

00322

15



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

MADERA FOSIL EN LAS DUNAS DE LA COSTA CENTRAL DEL ESTADO DE VERACRUZ

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
BIÓLOGA
PRESENTA
DIANA ROCIO AVILES VAZQUEZ

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

DIRECTOR DE TESIS: DR. VICTOR MANUEL MALPICA CRUZ



2003



FACULTAD DE CIENCIAS SECCION ESCOLAR

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional

NOMBRE: DIANA ROCIO AVILES VAZQUEZ

FECHA: 16-Julio-2003

FIRMA: [Signature]



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACIÓN DISCONTINUA



SECRETARÍA NACIONAL
DE EDUCACIÓN PÚBLICA

DRA. MARÍA DE LOURDES ESTEVA PERALTA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

MADERA FOSIL EN LAS DUNAS DE LA COSTA CENTRAL DEL ESTADO DE VERACRUZ

realizado por **DIANA ROCIO AVILES VAZQUEZ**

con número de cuenta **7824122-6**, quién cubrió los créditos de la carrera de **BIOLOGÍA**

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis **DR. VICTOR MANUEL MALPICA CRUZ**
Propietario

Propietario **DR. SILVIA ELIZABETH RIVERA OLMOS**

Propietario **DR. BLANCA ESTELA BUITRON SANCHEZ**

Suplente **BIOL. MARIA CATALINA GOMEZ ESPINOZA**

Suplente **BIOL. RITA MARCELA GONZALEZ GONZALEZ**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

[Handwritten signatures and initials]
Rita M. Gonzalez G.

Consejo Departamental de **BIOLOGÍA**

[Handwritten signature]
M. en C. **JUAN MANUEL RODRIGUEZ CHAVEZ**

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIVERSIDAD DE ENSEÑANZA
SUPERIOR DE BIOLÓGICA

*La presente tesis esta dedicada con
mucho cariño y amor a mis Padres,
a mis hermanos y muy especialmente a Hugo
por el apoyo incondicional que siempre me dio.*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el esfuerzo de muchos años y quiero agradecer y reconocer de manera muy especial el estímulo recibido por todas las personas e instituciones que apoyaron e hicieron posible la realización de esta tesis.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Víctor Manuel Malpica Cruz por la dirección de este trabajo y por su apoyo incondicional a lo largo del tiempo que duró su realización.

Quiero agradecer también de manera muy especial a la Dr. Silvia Rivera Olmos quien siempre estuvo cerca de mí para estimularme y ayudarme durante todo el trabajo y aún más por su invaluable amistad y disposición en todo momento.

A mis sinodales la Dra. Silvia Rivera Olmos, a la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez, a la Biol. María Catalina Gómez Espinosa y a la Biol. Rita Marcela González González por su asesoría y apoyo en la revisión del trabajo.

Al Ing. Rodolfo del Arenal y Al Ing. Anastasio Lozano les agradezco sinceramente el tiempo que siempre tuvieron para darme un consejo, apoyo y estímulo para la terminación de esta tesis.

Para mis amigos los Biólogos Francisco Chávez Gallegos quien siempre me brindo su apoyo incondicional para la afinación de detalles técnicos y Otto Lass Bernal en quien siempre puedo confiar.

Finalmente a mi amiga Verónica Maya que estando un poco lejos siempre me inspiro y presiono para la elaboración y terminación de este trabajo.

A

INDICE

	PAG.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	4
JUSTIFICACIÓN	5
ANTECEDENTES	5
LOCALIZACION GEOGRAFICA	8
PLANO DE LOCALIZACION	10
FACTORES AMBIENTALES	11
Clima	11
Temperatura	11
Vientos	11
MARCO GEOLOGICO	13
SUELO	19
VEGETACIÓN	21
MATERIAL Y METODO	27
RESULTADOS	36
Análisis químico total	37
Difracción de rayos X	37
Materia Orgánica	38
Datación con carbono 14	38
DISCUSIÓN	38
CONCLUSIONES	45
LITERATURA CITADA	46

RESUMEN

Se realizó un estudio paleoambiental de maderas petrificadas, localizadas en la costa central del Estado de Veracruz, en el límite entre la cuenca sedimentaria de Veracruz con el Macizo de Teziutlán, y al sureste del campamento el Farallón de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), donde existe un relieve ondulado, de lomas suaves, formado por dunas longitudinales y transversales activas y estabilizadas con forma de media luna que en su parte meridional se encuentran en contacto con dunas estabilizadas, compactas, semilitificadas y bioturbadas.

El área de estudio comprende grandes extensiones de dunas, destacan entre ellas; las aledañas a la laguna de la Mancha, a la laguna del Farallón y por último a la laguna el Llano. Este complejo de dunas y lagunas se localiza en la región norcentral del Estado de Veracruz, México.

Se realizaron diversos estudios, sobre todo petrográficos y con microscopio electrónico de barrido, para determinar en lo posible el género, especie y familia de las plantas petrificadas encontradas. Sin embargo, debido a la diagénesis precoz que se lleva a cabo en el área, los carbonates tanto de calcio como de magnesio, enmascaran completamente los tejidos vasculares lo cual dificulta la identificación de los mismos. Por esta razón se tuvieron que hacer comparaciones morfológicas entre la madera de plantas actuales, que habitan tanto en las dunas como en las zonas acuosas y la morfología de la madera petrificada, que externamente está muy bien conservada y en cortes transversales se pueden observar vasos conductores, pero como se dijo anteriormente al observarlos al microscopio no se pudo hacer la identificación sistemática correspondiente.

La composición mineralógica del material indica la presencia de: granos de cuarzo de tamaño finos a medianos correspondientes a una abundancia de sílice y arena eólica. Se presentan otros componentes menores estas representados por feldespatos y partículas de arcilla correspondiendo el restante a componentes ferrosos y de aluminio,

en algunas muestras además, se encontró magnesio en forma de dolomita por lo que la tendencia total de la composición mineral de carbonato en las ramas y/o raíces refleja el escenario paleoambiental en el cual la vegetación murió, suponiendo que esta fue enterrada y rápidamente remplazada por arena y carbonato de calcio que destruyó la mayoría de los tejidos celulares originales.

Se hicieron dataciones radiométricas en muestras recolectadas en dos áreas, que dieron edades de 20,000 +/- 1,100 años y que pueden corresponder a una etapa regresiva del mar ligada a la gran glaciación cuyo máximo glacial ocurrió hace 18,000 años y la otra etapa sucedió hace aproximadamente 13,000 +/- 850 años, esto permite suponer el inicio de la glaciación ocurrida hace 10,000 años y consecuentemente el inicio de una etapa regresiva del mar.

Dado lo anterior y de acuerdo con el proceso diagenético tan acelerado que se llevo a cabo en este material se determino que el material corresponde a la edad reciente, es decir, que se formo durante el Holoceno.

INTRODUCCIÓN.

El Instituto de Geología realiza estudios tendientes a la localización y definición de rasgos neotectónicos sedimentarios en la planicie costera del Golfo de México, correspondiente al Edo. De Veracruz. En la región central de las costas de este Estado, entre la Villa Rica al norte y la laguna de la Mancha al sur, se encuentra un cordón de dunas costeras, longitudinales y en forma de media luna, que llegan a alcanzar una altura aproximada de 80 m.s.n.m. En el contacto con éstas, en el lugar denominado el Farallón, muy cerca de la laguna de la Mancha, se encuentran dunas antiguas estabilizadas, compactas, semilitificadas y altamente bioturbadas principalmente por crustáceos y por raíces de diversas plantas.

Estas dunas estabilizadas llegan a tener una altura máxima de 100 m.s.n.m. Al estudiar las dunas desde el punto de vista sedimentológico, se encontró que en algunas partes de ellas, sobre todo hacia el barlovento de las mismas, hay fragmentos de maderas y raíces petrificadas que han sido reemplazadas principalmente por carbonato de calcio.

La importancia que puedan representar estos fragmentos de madera, para la reconstrucción paleoambiental, es que muchos de ellos fueron encontrados *in situ*, y otros posiblemente fueron transportados, esto motivó el interés para su identificación. Dicha identificación y reconstrucción paleoambiental, se hizo con el fin de establecer si realmente correspondían a árboles o plantas cuyo hábitat esta ligado a medios acuosos, o ligado a un nivel freático muy cercano a la superficie. Su identificación y ubicación ayudaría a comprender un posible basculamiento y levantamiento tectónico de la costa en un periodo muy corto de tiempo, así mismo la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra dicha madera ayudaría a definir un posible levantamiento tectónico

Se realizaron diversos estudios, sobre todo petrográficos y con microscopio electrónico de barrido, para determinar en lo posible el género, especie y familia de las plantas petrificadas encontradas. Sin embargo, debido a la diagénesis precoz que se lleva a

cabo en el área, los carbonatos tanto de calcio como de magnesio, enmascaran completamente los tejidos vasculares lo cual dificulta la identificación de los mismos. Razón por la cual se tuvieron que hacer comparaciones morfológicas entre la madera de plantas actuales, que habitan tanto en las dunas como en las zonas acuosas y la morfología de la madera petrificada, que externamente está muy bien conservada y en cortes transversales se pueden observar vasos capilares, pero como se dijo anteriormente al observarlos al microscopio no se pudo determinar el género. Este trabajo es una contribución al conocimiento de esta madera petrificada, y aunque la investigación fue ardua y difícil, los resultados aún no son los esperados.

En esta zona de estudio se forma un acantilado o farallón de 60 m de altura, en el cual se observan estratos de arena con diferentes espesores y en forma cóncava. Estas arenas se caracterizan por presentar bioturbaciones de diversos organismos, específicamente por cangrejos. Al rellenarse estas bioturbaciones de arena eólica, se cementan rápidamente, esto puede deberse a las secreciones externas de dichos organismos, a las condiciones físico-químicas que da el agua de mar y al escurrimiento del agua meteórica que se infiltra en esta zona vadosa.

Cerca de las bioturbaciones, se encuentran fragmentos de raíces, tallos, y neumatóforos de plantas reemplazados completamente por CaCO_3 . En las partes altas de las dunas estabilizadas, hay cerca de 5 zonas donde se pueden observar estos restos de plantas de hasta 50 cm. de longitud; troncos *in situ* de 10 a 15 cm de diámetro y con una longitud aproximada de 50 cm. (Malpica Cruz 1988).

OBJETIVOS

1. A partir de evidencias paleobotánicas, sedimentológicas y tectónicas establecer la reconstrucción paleoambiental de una zona de dunas litorales asociadas a playas arenosas y manglar.
2. Identificación de paleozonas de conjuntos florísticos y zonas de maderas petrificadas.

3. Localización e identificación de zonas de conjuntos florísticos actuales, así como su hábitat.
4. Estudio e interpretación de la dinámica y mecanismos de petrificación de las maderas.
5. Identificación de maderas petrificadas a través del método taxonómico comparativo, análisis morfológico y análisis químico para la reconstrucción de paleoambientes.

JUSTIFICACIÓN.

En la porción central de las costas del Estado de Veracruz, en la zona de dunas costeras, existen mecanismos endógenos y exógenos relacionados con procesos de petrificación de maderas (calcificación y/o carbonatación), probablemente de edad reciente y que aparentemente pertenecen a un tipo de flora ligada a comunidades neríticas, particularmente a pantanos de mangle.

La identificación de estos conjuntos florísticos tiene gran importancia ya que si la madera identificada realmente correspondió a plantas cuyo hábitat estaba relacionado con medios de intermareas, y que actualmente se encuentran petrificadas *in situ* a una altura entre 5 y 80 metros sobre el nivel medio del mar, ayudaría a reconstruir e interpretar el paleoambiente y los movimientos neotectónicos que han afectado a la región durante los últimos diez mil años.

