorpha*, *Raphanus raphanistrum*, *Sphaeralcea angustifolia*, *Cyperus esculentus*, *Euphorbia dentata*, *Ipomoea purpurea*, *Acalypha phleoides*, *Opuntia heliabravoana*, *Zaluzania triloba*.  
2) **ruderal**, en esta se consideran las plantas que crecen a la orilla de la carreteras pavimentadas y a los lados de las terracerías y brechas, las especies más frecuentes son: *Astragalus micranthus*, *Dalea obovatifolia*, *Euphorbia prostrata*, *Lycurus phleoides*, *Melilotus indicus*, *Mirabilis jalapa*, *Oxalis corniculata*, *Sonchus oleraceus*, *Verbena ciliata*.  
3) **bancos de material de brecha volcánica**, de estos lugares se extrae el tezontle y se abandonan más tarde. Entre las especies que crecen allí están: *Argemone platyceras*, *Buddleia cordata*, *Datura stramonium*, *Jatropha dioica*, *Nicotiana glauca*, *Opuntia streptacantha*, *Physalis chenopodiifolia*, *Solanum cervantesii*, *Tridax coronopifolia*, *Verbena menthaefolia*.

### 2.6.3 Pastos actuales del valle de Teotihuacán

**Tabla 1.-** Con base en Rzedowski *et al.* (2005) y Castilla y Tejero (1987) se observaron a los siguientes géneros de Poaceae distribuidos en la región de Teotihuacán. Se indica el número de especies en paréntesis.

<b>POOIDEAE(C3)</b>	<b>PANICOIDEAE(C4)</b>	<b>CHLORIDOIDEAE (C4)</b>
<i>Polypogon viridis</i> (1) ( <i>Agrostis semiverticillata</i> )	<i>Andropogon</i> (1)	<i>Aegopogon</i> (2)
<i>Avena</i> (2)	<i>Brachiaria</i> (1)	<i>Aristida</i> (3)
<i>Brachypodium</i> (1)	<i>Echinochloa</i> (1)	<i>Bouteloua</i> (6)
<i>Bromus</i> (2)	<i>Panicum</i> (1)	<i>Buchloë</i> (1)
<i>Festuca</i> (2)	<i>Paspalum</i> (1)	<i>Buchlomimus</i> (1)
<i>Hordeum</i> (2)	<i>Pennisetum</i> (1)	<i>Chloris</i> (1)
<i>Koeleria</i> (1)	<i>Setaria</i> (2)	<i>Cynodon</i> (1) Introducida
<i>Nassella</i> (3)	<i>Sorghum</i> (1)	<i>Dasyochlon</i> (1)
<i>Piptochaetium</i> (2)	<i>Zea</i> (1)	<i>Eleusine</i> (1)
<i>Poa</i> (1)		<i>Enneapogon</i> (1)
<i>Polypogon</i> (2)		<i>Eragrostis</i> (2)
<i>Sitanion</i> (1)		<i>Erioneuron</i> (2)
<i>Stipa</i> (2)		<i>Hilaria</i> (1)
<i>Trisetum</i> (1)		<i>Leptochloa</i> (1)
		<i>Lycurus</i> (1)
		<i>Microchloa</i> (1)
		<i>Muhlenbergia</i> (8)
		<i>Scleropogon</i> (1)
		<i>Sporobolus</i> (1)

**Tabla 2.-** Contiene la proporción total de géneros y la proporción total de especies, así como la proporción de especies C3 VS C4, en la actualidad.

	<b>POOIDEAE(C3)</b>	<b>PANICOIDEAE(C4)</b>	<b>CHLORIDOIDEAE(C4)</b>
Numero de Géneros	14	9	19
Proporción del total de Géneros (42)	33.33%	21.42%	45.23%
Número de especies (69)	23	10	36
% C3 vs C4	35.55%	64.44%	

Los géneros de la familia Poaceae que actualmente son encontrados en el valle de Teotihuacán y se encuentran en mayor proporción representados con un 64.44% utilizan el mecanismo fotosintético C4, mientras que los géneros C3 tienen un 35.55%.

## **2.7 Conclusión**

Ciertamente el paisaje actual de la región de Teotihuacán no representa un análogo fiel de la época prehispánica, aunque existen ciertas semejanzas climáticas (temperatura y precipitación) y de tipos de vegetación. Resulta de gran dificultad el poder diferenciar entre los efectos ocasionados por el impacto humano por un lado y de cambios climáticos por otro ya que estos últimos han sido acentuado por el efecto drástico de la introducción de nuevas técnicas agrícolas, el pastoreo, la deforestación de los cerros circundantes y el reordenamiento territorial que caracterizó el periodo inicial de la Colonia en el centro de México en general. (McClung de Tapia, 1990).

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

- Reconstruir el paleoambiente de la época prehispánica en el valle de Teotihuacán, utilizando las asociaciones de polen y fitolitos en depósitos aluviales.

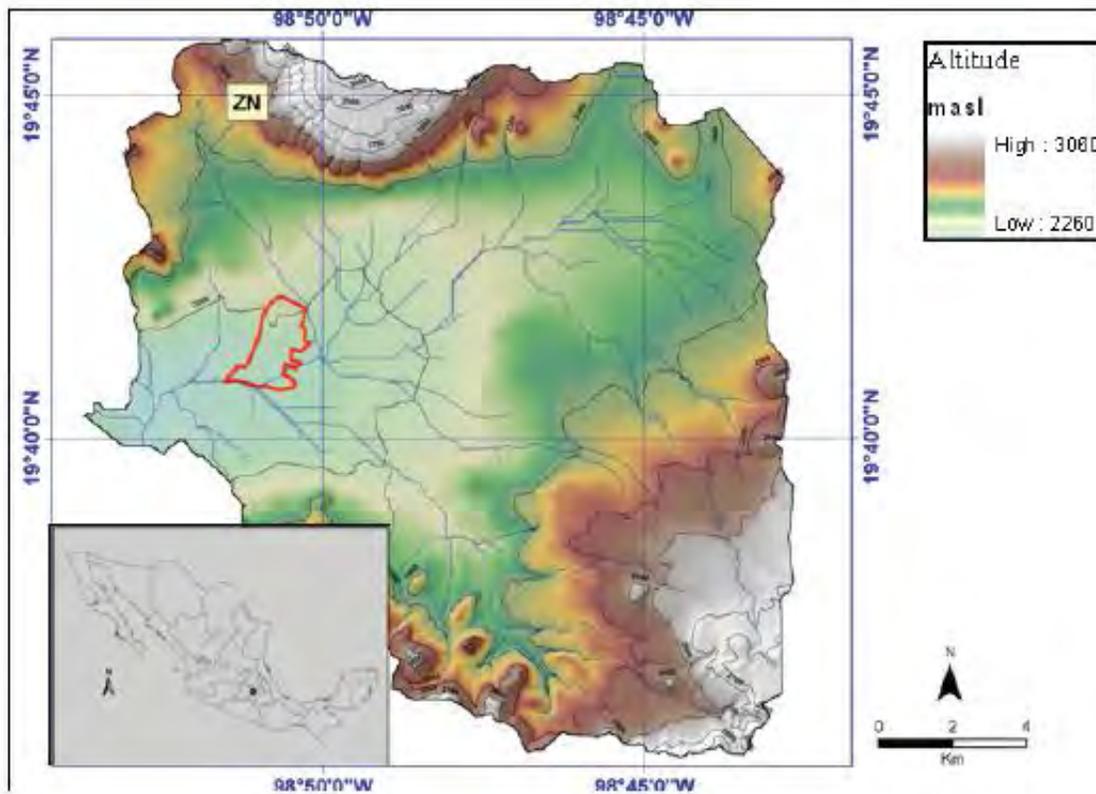
#### **3.2 Objetivos Particulares**

- Obtener las asociaciones de polen y fitolitos que se depositaron a través del tiempo en relación con su profundidad en los perfiles estratigráficos.
- Determinar taxonómicamente a los palinomorfos y fitolitos recuperados de los sedimentos.
- Correlacionar los diferentes perfiles con el propósito de reconocer cronológicamente los diferentes eventos de erosión y deposición de materiales para la formación de suelo.
- Caracterizar la serie de cambios ambientales que permita la reconstrucción paleoambiental.

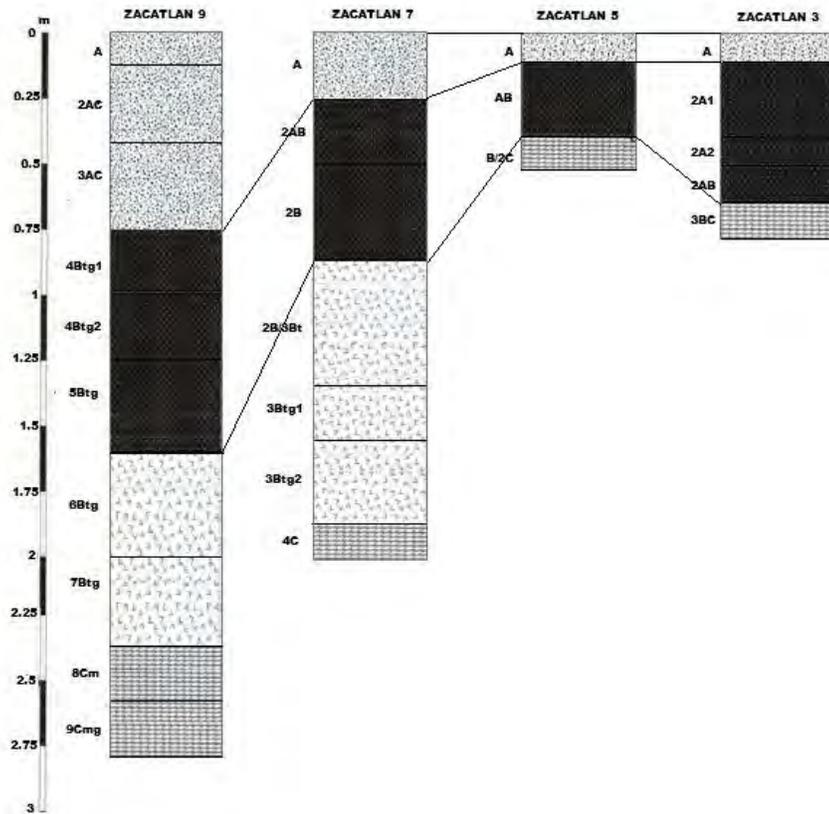
## IV. MATERIAL Y MÉTODO

### 4.1 Procedencia de las muestras

En el presente trabajo se analizaron muestras obtenidas de cuatro perfiles estratigráficos en el valle de Teotihuacán, en la catena Zacatlán (Figura 8) (González-Arqueros *et al.*, 2013). Al muestrear las diferentes unidades sedimentarias en base a los criterios sedimentológicos y estratigráficos, fueron colectadas 23 muestras de sedimentos (Figura 9). La alumna de doctorado María Lourdes González-Arqueros del Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM, proporcionó la ubicación y descripción de los perfiles.



**Figura.- 8** Mapa hipsométrico del valle de Teotihuacán, muestra la localización de la catena Zacatlán (ZN) y del sitio arqueológico (rojo) (González-Arqueros *et al.*, 2013).



**Figura.- 9** Catena Zacatlán (González-Arqueros *et al.*, 2013)

Perfil	Localización (UTMWGS84)	Unidad Geomorfológica	Altitud (msnm)	Uso actual
ZN9	X515522 Y2184154	Ladera alta	2575	Forestal y pastizal
ZN7	X515330 Y2184400	Ladera media	2571	Forestal y pastizal
ZN5	X514000 Y2184010	Ladera baja	2501	Forestal y pastizal
ZN3	X514700 Y2183530	Piedemonte Coluvial	2465	Agricultura de temporal

**Tabla3.-**Características generales de los perfiles estudiados: Zacatlán 9 (ZN9), Zacatlán7 (ZN7), Zacatlán5 (ZN5), Zacatlán3 (ZN3) (Modificado de González-Arqueros *et al.*, 2013).

#### 4.1.1 Descripción edáfica de los perfiles

**Tabla 4.-**Características morfológicas y físicas de los perfiles de suelo. Los Horizontes pertenecientes al "suelo negro" marcador estratigráfico aparecen en gris (Modificado de González-Arqueros *et al.*, 2013).

