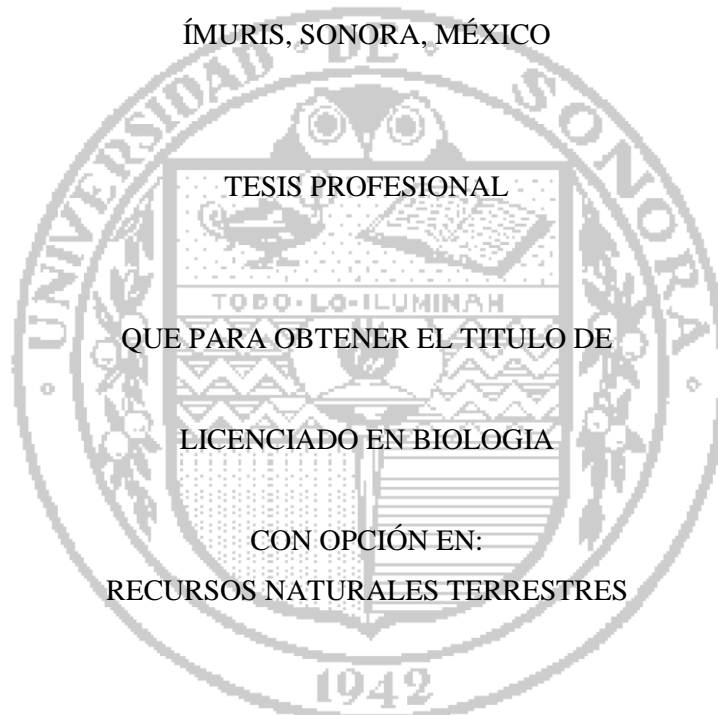


UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

PASADO Y PRESENTE DE LA VEGETACIÓN DE LA CIÉNEGA EL ARIBABI, MUNICIPIO DE
ÍMURIS, SONORA, MÉXICO



TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGIA
CON OPCIÓN EN:
RECURSOS NATURALES TERRESTRES

PRESENTA:

MÓNICA CECILIA OLGUÍN VILLA

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**




Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

FORMATO DE APROBACIÓN

Los miembros del Comité de Tesis designado para revisar la Tesis de Mónica Cecilia Olgún Villa la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito para obtener el Título de Licenciado en Biología con Opción en Recursos Naturales Terrestres.




Dra. María Cristina Peñalba Garmendia
Director de Tesis



Ing. José Jesús Sánchez Escalante
Sinodal Secretario

Ph. D. Thomas R. Van Devender
Sinodal



M. C. Gilberto Solís Garza
Suplente

DEDICATORIA

A mi mamá y papá, Cecilia y Roberto,

A mis hermanos Angel y Andrés,

A Erandi,

A mi nana Delia †

*Tal vez la tierra nos enseñe cuando todo parece muerto
y luego todo estaba vivo. Pablo Neruda*

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a la Universidad de Sonora en especial al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUS) y a la licenciatura en Biología por el apoyo otorgado durante el transcurso de mis estudios.

A SEP-PROMEPE por el apoyo otorgado al proyecto de Incorporación de Nuevos PTC, PROMEP 12515, otorgado a la Dra. M. C. Peñalba: “Vegetación y cambio climático histórico en el norte de Sonora: Análisis polínico en la región del rancho El Aribabi”.

A mis profesores durante la carrera y a los que me motivaron a seguir estudiando y desarrollando el entusiasmo por la investigación y el campo.

A la Dra. María Cristina Peñalba Garmendia por brindarme de nuevos conocimientos y diferentes maneras de interpretar los datos científicos, le agradezco intensamente su trabajo y dedicación.

Al Ing. Jesús Sánchez por su apoyo en el desarrollo de este trabajo, así como sus comentarios y revisiones, además de ayudarme a conocer más sobre la flora de Sonora.

Al Ph. D. Thomas Van Devender, por tomarse un poco de su tiempo y preocuparse por la realización de este trabajo, todos sus comentarios y observaciones fueron muy agradecidas.

Al M. C. Gilberto Solís Garza, por sus consejos y opiniones, quien además de formar parte de mi comité siempre nos contagió de ese entusiasmo al momento de salir a prácticas de campo.

A la Dra. Reyna Castillo Gámez por sus enseñanzas durante y fuera de clases, por su amistad, al momento de escuchar inquietudes y dar consejos, los cuales he valorado mucho, gracias.

Al Sr. Carlos Robles Elías, propietario del rancho El Aribabi por permitirnos el acceso y la realización del trabajo en campo, así como información sobre la historia de la ciénega.

Al M. C. Iván Espinoza Encinas por su ayuda y consejos en el desarrollo de este trabajo, por su amistad dentro y fuera del laboratorio.

A mis compañeros de laboratorio, Maribel Moreno, Absalón Pérez y Carlos Valdéz que hicieron más entretenido este proceso.

A todos mis compañeros de la licenciatura del grupo z13, por compartir cuatro años llenos de experiencias y aprendizajes con muy buenos recuerdos, en especial a Atenas, Lourdes, Lucinda, Melinda y Valeria por convertirse en mis amigas, a Adrián, Ramón, Emmanuel, Misael, J.R. y David por sus ocurrencias y hacer cosas divertidas en momentos estresantes.

A todos mis amigos Alejandra, Saraí, Andrea, Pablo, Luis Angel, Mariano, Nava, Henry, Gerardo, Miguel, por siempre estar en contacto y compartir momentos muy agradables juntos.

A Marco Peña, aunque seamos tan diferentes y estemos lejos, gracias por todos estos años de amistad, de aprendizajes y diversiones. Que siga siendo así para toda la vida.

A la familia Monge, por tratarme con mucho cariño durante este tiempo, en especial a Jovita, Mamá Eva, Rubén, Marem y Pablo, gracias por aceptarme y permitirme conocerlos.

A mis hermanos, Andrés y Ángel, me siento muy orgullosa de ser su hermana, de compartir mis primeros recuerdos con ustedes, que el crecer y estar lejos no nos impida continuar compartiendo nuestras vidas.

A mi papá, por enseñarme cualidades para ser una buena persona y por preocuparse por mí durante todo este tiempo a pesar de la distancia, espero que estés orgulloso.

A mi mamá, por salir adelante, trabajando y estudiando arduamente, preocupándose de que tengamos una buena educación, vigilando siempre por mi bienestar y aunque me quede corta en palabras, te agradezco por darme la vida que tengo.

A mi nana Delia (QEPD) que diariamente recuerdo, esperando poder encontrarla en su mecedora tomando café con leche, espero que esté orgullosa de sus ojos lavados.

A Erandi, me quedo corta al agradecerte por tu amistad, cariño y apoyo durante este proceso, me siento muy contenta de que formes parte de mi vida y sé que tenemos un gran futuro por adelante, estando juntos.

A todas aquellas personas que de alguna manera ayudaron durante este proceso, ustedes saben quiénes son, muchas gracias.

Por último, a la naturaleza, nuestro trabajo es simplemente un reflejo de la complejidad de su sistema, el cual pocos llegan a apreciar, espero ser una de esas personas y enseñar a otros a respetarla y estimarla.

CONTENIDO

FORMATO DE APROBACIÓN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
CONTENIDO.....	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
II.1. Fundamentos Palinológicos.....	4
II.1.1. Morfología de los granos de polen y esporas.....	5
II.1.2. Ambientes de depósito favorables.....	8
II.1.3. Datación por ¹⁴ C.....	9
II.1.4. Primeros estudios palinológicos.....	10
II.2. Reconstrucción de Ambientes del Cuaternario.....	11
II.2.2. Investigaciones en México.....	14
II.2.3. Holoceno en el sur de Arizona y noroeste de México.....	15
II.2.4. Lluvia polínica actual.....	17
II.3. Palinología y Conservación.....	19
III. JUSTIFICACIÓN.....	21
IV. HIPÓTESIS.....	22
V. OBJETIVO GENERAL.....	23
V.1. Objetivos Específicos.....	23
VI. METODOLOGÍA.....	24
VI.1. Área de Estudio.....	24
VI.2. Registro de la Flora del Rancho.....	25
VI.3. Trabajo de Campo.....	26

VI.3.1. Elección del sitio de muestreo.....	26
VI.3.2. Extracción del sedimento.....	26
VI.4. Trabajo de Laboratorio.....	30
VI.4.1. Datación de los sedimentos.....	31
VI.4.2. Sub-muestreo del sedimento de ARI-1.....	31
VI.4.3. Sub-muestreo del sedimento de ARI-2.....	32
VI.4.4. Separación de la fracción orgánica-inorgánica.....	32
VI.4.5. Separación celulosa-esporopolenina por acetólisis.....	33
VI.4.6. Montaje de muestras.....	34
VI.4.7. Observación e identificación al microscopio óptico.....	34
VI.4.8. Elaboración del diagrama polínico.....	34
VII. RESULTADOS.....	36
VII.1. Flora del Rancho.....	36
VII.2. Descripción del núcleo de sedimento.....	36
VII.2.1. Estratigrafía del sedimento ARI-1.....	36
VII.2.2. Estratigrafía del sedimento ARI-2.....	38
VII.3. Datación de los Sedimentos.....	39
VII.3.1. Tasa de acumulación de los sedimentos.....	40
VII.4. Conteo e Identificación del polen.....	41
VII.5. Diagrama Polínico.....	42
VII.5.1. Zonas polínicas.....	43
VII.5.1.1. Zona A (87 cm a 55 cm).....	43
VII.5.1.2. Zona B (54 cm a 37 cm).....	45
VII.5.1.3. Zona C (36 cm a 15 cm).....	45
VII.5.1.4. Zona D (14 cm a 0 cm).....	45
VII.5.1.5. Zona E (ARI-1 25 cm a 0 cm).....	46
VIII. DISCUSIÓN.....	47
VIII.1. Flora del Rancho y Lluvia Polínica Actual.....	47
VIII.2. Edad, Tasa de Acumulación de los Sedimentos y Medio de Depósito.....	48
VIII.3. Preservación de los Granos de Polen y Esporas.....	50
VIII.4. Paleoambientes.....	51

VIII.4.1. Fase más antigua: de 0 a 600 años cal DC.....	51
VIII.4.2. Periodo de 600 a 1150 cal DC.....	53
VIII.4.3. Periodo de 1150 a 1750 cal DC.....	54
VIII.4.4. Periodo de 1750 a 1950 cal DC.....	55
VIII.4.5. Periodo de 1980 (?) a 2013.....	56
VIII.5. Manejo y Conservación de la Vegetación del Rancho El Aribabi.....	56
IX. CONCLUSIONES.....	59
XI. LITERATURA CITADA.....	61
XII. GLOSARIO.....	68

LISTA DE TABLAS

- Tabla I Datación de sedimentos de ARI-1 28 cm y de ARI-2, 21-22 cm, 29-30 cm, 40
50-55 cm y 80-87 cm. Laboratorio Beta Analytic Inc. Miami, Florida. pMC
= Percent modern carbon, AP = Antes del presente (1950), Cal = (años
calibrados), AC = (antes de Cristo), DC = (después de Cristo).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estructura de la pared del polen utilizando dos sistemas diferentes para clasificar su estratificación. Basado en Sáenz-Laín, 2004 y Punt et al., 2007.	6
Figura 2	Tipos de ornamentación de granos de polen observables con un microscopio óptico (enfoque alto en el centro y bajo en las orillas). Tomado de: Ortega-Rosas, 2000.	6
Figura 3	Clasificación de los tipos de polen basada en el tipo, número y posicionamiento de sus aberturas y dibujos en vistas polar y ecuatorial. Las líneas punteadas indican un diferente enfoque. Basado en Moore et al., 1991.	7
Figura 4	Localización del rancho El Aribabi (30°51'21.99''N, 110°39'53.99''O). Fuente: Mapa de Google Earth (2013).	25
Figura 5	Localización de los sitios ARI-1 (30°51'19.5"N, 110°39'48.6"O, 985 msnm) y ARI-2 (30°51'18.3"N, 110°39'31.6"O, 997 msnm). Fuente: Mapa de Google Earth (2013).	27
Figura 6	Fotografía de la ciénega actual (ARI-1), en la que se observan el grado de humedad y tipo de depósito. Tomada por: Mónica Olguín, Diciembre, 2012.	28
Figura 7	Fotografía de la ciénega antigua (ARI-2), actualmente inactiva aunque muestra un cierto grado de humedad. Tomada por: Mónica Olguín, Febrero, 2012.	29
Figura 8	Nucleador tipo Livingstone (Wright, 1991), con sus partes correspondientes, manubrio (incompleto en la figura), cuerda del pistón, cilindro hueco metálico, conector enroscado al pistón y pistón.	29
Figura 9	Esquema sintetizado del trabajo en laboratorio.	30
Figura 10	Estratigrafía del sedimento ARI-1. Se muestran las unidades estratigráficas, los diferentes tipos de sedimento y su granulometría correspondiente.	37
Figura 11	Estratigrafía del sedimento ARI-2. Se observan las unidades estratigráficas, los diferentes tipos de sedimentos y su granulometría.	38
Figura 12	Tasa de acumulación del sedimento de la ciénega El Aribabi en función de la profundidad (cm) y la edad calibrada por radiocarbono (años cal AP). La línea punteada indica la tasa de acumulación media.	41
Figura 13	Granos de polen al microscopio óptico Nikon Eclipse E200 objetivo 40x. 1: Conjunto de tres granos de <i>Artemisia</i> , 2: Conjunto de tres granos de <i>Chenopodiaceae</i> , 3: <i>Nyctaginaceae</i> t. <i>Boerhavia</i> , 4: <i>Poaceae</i> , 5: <i>Pinus</i> , 6: <i>Quercus</i> , 7: <i>Salix</i> .	42
Figura 14	Diagrama polínico (porcentajes) de la ciénega El Aribabi.	44

RESUMEN

A través del polen y esporas se estudian cambios en la cobertura vegetal que ayudan a reconstruir ambientes del pasado. Las ciénegas son sitios apropiados para estos estudios debido a su buena acumulación de sedimentos y ambiente de depósito húmedo. Rancho El Aribabi se encuentra a 35 km al NE de Ímuris, Sonora y cuenta con una ciénega con características apropiadas. Se extrajeron dos núcleos de sedimento, ARI-1 con edad basal ≤ 60 años y ARI-2 con una cronología ordenada partiendo de una edad basal de 1960 ± 30 AP. Los espectros polínicos de ARI-1 muestran una vegetación similar a la lluvia polínica actual del sitio en la parte ribereña, sugiriendo que no ha habido cambios patentes en los últimos 60 años. En cambio, los espectros polínicos de ARI-2 para los últimos 2000 años indican cambios ligeros en la vegetación reflejando el paso de pastizal húmedo (Poaceae y *Quercus*) a pastizal desértico (Poaceae, Chenopodiaceae, Asteraceae tipo Asteroideae, *Ambrosia*) hace aproximadamente 800 años. No se observó relación directa con el Periodo Cálido Medieval y la Pequeña Edad de Hielo debido a la localización del sitio con influencia tropical, que puede sugerir solamente cambios estacionales de humedad. En la región están registrados asentamientos humanos a partir de 1150 cal DC y particularmente a partir de 1697 cal DC con la fundación de la misión de Nuestra Señora del Pilar y Santiago de Cocóspera hasta 1837 lo que pudo haber causado cambios en el paisaje indicados por aumento en porcentajes de *Ambrosia* y Chenopodiaceae. La recuperación del ecosistema tras el abandono de los asentamientos y la disminución de la presión antrópica se ve favorecida por la práctica de conservación realizada por el propietario del rancho, siendo un área natural protegida privada desde 2007. La vegetación ribereña se ha mantenido sin cambios en su composición florística debido a la constante hidrológica.

I. INTRODUCCIÓN

La paleoecología es la ciencia que trata de descubrir y explicar los modos de vida y las relaciones entre los organismos fósiles y su ambiente (Brenchley y Harper, 1998). Los ecosistemas que se conocen actualmente son sólo una pequeña porción del total de los ecosistemas que han existido en la Tierra, los cuales han sido modificados en el tiempo (Lowe y Walker, 1997), debido a las respuestas individuales de los organismos a los cambios ambientales: éste constituye uno de los puntos de vista más importantes con el que ha contribuido la paleoecología a la biología y ecología.

Los organismos estudiados pueden ser micro o microfósiles; los microfósiles, consisten en restos diminutos (menores que 1mm en tamaño) y pueden ser de polen, diatomeas, esporas de hongos, zooplancton, entre otros, mismos que sólo se pueden observar a través del microscopio (Bignot, 1985), a diferencia de los macrofósiles.

La evidencia fósil, principalmente de micro o macrofósiles de plantas, que ha sido registrada en el Cuaternario (periodo más reciente del tiempo geológico), aporta datos de carácter ecológico y climático debido a la sensibilidad que presenta la vegetación hacia cambios ambientales, con dinamismo en su distribución, por lo que para conocer y entender la vegetación, es fundamental conocer las plantas del pasado y cómo se encontraban distribuidas (Traverse, 2007).

Una rama de la paleoecología vegetal es la palinología que se encarga de estudiar los granos de polen producidos por gimnospermas y angiospermas, además de las esporas producidas por pteridofitas, briofitas, algas y hongos (Moore et al., 1991). A través del polen y las esporas, se estudian los cambios en la cobertura vegetal ayudando a reconstruir ambientes del pasado (Pearsall, 2000).

Además, cada vez con mayor frecuencia, la palinología está incluyéndose en estudios ecológicos relacionados con la conservación, ya que proporciona información sobre cambios ambientales y de vegetación registrados en el pasado, permitiendo enfocar así los esfuerzos de conservación con más éxito (Jackson, 1997; van Leeuwen et al., 2008) e inclusive, para los últimos 5000 años la influencia del hombre en las comunidades vegetales ha sido detectada

por estudios palinológicos (Pearsall, 2000), constituyendo una variable más a considerar en el entendimiento de la composición de estas comunidades (Arroyo et al., 2008).

Los sitios más apropiados para este tipo de estudio deben presentar ciertas características particulares como una buena acumulación de sedimentos y un ambiente anaerobio y de depósito húmedo, para que se puedan conservar el polen y las esporas. Algunos de los sitios más comunes son los humedales, como pantanos o ciénegas (Hendrickson y Minckley, 1984), los cuales son buenos captadores del polen de las especies vegetales que crecen a su alrededor. La pared del polen es muy resistente, por lo que se puede preservar a lo largo de cientos y hasta millones de años.

Sin embargo este tipo de sitios en zonas áridas no siempre se encuentran disponibles, por lo que la información sobre la historia en el uso de la tierra ha llevado a explorar posibilidades de extraer evidencia polínica de tierras utilizadas recientemente y perfiles de suelo para la vegetación histórica (Horn et al., 1998).

La posición latitudinal que ha tenido el territorio mexicano a través de su historia geológica, los procesos de orogenia y otros factores modeladores del paisaje han hecho que tenga una gran diversidad de ambientes (González-Medrano, 2003). Así, el estado de Sonora cuenta con una gran diversidad de plantas, relacionada con la complejidad de su fisiografía, su clima y su historia geológica que resultan en una evolución muy variada entre la biota y el paisaje (Van Devender et al., 2010). En esta región, existen muchos lugares que a pesar de ser áridos, cuentan con los requisitos apropiados para realizar estudios sobre la vegetación del pasado.

En el norte del municipio de Ímuris, en Sonora, en la Sierra Azul se encuentra el rancho El Aribabi, el cual cuenta con una ciénega. Es un sitio dedicado al ecoturismo y la conservación, lo cual hace importante y necesario el conocer cómo era la vegetación en el pasado, antes de las actividades antropogénicas, para saber hacia dónde dirigir los esfuerzos de conservación. Esta localidad se sitúa entre el límite norte de la región subtropical y el límite sur de la región templada, lo que permite una rica mezcla de especies animales y vegetales de orígenes neotropical y neártico (Villaseñor-Gómez et al. 2009); además, su situación en el ecotono facilita que cualquier cambio de clima, ya sea mínimo, que siempre viene asociado a un cambio de vegetación, se refleje en la cobertura vegetal. Los sedimentos de la ciénega

constituyen entonces un buen registro potencial de la historia de la vegetación en respuesta a cambios climáticos.

El presente estudio se enfoca en el conocimiento de la vegetación actual y pasada de la ciénega El Aribabi y de los cambios climáticos y antrópicos que han determinado la cobertura vegetal actual en esa región.

II. ANTECEDENTES

II.1. Fundamentos Palinológicos

La paleoecología es el estudio de las funciones y relaciones de organismos ancestrales y sus comunidades, es un estudio multidisciplinario que involucra desde geoquímica, geología, paleoclimatología a paleoceanografía (Brenchley y Harper, 1998). Según Israde et al. (2002) las fluctuaciones ambientales que se infieren de una capa a otra de sedimento acumulado en un lugar pueden interpretarse como el resultado de cambios climáticos regionales, de movimientos tectónicos, de vulcanismo y en periodos recientes, de la acción humana.

La palinología es una rama de la paleoecología que involucra al estudio de los granos de polen y esporas, incluyendo organismos o partes de organismos, que tengan la misma composición química y que se encuentren dentro de un rango de tamaño del polen y esporas, desde poco menos de 10 μm a 150 μm (Bradley, 1999), tanto de épocas recientes como épocas geológicas del pasado (Islebe, 1999). Las plantas terrestres que incluyen a árboles, arbustos y hierbas, tanto angiospermas como gimnospermas, helechos y en un menor grado musgos y hongos, son las productoras de polen y esporas (Tschudy y Scott, 1969).

Para comprender el potencial de la palinología, es necesario conocer la importancia de la conservación del polen, ya que el grano de polen es portador de los gametos masculinos o sus células progenitoras en plantas vasculares (Knox, 1984) y durante su dispersión está expuesto a varios factores ambientales, como el viento y agua o vectores animales para finalmente interactuar con el pistilo, el sitio de los gametos femeninos.

La cantidad de polen producida es inversamente proporcional a la probabilidad de éxito en la fertilización: así las plantas que utilizan insectos u otros animales como agente de dispersión (especies entomófilas o zoófilas) producen cantidades de polen menores que las que utilizan el viento como agente de dispersión (especies anemófilas); también las plantas que se auto-fertilizan (especies autógamas o cleistógamas) producen cantidades más pequeñas de polen en comparación con las especies anemófilas (Bradley, 1999). Para poder llegar a su

destino, la célula polínica está protegida por una pared con una resistencia excepcional, formada por un polímero llamado esporopolenina, cuya forma, estructura y bioquímica han sufrido adaptaciones extraordinarias a lo largo del tiempo geológico y que, bajo condiciones favorables como un ambiente anaerobio, con pH bajo y una temperatura ambiente, le permite preservarse desde cientos hasta miles y millones de años (Traverse, 2007).