ANTECEDENTES (Trabajos previos)

El Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México está realizando estudios ambientales, sedimentológicos y de neotectónica en la costa del Estado de Veracruz, para comprender los mecanismos de sedimentación que afectan algunas obras de Ingeniería Civil de gran envergadura que se llevan a cabo en estas costas.

El estado de Veracruz, ha sido objeto de múltiples estudios en muy diversas disciplinas relacionadas con el ambiente, en el área de Ciencias de la Tierra son importantes las siguientes investigaciones:

A. Geología. En 1952, Ríos - Macbeth estudia las rocas volcánicas de la región de los Tuxtles, Veracruz, describiendo por primera vez la secuencia volcanoclástica y la diferenciación de facies volcánicas localizadas en esa región. Posteriormente, Ayala - Castañares y colaboradores en (1969), realizan una síntesis sobre la granulometría y distribución de sedimentos de la laguna de Tamiahua en el estado de Veracruz diferenciando los diversos ambientes de depósito. Posteriormente Bello Navarro, en (1983) hace un estudio sobre la integración y realiza la interpretación geológica-geofísica de la cuenca de Veracruz. En (1987), Malpica-Cruz describe por primera vez movimientos tectónicos recientes de tipo basculares que afectan la costa central del estado de Veracruz, y además en (1988), Malpica Cruz y Silva Mora, plantean el problema de la dinámica litosférica en el extremo oriental de la faja volcánica transmexicana, llegando a la conclusión de que la región es tectónicamente activa, ya que se pueden observar en las terrazas marinas labradas en rocas basálticas de edad Pleistoceno Superior y en las rocas sedimentarias de edad Miocénica de la Formación Tuxpan.

B Sedimentología. Bryant, William y colaboradores, en (1968), reportan la estabilidad y características geológicas de los sedimentos marinos del Golfo de México. Posteriormente Herrera Castañeda en (1978) realiza un estudio sobre el neotectonismo y la sedimentación del área Villa Azueta San Juan Evangelista, del estado de Veracruz.

C. Paleontología. En (1906) Böse elaboró una nota preliminar sobre la fauna Pliocénica de Santa María Tatetla, Veracruz y pone indirectamente en evidencia el levantamiento tectónico de esa zona. - Posteriormente Flores- Revueltas en (1955) reporta los arrecifes de la Cuenca Tampico - Tuxpan, Veracruz. Etenod- Olvera (1959) reporta a los foraminíferos del Cretácico Superior de la Cuenca Tampico - Tuxpan, Veracruz.

Figuerola- Santos en (1964) descubre el tercer tramo del Arrecife de la Faja de Oro Veracruz, posteriormente Carreño en (1974) estudió la fauna de ostrácodos en muestras procedentes de la localidad Tipo de la Formación Mesón del Oligoceno de la Cuenca sedimentaria Tampico - Misantla, describiendo por primera vez para México, 13 especies y 12 géneros, determinando también un ambiente de sedimentación infranerítico. Buitrón y Silva Sánchez, en (1979) revisan dos especies de Equinoides (Echinodermata - Echinoidea) del Eoceno tardío de Tantoyuca, Veracruz. Gio-Argaez en (1982), estudia los ostrácodos de la Formación Tuxpan Veracruz.

D. Flora. En cuanto al estudio de la flora de la región, Lot - Helgueras en (1971) realiza un estudio sobre fanerógamas marinas en las cercanías del Puerto de Veracruz y Gómez - Pompa en (1973) reporta la ecología de la vegetación para el estado de Veracruz.

Existen todavía, algunas áreas, como las de las dunas costeras del estado, que no han sido muy estudiadas, en las cuales se encuentran la mayoría del material petrificado. Sin embargo, los estudios que se han hecho respecto al área se mencionan a continuación;

Novelo-Retana (1978) elabora un trabajo sobre la vegetación de la estación biológica el Morro de la Mancha en Veracruz. Esta es una zona aledaña al lugar del presente estudio. Moreno-Casasola y colaboradores (1982) realizan estudios en el Morro de la Mancha, sobre la ecología de la vegetación de dunas costeras, destacando principalmente su estructura y composición.

Moreno-Casasola y González-Loera (1982) dan a conocer un estudio sobre la ecología de la vegetación de dunas costeras asociadas al efecto de una perturbación artificial. Moreno-Casasola (1988) hace un estudio donde informa sobre la distribución de las especies paternas en las dunas costeras, a lo largo del Golfo de México. Malpica- Cruz (1988) da a conocer el proceso de fosilización de manglares asociados a una zona neotectónica en la costa central de Veracruz. En este trabajo se describen las

características de las dunas y el proceso sedimentario que explica el mecanismo de fosilización de las maderas ahí localizadas.

Posteriormente en 1990; Moreno-Casasola hacen un estudio de las dunas costeras en la costa este del Golfo de México y Malpica-Cruz (1991) elabora un estudio sobre los procesos recientes de petrificación de maderas en los alrededores del Puerto de Veracruz, donde realiza un estudio sobre los procesos diagenéticos que se llevan a cabo en un medio vadoso. Lot- Helgueras (1991) elabora un ensayo en el que se encarga de estudiar la vegetación y flora vascular acuática del estado de Veracruz. Malpica-Cruz y Kasper-Zubillaga (1993) realizan un estudio preliminar sobre las variaciones Holocénicas en el nivel del mar en el complejo lagunar de la laguna Farallón, Laguna Verde y Boca Andrea en Veracruz, todas estas son zonas aledañas a las dunas costeras en estudio, sitio donde se encuentran las maderas actualmente petrificadas.

En cuanto a trabajos relacionados con el presente estudio se tienen a nivel internacional, los realizados por:

Hoffmeister y Multer (1965) realizan trabajos donde citan sus estudios sobre manglares fósiles en arrecifes de Cayo Biscayne en Florida, en este trabajo se encuentran manglares del tipo de los que existen en el área de estudio. Finalmente, Retallack (1990) hace un reporte sobre las características encontrada en paleosuelos, cuyo trabajo cobra importancia, debido a la descripción que hace sobre paleoambientes neríticos.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio comprende grandes extensiones de dunas, destacan entre ellas; las aledañas a la laguna de la Mancha, a la laguna del Farallón y por último a la laguna el Llano. Este complejo de dunas y lagunas se localiza en la región norcentral del Estado de Veracruz, México. (Figura 1).

La zona de estudio presenta la siguiente situación geográfica; a los 19°36' y 19°38' latitud N y 96°22' y 96°24' longitud W. Se encuentra delimitada al norte, este y sur por el Golfo de México, hacia el noroeste por la laguna el Farallón, en el oeste por la Sierra Manuel Díaz Cobarrubias y del lado suroeste por la laguna de la Mancha.

En la costa central del Estado de Veracruz, a 70 Km al noroeste del puerto del mismo nombre, siguiendo la carretera federal # 180, en el límite entre la cuenca sedimentaria de Veracruz con el Macizo de Teziutlán, y al sureste del campamento el Farallón de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), existe un relieve ondulado, de lomas suaves, formado por dunas longitudinales y transversales activas y estabilizadas con forma de media luna que en su parte meridional se encuentran en contacto con dunas estabilizadas, compactas, semilitificadas y bioturbadas (Malpica-Cruz y Silva-Mora, 1988).

Se llega al área de estudio por el camino que une al campamento el Farallón de la Comisión Federal de Electricidad con la playa, siguiendo hacia el SE, donde se inicia un cordón de dunas longitudinales en forma de media luna que alcanzan una altura de 80 m.s.n.m. La superficie de la zona de dunas es de aproximadamente 6 km de longitud y 500 m de ancho (Foto 1). Rumbo al SW y SE, estas dunas se encuentran en contacto con arenas de grano medio a fino, compactadas, pero sin litificar, presentan una altura de 100 m. que corresponden a antiguas dunas estabilizadas. Esta localidad se encuentra en la planicie costera de sotavento que se extiende al suroeste del Golfo de México, en una porción casi recta comprendida entre la playa Farallón y la punta Boca Andrea al noroeste del puerto de Veracruz.

Casi toda la planicie costera de sotavento es plana, con suaves inclinaciones formadas por levantamientos tectónicos del Cenozoico, suavemente plegados y cubiertos por depósitos aluviales de poco espesor. Se puede observar que la costa es baja, arenosa, con una playa angosta y casi toda bordeada por médanos y dunas móviles (Novelo, 1978).

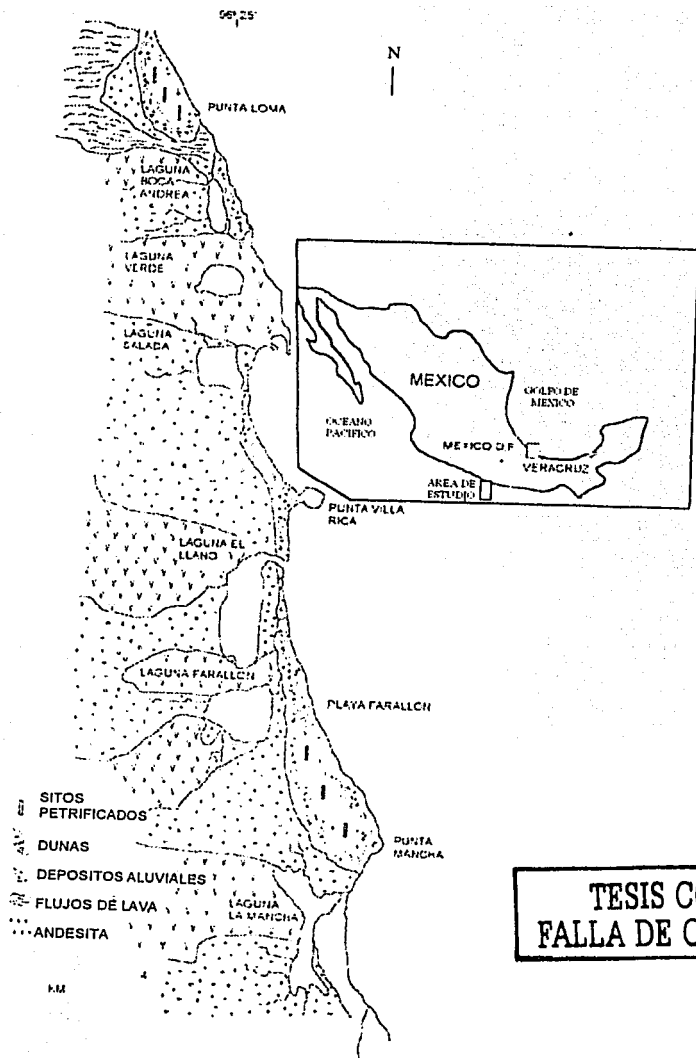


FIGURA 1 PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

FACTORES AMBIENTALES

Clima.

Según la clasificación de Köppen modificada por Enríqueta García (1964), la región se encuentra ubicada dentro del área de la zona de clima tropical de sabana, subhúmedo con lluvias en verano (Aw), que abarca desde el Trópico de Cáncer, hasta aproximadamente los 19° de latitud norte.

Temperatura y precipitación

La temperatura promedio anual es de 25,6°C, y la precipitación promedio anual es de 1318.2 mm, con moderada evaporación, las precipitaciones más abundantes son durante los meses de verano y principios de otoño, con lluvias aisladas durante el invierno. La sequía ocurre a finales del invierno y durante toda la primavera, esta puede ser muy intensa a causa de una fuerte radiación solar, una elevada temperatura diurna que puede alcanzar los 38 °C, y los vientos continentales.

Vientos

Los vientos dominantes proceden del Norte y Este; son portadores de altos contenidos de humedad que arrastran desde el mar. Pueden ser vientos alisios, tormentas tropicales, huracanes y nortes. Las tormentas tropicales y los huracanes son motivo de las mayores precipitaciones en el año y definen la temporada de lluvias en el verano. Los nortes son causantes de una considerable precipitación, lo mismo que del descenso de la temperatura durante la temporada invernal. Las suradas, conocidas así comúnmente por los lugareños, son vientos contrarios a éstos y regularmente son calientes y secos, que provienen del continente hacia el Sur y Oeste, las suradas se presentan durante el estío, por lo que juegan un papel importante en la intensificación de las sequías.