Perfil	Horizonte	Profundidad	Limite	Color		Textura	Estructura			Raíces(cm <sup>2</sup> )		Observaciones
				Seco	Húmedo		Grado	Tamaño	Tipo	Tamaño	Frecuencia	
ZN9	A	0-10/16	C-O	10YR3/2	10YR2/2	C	GR	M	3	f-m	3	2.26%
	2AC	10/16-44	C-P	10YR3/2	10YR2/2	C	BSA	F-M	2	f-m	2	1.91%
	3AC	44-75	A-P	10YR4/3	7.5YR3/2	SiC	BA	F-M	2	mf	2	1.08%
	4Btg1	75-102	D-P	10YR4/3	7.5YR3/2	CL	BA	M	3	No	No	0.99%
	4Btg2	102-125	G-P	10YR5/4	10YR3/3	SiC	BA	M	3	No	No	0.76%
	5Btg	125-160	G-P	10YR5/3	10YR3/3	SiCL	BA	F-M	3	No	No	0.69%
	6Btg	160-200	D-P	10YR4/3	10YR2/2	SiCL	BA	F-M	2	No	No	0.67%
	7Btg	200-235	C-P	10YR5/3	10YR3/3	SiCL	BSA	M-G	1-2	No	No	0.65%
	8Cm	235-260	C-P	10YR6/2	10YR4/2	SiCL	BA	F	1	No	No	0.28%
9Cmg	260-277	Nd	10YR6/3	10YR4/3	CL	Nd	Nd	Nd	No	No	0.25%	
ZN7	A	0-25	G-P	10YR3/2	10YR2/2	SiCL	BSA	F	2	f-m	2	2.94%
	2AB	25-50	G-P	10YR3/2	10YR2/1	SiC	BSA	F-M	2	f-m	2	2.22%
	2B	50-85	D-P	10YR3/2	10YR2/1	SiC	BSA	M	2-3	f	1	2.53%
	2B/3Bt	85-130	D-P	10YR4/3	10YR3/3	SiC	BA	F	2-3	No	No	0.78%
	3Btg1	130-155	D-P	10YR4/3	7.5YR3/2	SiC	BA	F-M	2	No	No	0.79%
	3Btg2	155-185	Nd	10YR5/3	10YR3/3	CL	BA	F-M	1-2	No	No	0.95%
ZN5	A	0-10	D-P	10YR3/1	10YR2/1	C	GR	F-M	2-3	f-m	3	2.77%
	AB	10-35	A-P	10YR3/1	10YR2/1	C	BSA	M	2	f-m	2	2.52%
	B/2C	>35	Nd	Nd	Nd	Nd	Tepetate	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
ZN3	A	0-15	C-P	10YR3/2	10YR2/2	SiC	GR	M	2	f-m	3	2.89%
	2A1	15-34	G-P	10YR3/1	10YR2/1	SiC	BSA	G	2	f-m	2	1.94%
	2A2	34-47	G-P	10YR3/1	10YR2/1	SiC	BSA	M	2	f-m	2	2.18%
	2AB	47-62	D-O	10YR3/2	10YR2/1	SiC	BSA	M-G	2	mf	1	1.69%
	3BC	62-73	Nd	Nd	Nd	Nd	Tepetate	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

**Abreviaturas:** Limite: Transición: **A**-abrupto, **C**-claro, **G**-gradual, **D**-difusa; Topografía: **P**-plana, **O**-ondulada. Textura: **C**-arcillosa, **CL**- franco-arcillosa, **L**-marga **SiC**- arcilla-limosa, **SI** franca, **SIL**-franca limosa, **SiCL**- arcilla limosa-marga. Estructura: forma: **GR**-granular, **BA**-bloques angulares, **BSA**-bloques subangulares; tamaño: **F**-fino, **M**-mediano, **G**-grande; desarrollo: **1**-débil, **2**-moderado, **3** -fuerte. Raíces: tamaño: **m-f** muy fino ≤1 mm, **f** fino 1 a ≤2 mm, **m** mediano 2 a ≤5 mm; frecuencia: **1** pocas ≤1, **2** común 1 a ≤5, **3** muchas ≥5; Poros: **p** pequeños, **m** medianos, **m-p** micro poros; **Nd** no determinado.

Independientemente del perfil en el que se describe, el marcador estratigráfico "suelo negro" (González-Arqueros *et al.*, 2013; Sánchez- Pérez *et al.*, 2013) muestra características similares: color negro y marrón oscuro (húmedo), textura arcilla limosa, estructura en bloques subangulares rompiendo a bloques angulares. Además muestra grietas de diferentes tamaños dependiendo del perfil.

**ZN9 (A-2AC-3AC-4Btg1-4Btg2-5Btg-6Btg-7Btg-8Cm-9Cmg)** es un perfil policíclico. En la superficie muestra un suelo aluvial, estructura moderada granular; El color es obscuro (húmedo); Su textura es arcilla limosa-marga. A continuación, con un contacto gradual, de igual forma un horizonte de color obscuro (húmedo); su textura es arcilla limosa con una estructura en bloques subangulares tamaño fino y mediano, desarrollo moderado. Subyaciendo con contacto gradual se encuentra un horizonte cuyo color sigue siendo obscuro (húmedo); con textura: arcilla limosa; estructura: con forma bloques angulares tamaño mediano, desarrollo moderado. Después con un contacto difuso se encuentra el " suelo negro" color negro y marrón oscuro (húmedo); textura: arcilla limosa; estructura: cuya forma es bloques angulares tamaño mediano, el cual termina en el horizonte 5Btg. Los horizontes de la base de la secuencia (6Btg1 a 7Btg horizontes) al muestrear las diferentes unidades sedimentarias en base a los criterios sedimentológicos y estratigráficos se encuentra un Luvisol, que se considera similar a otros suelos con fecha reportados en la parte superior de Cerro Gordo por McClung de Tapia *et al.*, (2003) y Solleiro-Rebolledo *et al.* (2006). Por último se encuentran los horizontes (8Cm-9Cmg) los cuales están formados por tepetate.

**ZN7 (A-2AB-2B-2B/3Btg-3Btg1-3Btg2)** es un perfil policíclico. Muestra un suelo coluvial en la superficie, estructura fuerte con bloques subangulares. Presenta clara laminación de material a escala macroscópica. El color es muy oscuro-marrón (húmedo). Su textura es franco arcillo limosa y el contenido de materia orgánica es de 2.94 %. Subyaciendo, con un contacto gradual, se encuentra el "suelo negro" de color negro y marrón oscuro (húmedo). Se caracteriza por que

presenta estructura de moderada a fuerte en bloques angulares y subangulares. La textura es de arcilla limosa y el contenido de materia orgánica varía entre 0,78 y 2,22 %. Los horizontes de la base de la secuencia (3Btg1y 3Btg2 horizontes) son de un Luvisol, que se considera similar a otros suelos con fecha reportados en la parte superior de Cerro Gordo por McClung de Tapia *et al.*, (2003).

**ZN5 (A- AB-B/ 2C)** muestra el "suelo negro " en la superficie, con estructura granular moderada a fuerte en el horizonte A, y estructura de moderado a fuerte en bloques angulares en el horizonte AB. Ambos horizontes son negros (húmedo), arcillosos y el contenido de materia orgánica varía entre 2,52 y 2,77 %. De manera semejante a otros sitios, el "suelo negro" de perfil ZN5 contiene nódulos de carbonatos secundarios, probablemente debido a su localización. A continuación del "suelo negro " se describe una capa de tepetate.

**ZN3 (A- 2A1 - 2A2 - 2AB - 3BC)** es un perfil poligénico. Presenta un suelo coluvial en la superficie con estructura granular moderada. El color es marrón muy oscuro (húmedo). La textura es arcilla limosa cuyo contenido de materia orgánica es de 2.89 %. A continuación, con el contacto difuso, se observan horizontes con color negro (húmedo). La estructura es subangular moderada en bloques. La textura es de arcilla limosa y la materia orgánica contenida varía entre 1,69 y 2,18 %.

## 4.2 Extracción de las muestras

### 4.2.1 Polen

En cuanto al muestreo del polen de los perfiles, se pesó 1.0 gr por muestra para poder extraer a los palinomorfos. Los sedimentos y suelos fueron procesados en el Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente (L.P.P.) del Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA) de la UNAM para la extracción del polen fósil, la técnica se describe a continuación (Adam y Mehringer, 1975, modificada por Ibarra y Hernández, 2012).

Se pesaron 1.0 gr de muestra y colocaron en tubos de centrifuga de 50.0 ml a continuación se colocaron las esporas marcadoras (*Lycopodium* sp.) se agregaron aprox. 20 ml de agua destilada y se agito, se procede a llenar el tubo con HCL al 10%, agitar y dejar actuar para centrifugar a 3000 rpm, y así eliminando carbonatos. Después se lavó con agua destilada, se agito y centrifugo, se agrego KOH al 10 % agitando y dejando actuar para centrifugar, nuevamente se lavó con agua destilada, se agito y centrifugo.

Después se agregó Ácido Fluorhídrico concentrado y se dejó actuar por una hora o 24 horas (para eliminar silicatos). Al siguiente día se centrifugo se lavo con agua destilada, se agito y centrifugo nuevamente para agregar HCL al 10 % y centrifugar, se procedió a lavar con agua destilada y centrifugar para agregar KOH al 10 % y centrifugar luego se lavo con agua destilada, se agito y centrifugo para lavar con alcohol absoluto y centrifugar. Una vez más se agrego alcohol absoluto y se guardó en frascos de vidrio con etiqueta, o en tubos de microcentrifuga.

Por último, el resultado palinológico del proceso se colocó en un portaobjetos que contiene gelatina glicerinada, también se aplicó safranina como colorante.

Una vez montado el material se realizó la observación de las laminillas en el microscopio óptico Olympus modelo CX31 a 100 X. observando la plantilla completa de cada una de las preparaciones hasta contabilizar un mínimo de 200 granos de polen por estrato.

#### **4.2.2 Fitolitos**

A las muestras sedimentarias se les realizó la extracción en el LPP, IIA-UNAM. A estas se les aplicaron diversos tratamientos para la eliminación de: carbonatos, materia orgánica y arcilla. Así como la flotación de sílice en un líquido de alta densidad (Politungstato de Sodio), según la metodología propuesta por Madella *et al.*, (1998).

En este caso solo se observaron cuatro muestras del total que fueron colectadas, seleccionadas a fin de realizar una correlación de los datos obtenidos. Cada una de las muestras fue sometida a un conteo con el objeto de obtener la cantidad representativa de la población de fitolitos.

Defloculación de la muestra. Se pesaron 4 gr de suelo (inicialmente) para saber cuánto material silíceo se recuperaba al final del proceso. Para obtener una apreciable cantidad de partículas finas y por ende de fitolitos. Los 4 gr se colocaron en vasos de precipitados de 100ml, se agregaron 25 ml de solución de ácido clorhídrico (HCL) al 7% para la eliminación de carbonatos y se agito la muestra.

Se colocaron los vasos de precipitado en un baño María a 40°C hasta que el líquido se reduce hasta aproximadamente 5 ml. Se retira el vaso del baño y se deja enfriar. Luego entonces se traspasó el líquido remanente a un tubo de 15 ml con tapa de rosca y se añadió agua destilada hasta llegar a 15 ml. Después se agito suavemente la suspensión con un agitador de tubos, y se centrifugo por 3 minutos a 1000 rpm.

Se descartó cuidadosamente el sobrenadante, adicionando agua destilada hasta llegar a 15 ml, se agito suavemente y se centrifugo por 3 minutos a 1000 rpm (el paso se repite si el segundo sobrenadante aun esta amarillento). Nuevamente se descartó el sobrenadante, se adiciono hasta llegar a 15 ml de solución de hexametáfosfato de sodio al 5 % ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> se pesó y se dejó toda la noche. Se agito suavemente y centrifugo por 3 minutos a 1000 rpm y descarto el sobrenadante. Se repitió este pasó dos veces, lavando con agua destilada. Para la eliminación de materia orgánica se adiciona peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) volumen 33 %, se agita suavemente y se dejó toda la noche o por lo menos 8 h a 30°C. No se tapan las muestras para dejar que salga el oxígeno.

Se agito suavemente y centrifugo por 3 minutos a 100 rpm y descarto el sobrenadante. Repitiendo este pasó dos veces lavando con agua destilada. Para la recuperación de fitolitos por flotación, se utilizan técnicas que utilizan líquidos pesados. Para ello es necesario ajustar estos líquidos a una gravedad específica entre 2.3 y 2.4, ya que, los fitolitos tienen un intervalo de gravedad específica que varía desde 1.5 hasta 2.3, por lo tanto, estos flotarían en una solución más densa.

Se utiliza Politungstato de Sodio ( $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) que es un compuesto de polvo que al agregarle agua forma una solución pesada, la cual, se puede ajustar a la gravedad específica deseada en este caso de 2.3 g/cm<sup>3</sup>. A diferencia de los compuestos pesados normalmente utilizados, no posee inconvenientes para la salud ya que no es tóxico ni cancerígeno, además, es de fácil manejo y es recuperable. A cada uno de los tubos se adicionaron 10 ml de la solución de Politungstato de Sodio se agitaron suavemente y se centrifugaron a 1000 rpm; al término, se recupera el sobrenadante y se coloca en otro tubo de ensayo.

A la fracción flotante recuperada se adiciono agua destilada hasta llegar a 15 ml y se centrifugó nuevamente a 1000 rpm por 3 minutos. El sobrenadante se vierte dejando solo el residuo del fondo y se recupera el sobrenadante hasta extraer el mayor número de fitolitos posibles.

Se recuperó la solución de Politungstato de sodio colocándolo en un embudo con papel filtro y se recuperó la solución en un matraz. Por otro lado, al sobrenadante se le agrego agua para disminuir su densidad, se centrifugo y el sobrenadante se decanta quedando los fitolitos en el fondo, este lavado se lleva a cabo dos veces. Al final, se obtienen diferentes cantidades de sílice en forma de fitolitos, además de otras formas silíceas como diatomeas, espículas de esponja, estomatoquistes entre otros.

Una vez obtenidos los fitolitos por flotación, se recuperó el material re-suspendiéndolo con metanol y se almaceno en frascos con 5 ml de metanol. Se tomó 0.1 ml de la solución de alcohol con fitolitos de cada uno de los frascos, el cual, se colocó en un portaobjetos por triplicado para cada estrato y se fijaron con Bálsamo de Canadá. El índice de refracción de los fitolitos es de alrededor de 1.42 por lo que el Bálsamo mostrará un contraste diferente, permitiendo diferenciarlos del sílice amorfo contenido en el suelo.

### **4.3 Análisis de las muestras**

#### ***4.3.1 Polen***

Todos los palinomorfos encontrados en cada lámina fueron contados e identificados observándolos con un microscopio óptico Olympus modelo: CX31 a 100 X. la identificación se realizó con la ayuda de diversas claves palinológicas tales como (Lozano y Hernandez 1990; Kapp, 1969; Saenz de Rivas, 1978) junto con la asesoría del Mtro. En C. Emilio Ibarra Morales (LPP, IIA-UNAM).

De los palinomorfos encontrados se realizaron los espectros polínicos, utilizando el programa TILIA TGView versión 2.0.b.4 diseñado por Grimm (1987) además de una revisión sistemática y taxonómica. En cuanto a los cambios del contenido polínico y los diferentes tipos de vegetación se realizó una reconstrucción con base en los tipos de vegetación actuales de México a partir de

los trabajos de Calderón de Rzedowski y Rzedowski *et al.*, (2005) y lo ya reportado por Castilla y Tejero (1987).