II.1.1. Morfología de los granos de polen y esporas

Para cada familia de plantas los granos de polen y esporas poseen una morfología específica (Bradley, 1999), facilitando su identificación al microscopio. Sprengel en 1793, fue el primero en reconocer los poros y surcos (colpos) en la pared del polen (Hesse et al., 2009). Los primeros granos de polen no eran tan diferentes morfológicamente de las isoesporas o microesporas ancestrales, ya que al momento de liberar los gametos germinaban como esporas (Chaloner, 1970). La primera clasificación exitosa utilizando características del polen fue realizada por John Lindley en 1830, principalmente utilizando especies de plantas orquídeas, en las que los granos de polen siempre están unidos en masas de varios tamaños, formas y grados de compactación que los protegen (Wodehouse, 1935).

La pared del polen incluye principalmente dos partes diferentes en composición química y morfología; éstas son intina y exina (Figura 1). La intina es de naturaleza celulósica. La exina en el polen, como su equivalente exosporio en esporas, está compuesta por esporopolenina, un biopolímero orgánico con gran estabilidad, por lo que se puede preservar (conservando sus propiedades y características morfológicas) en ambientes favorables durante un largo periodo de tiempo (Wiermann y Gubatz, 1992).

Debido a esos factores y a la variedad de morfologías que determinan, la mayoría de los granos de polen y esporas pueden ser clasificados por su tamaño, la ornamentación de su pared o exina (Figura 2), la estructura de dicha pared, así como por sus aberturas que pueden ser poros diferenciados, colpos (aberturas alargadas) o áreas adelgazadas (Figura 3) (Erdtman, 1943). Cabe mencionar que la forma de los granos es diferente en vista ecuatorial y polar (Hesse, et al., 2009).

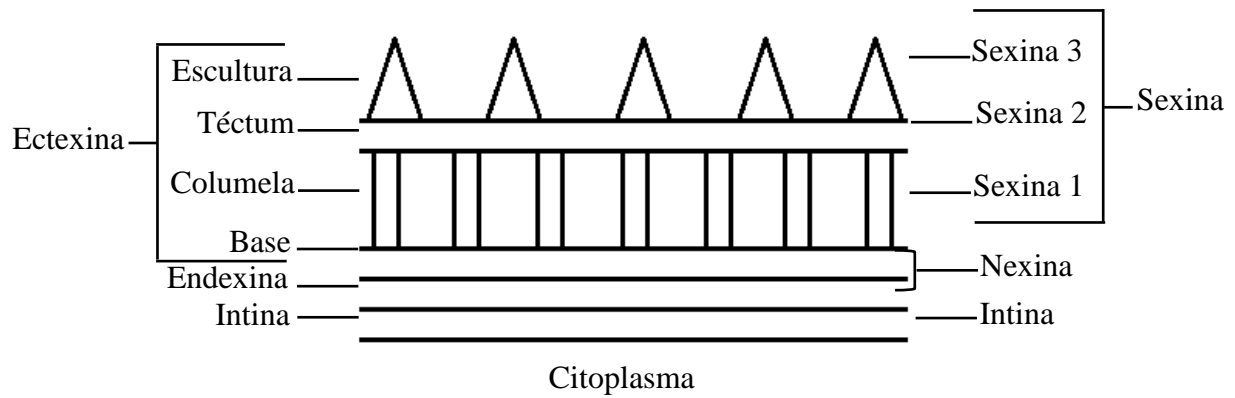


Figura 1. Estructura de la pared del polen utilizando dos sistemas diferentes para clasificar su estratificación. Basado en Sáenz-Lain, 2004 y Punt et al., 2007.

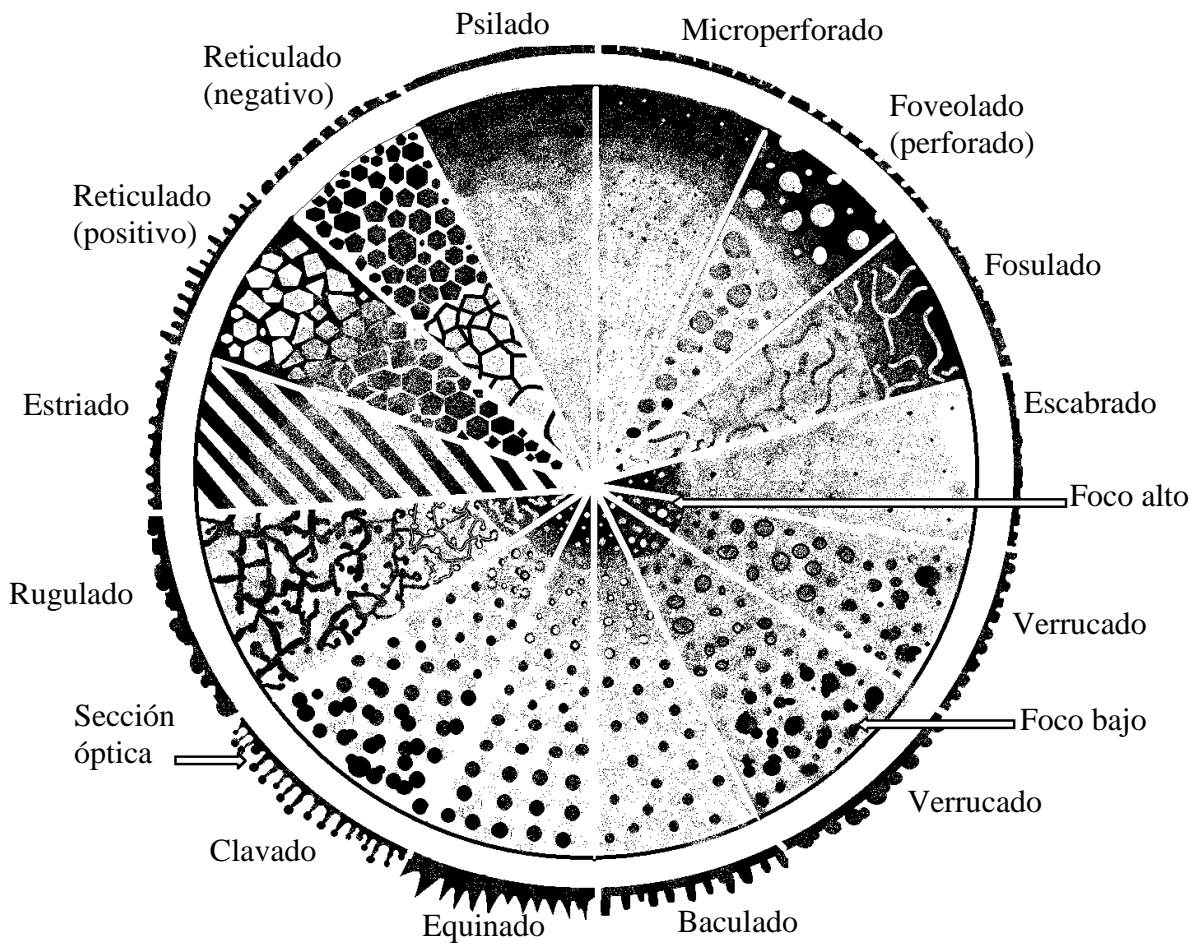


Figura 2. Tipos de ornamentación de granos de polen observables con un microscopio óptico (enfoque alto en el centro y bajo en las orillas). Tomado de: Ortega-Rosas, 2000.

	Di-		Tri-		Tetra-		Penta-		Hexa-		Poli-	
	polar	ecuatorial	polar	ecuatorial	polar	ecuatorial	polar	ecuatorial	polar	ecuatorial	polar	ecuatorial
Zonoporado												
Zonocolpado												
Zonocolporado												
Pantoporado												
Pantocolpado												
Pantocolporado												

	polar	ecuatorial					
Monocolpado			Tétrada		Poliada		
Monoporado							
Trileta 3-comisuras							
Monoleta			Diada				
Bisacado							
Inaperturado							

Figura 3. Clasificación de los tipos de polen basada en el tipo, número y posicionamiento de sus aberturas y dibujos en vistas polar y ecuatorial. Las líneas punteadas indican un diferente enfoque. Basado en Moore et al., 1991.

II.1.2. Ambientes de depósito favorables

Para que se conserve el polen es necesario que se sedimente en un medio con baja actividad microbiana (Moore et al., 1991) y anaerobio, donde no ocurra la oxidación que destruya los granos de polen (Burjachs, 2006), ya que durante el tiempo en que los granos de polen y esporas son transportados, pueden estar sujetos a ciertos factores los cuales pueden cambiar su distribución, concentración y estado de preservación (Tschudy, 1969).

Algunos de los sitios adecuados para el análisis polínico con fines paleoecológicos son los ambientes palustres o humedales que pueden ser pantanos, ciénegas o turberas. Pueden ser de agua dulce permanente con vegetación emergente y estar situados comúnmente cerca de lagos, ríos o estuarios (Cowardin et al., 1992); también se trabaja en ambientes marinos abiertos.

Es importante mencionar que los depósitos de polen y esporas en su mayoría están inmersos en otros materiales inorgánicos y orgánicos, como arcilla, arena, sales inorgánicas u otros materiales clásticos de la roca en formación y se deben considerar las influencias del proceso de sedimentación, la historia de la roca madre y atributos físicos y químicos de los mismos fósiles (Tschudy, 1969).

Dadas las condiciones anteriormente mencionadas, el muestreo palinológico en campo se da por métodos como la perforación y extracción de núcleos de sedimentos de donde se obtienen las muestras de polen. Deben poderse observar los procesos de depósito de cada capa de sedimento, como un registro de la evolución geológica y ambiental de la zona estudiada, los cuales están relacionados con una serie de eventos climáticos (Burjachs, 2006).

Para la extracción del sedimento se utilizan varios tipos de nucleadores, según la litología del depósito; para sitios húmedos como ciénegas o pantanos se pueden utilizar nucleadores manuales como el de tipo Livingstone (Wright, 1991), que consiste en un tubo metálico hueco que es llevado verticalmente a través del sedimento, con un émbolo que crea una presión negativa la cual impide la compresión y distorsión de la columna del sedimento (Moore et al., 1991).

II.1.3. Datación por ^{14}C

Este es uno de los primeros métodos radiométricos que se desarrollaron y a pesar de que solo es aplicable al final del Cuaternario, la datación por radiocarbono ha sido la técnica radiométrica más utilizada (Lowe y Walker, 1997). Esta técnica fue desarrollada por Willard Libby en 1946, recibiendo un premio Nobel en Química por su trabajo (Allegre, 2008). Originalmente la datación por radiocarbono se basó en cuatro suposiciones fundamentales: a) la producción de ^{14}C es constante a través del tiempo; b) la proporción $^{14}\text{C}:^{12}\text{C}$ en la biosfera y la hidrosfera está en equilibrio con la proporción atmosférica; c) es posible establecer la tasa de degradación de ^{14}C y d) existe un sistema cerrado desde la muerte del organismo (Lowe y Walker, 1997). Dicha tasa de degradación es expresada comúnmente como vida media, que es el tiempo requerido para la degradación de la mitad del contenido original de ^{14}C y fue medida en 5730 ± 40 años (Williams et al., 1994).

Para la datación por radiocarbono se necesita comprender cómo funcionan los seres vivos en el ciclo del carbono. Todos los organismos vivos absorben dióxido de carbono durante su vida y mientras el organismo siga vivo, el carbono utilizado para producir nuevos tejidos estará en equilibrio isotópico (es decir que existirá en una proporción isotópica similar) con el carbono en la atmósfera contemporánea. Al morir el organismo, el ^{14}C , que es un isótopo inestable, se desintegrará dentro de los tejidos del organismo, pero sin ser reemplazado. Por lo tanto, si se sabe la tasa de degradación del ^{14}C , la edad de la muerte puede ser calculada a partir de la actividad residual del ^{14}C (Manzanilla et al., 1995; Lowe y Walker, 1997). Para poder detectar dicha actividad del ^{14}C en los materiales orgánicos es necesaria la utilización de equipo extremadamente sensible. Esto es debido a que la ocurrencia natural del ^{14}C es tal que por cada millón de millones de átomos de ^{12}C en un organismo vivo, hay solamente un átomo de ^{14}C . Uno de estos métodos es la utilización de la espectrometría de masas con aceleradores de partículas (AMS por sus siglas en inglés) para contar el número de átomos de ^{14}C (en contraposición a sus productos de desintegración) en una muestra de material (Aitken, 1990; Bowman, 1990).

Los espectrómetros de masas son extensamente utilizados en física para detectar átomos de elementos específicos basados en diferencias de los pesos atómicos. Las partículas cargadas que se mueven en el campo magnético serán desviadas a un camino recto por un factor que se encuentra en proporción al peso atómico; entre más ligera la partícula, más grande será la

cantidad de desviación. El principio de la espectrometría de masas con acelerador de partículas es que no deben ser discriminadas las masas de ^{14}C y otros elementos de peso similar (ejemplo ^{14}N), pero si las partículas son sometidas a diferentes voltajes que les permitan viajar a muy altas velocidades, cantidades muy pequeñas de átomos de ^{14}C pueden ser detectadas en una muestra (Lowe y Walker, 1997).

Actualmente se sabe que existen variaciones en la producción de ^{14}C lo cual afecta el método de fechamiento; son debidas a varios factores como el flujo de radiación cósmica, la actividad solar, cambios en la intensidad del campo geomagnético y explosiones nucleares (Damon et al., 1978; Terasmae, 1984). Han sido reconocidas por medio de la comparación de resultados con datos de dendrocronología que ha proporcionado un método de corrección (fechas calibradas) para los datos de radiocarbono (Manzanilla et al., 1995), por lo que se hace su referencia como cal AP (años calibrados antes del presente) o simplemente AP si no han sido calibrados. Para hacer referencia a periodos históricos dentro de las discusiones, frecuentemente las fechas se refieren en una escala calendárica en años antes de Cristo (AC) y después de Cristo (DC), como recomendación de la Conferencia Internacional (Manzanilla et al., 1995).

II.1.4. Primeros estudios palinológicos

Estudiar la palinología de cierta región ayuda a comprender y reconstruir la vegetación del pasado e incluso sugerir lo que puede suceder en un futuro, debido a que las condiciones ambientales favorecen a cierto tipo de vegetación (D'Antoni y Markgraf, 1980). Es decir, que desde escalas microscópicas como la del polen y esporas, se puede indicar algún cambio climático por el que ha pasado o está pasando cierto hábitat.

Lennart von Post (1916) fue considerado el padre de la paleo-palinología por sus trabajos realizados a partir de la observación de fósiles de las turberas, en donde había presencia de polen conservando su pared protectora en perfecto estado, lo que le permitió poder identificar la planta a la que perteneció. Además propuso hacer un recuento de polen de distintas muestras estratigráficas de una turbera para conocer la evolución de la vegetación desde la formación de aquel depósito. Por lo anterior, se puede mencionar que los pantanos o ciénegas,

que alojan comunidades naturales productoras de enormes cantidades de detritus y que muchos organismos utilizan como refugio o sustento, son además lugares donde ocurre una sedimentación bajo condiciones favorables para la conservación de polen. También afirmó que, por medio del estudio del polen contenido en distintas capas de sedimento, se hace posible el seguimiento de antiguos cambios geográficos de plantas de un lugar a otro y de un tiempo a otro.

La vegetación está ligada a la actividad humana y una de las primeras aplicaciones del análisis de polen está ligada a la arqueología, enfocada a un estudio sobre la edad del Hierro, en el que se observaron grandes cantidades de polen relacionadas con el auge de la agricultura, principalmente hierbas introducidas por el hombre (Traverse, 2007). En otro estudio (Birks, 1973), se mostró por medio de análisis polínico la propagación del pastoreo en Escocia y la tala de bosques para los cultivos agrícolas. También se ha registrado la actividad humana en el sur de Arizona por los Indios que realizan quemas accidentales y deliberadas para realizar actividades agrícolas (Davis et al., 2002).

La palinología se ha convertido en una rama importante de la biología, ya que tiene aplicaciones en la taxonomía, estudios genéticos y evolutivos, realizándose desde principios del siglo pasado (Ibarra-Morales y Fernández-Galán, 2012), dando lugar a una serie de diversificaciones con aplicación en campos como la aeropalínología, bioestratigrafía, copropalinología, criopalínología, palinología forense, melisopalínología, paleopalínología, farmacopalínología, entre otras (Hesse et al., 2009).

II.2. Reconstrucción de Ambientes del Cuaternario

Para entender el comportamiento de la biodiversidad actual, según Volkheimer (2002), se debe conocer la evolución histórica, que se mide en centenares de millones de años y sólo se puede comprender con mayor aproximación si se conocen los mecanismos que produjeron los cambios en la biodiversidad durante la historia de la Tierra. Además, para períodos más recientes como el Cuaternario, existen técnicas paleoecológicas como la palinología, que brindan análisis taxonómicos y temporales a alta resolución, revelando variaciones en las comunidades tanto anuales como desde cien a miles de años (Willis et al., 2007). Esto viene

dado por la respuesta individual de las especies a cambios ambientales (Davis, 1963; Cushing, 1966; Webb et al., 1983).

El término Cuaternario fue propuesto por Desnoyers en 1829 e históricamente es reconocido por comprender todo el tiempo post-Terciario hacia el presente, comprendiendo las épocas del Pleistoceno (2.59 millones de años hasta hace 11 500 años) y el Holoceno (los últimos 11 500 años calibrados) (Leopold, 1969; Mayewski et al., 2004). Durante el Cuaternario el clima fue muy inestable, principalmente durante el Pleistoceno, conocido por sus periodos glaciales e interglaciales, a diferencia del Holoceno, período muy corto y eminentemente interglacial. En el mundo se han realizado muy numerosos trabajos donde se relacionan cambios climáticos y análisis polínicos durante el Cuaternario. El primer estudio enfocado en la historia de la vegetación fue realizado en Escandinavia a finales del siglo XIX, principalmente por los trabajos de Blytt y Sernander, botánicos que examinaron la estratigrafía y contenido microfósil vegetal de un pantano para desarrollar un esquema del cambio climático post-glacial (Bradshaw, 2000). En los sucesivos años, el número de trabajos se multiplicó de manera exponencial en todos los continentes. En los siguientes párrafos se seleccionaron algunos trabajos puntuales que muestran que el análisis polínico se ha aplicado en muy diferentes regiones y temáticas, partiendo del Pleistoceno al Holoceno.

Un trabajo realizado en sedimentos del Valle de la Muerte, California, Estados Unidos (Bader, 2000), aportó datos interesantes: entre 166 000 y 154 000 años el polen de *Ambrosia*, característica de un desierto cálido, permaneció en un 10% del total polínico, lo que sugiere que el clima en el Valle de la Muerte era más cálido que el resto de la región, que estaba entonces bajo condiciones glaciales, pero mucho más templado y húmedo que hoy en día. Esto parece coincidir con el incremento del volumen glacial del mundo y su repercusión en las condiciones atmosféricas globales.

En otro análisis polínico realizado en el noroeste de China, en la cuenca de Qaidam (Dexin y Robbins, 2000), la historia de los paleoclimas en esa región mostró algo similar, ya que las condiciones eran más cálidas y húmedas durante el Pleistoceno que durante el Holoceno y pudieron inferir que la vegetación moderna fue establecida durante el Holoceno, cuando prevalecieron condiciones templadas y secas debido al deshielo del Pleistoceno. Asimismo, pudieron inferir que el enfriamiento climático mostrado durante el Pleistoceno medio y tardío indicó que pudo deberse como resultado del elevamiento topográfico de la

cuenca de Qaidam y las montañas que la rodean, así como al elevamiento del altiplano Himalaya-Tibetano, lo que implica la importancia de relacionar el desarrollo de los mecanismos tectónicos con el cambio climático).

En un estudio en la parte del sureste de Estados Unidos (Baker, 1983), los registros fósiles de polen indican bosques dominantes en regiones ahora áridas, donde prevalecía *Pinus* en un 50-85% incluso en localidades de altitudes inferiores a 2000 metros hasta los 12 000 años AP (antes del presente), fecha a partir de la cual Chenopodiaceae y Asteraceae tomaron su lugar hasta la actualidad.

En otra investigación, se reportaron registros polínicos de un fango cerca del ecotono moderno selva-estepa en el sureste de Chile, donde el registro mostró un paisaje abierto dominado por arbustos pequeños y hierbas entre 12 600 y 10 800 años AP bajo condiciones húmedas y templadas. Los datos más recientes sugieren variaciones en la posición y/o fortaleza del margen sureño de los vientos del oeste, ligadas a una disminución de bosques y la expansión de *Rumex acetosella* en los últimos 200 años, especie exótica introducida por los europeos e indicativa de perturbaciones antrópicas (Villa-Martínez y Moreno, 2007). En las Islas de la Reina Carlota de Canadá, también se registró una alteración antrópica del paisaje: se realizó una investigación palinológica sobre modificaciones antrópicas y prehistóricas de la tribu Haida, así como perturbaciones forestales con un impacto ecológico por medio de la quema de tierras, lo que alteró dramáticamente la composición y estructura de los bosques regionales, además de estar ligados a una disminución de la extensión de los bosques durante condiciones más cálidas en el Periodo Cálido Medieval entre los años 1000 y 1300 de nuestra era y condiciones más templadas durante la Pequeña Era Glacial 1500-1850 años (Lacourse et al., 2007).

Para el Holoceno, en la región ártica de Canadá, fueron analizados el polen y los sedimentos de un lago en el cual los taxones más abundantes fueron Cyperaceae, *Salix*, *Picea*, *Pinus*, *Alnus* y *Betula*. Al reconstruir los ambientes las temperaturas fueron más cálidas hace 5700 años calibrados (5700 AP) y se tornaron templadas hacia los 3800 AP, concordando con esto otros estudios al reconstruir temperaturas en la zona ártica de Canadá y el cambio climático post-glacial (Zabenskie y Gajewski, 2007). También muchas áreas del poniente de Estados Unidos fueron más áridas durante el Holoceno de lo que son ahora; particularmente durante el Holoceno medio (8000-4000 AP). Durante ese tiempo, se presentaron extensas

áreas de dunas activas de arena, principalmente en las grandes planicies y cuencas intermedias de la región de las Montañas Rocosas (Dean et al., 1996).