Debido a que la arena es arrastrada con relativa facilidad por el viento, y debido a que en la zona de contacto tierra-mar no falta el viento, un aspecto que caracteriza a las dunas es su movilidad por arrastre eólico (Figura 2). Este desplazamiento causa los lomeríos de arena que caracterizan a las dunas. Su forma va a depender de la intensidad y dirección del viento, lo mismo que del tamaño y peso de las partículas de arena. En los sitios donde la arena esta más suelta, la disposición y forma de la duna cambia continuamente; sin embargo en donde la vegetación tiene oportunidad de crecer, la duna detiene su avance y cambio de forma (Torres y Bojórquez 2000).

Debido a las características de clima, vegetación (selvas tropicales), suelo, geomorfología, además de la complejidad topográfica de la región, se ha generado un sitio con una gran diversidad de microambientes en esta zona del Golfo (Martínez y Valverde, 1992).

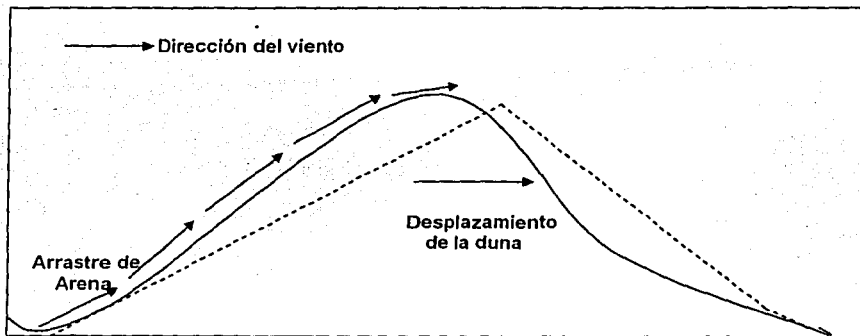


Figura 2. Desplazamiento de una duna de arena por acción del viento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MARCO GEOLÓGICO

Relieve

Al oeste del área de estudio existe un relieve abrupto de rocas volcánicas que corresponde a la parte terminal del Macizo de Teziutlán, el cual en esta localidad se denomina "Macizo de Santa Ana", en tanto que a la sierra paralela a la costa se le denomina "Sierra Manuel Díaz Cobarrubias". Este relieve está formado por estructuras volcánicas y sus productos emplazados en el Terciario superior y Cuaternario (Mioceno - Pleistoceno Mioceno-Pleistoceno Superior). La morfología presenta laderas con pendientes fuertes y cortes acantilados, en donde se observan algunos cuerpos tabulares formados por coladas de lava y tobas. En la parte inferior de algunas de estas laderas se han desarrollado depósitos de pie de monte (Malpica- Cruz. 1991).

Geología.

Desde el punto de vista geológico, el complejo de dunas se encuentra enclavado en la planicie costera del Golfo de México, en la región dominada por el Macizo de Palma Sola descrito por Malpica- Cruz y Silva-Mora (1988), como una región tectónicamente activa en el Golfo de México (Foto 1).

Existen evidencias de períodos de intensa actividad volcánica en los flujos basálticos emplazados en los afloramientos cercanos a la playa; tobas, areniscas tobáceas, y restos de cuellos volcánicos adyacentes a la zona. El domo dacítico en Villa Rica, forma parte del tómbolo precisamente denominado como el tómbolo de Villa Rica.

El área ha registrado un periodo de intensa actividad tectónica y volcánica durante el Cenozoico siendo también las rocas emplazadas y depositadas las fuentes de suministro de sedimentos recientes (Mioceno - Pleistoceno Superior). El macizo de Palma Sola es una compleja estructura volcánica que presenta una fase eruptiva que va

desde el Mioceno al Reciente (Robín y Tournon. 1978). Está compuesto por diferentes volcanismos que incluyen diques en su mayoría alcalinos.

Además, de los basaltos alcalinos, basaltos y dacitas, se encuentran plutones esparcidos de composición gabroide y diorítica. Las dioritas son de composición calcoalcalina con edad aproximada de 12.3 millones de años. (Mooser y Soto, 1980).

Las lavas de Chiconquiaco que están distribuidas al norte de Palma Sola y Cerro del Sombrero fueron datadas por Mooser y Soto en (1980), con una edad de 3.5 millones de años. y tienen un carácter de basaltos alcalinos, aunque hacia el cerro del sombrero se han encontrado rocas andesíticas- basálticas con características calcio - alcalinas.

Existe un cordón de dunas que se extiende al sur de laguna de La Mancha, pasando por la playa Farallón al norte hasta laguna Verde y laguna Boca Andrea (Foto 2). Las dunas activas tienen forma de media luna, son longitudinales y se encuentran en contacto con dunas estabilizadas, bioturbadas al sur del complejo (Malpica Cruz y Silva Mora 1988).

En esta área se forma un acantilado o farallón de 60 m de altura, en el cual se observan estratos de arena con diferentes espesores y en forma cómica. Estas arenas se caracterizan por presentar bioturbaciones de diversos organismos, específicamente por cangrejos y por hormigas. Al rellenarse estas bioturbaciones de arena eólica, se cementan rápidamente, esto puede deberse a las secreciones externas de dichos organismos, a las condiciones físico-químicas que da el agua de mar y al escurrimiento del agua meteórica que se infiltra en esta zona vadosa.

Cerca de las bioturbaciones, se encuentran fragmentos de raíces, tallos, y neumatóforos, de plantas reemplazados completamente por CaCO_3 . En las partes altas de las dunas estabilizadas, hay cerca de 5 zonas donde se pueden observar estos restos de plantas de hasta 50 cm. de longitud; troncos *in situ* de 10 a 15 cm de diámetro y con una longitud aproximada de 50 cm (Foto 3). (Malpica Cruz 1988).



Foto 1. Vista panorámica de las dunas costeras en forma de media luna en el área de estudio

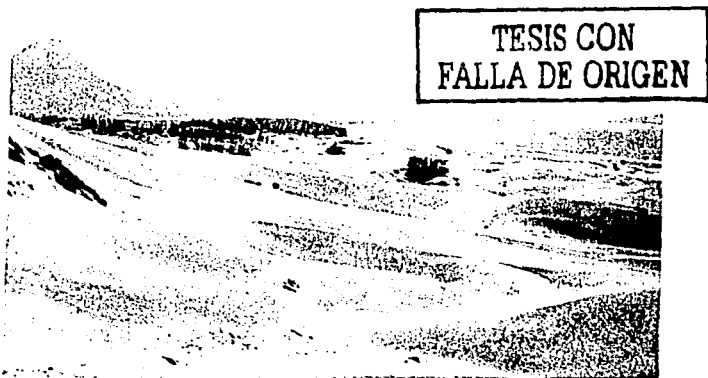


Foto 2. Cordón de dunas que se extiende al sur de laguna de La Mancha, pasando por la playa Farallón.

Morfología de playa.

En las costas del estado de Veracruz, se encuentra un cordón de dunas costeras, constituidas por acumulación de arena no consolidada, que presentan una forma, tamaño, orientación y vegetación muy particular para cada zona, dependiendo de diversos factores como; el peso, el tamaño de los granos, la fuerza y dirección de los vientos dominantes. Debido a que el sustrato es arenoso y poco compacto, es acarreado fácilmente por el viento y depositado en sitios específicos, formándose así diferentes sistemas de dunas. (Martínez y Valverde, 1992).

Los sistemas de dunas varían, desde pequeños cordones paralelos entre sí, hasta dunas parabólicas que pueden alcanzar alturas hasta de 80 m. La vegetación de dunas costeras aunque puede ser escasa es importante para determinar su forma. Es decir que una duna parabólica se forma cuando se establece vegetación en los extremos de un cordón de arena, la parte central de dicho cordón se desplaza a mayor velocidad y adquiere mayor altura que los extremos, dando lugar así, a la característica forma de media luna.

Debido a la topografía de las dunas parabólicas se pueden diferenciar zonas; hondonadas, cimas, brazos y pendientes, con características diferentes de movimiento de arena, humedad, pendiente y grado de exposición, dando como resultado la formación de microambientes con asociaciones vegetales específicas. (Martínez y Valverde, 1992).

Los sistemas de dunas también se forman como consecuencia de la composición arenosa del sustrato, por la escasez de nutrientes y de humedad en el suelo. La arena tiene poca capacidad de retención de agua, pues está formada por granos muy grandes y poco compactos. El medio es muy pobre en nutrientes, pues si se encuentran disueltos en el agua, al percolarse ésta a las capas inferiores del sustrato también son acarreados y se pierden.

Así también al encontrarse los sistemas de dunas cerca del mar las concentraciones de sales aumentan, la aspersion salina provocada por la brisa del mar limita la distribución de algunas especies vegetales que no tienen mucha tolerancia a la salinidad. Los sedimentos, ya sean sólo partículas o agregaciones de éstas, son el producto de las interacciones que se dan entre la corteza terrestre, la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera a través del tiempo geológico. Al ser expuestos en la superficie estos sedimentos sufren, como todo producto físico-químico, fuera de su ambiente de formación el ataque de los agentes tanto atmosféricos como orgánicos que buscan un equilibrio bioquímico con el nuevo ambiente que los rodea. Los factores que influyen son la latitud, altitud, el clima y la fisiografía del terreno.

Cuando los sedimentos sufren alteraciones físico - químicas y bioquímicas a partir de su depósito y hasta su sepultamiento final se dice que es un proceso diagenético (Foto 4).

Sedimentología.

En esta zona se encuentran arenas de grano grueso a medio, que son las que forman las dunas activas. Estas son de forma longitudinal, aunque también hay dunas transversales con forma de media luna, que presentan 5 Km de longitud y 0.5 Km de ancho, llegan a alcanzar hasta 80 m.s.n.m. (Malpica- Cruz, 1991). Las arenas y areniscas se encuentran intensamente bioturbadas por diversos organismos, en particular por cangrejos y hormigas que viven en esta localidad; los cangrejos habitan desde la playa hasta los 100 m de altura donde abundan pistas y perforaciones elaboradas por ellos mismos, generalmente las pistas se encuentran sobre paredes verticales de cantil, en planos horizontales de las dunas y en la playa. Mientras que las hormigas habitan principalmente en la playa y al elaborar sus hormigueros envuelven con saliva las pelotitas que van sacando, y que por acción del medio salino se endurecen precipitadamente (Foto 5).



Foto 3. En la parte superior derecha se observan restos de plantas petrificadas y en la parte central bioturbación originada por cangrejos.



Foto 4. Aspectos de diagénesis precoz de CaCO_3 en arena eólica y en fragmentos de madera.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Foto 5. Bioturbación producida por hormigas que al hacer sus hormigueros envuelven con saliva pelotitas de arena que van sacando, y por acción del medio salino se endurecen rápidamente.

SUELO.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En el área de estudio se encuentran los suelos denominados por FAO-UNESCO, (1994), como arenosoles. Aunque la mayoría de los arenosoles se encuentran en zonas áridas y semiáridas son típicamente suelos azonales, que se presentan en un amplio rango de climas; de muy áridos a muy húmedos y de muy cálidos a muy fríos. Los arenosoles se encuentran en superficies muy viejas, así como en formaciones muy recientes y pueden estar asociados con algún tipo específico de vegetación. Son abundantes en zonas eólicas y ambientes costeros, desarrollándose sobre sedimentos arenosos de dunas, playas y deltas. Las costas arenosas y las costas con áreas de

dunas son geográficamente pequeñas en extensión, pero ecológicamente resultan importantes.