#### **4.3.2 Fitolitos**

Finalmente, con el apoyo de la M. en C. Cristina Adriano Morán, se revisaron las preparaciones en un microscopio óptico Olympus modelo CX31 a 100 X. observando la laminilla hasta completar un conteo mínimo de 200 fitolitos para cada una de las preparaciones.

De los fitolitos encontrados se obtuvieron fotografías, además de una revisión sistemática y taxonómica de los fitolitos indicadores. Se tomaron en cuenta tres subfamilias principales, para la identificación: Pooideae (C3), Chloridoideae (C4) y Panicoideae (C4), Las cuales se agruparon posteriormente en C3 y C4, dando a conocer el ambiente prevaleciente en el momento de la formación de los fitolitos.

La determinación y clasificación se basa en Piperno (2006) y Twiss (1986). Cada una de las clases contadas es expresada como un porcentaje para el análisis estadístico de frecuencia relativa.

## V. RESULTADOS

### 5.1 Resultados Polínicos

El número de palinomorfos encontrados varió de una muestra a otra, sin embargo estas muestras no dejaron de ser importantes ya que llegaron a presentar taxa de interés bioestratigráfico.

Con la finalidad de estandarizar los resultados para hacer comparaciones generales entre los perfiles, se calcularon los porcentajes solo en aquellas muestras con más de 200 palinomorfos y se graficaron.

A continuación se presentan las tablas 5-8, así como sus respectivas figuras 10-13(diagramas polínicos) que corresponden a los perfiles estratigráficos: “Zacatlan 9”, “Zacatlan 7”, “Zacatlan 5” y “Zacatlan 3”, en ese orden cronológico. Cada tabla contiene un listado de los palinomorfos encontrados en los respectivos perfiles, clasificados por familia y en algunos casos género, resaltando la presencia o ausencia de los mismos en las distintas capas estratigráficas.

Cabe resaltar que en total se encontraron 18 familias y 15 géneros, siendo la familia **Pinaceae** representada por dos géneros, *Abies* y *Pinus*, una de las más representativas por su presencia significativa en cada uno de los perfiles.

Sigue en importancia la familia **Poaceae**, por su amplia presencia en cada uno de los perfiles estratigráficos, y porque incluyo una especie de importancia en la agricultura, *Zea mays*.

También la familia **Asteraceae**, se encontró con abundancia en cada uno de los perfiles estratigráficos la cual presenta 3 géneros.

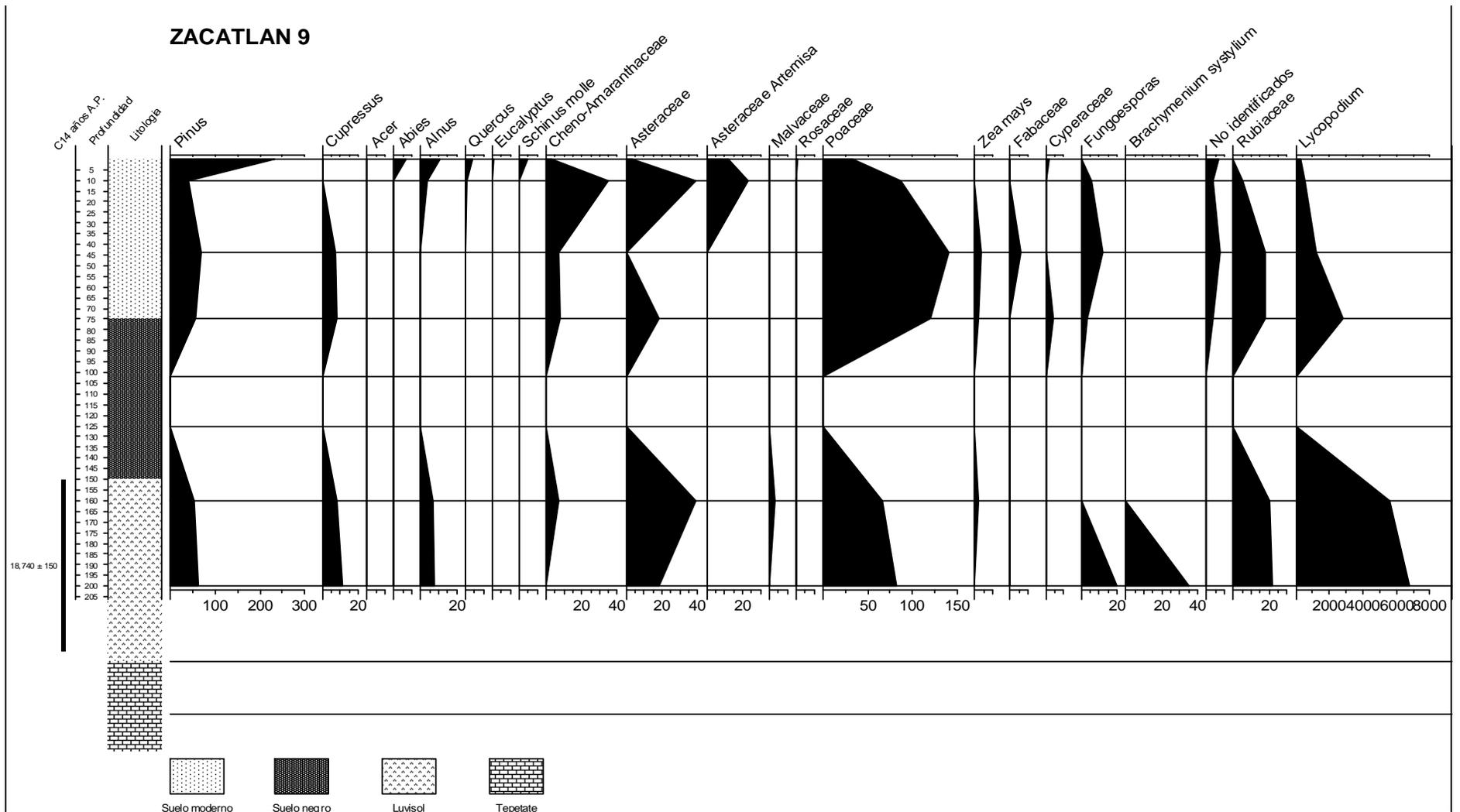
En cuanto a los “diagramas polínicos”, las figuras muestran los valores del porcentaje de los principales palinomorfos de Zacatlán y además indican la presencia de un taxón en un bajo porcentaje de acuerdo a las diferentes profundidades en cada uno de los perfiles estratigráficos; clasificando a los palinomorfos en familia y género.

En los anexos se presenta un listado general de los diferentes palinomorfos encontrados a lo largo de la catena de Zacatlán, mediante fotografías que fueron tomadas con el microscopio óptico OLYMPUS.

**Tabla 5.-** Listado de Polen de Perfil “ZN9”

**Perfil Zacatlan 9  
(Polen)**

<b>Capa Profundidad (cm)</b>	<b>A 0-10</b>	<b>2AC 16-44</b>	<b>3AC 44-75</b>	<b>4Btg1 75-102</b>	<b>4Btg2 102-125</b>	<b>5Btg 125-160</b>	<b>6Btg 160-200</b>	<b>7Btg 200-235</b>
<b>Gimnospermas</b>								
<i>Abies</i> sp	X							
<i>Pinus</i> sp	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cupressus</i> sp			X	X		X	X	X
<b>Angiospermas arbóreas</b>								
<i>Alnus</i> sp	X	X				X	X	X
<i>Quercus</i> sp.	X	X						
<i>Acer</i> sp.								X
<b>Angiospermas no arbóreas</b>								
Asteraceae	X	X	X	X	X	X	X	X
Cheno-am	X	X	X	X		X	X	
Cyperaceae	X			X				
Fabaceae			X		X			
Malvaceae				X			X	
Poaceae	X	X	X	X	X	X		X
Rosaceae	X				X			
<i>Zea mays</i>			X	X			X	
No identificado	X	X	X	X				X
<b>Plantas modernas/introducidas</b>								
<i>Eucalyptus globulus</i>	X							
<i>Pinus</i> sp	X							
<i>Schinus molle</i>	X							
Rubiaceae		X	X	X	X	X	X	X



**Fig. 10.-** Diagrama polínico que muestra los valores en porcentaje del perfil ZN9 (Incluye la presencia de taxones en bajo porcentaje)

**Tabla 6.-** Listado de Polen de Perfil “ZN7”

**Perfil Zacatlan 7 (Polen)**

<b>Capa Profundidad (cm)</b>	<b>A 0-25</b>	<b>2AB 25-50</b>	<b>2B 50-85</b>	<b>2B/3Bt 85-130</b>
<b>Gimnospermas</b>				
<i>Abies</i> sp	X	X		
<i>Pinus</i> sp	X	X	X	X
<i>Cupressus</i> sp			X	X
<b>Angiospermas arbóreas</b>				
<i>Alnus</i> sp	X	X	X	X
<b>Angiospermas no arbóreas</b>				
Asteraceae	X	X	X	X
Agavaceae	X			
Cheno-am	X	X	X	X
Equisetaceae				X
Fabaceae		X		
Iridaceae	X	X		X
Malvaceae			X	
Poaceae	X	X	X	X
Rosaceae	X	X		
No identificado	X	X		
<b>Plantas modernas/introducidas</b>				
<i>Eucalyptus globulus</i>	X			
<i>Pinus</i> sp	X	X		
<i>Schinus molle</i>				X
Rubiaceae		X	X	X

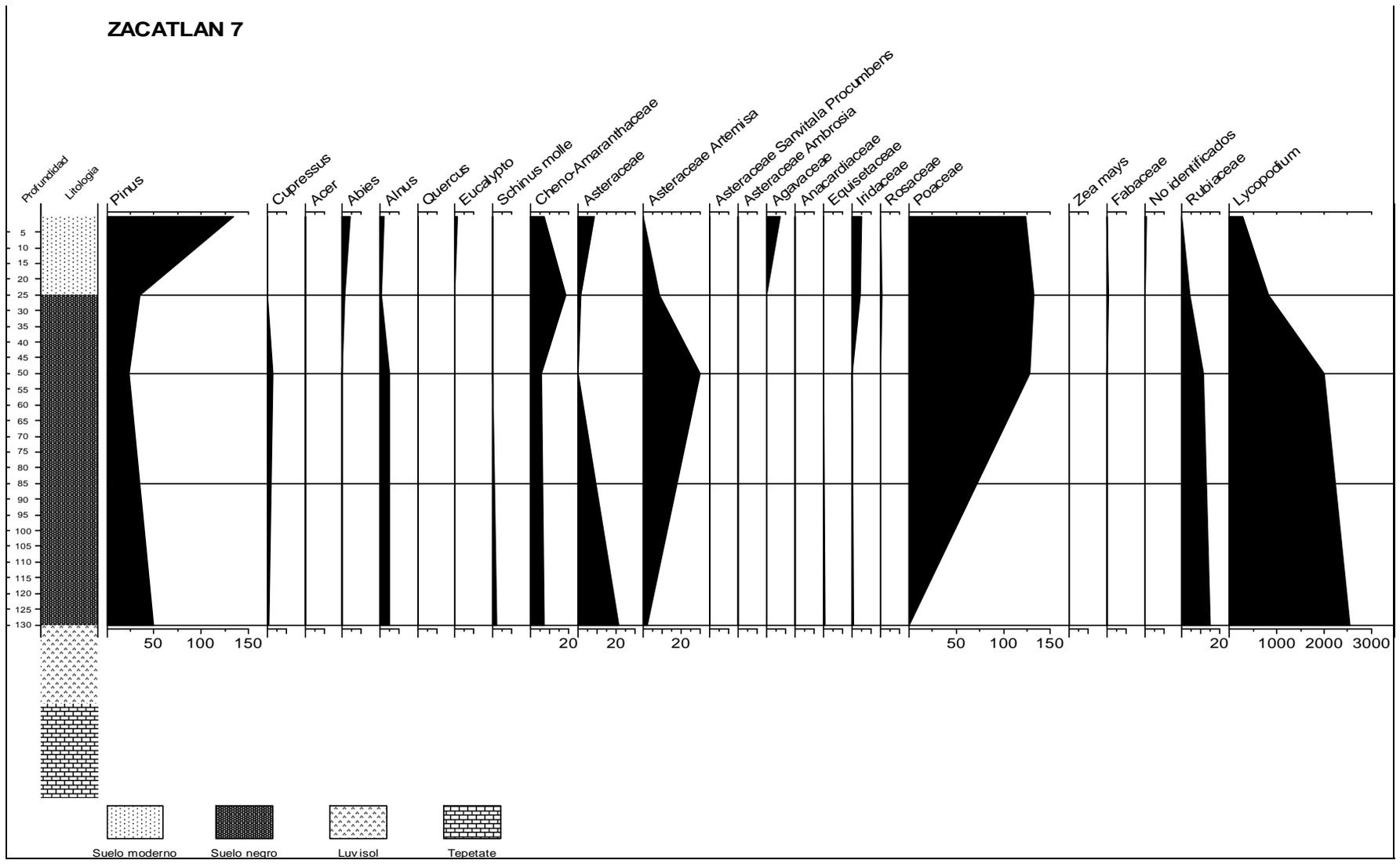
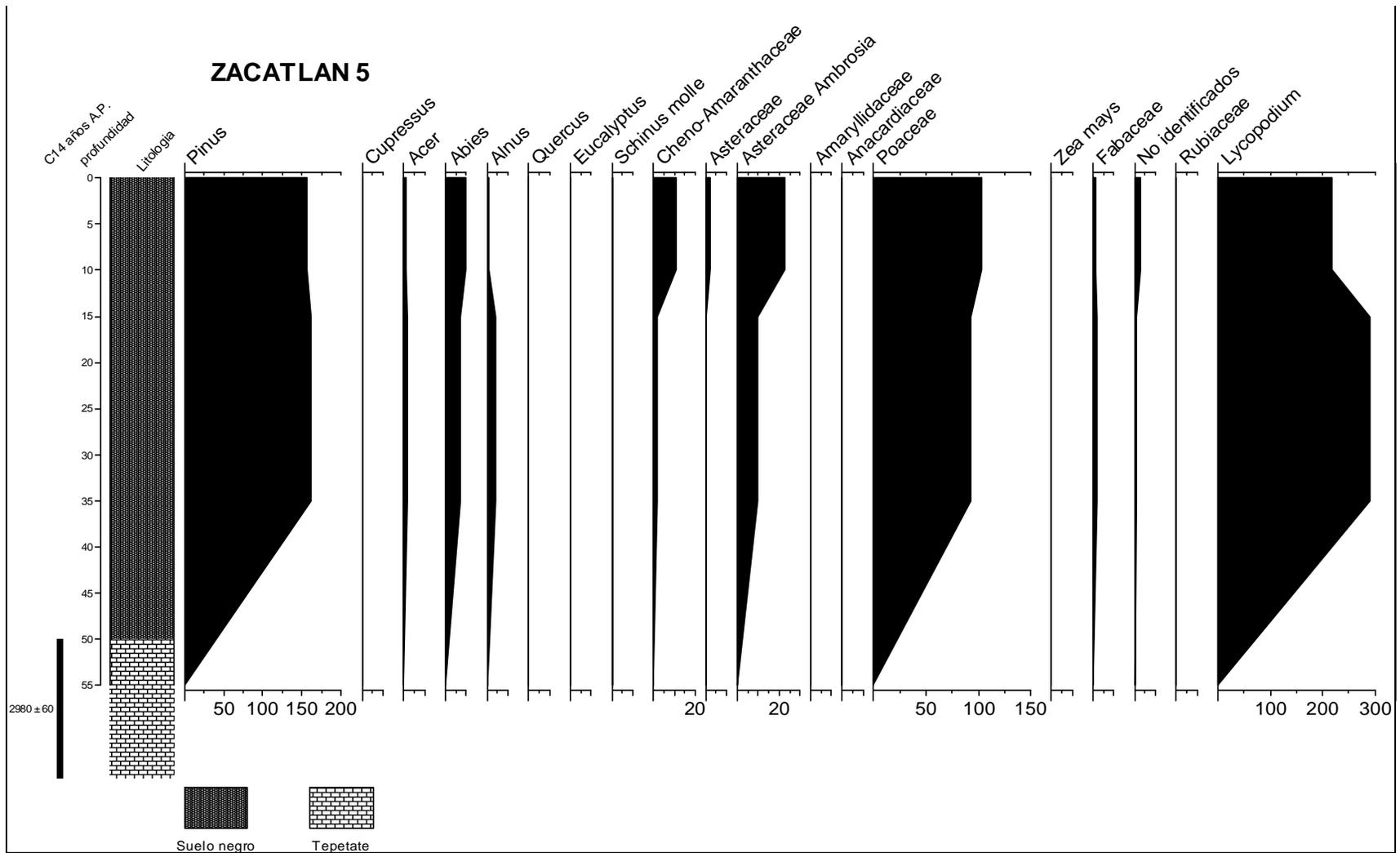


