

9
29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA PLANICIE
COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO ENTRE
TUXPAN Y VERACRUZ**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO GEOLOGO**

P R E S E N T A:

Dora Celia Carreón Freyre

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1990.



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 está 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.

INDICE

Página

CAPITULO 1: Introducción

1.1. Objetivo.	1
1.2. Area de estudio.	1
1.3. Método de trabajo.	2

CAPITULO 2: Marco Geográfico

2.1. Condiciones Geográficas	3
2.2. Fisiografía y Morfología de los diferentes Medios Sedimentarios de la región.	5
2.2.1. Fisiografía.	5
2.2.2. Características de los Medios Sedimentarios reconocidos en la región.	6
2.2.3. Rasgos Morfológicos de los materiales sedimentarios.	12
2.3. Hidrología.	13

CAPITULO 3: Contexto Geológico

3.1. Estratigrafía.	16
3.1.1. Cuenca Sedimentaria Tampico-Misantla.	16
3.1.2. Eje Neovolcánico.	20
3.1.3. Cuenca Cenozoica de Veracruz.	21
3.2. Estructuras.	23
3.3. Evolución Geológica.	25

CAPITULO 4: Aspectos Geotécnicos

4.1. Generalidades.	30
4.2. Generación de Suelos.	31
4.2.1. Procesos Geomorfológicos.	31
4.2.2. Intemperismo y Suelos Residuales.	34
4.2.3. Erosión y Suelos Transportados.	38
4.3. Factores que afectan el comportamiento mecánico de los suelos.	42
4.3.1. Estado de Esfuerzos.	42
4.3.2. Los efectos de agua.	43

4.3.3.	Variaciones en el Medio Ambiente.	44
4.3.4.	Tiempo.	44
4.4.	Aspectos Generales del comportamiento mecánico de los diferentes tipos de suelos encontrados en la Planicie Costera del Golfo de México.	44
4.4.1.	Arenas.	45
4.4.2.	Limos.	46
4.4.3.	Arcillas.	47
4.4.4.	Turbas.	49
4.5.	Consideraciones Geotécnicas en la región de estudio.	49
4.5.1.	Correlación entre la Edafología y la Geotécnia.	49
4.5.2.	Consideraciones geotécnicas generales.	53

CAPITULO 5: Unidades Geotécnicas

5.1.	Definición de Unidades Geotécnicas.	55
5.2.	Tabla de Correlación Geológico-Geotécnica de los suelos localizados en la Planicie Costera del Golfo y Mapa de Zonificación Superficial.	58

CAPITULO 6: Estudio de un caso: La zona de Misantla

6.1.	Introducción.	59
6.2.	Generalidades.	59
6.3.	Condiciones Geológicas del área.	60
6.4.	Condiciones de Inestabilidad.	62
6.4.1.	Factores.	62
6.4.2.	Manifestaciones.	63
6.4.3.	Trabajos de Exploración Directa.	65
6.5.	Conclusiones.	66

CAPITULO 7: Conclusiones Generales 67

Referencias Bibliográficas 70

Anexo 73

INDICE DE FIGURAS

Entre
páginas

Capítulo 1:

- 1.1. Localización del Area de Estudio. 1- 2

Capítulo 2:

- 2.1. Provincias Fisiográficas de la Región Estudiada. 5- 6
2.2. Medios Sedimentarios. 6- 7
2.3. Contacto interdigitado entre los sedimentos de abanicos aluviales y los de playa. 7- 8
2.4. Depósitos de Tamiz. 7- 8
2.5. Medios Fluviales; a) Ríos Meandriformes, b) Ríos Anastomosados. 8- 9
2.6. Medio Eólico Costero. 9-10
2.7. Subambientes en la Zona Costera. 9-10
2.8. Partes de un Delta. 11-12
2.9. Formación de Esteros. 11-12
2.10. Regiones Hidrológicas y Cuencas. 14-15

Capítulo 3:

- 3.1. Estratigrafía de la Cuenca Tampico-Misantla. 17-18
3.2. Subprovincia Cuenca Tampico-Misantla. 17-18
3.3. Rocas ígneas de la Cuenca Tampico-Misantla. 19-20
3.4. Cuenca de Veracruz. 21-22
3.5. Paleocañones Terciarios en la Planicie Costera del Golfo de México. 24-25
3.6. Basculamiento regional hacia el Poniente en la Zona Costera del Golfo de México. 24-25
3.7. Sección transversal del Paleocanal de Chicontepec. 24-25
3.8. Zonas Fisiográficas en la Plataforma Continental, en el Talúd del Golfo de México. 25-26
3.9. Perfiles Batimétricos de las Zonas Fisiográficas. 25-26
3.10. Reconstrucción de Pangea y de su rompimiento. 25-26
3.11. Elementos tectónicos de la Provincia Circum-Golfo Mesozoico, relacionados con el rompimiento de Pangea. 26-27
3.12. Perspectiva de la Paleobatimetría del Cretácico Medio. 26-27
3.13. a)Atolón Faja de Oro, b)Sección del Arrecife Faja de Oro. 27-28
3.14. Sección geológica simplificada de la Sierra Madre Oriental. 27-28

3.15. Batimetría del Golfo de México y evolución de la Fosa de Veracruz.	28-29
3.16. Formación de la Cordillera de Ordoñez, según De Cserna.	29-30
3.17. Extensión del Eje Neovolcánico.	29-30

Capítulo 4:

4.1. Procesos Geomorfológicos que actúan en la superficie terrestre.	31-32
4.2. Ejemplos de Sistemas de Suelos Residuales.	38-39
4.3. Relación entre los mecanismos de transporte y relieve.	39-40
4.4. Grano-selección en la formación de un canal meándrico.	39-40
4.5. Elementos de los Medios Sedimentarios.	45-46
4.6. Elementos formadores de llanuras de inundación y de cauces fluviales.	46-46

Capítulo 5:

5.1 Perfiles Geotécnicos.	57-58
5.2 Mapa de Caracterización Geotécnica de la Región de Estudio.	58-59

Capítulo 6:

6.1. Croquis de localización del área de Misantla.	60-61
6.2. Estructuras Geológicas.	60-61
6.3. Columna litológica.	62-63
6.4. Secuencias sedimentarias Sierra-Planicie.	62-63
6.5. Distribución temporal de la lluvia.	62-63
6.6. Permeabilidades en la región estudiada, en función de las curvas de igual coeficiente de escurrimiento.	62-63
6.7. Condiciones de los deslizamientos.	63-64
6.8. Exploración directa en las torres de una línea de transmisión eléctrica.	
6.9. Perfil estratigráfico e inclinometría del sitio T-A.	65-66
6.10. Elevaciones Piezométricas.	65-66
Plano Geológico del Área de Misantla. Esc. 1:100 000.	66-67

T A B L A S

4.1. Tabla de Correlación Edafología - Geotécnica; de los materiales de la región de estudio.	52
5.1 Tabla de Correlación Geológico - Geotécnica.	58-59

1 INTRODUCCION.

1.1. OBJETIVO

El aspecto más trascendente de este trabajo estriba en hacer manifiesta la importancia del conocimiento de la Geología para la correcta comprensión del medio físico, con el objeto de obtener soluciones geotécnicas adecuadas a las obras de Ingeniería.

Lo anterior significa que la comprensión del medio físico es necesaria para analizar la interacción mecánica entre dicho medio y las obras ingenieriles que en él se proyecten de manera que se evite el gasto innecesario de trabajo, tiempo y recursos económicos durante las diversas etapas de dichas obras.

Se intenta correlacionar las condiciones geológicas de la zona de estudio porque estas involucran los procesos que dieron origen a los suelos y los mecanismos que activan dichos procesos. La Estratigrafía, la Geología Estructural y la Geomorfología de la planicie costera, e incluso la tectónica general de la margen Atlántica de la República Mexicana, permiten establecer el origen de las características físicas de esos suelos, como pueden ser, el tipo de sedimentación, mineralogía, estructuras primarias y secundarias, etc. las cuales determinan sus propiedades mecánicas.

Por último, la relación interdisciplinaria entre la Geología y la Ingeniería Civil, se enfoca a partir de un caso real específico de inestabilidad en las inmediaciones de Misantla, en la planicie costera del Estado de Veracruz.