Los arenosoles se definen de acuerdo a FAO-UNESCO (1994) como:

Suelos que contienen arena hasta los 100 cm por debajo de la superficie o del contacto lítico, paralítico o petroplíntico entre los 30 y 100 cm de profundidad. Estos suelos contienen menos del 35 de fragmentos de roca o de otros fragmentos ordinarios dentro de los primeros 100 cm de la superficie.

Los arenosoles presentan horizontes de transición, en algunos es general, gradual o difusa, excepto para los horizontes superficiales. Las estructuras son normales o sólo presentan un desarrollo muy débil. Son muy permeables y tienen una rápida infiltración, una alta conductibilidad hidráulica y una capacidad baja para almacenar el agua. Químicamente puede haber grandes variaciones en el contenido de nutrientes y materia orgánica. Los rangos en los niveles de capacidad de intercambio catiónico van de muy pobres a moderados. La saturación en los niveles ácidos y básicos de pH es muy variable.

Después de la estabilización de las dunas se pueden desarrollar diferentes tipos de arenosoles formándose en diferentes posiciones. Por ejemplo, una duna de loma puede tener suelos descalcificados así como ferrálicos, lúvicos o arenosoles háplicos, mientras que considerando en los valles de las interdunas se pueden encontrar arenosoles calcáreos o gleysoles arénicos. Con incremento en el tiempo para la formación del suelo, los suelos arenosos pueden enriquecerse con material fino, especialmente en los estratos bajos. El resultado puede ser que los arenosoles gradualmente cambien a luvisoles, calcisoles o planosoles.

En los ambientes áridos y semiáridos las dunas estabilizadas o móviles con arenosoles pueden encontrarse asociadas con playas caracterizadas por una variedad de suelos, como regosoles, calcisoles, leptosoles etc.

La composición de arena es un factor determinante en la diferenciación del suelo, así como el tiempo transcurrido y el clima. Los depósitos nuevos de arena tienen ciertas características mineralógicas y de composición química pero el ensamble de dichos depósitos puede cambiar dramáticamente ya sea como el resultado de alteraciones minerales, principalmente la formación de arcillas, o debido a las adiciones regulares de las precipitaciones o contribuciones de material eólico o volcánico.

Las arenas pobres en minerales intemperizados, como es el caso estudiado, tienen a menudo varios ciclos geológicos de intemperismo y de formación de suelos. Por ejemplo las arenas tropicales de costa están formadas a menudo de cuarzo casi por entero debido a que otros materiales han sido intemperizados y removidos. En estos lugares puede haber subsecuentes enriquecimientos debidos a granos arrastrados por el viento o por precipitaciones químicas. Aparentemente en la zona de estudio no hay parámetros edáficos que limiten la distribución de las especies vegetales por lo que parece que existe una tendencia a sustratos más ricos en nutrimentos y materia orgánica conforme avanza la estabilización, sin llegar a constituir lo que pudiera llamarse suelo, (Casasola, 1982).

VEGETACIÓN.

De acuerdo con la descripción que hace Lot Helgueras (1991), sobre la gran variedad de la vegetación y flora vascular a lo largo de la planicie costera del Golfo de México, se distinguen como unidades básicas existentes en la zona de estudio: selva mediana subperennifolia, selva baja caducifolia, manglar, popal, tular, carrizal, vegetación flotante, y vegetación sumergida.

Selva Mediana Subperennifolia:

Este tipo de vegetación se observa en lugares planos, con suelos arenosos no muy profundos y bastante perturbados, con abundantes bejucos aunque muy pobre en

epífitas. La altura de esta vegetación es muy variable y sólo quedan algunos árboles que sobrepasan los 20 m., entre estos encontramos a *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Ficus obtusifolia* y *Enterolobium cyclocarpum*.

Como especies más abundantes se encuentran las epífitas, como son: *Coccoloba barbadensis*, *Randia laetevirens*, *Byrsonima crassifolia*, *Crataeva tapia*, y como asociadas a estas epífitas; *Brassaloba nodosa* y *Nectandra coriácea*.

Selva Baja Caducifolia:

Este tipo de vegetación se encuentra extendida en el área sobre terrenos arenosos o pedregosos con suaves pendientes y está limitada por los médanos ó dunas, que son muy abundantes en esta zona.

El tamaño de la vegetación varía dependiendo de la cercanía a los médanos, ya que en los lugares próximos a la selva mediana tienen una altura que va de 4 a 6 m, donde los árboles presentan troncos bien definidos. Mientras que en los bordes del médano los árboles tienen troncos muy ramificados (Foto 6).

Como especies más representativas de este tipo de flora tenemos; *Cocordia dentata*, *Nectandra coriácea*, *Diphisa robunoides*. *Acacia pennatula* y *Bursera simaruba*.

Manglar:

Son agrupaciones arbóreas inundables que se encuentran en los bordes de las lagunas costeras o sistemas estuáricos y bahías comunicados directamente con el mar. En el área de estudio encontramos las cuatro especies existentes de manglar de México; *Rizophora mangle* (Mangle rojo), *Avicernia nitida* (Mangle negro), *Laguncularia racemosa* (Mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (llamado comúnmente mangle botoncillo). Esta última es la especie más afectada por el hombre al destruir su hábitat reduciendo de esta manera su área de distribución (Foto 7).



Foto 6. Vegetación circundante al área de estudio correspondiente a la Selva baja caducifolia.



Foto 7. Manglar negro *Avicennia nitida* algunos de estos tipos de raíces son los que se han encontrado petrificados.

La distribución de las especies, dentro del manglar está muy marcada, pues siempre se encuentra en el borde externo el mangle rojo (*Rizophora mangle*), formado por unos cuantos árboles. Su talla varía de los 4 a 10 m dependiendo del sitio donde se encuentre.

Hacia la parte posterior de los árboles de *Rizophora mangle*, comienza a dominar el mangle negro, *Avicennia nitida*, que también varía en tamaño, de 6 a 10 y hasta 15 m.

En el borde más interno del manglar se encuentra el mangle blanco, *L. racemosa* mezclado con *Avicennia nitida*, con una altura que va de los 3 a los 6 m.

El mangle botoncillo *Conocarpus erectus* se encuentra en los sitios de menor inundación, es decir en el centro del manglar, limitado por la vegetación asociada.

Durante los meses secos del año (noviembre-abril), estos manglares en su interior están casi secos y solamente los árboles de *Rhizophora mangle* que están situados en el borde externo del manglar llegan a tener algunos centímetros de agua. Por tal motivo la comunidad de *Rhizophora mangle* se localiza en suelos con drenaje superficial lento de textura media con porcentaje de materia orgánica muy bajo y altos contenidos de cloruros (cloruro de sodio y cloruro de magnesio), razón por la cual se le incluye dentro de los suelos sódicos salinos. Estas características edáficas corresponden a comunidades desarrolladas y bien establecidas del manglar de amplias zonas en los sistemas estuáricos lagunares, en estos sitios los niveles de fósforo son bajos, ya que el existente viene de la misma vegetación vía materia orgánica razón por la cual estos suelos son poco productivos al ser deforestados. (Lot 1991).

Asociada al manglar, se encuentra la vegetación halófila, constituida principalmente por *Fimbristylis castanea*, *Batis maritima* y *Sesuvium maritimum*.

Vegetación de Dunas Costeras.

La vegetación de las dunas costeras, dependiendo de su movilidad, está representada por especies dominantes y pioneras en la barrera arenosa en la que predominan especies como: *Ipomoea stolonifera*, *Ipomoea pescaprae*, *Sesuvium portulacastrum*, *Opuntia dillenii*, *Palfoxia texana*, *Coccoloba randia* y *Crotón sp* (Foto 8).

Además de matorral espinoso, con predominio de especies de acacia, especialmente *A. cornigera*, (Cruz, 1966).

Palmar Inundable.

Se caracteriza por soportar condiciones de permanente inundación. Estos palmares tienen de 15 a 25 m de alto como los de *Shoelea liebmannii* (corozo) y los de *Roystonea dunicipiana* (palma real) que con frecuencia se mezclan con la selva alta perennifolia en zonas inundables de la planicie costera del Golfo de México.

Por el hábitat inundado de esta comunidad se encuentra también *Annona glabra*, como única especie representativa de árboles agrupados en pequeños manchones, con características semejantes al de un manglar, y por encontrarse solamente en un ambiente de médanos.

Tular.

La especie más representativa de este tipo de vegetación es *Thypha domingensis*, la cual se encuentra la mayor parte del tiempo inundada, puede variar de unos pocos cm hasta aproximadamente 0.5 m de profundidad. Se intercala con otras especies como son; *Sagittaria lanctfolia* e *Hidrocotyle bonariensis*.

Hidrófitas herbáceas.

Pueden llegar a medir hasta 3 m de altura, las plantas que las componen se encuentran en lugares pantanosos en donde el nivel del agua puede llegar a los 2 m, se encuentran especies como *Talla geniculata*, *Pontederia sagittata*, *Ipomoea fistulosa* y *Pragmites australes* (carrizal).

Otra planta hidrófita es *Halodule beaudetel*, que vive con gran influencia marina, como en el caso de las lagunas costeras, es poco conocida y se encuentra en la Laguna de la Mancha. (Lot 1991).



Foto 8. Vegetación pionera que corresponde a la vegetación característica de dunas costeras y que se localiza en el área de estudio.

MATERIAL Y MÉTODO.

Con el fin de cumplir con los objetivos mencionados en el presente estudio, este se efectuó en las siguientes etapas:

A) Recopilación de información.

Se llevo a cabo la recopilación de la información bibliográfica básica pertinente (libros, revistas y artículos), acudiendo a las fuentes de información especializada, como fueron las bibliotecas del Instituto de Geología, del Instituto de Biología, la Facultad de Ciencias, así como, el Instituto Nacional de Antropología e Historia, etc. Así mismo se hizo la búsqueda de sitios para la datación del material colectado, además de la cartografía de la zona.

B) Trabajo de campo.

La designación del sitio de estudio se hizo con base a las áreas de las dunas costeras, donde se han localizado maderas petrificadas. El criterio que se siguió para el trabajo de campo fue el siguiente:

1. Describir lo más detalladamente posible los sitios de localización de madera petrificada.
2. Observar características de suelo y dunas donde se encuentra el material a coleccionar.
3. Colectar maderas petrificadas que se encontraron *in situ* y otras que se supone fueron transportadas.
4. Colectar ejemplares de maderas actuales en los estuarios y en las dunas estabilizadas cercanas a la zona de maderas petrificadas para su comparación

Al coleccionar cada una de las muestras petrificadas se observaron y anotaron las condiciones en que se encontraban; su tamaño, espesor y forma, posteriormente fueron colocadas en bolsas de plástico, anotando también la localidad, fecha y observaciones convenientes en su caso.

Al coleccionar las muestras de madera actual se etiquetaron con localidad, fecha, hora y nombre común, para posteriormente prensarlas para su secado y así hacer la identificación adecuada.

Durante el trabajo de campo, se tomaron una serie de fotografías tanto del área de dunas como de las maderas petrificadas ubicadas en la zona, puesto que éstas no habían sido observadas con anterioridad por algún experto en la materia, así como para hacer una descripción gráfica de las mismas.

C) Trabajo de laboratorio.

En el laboratorio se utilizaron las siguientes técnicas para poder llegar a una conclusión real sobre el material que se trabajó:

Por lo que las técnicas que se utilizaron fueron las siguientes: Elaboración de secciones delgadas, Elaboración de láminas delgadas, análisis químico total, determinación de materia orgánica, difracción de rayos X, y elaboración de un herbario.

1. Secciones delgadas; Posiblemente la mejor forma de estudiar las petrificaciones es mediante la realización de cortes anatómicos. Las petrificaciones que se estudiaron en éste caso, fueron de troncos y raíces. El método biológico del estudio de cualquier tronco actual se basa en tres cortes clásicos; transversales, radiales y tangenciales. Este mismo criterio se aplicó para el estudio de los troncos y raíces petrificadas, analizados en el presente trabajo y con la ayuda de las técnicas petrográficas fue posible obtener secciones delgadas mucho más duraderas que las secciones de plantas recientes.