Fig. 11.- Diagrama polínico que muestra los valores en porcentaje del perfil ZN7

**Tabla 7.-** Listado de Polen de Perfil “ZN5”

**Perfil Zacatlan 5 (Polen)**

<b>Capa</b>	<b>A</b>	<b>AB</b>
<b>Profundidad (cm)</b>	<b>0-10</b>	<b>10-35</b>
<b>Gimnospermas</b>		
<i>Abies</i> sp	X	X
<i>Pinus</i> sp	X	X
<b>Angiospermas arbóreas</b>		
<i>Alnus</i> sp	X	X
<i>Acer</i> sp	X	X
<b>Angiospermas no arbóreas</b>		
Asteraceae	X	X
Cheno-am	X	X
Cyperaceae		X
Fabaceae	X	X
Iridaceae	X	
Poaceae	X	X
No identificado	X	X
<b>Plantas modernas/introducidas</b>		
<i>Pinus</i> sp	X	X
Rubiaceae		X

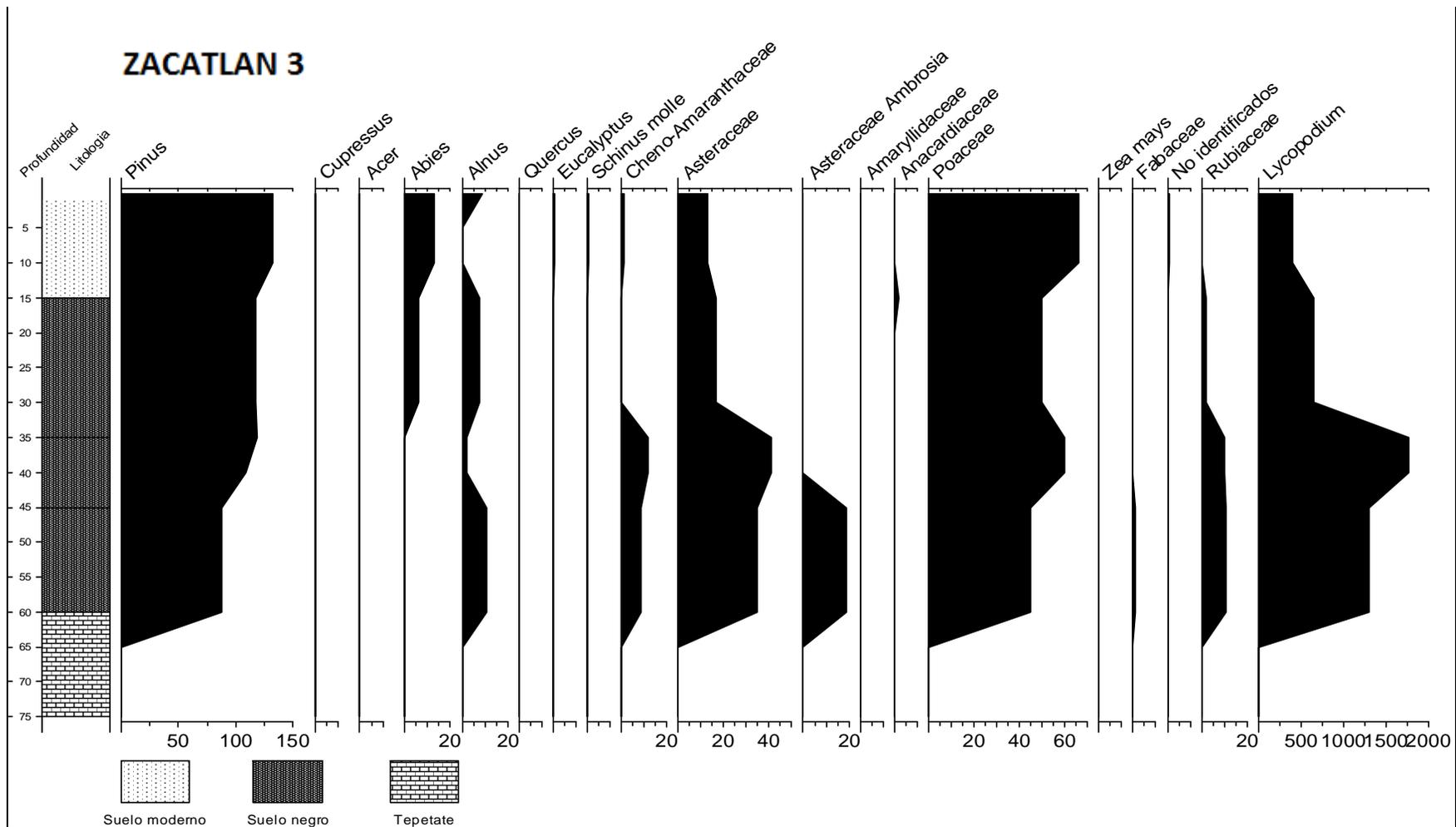


**Fig. 12.-** Diagrama polínico que muestra los valores en porcentaje del perfil ZN5

**Tabla 8.-** Listado de Polen de Perfil “ZN3”

**Perfil Zacatlan 3 (Polen)**

<b>Capa</b>	<b>A</b>	<b>2 A1</b>	<b>2A2</b>	<b>2AB</b>
<b>Profundidad (cm)</b>	<b>0-15</b>	<b>15-34</b>	<b>34-47</b>	<b>47-62</b>
<b>Gimnospermas</b>				
<i>Abies</i> sp	X	X	X	
<i>Pinus</i> sp	X	X	X	X
<b>Angiospermas arbóreas</b>				
<i>Alnus</i> sp	X	X	X	X
<i>Acer</i> sp		X		
<b>Angiospermas no arbóreas</b>				
Anacardiaceae		X		
Asteraceae	X	X	X	X
Cheno-am	X		X	X
Fabaceae				X
Poaceae	X	X	X	
<i>Zea mays</i>				
No identificado	X			
<b>Plantas modernas/introducidas</b>				
<i>Eucalyptus globulus</i>	X			
<i>Pinus</i> sp	X	X		
Rubiaceae		X	X	X



**Fig. 13.-** Diagrama polínico que muestra los valores en porcentaje del perfil ZN3

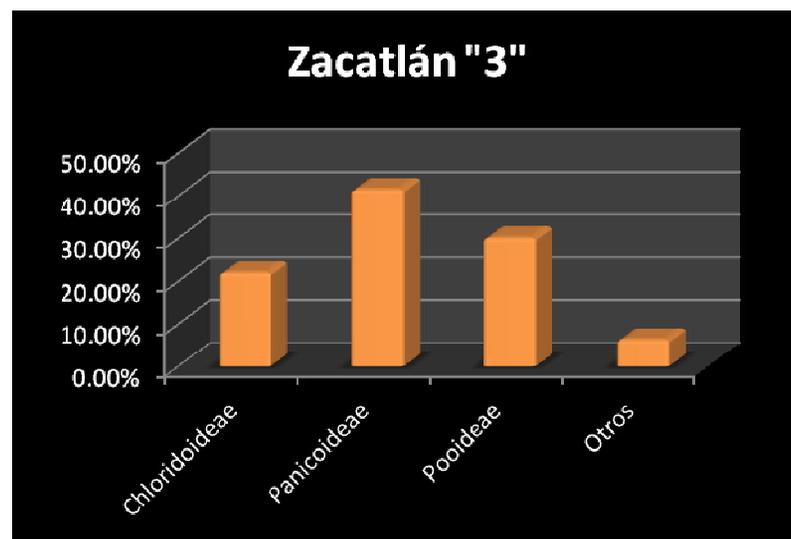
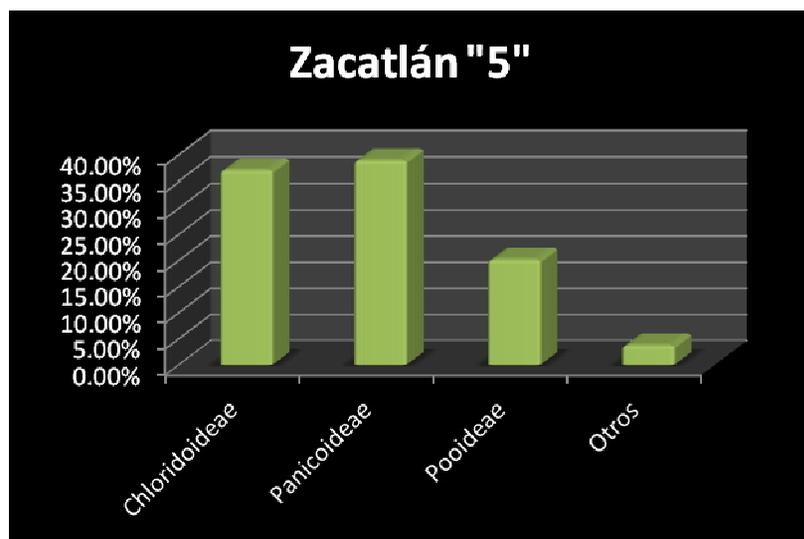
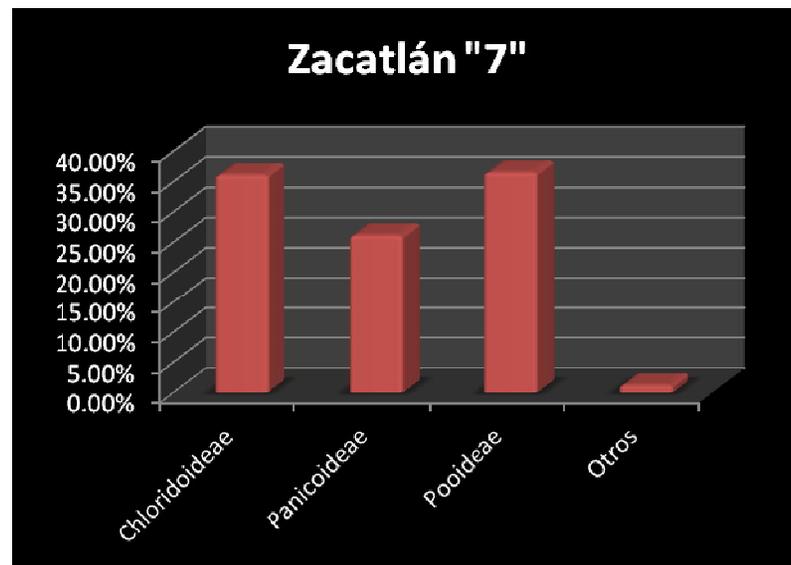
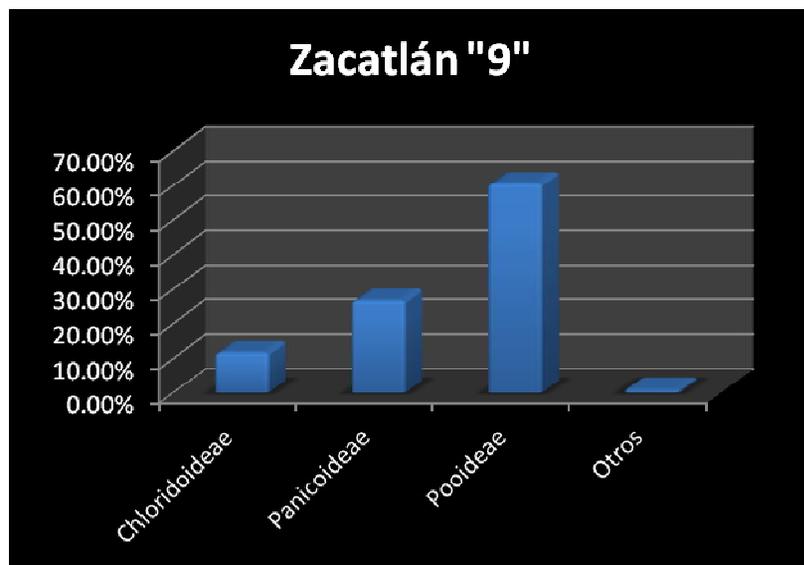
## 5.2 Fitolitos

En cuanto a los fitolitos, solo se eligió y se observó una capa estratigráfica de cada uno de los perfiles en donde existía una aparente correlación edáfica, representada por el denominado “Suelo Negro”. Los resultados fueron expresados en porcentajes de frecuencia relativa. Contabilizando únicamente a los Fitolitos considerados como diagnósticos entre los que se encuentran las subfamilias: Chloridoideae, Panicoideae y Pooideae.