II.2.2. Investigaciones en México

En México los datos disponibles de registros paleoclimáticos indican que a lo largo del Pleistoceno tardío y el Holoceno, hubo cambios climáticos significativos, aunque en una magnitud más pequeña que en otras partes del hemisferio norte donde el frío fue mucho más intenso (Metcalf et al., 2000). Estos cambios se registraron no solo a nivel continental; en las costas de México también se vio reflejado el dinamismo del Cuaternario, como en Baja California Sur donde los periodos glaciales durante el Pleistoceno, caracterizados por grandes acumulaciones de hielo en los polos, hicieron descender el nivel del mar en las costas no afectadas directamente por estos glaciales, y durante los periodos interglaciales, el nivel del mar aumentó en las mismas zonas litorales, lo que modificó la línea de la costa y así mismo la vegetación (Pedrín-Avilés et al., 1990).

Para el Holoceno en la zona costera del lado del Caribe Mexicano, también se obtuvieron evidencias de cambios, ya que a partir de los 2500-1500 años AP hubo una transición de condiciones húmedas hacia un periodo seco dentro del margen del bosque mediano tropical y el manglar, causando un desplazamiento de las especies y cambio del sistema de manglar con la dominancia de *Conocarpus erecta* (especie tolerante a largos periodos de sequía), en sitios donde antes predominaba *Rhizophora mangle*, afectando a toda la comunidad del mangle blanco (Torrescano e Islebe, 2006). Además se infirió que estos datos concordaron con el periodo de decline de la civilización Maya (Islebe y Sánchez, 2002), debido a las condiciones áridas que se desarrollaron.

Asimismo, algunas comparaciones con la cronología glacial en el continente sugieren que las pulsaciones glaciales en el centro de México no coincidieron en la forma con las de regiones más septentrionales de Norteamérica, las cuales se cubrían de nieve y hielo en los períodos fríos, a comparación de nuestro territorio y en general las zonas más tropicales, en donde pudieron haber estado controladas más por la precipitación (Bradbury, 1989).

Para los depósitos en el norte-centro de México durante el Cuaternario, Brown (1994), sugiere que éstos han sido pobremente entendidos, tal vez por la dificultad de encontrar zonas con condiciones apropiadas para estos estudios, aunque su aporte es muy significativo para nuestro entendimiento de los cambios climáticos pasados y la historia paleoambiental en lo que corresponde a la zona del Desierto Chihuahuense y el Bosque Perennifolio Madreño.

En el trabajo realizado por Metcalfe et al. (2000), se destacan cuestionamientos sobre el norte y centro de México relacionados con las condiciones durante el Último Máximo Glacial y la naturaleza de la transición del glacial a las condiciones interglaciales, donde analizaron datos del Desierto Sonorense, el Desierto Chihuahuense y el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano; con lo obtenido se concluyó que el Pleistoceno tardío, que fue significativamente más frío que hoy en día y se mostró una expansión significativa de taxones leñosos hacia el sur. Además a principios del Holoceno medio, se sugieren ambientes más cálidos y húmedos pero con tendencia hacia un aumento en aridez en el presente del presente y que las condiciones verdaderamente del desierto se ven reflejadas hasta los 4000 años AP.

Uno de los pocos sitios que han sido estudiados en el norte de México es Cuatro Ciénegas, donde Meyer (1973) desarrolló una reconstrucción paleoecológica del Pleistoceno tardío, interpretando un clima regional húmedo y frío durante el periodo glacial, pasando a un ambiente más cálido y seco en el post-glacial (Holoceno temprano), que representa los climas modernos durante el Holoceno y concuerda con el conocimiento general de la historia climática de regiones áridas y templadas de Norteamérica. Además, la región mostró grandes valores polínicos de pastos (Poaceae) y quenopodiáceas (indicador de zonas áridas), sugiriendo las formaciones de pastizales y matorral xerófilo a lo largo del Holoceno.

II.2.3. Holoceno en el sur de Arizona y noroeste de México

Con la mejoría climática relacionada con la instalación del Holoceno hace alrededor de 11 500 cal AP, el aumento de las temperaturas y el retroceso de los hielos a mayores latitudes, fue elevándose el límite altitudinal de la vegetación arbórea (Peñalba y Van Devender, 1998). En el sur de Arizona se encuentran datos que proveen evidencia de periodos áridos y húmedos a lo largo del Holoceno. En el suroeste de Arizona durante el Holoceno temprano, la dominancia

de Chenopodiaceae-Amaranthaceae sugiere condiciones de aridez, además está acompañada de posibles cambios sedimentológicos o periodos de desecación que no permitieron la conservación del polen (Martin, 1963).

Algunos datos sugieren que para el Holoceno medio el incremento drástico de las temperaturas de verano produjo un máximo en la precipitación de verano, tanto en el desierto Chihuahuense como en el Sonorense (Van Devender, 1990a,b). El registro climático en el manantial de Moctezuma en Arizona muestra condiciones tropicales en el Holoceno temprano, registrando un periodo de humedad, con presencia de taxones como *Quercus* y Poaceae, indicando una mayor precipitación que en la actualidad (Davis y Shaffer, 1992), incluso se cuenta con evidencia que argumentaba que entre 4000 y 5000 AP en la región fronteriza con México las condiciones eran más húmedas que secas en el verano, lo que se pudo confirmar por la presencia de polen de *Typha* y Cyperaceae, además el polen indicó que hubo una expansión de los pastizales y bosques en el valle de San Pedro, indicando un ambiente más húmedo que hoy en día (Mehringer et al., 1967).

Igualmente, las madrigueras de ratón del género *Neotoma*, que proveen de depósitos denominados “middens”, ricos en restos vegetales y animales que quedan preservados, proveen los primeros registros de vegetación y clima en la costa central del golfo del Desierto Sonorense, donde en el Holoceno temprano el clima era de inviernos húmedos y veranos templados indicados por la presencia de *Fouquieria columnaris* y *Viguiera laciniata* en laderas. Los matorrales desérticos relativamente modernos y los veranos más cálidos se establecieron en el Holoceno medio y algunos géneros generalmente de lluvias de invierno como *Ephedra* y *Eriogonum* desaparecieron del registro (Betancourt et al., 1990). Además, se sugiere que a mediados y finales del Holoceno, desaparecieron especies de plantas de los géneros *Juniperus*, *Quercus*, ocupando su lugar arbustos xerófilos como *Encelia farinosa*, *Carnegiea gigantea* y *Larrea tridentata*, posiblemente como consecuencia de un calentamiento (2 °C), especialmente en las estaciones frías (Betancourt et al., 1990).

La mayoría de los estudios que se han realizado para la región señalan que a partir de 4000 AP se establecen condiciones similares a las actuales (Betancourt et al., 1990; Van Devender, 1990b; Minckley et al., 2011). Sin embargo, se han registrado cambios de vegetación de menor intensidad en los últimos 2000 años.

En Nuevo México por medio del polen y microfósiles en middens se identificó la transición a arbustos desérticos modernos durante Holoceno tardío (2884 a 200 años AP), con el aumento de Asteraceae tipo Asteroideae, *Ambrosia* y *Ephedra*, disminuyendo Chenopodiaceae y *Artemisia* (Betancourt et al., 2001). En la región fronteriza de Estados Unidos y México también se analizaron middens que muestran el mismo comportamiento durante el Holoceno tardío (2190 años AP) con el establecimiento predominantemente de *Prosopis*, *Mimosa*, *Larrea*, Asteraceae y Poaceae, además de que se registra por primera vez la llegada de *Fouquieria splendens* a diferencia de otros estudios, sugiriendo una vez más el establecimiento de la vegetación moderna (Holmgren et al., 2003).

Existen otras evidencias en estudios de secuencias aluviales del Holoceno tardío, donde los ríos Santa Cruz y San Pedro (en Cananea, Sonora), mostraron que los arroyos en el suroeste de Estados Unidos se formaron como resultado del cambio de condiciones climáticas (inundaciones debido a un aumento de precipitación) y bióticas (Waters y Haynes, 2001).

El análisis polínico realizado en la ciénega de Camilo en Yécora, Sonora, muestra datos interesantes durante los últimos 1000 años, registrando un periodo húmedo con la abundancia de granos de polen de *Pinus* y esporas de Pteridofitas, en contraposición con otros periodos dominados por *Quercus*, como actualmente, indicando una mayor precipitación que la actual (Ortega-Rosas et al., 2008). De igual manera para la ciénega de Tonibabi en Moctezuma, Sonora, la mejor conservación del polen después de hace 1000 años sugiere el establecimiento de un ambiente más húmedo (Espinoza-Encinas, 2012 y datos sin publicar). Adicionalmente, en la ciénega de San Bernardino (Agua Prieta, Sonora), en el periodo de 1300 hasta 750 cal AP se señalan menores temperaturas y mayor precipitación (Minckley et al., 2011). Dada la localización del rancho El Aribabi, esperamos que pueda verse un indicador de estos cambios en el área de estudio, ya que se encuentra en una zona de transición a nivel botánico.

II.2.4. Lluvia polínica actual

Como se mencionó anteriormente, el análisis palinológico es una herramienta muy útil para la reconstrucción de climas y comunidades antiguas (Lozano-García, 1984) y uno de los pasos necesarios previo a este tipo de investigaciones es el realizar la interpretación de la lluvia

polínica actual. Esta consiste en los granos de polen de la vegetación actual de un lugar que, al ser dispersados por el aire y caer sobre la superficie del suelo (de ahí su denominación “lluvia”), quedan depositados en ésta como un conjunto de polen. La lluvia polínica se toma de muestras superficiales de suelo, musgos o bases de plantas. La relación entre porcentajes de polen en lluvia polínica y cobertura actual vegetal permite establecer la relación entre la vegetación antigua y los porcentajes polínicos de suelos del pasado (Lozano-García, 1984; Faegri e Iversen, 1989); de esta manera, por ejemplo, muestras de lluvia polínica actual obtenidas a elevaciones diferentes pueden ser utilizadas para reconstruir cambios altitudinales en la vegetación a través del tiempo (Salgado-Labouriau et al., 1978), lo mismo que para observar cambios de las condiciones naturales de un sitio por las actividades antropogénicas como la agricultura, deforestación o la introducción de plantas exóticas (Horowitz, 1992).

Algunas de las investigaciones sobre lluvia polínica realizadas en el desierto Sonorense y sus alrededores, muestran resultados interesantes, los cuales han sido utilizados para la reconstrucción de la vegetación. Hevly et al. (1965) realizaron dos transectos que incluían los tipos de vegetación característicos del desierto Sonorense, obteniendo una abundancia en las plantas herbáceas reflejando el patrón local de la vegetación, así como la representación de los taxones arbóreos ribereños y arbustivos característicos del área como *Prosopis*, *Celtis*, *Dodonaea*, *Populus*, *Juglans*, *Salix*, *Fraxinus* y *Sambucus*. Además mencionan que los cambios en los porcentajes polínicos deben ser controlados por los factores edáficos locales los cuales no necesariamente reflejan el clima regional. Otro estudio dentro del desierto Sonorense realizado por Orvis (1998) muestra un enfoque distinto, relacionando los porcentajes obtenidos de los taxones con los cambios de la vegetación ligados a cambios altitudinales en transectos desde el nivel del mar hasta la Sierra Madre Occidental y a perturbaciones antropogénicas en zonas áridas.

Cabe señalar que en nuestra área de estudio (rancho El Aribabi) ya se ha realizado un trabajo de lluvia polínica utilizando muestras superficiales de raíces, musgo y hojarasca sobre un transecto altitudinal partiendo del río Cócospa (987 msnm) (metros sobre el nivel del mar) hasta el pastizal con encino (1268 msnm) obteniendo una representación de la relación entre conjuntos polínicos actuales y vegetación actual que se localiza en el sitio y sus alrededores (Espinoza-Encinas et al., datos sin publicar).

II.3. Palinología y Conservación

Hay evidencias en aumento de que las actividades humanas están afectando al clima de todo el mundo y que los cambios climáticos inducidos antropogénicamente continuarán durante cientos de años (IPCC, 2001). Investigaciones paleoecológicas que indican la historia de los hábitats y su vegetación aportan registros de las respuestas que presentan los ecosistemas hacia algún cambio de clima o disturbio humano debido a las actividades agrícolas y ganaderas que ocasionan fragmentación del hábitat y por lo tanto de la vegetación, lo que hace fundamental el enfocar estos estudios hacia el manejo o mantenimiento de estos hábitats para su conservación (Willis et al., 2005).

Existen en el mundo varias organizaciones enfocadas hacia la conservación, que se basan en registros paleoecológicos para indicar respuestas de las especies (indicadas en su abundancia o distribución) hacia modificaciones climáticas en el pasado. La importancia de estos registros ecológicos radica en que representan un potencial de largo plazo, es decir, que se pueden aplicar medidas de manejo del ecosistema que regeneren las condiciones originales del sitio, lo que puede facilitar y mejorar el manejo de políticas para la conservación de la biodiversidad (Willis et al., 2007).

El fuego ha sido un factor importante para la composición de la vegetación y es un buen indicador de la salud de los ecosistemas, aunque a partir de 1900 el gobierno de Estados Unidos inició políticas para eliminar las quemadas afectando a la vegetación nativa de los bosques del Oeste, dando lugar a nuevas especies invasoras y poco tolerantes al fuego, además de permitir que las quemadas naturales sean más intensas cuando sucedan; en los pastizales también el pastoreo afecta la frecuencia del fuego permitiendo el paso a plantas leñosas en los pastizales naturales (Thompson et al., 2003). Asimismo en el suroeste de Arizona, con la llegada de los europeos, las ciénegas fueron transformadas en campos para la agricultura y el pastoreo y más recientemente se han utilizado como una fuente para el agua subterránea permitiendo el crecimiento de las comunidades en la región (Minckley y Brunelle, 2007).

En México en los últimos años se han realizado estudios palinológicos con un enfoque hacia la conservación, factor importante para mantener la vegetación nativa de los diferentes hábitats del país. Para Lozano-García (1989), la interpretación de cambios climáticos de los

últimos miles de años por medio de sedimentos lacustres (lagos) se complica debido a la creciente influencia de las comunidades humanas, sobre todo en los últimos 3000 años. En efecto, en general, la evidencia de disturbios causados por el hombre se encuentra a partir del Holoceno tardío. Un ejemplo de esto es el bosque nuboso localizado en el centro-oeste de México, hábitat que se encuentra extremadamente fragmentado, cubriendo 1% del territorio, esto como consecuencia de las actividades antropogénicas y el cambio climático. Lo anterior implica medidas críticas para su conservación, como la exclusión total de actividades agrícolas y de pastoreo para el mantenimiento a largo plazo del bosque nuboso (Figueroa-Rangel et al., 2010).

Las perturbaciones humanas también han sido evidentes en los registros polínicos en estudios realizados en la Sierra Madre Oriental del Centro de México, mostrando presencia de pastos del género *Zea* principalmente y de algunas Asteráceas. El registro en la Laguna Atezca documenta claramente las consecuencias de la conquista española, llevando a una reducción dramática en áreas de cultivo y la subsecuente expansión de la selva (Conserva y Byrne, 2002). Esto también se confirma con el registro paleoecológico del lago Pátzcuaro (cuenca de México) en el Holoceno tardío, donde el polen de *Zea* aparece regularmente e incrementa después de los 5000 años AP, implicando un impacto humano a mayor escala en la región (Watts y Bradbury, 1981).

Cabe mencionar que en un estudio en la región oeste central de México los bosques han variado en los últimos 4200 años como resultado de cambios climáticos y actividades antropogénicas. Es importante resaltar que los resultados mostraron un impacto humano mínimo, pese a la aparente presencia humana en los últimos 3400 años, ya que se ha registrado el uso de fuego (inducido y natural), lo que ha mantenido a la vegetación del bosque de pino. Así, pudieron constatar la importancia que tiene el fuego para la conservación de la región y cómo el manejo de actividades agrícolas a pequeña escala puede no dañar dramáticamente el área y además permitir la expansión del bosque de pino a largo plazo (Figueroa-Rangel et al., 2008).

III. JUSTIFICACIÓN

La ciénega El Aribabi es un lugar húmedo y por lo tanto favorable para la conservación del polen que, producido por la vegetación de la ciénega y sus alrededores, se depositó allí a lo largo de los últimos siglos. Su localización en el límite entre la vegetación tropical y la templada, refuerza el interés de desarrollar un estudio paleoecológico, ya que puede registrar los cambios sufridos por este límite de vegetación en el tiempo.

IV. HIPÓTESIS

Los sedimentos tienen una antigüedad de 500 a 2000 años, con lo cual quedan registrados el poblamiento del área y su antropización, además de los efectos de la pulsación climática denominada “Pequeña Edad de Hielo” de los siglos XIV al XIX, que en latitudes tropicales se traduce por cambios en la humedad ambiental. Estos cambios se reflejan a través del polen en cambios en la vegetación.

V. OBJETIVO GENERAL

Describir la historia de la vegetación de la ciénega "El Aribabi", localizada en el norte del municipio de Ímuris, norte de Sonora, en los últimos siglos.

V.2. Objetivos Específicos

Determinar la edad de la ciénega.

Identificar el contenido polínico de los sedimentos de la ciénega en las distintas épocas de depósito.

Establecer posibles cambios de vegetación de origen climático y antrópicos sucedidos en la región y usar las evidencias para pautas de conservación del área.

VI. METODOLOGÍA

VI.1. Área de Estudio

El rancho El Aribabi se localiza en el kilómetro (km) 35 de la carretera federal número dos Ímuris-Cananea (Figura 4), en las coordenadas 30°51'21.99" de latitud Norte y 110°39'53.99" de longitud Oeste, a una altitud de entre 900 y 1100 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la Sierra Azul que corresponde a una isla serrana en el Archipiélago Madreño en la zona de integración de cinco provincias biogeográficas (Van Devender et al., 2013). El terreno del rancho cubre una superficie de 13 000 hectáreas (ha) y su propietario, el Sr. Carlos Robles Elías, desde el año 2000 realiza actividades de conservación y mantenimiento de sus hábitats, por lo que desde 2007 el área del rancho fue declarada una Área Natural Protegida Privada por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (Sánchez-Escalante., 2011).

Sobre el rancho El Aribabi circula un tramo del río Cocóspera (4 km de longitud dentro del rancho) tributario del río Magdalena, el cual es perenne, presentando escasas fluctuaciones durante el año y desplazándose hacia el sur-suroeste, con su vegetación ribereña asociada, seguido de matorral xerófilo, pastizal natural y bosque de encino (Sánchez-Escalante, 2012). Junto al río Cocóspera surge la ciénega del rancho El Aribabi, que se encuentra cerca de la casona principal (Delgado-Zamora, 2013) a una altitud alrededor de los 1000 metros (m).

El rancho El Aribabi se encuentra en el área de transición establecida para flora y fauna entre la zona neotropical y la zona neártica, rodeado de sierras de altitudes comprendidas entre los 2000 y 2400 msnm. Al noroeste del rancho a 12 km se encuentra la sierra El Pinito, al noreste a 29 km, las sierras La Mariquita y La Elenita e igualmente al sur-sureste a 15 km se localiza la Sierra Azul (Figura 4). Algunos de los rasgos geográficos presentes son los lomeríos, cerros bajos, montañas, valles, cañones y arroyos (Sánchez-Escalante, 2011, Delgado-Zamora, 2013).

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (1998), la región del rancho El Aribabi, dada su localización geográfica, corresponde a una zona de

transición entre los climas BS_{1hw} , BS_{1kw} y BS_{0hw} , es decir, principalmente árido a semiárido y poco templado, con una temperatura media anual superior a los $18^{\circ}C$, con la temperatura del mes más cálido superior a los $18^{\circ}C$, con un invierno fresco con temperaturas inferiores a $18^{\circ}C$ y lluvias principalmente en el verano.

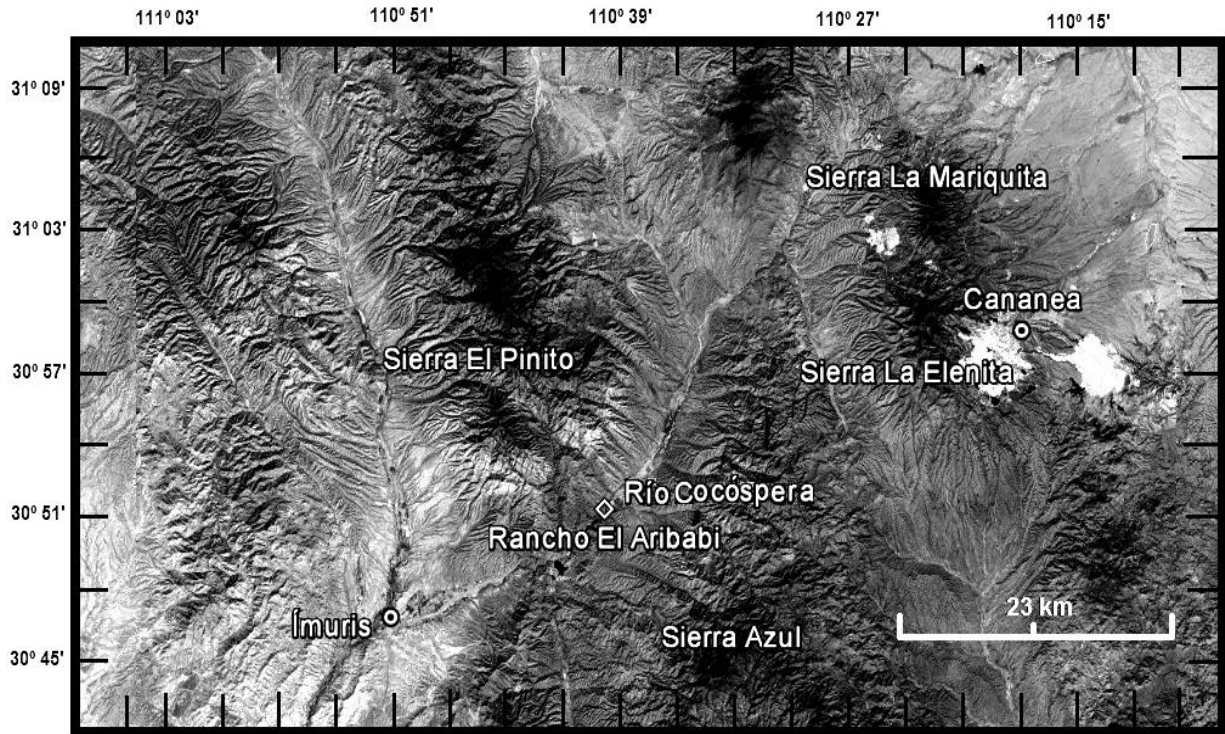


Figura 4. Localización del rancho El Aribabi ($30^{\circ}51'21.99''N$, $110^{\circ}39'53.99''O$). Fuente: Mapa de Google Earth (2013).