1.2. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la Planicie Costera del Golfo de México y abarca la parte media y norte del Estado de Veracruz entre los 19° a 21° latitud Norte y los 96° a 98° longitud Oeste. Esta área se extiende hacia el Norte hasta las ciudades de Tuxpan y Alamo, en donde sus límites naturales son el Río y la Barra de Tuxpan, hacia el Oeste hasta las estribaciones de la Sierra Madre Oriental y la región montañosa de la subprovincia fisiográfica de la Sierra de Chinconquiac (Eje Neovolcánico), hacia el Sur hasta la Ciudad de Veracruz en donde su límite natural es el Río Jamapa, y hacia el Este se extiende hasta el Golfo de México, se incluye dentro del análisis geológico, parte de la porción submarina del Golfo de México que comprende las estructuras de la Cordillera de Ordoñez y de la Fosa de Veracruz (Fig. 1.1).

La morfología general de la región consiste en planicies aluviales y costeras, llanuras con lomeríos de pendiente suave y algunas zonas elevadas de rocas volcánicas.

CIUDAD
PUERTO MARITIMO
VIA DE FERROCARRIL
CARRETERA FEDERAL

1:100000
+ + + + +

22° + 30'

96° + 32'

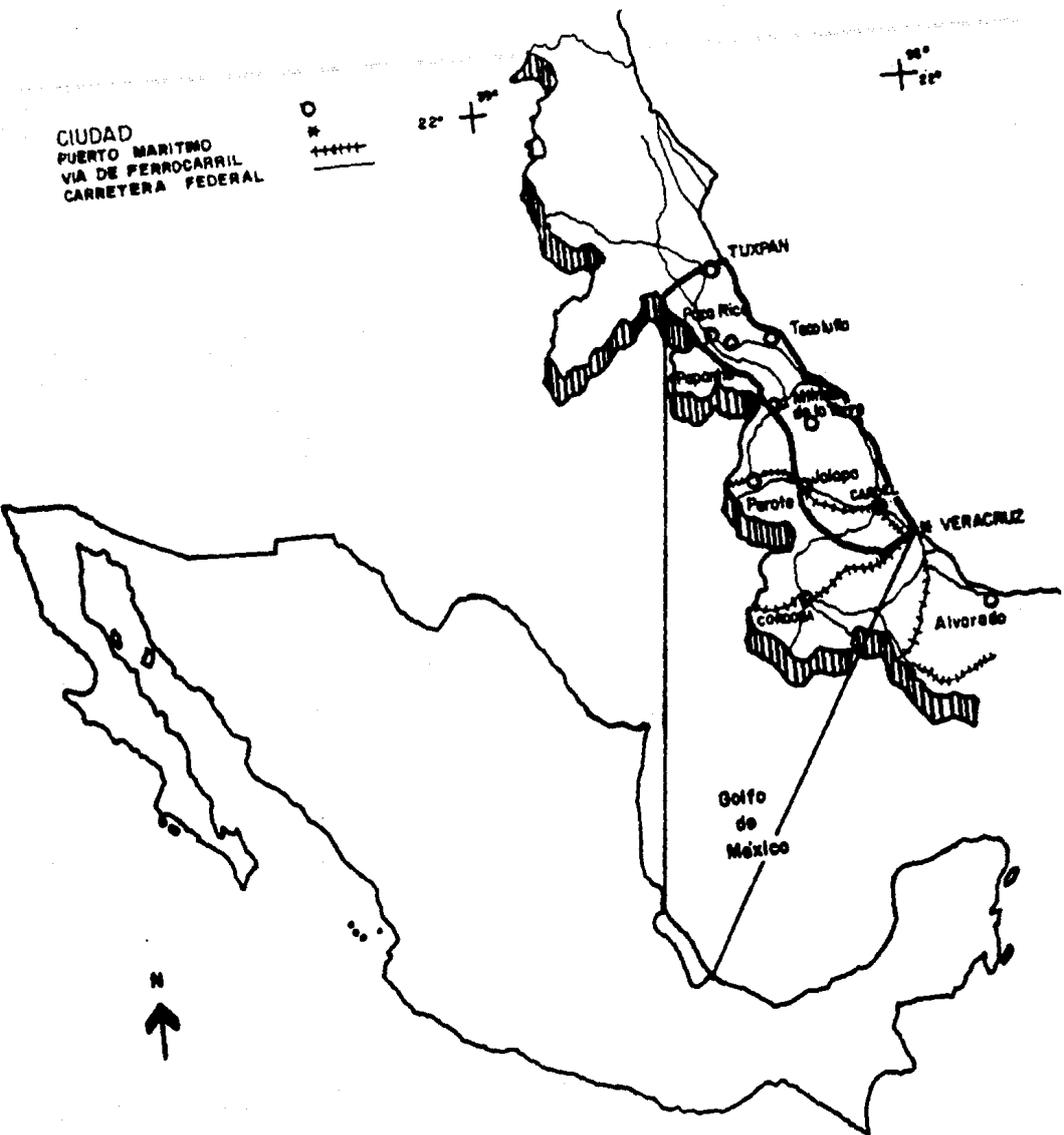


FIG. 1.1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

Esta región incluye varias ciudades importantes que se asientan tanto en las zonas llanas como en las accidentadas, y deben su desarrollo a la explotación de los recursos que se encuentran en su entorno, por ejemplo los puertos pesqueros de Veracruz y Tuxpan y la zona petrolera de Poza Rica, existen excelentes vías de comunicación que incluyen vías férreas, carreteras, terracerías y brechas; una de las carreteras más importantes es la No. 180 que cruza totalmente la zona costera del Golfo. El centro portuario más desarrollado se encuentra en la Cd. de Veracruz, el puerto de Tuxpan está menos equipado debido, entre otras causas, a la carencia de vías férreas y a su poca profundidad. Por otro lado se cuenta también con dos aeropuertos nacionales en las ciudades de Jalapa y Poza Rica y un aeropuerto internacional en la Cd. de Veracruz.

1.3. METODO DE TRABAJO

La primera etapa de la elaboración del presente trabajo consistió en la recopilación bibliográfica sobre la información geológica relativa a la evolución y características del Golfo de México y en el análisis y depuración de la misma, en la información consultada se analizan los aspectos geomorfológicos, estratigráficos, geofísicos y la información de pozos perforados para prospección petrolera. Se estudió también la bibliografía geotécnica que existe sobre la región y sobre los materiales que se localizan en la misma.