Los Fitolitos más representativos para Zacatlán “9” fueron los pertenecientes a la subfamilia Pooideae con un 60.6%; al igual para Zacatlán “7” con un 36.51%; en cuanto a Zacatlán “5” fueron los Panicoideae con un 38.96% al igual que Zacatlán “3” con un 41.52%.(Tabla 9).

**Tabla 9.-** Frecuencia en porcentaje de los fitolitos encontrados.

Perfil	Horizonte	Profundidad(cm)	Chloridoideae	Panicoideae	Pooideae	Otros
<b>ZN9</b>	4Btg1	75-102	11.76 %	26.69 %	60.6 %	0.9 %
<b>ZN7</b>	2AB	25-50	36.09 %	26.14 %	36.51 %	1.24 %
<b>ZN5</b>	A	0-10	37.08 %	38.96 %	20.18 %	3.75 %
<b>ZN3</b>	2A1	15-34	22.03 %	41.52 %	30.08 %	6.35 %



**Figura 14.-** Representa los porcentajes de fitolitos en los perfiles estudiados: Zacatlán 9 (ZN9), Zacatlán 7 (ZN7), Zacatlán 5 (ZN5), Zacatlán 3 (ZN3)

## VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los diagramas polínicos muestran los valores del porcentaje de los principales palinomorfos de Zacatlán (indicando la presencia de un taxón en un bajo porcentaje) de acuerdo con las diferentes profundidades en cada uno de los perfiles estratigráficos; clasificando a los palinomorfos en familia y género. Siendo en total 18 familias y 15 géneros, tal como se describen a continuación.

Para las Gimnospermas se encontró a la familia **Pinaceae** con los géneros *Abies* sp. y *Pinus* sp. Además de la familia **Cupressaceae** con el género *Cupressus* sp. Para las Angiospermas arbóreas se observó a las familias **Betuláceae, Fagácea y Sapindaceae**; cuyos géneros fueron *Alnus* sp, *Quercus* sp. y *Acer* sp. respectivamente.

Las Angiospermas no arbóreas fueron las que presentaron la mayor cantidad de familias y géneros en algunos casos excepcionales se logró identificar a la especie; se describen a continuación: la familia **Anacardiaceae** y su especie *Schinus molle*, aunque en este caso se trata de una especie introducida; la familia **Asteraceae** representada por *Artemisia vulgaris*, *Ambrosia* sp. y *Sanvitalia procumbens*, esta última una de las familias con más géneros y donde se logró identificar, incluso la especie.

Las familias **Agavaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae, Equisetaceae, Iridaceae, Malvaceae, Rosaceae y Rubiaceae** no fue posible determinarlas en género ni especie.

La familia **Fabaceae**, presento tres géneros *Acacia* sp., *Lonchocarpus* sp. y *Mimosa* sp.; la familia **Poaceae** presento un género *Zea mays* y para finalizar la familia **Myrtaceae** y su especie *Eucalyptus globulus* aunque nuevamente se trata de una especie introducida.

Es importante decir que las familias y especies introducidas nos están mostrando la posible contaminación de los sedimentos con polen de origen moderno, esto se debe entre otros factores a la forma en que se depositaría el polen, por los diferentes mecanismos, como lo es el viento y la erosión.

La tabla 9 muestra la frecuencia en porcentaje de Fitólitos encontrados en los diferentes perfiles de Zacatlán, en donde únicamente se seleccionó un horizonte en cada uno de ellos por ser parte del marcador estratigráfico "suelo negro" (González-Arqueros *et al.*, 2013; Sánchez-Pérez *et al.*, 2013) de vital importancia durante el periodo Teotihuacano, el cual muestra características similares y además nos permitirá reconstruir la secuencia de eventos en el cambio climático, que acontecieron en el valle de Teotihuacán.

Con la tabla antes mencionada se realizó la figura 14 en la que se muestran los cambios en las frecuencias de las diferentes clases de fitólitos. Estas partículas silíceas provienen de Gramíneas de las subfamilias: Panicoideae Chloridoideae y Pooideae. Pero estos últimos no poseen mucha especificidad taxonómica aunque Twiss, (1986) los considera complementarios para investigaciones paleoambientales.

### **Perfil Zacatlán "9"**

En el perfil existen algunas familias con mayor distribución y representación entre las que se encuentran: Poaceae seguida de la familia Asteraceae y Pinaceae en ese orden. Cabe destacar que en el horizonte 3AC (44-75cm) al igual que en el horizonte 6Btg (160-200cm) se encontró la especie *Zea mays*, perteneciente a la familia Poaceae, de gran importancia antropogénica.

De la familia Asteraceae se encontró el género *Artemisa* y de la familia Pinaceae, *Abies* y *Pinus sp.* En menor porcentaje pero de gran importancia se

encontraron otros géneros de especies arbóreas entre los que destacan: *Alnus*, *Quercus*, *Acer* y *Cupressus*.

De acuerdo con la tabla 9 y la figura 14, la mayor cantidad de fitolitos corresponden a la subfamilia Pooideae con un 60.6 %, los pastos Pooide con mecanismo C3 crecen a una altura de 2,000 y 3,000 msnm y son característicos de ambientes fríos y buenas condiciones de humedad en el suelo (Twiss, 1986). Es muy probable que anteriormente existieran las condiciones ambientales más húmedas donde estas plantas crecían sin problemas.

### **Perfil Zacatlán “7”**

Las familias representativas fueron Poaceae, Pinaceae y Asteraceae, lo más relevante fue encontrar varios géneros de Asteráceas que son los siguientes: *Artemisa*, *Sanvitalia* y *Ambrosia*.

Es muy común encontrar una gran cantidad de palinomorfos en las capas más superficiales, los cuales disminuyen conforme la profundidad de los horizontes, aunque se presentan casos excepcionales como la familia Asteraceae en este perfil.

En ZN7 la subfamilia Pooideae de tipo C3, que se adapta a condiciones frías y con buena humedad está presente en una proporción de 36.51%. Sin embargo la subfamilia Chloridoide se representa con un 36.09% y la subfamilia Panicoideae con un 26.14%. Ambos pertenecen al tipo C4, que crecen en condiciones secas y cálidas; si los agrupamos superan a los pastos tipo C3, los altos valores sugieren una disminución drástica en la precipitación y humedad.

Se puede ver una aparente correlación con lo observado en el perfil anterior, mostrando la dominancia del grupo *Pooideae*, aunque los resultados obtenidos muestran que si agrupamos a las subfamilias Panicoideae y Chloridoide superan al tipo C3 y concuerdan con las condiciones climáticas actuales.

### **Perfil Zacatlán “5”**

El perfil resulto muy homogéneo como consecuencia de la poca profundidad del mismo, ya que solo cuenta con 2 horizontes y una profundidad máxima de 35 cm. Las familias con mayor significancia fueron Pinaceae, Poaceae y Asteraceae en ese orden.

El taxón con mayor recurrencia fue de las Pinaceas representado por *Pinus* y *Abies* seguido de las Asteraceas, *Ambrosia*.

Entre los fitolitos la subfamilia Panicoideae es el predominante, con un 38.96%. En este grupo se encuentran géneros de pastos con mecanismos C4, reportados para la zona de estudio en la actualidad los cuales están adaptados a temperaturas cálidas, y bajas condiciones de humedad, sobre todo en verano. (Mullholland, 1992; Twiss, 1986)

La subfamilia Chloridoideae está representada por un 37.08% y en menor cantidad la subfamilia Pooideae con un 20.18%.Lo anterior sugiere un ambiente predominantemente cálido.

### **Perfil Zacatlán “3”**

Nuevamente, entre los palinomorfos la familia más representativa fue Pinaceae con los géneros *Pinus* y *Abies*, seguida por las familias Poaceae y Asteraceae. Al parecer este perfil también tiene poca profundidad y se muestra más o menos homogéneo, disminuyendo la presencia de palinomorfos a mayor profundidad aunque en el caso particular de las Asteraceas y las Chenopodiaceas aumentaron considerablemente en los horizontes 2A2 (34-47 cm) y 2AB (47-62 cm). Cabe recalcar que estos horizontes pertenecen al denominado marcador estratigráfico “suelo negro”.

En ZN3 domina de igual manera como en los perfiles anteriores, la subfamilia Panicoideae con 41.52%, de mecanismo C4, las cuales se desarrollan en condiciones cálidas y baja humedad, en segundo lugar tenemos a la subfamilia Pooideae con un 30.08% y a la subfamilia Chloridoideae con un 22.03%, que crecen en con condiciones secas y cálidas. Si agrupamos a los C4 superan a los pastos de tipo C3, estos resultados se asemejan más a las condiciones climáticas actuales.

## VII. DISCUSIÓN

Ha habido un debate en el ámbito profesional y puntos de vista públicos recientemente sobre la escala y la intensidad de la alteración de los indígenas en el paisaje antes de la llegada europea, sobre todo en el Centro y Sur del país. (McClung de Tapia, E. 1990) Pronto será políticamente incorrecto argumentar que los nativos americanos no alteraron profundamente sus paisajes e incluso redujeron la biodiversidad en algunos lugares (hace 20 años se creía lo contrario). Sin embargo, los datos paleoecológicos indican que las cronologías, gravedad y trayectorias de los impactos humanos varían considerablemente.

Los tipos de vegetación, que se hubieran podido desarrollar en la región de Teotihuacan en épocas pasadas, dependen principalmente de las condiciones ambientales prevalecientes. De acuerdo con las características geográficas, climáticas, edafológicas, geológicas e hidrológicas que presenta la región actualmente y considerando que no ha habido cambios macroclimáticos importantes que pudieran haber transformado radicalmente las condiciones del medio físico durante el periodo Teotihuacano (McClung, 1992), es muy probable que pudiera existir un bosque mixto de pino-encino, el cual estaría constituido por varias especies de *Pinus* y *Quercus*, acompañados en el estrato arbóreo por *Alnus*, *Juniperus*, *Cupressus*. Desde la época Colonial, el género *Pinus* ha desaparecido de la región y el género *Quercus* se encuentra únicamente en una zona muy restringida de la ladera norte del Cerro Gordo.

Respecto a la extensión de los mismos, McClung y Tapia-Recillas (1997) utilizando SIG, Tomando como base la asociación entre los tipos de suelo, la vegetación actual y la disponibilidad de condiciones climáticas inferidas por la elevación generaron un mapa hipotético de la región, en el cual se observa el área que pudo estar cubierta por bosques durante los primeros siglos de la ocupación humana. Se calcula que esta área abarco entre 7 y 12 % del área total considerada en 900 km<sup>2</sup>, lo cual representaría un área muy pequeña que prácticamente estuvo

restringida a la zona de Cerro Gordo y las faldas de la Sierra Patlachique. Este modelo “sugiere la posibilidad de que la zona boscosa, en este sector de la Cuenca de México, nunca fue muy extensa; y que su explotación y desmonte potencial durante la época teotihuacana representa un problema mucho más complejo: el de como obtuvieron los habitantes del centro urbano y sus vecinos los recursos suficientes para satisfacer las necesidades de construcción y combustibles durante varios siglos” (McClung y Tapia-Recillas, 1997)

Con los datos obtenidos en este estudio, esto no es posible esclarecer, comparto esta hipótesis y estoy de acuerdo con la opinión de Castilla y Tejero (1987) con respecto a que la vegetación de la región en el pasado, tenía que ser similar a la que existe en la actualidad, aunque no representan una analogía en cuanto al tamaño de las poblaciones y su distribución geográfica en el pasado prehispánico.

Con base en lo antes mencionado, se puede proponer que, hipotéticamente en la región de Teotihuacan, se presentaban varios tipos de vegetación que tenían la siguiente distribución: en los cerros circundantes que rodean el valle, en las zonas de mayor altitud, habría un bosque de pino- encino. Conforme se iba descendiendo en la cota altitudinal, este sería sustituido paulatinamente en un ecotonó, por el matorral xerófilo, el cual compartiría la planicie con el pastizal en sus diferentes formas. En los sitios donde se ubicaban los manantiales y a lo largo del rio San Juan habría vegetación de tipo ripario (bosque de galería). Conforme los habitantes del sitio alteraron el entorno, las comunidades naturales fueron sustituidas parcial o totalmente por comunidades inducidas por las actividades humanas (matorral de *Quercus*, vegetación ruderal y antropogénica).