VI.2. Registro de la Flora del Rancho

Para conocer la vegetación del rancho El Aribabi se consultó el Herbario de la Universidad de Sonora (USON). Se consultó el informe final del proyecto titulado “Plantas de La Frontera (ecorregión 12.1.1.1) e inventario florístico del rancho El Aribabi, municipio de Ímuris, Sonora”. El proyecto duró casi tres años, partiendo de Junio de 2009 a Diciembre del 2012 y

tuvo como uno de sus objetivos elaborar un listado de la flora del rancho El Aribabi (Sánchez-Escalante, 2012; Delgado-Zamora, 2013). Además, los registros de los ejemplares recolectados durante este proyecto se encuentran disponibles para su consulta en línea a través del sitio web de SEINet/MABA (swbiodiversity.org). Las comunidades vegetales del rancho El Aribabi se describieron de acuerdo a los ecosistemas terrestres de Sonora (Martínez-Yrizar et al., 2010), de tal manera que los tipos de vegetación presentes en el rancho corresponden a bosque de río, matorral del desierto Sonorense (con elementos del límite oriental del altiplano de Arizona), pastizal de altura y bosque madreño representado por encinar y bosque de pino-encino.

VI.3. Trabajo de Campo

VI.3.1. Elección del sitio de muestreo

Se seleccionaron dos sitios de muestreo: ARI-1 y ARI-2 (Figura 5). Estos lugares debían tener sedimento con cierta humedad, de modo que el polen pudiera haberse conservado en el tiempo y que se pudiera extraer una muestra de sedimento por medio de un nucleador manual. El sitio ARI-1 (30°51'19.5" N, 110°39'48.60" O, 1000 msnm) se encuentra en la ciénega actual, con agua perenne, en la ribera de un pequeño arroyo que alimenta al río Cocóspera. El sitio ARI-2 (30°51'18.3" N, 110°39'31.6" O, 997 msnm) se localiza a 450 m de ARI-1 en dirección este-sureste, en el lugar donde antiguamente se encontraba la ciénega (Robles-Elías, 2012. Comunicación personal. Propietario del rancho El Aribabi. Magdalena, Sonora, México); actualmente no hay en el lugar una ciénega activa (Figura 5, Figura 6 y Figura 7).

VI.3.2. Extracción del sedimento

La extracción del sedimento se realizó con un nucleador de tipo Livingstone modificado por Wright et al. (1991), que consiste en un cilindro metálico hueco con 5 centímetros (cm) de

diámetro y 1 m de largo, dentro del cual se encuentra un pistón, que se maneja con un manubrio en el otro extremo (Figura 8).

El núcleo de sedimento obtenido de ARI-1 se colocó en un tubo de pvc cubierto con una bolsa de plástico para su transportación y almacenamiento. La extracción del sedimento de ARI-2 fue diferente, ya que la superficie era más seca y dura, lo que no permitía el paso del nucleador. Para facilitarlo, primero se extrajo con una pala la superficie (20 cm). Esta parte del sedimento se muestreó en el lugar a intervalos de 5 cm y las muestras se guardaron en bolsas de plástico ziploc, anotándose sus características correspondientes (sitio, número de muestra y profundidad en cm).

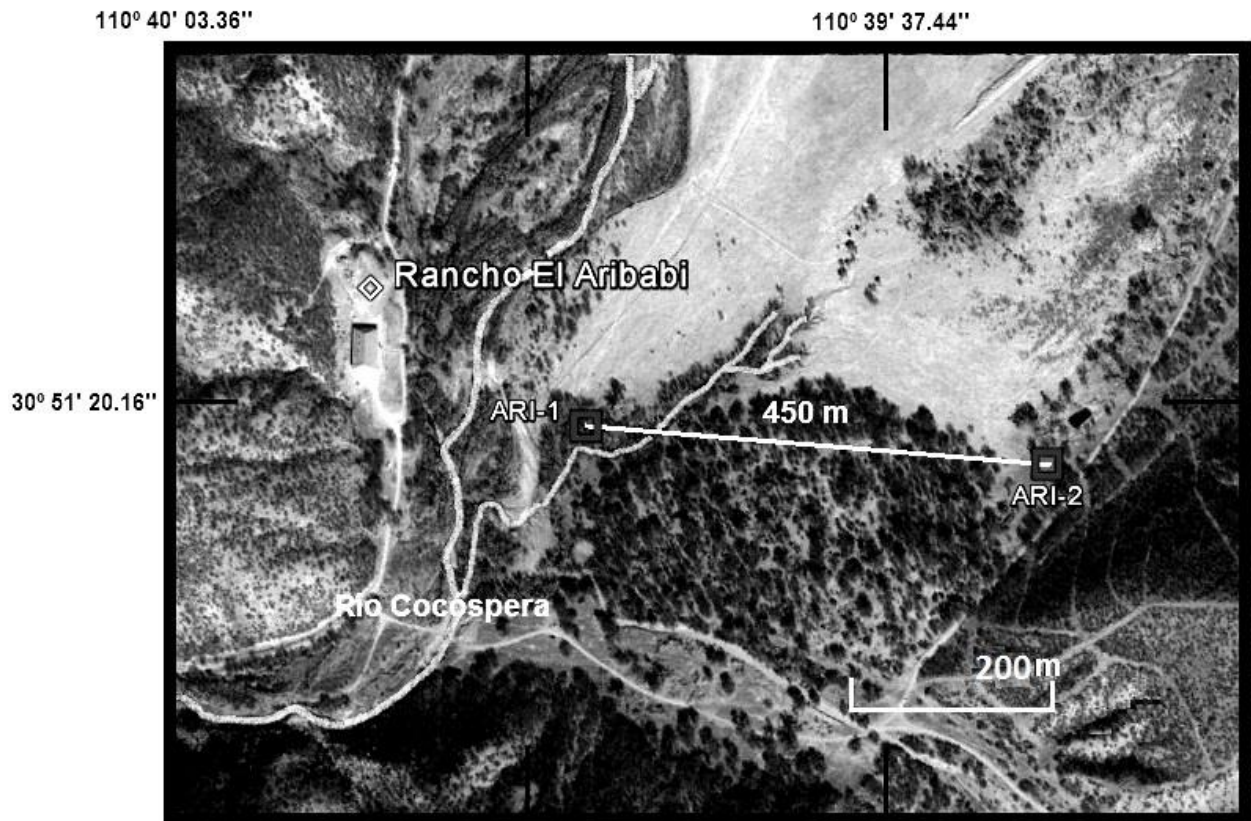


Figura 5. Localización de los sitios ARI-1 (30°51'19.5"N, 110°39'48.6"O, 985 msnm) y ARI-2 (30°51'18.3"N, 110°39'31.6"O, 997 msnm). Fuente: Mapa de Google Earth (2013).



Figura 6. Fotografía de la ciénega actual (ARI-1), en la que se observan el grado de humedad y tipo de depósito. Tomada por: Mónica Olgúin, Diciembre, 2012.

Después, se utilizó el nucleador tipo Livingstone, aunque no pudo alcanzar la máxima profundidad, por lo que se extrajo la parte que sí penetró, misma que se colocó en un tubo de pvc cubierta con una bolsa de plástico transparente. Para la parte más profunda, se utilizó entonces otro nucleador, éste más delgado, de 3 cm de diámetro y 1 m de largo, con el que pudimos extraer 37 cm más del sedimento. Este último núcleo fue cortado en el lugar a intervalos de 5 cm y las muestras así obtenidas se colocaron en bolsas de plástico ziploc anotándose sus características correspondientes.

Para todos los sedimentos se realizó su descripción litológica y granulométrica en campo y fueron transportados al laboratorio de Recursos Naturales Terrestres en el Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, donde se guardaron a temperatura ambiente.



Figura 7. Fotografía de la ciénega antigua (ARI-2), actualmente inactiva aunque muestra un cierto grado de humedad. Tomada por: Mónica Olgúin, Febrero, 2012.

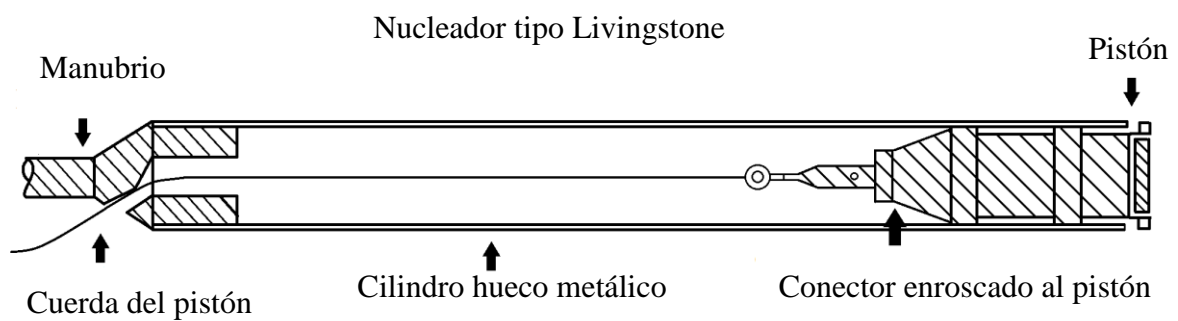


Figura 8. Nucleador tipo Livingstone (Wright, 1991), con sus partes correspondientes, manubrio (incompleto en la figura), cuerda del pistón, cilindro hueco metálico, conector enroscado al pistón y pistón.

VI.4. Trabajo de Laboratorio

El trabajo de laboratorio tiene como fin obtener los granos de polen y esporas de cada muestra estudiada y determinar la edad de los sedimentos. Primeramente se llevó a cabo el submuestreo de las muestras tomadas en campo y después se pasó al tratamiento químico descrito de manera general por Faegri e Iversen (1989), el cual es el tratamiento universal para análisis polínico. Este tratamiento químico consiste básicamente en utilizar ácidos fuertes y líquidos densos para eliminar el material orgánico (celulosa) diferente del material polínico (esporopolenina) y el inorgánico sin dañar los granos de polen y esporas, obteniendo así la concentración del polen para su posterior observación en el microscopio óptico. A continuación se explica a detalle cada procedimiento, así como un organigrama con los pasos principales (Figura 7).

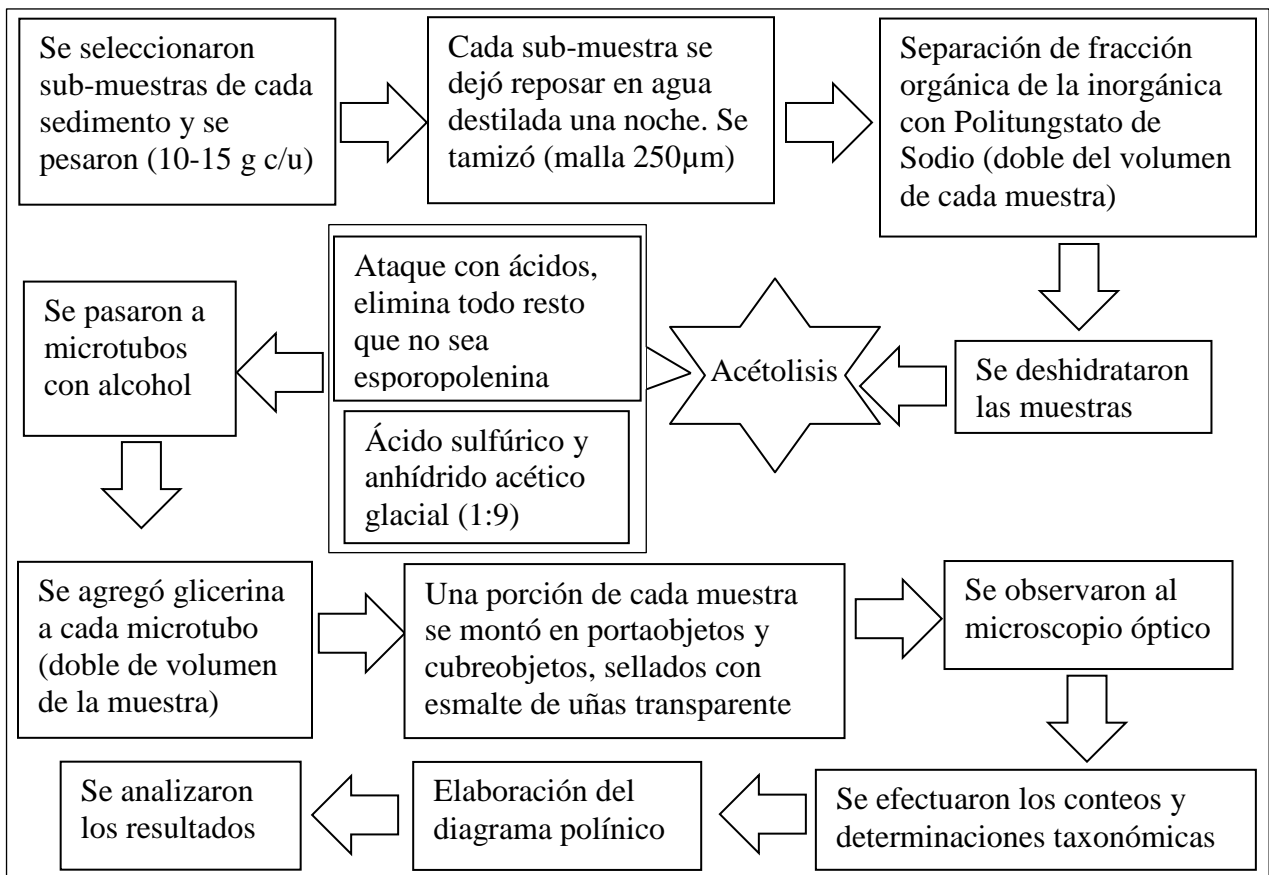


Figura 9. Esquema sintetizado del trabajo en laboratorio.

VI.4.1. Datación de los sedimentos

La datación de los sedimentos fue realizada por el laboratorio Beta Analytic Inc. en Miami, Florida (EUA), por medio del análisis de radiocarbono (^{14}C). Este análisis se basa en la ley de decaimiento exponencial de los isótopos radiactivos, por la cual, en el transcurso de un periodo de tiempo determinado que se denomina “vida media”, el número de átomos radioactivos se reduce a la mitad; en el caso del radiocarbono, la vida media, es de 5730 años (Lowe y Walker, 1997). Las muestras tomadas para la datación fueron del sitio ARI-1, profundidad de 27-28 cm y del sitio ARI-2, las profundidades de 21-22 cm, 29-30 cm, 50-55 cm y 80-87 cm.

Dichas fechas de radiocarbono se dan en años ^{14}C AP (antes del presente) tomando el presente desde 1950, debido a que existe un error alrededor de los últimos 60 años, por los efectos combinados de la actividad industrial y las explosiones atómicas los cuales han causado un cambio en la cantidad de ^{14}C atmosférico por lo que las muestras orgánicas modernas no son adecuadas como muestras de referencias de la actividad de radiocarbono y bajo las medidas estándar de la NBS (National Bureau of Standards de Estados Unidos), por medio de curvas de corrección o calibración un valor de 0.95 veces se considera como un equivalente a la actividad natural de ^{14}C de la madera en DC 1890 (efecto pre-industrial) y esto se corrige a DC 1950, el año referencia para todas las edades citadas en ^{14}C años AP (Houghton et al., 1990; Manzanilla et al., 1995; Lowe y Walker, 1997).

VI.4.2. Sub-muestreo del sedimento de ARI-1

Se seleccionaron sub-muestras del sedimento, la superficial (0 a 2 cm) y la base (25 cm). Cada sub-muestra fue pesada (entre 10 y 15 gramos (g)) con una balanza de laboratorio Ohaus tipo Scout Pro.

VI.4.3. Sub-muestreo del sedimento de ARI-2

Para el sedimento de ARI-2 el sub-muestreo se realizó siguiendo su litología y granulometría, de la siguiente manera. Primeramente se sub-muestrearon la parte superficial (0 a 5 cm) y la parte media (45-50 cm) de la secuencia, para saber si había presencia de polen en el sedimento y cambios con la profundidad. Después, para la parte superficial del sedimento correspondiente a los primeros 20 cm se tomaron sub-muestras cada 5 cm, excepto a los 15 cm, donde se tomaron solamente 3 cm debido a la pérdida en campo de 2 cm de sedimento, quedando la sub-muestra a los 15-18 cm; para el sedimento tomado con el nucleador Livingstone (de los 20 cm a los 47 cm) dadas sus características más orgánicas se sub-muestreó en intervalos de 2 a 3 cm. Debido al sedimento poco orgánico obtenido para la parte más profunda obtenida con el nucleador delgado (de los 47 cm a los 87 cm), se realizaron sub-muestreos cada 5 cm. Cada sub-muestra se pesó con una balanza de laboratorio Ohaus tipo Scout Pro obteniendo un peso de entre 10 y 15 g.

VI.4.4. Separación de la fracción orgánica-inorgánica

Para cada muestra escogida de los núcleos de sedimento de ARI-1 y ARI-2, se siguió el procedimiento de laboratorio siguiente.

Las muestras se dejaron remojando en vasos de precipitado con agua destilada (el doble de la muestra) durante 24 horas. Después las muestras se tamizaron con una malla de 250 micras (μm) para eliminar raíces grandes y material inorgánico de mayor tamaño.

El tratamiento que sigue consistió en una serie de centrifugaciones y decantaciones que se realizaron en una centrífuga modelo Biofuge Primo de Sorvall. El contenido de cada muestra fue colocado en tubos de nalgano de 50 mililitros (ml) de volumen, los cuales se centrifugaron durante 5 minutos a 3000 revoluciones por minuto (rpm) y se decantaron. Este paso se realizó varias veces dependiendo del contenido tamizado anteriormente, hasta concentrar todo el material de cada muestra en un tubo de centrífuga. Después, se agregó Politungstato de Sodio ($3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) a cada tubo, con el doble de volumen de la muestra, con el fin de separar la fracción orgánica de la inorgánica. Se preparó el Politungstato

de Sodio en una solución acuosa con una densidad de 2.0, superior a la densidad del polen. Los tubos fueron agitados por medio de un mezclador Thermolyne Vortex Maxi Mix II durante 5 minutos, para obtener muestras homogéneas, las cuales se centrifugaron por 20 minutos a 3000 rpm. Posteriormente, el sobrenadante fue recuperado (ya que es el que contenía el polen, debido a que es más ligero) y se desechó el precipitado donde se encontraba el material inorgánico. Para concentrar el polen del sobrenadante, se agregó agua destilada a cada tubo de modo que la densidad del medio fuera inferior a la del polen y se centrifugaron los tubos durante 10 minutos a 3000 rpm. Se recuperó el precipitado para seguir el tratamiento y también el sobrenadante que fue recuperado en un vaso de precipitado para su reutilización.

VI.4.5. Separación celulosa-esporopolenina por acetólisis

Este tratamiento químico se llevó a cabo solamente en las muestras de sedimento del sitio ARI-2, para eliminar la celulosa y poder concentrar de una manera más eficaz los granos de polen y esporas. Previamente al tratamiento todas las muestras se deshidrataron (eliminación de agua) para evitar alguna reacción del agua con el ácido sulfúrico a utilizar (Moore et al., 1991). Las 4 muestras iniciales se deshidrataron con ácido acético y para las muestras restantes se utilizó alcohol etílico. Las muestras se centrifugaron por 5 minutos a 3000 rpm y se decantaron.

Después se preparó una mezcla de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y anhídrido acético $[(CH_3CO)_2O]$ en una proporción de 1:9 (mezcla acetolítica), con el objetivo de destruir la celulosa y concentrar a los granos de polen y esporas para poder observarlos con mayor facilidad. Se agregaron 5 ml por tubo y se llevaron a baño María (80 °C) de 3 a 5 minutos. Se dejaron enfriar las muestras para luego centrifugar durante 3 minutos a 3000 rpm.

Se lavó con alcohol cada muestra (de 2 a 5 ml aproximadamente) para eliminar los residuos de ácidos centrifugándose por 5 minutos a 3000 rpm, se decantó y se volvió a repetir el mismo paso. Posteriormente los precipitados se colocaron en microtubos de 1.5 ml (rotulados con nombre de muestra) con alcohol, se centrifugaron por 5 minutos utilizando una microcentrífuga Galaxy ministar y después se decantaron.

VI.4.6. Montaje de muestras

A cada muestra se le agregó glicerina (el doble del residuo aproximadamente) para conservar y mantener las propiedades del polen y esporas, como la forma, estructura y escultura (Wodehouse, 1935; Moore et al., 1991). Utilizando una aguja enmangada, se tomó una parte del residuo y se colocó en un portaobjetos de 25x75 milímetros (mm), se cubrió con un cubreobjetos de 22x30 mm y por último, para su sellado se utilizó esmalte de uñas transparente. Cada muestra se rotuló indicando el sitio y nivel de la muestra, como por ejemplo: ARI-2 0-5 cm.

VI.4.7. Observación e identificación al microscopio óptico

Finalmente, se procedió a la observación al microscopio óptico, la cual consistió en hacer un barrido por líneas horizontales para cada lámina (correspondiente a cada muestra). Se hizo un conteo de 300 granos de polen aproximadamente por muestra, ya que es el número reportado en estudios que alcanza un nivel representativo de los taxones (Martin, 1963; Horowitz, 1992).

Para la identificación de los diversos granos de polen y esporas se utilizaron libros de referencia con imágenes (Markgraf y D'Antoni, 1978; Yulong y Jintan, 1990; Reille, 1992), así como la colección de referencia (palinoteca) de láminas de polen del noroeste de México del Laboratorio de Recursos Naturales Terrestres del DICTUS y la colección en línea de polen y esporas de la Isla Barro Colorado por parte de Roubik y Moreno-Patiño (2003) dentro de la página web del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (Smithsonian Tropical Research Institute en inglés).