2. Láminas delgadas; es el primer método para obtener secciones microscópicas de una petrificación. La técnica utilizada se describe a continuación y es la misma que usan los petrógrafos del Instituto de Geología de la UNAM.

Este método consiste en cortar una sección delgada de un tronco, según el plano que se necesitó, para la cual se utilizó una cortadora de roca para poder hacer los pequeños cortes de madera, luego se montó el fragmento cortado sobre un portaobjetos con Bálsamo de Canadá y se prosiguió a pulir o rebajar la sección hasta que fuera tan delgada que pudiera observarse por transparencia con un microscopio petrográfico. Para rebajar la sección se utilizó una pulidora y un abrasivo del # 100 que es grueso y se llegó hasta el más fino que es del # 800, pasando por los de 120, 180, 400 y 600, finalmente se lavó la preparación y quedó lista para ser observada al microscopio.

3. Análisis Químico Total; Para realizar este análisis se utilizó la técnica analítica de vía húmeda que comprende los siguientes métodos: volumétrico, gravimétrico, colorimétrico y espectrofotometría de flama (Jeffery y Hutchison 1981).

Para la realización de este análisis se llevo a cabo el procedimiento siguiente:

Descomposición de la muestra.

Se funde 1 gr. de muestra en crisol de platino durante 30 min., a una temperatura de 800°C. La masa fundida se disuelve en ácido clorhídrico (HCl 6 molar y se deshidrata totalmente en parrilla eléctrica, se recupera con 100 ml. de HCl 6 molar, se filtra y en el papel filtro se queda el precipitado de sílice el cual se calcina a 900 °C. De este precipitado se obtiene SiO₂ con el siguiente cálculo:

$$\text{SiO}_2 = \text{peso del calcinado} \times 100 / \text{muestra (1 gr.)}$$

El filtrado se afora a 200 ml., y se toma una alícuota de 100 ml, se le agregan unas gotas de indicador rojo de metilo y se precipita con amoníaco el grupo R₂O₃ se filtra y se guarda el filtrado. En el papel filtro queda el grupo R₂O₃ y éste se pasa con el papel filtro a un vaso de precipitados de 250 ml. que se redisuelve con HCl al 50%, en seguida se filtra, se recibe el filtrado en el mismo vaso que se tiene el filtrado guardado,

el precipitado de R_2O_3 se calcina a $800\text{ }^\circ\text{C}$ para ser pesado, utilizando el siguiente cálculo:

$$\% R_2O_3 = \text{peso del calcinado} \times 200 \times 100\% / 1 \times 100 \text{ ml.}$$

Determinación del CaO.

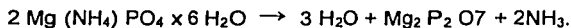
Con los filtrados anteriores se precipita el calcio (CaO) con solución de oxalato de amonio y se forma oxalato de calcio (CaC_2O_4) el cual se filtra y se lava con H_2O caliente. Se quema el precipitado para eliminar el papel filtro y se pesa como CaO, tal que:

$$\%CaO = \text{peso del calcinado} \times 200 \text{ ml.} \times 100 / 1 \text{ gr} \times 100 \text{ ml.}$$

Nota: es importante ver que el oxalato de calcio precipitado cuando se lleva a ignición a $500\text{ }^\circ\text{C}$ pasa a óxido de calcio.

Determinación de Mg

El Mg es precipitado como fosfato de amonio formándose un complejo de fosfato de amonio-magnesio, el cual se calcina a $1000\text{ }^\circ\text{C}$ y se pesa como pirofosfato de Mg, de acuerdo con la siguiente reacción.



Para calcular el contenido de Mg a partir del pirofosfato de Mg se realiza la siguiente operación para pasar como fórmula química a Mg es =

$$Mg = \text{peso de } Mg_2 P_2 O_7 \times 200 \text{ ml.} \times 0.3622 / 1 \times 100 \text{ ml.}$$

El pirofosfato de Mg calcinado que se obtuvo se puede usar disolviéndolo en H_2SO_4 (ácido sulfúrico) concentrado y haciendo la determinación fotométrica con peryodato de potasio. (Tabla 1).

Determinación de hierro.

Para obtener el hierro total, se toma una alícuota de 50 ml. en un matraz de erlenmeyer de 250 ml., y se agregan 10 ml. de HCl concentrado. Se hierve, para reducir con solución de cloruro estañoso al 10%. Se deja enfriar y se le agregan 10 ml. de cloruro mercúrico y 1 ml. de indicador difenil amina sulfonato de bario y se titula con solución de dicromato de potasio.

Para obtener el hierro ferroso se pesan 0.5 gr. de muestra atacándola con ácido fluorhídrico + ácido sulfúrico en crisol de platino (a baja temperatura con lámpara de alcohol) durante 7 min y se recibe en un vaso de precipitados de 400 ml., que previamente tiene 100 ml. de solución de ácido bórico saturada. Se titula con solución de dicromato de potasio usando la difenilamina sulfonato de boro como indicador.

Determinación de fósforo.

Para obtener fósforo; se toma una alícuota de 5 ml. en matraz de 50 ml. y se agregan 5 ml. de solución de molibdato de amonio + 2 ml. de solución de sulfato de hidrazina y se aforar con H₂O destilada; se lleva a baño María por 15 min., se enfría y se lee a 660 nm en fotocolorímetro.

Determinación de titanio.

Para obtener titanio. Se toma una alícuota de 20 ml. en el matraz de 25 ml., y se le agregan 3 ml. de H₂O O₂, se afora y se lee después de 3 min. a 420 nm. (Tabla 1).

4. Determinación de Materia Orgánica; Del material colectado (sedimento) se escogieron cuatro muestras, para la determinación de materia orgánica siguiendo la técnica de Determinación de materia orgánica por el método de Walkley y Black. Esta técnica es poco conocida en investigaciones biológicas y por lo tanto no es muy usada para este tipo estudios, ya que los geólogos la utilizan para la determinación de materia orgánica en sedimentos y suelos. (Tabla 3).

Para determinar la presencia de materia orgánica en las muestras escogidas, se prosiguió de la siguiente manera:

Se pesan 0.5 gr. de muestra (madera molida) y se colocan en un matraz de erlenmeyer de 250 ml. para la elaboración de un blanco, para el cual se utilizó el siguiente procedimiento:

- 1.- Agregar 10 ml. de dicromato de potasio al 1 N para producir una oxidación.
- 2.- Agitar la muestra por un minuto.
- 3.- Dejar reposar la muestra por un minuto
- 4.- Agregar 20 ml. de ácido sulfúrico concentrado lentamente para producir una reacción de oxidación exotérmica.
- 5.- Reposar por 20 min. para la oxidación de la materia orgánica existente.
- 6.- ~~Agregar 10 ml. de ácido sulfúrico concentrado.~~
- 7.- Agregar 100 ml. de ácido fosfórico concentrado al 95 %.
- 8.- Agitar por 1 min.
- 9.- Agregar 5 gotas de $(\text{CO}_2 \text{H}_2 \text{O B}_8 \text{N}_2 \text{O}_6)$ como indicador de la titulación.
- 10.- Agregar sulfato ferroso para regresar la titulación hasta el punto del vire final que es verde esmeralda.

Para la determinación de la materia orgánica se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{Mat. Org.} = 10 - (1 = \text{Problema} / \text{Testigo}) \times 1.34$$

10 = ml. de dicromato de potasio al 1N.

1 = ml. de sulfato ferroso.

5. Difracción de rayos X. Para realizar este estudio se utilizaron las mismas 9 muestras que para el análisis químico total, de la misma forma se molieron para poder ser usadas en un Difractómetro Siemens D5000 con ánodo de Cu. La mineralogía de estas nueve muestras es de calcita, plagioclasa, cuarzo, basanita y tremolita. (Tabla 2).

D) Trabajo de gabinete.

El estudio de las plantas petrificadas y fósiles se apoya en el análisis de estructuras morfológicas las cuales pueden encontrarse fragmentadas, razón por la que se debe obtener la mayor cantidad de información posible.

De acuerdo con Schopf (1975), existen cuatro formas de preservación de restos petrificados y/o fósiles: las impresiones, las compresiones o fitoleimas, las petrificaciones y la conservación duripártica: sin embargo Meyen (1988), solo reconoce las tres primeras formas de preservación en los vegetales. Las técnicas de estudio empleadas en este trabajo, se basan en el criterio de Meyen y dependen del tipo de preservación del material colectado.

En el caso de las impresiones, los restos de la madera se destruyen completamente, dejando su marca en la roca, durante un proceso físico-químico complejo ocurrido en una situación geoquímica particular, jamás en un proceso meramente mecánico. Este tipo de material se estudia empleando luz reflejada, en un microscopio estereoscópico: si la impresión se encuentra aseriada a una compresión, el ejemplar se moja con alcohol o xileno, y se observa bajo luz polarizada con polarizadores cruzados, uno en la fuente luminosa y otro en el ocular. Eventualmente el examen de la superficie del ejemplar requiere que la carbonización sea retirada, quemando la compresión en una estufa. La estructura microscópica de la superficie de la impresión se puede estudiar realizando películas (peeling) transparentes opacas, hechas de acetato de celulosa o de goma de silicónes. Darrah (1960).

En las fitoleimas o compresiones, los restos de la madera carbonizadas y comprimidas, usualmente asociadas a impresiones, se encierran en una bolsa cuticular, que conserva algunos tejidos como el vascular y los tejidos de resistencia. Después de remover el carbón, la venación íntegra puede permanecer dentro de la bolsa cuticular, aunque debe señalarse que durante la transformación de la materia orgánica a fitoleima, pueden perderse las estructuras originales y formarse estructuras secundarias, que pueden ser confundidas y consideradas, como características de la planta cuando vivía.

Las técnicas de estudio empleadas en las fiteleimas son la maceración y la transferencia de especímenes. En la maceración el espécimen contenido en la roca es liberado empleando una mezcla oxidante, normalmente una solución de ácido nítrico concentrado y clorato de potasio, aunque pueden emplearse otros ácidos (Darrah, 1960), los ácidos humíficos formados son retirados con una base, usualmente hidróxido de potasio o amoníaco, dejando la membrana cuticular, las paredes de las esporas y de los granos de polen, los conductos resiníferos y ocasionalmente el tejido vascular. Finalmente el espécimen es deshidratado, cubierto con bálsamo de Canadá y protegido permanentemente con un cubreobjetos, de manera que el ejemplar es transferido de la roca a una preparación microscópica que se observará en un microscopio de tipo biológico. Las compresiones pueden ser examinadas así mismo con luz transmitida, para lo cual se deben seccionar o fracturar empleando un micrótopo o el desgarre del espécimen, por partículas extrañas como fragmentos de cuarzo y feldespatos. También puede emplearse la microscopia electrónica de barrido.

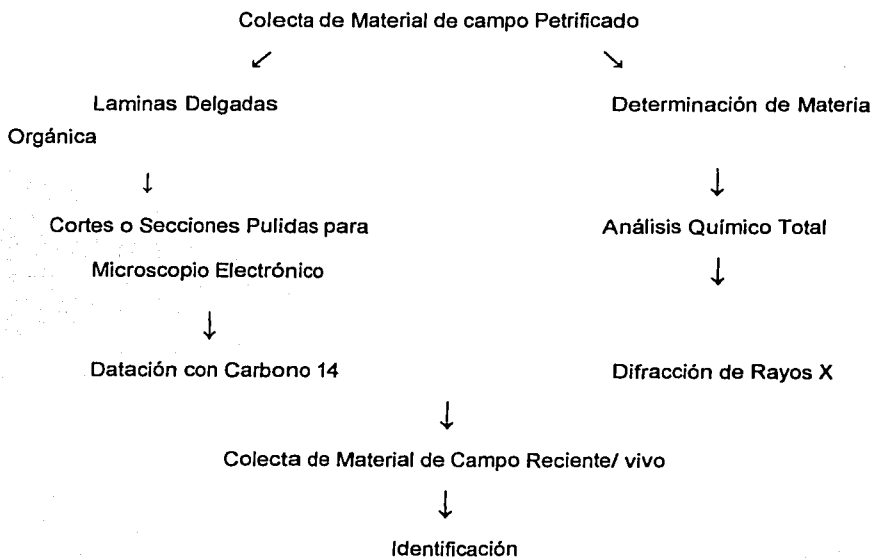
Las petrificaciones son restos cuyos tejidos han sido completamente o parcialmente reemplazados por sustancias minerales con preservación de su estructura celular, es decir, han sufrido una permineralización celular. Este proceso es prácticamente desconocido en sus bases físico-químicas, aunque se llegan a conservar estructuras tan delicadas como los componentes fibrilares de la pared celular, cloroplastos y cromosomas. (Taylor y Mijllay, 1977; Brack-Hanes y Vaughn. 1978; Niklas y Brown, 1981; Smoot y Taylor 1984).