Dado que la geología de suelos es un área poco desarrollada, se utilizó la información del subsuelo (sondeos geotécnicos) que existe en los archivos de la Comisión Federal de Electricidad, para lo cual fue necesaria una recopilación e interpretación de los mismos, siendo ésta, fue una de las fases más importantes del trabajo.

Para obtener un criterio adecuado, además de los estudios mencionados se utilizaron estudios geotécnicos inéditos de esta zona, apoyo cartográfico (cartas geológicas, topográficas, fisiográficas, edafológicas, de climas y de corrientes superficiales y subterráneas.).

Con la información obtenida se hizo una correlación entre los datos superficiales y del subsuelo para zonificar geotécnicamente los diferentes tipos de suelos, con el objeto de mostrar la relación que existe entre sus propiedades mecánicas y las características y distribución de los materiales que les dieron origen.

A manera de verificación se tuvo la oportunidad de observar en el campo y en el laboratorio, el comportamiento mecánico de los suelos en unas de las zonas más inestables de la región, la zona de Misantla y la zona de Tuxpan.

2.1. CONDICIONES GEOGRAFICAS

CLIMA

Existe una gran variedad de climas en la región estudiada (Tipos de climas según Köppen, modificado por García, INEGI, 1981), a pesar de que se localiza en una franja intertropical, debido principalmente a las diferencias de altitud, pues tienen gran influencia las serranías como consecuencia los climas tienen una distribución general paralela a la costa en dirección NW-SE de la siguiente manera; cálidos, semicálidos, templados y semifríos.

- Climas cálidos húmedos y subhúmedos.

Comprenden el 80% del territorio veracruzano y se distribuyen en la Llanura Costera del Golfo a altitudes menores de 1000 m, en estas regiones la temperatura del mes más frío es superior a 18°C y la media anual mayor es de 22°C. Dentro de los climas cálidos húmedos se tienen dos tipos; los que presentan abundantes lluvias en Verano, como los del norte a partir de la Sierra de Chiconquiaco en las inmediaciones de Jalapa, en Poza Rica, Papantla y en la planicie costera a la altura de la Barra de Nautla Tecolutla y Tuxpan, con una precipitación anual de 1300 a 2000 mm, hacia Palma Sola, Veracruz y Punta Villa Rica, la precipitación disminuye a 1000 mm anuales; y los que tienen lluvias todo el año, como en la Sierra de los Tuxtlas, en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental en una franja que va desde Hidalgo hasta Martínez de la Torre y Colipa, estos se presentan en altitudes de 600 a 1000 m y una temperatura de 22 a 24°C.

- Climas semicálidos húmedos.