VI.4.8. Elaboración del diagrama polínico

Una vez que se realizó el conteo y determinación de los granos de polen y esporas (taxones identificados) de cada lámina (cada muestra del sedimento), se procedió a la elaboración del

diagrama polínico. Primeramente, los datos del conteo se capturaron en una hoja de cálculo de Excel, considerando los taxones y número de granos identificados para cada lámina y con esto, se calculó el porcentaje de granos de polen y esporas de cada taxón identificado en relación al total de granos observados en cada lámina. Después, estos porcentajes se ingresaron al programa Tilia versión 1.7.16; este programa, desarrollado por el Dr. Eric Grimm, del Illinois State Museum, permite presentar un diagrama con los datos de polen y esporas así como otras variables como litología, edad, profundidad. Dentro del programa Tilia se utiliza también el programa CONISS (análisis de clúster), mismo que resulta muy indicado para paleoecología, ya que calcula las afinidades estadísticas entre los espectros polínicos, teniendo en cuenta asimismo su posición estratigráfica. Con ello se pudieron determinar las zonas polínicas (grupos de muestras con afinidad polínica a lo largo del tiempo), que se analizaron junto con la observación de la variación en las curvas de los taxones más representativos del diagrama polínico.

VII. RESULTADOS

VII.1. Flora del Rancho

El listado florístico del rancho El Aribabi incluye 456 especies de plantas vasculares repartidas en 87 familias y 279 géneros (Sánchez-Escalante, 2012). Además, en el rancho se identificaron diferentes ambientes, como lomeríos y planicies con matorral xerófilo, el bosque de encino a partir de los 1350 metros sobre el nivel del mar (msnm), la vegetación aislada de cañones y cañadas, el bosque de río (sobre el río Cocóspera) y el pastizal natural (Sánchez-Escalante, 2011).

El tipo de vegetación que se encuentra en la ciénega de El Aribabi consiste en el de bosque de río, con especies principales como sauce (*Salix gooddingii*), cúmaro (*Celtis reticulata*), aliso (*Platanus wrightii*), álamo (*Populus fremontii*), batamote (*Baccharis salicifolia*) y cola de caballo (*Equisetum hyemale*), por mencionar algunas.

VII. 2. Descripción del Núcleo de Sedimento

VII. 2. 1. Estratigrafía del sedimento ARI-1

El perfil estratigráfico del núcleo de sedimento de ARI-1 fue de 28 cm y se dividió en siete unidades, establecidas según los cambios observados de litología y granulometría (Figura 8).

Unidad A (28-23 cm): Arenas limosas de color café grisáceo, relativamente orgánicas con fragmento de carbón.

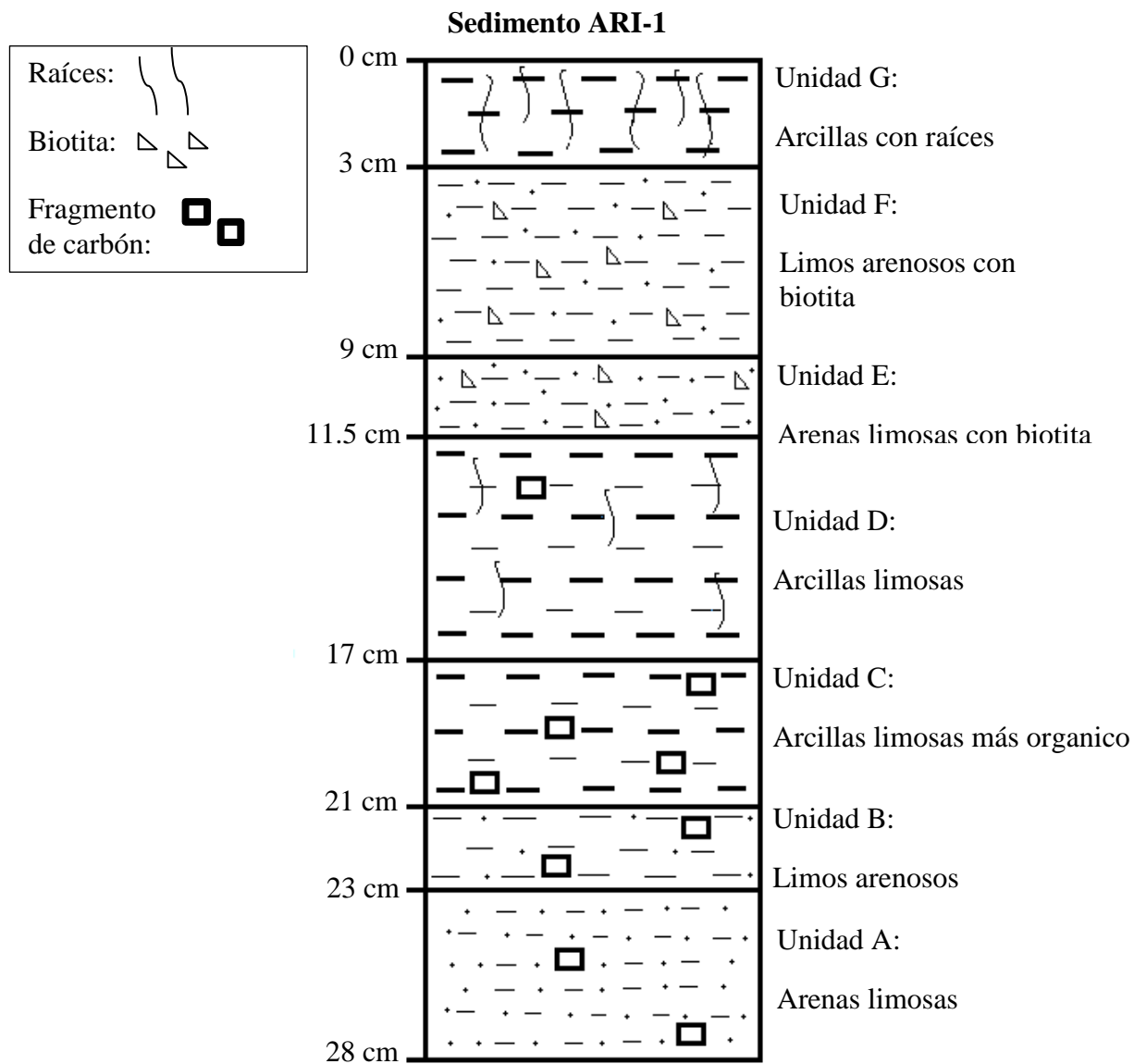


Figura 10. Estratigrafía del sedimento ARI-1. Se muestran las unidades estratigráficas, los diferentes tipos de sedimento y su granulometría correspondiente.

Unidad B (23-21 cm): Limos arenosos café oscuro, sedimento orgánico y con fragmentos de carbón y madera.

Unidad C (21-17 cm): Arcillas limosas café más oscuro, sedimento más orgánico, con fragmentos de carbón.

Unidad D (17-11.5 cm): Arcillas limosas café grisáceo, con raíces y un fragmento de carbón.

Unidad E (11.5-9 cm): Arenas limosas con abundante biotita.

Unidad F (9-3 cm): Limos arenosos café grisáceo, con biotita.

Unidad G (3-0 cm): Arcillas café oscuro, con raíces de Poaceae y Cyperaceae.

VII. 2.2. Estratigrafía del sedimento ARI-2

El perfil obtenido del núcleo de sedimento del sitio ARI-2 tuvo una profundidad de 87 cm y se dividió en siete unidades, según sus diferencias litológicas y granulométricas (Figura 9).

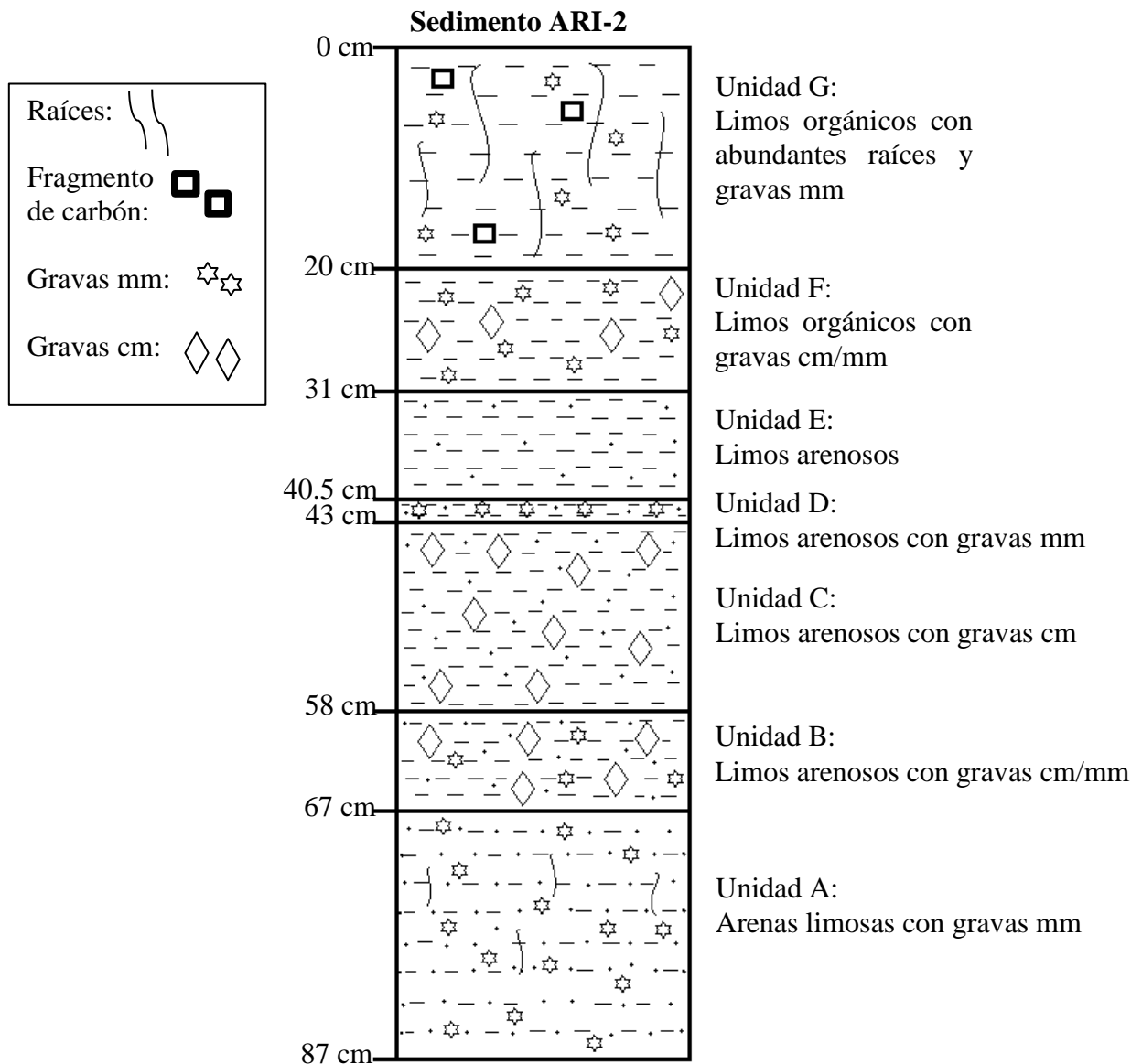


Figura 11. Estratigrafía del sedimento ARI-2. Se observan las unidades estratigráficas, los diferentes tipos de sedimentos y su granulometría.

Unidad A (87-67 cm): Arenas limosas de color café claro con fragmentos de gravas milimétricas.

Unidad B (67-58 cm): Limos arenosos café con gravas centimétricas a milimétricas y presencia de algunas raíces.

Unidad C (58-43 cm): Limos arenosos café grisáceo-oscuro con gravas centimétricas.

Unidad D (43-40.5 cm): Limos arenosos café oscuro con gravas milimétricas dominantes.

Unidad E (40.5-31 cm): Limos arenosos café, sedimento orgánico.

Unidad F (31-20 cm): Limos orgánicos café oscuro, con gravas milimétricas a centimétricas.

Unidad G (20-0 cm): Limos muy orgánicos café oscuro, con abundantes raíces y presencia de gravas milimétricas.

VII. 3. Datación de los Sedimentos

Para el sedimento del sitio ARI-1 nivel 27-28 cm se obtuvo una edad más joven que 60 años (Tabla I). El dato del laboratorio corresponde a 140 unidades pMC que, por las siglas en inglés de “percent modern carbon”, significan que en la muestra había más radiocarbono que lo que presentan las muestras modernas (140%) en lugar de menos cantidad que se espera por su decaimiento radioactivo. Esto se relaciona con el aporte de átomos radioactivos a la atmósfera a raíz de las pruebas nucleares que se desarrollaron a partir del año 1950, por lo cual la muestra debe ser más reciente que 1950. En consecuencia, la fecha indica que en el caso de ARI-1, se trata de una ciénega reciente.

En cuanto al sedimento datado del sitio ARI-2, se obtuvieron 4 fechas (Tabla I). De más reciente a más antiguo, para el nivel ARI-2 21-22 cm, la edad de radiocarbono obtenida fue de 190 ± 30 AP y la edad calibrada fue de 290 ± 30 cal AP, es decir una edad comprendida entre 1510 a 1600 cal DC (440 a 350 cal AP). La edad de radiocarbono para el nivel ARI-2 29-30 cm fue de 540 ± 30 AP y la edad calibrada fue de 630 ± 30 cal AP que corresponde a 1280 a 1400 cal DC (660 a 550 cal AP). El nivel ARI-2 50-55 cm obtuvo una edad de radiocarbono de 1250 ± 30 AP y al calibrarla la edad fue de 1340 ± 30 cal AP, que puede ser tomada desde

650 a 690 cal DC (1300 a 1260 cal AP), así como 750 a 760 cal DC (1200 a 1190 cal AP). Por último, la edad radiocarbono para el nivel basal ARI-2 80-87 cm fue de 1860 ± 30 AP, siendo la edad calibrada 1960 ± 30 cal AP pudiendo interpretarse desde 40 a 10 cal AC (antes de Cristo) (1990 a 1960 cal AP) y 0 cal AC a 80 cal DC (1950 a 1860 cal AP).

Tabla I. Datación de sedimentos de ARI-1 28 cm y de ARI-2, 21-22 cm, 29-30 cm, 50-55 cm y 80-87 cm. Laboratorio Beta Analytic Inc. Miami, Florida. pMC = Percent modern carbon, AP = Antes del presente (1950), Cal = (años calibrados), AC = (antes de Cristo) DC = (después de Cristo).

Sitio	Profundidad	No. de muestra	Edad ^{14}C	Edad cal ^{14}C	Años calendario
ARI-1	27-28 cm	Beta-325037	$140.5\pm0.5\text{pM}$ C*	$138.6\pm0.5\text{pMC}$ *	<60 años. 1950 Cal DC a 2011 cal DC *
ARI-2	21-22 cm	Beta-348763	190 ± 30 AP	290 ± 30 cal AP	1510 a 1600 Cal DC
ARI-2	29-30 cm	Beta-348764	540 ± 30 AP	630 ± 30 cal AP	1280 a 1400 Cal DC
ARI-2	50-55 cm	Beta-325038	1250 ± 30 AP	1340 ± 30 cal AP	650 a 690 Cal DC y 750 a 760 cal DC
ARI-2	80-87 cm	Beta-348765	1860 ± 30 AP	1960 ± 30 cal AP	40 a 10 Cal AC y 0 cal AC a 80 cal DC

VII. 3. 1. Tasa de acumulación de los sedimentos

Se estimó la tasa de acumulación (Figura 11) basada en la profundidad y la edad calibrada de radiocarbono, así como la tasa de acumulación media siendo 0.44 mm/año (línea punteada). De 1960 ± 30 hasta 1340 ± 30 cal AP hubo una acumulación de 32 cm, lo que indicó una tasa de acumulación de 0.59 mm/año. De 1340 ± 30 hasta 690 ± 30 cal AP, la tasa de acumulación fue inferior con 0.32 mm/año y disminuyó todavía más en el intervalo de 690 ± 30 a 290 ± 30 cal AP con tasa de acumulación de 0.2 mm/año. En los últimos 300 años aproximadamente (290 ± 30 cal AP al presente) de acuerdo a la tasa de acumulación del sedimento se observó que ha aumentado a más de 0.72mm/año.

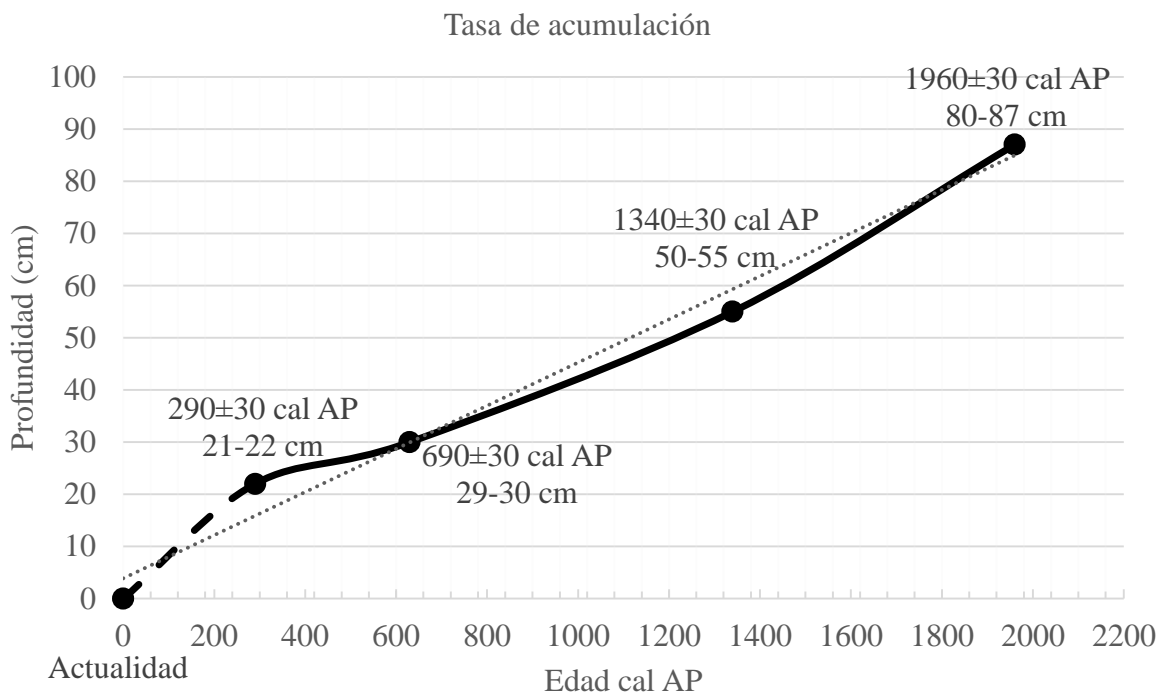


Figura 12. Tasa de acumulación del sedimento de la ciénega El Aribabi en función de la profundidad (cm) y la edad calibrada por radiocarbono (años cal AP). La línea punteada indica la tasa de acumulación media.

VII. 4. Conteo e Identificación del Polen

Para el sedimento del sitio ARI-1 se analizaron dos láminas con conteos de 300 granos de polen, debido a que la ciénega representó un sedimento muy reciente. Las muestras observadas pertenecen a los niveles de profundidad 0-2 cm y 25 cm (superior e inferior respectivamente).

En cambio, para el sedimento del sitio ARI-2 se realizó la observación de 20 láminas con conteos de 300 granos de polen como mínimo para los niveles 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-18 cm, 20-21 cm, 23-24 cm, 26-27 cm, 29-30 cm, 33-34 cm, 36-37 cm, 39-40 cm, 42-43 cm, 45-50 cm, 50-55 cm y 80-87 cm. Sin embargo, algunas muestras mostraron muy mala conservación del polen y solamente se pudieron contabilizar 150 granos para los niveles 55-60 cm, 60-65 cm, 70-75 cm y 75-80 cm; incluso para el nivel 65-70 cm solamente se pudo

efectuar un conteo de 100 granos de polen, debido a la escasez de granos en buen estado de conservación.

Se identificaron en total 38 taxones de los cuales 7 son taxones arbóreos (*Celtis*, *Juniperus*, *Pinus*, *Populus*, *Prosopis*, *Quercus* y *Salix*), 25 son taxones de arbustos y hierbas (*Ambrosia*, Apiaceae, *Artemisia*, Asteraceae tipo Asteroideae, Asteraceae tipo Cichorioideae, Asteraceae tipo *Cirsium*, *Calliandra*, Chenopodiaceae, *Cylindropuntia*, *Dodonaea*, Fabaceae tipo *Dalea*, Fabaceae tipo Faboideae, *Gillia*, *Gomphrena*, Lamiaceae, *Loeselia*, Malvaceae tipo *Sphaeralcea*, cf. *Mimulus*, Nyctaginaceae t. *Boerhavia*, *Plantago*, Poaceae, Polemoniaceae tipo *Linanthus*, Ranunculaceae, *Thalictrum* y *Trixis*), 2 taxones de plantas acuáticas (Cyperaceae y *Typha*) y 4 taxones de pteridofitas *i. e.* esporas (*Anemia*, *Monoleta*, *Selaginella*, *Trileta*).

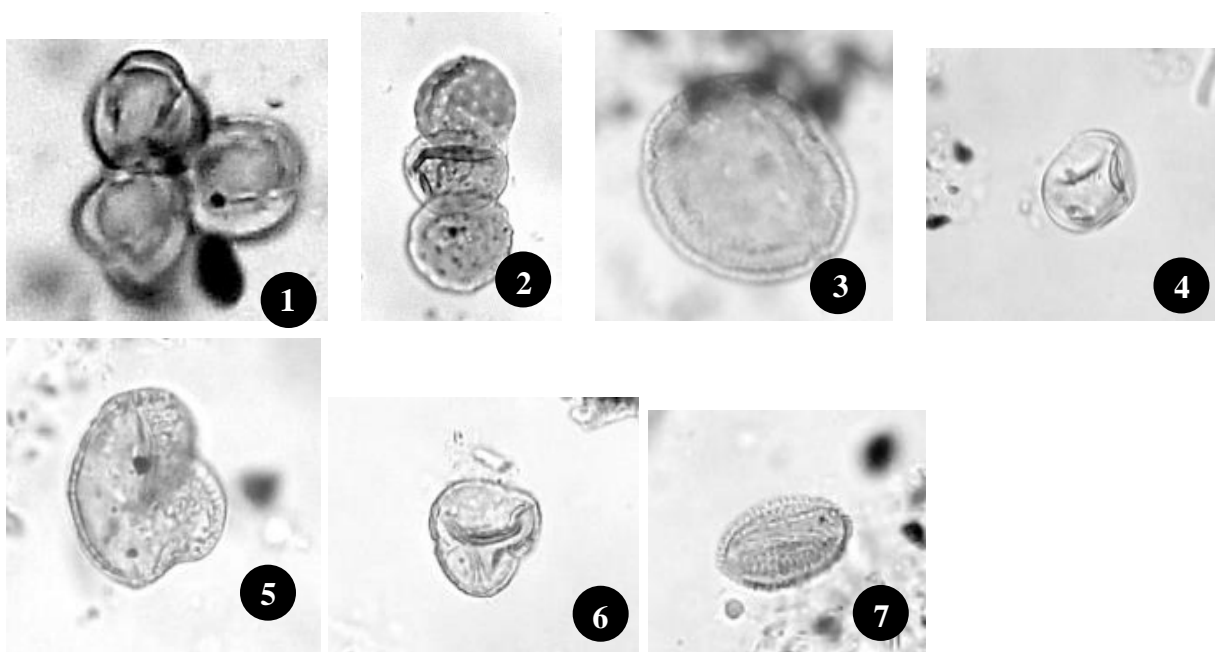


Figura 13: Granos de polen al microscopio óptico Nikon Eclipse E200 objetivo 40x. 1: Conjunto de tres granos de *Artemisia*, 2: Conjunto de tres granos de Chenopodiaceae, 3: Nyctaginaceae t. *Boerhavia*, 4: Poaceae, 5: *Pinus*, 6: *Quercus*, 7: *Salix*.