Las petrificaciones son estudiadas empleando cortes pulidos y grabados, secciones delgadas y películas. La primera técnica es recomendable para restos piritizados o fuertemente carbonizados: la segunda se usa para estudiar algas calcáreas y troncos, aunque puede ser sustituida por la impresión de películas.

Debido a que los ejemplares colectados se conservan solo como impresiones, no fueron sometidos a ningún tratamiento para obtener cutículas, tampoco se elaboraron películas a consecuencia de la rugosidad de la corteza de los troncos (maderas).

El estudio de esta flora se vio limitado por diversos factores, entre los que destacan: la pobre preservación de algunos ejemplares, por el tipo de fosilización, su reducido tamaño y fragmentación. Al no hacerse un estudio cuticular, su identificación se basó únicamente en la morfología de las plantas.

Los puntos descritos anteriormente se encuentran resumidos en el siguiente diagrama.



RESULTADOS.

Para el estudio en el laboratorio del material colectado, se procedió a realizar una serie de análisis químicos, entre los utilizados se encuentran el análisis químico total, difracción de rayos X, determinación de materia orgánica y datación con Carbono 14.

Para la realización del análisis químico total se utilizó la técnica de vía húmeda que comprende los siguientes métodos: volumétrico, gravimétrico, colorimétrico y espectrofotometría de flama. La disolución de las muestras para la realización del análisis se presenta en la siguiente tabla:

ANALISIS QUIMICO TOTAL

Muestras	Determinaciones	Método propuesto
1a Porción de muestra. Peso: 1.000 g Tratamiento: Fusión alcalina. Afôro: 200 ml.	Silice Calcio	Gravimétrico. Volumétrico.
2a Porción de muestra. Peso: 1.250 g Tratamiento: Disolución ácida. Afôro: 250 ml.	Sodio Potasio Litio Manganeso Titanio Fósforo Fierro total Fierro total R ₂ O ₃ Calcio + Magnesio	Flamofotométrico. Flamofotométrico. Flamofotométrico. Colorimétrico. Colorimétrico. Colorimétrico. Colorimétrico. Volumétrico. Gravimétrico. Volumétrico.
3a Porción de muestra. Peso: 1.000 g Tratamiento: Disolución ácida con un oxidante.	Fierro Ferroso.	Volumétrico.
4a Porción de Muestra Peso: variable Tratamiento: Térmico.	Húmedad adherente. Agua de combinación.	Gravimétrico. Gravimétrico.

TABLA 1. DETERMINACIÓN DEL ANALISIS QUIMICO TOTAL

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	8.78	7.82	0.42	11.89	8.33	2.86	2.87	11.40	4.40
TiO ₂	0.24	0.24	0.00	0.51	0.53	0.23	0.54	0.25	0.22
Al ₂ O ₃	3.46	4.96	3.16	4.94	4.14	3.61	3.50	3.09	3.88
Fe ₂ O ₃	1.11	0.56	0.19	1.11	0.56	0.37	0.74	0.17	0.56
FeO	0.39	0.78	0.26	1.17	0.78	0.52	0.65	0.78	0.78
MnO	0.09	0.09	0.00	0.18	0.13	0.05	0.08	0.04	0.12
MgO	0.16	0.19	8.13	3.43	10.70	9.84	1.16	6.14	6.77
CaO	45.32	45.52	42.13	38.84	34.16	38.15	43.82	42.72	40.14
Na ₂ O	0.50	0.10	0.30	0.90	0.30	0.50	0.80	0.20	1.20
K ₂ O	0.30	0.00	0.00	0.30	0.10	0.00	0.10	0.10	0.40
P ₂ O ₅	0.20	0.20	0.10	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20	0.15
SO ₃									
CO ₂									
H ₂ O	0.94	1.03	0.96	1.06	0.93	0.76	0.51	0.49	1.02
H ₂ O	38.33	38.44	43.79	35.16	38.90	42.72	45.03	33.79	40.32
TOTAL	99.82	99.93	99.44	99.64	99.71	99.76	100.00	99.37	99.96

En cuanto a la difracción de rayos X se utilizaron las mismas muestras, obteniendo los siguientes resultados:

TABLA 2. ANALISIS MODAL POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Muestras	Calcita	Plagioclasas	Cuarzo	Basanita	Tremolita
1	45.5	34.1	10.1	5.0	5.0
2	41.8	37.2	11.6	4.6	4.6
3	89.3	-----	-----	10.6	-----
4	41.4	36.5	12.1	4.8	4.8
5	46.4	35.7	8.9	5.3	3.5
6	75.6	8.1	5.4	10.8	-----
7	76.9	5.1	7.6	10.2	-----
8	50.9	22.6	15.0	7.5	3.7
9	72.5	5.0	10.0	7.5	5.0

Para la determinación de materia orgánica se utilizaron 4 muestras de madera petrificada, diferentes a las utilizadas en los análisis anteriores. Los resultados se observan en la siguiente tabla:

TABLA 3. DETERMINACION DE MATERA ORGANICA.

Muestras	Titulación	% de materia orgánica
Madera reciente	19.8 ml	90.0
1	19.0 ml	0.40
2	19.2 ml	0.20
3	19.3 ml	0.20
4	19.2 ml	0.39

Se hizo una correlación de materia orgánica en una muestra de madera reciente contra otras 4 muestras de madera petrificada (molida) y se determinó que el porcentaje faltante de materia orgánica en cada muestra corresponde principalmente al remplazamiento de carbonato de calcio y otros minerales .

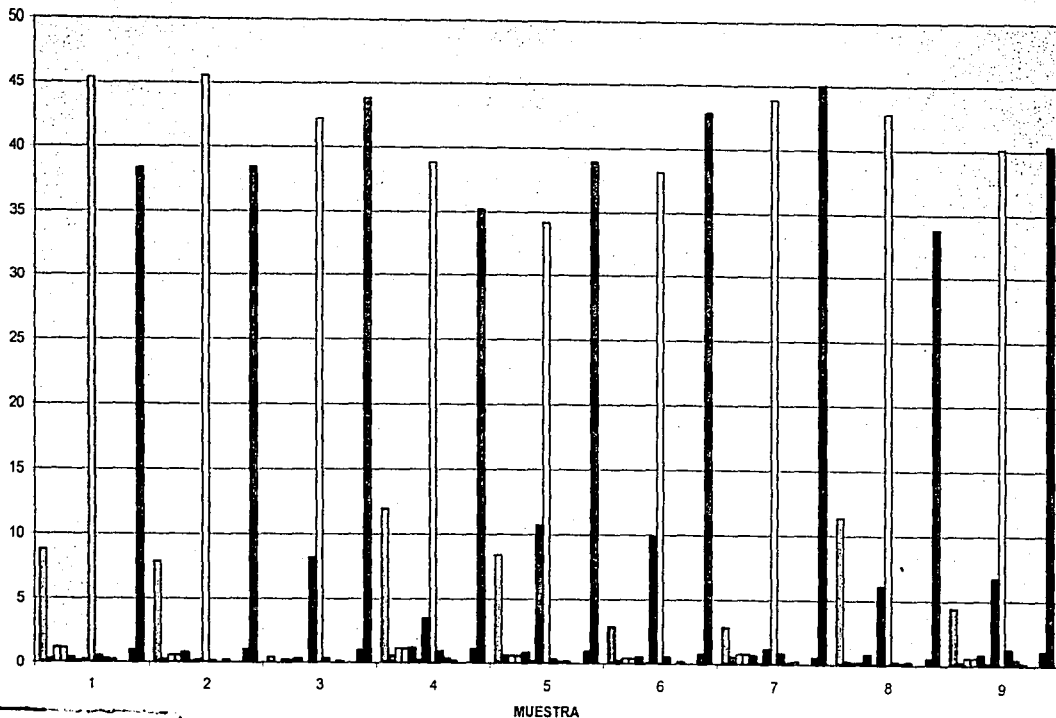
Datación con Carbono 14.

Debido a las características de petrificación y/o bioturbación que presenta el material encontrado en esta zona, es difícil realizar pruebas de datación con carbono 14, ya que para poder utilizar este elemento es necesario que el material conserve perfectamente sus características primarias. No obstante lo anterior se pudieron realizar dataciones radiométricas en muestras recolectadas en dos áreas, las cuales dieron edades de 20,000 +- 1,100 años que pueden corresponder a una etapa regresiva del mar ligada a la gran glaciación cuyo máximo glacial ocurrió hace 18,000 años y la otra etapa sucedió hace aproximadamente 13,000 +- 850 años.

DISCUSION.

En el área de estudio se encuentra una asociación de suelos, que caracteriza a dos paleoambientes. En principio existen suelos muy recientes constituidos principalmente por la acción del viento (suelos de dunas) y del oleaje, estos suelos han sido

DETERMINACION DEL ANALISIS QUIMICO TOTAL

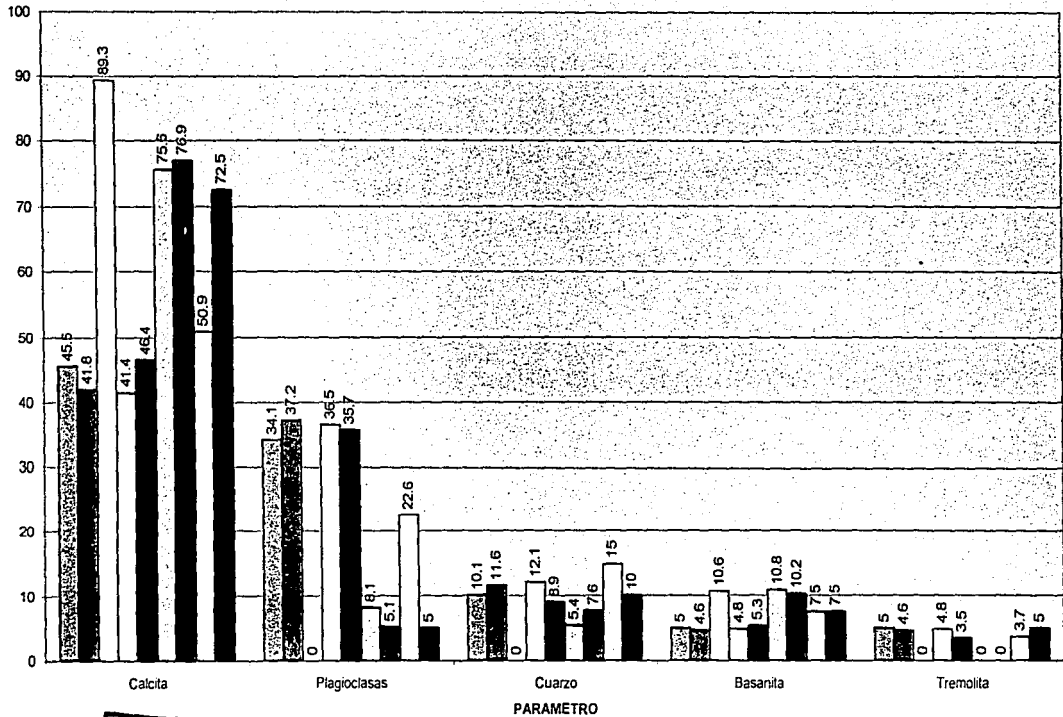


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SiO2 TiO2 Al2O3 Fe2O3 FeO MnO MgO CaO Na2O K2O P2O5 SO3 Co2 H2O H2O