El género *Alnus* perteneciente a la familia Pinaceae, forma parte de los bosques de coníferas, este no pudo estar presente en la región debido a que su distribución esta restringida a lugares con altitudes por arriba de los 2800 msnm y

en condiciones de humedad elevada, donde la precipitación media anual esta por arriba de los 1000 mm. (Adriano, 2000). La razón por la cual se encuentran en el registro polínico podría ser principalmente por su forma de dispersión y podrían provenir de la sierra de Pachuca.

Los fitolitos son indicadores de un grupo de pastos, por lo que son necesarias otras partes de las plantas, para la identificación de taxa específico como lo fue en el caso del polen. Por otra parte al hacer comparación con la flora actual Castilla y Tejero (1987) describen dos tipos de pastizal: uno de *Buchloe dactyloides* con *Hilaria cenchroides* y/o *Bouteloua gracilis*, muy influenciado por los matorrales y sin un verdadero limite; y dos, el zacatonal de *Stipa ichu*.

Estos géneros reportados por Castilla y Tejero (1987), pertenecen a la subfamilia Chloridoideae (*Bouteloua*, *Hilaria*) que son pastos C4. En el estudio florístico concluye que el género más representado y extendido es *Buchloe* con *Bouteloua*, siendo *Bouteloua gracilis* especie de ambiente más xerófito.

Dependiendo de la altura y la humedad se encuentran géneros como *Stipa* y *Aristida*; *Stipa* es un pasto C3, y está representado por la especie *Stipa ichu*, clasificado en el segundo tipo de pastizal según Castilla y Tejero (1987).

Al referirse a los fitolitos, estos últimos presentan como grupo dominante a los Pooideos de mecanismo fotosintético C3, en los perfiles ZN9 y ZN7 mientras que el grupo dominante para ZN5 y ZN3 fueron los Panicoides con sistema C4. No obstante lo anterior si agrupamos a las subfamilias Panicoideae y Chloridoideae las cuales en la actualidad pertenecen al tipo C4, se puede observar que existen una relación con las condiciones cálidas pero húmedas.

Estos indicadores apoyan la hipótesis de que el valle de Teotihuacán ha soportado una vegetación de pastizales con dominancia de gramíneas Panicoide y Chloridoide del tipo C4, y en menor medida por los Pooide del tipo C3, lo cual

es congruente con otros estudios recientes en la región (McClung de Tapia et al. 2008; Solleiro et al. 2006; Solleiro et al. 2011).

Además de lo antes mencionado el registro polínico también apoya esta hipótesis ya que se reporta que para el pastizal de *Buchloe* con *Bouteloua*, se encuentra asociados los siguientes géneros arbóreos *Acacia* y *Schinus*. En los arbustos tenemos al género *Mimosa*; para las herbáceas se encuentra al género *Agave*. Todos estos plenamente identificados polínicamente. Para la segunda forma de pastizal representado por *Stipa ichu*, las especies acompañantes cambian como lo es el género *Quercus*.

El problema de la reconstrucción de la vegetación en un sitio constantemente perturbado por las actividades humanas, es muy complejo. En los análisis de los sistemas naturales existe cada vez más la tendencia a reconocer que los ecosistemas están constituidos por dos componentes: los biológicos y los sociales. La existencia, el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas naturales no pueden explicarse sin tomar en cuenta la influencia del hombre y su amplia gama de actividades (tanto actual como histórica). Sin embargo, el análisis de los sistemas naturales se complica al incorporar al hombre, ya que se incrementa el grado de impredecibilidad (McClung de Tapia, 2010)

El enfoque ecosistémico tradicional ha tratado de lidiar con la complejidad de los sistemas naturales y sociales (McClung de Tapia, 2005), aunque los resultados obtenidos no van más allá de una descripción funcional de las interacciones entre algunos de los componentes del sistema en cuestión, considerándolo en un aparente estado de equilibrio.

La ubicación de los sistemas naturales en el espacio y de los procesos biológicos en unidades organizadas jerárquicamente, nos obliga a disectar los procesos ecológicos en cada una de sus escalas. Los sistemas complejos

evolucionan en forma continua y pueden manifestar múltiples estados de estabilidad o ciclos de adaptabilidad (McClung de Tapia, 1984)

La dinámica y estructura de los ecosistemas son explicadas por fenómenos que ocurren en diferentes escalas espacio- temporales, y establece que los procesos de la vegetación se explican en pequeña escala por el crecimiento de la plantas, por su estructura y por la del suelo, a mediana escala por los procesos de perturbación y a macro escala son los procesos geomorfológicos los que mantienen la estructura de los ecosistemas. Aunque la heterogeneidad espacial de muchos procesos es desconocida, los resultados de los sitios específicos no pueden extrapolarse a escalas regionales (Holling, 1992)

Otro aspecto de interés es concebir la entrada de energía y materia a los ecosistemas como fenómenos aleatorios y estocásticos, por ejemplo la precipitación fluvial. Lo anterior manifiesta que si los ecosistemas se abordan con los parámetros anteriores, se puede ofrecer una visión novedosa acerca de la complejidad de la naturaleza.

## VIII. CONCLUSIÓN

Los datos obtenidos en el presente trabajo permiten afirmar lo siguiente; Se contribuyo al conocimiento de la paleoflora del Valle de Teotihuacan, al aplicar los métodos para el estudio de los micro restos botánicos polen y fitolitos, no obstante estos presentan ciertas limitaciones ya que no se pudieron determinar los géneros y especies. Con estos resultados, se pudieron proponer algunas hipótesis las cuales ayudan a comprender un poco más la relación que tenían las comunidades vegetales del pasado y la extensión de las mismas en la región durante la época prehispánica, ya que representan una línea de sedimentación que va desde los  $18,740 \pm 150$  años A.P. hasta el presente; las que servirán para trabajos futuros.

El polen encontrado en los suelos y sedimentos de Zacatlan está representado por especies arbóreas que ya no tienen una representación significativa con la flora actual, especialmente por el género *Pinus*. Por lo tanto, los resultados sugieren la presencia, en el valle de Teotihuacan de un bosque mixto de pino-encino y pastizal constituido por varias especies de *Pinus*, *Quercus*, *Alnus* lo cual actualmente no existe en la región. Además se pudo observar que la familia Poaceae estaba ampliamente distribuida lo que concuerda con los datos obtenidos por los fitolitos.

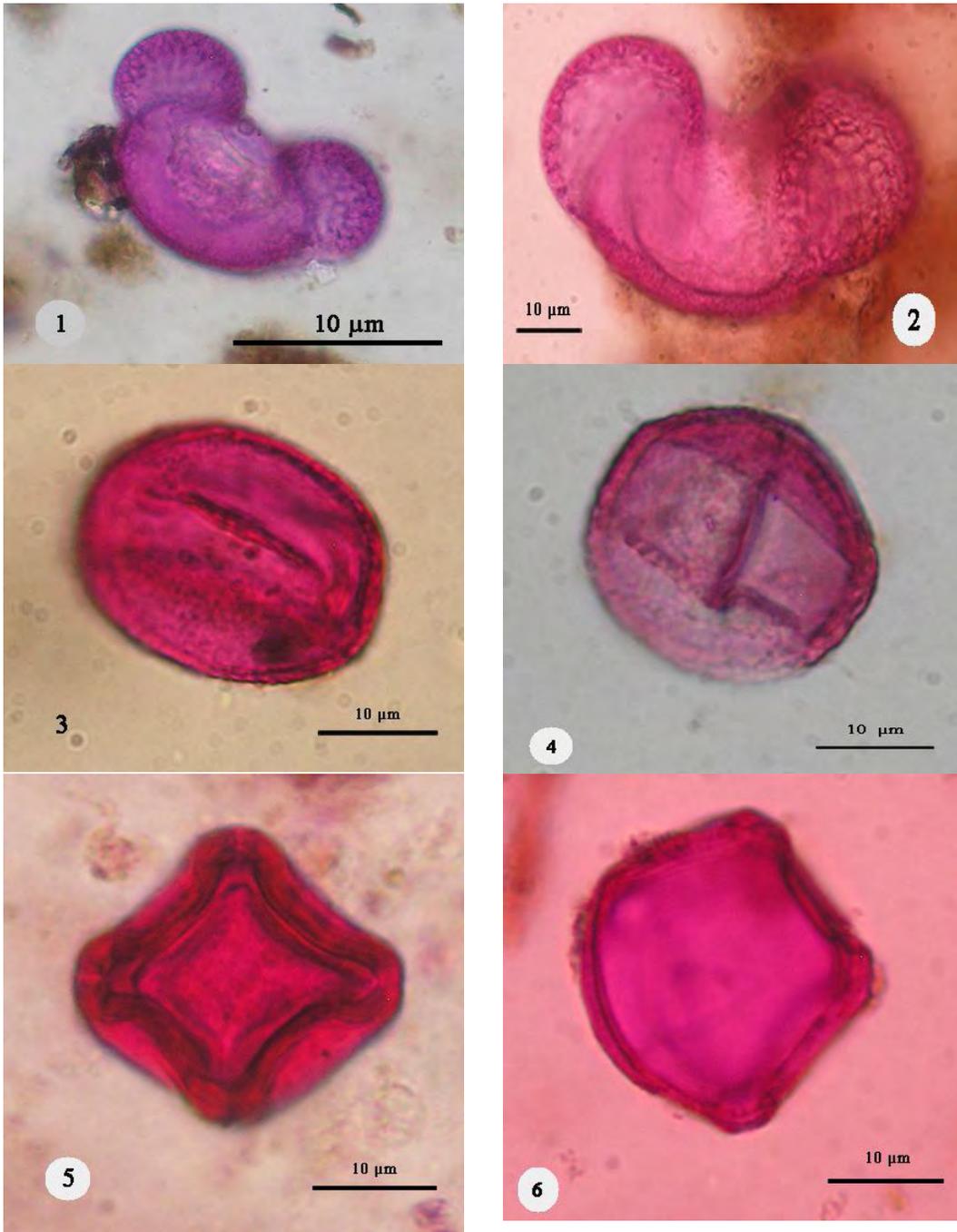
Para los fitolitos se puede decir lo siguiente: La frecuencia acumulada de las subfamilias en cada uno de los horizontes estudiados permite la caracterización del pastizal. Dicha frecuencia acumulada de la subfamilia Pooideae indica un pastizal dominado por el mecanismo fotosintético C3, solo para el perfil ZN9, haciendo inferencia a ambientes fríos y buenas condiciones de humedad en el suelo, probablemente anteriormente existía condiciones ambientales más húmedas donde este tipo de plantas crecían sin problemas. Mientras que, la alta proporción de pastos del tipo C4, representados por las subfamilias Panicoideae y Chloridoideae en conjunto caracteriza el resto de los perfiles.

Con los datos obtenidos no se puede definir la extensión del área que ocupaban los diferentes tipos de vegetación, sin embargo se propone una hipótesis de que el bosque de pino- encino tenía una distribución restringida a las partes altas, a los 2600 msnm, de los cerros que circundan el valle (Cerro Gordo, Sierra Patlachique). El resto de la zona estaba cubierto por matorral xerófilo y pastizales. Las comunidades naturales fueron remplazadas por comunidades inducidas (matorral de Quercus, vegetación ruderal y antropógena) como consecuencia de las diversas actividades humanas desarrolladas en la época prehispánica.

Considerando lo anterior, permanece el desafío de comprender a la naturaleza como un sistema complejo, multidireccional, multicausal, sin equilibrio, dinámico y con respuestas no lineales. Es decir, hace falta incorporar la heterogeneidad biológica y ambiental en diferentes niveles tróficos de manera simultánea para entender las fuerzas que regulan la organización de los sistemas ecológicos. La forma de llevarlo a cabo es integrando el concepto de escala espacial y temporal y la teoría de jerarquización en la descripción de los patrones ecológicos en la naturaleza.

## IX. ANEXOS

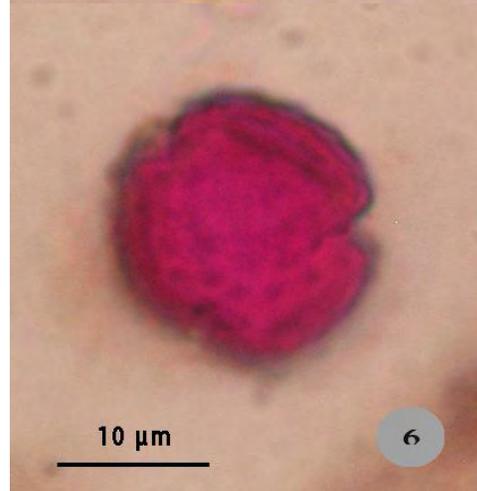
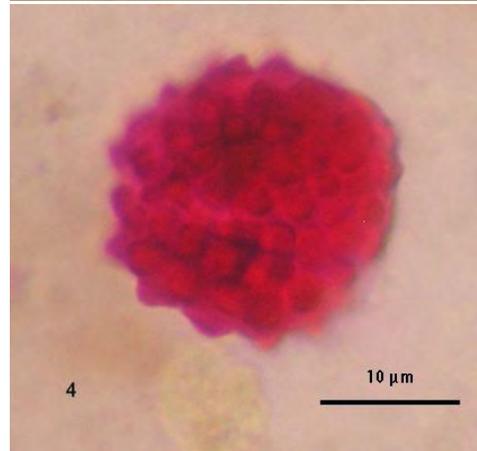
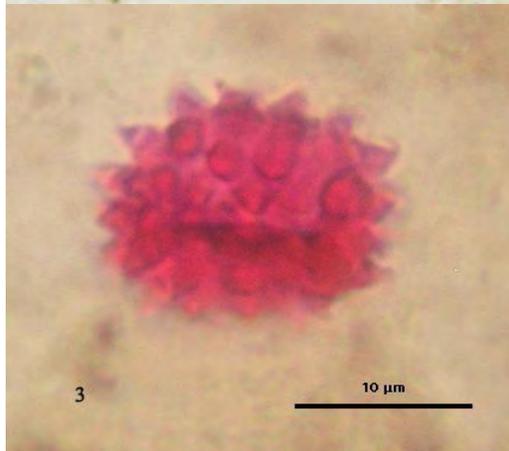
### 9.1 Laminas Polen



Lamina 1.-Polen Arbóreo: 1 *Pinus* sp. 40X; 2 *Abies* sp. 100X; 3, 4 *Acer* sp. 100X; 5, 6 *Alnus* sp. 100X.