VII. 5. Diagrama Polínico

Dentro del diagrama polínico realizado con el programa Tilia, se representan en ordenadas las muestras analizadas y en abscisas, sucesivamente partiendo del lado izquierdo, la edad de las

muestras datadas (años calibrados ^{14}C), después la profundidad de cada nivel (en cm), la litología correspondiente, los taxones identificados de polen y esporas clasificados según su forma de crecimiento en árboles, arbustos y hierbas, acuáticas, esporas y microfósiles no polínicos, el total polínico observado para cada nivel, el análisis clúster (CONISS) y por último, las diferentes zonas establecidas (Figura 10).

VII. 5. 1. Zonas polínicas

Las zonas definidas (ver apartado VI. 4. 7) dentro del diagrama polínico fueron 5 (zona A, zona B, zona C, zona D y zona E), establecidas a partir de la parte basal (87 cm) hasta la parte superficial (0 cm) que a continuación se describen detalladamente.

VII. 5. 1. 1. Zona A (87 cm a 55 cm)

La zona A mostró una gran cantidad de Asteraceae tipo Asteroideae (35-40%) y Chenopodiaceae (18-45%), así como la presencia del género *Quercus* (entre 5 y 10%) y Poaceae (5-12%) que representan la vegetación de pastizal con encinar. En un menor porcentaje se identificaron los taxones Cyperaceae (5-9%) y monoletas (4-7%) indicativos de condiciones húmedas, además de una gran cantidad de microfósiles no polínicos (50-150% del total de polen y esporas). Otros taxones observados fueron Nyctaginaceae tipo *Boerhavia* (4%), *Salix* (1-8%), *Artemisia* (3%) y presencia de *Ambrosia* (menos de 1%) y *Pinus* (<1%).

Cabe mencionar que los niveles de esta zona se encuentran en mal estado de conservación y los granos estaban muy deteriorados, específicamente en los niveles 65-70 cm y 75-80 cm, donde los conteos fueron interiores a 150 granos y además, representan anomalías en los porcentajes de los taxones dominantes, principalmente en un aumento en Chenopodiaceae (más del 40%) y una disminución significativa en cuanto a Poaceae (3-%), *Salix* (0.5%) y *Quercus* (2%), lo cual se ve reflejado dentro del análisis CONISS obteniendo distancias estadísticas muy grandes con respecto a los espectros contiguos, por lo que no se les acordará el mismo valor en el análisis e interpretación.

VII. 5. 1. 2. Zona B (54 cm a 37 cm)

Dentro de la zona B (a partir de los 54 cm a los 37 cm) se observó una mejor conservación del sedimento y por lo tanto de los granos de polen identificados, continuó el polen de la vegetación de pastizal con encinos, observando un nivel constante *Quercus* (5-15%) y Poaceae (10%), también monoletas (4-7%) y Cyperaceae (3-5%), acompañados de taxones locales con mayor presencia como *Salix* (11%) y la poca presencia de *Artemisia* (4%) y *Pinus* (<1%). Además se mostró una pequeña reducción en los porcentajes de Asteraceae tipo Asteroideae (30%) y el polen de Chenopodiaceae mantuvo 15 al 30%. Los microfósiles no polínicos disminuyeron considerablemente (50-100%).

VII. 5. 1. 3. Zona C (36 cm a 15 cm)

La zona C (a partir de los 36 cm a los 15 cm) mostró de nuevo una disminución de Asteraceae tipo Asteroideae (20-25%) y un aumento progresivo de Chenopodiaceae (20-40%), *Salix* (10-18%), *Artemisia* (5-7%) y *Ambrosia* (7%). Siguió una presencia constante de Cyperaceae (5-10%), aunque disminuyó la presencia de *Quercus* (3-10%), Poaceae (5-12%) y monoletas (2-3%). Además, se observaron nuevos taxones como *Trixis* (5%), Malvaceae tipo *Sphaeralcea* (1-3%), Asteraceae tipo Cichorioideae (2%), Fabaceae tipo Faboideae (1%), *Prosopis* (1%), Asteraceae tipo *Cirsium* (<1%), *Dodonaea* (menos de 1%), Lamiaceae (<1%) y *Typha* (<1%), además de la reaparición del taxón Nyctaginaceae tipo *Boerhavia* (< 1%). También aumentaron las frecuencias de esporas tipo Triletas (3%) y *Selaginella* (2%), así como una reducción considerable de los microfósiles no polínicos (35-80%).

VII. 5. 1. 4. Zona D (14 cm a 0 cm)

En la zona polínica D (desde los 14 cm a los 0 cm) que agrupa los 3 espectros polínicos más recientes de ARI-2, se observó poca diversidad de taxones y un decrecimiento en los porcentajes de la mayoría de los taxones observados como Asteraceae tipo Asteroideae (15-

20%), *Quercus* (5-10%), Poaceae (5%), *Salix* (10%), Cyperaceae (4%), monoletas (4%) y *Artemisia* (1-3%), ligado al aumento de Chenopodiaceae (35-60%), taxón relacionado con el matorral xerófilo en la lluvia polínica (representación polínica de la vegetación actual). Por otra parte, en el nivel más superficial se registra el porcentaje mayor de *Prosopis* en toda la secuencia, con un 3%. Además se observa por primera vez el género *Cylindropuntia* con menos de 1%. Asimismo, los microfósiles no polínicos mostraron porcentajes modestos, hasta un 60%.

VII. 5. 1. 5. Zona E (ARI-1 25 cm a 0 cm)

Esta zona integra a los dos niveles de ARI-1 (25 cm y 0-2 cm), que representan a las condiciones actual y subactual. En esta zona, se observó *Cylindropuntia* (menos de 1%) y se mantuvo *Prosopis* en un 2% así como *Quercus* (3-7%). Además se obtuvo un aumento de *Artemisia* a un 4%, *Salix* (15-18%), Cyperaceae (9-15%), monoletas (9%) y Poaceae (7%), acompañados de nuevos taxones como *Juniperus* (2%), *Plantago* (3%), *Thalictrum* (2%) y algunos asociados a zonas ribereñas como *Populus* (1%), *Celtis* (menos de 1%) y Apiaceae (3%); asimismo, ligados a aridez como *Gomphrena* (3%) y *Calliandra* (menos de 1%).

VIII. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del análisis del diagrama polínico así como la estratigrafía, edad de los sedimentos y la vegetación actual, permiten interpretar los diferentes escenarios de vegetación, paleoambientes y paleoclimas, en los cuales se encontraban el rancho El Aribabi y sus alrededores durante los últimos 2000 años aproximadamente, además de aspectos históricos relacionados con asentamientos humanos, así como el manejo y conservación del sitio.

VIII. 1. Flora del Rancho y Lluvia Polínica Actual

La flora del rancho (Sánchez-Escalante, 2012) junto a la lluvia polínica actual (Espinoza-Encinas et al., datos sin publicar) son la base para la interpretación del análisis polínico del pasado, correspondiente a la ciénega de El Aribabi. La vegetación actual en el rancho El Aribabi (Sánchez-Escalante, 2012), es diversa; el matorral xerófilo es dominante con especies comunes como el sahuaro (*Carnegiea gigantea*), mezquite (*Prosopis velutina*), gatuño (*Mimosa aculeaticarpa* var. *biunficera*), frutilla (*Condalia correlli*), bachata (*Ziziphus obtusifolia*), ocotillo (*Fouquieria splendens*), siviris (*Cylindropuntia thurberi*) y nopales (*Opuntia* spp.). Alrededor de los 1200 msnm comienza la transición al matorral micrófilo-rosetófilo (*P. velutina*, *Lysiloma watsonii*, *Yucca baccata*, *Nolina microcarpa* entre otros) y al bosque de encino el cual se encuentra hasta los 1350 msnm, compuesto por cuatro especies de encino: *Q. emoryi*, *Q. arizonica*, *Q. oblongifolia* y *Q. toumeyii*. El pastizal natural también se encuentra desde las partes bajas, a partir del matorral xerófilo hasta las partes altas en el bosque de encino. Por último la vegetación ribereña se encuentra a lo largo del río Cocóspera, con especies como el álamo (*Populus fremontii*), sauce (*Salix gooddingii*, *S. bonplandiana*, *S. taxifolia*), fresno (*Fraxinus velutina*), aliso (*Platanus wrightii*), entre otras (Sánchez et al., 2012).

El estudio de la lluvia polínica actual del rancho El Aribabi (Espinoza-Encinas et al., datos sin publicar) se basó en la toma de muestras superficiales en un transecto altitudinal partiendo del río Cocóspera a los 987 msnm hasta la transición del pastizal desértico al pastizal húmedo a los 1268 msnm. Por medio de los resultados obtenidos del análisis polínico actual de las muestras superficiales, los autores pudieron diferenciar los tipos de vegetación que se localizan actualmente en el sitio y sus alrededores. Siguiendo la clasificación descrita por Rzedowski (2006), se identificó primeramente el bosque de galería, que se sitúa a partir de los 980 hasta los 985 msnm, con taxones abundantes como *Salix* (44%), Cyperaceae (18%) y Chenopodiaceae (26%) y en menor porcentaje *Celtis* y *Populus*.

El matorral xerófilo, localizado a partir de los 1000 msnm hasta los 1235 msnm, se caracterizó por porcentajes de Chenopodiaceae-*Amaranthus* altos (<70%), característicos de zonas áridas, y *Ambrosia* (20%), así como porcentajes bajos de *Prosopis* (3%) debido a su tipo de dispersión polínica (zoófila). *Prosopis* tiene antecedentes de no mostrar elevados porcentajes dentro del análisis polínico, por lo que tiende a estar subrepresentado (Martin, 1963). A partir de los 1200 msnm se observa por medio del polen la transición hacia el pastizal húmedo (*Quercus* 23%) el cual llega hasta los 2040 msnm, junto con polen de taxones como *Pinus* (20%), Asteraceae tipo Asteroideae (15%), *Juniperus* y *Fraxinus*. Cabe mencionar que Poaceae se encontró dentro de todos los puntos muestreados con porcentajes entre los 5-10%. Lo anterior, además de constituir una representación de la vegetación actual, permitió interpretar el diagrama “paleo-polínico” de la ciénega El Aribabi en cuestión de paleovegetación.

VII. 2. Edad, Tasa de Acumulación de los Sedimentos y Medio de Depósito

Dentro de la tasa de acumulación para las edades 1960±30 cal AP hasta 290±30 cal AP que va disminuyendo (0.59-0.2mm/año), parece ser un comportamiento común en medios como las ciénegas el cual puede deberse a varios factores como mayor precipitación e infiltración de agua, así como cobertura vegetal densa proporcionando mayor presencia de materia orgánica, debido a condiciones establecidas con mayor humedad, un menor flujo de energía y de erosión (Minckley y Brunelle, 2007; Minckley et al., 2009). Para la parte superficial de 290±30 cal AP

hasta la actualidad, el aumento de la tasa de acumulación puede ser un indicativo de que probablemente la ciénega no se encontraba activa, comenzando a formarse un suelo con algunas raíces sin experimentar compresión ya que no está cubierto por otro sedimento.

La estratigrafía descrita de los sedimentos de ARI-1 que corresponden a la ciénega actual, indica que el sedimento presentó condiciones de depósito favorables para la buena conservación del polen ya que se trata de material predominantemente fino, con presencia de una gran cantidad de materia orgánica y humedad constante. Además, se encontraron en pequeña proporción arenas que muestran que hubo momentos de mayor relación entre la ciénega y el arroyo tributario del río Cocóspera junto al que se encuentra. En la ciénega de San Bernardino en Agua Prieta, Sonora, se observaron relaciones similares en el que los monzones de verano ocasionaron el transporte de material originado arroyo arriba y determinó las variaciones litológicas de limos, arcillas y arenas, al igual que el aumento de la superficie de la ciénega durante esos episodios (Minckley y Brunelle, 2007).

La estratigrafía de los sedimentos de ARI-2 mostró diferencia con respecto a la del sitio ARI-1; esto puede ser debido principalmente a que la ciénega ARI-2 no se encuentra actualmente en funcionamiento, mostrando poca humedad y materia orgánica, en la Figura 6 y Figura 7 se pueden observar sus diferencias. Dentro del intervalo de 40 cal AC a 400 cal DC (87 a 67 cm) hubo una mayor presencia de gravas (milimétricas y centimétricas) y arenas indicando una mayor energía del medio y erosión local, debido posiblemente a fenómenos climatológicos, como una mayor precipitación. Lo anterior también se evidenció con la poca presencia de materia orgánica y dentro del espectro polínico con niveles pobres en granos de polen.

Desde los 300 a 1280 cal DC aproximadamente (67 cm a 31 cm) dominaron los limos arenosos, señalando un ligero cambio hacia el establecimiento del medio de depósito con condiciones de ciénega, reflejándose además, en el mejoramiento gradual del estado de conservación de los granos de polen observados al microscopio.

En el intervalo entre 1280 hasta 1600 cal DC (30 cm a 20 cm) se depositó un sedimento de limos orgánicos, con condiciones favorables para la conservación de los granos de polen, mostrando una mayor humedad y mayor contenido en materia orgánica, por lo que se intuye que la ciénega se encontraba activa hasta hace 400 años.

Cabe destacar que para la porción superficial de ARI-2 correspondiente a los años 1600 cal DC hasta el presente (20 cm a 0 cm) la secuencia cambia de limos arenosos a arenas limosas, por lo que se infiere una modificación en las condiciones del sitio, ya que actualmente la tasa de depósito se encuentra bajo otro régimen de sedimentación, la cual es mayor debido a la inactividad de la ciénega (Figura 11) sin aporte hidrológico continuo.

Hace alrededor de 30 años el cauce del río Cocóspera tenía una mayor amplitud, incluso no permitía el cruce de un lado a otro, por lo que había un mayor afluente y condiciones ribereñas más extensas en el área, con lo cual probablemente en el área de ARI-2 estuviera todavía funcional la ciénega (Robles-Elías, C. 2012. Comunicación personal. Propietario del rancho El Aribabi. Magdalena, Sonora, México).

VII. 3. Preservación de los Granos de Polen y Esporas

La preservación de los granos de polen y esporas, como la de cualquier fósil, depende de una serie de factores dados por las condiciones durante la sedimentación, como la humedad y la ausencia de oxígeno. Estos dos factores se requieren para que se conserven los granos y solos o combinados, afectan el estado de preservación de los fósiles y su recuperación final (Tschudy, 1969). Es importante resaltar que los estudios palinológicos reportados para zonas áridas son escasos (condiciones no favorables de conservación) y complejos en su entendimiento, ya que muestran un comportamiento diferente a los ambientes templados, en los que a pesar de no tener una gran variedad de taxones identificados lo obtenido llega a servir para interpretar la historia de la vegetación (Horowitz, 1992), mismo que se muestra dentro de este estudio, ya que en total se observaron pocos taxones (a comparación de estudios en zonas templadas), así como muestras muy pobres en algunos niveles.

Dentro de las muestras observadas, principalmente de ARI-2, hubo una gran variabilidad en cuanto a la preservación de los granos. En las partes profundas, desde los 87 cm hasta los 50 cm, se presentaron una gran cantidad de granos semi-destruidos, alcanzando un 40% del total observado; esto se asocia a la composición litológica de los sedimentos, los cuales fueron principalmente arenas con mayor presencia de gravas milimétricas y centimétricas, así como poca humedad y materia orgánica, reflejándose en un entorno árido. A partir de los 50 cm

hasta los 20 cm, los granos se encontraron en buen estado, su identificación fue más sencilla y se encontró una mayor diversidad de tipos polínicos, lo que ligado a una litología con material más fino (limos arenosos) y más orgánico, sugiere que se depositaron en condiciones más húmedas (con una tirante de agua) y de menor energía, que favorecieron su conservación y permite señalar dos fases ambientales distintas entre 1960±30 y 1340±30 cal AP y después de 1340±30 hasta 290±30 cal AP. Aunque los sedimentos fueron orgánicos en los últimos 20 cm hasta la superficie, la identificación de los granos fue difícil, debido a que se presentaron granos en malas condiciones, contabilizándose un 20% del total observado. Esto es debido a varios factores como el que se trata de un sedimento superficial con menor compactación y mayor aireación, por lo que hay una mayor oxidación, aumentada por la existencia de una red de raíces, menor humedad porque la ciénega ya no es activa y que es propenso a la acumulación de material de cuenca arriba.

VIII. 4. Paleoambientes

VIII. 4. 1. Fase más antigua: de 0 a 600 años cal DC

Al inicio de la secuencia de sedimentos, entre los años 0 y 600 cal DC (años de nuestra era), la región estaba predominantemente cubierta de pastizal húmedo, dados los porcentajes relativamente elevados de Poaceae, *Quercus* (considerado como el árbol más notorio) y Asteraceae tipo Asteroideae, similares a los de los espectros polínicos actuales de lugares más altos en el rancho, con esa vegetación, dado que la lluvia polínica actual registra el pastizal húmedo a partir de los 1200 msnm (Espinoza-Encinas et al., datos sin publicar). Por consiguiente se puede inferir una mayor polinización, dominancia o mayor cercanía de esta vegetación al sitio ARI-2, que se encuentra a los 1000 msnm. Actualmente, los encinos predominan las cimas de los cerros con más de 1200 msnm, pero se extienden hacia elevaciones inferiores por las cañadas que los protegen de la fuerte insolación estival y las heladas en invierno. Hace aproximadamente 2000 años, probablemente también siguiendo el curso de las cañadas, se extendió el área cubierta por los encinos, lo que sugiere que el clima

era más favorable, menos cálido que en la actualidad, aunque no fue un período de mucha humedad, ya que la conservación del polen es mala en este período, teniéndose niveles muy pobres en granos de polen y granos muy deteriorados. Estas condiciones se enmarcan en un contexto climático general durante el Holoceno tardío similar en la región en dicho período, Van Devender (1990) sugiere mayores heladas (últimos 4000 años) para la región de las montañas de Puerto Blanco (suroeste de Arizona) debido a la ausencia de arbustos xerófilos, sensibles a heladas. Davis et al. (2002), por medio del análisis de fuegos en ciénegas del sureste de Arizona mencionan que se destacaron las condiciones húmedas desde hace 3000 años debido a la expansión de los taxones de ambientes húmedos.

Para Sonora, en la ciénega de Camilo en Yécora, por medio del análisis polínico se infirió una pulsación fría hace 2620 AP, seguido de un ambiente árido y cálido (Ortega-Rosas, 2003), y en la ciénega de Tonibabi en Moctezuma, donde las condiciones actuales son de matorral tropical, no se tienen registrados granos de polen ni palinomorfos para la edad de 2320 ± 30 AP, pero si se tiene indicio de diatomeas que muestran un ambiente salino que pudo corresponder a un periodo de desecación, afectando la conservación del espectro polínico (Espinoza-Encinas, 2012).

La parte correspondiente al Desierto Sonorense, por medio de registros fósiles de middens se indica el desarrollo del matorral xerófilo moderno a partir de los 4000 años AP, en el inicio del Holoceno tardío, además de permitir el desarrollo de plantas subtropicales alcanzando su rango más norteño *Prosopis*, *Acacia* y *Mammillaria* (Van Devender, 1987). En las montañas de Puerto Blanco el Holoceno tardío (alrededor de 1790 años AP) es caracterizado por la llegada de más especies subtropicales del Desierto Sonorense (Van Devender et al., 1990).

Cabe mencionar la diferencia que se observó en el estudio de la Laguna Babícora en el límite del desierto Chihuahuense, ya que se registra un periodo árido seguido por una erosión extensiva en el área hace 3000 y 2000 AP (Ortega-Ramírez, 1998), además hay que tomar en cuenta que la interpretación de los registros sedimentarios de humedales en zonas áridas es complicado, debido a la naturaleza transicional de estos sistemas (Orvis, 1998; Minckley et al., 2009).

VIII.4.2. Periodo de 600 a 1150 cal DC

Entre los años 600 a 1150 cal DC (hace 1340 ± 30 y 850 cal AP) se siguen registrando porcentajes relativamente elevados de *Quercus* y Poaceae, que pueden indicar condiciones templadas como las anteriores y probablemente un poco más húmedas, esto por la buena conservación que muestran los sedimentos y el polen, así como por las curvas estables de los distintos taxones, ligadas a esa misma conservación. Como en el período anterior los porcentajes de *Quercus* señalan el desarrollo del pastizal húmedo y localmente la humedad se traduce en el desarrollo de la ciénega, bordeada de *Salix*, árbol que empieza a ser más abundante. Las muestras de middens correspondiente a 990 y 980 años AP en las montañas de Puerto Blanco reflejan igualmente un periodo húmedo que pudo haber sido de corta duración (Van Devender, 1987).

Así también en Sonora una señal climática fría se registró hace aproximadamente 1000 años en la Sierra Madre Occidental (ciénega de Camilo, Yécora), con altas frecuencias de *Pinus* acompañado de *Quercus*, que se atribuyen a una vegetación de bosque templado de pino-encino, con un alto grado de humedad (Ortega-Rosas, 1998). En la ciénega de Tonibabi (Moctezuma, Sonora), se indica una mejor conservación del polen ligada a una mayor humedad alrededor de hace 1000 años (Espinoza-Encinas, 2012; Espinoza-Encinas, datos sin publicar). Algo similar es observado en la ciénega de San Bernardino en Agua Prieta Sonora, durante 1300 hasta 750 cal AP en la que se presenta un porcentaje elevado de Poaceae (10%) por los suelos saturados, permitiendo el establecimiento de Cyperaceae y *Typha*, que pueden sugerir mayor frío y precipitación (Minckley et al., 2011).