38.a

ANALISIS MODAL POR DIFRACCION DE RAYOS X

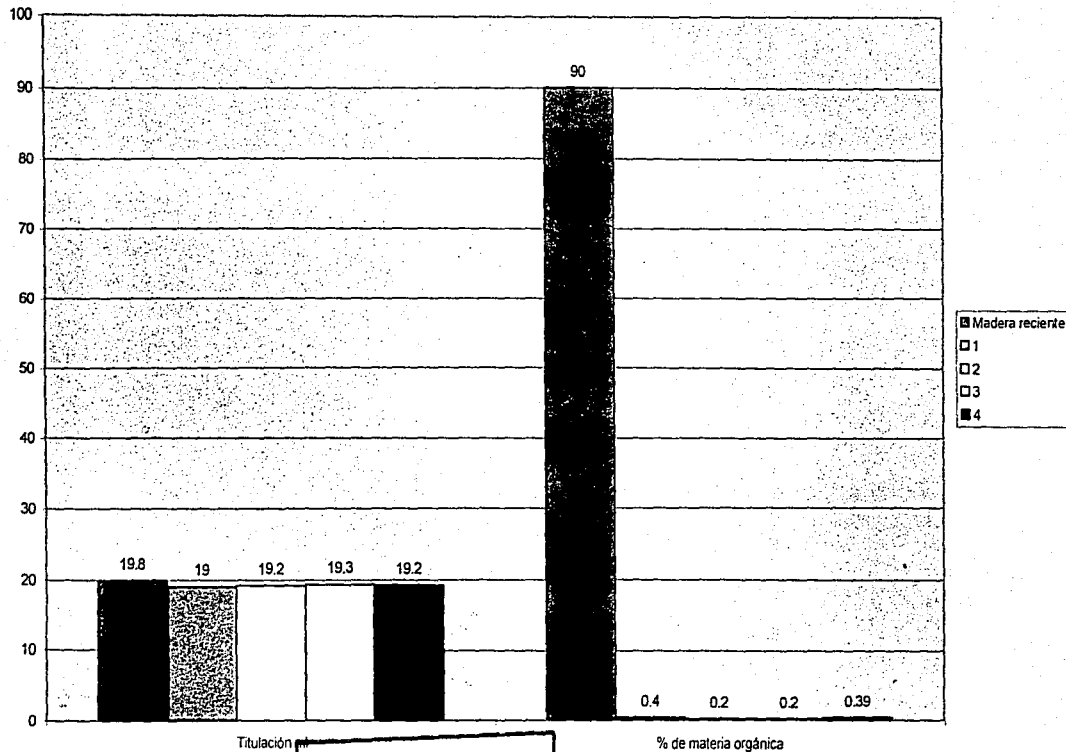


TESIS
FALLA DE CARGA

1 2 3 4 5 6 7 8 9

38.b

DETERMINACIÓN MATERIA ORGANICA



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

38. c

denominados por FAO-UNESCO, en 1994 como regosoles, los cuales se caracterizan fundamentalmente por estar constituidos por materiales no consolidados, de textura gruesa (arenosos) que no presentan otros horizontes diagenéticos que un A - ocrino. En tanto que los suelos asociados a ellos, mucho más antiguos y localizados a mayor profundidad han sido denominados como arenosoles. La diferenciación entre ambos suelos puede ser muy difícil si se emplean únicamente criterios morfológicos para su identificación. Los análisis de laboratorio practicados a los arenosoles muestran que estos suelos han sido severamente alterados por las condiciones ambientales, llegando a constituir horizontes B-cármicos, horizontes de acumulación de arcilla y horizontes con propiedades ferrálicas. Algunos de ellos son calcálicos ya que presentan altos contenidos de carbonato de calcio (en ocasiones mayores al 40%) no acumulado sino distribuido en todo el perfil. Es evidente que estos arenosoles se formaron bajo condiciones ambientales diferentes a las actuales y que en muchos de los casos podrían ser considerados como paleosuelos, especialmente en aquellos donde además del carbonato de calcio existen acumulaciones significativas de hierro y arcilla.

Existe la posibilidad de que gran cantidad de la madera petrificada se encuentre incluida en la matriz de los arenosoles y que por efecto de la erosión, este material quede descubierto y sea transportado y redepositado en las zonas bajas, es decir, en la zona de los regosoles.

La composición mineralógica que se presenta en la tabla 2 indica la presencia de: granos de cuarzo de tamaño finos a medianos correspondientes a una abundancia de sílice y arena eólica. Otros componentes menores estas representados por feldespatos y partículas de arcilla correspondiendo el restante a componentes ferrosos y de aluminio, se encontró magnesio en forma de dolomita en todas las muestras excepto en tres, por lo tanto la tendencia total de la composición mineral en las ramas y/o raíces refleja el escenario paleoambiental en el cual la vegetación se conservó, suponiendo que esta fue enterrada y rápidamente remplazada por arena, carbonato de calcio y otros minerales que destruyeron la mayoría de los tejidos celulares originales.

Debido a las condiciones ambientales de la zona de estudio se favorece la petrificación, la cuál se realiza en los restos de raíces o plantas al ser remplazadas por materia mineral, especialmente en ambientes terrígenos con gran presencia de carbonatos, o en ambientes eólicos costeros cuaternarios de diversas zonas en el planeta. A estas estructuras organosedimentarias se les denomina rhizolitos.

Esta investigación se realizó en la zona costera del estado de Veracruz que se ubica entre Punta Chachalacas y Punta delgada, en donde se hallaron rhizolitos tanto en los estratos lagunares sobre los que se desarrollan las dunas como en varios estratos de dichas dunas.

Se pudieron identificar las siguientes variedades de rhizolitos: 1) raíces caídas con vacíos tabulares formando moldes de raíces, 2) raíces saturadas de cemento en las que se observa la raíz o el molde de la misma, 3) cilindros de cemento alrededor de la raíz, dando lugar a raíces tabulares, 4) rhizolitos en los que la materia orgánica fue totalmente remplazada por calcita magnesiana en raíces, tallos y ramas de plantas que dieron lugar a rasgos anatómicos bien conservados (Fotos 9 y 10).

El mecanismo de petrificación de los rhizolitos es un proceso sedimentario conocido como diagénesis temprana que se realiza en zonas con medios vadosos que favorecen la circulación de agua facilitando la precipitación de CaCO_3 de origen orgánico procedente de bacterias, algas y líquenes, estos últimos son de gran importancia para que el proceso de diagénesis se lleve a cabo en raíces y plantas.

La diagénesis en un medio litoral posee ciertas características condicionadas por la saturación del agua que circula entre la arena que al variar de temperatura provoca los precipitados o el reemplazamiento de algunos elementos, produciendo una cementación heterogénea, fenómeno común en un medio vadoso, así observamos que el carbonato se precipita a partir del agua marina.

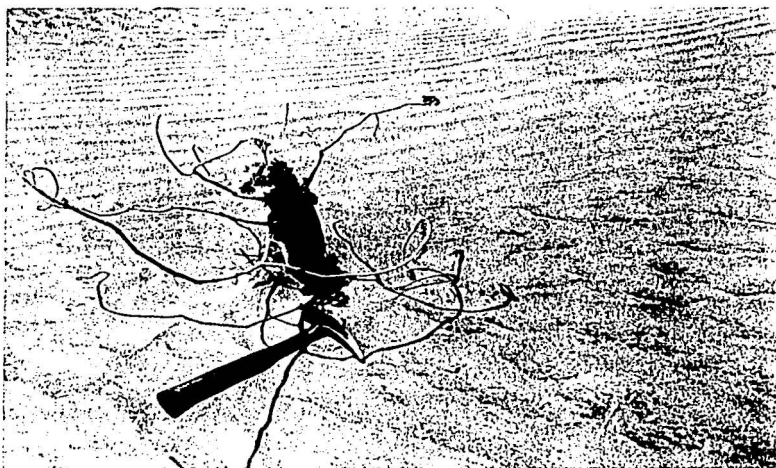


Foto 9. Vegetación pionera que corresponde a la vegetación de dunas y que en ocasiones llegan a petrificarse *in situ*



Foto 10. Fragmento de tronco petrificado *in situ*, y en posición original

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En medios ambientes ácidos o en donde el agua meteórica reemplaza a las aguas del mar, la estabilidad de la aragonita y la calcita magnesiana se interrumpe, observándose: $\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$. La desaparición de los iones de magnesio, de las aguas ambientales, así como las propiedades ligeramente acidas de las aguas meteóricas producen una reacción que en este caso definimos como actividad diagenética intensa ($\text{Mg} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Mg}_2\text{CO}_3$).

La composición mineralógica de la arena de las dunas juega un papel importante en los procesos diagenéticos de la zona. Esta constituida generalmente por fragmentos de concha, granos de cuarzo, feldespatos y minerales ferromagnesianos. La materia vegetal a su vez libera CO_2 que al descomponerse y combinarse con el agua de la zona vadosa forma el H_2CO_3 el cual disuelve los fragmentos carbonatados de conchas principalmente y también altera los feldespatos. Así se liberan moléculas de CaCO_2 que se movilizan junto con el agua a través de los poros de los sedimentos y consecuentemente generan una cementación de la propia arena y de los fragmentos de vegetales en descomposición.

Los fragmentos encontrados incluyen raíces, ramas y neumatóforos de especies presumiblemente manglares. Aunque no se pudo identificar bajo el microscopio, secciones delgadas muestran estructuras de madera similares a las de las angiospermas. Las seleccionadas fueron también observadas en el microscopio electrónico, en las cuales no se pudieron detectar vasos o paredes en la superficie longitudinal debido a la alteración de las células. Esta alteración en la estructura original de la madera puede deberse en parte a un proceso de fosilización y al hecho de que las condiciones pantanosas del manglar son muy favorables para que se den procesos de destrucción de material vegetal por la presencia y acción de bacterias en el agua y sedimentos. A una mayor resolución, utilizando el objetivo 25 X del microscopio se pudieron observar estructuras pobremente preservadas, además la actividad erosiva de pequeños animales marinos probablemente causó la desintegración del material orgánico de las muestras (Foto 11).

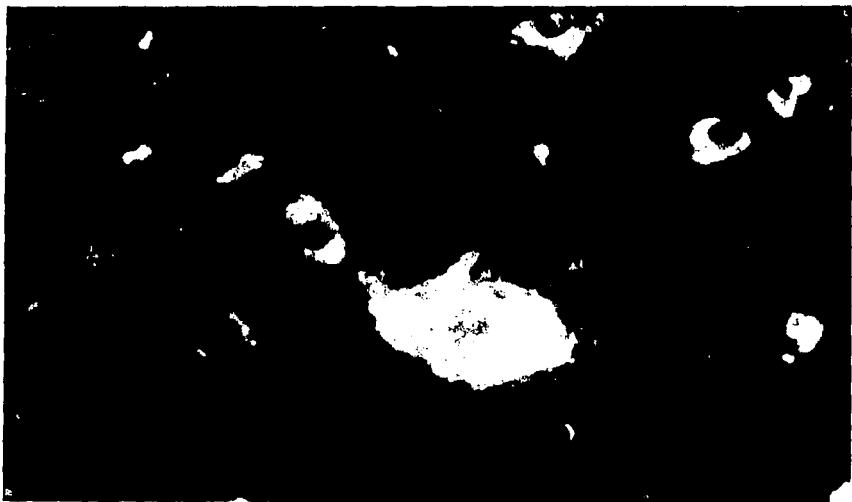


Foto 11. Lamina delgada donde se observan estructuras con cristalización de cristales de calcita, en un proceso de diagénesis precoz.