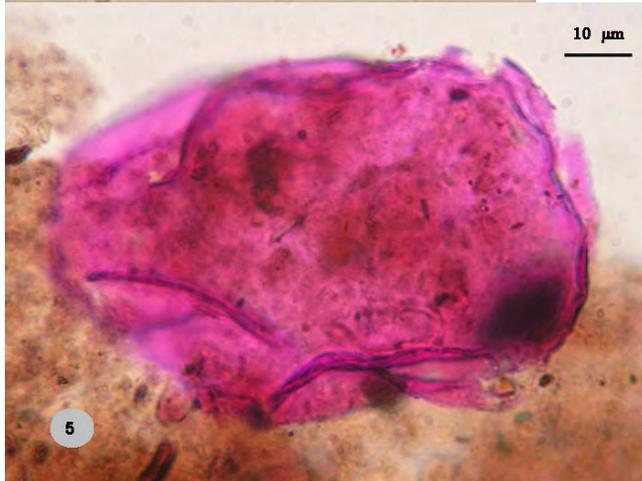
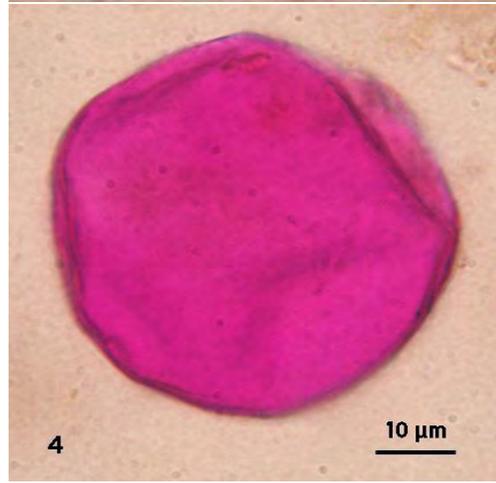
**Lamina 2.- Polen Arbóreo:** 1,2 *Quercus* sp. 40X y 100X respectivamente; 3 *Cupressus* sp. 100X; *Acer* y *Pinus* 100X.



**Lamina 3.- Polen No Arboreo:** 1 Agavaceae (Amaryllidaceae) 40X; 2 Anacardiaceae 100X; 3 Malvaceae 100X; 4 Asteraceae 100X; 5 *Ambrosia* sp.100X; 6 *A. Artemisa vulgaris* 100X.

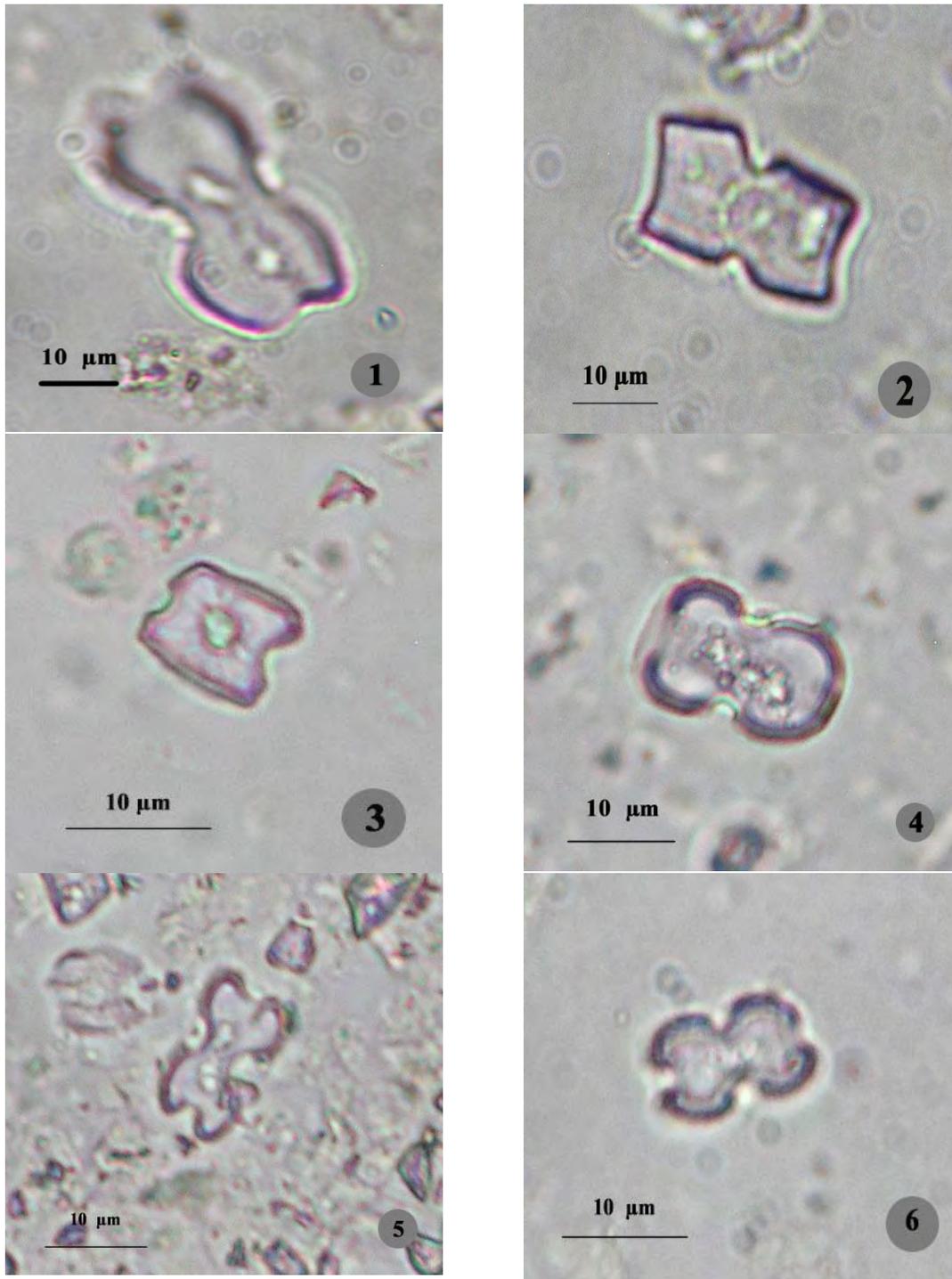


**Lamina 4.- Polen No Arbóreo:** 1 *Cheno-Amaranthaceae* 100X; 2 *Cyperaceae* 100X; 3 *Acacia* 100X, 4 *Mimosa* 100X, 5 *Lonchocarpus* 100X; 6 *Iridaceae* 40X.

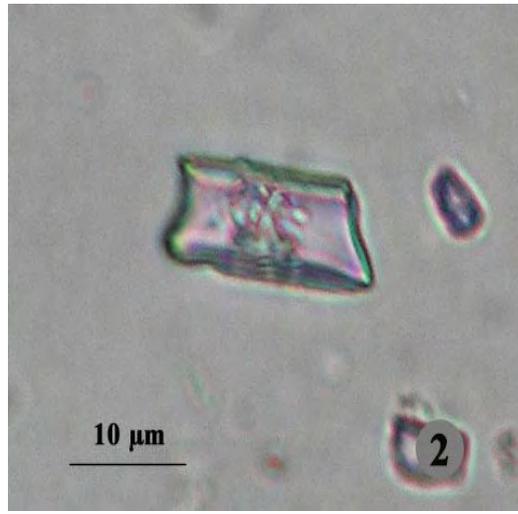


**Lamina 5.-Polen No Arbóreo:** 1 Equisetaceae 40X; 2 Rubiaceae 100X; 3 Rosaceae; 4,6 Poaceae 100X; 5 *Zea mays* 40X.

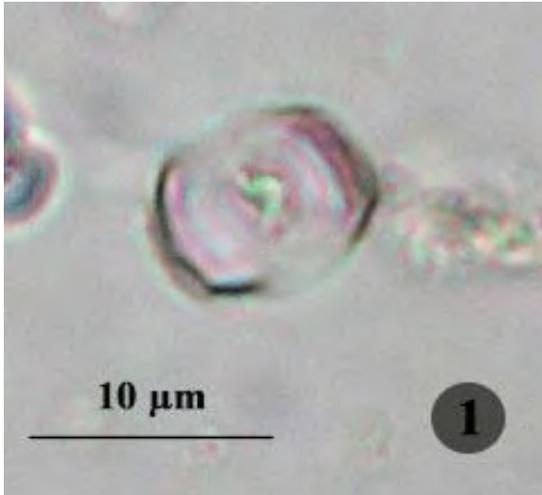
## 9.2 Laminas Fitolitos



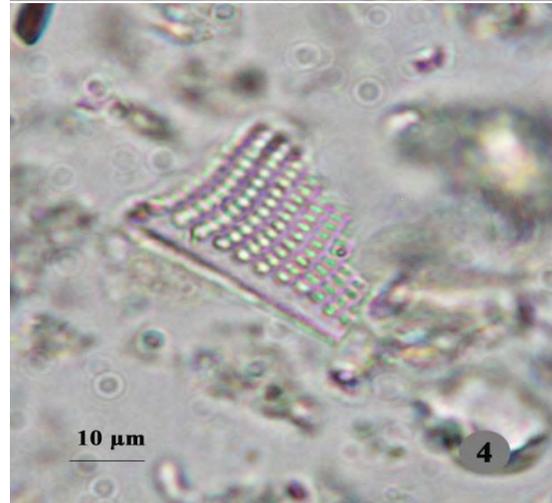
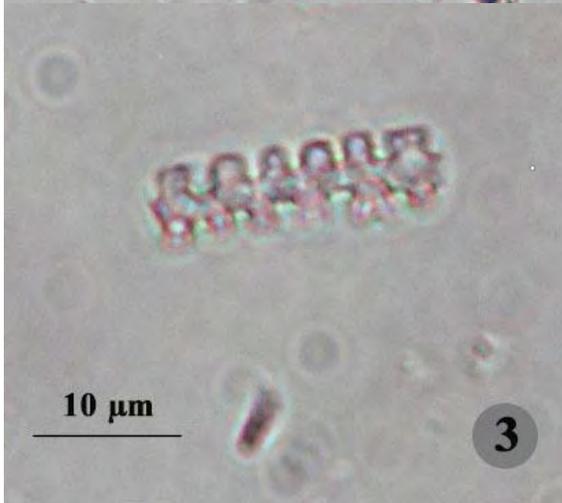
**Lamina 6.**-Se pueden observar 6 tipos diferentes de Fitolitos de la subfamilia Panicoideae: 1 Panicoide 100X; 2 Panicoide 100X; 3 Panicoide tipo cruz a 40X, 4 Panicoide 40X, 5 Panicoide Polilobado 40X; 6 Panicoide Polilobado 40X.



**Lamina 7.**-Se pueden observar 5 tipos de Fitolitos diferentes pertenecientes a la subfamilia Pooideae: 1 Pooide alargado 40X; 2 Pooide rondel 40X; 3 Pooide tipo rondel a 40X, 4 Pooide tipo *stipa* 100X, 5 Pooide crenado 100X.



**Lamina 8.-** 1 Chloridoideae a 40X (por lo general la subfamilia Chloridoideae solo es representado por esta forma); 2 Aristida 100 X.



**Lamina 9.-** Otros tipos de estructuras: 1 Crenado 40X; 2 Buliforme 100X; 3 Crenado a 40X, 4 Diatomea 100X.

## VIII.- LITERATURA CITADA

Adam, D.P. y Mehringer, P. J., 1975. Modern pollen surface samples-an analysis of subsamples. J. Res. US Geol. Surv. 3, 733-735.

Adriano-Morán, C.C., 2000. Estudio del carbón arqueológico como indicador de los cambios en la vegetación, en el Valle de Teotihuacán, Edo. de Méx. Tesis de Maestría Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Adriano-Morán, C.C. y McClung de Tapia E., 2008. Trees and shrubs: the use of wood in prehispanic Teotihuacán, Journal of Archaeological Science 35: 2927-2936.

Belmonte, J. y Roure, J.M., 1995, El método de captación Cour., REA. Boletín de la Red Española de Aerobiología. Barcelona, pp. 9-10.

Brown, D., 1984. Prospects and limits of a phytolith key for grasses in the central United States, Journal of Archaeological Science 11: 221-243.

Bortenschlager S., 1990. Aspects of pollen morphology in the Cupressaceae, Gram 29: 129-137.

Bozarth, S. R., 1987. Diagnostic Opal Phytoliths from rinds of selected cucurbita species. American Antiquity, Journal of the Society for American Archaeology. 55(2): 607-615.

Bozarth, S. R., 1990. Diagnostic Opal Phytoliths from pods of selected Varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris*). American Antiquity, Journal of the Society for American Archaeology. 55 (1): 98-104.

Burjachs F., 2006. Palinología y restitución paleoecológica, *Ecosistemas* 15(1): 7-16.

Castilla Hernández M. y Tejero Diez D., 1987. Flora y vegetación del Cerro Gordo (San Juan Teotihuacán) y regiones aledañas, Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Biótico, Xalapa Ver. Méx. *Biótica* 12(4): 231-255.

Duran, E. Galicia, L. Perez, E. y Zambrano, El paisaje en Ecología. *CIENCIAS; 67 (julio-septiembre) 2002*

Espinosa, J.F. Y J. Sarukán, 1997. Manual de malezas del Valle de México. UNAM Y Fondo de Cultura Económica. México. 407 pp.

Galván-Mendoza, E. 2000., Contribución al conocimiento paleoecológico de la tafoflora Matzitzi, Paleozoico Tardío, sur del estado de Puebla. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 82 p.