Se localizan en altitudes promedio de 1000 a 1600 m, como en los volcanes de los Tuxtlas, la zona más extensa va de Zontecomatlán a Jalapa, al Este de Jalapa, se tienen abundantes lluvias en verano, con una precipitación anual de 2000 a 2500 mm, y la temperatura media varía de 18 a 22°C. Se localizan también en la región del Eje Neovolcánico en donde se reportan lluvias todo el año, y en la de Misantla en donde se registran aumentos de precipitación durante el Otoño.

- Climas templados.

Se presentan en zonas de 1600 a 2800 m de altitud. con variaciones en la humedad y en el régimen de lluvias hacia las sierras (zonas al oeste de las semicálidas húmedas).

Tienen una temperatura media de 12 a 18°C y una precipitación total anual de 500 a 2500 mm, con lluvias en Verano y a veces todo el año en las regiones de El Zapote, Martínez de la Torre y Colipa.

- Clima semifrío con lluvias en verano.

Se presentan en zonas de 2800 a 3800 m de altitud como en Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, tienen una temperatura de 5 a 12°C y una precipitación total anual de 600 a 1200 mm.

Datos de temperatura media anual y precipitación anual en algunas localidades importantes de la región de estudio:

<u>Localidad</u>	<u>Temp. Media Anual (°C)</u>	<u>Prec. Anual (mm)</u>
Juchique de Ferrer	22.4	1609.7
Martínez de la Torre.	23.7	1293.6
Misantla.	22.7	2086.4
Nautla.	24.0	1276.7
Poza Rica.	24.4	1106.0
Tecolutla.	23.2	1606.0
Veracruz.	25.3	1694.7
Jalapa.	19.1	1421.1
Tuxpan	24.1	1342.8

En el Estado de Veracruz se dan dos fenómenos meteorológicos importantes:

- Ciclones; se generan en otoño y verano, prolongando la temporada de lluvias y causando inundaciones.

- Nortes; llamados frentes fríos, consisten en masas de aire frío provenientes de las regiones polares que generan lluvias torrenciales en invierno.

VEGETACION.

A manera general, en la entidad se tienen en orden decreciente de abundancia; selva, bosque mesófilo, manglar, sabana bosques de pino-encino, pino, tular, palmar, vegetación de dunas costeras y matorral con izotes.

Las selvas, bosques y matorrales, dependen de las condiciones climáticas y los demás tipos de vegetación de las condiciones edáficas particulares; un factor importante en la región es el uso forestal y agropecuario.

2.2. FISIOGRAFIA Y MORFOLOGIA DE LOS DIFERENTES MEDIOS SEDIMENTARIOS DE LA REGION

2.2.1. FISIOGRAFIA.

El área de estudio comprende parte de las siguientes provincias fisiográficas de norte a sur sobre la parte oriental del Estado de Veracruz; Llanura Costera del Golfo Norte, Eje Neovolcánico y Llanura Costera del Golfo Sur (Síntesis Geográfica, INEGI, 1980) (Fig.2.1).

- Llanura Costera del Golfo Norte.

Subprovincia de Llanuras y Lomerios.