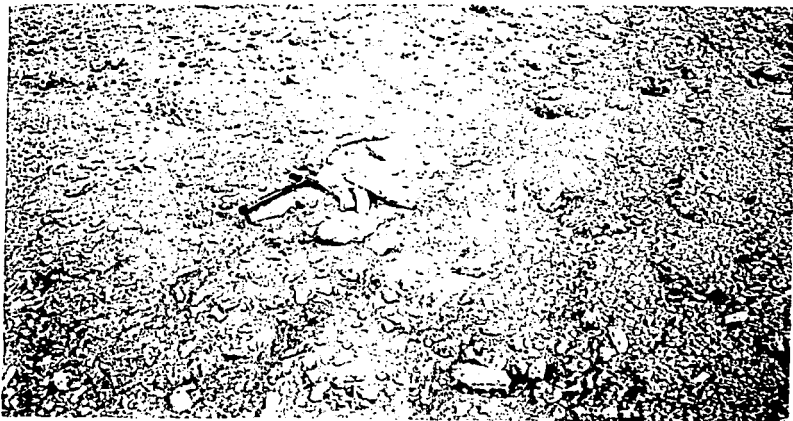


Foto 12. Rhizolitos que corresponden a raíces saturadas de cemento.

Desafortunadamente las raíces petrificadas muestran muy poca estructura externa que facilite la comparación de raíces actuales que ensamblen con su contraparte muerta. Es factible que la zona de cementación pueda exceder el diámetro original de la raíz dando un efecto en verdad incongruente. Por lo que solo se puede inferir que las ramas corresponden a neumatóforos de manglares petrificados, a raíces o ramas pequeñas y grandes, además de madera petrificada de arbustos localizados en la zona (Foto 12).

Con la intención de realizar un modelo para explicar la muerte y petrificación de la madera las opiniones se han centrado alrededor de la historia tectónica del área, donde se puede observar que la región se ve muy afectada por la marea, en la que grandes extensiones de manglares viven y/o vivieron en el pantano ocasionando una elevación en el nivel del mar durante el holoceno. Actualmente es posible observar mucho de este ambiente paralizado además de cambios que se han dado, desde una situación distinta a la marea dominante al mismo tiempo que la elevación en el nivel del mar disminuyó considerablemente, ocasionando que en el presente más olas dominantes den lugar a que empiecen a formarse barreras de arena (dunas).

Las dataciones radiométricas en muestras recolectadas en dos áreas, que dieron edades de 20,000 \pm 1,100 años pueden corresponder a una etapa regresiva del mar ligada a la gran glaciación cuyo máximo glacial ocurrió hace 18,000 años y la otra etapa sucedió hace aproximadamente 13,000 \pm 850 años, esto permite suponer el inicio de la glaciación ocurrida hace 10,000 años y consecuentemente el inicio de una etapa regresiva del mar.

Dado lo anterior y de acuerdo con el proceso diagenético tan acelerado que se llevo a cabo en este material se determinó que el mismo corresponde a la edad reciente, es decir, que se formó en el límite Pleistoceno-Holoceno.

CONCLUSIONES.

1. Se pudo observar que la variedad de especies vegetales a las que corresponden las petrificaciones de raíces, tallos y ramas permiten definir dos tipos de paleoambientes determinados por los suelos (arenosotes y regosoles) y que corresponden a un ambiente eólico.
2. Las antiguas lagunas costeras actualmente se encuentran cubiertas por arena eólica
3. En este ambiente eólico actualmente se esta efectuando la petrificación del material, principalmente por una carbonatación y mineralización.
4. Entre 5 y 20 metros de altura sobre el actual nivel del mar, se localizan terrazas marinas que provienen de la evolución tectónica de la costa asociada al desarrollo y muerte de los árboles (manglares). Muchos de los fragmentos de madera fueron colectados en la parte alta de un grupo de dunas semimoviles de 60 m. de altura sobre el nivel del mar, en una franja que se extiende a todo lo largo de la Punta Villa Rica y Punta Mancha.
5. El nivel del mar al final del período interglacial, ha llegado casi hasta el mismo nivel que tenia hace 22,000 años.
6. Debido a lo anterior se puede observar que estas terrazas son la evidencia de un levantamiento de la costá en donde las lagunas costeras representan un remanente del antiguo nivel del mar, de hace 18,000 años.

LITERATURA CITADA.

Ayala-Castañares, A. Cruz, R García-Cubas y Segura, L. R 1969. Síntesis de los conocimientos sobre la Geología Marina de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, Mex. In coastal symposium-UNAM-UNESCO Mex. D.F., p 39 - 47.

Bello Navarro, Marco. 1983. Integración e interpretación Geológico - Geofísico de la cuenca de Veracruz. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo. No 18 (2), p. 15 - 33.

Birkeland. W. Peter. 1984. Soil and Geomorphology, Department of Geological Sciences University of Colorado . Oxford, p 138-147 y 324-350.

Bóse, Emil. 1906. Nota preliminar sobre la fauna oligocena de Santa María Tatetla, Ver. Sociedad Geológica Mexicana. Boletín 2 p 51 - 64.

Brack Hanes, S. D. y Vaughn J. C. 1978. Evidence of Paleozoic chromosomes from Lycopod microgametophytes. Science 200 p 1383-1385

Bryant, William R and Wallin, Charles. 1968 Sathility and geotechnical characteristics of marine sediments, Gulf of México. Gulf Coast Assoc. Geol. Socs. Trans. Vol.18, p. 334 - 356.

Carreño, Ana Luisa. 1974. Fauna de Ostrácodos de la formación Mesón (Oligoceno) en su localidad tipo, Veracruz, México. Tesis de licenciatura, UNAM. Facultad de Ciencias, p. 1 - 50.

Cohen S, Andrew. 1982. Paleoenvironments of root cast from the Koobi Fora Formation Kenia. Journal of Sedimentary Petrology. Vol 52 No 2. p 401-414.

Darrah, W.C. 1960. Principles of Paleobotany. 2º ed., The Ronald Press Co., New York. P 295.

Etemod Olvera, Yvette. 1959. Foraminíferos del Cretácico Superior de la cuenca Tampico - Tuxpan, México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol. 11, No. 3 - 4, p. 63 - 134.

Figuroa, Santos. 1964. Descubrimiento del tercer tramo del arrecife de la Faja de Oro Ver. dentro del Golfo de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geofísicos Exploradores. Vol. 5 No 1, p. 3-22.

Flores Revueltas, José. 1955. Los arrecifes de la cuenca Tampico - Tuxpan, México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol. 7, Nos 11-12, p. 397 - 500.

García, E. 1964. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Copen. Ofset Larios. México, 252 pp.

Gio - Argaez, R 1982. The Ostracoda of the Tuxpan formation. Proceedings of the International Symposium on Ostracods, 8 p 51.

Gómez - Pompa. 1972. Estudio preliminar de la vegetación y la flora en la región de Laguna Verde, Ver. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. p 75-143

Hoffmeister, E. y Multer Gray. 1965. Fossil Mangrove Reef of Key Biscayne, Florida. Geological Society of American Bulletin V 76. p 845-852.

Jeffery, P. G. and Hutchison, D. 1981. Chemical methods of rock analysis 3rd edition Pergamon Press.

Kirsschenbaum, Herbert. 1983. The classical chemical analysis of silicate rocks the old and the new. Geológica Survey Bulletin 1547. p 55.

León, R, y A. Aguilar. 1987. Materia Orgánica .ag. 85 - 92. En: A. Aguilar, J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Soc. Mex. de la ciencia del suelo. A, C. (Publicación especial No 1).

Lot - Helgueras A. 1991. Vegetación y flora vascular acuática del Edo. de Veracruz. Tesis Doctoral. UNAM. Facultad de Ciencias, p 13-52.

Malpica - Cruz, Víctor M. 1966. Geología marina de la laguna de Tamiahua, Veracruz Mex. Boletín del Instituto de Geología No 88. UNAM p 1-45.

Malpica - Cruz, Víctor M. 1987. Análisis de los rasgos neotectónicos en la costa central del Estado de Veracruz. Seg. Simposio Geología Regional. Instituto de Geología UNAM. México, p. 38 - 40.

Malpica - Cruz, Víctor M. 1988. Proceso de fosilización de manglares asociados a una zona neotectónica en la costa central de Veracruz. Instituto de Geología UNAM. Vol 7. No 1 p 123-1234.

Malpica - Cruz, Víctor M. 1991. Procesos recientes de fosilización en los alrededores de Veracruz. Seriedad Mexicana de Paleontología A.C. III Congreso Nacional de Paleontología p 41-54.

Malpica - Cruz, Víctor M y Silva Mora Luis. 1988. Dinámica litosférica en el extremo oriental de la faja volcánica transmexicana. p 63-71. Instituto de Geología UNAM.

Martínez L, Valverde T y Moreno Cásasola. 1992. Germination response to temperature, salinity, light and depth of sowing often tropical dune species. Oecología. Vol 92. p 343-354.

Martínez M. L. y Valverde T. 1992. Las dunas costeras. Ciencias. No 26. p . 35-42.

- Meyen, S. V. 1988. Fundamentals of Paleobotany. Chapman & Hall, London. P 420.
- Mooser, F. and Soto, S. 1980. Geology of Laguna Verde. Vol. I-III. Comisión Federal de Electricidad, México, D. F.
- Moreno Casasola, P. et al. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: Estructura y composición en el Morro de la Mancha, Ver. Biótica. Vol 7. No 4. p 491-525.
- Moreno Casasola, P y González Loera. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: Efecto de una perturbación artificial biótica. Vol 7. No 4. p 533-601.
- Moreno Casasola, P. 1988. Patterns of plant species distribution on coastal dunes along the gulf of México. Journal of Biogeography 15. p 787-806.
- Moreno Casasola, P. 1990. Sand dune studies on eastern coast of México. Canadian Symposium on Coastal Sand Dunes. p 215-229.
- Moreno Casasola, P y Castillo S. 1992. Dune ecology on the eastern coast of México. Coastal plant communities of Latin América, p 309-321.
- Niklas, K. J. y Brown, R. 1981. Some chemophysical factors attending fossilization. Bioscience 31: p 148-149.
- Novelo Retana. 1978. La vegetación de la estación biológica el Morro de la Mancha. Veracruz. Biótica Vol 3 No I p 9-23.
- Potts P.J. 1987. Handbook of silicate rocks analysis. British Library Cataloguin in Publication. p 47-75.

Retallack, G.J. 1990. Soils of the past an introduction to paleopedology. University of regon, Eugene Bostón. Cap. 3 Features of fossil soils p 20-55.

Ríos Macbeth, F. 1952. Estudio Geológico de la región de los Tuxtlas. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. 4. Nos. 9 -10. p. 325.

Robin, C. and Tournon, J. 1978. Spatial relations of andesitic and alkaline provinces in Mexico and Central America. Can. J. Earth Sci., 15 p 1633-1641.

Schopf, J. M. 1975. Modes of fósil preservation. Rev. Paleobot. Palynol. 21: p 27-53

Smoot, E. L. and Taylor, T. N. 1984. The fine structure of fósil plant cell walls. Science. 225: p 621-623.

Taylor, T. N. y Millay, M. A. 1977. Structurally preserved fósil cell contents. Trans. Amer. Micros. Soc. 96: p 390-393.

Torres Hernández, L. y Bojórquez Galván, L. Las dunas costeras de Veracruz: un paisaje amenazado, p 2-12

Viniegra Osorio, Francisco. 1992. Geología histórica de México, p 185-200.UNAM.

Wageningen/Rome, 1994. World Reference Base for Soil Resources. p 144-149.