El Periodo Cálido Medieval durante los años 700 a 1300 aproximadamente, además de la Pequeña Edad de Hielo de 1350 a 1850, han sido reconocidos ampliamente en Europa, ya que se cuenta con registros históricos multidisciplinarios, tanto naturales como documentos escritos; un ejemplo es la expansión histórica de los vikingos a tierras septentrionales, debido al Periodo Cálido Medieval, así como la desaparición de viñedos y mercados realizados en el congelado río Támesis en Inglaterra durante la Pequeña Edad de Hielo (Uriarte-Cantolla, 2003). En la secuencia de Aribabi, la señal climática no es fácil de relacionar con estas variaciones. En regiones con influencia tropical, estas oscilaciones climáticas no tienen un patrón único y parecen traducirse más bien en cambios estacionales en la humedad (Lozano et

al., 2007), lo que puede ser el caso de la oscilación medieval en El Aribabi. Por otra parte, la región de El Aribabi tuvo asentamientos humanos entre 1150 y 1450 DC (Schneider-Glantz, 2006), con lo cual posiblemente los cambios de vegetación a 1150 DC estén relacionados con estos asentamientos, pudiendo haber ocurrido dos fases: una de asentamiento poblacional debido al establecimiento de un clima más favorable en la región y una segunda fase de transformación del paisaje por parte de los nuevos habitantes, aunque esta última no es muy evidente en los datos polínicos.

VIII. 4. 3. Periodo de 1150 a 1750 cal DC

Entre los años 1150 y 1750 cal DC (850 y 200 cal AP), en el panorama general de la vegetación, se observan los taxones representativos de la vegetación que se encuentra actualmente de pastizal desértico. Hay un aumento en Chenopodiaceae indicador polínico de esas zonas de matorral, de zonas perturbadas y suelos áridos (Anderson y Van Devender, 1991), familia que también se observa en la lluvia polínica actual (Espinoza-Encinas et al., datos sin publicar) en los bordes de la ciénega, zona con la vegetación más tropical (presencia de *Prosopis*) y con un mayor impacto antrópico, así como la presencia de Nyctaginaceae tipo *Boerhavia* indicadora de condiciones áridas (Hevly et al., 1965). Además se ve afectada la dominancia del pastizal húmedo, ya que disminuye su extensión, particularmente entre 1660 y 1750 cal DC, reflejo de su migración hacia mayores elevaciones, siendo reemplazado por el pastizal desértico.

Lo anterior puede sugerir un aumento (aunque mínimo) de las temperaturas en esta fase; sin embargo, hay humedad, localmente *Typha* crece en la ciénega, se tiene la mayor diversidad de taxa polínicos y el contenido de materia orgánica es mayor, por lo que el aporte de agua del río y la misma ciénega se mantienen. Más aún, hay evidencia de un mayor poblamiento y mayor efecto antrópico en el periodo indicado, a partir de 1697 se funda la misión de Nuestra Señora del Pilar y Santiago de Cocóspera, próxima al rancho El Aribabi, regida por jesuitas hasta 1784 (Schneider-Glantz, 2006). Es muy probable que este poblamiento haya modificado en cierto modo el paisaje y la presencia de *Ambrosia* puede considerarse un indicador de esa perturbación.

VIII. 4. 4. Periodo de 1750 a 1950 cal DC

Por medio de la lluvia polínica podemos indicar que nuestro registro del período comprendido entre 200 y 0 cal AP (actualidad), corresponde a una vegetación próxima a la actual, ya que muestra porcentajes similares a los de la lluvia polínica actual en el entorno de la ciénega en cuanto a los taxones dominantes, como *Chenopodiaceae* (60-80%), *Salix* (20%), *Cyperaceae* (20%), *Quercus* (5-10%) y *Prosopis* (2%) (Espinoza-Encinas et al., datos sin publicar). Sin embargo, los espectros polínicos correspondientes al intervalo de 1750 a 1850 cal DC aproximadamente (muestras de 15 a 10 cm de ARI-2), muestran frecuencias muy altas de *Chenopodiaceae* que no se encuentran actualmente en la misma ciénega sino en sus bordes, a la misma altitud, donde la acción antrópica es más intensa. Lo anterior sugiere que durante ese intervalo de tiempo el hombre pudo haber transformado el paisaje con mayor intensidad. Se tiene constancia de que la misión de Cocóspera, tras la expulsión de los jesuitas en 1784, fue regida por los franciscanos hasta su abandono en 1837 (Schneider-Glantz, 2006), lo que corresponde justamente a la mayor antropización con el máximo de *Chenopodiaceae* en este periodo. La misión fue posteriormente abandonada y destruida con el terremoto de 1887. Después de esa fecha, el abandono de las prácticas agrícolas y/o ganaderas (no se tiene constancia de granos de maíz u otros cereales) llevó a que la ciénega ARI-2 (ver nivel 5 cm) tuviera un aspecto similar al que actualmente tiene ARI-1 a juzgar por la semejanza de los espectros polínicos con lo que el registro de ARI-2 acaba ahí como ciénega.

Hace aproximadamente 30 años, el desvío del cauce del arroyo por captación determinó que la ciénega ARI-2 se secase (queda solo una humedad relativa actualmente) y se desarrollara la ciénega ARI-1 (Robles-Elías, 2012. Comunicación personal. Propietario del rancho El Aribabi. Magdalena, Sonora, México). La semejanza en el ambiente de las fotografías de la Figura 12 y Figura 13, sabiendo que ARI-1 tiene actualmente un aporte de agua mucho mayor, indica que se trata del mismo tipo de lugar y sugiere que hace menos de 100 años (nivel 5 cm), el entorno de ARI-2 era similar al que observamos hoy en ARI-1.

VIII.4.5. Periodo de 1980(?) a 2013

Para las muestras superficiales de ARI-2 (0-20 cm) que representan los últimos 30 años, hay una gran similitud con los espectros de la lluvia polínica actual, así como en los espectros polínicos más recientes (muestras del sitio ARI-1) presentando una gran similitud a los que se muestran en la lluvia polínica actual (Espinoza-Encinas et al., datos sin publicar).

Ha sido demostrado que el espectro de polen reciente es la mejor referencia posible para la interpretación del pasado (Faegri e Iversen, 1989) y dentro de la lluvia polínica se identificó la vegetación ribereña con taxones con porcentajes altos como *Salix* (40%) y Cyperaceae (30%) tal como se registran en las muestras de ARI-1, acompañados de otros taxones como *Celtis*, *Populus*, *Equisetum*, *Juglans*, todos a los 900 msnm sobre el río Cocóspera y la ciénega actual (ARI-1), aunque los dos últimos no se registraron en el espectro polínico fósil, tal vez debido a que la vegetación no ha sido exactamente la misma o no se ha conservado todo el polen.

En las montañas de Puerto Blanco en el suroeste de Arizona por medio de los middens se refleja el clima moderno durante 130 a 30 años AP, así como la vegetación del presente, más dispersa a consecuencia de las sequías de 1970, la fuerte helada de 1978 y los impactos del pastoreo (Van Devender, 1987).

VIII.5. Manejo y Conservación de la Vegetación del Rancho El Aribabi

La paleoecología es una herramienta de gran valor en la evaluación de invasiones de plantas y las causadas por humanos (Jackson, 1997; IPCC, 2001), por lo que los registros palinológicos han sido utilizados para reconstruir y mapear invasiones post-glaciales durante largo tiempo (MacDonald, 1993). La primera investigadora en aplicarlo fue Margaret B. Davis (1976) quien reconstruyó la migración hacia el norte de varios taxa arbóreos a finales de la última glaciación, dada la respuesta del límite de distribución de las especies ante un cambio ambiental como es el calentamiento global, respuesta que puede ser extremadamente rápida (MacDonald, 1993).

Las comunidades actuales de plantas han sido el resultado de la supervivencia de sus especies durante más de 2 millones de años de variaciones continuas ambientales y climáticas (Foster et al., 1990). Se sabe que especies de bosques templados septentrionales han estado ajustando sus rangos de distribución geográfica en respuesta a los ciclos glaciales e interglaciales durante la mayor parte del Cuaternario (Davis, 1976), por lo que muchas comunidades no poseían sus presentes composiciones de especies arbóreas hasta hace 5000 años o más tarde (Davis, 1983). Incluso dichos cambios en la distribución de especies pueden promover cambios evolutivos dados durante el aislamiento de pequeñas poblaciones, proporcionando como resultado una especiación alopátrica (Huntley y Webb, 1989; Conkle, 1992); dado por la respuesta de las especies individualmente ante los cambios climáticos (Tausch et al., 1993).

Los factores de cambio principales son variantes climáticas y más recientemente (durante el Holoceno tardío) las actividades antrópicas, las cuales han sido registradas ampliamente en diversos estudios, como por medio de cambios hidrológicos de cuencas (Singer et al., 1996; Willis et al., 2005). Davis (1989) señaló que el uso humano de las tierras ha causado una pérdida a escala amplia de áreas naturales necesarias para soportar las fuentes de semillas y proveer hábitats potenciales para la colonización de nuevas plantas, lo cual puede disminuir futuras migraciones y cambiar así el nuevo patrón de dispersión de las especies ante nuevos cambios climáticos.

En Norteamérica, desde los nativos americanos, se tiene registrada (aunque pobremente) la extensión del desmonte y de las plantas invasoras (Jackson, 1997). Sin embargo, es importante destacar que estos cambios no siempre están asociados con perturbaciones humanas, por lo que la interpretación del registro polínico es clave para entender ecosistemas pasados, ya que ahí mismo se identificó la migración de varios taxa como *Mollugo verticillata* y *Portulaca oleracea*, miles de años antes de los asentamientos humanos y la colonización europea (Jackson, 1997).

Los cambios ambientales son el objetivo en movimiento para los “manejadores” que buscan restaurar o mantener la vegetación natural. No obstante, el ambiente ha ido cambiando por varios siglos desde la colonización europea por el manejo de las tierras y por tendencias naturales en las variaciones del clima, por lo que si se emplean planes de restauración de la

vegetación previa a los asentamientos, se requerirán intervenciones intensivas y continuas, en las cuales los registros fósiles de polen son una herramienta muy útil (Jackson, 1997).

Es importante destacar que la localización del rancho El Aribabi se da en una zona de transición, por lo que los rangos límites de muchas especies se encuentran en esta zona y que además, se sabe que las zonas de alta biodiversidad (hotspots) tienden a localizarse preferentemente en áreas de transición ecológica (Araujo, 2002), por lo que resalta aún más la importancia de la conservación de los ecosistemas dentro del rancho El Aribabi. Estos han presentado cambios a través del tiempo, como se ha mostrado por medio de los datos discutidos anteriormente, los cuales indican por un lado cambios naturales en respuesta a variaciones climáticas de orden general y por otro, un grado de perturbación a partir de hace 300 años aproximadamente debido a las diferentes actividades antrópicas. Asimismo es patente en el rancho El Aribabi la recuperación del ecosistema tras el abandono poblacional y con la disminución de la presión antrópica (muestra ARI-2 a 5 cm y muestras ARI-1 a 2 cm y 25 cm), particularmente lograda con la práctica de conservación seguida por el actual propietario del rancho. Sin embargo la vegetación ribereña no parece haber cambiado considerablemente, a este respecto Delgado-Zamora (2013) menciona que la vegetación asociada al río Cocóspera se encuentra bien establecida y debido a la constante hidrológica no hay cambios considerables de la vegetación, incluso cuando se comparan sitios de muestreo a diferentes altitudes o si se consideran las plantas invasoras. Igualmente se debe recordar la dinámica que tienen los ecosistemas, los cuales van cambiando con el tiempo naturalmente por variables ambientales (Jackson, 1997). Los principios y conceptos del manejo de ecosistemas necesitan incorporar el pasado, así como las condiciones actuales, para exitosamente proyectar variación de largo plazo en el futuro sobre ambos espacio y tiempo (Tausch et al., 1993).

IX. CONCLUSIONES

Se determinó la historia de la vegetación de la ciénega de El Aribabi, municipio de Ímuris, Sonora, por medio de los datos obtenidos del análisis polínico y la datación de sus sedimentos. Los resultados se analizaron en comparación con la vegetación del rancho y la lluvia polínica actual, correspondiendo a dos tipos de vegetación principales: pastizal húmedo (con Poaceae y *Quercus* como árbol más notorio) y pastizal desértico (Poaceae, *Prosopis*, Chenopodiaceae, Asteraceae tipo Asteroideae), además de la vegetación asociada al río Cocóspera.

Las edades de radiocarbono obtenidas muestran una cronología ordenada que representa una tasa de acumulación media de 0.44 mm/año. Los sedimentos más antiguos tienen una edad de 1960 ± 30 años cal AP y los más recientes son subactuales.

Del sedimento extraído y estudiado de la ciénega (ARI-2), se determinaron los cambios de litología, siendo la parte basal arenas limosas con un cambio gradual hacia limos arenosos y orgánicos en la parte superior. El cambio se asocia a una menor energía del afluente de río y humedad constante, por lo que la ciénega se encontraba activa hasta época reciente en que los sedimentos superficiales cambian a limos arenosos con presencia de gravas y poca humedad, indicando que la ciénega ya no se encontraba activa.

En la identificación de los granos de polen y esporas se observaron 38 taxones en total, entre los que destacan por ser más abundantes Chenopodiaceae y Asteraceae tipo Asteroideae indicativas de zonas áridas, seguidas por Poaceae, *Quercus*, *Salix*, Cyperaceae, *Artemisia*, *Ambrosia* y *Prosopis*. Con base en los resultados del análisis polínico, los cambios registrados en la vegetación para los últimos 2000 años no han sido muy intensos sino que reflejan el paso de un pastizal húmedo en altitudes próximas a los 1000 msnm (con Poaceae y *Quercus*) a un pastizal desértico (caracterizado polínicamente por Poaceae, Chenopodiaceae, Asteraceae tipo Asteroideae, *Ambrosia*). Esta transición se inicia después del año 1150 cal DC y se confirma a partir de 1660 cal DC. Si bien el inicio se asocia a un cambio en la humedad ambiental que ha sido también registrado en otras localidades de la región, la intensificación posterior es de naturaleza antrópica y está ligada al establecimiento de la misión de Nuestra Señora del Pilar y Santiago de Cocóspera, cerca del rancho El Aribabi, a finales del siglo XVII. En todo el

período registrado, la vegetación ribereña se ha mantenido en la ciénega sin grandes cambios aparentes en su composición florística, aunque sí en su localización geográfica.

XI. LITERATURA CITADA

- Aitken, M. J. 1990. Science-based dating in Archaeology. Longman. Londres, Inglaterra.
- Allegre, C. J. 2008. Isotope Geology. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra.
- Anderson, R. S. y T. R. Van Devender. 1995. Vegetation history and paleoclimates of the coastal lowlands of Sonora, México –pollen records from packrat middens. *Journal of Arid Environments* 30:295-306.
- Araujo, M. B. 2002. Biodiversity hotspots and zones of ecological transition. *Conservation Biology* 16(6):1662-1663.
- Arroyo-Cabrerales, J., A. L. Carreño, S. Lozano-García y M. Montellano-Ballesteros. 2008. La diversidad en el pasado. En: Saruhkán, S. y Soberón, S. (Eds.), *Capital natural de México. Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Distrito Federal, México.*
- Bader, N. E. 2000. Pollen analysis of Death Valley sediments deposited between 166 and 114 ka. *Palynology* 24:49-61.
- Baker, R. G. 1983. Paleoecology: Holocene vegetational history of western United States. En: Wright, H. E. Jr., Porter, S. C. (Eds.), *Late-Quaternary environments of the United States. University of Minnesota Press. Minnesota, Estados Unidos de América.*
- Betancourt, J. L., T. R. Van Devender y P. S. Martin, 1990. Packrat middens. The last 40,000 years of biotic change. University of Arizona Press. Tucson, Estados Unidos de América.
- Betancourt, J. L., K. A. Rylander, C. Peñalba, J. L. McVickar. 2001. Late Quaternary vegetation history of Rough Canyon, south-central New Mexico, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 165:71-95.
- Bignot, G. 1985. Elements of Micropaleontology: the microfossils- their geological and palaeobiological applications. Graham and Trotman Limited. Londres, Inglaterra.
- Birks, H. J. B. 1973. Past and present vegetation of the Isle of Skye: a Palaeoecological study. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra.
- Bowman, S. 1990. Radiocarbon dating. British Museum. Londres, Inglaterra.
- Bradbury, J. P. 1989. Late Quaternary lacustrine paleoenvironments in the Cuenca de México. *Quaternary Science Reviews* 8:75-100.
- Bradley, R. S. 1999. Paleoclimatology: Reconstructing climates of the Quaternary. Academic, Press. San Diego, Estados Unidos de América.
- Bradshaw, R. H. W., B. H. Holmqvist, S. A. Cowling y M. T. Sykes. 2000. The effects of climate change on the distribution and management of *Picea abies* in southern Scandinavia. *Canadian Journal of Forest Research* 30:1992-1998.
- Brenchley, P. J. y T. D. Harper. 1998. Palaeoecology: ecosystems, environments and evolution. Chapman and Hall. London, Inglaterra.
- Brown, D. E. 1994. Madrean evergreen woodland. En: Brown, D. E. (Ed.), *Biotic communities-southwestern United States and northwestern Mexico. University of Utah Press. Salt Lake City, Estados Unidos de América.*
- Burjachs-i Casas, F. 2006. Palinología y restitución Paleoecológica. *Ecosistemas* 15(1):7-16.
- Byrne, R. y S. P. Horn, 1989. Prehistoric agriculture and forest clearance in the Sierra de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Palynology* 13:181-193.
- Chaloner, W. G. 1970. The evolution of miospore polarity. *Geoscience and Man* 1:47-56.
- Conkle, M. T. 1992. Genetic diversity-seeing the forest through the trees. *New Forests* 6:5-22.

- Conserva, M. E. y R. Byrne. 2002. Late Holocene vegetation change in the Sierra Madre Oriental of central Mexico. *Quaternary Research* 58:122-129.
- Cowardin, L. M., V. Carter, F. C. Golet y E. T. LaRoe. 1992. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U.S. Department of the Interior. Fish and Wildlife Service. Washington, Estados Unidos de América.
- Cushing, E. J. 1966. Evidence for differential pollen preservation in late Quaternary sediments in Minnesota. *Rev. Palaeobotany and Palynology* 4:87-101.
- Damon, P. E., J. C. Lerman y A. Long. 1978. Temporal fluctuations of atmospheric ^{14}C : Casual factors and implications. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 6:457-494.
- D'Antoni, H. L. y V. Markgraf. 1980. Dispersión de polen actual en Argentina en relación con la vegetación. En: Castañeda, R. y Sánchez, F. (Eds.), *Memorias III. Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología*. Septiembre, 1980. Distrito Federal, México.
- Davis, M. B. 1963. On the theory of pollen analysis. *American Journal of Science* 261:897-912.
- Davis, M. B. 1976. Pleistocene biogeography of temperate deciduous forests. *Geosciences and Man* 13:13-26.
- Davis, M. B. 1983. Quaternary of deciduous forests of eastern North America and Europe. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 70:550-563.
- Davis, M. B. 1989. Lags in vegetation response to greenhouse warming. *Climatic Change* 15:75-82.
- Davis, O. K. y D. S. Shaffer. 1992. A Holocene climatic record for the Sonoran Desert from pollen analysis of Montezuma Well, Arizona, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 92(1-2):107-119.
- Davis, O. K., T. Minckley, T. Moutoux, T. Jull y B. Kalin. 2002. The transformation of Sonoran Desert wetlands following the historic decrease of burning. *Journal of Arid Environments* 50:393-412.
- Dean, W. E., T. S. Ahlbrandt, R. Y. Anderson y J. P. Bradbury. 1996. Regional aridity in North America during the middle Holocene. *The Holocene* 6(2):145-155.
- Dexin, J. y E. I. Robbins. 2000. Quaternary palynofloras and paleoclimate of the Qaidam Basin, Qinghai province, Northwestern China. *Palynology* 24:95-112.
- Erdtman, G. 1943. An introduction to pollen analysis. *Chronica Botanica*. Massachusetts, Estados Unidos de América.
- Espinoza-Encinas, I. R. 2012. Paleoambientes cuaternarios de la ciénega de Tonibabi, Moctezuma, Sonora, México. Tesis de Maestría. Universidad de Sonora. Departamento de Geología. Hermosillo, Sonora, México.
- Fægri, K. y J. Iversen. 1989. Textbook of pollen analysis. John Wiley and Sons. Nueva York, Estados Unidos de América.
- Figueroa-Rangel, B. L., K. J. Willis y M. Olvera-Vargas. 2008. 4200 years of pine-dominated upland forest dynamics in west-central México: Human or natural legacy? *Ecology* 89(7):1893-1907.
- Figueroa-Rangel, B. L., K. J. Willis y M. Olvera-Vargas. 2010. Cloud forest dynamics in the Mexican neotropics during the last 1300 years. *Global Change Biology* 16:1689-1704.
- Foster, D. R., P. K. Schoonmaker y S. T. A. Pickett. 1990. Insights from ecology to community ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 5:119-122.

- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Godwin, H. 1934. Pollen analysis. An outline of the problems and potentialities of the method. Part II: General applications of pollen analysis. *The New Phytologist* 33(5):325-356.
- González-Medrano, F. 2003. Las comunidades vegetales de México. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). Distrito Federal, México.
- Hevly, R. H., P. J. Mehringer Jr y H. G. Yocum. 1965. Modern pollen rain in the Sonoran Desert. *Journal of the Arizona Academy of Science* 3:123-135.
- Hendrickson, D. A. y W. L. Minckley. 1984. Ciénegas-vanishing climax communities of the American Southwest. *Desert Plants* 6(3):130-175.
- Hesse, M., H. Halbritter, R. Zetter, M. Weber, R. Buchner, A. Frosch-Radivo y S. Ulrich. 2009. *Pollen terminology, an illustrated handbook*. Springer Wien. University of Viena. Viena, Austria.
- Holmgren, C. A., M. C. Peñalba, K. A. Rylander y J. L. Betancourt. 2003. A 16,000 14C yr B. P. packrat midden series from the USA-Mexico borderlands. *Quaternary Research* 60:319-329.
- Horn, S. P., J. C. Rodgers III, K. H. Orvis, L. A. Northrop. 1998. Recent land use and vegetation history from soil pollen analysis: Testing the potential in the lowland humid tropics. *Palynology* 22:167-180.
- Horowitz, A. 1992. *Palynology of arid lands*. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, Holanda.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins y J. J. Ephraums. 1990. *Climate change. The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra.
- Huntley, B. y T. Webb III. 1989. Migration: species' response to climatic variations caused by changes in the Earth's orbit. *Journal of Biogeography* 16:5-19.
- Ibarra-Morales, E. y B. S. Fernández-Galán. 2012. El estudio del polen antiguo: problemas y estrategias en el laboratorio. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 15(1):62-66.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I on the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. Nueva York, Estados Unidos de América.
- Islebe, G. 1999. La paleoecología: bases y su aplicación. *Foresta Veracruzana* 1(2): 47-50. Veracruz, México.
- Islebe, G. y O. Sánchez. 2002. History of late Holocene vegetation at Quintana Roo, Caribbean coast of Mexico. *Plant Ecology* 160:187-192.
- Israde-Alcántara, I., V. H. Garduño-Monroy y R. Ortega-Murillo. 2002. Paleoambiente lacustre del Cuaternario tardío en el centro del lago de Cuitzeo. *Hidrobiológica* 12(1):61-78.
- Jackson, S. T. 1997. Documenting natural and human-caused plant invasions using paleoecological methods. En: Luken, J. L. y Thieret, J. W. (Eds.), *Assessment and management of plant invasions*. Springer Verlag. Nueva York, Estados Unidos de América.
- Knox, R. B. 1984. The pollen grain. En: Johri, B. M. (Ed.), *Embriology of angiosperms*. Springer Berlin Heidelberg. Dehli, India.

- Lacourse, T., R. W. Mathewes y R. J. Hebda. 2007. Paleoecological analyses of lake sediments reveal prehistoric human impact on forests at Anthony Island UNESCO world heritage site, Queen Charlotte Islands (Haida Gwaii), Canada. *Quaternary Research* 68:177-183.
- Leopold, E. B. 1969. Late Cenozoic palynology. En: Tschudy, R. H. y Scott, R. A. (Eds.), *Aspects of Palynology*. Wiley-Interscience. Nueva York, Estados Unidos de América.
- Lowe, J. J. y M. J. C. Walker. 1997. *Reconstructing Quaternary environments*. Addison Wesley Longman Limited. Londres, Inglaterra.
- Lozano-García, M. S. 1984. Interpretaciones sobre la lluvia de polen en la región de San Luis Potosí, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 46:53-74.
- Lozano-García, M. S. 1989. Palinología y paleoambientes pleistocénicos de la cuenca de México. *Geofísica Internacional* 28(2):335-362.
- Lozano-García, M. S., M. Caballero, B. Ortega, A. Rodríguez y S. Sosa. 2007. Tracing the effects of the Little Ice Age in the tropical lowlands of eastern Mesoamerica. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:16200–16203.
- MacDonald G. M. 1993. Fossil pollen analysis and the reconstruction of plant invasions. *Advances in ecological research* 24:67-104.
- Manzanilla, L., M. S. Lozano-García, I. Barba-Pingarrón y J. Urrutia-Fucugauchi. 1995. Métodos de fechamiento para el Cuaternario -1. Radiocarbono. *Geología UNAM* 2(4):37-42.
- Markgraf, V. y H. L. D'Antoni. *Pollen flora of Argentina: Modern spore and pollen types of Pteridophyta, Gymnospermae, and Angiospermae*. The University of Arizona Press. Tucson, Estados Unidos de América.
- Martin, P. S. 1963. *The last 10,000 years: a fossil pollen record of the American Southwest*. The University of Arizona Press. Tucson, Estados Unidos de América.
- Martínez-Yrizar, A. R. S. Felger y A. Búrquez. 2010. Los ecosistemas terrestres: Un diverso capital natural. En: Molina-Freaner, F. y Van Devender, T. R. (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Mayewski, P. A., E. E. Rohling, J. C. Stager, W. Karlén, K. A. Maasch, L. D. Meeker, E. A. Meyerson., F. Gasse, S. van Kreveland, K. Holmgren, J. Lee-Thorp, G. Rosqvist, F. Rack, M. Staubwasser, R. R. Schneider y E. K. Steig. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62(3):243-255.
- McAuliffe, J. R. y T. R. Van Devender. 1998. A 22 000-year record of vegetation change in the north-central Sonoran Desert. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 141:253-275.
- McLachlan, J. S. 2006. Paleophytogeography. En: S. A. Elias (Ed.), *Encyclopedia of Quaternary science*. Elsevier. University of California. California. Estados Unidos de América.
- Mehring, P. J., Jr. P. S. Martin y C. V. Hanes. 1967. Murray Springs, a mid-postglacial pollen record from Southern Arizona. *American Journal of Science* 265:786-797.
- Metcalf, S. E. 2006. Late Quaternary environments of the northern deserts and central transvolcanic belt of Mexico. *Missouri Botanical Garden Press* 93(2):258-273.
- Metcalf, S. E., S. L. O'Hara, M. Caballero y S. J. Davies. 2000. Records of late Pleistocene-Holocene climatic change in Mexico -a review. *Quaternary Science Reviews* 19(7):699-721.

- Meyer, E. R. 1973. Late-Quaternary paleoecology of the Cuatro Ciénegas Basin, Coahuila, México. *Ecology* 54(5):982-995.
- Minckley, T. A. y A. Brunelle. 2007. Paleohydrology and growth of a desert ciénega. *Journal of Arid Environments* 69(2007):420-431.
- Moore, P. D., J. A. Webb y M. E. Collinson. 1991. *Pollen analysis*. Blackwell Scientific Publications. Oxford, Inglaterra.
- Ortega-Ramírez, J. R., A. Valiente-Banuet, J. Urrutia-Fucugachi, C. A. Mortera-Gutiérrez y G. Alvarado-Valdez. 1998. Paleoclimatic changes during the late Pleistocene-Holocene in Laguna Babícora, near the Chihuahuan Desert, México. *Canadian Journal of Earth Sciences* 35(1998):1168-1179.
- Ortega-Rosas, C. I. 2000. Historia de la vegetación en la ciénega de Camilo durante el Holoceno, municipio de Yécora, Sonora, Sierra Madre Occidental. Tesis de Licenciatura. Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora. Unidad Académica Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México.
- Ortega-Rosas, C. I., M. C. Peñalba y J. Guiot. 2008. Holocene altitudinal shifts in vegetation belts and environmental changes in the Sierra Madre Occidental, northwestern Mexico, based on modern and fossil pollen data. *Review of Palaeobotany and Palynology* 151:1-20.
- Orvis, K. H. 1998. Modern surface pollen from three transects across the southern Sonoran Desert margin, northwestern Mexico. *Palynology* 22:192-211.
- Pearsall, D. M. 2000. *Paleoethnobotany: a handbook of procedures*. Academic Press. California, Estados Unidos de América.
- Pedrin-Avilés, S., G. Padilla-Arredondo, E. Díaz-Rivera, L. Sirkin y R. Stuckenrath. 1990. Estratigrafía del Pleistoceno superior-Holoceno en el área de la laguna costera de Balandra, Estado de Baja California Sur. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. *Revista* 9(2):170-176.
- Peñalba, M. C. y T. R. Van Devender. 1998. Cambios de vegetación y clima en Baja California, México, durante los últimos 20 000 años. *Geología del Noroeste* 2(2):21-23.
- Punt, W., P. P. Hoen, S. Blackmore, S. Nilsson y A. Le Thomas. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143:1-81
- Reille, M. 1992. *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord*. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie. Marsella, Francia.
- Roubik, D. W. y J. E. Moreno-Patiño. 2003. Pollen and spores of Barro Colorado Island. [stri.si.edu/sites/roubik/](http://www.stri.si.edu/sites/roubik/). Marzo, 2003. (<http://www.stri.si.edu/sites/roubik/>).
- Rzedowski, J. y M. L. Huerta. 1981. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, S.A. Distrito Federal, México.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Distrito Federal, México.
- Sáenz-Laín, C. 2004. Glosario de términos palinológicos. *Lazaroa* 25:93-112.
- Salgado-Labouriau, M. L., C. Schubert y S. Valastro Jr. 1978. Paleoecological analysis of a Late-Quaternary terrace from Mucubaji, Venezuelan Andes. *Journal of Biogeography* 4:313-325.
- Sánchez-Escalante, J. J. 2011. Rancho El Aribabi, área natural protegida privada en el Norte de Sonora, México. *Nuestra Tierra* 5:13-15.
- Sánchez-Escalante, J. J. 2012. Plantas de la frontera (ecorregión 12.1.1.1), e inventario florístico del rancho El Aribabi, municipio de Ímuris, Sonora. Universidad de Sonora. Informe Final SNIB-CONABIO proyecto No. GT011. Distrito Federal, México.

- Sánchez-Mejía, Z. M., L. Serrano-Grijalva, O. Peñuelas-Rubio, E. R. Pérez-Ruiz, E. Sequeiros-Ruvalcaba y M. T. García-Calleja. 2007. Composición florística y estructura de la comunidad vegetal del límite del desierto de Sonora y la selva baja caducifolia (Noroeste de México). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 3(1):74-83.
- Schneider-Glantz, R. 2006. La ex misión jesuita de Nuestra Señora del Pilar y Santiago de Cocóspera, Sonora. *TerraBrasil* 2006:1-12.
- Singer D. K., S. T. Jackson, B. J. Madsen y D. A. Wilcox. 1996. Differentiating climatic and successional influences on long-term development of a marsh. *Ecology* 77(6):1765-1778.
- Southwest Environmental Information Network, SEINet. 2012. Regional Herbaria Network. [www.swbiodiversity.org](http://swbiodiversity.org). Acceso a página durante Marzo, 2012. (<http://swbiodiversity.org/seinet/collections/index.php?catid=2>)
- Spaulding, W. G. 1991. A middle Holocene vegetation record from the Mojave Desert of North America and its paleoclimatic significance. *Quaternary Research* 35:427-437.
- Tausch, R. J., J. W. Burkhardt, C. L. Nowak y P. E. Wigand. 1993. Viewpoint: lessons from the past for managing tomorrow's range ecosystems. *Rangelands* 15(5):196-199.
- Terasmae, J. 1984. Radiocarbon dating: some problems and potential developments. En: Mahaney, W. C. (Ed.), *Quaternary dating methods*. Elsevier. Amsterdam, Países Bajos.
- Thompson, R. S., S. L. Shafer, L. E. Strickland, P. K. Van der Water y K. H. Anderson. 2003. Quaternary vegetation and climate change in the western United States: developments, perspectives and prospects. En: Gillespie, A. R., Porter, S. C. y Atwater, B. F. (Eds.), *the Quaternary period in the United States. Developments in Quaternary science*. Elsevier. Washington, Estados Unidos de América.
- Traverse, A. 2007. *Paleopalynology. Topics in Geobiology*. Editorial Springer. Pennsylvania, Estados Unidos de América.
- Torrescano, N. y G. A. Islebe. 2006. Tropical forest and mangrove history from southeastern Mexico: a 5000 yr pollen record and implications for sea level rise. *Quintana Roo, México. Vegetation History and Archaeobotany* (2006)15:191-195.
- Tschudy, R. H. 1969. Relationship of palynomorphs to sedimentation. En: Tschudy, R. H. y Scott, R. A. (Eds.), *Aspects of Palynology*. Wiley-Interscience. Nueva York, Estados Unidos de América.
- Tschudy, R. H. y R. A. Scott. 1969. *Aspects of Palynology*. Wiley-Interscience. Nueva York, Estados Unidos de América.
- Van Devender, T. R. 1987. Holocene vegetation and climate in the Puerto Blanco mountains, southwestern Arizona. *Quaternary Research* 27:51-72.
- Van Devender, T. R. 1990a. Late Quaternary vegetation and climate of the Chihuahuan Desert, United States and Mexico. En: Betancourt, J. L., Van Devender, T. R. y Martin, P. S. (Eds.), *Packrat middens. The last 40,000 years of biotic change*, University of Arizona Press. Tucson, Estados Unidos de América.
- Van Devender, T. R. 1990b. Late Quaternary vegetation and climate of the Sonoran Desert, United States and Mexico. En: Betancourt, J. L., Van Devender, T. R. y Martin, P. S. (Eds.), *Packrat middens. The last 40,000 years of biotic change*, University of Arizona Press. Tucson, Estados Unidos de América.
- Van Devender, T. R., R. S. Felger, M. Fishbein, F. E. Molina-Freaner, J. J. Sánchez-Escalante y A. L. Reina-Guerrero. 2010. Biodiversidad de las plantas vasculares. En: Molina-Freaner, F. E. y Van Devender, T. R. (Eds.), *Diversidad biológica de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.

- Van Devender, T. R., T. L. Burgess, J. C. Piper y R. M. Turner. 1994. Paleoclimatic implications of Holocene plant remains from the Sierra Bacha, Sonora, México. *Quaternary Research* 41:99-108.
- Van Devender, T. R., T. L. Burgess, R. S. Felger, R. M. Turner. 1990. Holocene vegetation of the Hornaday Mountains of northwestern Sonora, México. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History* 2:1-19.
- Van Leeuwen, J., C. A. Froyd, W. O. van der Knaap, E. E. Coffey, A. Tye y K. J. Willis. 2008. Fossil pollen as a guide to conservation in the Galápagos. *Science* 21(322):1206.
- Villa-Martínez, R. y P. I. Moreno. 2007. Pollen evidence for variations in the southern margin of the westerly winds in SW Patagonia over the last 12,600 years. *Quaternary Research* 68:400-409.
- Villaseñor-Gómez, J. F., O. Hinojosa-Huerta, E. Gómez-Limón, D. Krueper y A. D. Flesch. 2009. Avifauna. En: Molina-Freaner, F. E. y Van Devender, T. R. (Eds.), *Diversidad biológica de Sonora*. UNAM, Distrito Federal, México.
- Volkheimer, W. 2002. The paleontologic history of biodiversity: its environmental implications and the contribution of paleobotany and palynology to this field. *Coloquios de Paleontología* 53:147-152.
- Von Post, L. 1916. Forest tree pollen in south Swedish, peat bog strata. *Geologiska Foereningen* 38:384-394.
- Waters, M. R. y C. V. Haynes. 2001. Late Quaternary arroyo formation and climate change in the American Southwest. *Geological Society of America* 29(5):399-402.
- Watts, W. A. y J. P. Bradbury. 1982. Paleoecological studies at Lake Patzcuaro on the west-central Mexican plateau and at Chalco in the Basin of Mexico. *Quaternary International* 43/44:67-73.
- Webb, T. III, E. J. Cushing y H. E. Jr. Wright. 1983. Holocene changes in the vegetation of the Midwest. En: Wright, H. E. Jr. (Ed.), *Late-Quaternary environments of the United States. 2: The Holocene*. University of Minnesota Press. Minnesota, Estados Unidos de América.
- Wiermann, R. y S. Gubatz. 1992. Pollen wall and sporopollenin. *International Review of Cytology* 140:35-72.
- Williams, M. A. J., D. L. Dunkerley, P. De Deckker, A. P. Kershaw y T. J. Stokes. 1994. *Quaternary environments*. Chapman and Hall, Inc. Nueva York, Estados Unidos de América.
- Willis, K. J., L. Gillson, T. M. Brncic y B. L. Figueroa-Rangel. 2005. Providing baselines for biodiversity measurement. *Trends in Ecology and Evolution* 20(3):107-108.
- Willis, K. J., M. B. Araújo, K. D. Bennett, B. Figueroa-Rangel, C. A. Froyd y N. Myers. 2007. How can a knowledge of the past help to conserve the future? Biodiversity conservation and the relevance of long-term ecological studies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 362:175-186.
- Wodehouse, R. P. 1935. *Pollen grains. Historical review*. McGraw-Hill. New York, Estados Unidos de América.
- Wright, H. E. Jr. 1991. Coring tips. *Journal of Paleolimnology* (6):4-37.
- Yulong, Z. X. Yizhen, Z. Juntan, G. Guizhen, D. Naiqiu, S. Xiangjun y K. Zhaochen. 1990. *Spore morphology of Chinese Pteridophytes*. Science Press. Beijing, China.
- Zabenskie, S. y K. Gajewski. 2007. Post-Glacial climatic change on Boothia Peninsula, Nunavut, Canada. *Quaternary Research* 68:261-270.

GLOSARIO

Composición florística: Se refiere al conjunto de especies de que se encuentran habitando en una región determinada, limitada por las mismas condiciones abióticas.

Comunidad vegetal: Conjunto de poblaciones de especies vegetales que viven e interactúan mutuamente en una localidad determinada y que muestran una asociación o afinidad definida una con otra.

Cuaternario: El Cuaternario es el periodo del Cenozoico que empezó hace 2.59 millones de años y comprende hasta nuestros días. Se divide en Pleistoceno, la primera y más larga parte del periodo, que incluye periodos glaciales e interglaciales, y la época reciente o post-glacial, también llamada Holoceno, que inicia hace 11 700 años y llega hasta nuestros días. Se reconocen más de 100 oscilaciones climáticas dentro del Cuaternario y alrededor de 50 ciclos completos glacial/interglacial. Cada glaciación se divide en estadios y entre las glaciaciones, los periodos inter-glaciales se caracterizaron por un clima parecido al actual.

Datación por ^{14}C : El método de datación por radiocarbono es la técnica más fiable para conocer la edad de muestras orgánicas de menos de 60 000 años. Está basado en la ley de decaimiento exponencial de los isótopos radiactivos. A causa de la colisión de neutrones con el ^{14}N en las altas capas de la atmósfera, se produce ^{14}C . Este ^{14}C es una forma inestable de carbono, su forma radiactiva. La forma no radiactiva más abundante de carbono es el isótopo ^{12}C . A medida que se va formando carbono radiactivo en la atmósfera, se desintegra o decae y da lugar a N^{14} , lo que mantiene una proporción de $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ constante en la atmósfera. Por otra parte, los vegetales consumen CO_2 atmosférico y mantienen esa misma proporción de isótopos. El intercambio de ^{14}C entre la atmósfera y el organismo tiene lugar continuamente, mientras que el organismo vegetal, esté vivo. Cuando el organismo muere, este intercambio queda interrumpido. El ^{14}C del organismo continúa desintegrándose radiactivamente y la relación $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ va disminuyendo más y más con el paso del tiempo. Cada 5730 años el ^{14}C disminuye a una mitad de su valor. Como ejemplo, en el momento de la muerte de un árbol, en el que cesa el intercambio entre el árbol y la atmósfera, había una cierta cantidad de ^{14}C en el árbol, después de 5730 años la cantidad de ^{14}C será solo la mitad de la original. Es importante

mencionar que al momento de analizar la muestra en relación al ^{14}C se utiliza la fecha de 1950 como referencia presente, antes de la introducción de las pruebas atómicas y antes de que las grandes cantidades de CO_2 producido por el uso de los combustibles fósiles (carbón, aceite y gas natural) cambiasen artificialmente la relación $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$.

Datación: La datación radiométrica es el procedimiento de cálculo de la edad absoluta de rocas, minerales y restos orgánicos. En los tres casos se analizan las proporciones de un isótopo padre inestable y un isótopo hijo resultante del decaimiento del primero, partiendo del conocimiento de la vida media del isótopo padre, que es el tiempo durante el cual la cantidad de masa o de átomos del isótopo se reduce a la mitad. Ejemplos de estos pares de isótopos radiactivos pueden ser el K/Ar, U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd, etc. El carbono 14 (^{14}C), es comúnmente utilizado para datación de restos orgánicos relativamente recientes, como los que incluye este estudio.

Eón—Era— Sistema/Período— Serie/Época — Piso/Edad.

Época geológica: Una época geológica es una subdivisión de un período geológico basada en cambios registrados de la fauna, flora y características de los sedimentos o rocas. La escala del tiempo geológico se divide en orden descendente de jerarquía de la siguiente manera:

Espectro polínico: Es el resultado del análisis del contenido polínico de un solo horizonte de sedimento que revela la presencia y proporciones relativas de los tipos polínicos.

Fenología: Es una respuesta de las plantas ante algunas características del ambiente como la precipitación y la temperatura o el tipo de suelo donde se desarrollan y se manifiesta en la aparición o pérdida de follaje, tiempos de floración o fructificación, la exfoliación de los tallos, desarrollo de tejidos grasos, etc.

Flora: La flora es el conjunto de especies vegetales que pueblan un territorio o una región geográfica, consideradas desde el punto de vista sistemático. La diversidad de la flora será rica o pobre según la región geográfica considerada posea muchas especies vegetales o escaso número de ellas.

Holoceno: Comenzó hace unos 11 700 años, los seres humanos fueron capaces de desarrollar una vida organizada en grupos sociales a la que llamamos civilización, es una época de clima cálido, en la que se definen las actuales distribuciones geográficas de la fauna y la flora.

Microfósiles no polínicos (MNP): Son los organismos microfósiles dentro del mismo rango de tamaño que el polen y esporas, que contienen un polímero similar a la esporopolenina en sus

paredes, siendo resistentes a los tratamientos químicos utilizados en el análisis palinológico (ej. acetólisis) y tienen el mismo orden de tamaño que el polen o esporas, por lo que se observan en las preparaciones microscópicas para polen y se determinan e incluyen dentro de los espectros polínicos.

Palinomorfos: Se refiere al término general para todas las formas encontradas en las preparaciones palinológicas, incluyendo polen, esporas, dinoflagelados, acritarcos y otros microfósiles no polínicos.

Pleistoceno: Inició hace 2.59 millones de años y finalizó hace aproximadamente 11 700 años. A veces es llamado "la era del Hombre", debido a que los seres humanos evolucionaron en este periodo, aunque se conocen restos de homínidos anteriores a esta época.

Vegetación: Es el conjunto de plantas vasculares dominadas por especies arbóreas, arbustivas o suculentas que crecen y se desarrollan de forma estructural en tipos específicos de asociación, tomando en cuenta altura, porte o cualquier otra característica para formar bosques, selvas, matorral, pastizal, entre otras.

Wisconsin: Conocido como glaciación Würm en Europa y como Wisconsin en América, es la última que ha afectado la Tierra y con ésta se considera terminado el Pleistoceno. Muchos cuaternaristas consideran que comenzó hace 80 000 años y terminó hace 11 700 años. Alcanzando su máximo de frío hace aproximadamente 20 000 años. En esta fase la especie humana disminuyó intensamente las poblaciones en las latitudes medias y altas. Es durante el Wisconsin cuando el ser humano incursiona en América a partir de Asia por el estrecho de Behring, según una de las teorías de la población del continente americano.