Gamio, M., 1922, La Población del Valle de Teotihuacán, Vols. I-III. Secretaría de Agricultura y Fomento, México.

García E. 1968. Clima de Teotihuacán. IN: Lorenzo, J.L. (ed) Materiales para la arqueología de Teotihuacán Investigaciones No. 17 INAH. México, D.F.

García E. *et al.* 1974. Situación climática durante el auge y caída de la cultura Teotihuacana. Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 5: 35-67

García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. UNAM. México. D.F.

García C.N., Galicia. P. Ma. S., Aguilera. H.N. 1996 Silicofitolitos de la zonachinampera Xochimilco-Tlahuac, D. F. México. Primer encuentro europeo sobre estudio de fitolitos Madrid. España. Resúmenes de las comunicaciones pp. 12

González-Arqueros ML, Vázquez-Selem L, Gama Castro JE, McClung de Tapia E, Sedov S., 2013. Historia de la edafogénesis y de los procesos geomorfológicos en el Valle de Teotihuacán, México: evidencias micromorfológicas de una catena de suelos. Spanish Journal of Soil Science 3, 3:201-216.

Grimm Erick C. 1987. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. Rev. Computers & Geosciences 13(1) 13-35.

Hebda, R.J. y Chinappa, C.C., 1990. Studies on pollen morphology of Rosaceae in Canada. Rev. Palaeobot. Palynol., 64:103-108.

Hodson, M. J.; White, P. J.; Mead, A.; Broadley, M. R. 2005, Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. Annals of Botany 96: 1027-1046.

Hogh-Jensen, H.; Fabricius, V.; Schjoerring, J. K. 2001, Regrowth and nutrient composition of different plant organs in grassclover canopies as affected by phosphorus and potassium availability. Annals of Botany 88: 153-162.

Holling, C. S. 1992. "Cross-scale Morphology, Geometry, and Dynamics of Ecosystems", en Ecological Monographs, num. 62 pp. 447-502.

Ibarra-Morales E. y Fernández-Galán B.S., 2012, El estudio del polen antiguo: Problemas y estrategias en el Laboratorio. Rev. Especializada Ciencias Químico Biológicas 15(1)62-66.

ICOMOS. 1986, Pre-Hispanic city of Teotihuacán N° 414, Liste Du Patrimoine Mondial, Hotel Saint-Aignan, 75 rue de Temple, Paris.

Islebe Gerald. 1999, La paleoecología: bases y su aplicación, Foresta Veracruzana, vol. 1, núm. 2, pp. 47-50.

Jiménez R. Ma. Noemí, 2003, Morfología de los granos de polen de la familia Malváceaede Jalisco, México. ibugana, boletín IBUG , Vol. 10 Núm. 1-2.

Kapp,Ronald O., 1969, How To Know POLLEN AND SPORES; Wm. C. Brown Company Publishers;United States of America; 249 p.

Limon, B. Amie Ellen., 1980., Vegetación y lluvia de polen en el cerro Tetepetl, Estado de México., Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Lorenzo, J.L., 1968, Clima y agricultura en Teotihuacán. In: Lorenzo, J.L. (Ed.), Materiales para la Arqueología de Teotihuacán. Cuadernos de Trabajo. Serie Investigaciones 17. INAH, México D.F., pp. 51–72.

Lozano G. M. y Martínez H. E.; 1990, Palinología de los Tuxtlas: Especies Arbóreas, Instituto de Biología; México D.F. p.61.

MA, J. F. y YAMAJI, N. 2006,Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science 11: 392-397.

Madella, M., A.H. Powers-Jones y M. K. Jones, 1998, A simple method of extraction of opal phytoliths from sediments using a non-toxic heavy liquid, Journal of Archaeological Science 25:801-803.

Martinez, M. y E. Matuda, 1979. Flora del Estado de Mexico. Edición Facsimilar de los fascículos publicados de 1953-1972. Tomo III. Biblioteca Enciclopédica del Estado de Mexico. 526 pp.

Martínez-Hernández, E., Cuadriello-Aguilar, J., Téllez-Valdez, O., Ramírez-Arriaga, E., Sosa-Nájera, M., Medina-Camacho, M.; Lozano-García, M. 1993. Atlas de las plantas y el polen utilizados por las cinco especies principales de abejas productoras de miel de la región del Tacaná, Chiapas, México. Instituto de Geología. México, D.F. 105 p.

McClung de Tapia, E., 1984, Ecología, y cultura en Mesoamérica, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

McClung de Tapia, E., 1990, Ecología, agricultura y ganadería durante la Colonia, Historia General de la Medicina en México, T. II (G. Aguirre Beltrán y R. Moreno de los Arcos, Coords), Academia Nacional de Medicina/Facultad de Medicina-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 60-77.

McClung de Tapia, E. 1992, "El paleoambiente en la región de Teotihuacán"; en informe técnico del primer año del Proyecto: El cambio global en perspectiva histórica. El centro urbano preindustrial de Teotihuacán. Tercera parte. IIA-UNAM.

McClung de Tapia, E., 2005, Enfoque ecológico en la arqueología de Teotihuacan y la Cuenca de México, en: Ernesto Pacheco (ed.), *IV Coloquio Pedro Bosch Gimpera*, Universidad Nacional Autónoma de México, México: I 253-272

McClung de Tapia, E., 2010, Reflexiones en torno al paisaje prehispánico: Reconstrucción del paleoambiente del valle de Teotihuacan, *Coloquio Pedro Bosch Gimpera*, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 245-265

McClung de Tapia, E., Serra P. Ma. C., Limon D. 1986, Formative lacustrine adaptation: botanical remains from Terremote Tlaltenco, D. F. México. *Journal of Field Archaeology* 16(1): 99-113.

McClung de Tapia. E., Gonzáles, V. J., Zurita, N. J., Ibarra, M. E. 1996, La domesticación prehispánica de *Amaranthus* sp. Cuadernos de trabajo. IIA 2 INAH. UNAM. Pp.30-32.

McClung de Tapia, E., y H. Tapia-Recillas. 1997, Sistemas de información geográfica en arqueología. *Ciencia y Desarrollo* 22(133-134):48-56.

McClung de Tapia E, Solleiro-Rebolledo E, Gama-Castro JE, Villalpando, J.L, Sedov S. 2003, Paleosols in the Teotihuacán Valley; México: Evidence for paleoenvironment and human impact. *Rev Mex Cienc Geol.* 20:270-282.

McClung de Tapia., Irma Domínguez Rubio; Jorge Gama Castro; Elizabeth Solleiro; Sergey Sedov, 2005, Radiocarbon dates from soil profiles in the Teotihuacán Valley, Mexico: indicators of geomorphological processes; *RADIOCARBON*, Vol 47, Nr 1, p 159–175.

McClung de Tapia, E., H. Cabadas Baez, E. Solleiro, J. Gama Castro, E. Vallejo, 2008, Phytoliths of soils and paleosols of the Teotihuacán Valley, Mexico. EN *Interdisciplinary nuances in phytolith and other microfossil studies*, BAR International Series, Oxford, Inglaterra. Pp. 67-76.

Montufar A., 1985, Estudios palinológicos y paleoetnobotánicos, Serie Arqueología, INAH, México DF. p. 67-110

Moore, P.D., Webb, J.A. y Collinson, M.E., 1991, *Pollen Analysis*, Blackwell Scientific Publications, Oxford. 216 p.

Mooser, F., 1968. Geología, naturaleza y desarrollo del Valle de Teotihuacan: Inst. Nacional de Antropología Hist., México, vol. 17, pp. 29–37.

Mullholland, S. C., y Rapp, G. Jr, (Eds. 1992) Phytolith Systematics. Emerging Issues. Plenum Press, New York.

Palacios, R., B. Ludlow-Wiechers, R. Villanueva., 1991, Flora palinológica de la Reserva de la Biosfera de Sian' Ka'an, Quintana Roo, México. Centro de Investigaciones de Quintana Roo CIQRO. 321 p.

Piperno, D.R., 1988, Phytoliths analysis: An Archaeological and Geological Perspective. New York, Academic Press: 280 p.

Piperno, D.R., 2006, Phytoliths. A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. Altamira Press, Oxford.

Piperno, D.R. 2008, Paleoenvironmental reconstruction in the lowland neotropics. National Museum of Natural History, Washington DC, USA.

Piperno, D. R. y D. M. Pearsall, 1998, The silica bodies of tropical american grasses: Morphology, Taxonomy, and implications for grass systematics and fossil phytolith identification. Smithsonian Institution Press: Washington, D.C.

Piperno, D. R.; Holst, I.; Wessel-Beaver, L.; Andres, T. C. 2002. Evidence for the control of phytolith formation in Cucurbita fruits by the hard ring (Hr) genetic locus: archaeological and ecological implications. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 99: 10923-10928.

Pozhidaev, Andrew E. 1993, Polymorphism of pollen in the genus *Acer* (Aceraceae); Grana, 32:2, 79-85

Roure M. Joan., 1985., *Palinología Ibérica*. Fam. 1 a 20. Cupressaceae a Betulaceae., *Orsis*, 1:43-69.

Roubik D.W. y Moreno JE., 1991. Pollen and spores of Barro Colorado Island. St. Louis: Missouri Botanical Garden; (Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden, 36)

Rzedowski, J. y G. C. de Rzedowski, 1979; *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Editorial CECSA. Vol. México. 403 pp.

Rzedowski, J. y G. C. de Rzedowski, 1985. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. vol. II. Dicotyledoneae (Euphorbiaceae-Compositae). Editado por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN. México, e Instituto de Ecología, México. 674 pp.

Rzedowski, J. y G. C. de Rzedowski, 1990. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. vol. III. Monocotyledoneae. Editado por el Instituto de Ecología del Centro Regional del Bajío- Pátzcuaro, Michoacán, México. 494 pp.

Rzedowski, J. y G. C. de Rzedowski y colaboradores, 2005, *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2ª ed., 1ª reimp., Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), 1406 pp.

Saenz de Rivas C., 1978, *Polen y Esporas*; H. Madrid España, Blume ediciones; 219 p.

Sánchez, O., 1984. *Flora del Valle de México*. Editorial Herrero, S.A. Mexico. 519 pp.

Sánchez-Pérez S, Solleiro-Rebolledo E, Sedov S, McClungde Tapia E, Golyeva A, Prado B, Ibarra-Morales E., 2013, The Black San Pablo paleosol of the

Teotihuacán Valley, Mexico: pedogenesis, fertility, and use in ancient agricultural and urban systems. *Geoarchaeology* 28:249-267.

Sanders, W.T. 1965, *The cultural ecology of the Teotihuacán valley*. Philadelphia, The Pennsylvania State University, Department of Anthropology.

Solleiro-Rebolledo, E., S. Sedov, E. McClung de Tapia, H. Cabadas, J. Gama-Castro, E. Vallejo-Gómez, 2006, Spatial Variability of Environment Change in the Teotihuacán Valley during Late Quaternary: Paleoecological Inferences, *Quaternary International*, 156-157:13-31.

Solleiro-Rebolledo, E., S. Sycheva, S. Sedov, E. McClung de Tapia, Y. Rivera and C. Salcedo-Berkivich, 2011, Fluvial responses and paleopedogenesis in the Teotihuacán Valley, Mexico. Responses to the Late Quaternary landscape dynamics, *Quaternary International*, 233:40-52.

Twiss, P. C., 1986, Morphology of opal phytoliths in C3 and C4 Grasses. In *Plant Opal Phytolith Analysis in Archaeology and Paleoecology* (I. Rovner, ed.), pp 4-11.

Twiss, P. C. 1992, Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. En: Rapp, G. Jr. y S. C. Mulholland (Ed.), *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeology and Museum Science* 1: 113-128.

Twiss, P. C., E. Suess y R. M. Smith, 1969, Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Science Society of America Proceedings* 33:109-115.

Vallejo G. E., 2002, *Morfología e intemperismo de fitolitos, en suelos modernos y paleosuelos de la parte central del eje neovolcánico*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Van Wichelen, Jeroen; Camelbeke, Konraed ; Chaerle, Peter; Goetghebeur Paul and Huysmans Suzy.,1999, Comparison of different treatments for LM and SEM studies and systematic value of pollen grains in Cyperaceae, Grana 38: 50–58.

Velasco-de León, M. P. 1999, Estudio Paleoecológico de una comunidad del Terciario en el Estado de Puebla. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 120 p.

Ventura, K. y Huamán L. 2008, Pollen morphology of family Fabaceae of low part of pativilca and fortaleza valleys (LIMA, PERU), *Biologist* (Lima). Vol. 6, Nº2, 112-134.

Watson, L., and Dallwitz, M.J. 1992, onwards. The grass genera of the world: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references. Version: 18th December 2012. <http://delta-intkey.com>

Weber, R. y Cevallos-Ferriz, S. R. S. 1994, Perfil actual y perspectivas de la paleobotánica en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 55: 141-148.

Webb, T., B. Shuman y J. Williams.2003,Climatically forced vegetation dynamics in eastern North America during the Late Quaternary Period. Development in quaternary science. Vol. 1: 1571-0866.

Wing, S., H-D. Sues, R. Potts, W. Dimichele y A. Behrensmeyer. 1992, Evolutionary paleoecology. In: A. Behrensmeyer et al. (eds). Evolutionary paleoecology of terrestrial plant and animals: 1 13. University of Chicago Press. Chicago. 568 p.

Wortley, A. H. ; Funk , V.A. ; Robinson , H.; Skvarla , John J. ; Blackmore, S. 2007, A search for pollen morphological synapomorphies to classify rogue genera in Compositae (Asteraceae), *Review of Palaeobotany and Palynology* 146 (2007) 169–181.

Zurita, N. J. 1987, Análisis de fitolitos de muestras de suelos del sitio arqueológico de Guachimonton, Teuchitlan, Jal. Tesis de Licenciatura. ENAH. México.