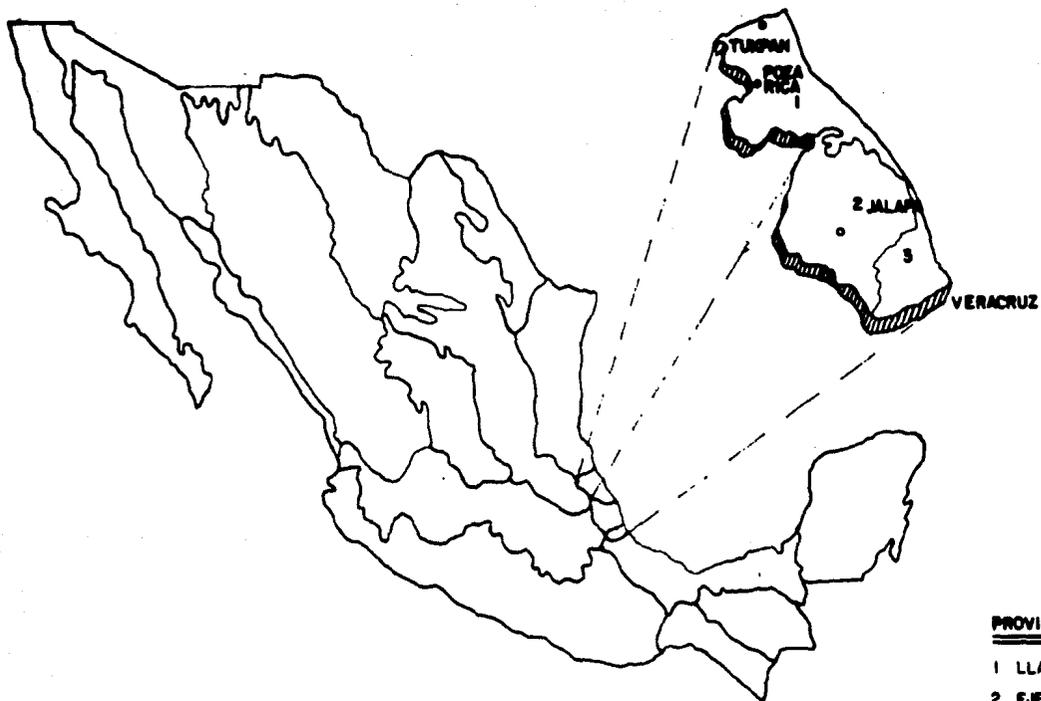
Se extiende paralelamente a la costa del Golfo de México, en la región de estudio ocupa desde el Río Tuxpan hasta Nautla y Misantla, es una costa de emersión con materiales marinos sedimentarios no consolidados que consisten principalmente en arcillas, areniscas y conglomerados cuya edad aumenta conforme aumenta su distancia a la línea de costa, y varía desde el Cuaternario hasta el Cretácico en las proximidades de la Sierra Madre Oriental, con mediana aportación sedimentaria de los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla y Nautla.

Del Río Tuxpan hacia el Sur se inicia una región de valles labrados por los ríos Cazones, Tecolutla y Nautla que cruzan por varios sistemas de lomerios. Hacia el Oeste, cerca de la sierra, hay mesetas constituidas por sedimentos antiguos que son al igual que las sierras, remanes de antiguas superficies de depositación aluvial.

Presenta climas cálidos y semicálidos que varían a cálidos subhúmedos hacia el Sur, con vegetación predominante de selva y matorrales.

- Eje Neovolcánico.

Esta provincia está representada en la región de estudio por una parte de la subprovincia de la Sierra de Chinconquiaco la cual consiste en una enorme masa de rocas volcánicas de edad Terciario a Reciente que forman una sierra ancha que se hace angosta hacia el norte de la población de Chinconquiaco y que se vuelve a ensanchar sobre la costa, en donde remata en un prominente escudo-volcán. Su territorio alterna entre unidades de laderas abruptas y tendidas, desde el sur del cuerpo montañoso hasta el Río Jamapa se presenta una zona de lomerios redondeados, la mayor parte asociada con cañadas y algunos con mesetas. La zona costera presenta una variedad de topofomas en las que se incluyen dos mesetas lávicas y una prominencia de basalto columnar en Quiahuitán. La disposición de los sistemas de sierras y lomerios determina un diseño de drenaje radial en la subprovincia.



PROVINCIAS FISIOGRAFICAS

- 1 LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE
- 2 EJE NEOVOLCANICO
- 3 LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR

Fig. 2.1 Provincias Fisiográficas de la Región estudiada. (MORAN, 1984)

- Llanura Costera del Golfo Sur.

Subprovincia de la Llanura Costera Veracruzana.

Tiene una distribución paralela a la costa con un fuerte aluvionamiento. Esta subprovincia se divide en tres regiones: el Sistema de lomerios del Oeste, Llanura costera aluvial propiamente y los Sistemas de lomas del Sur y del Sureste. La zona estudiada comprende principalmente a la región del Sistema de Lomerios del Oeste que se inicia desde la Sierra de Chiconquiaco y la costera de lomerios tendidos con cañadas las cuales tienen una disposición radial y se aproximan a la costa a la altura del Puerto de Veracruz. La llanura aluvial es angosta en el norte con una importante área alargada de dunas costeras cerca del mismo puerto y se ensancha en forma considerable a la altura de Boca del Río, en donde desemboca el Río Atoyac. Presenta climas cálidos subúmedos con vegetación de selva mediana a alta.

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS SEDIMENTARIOS RECONOCIDOS EN LA REGION.

A grandes rasgos, en la región de estudio se pueden encontrar tres tipos de medios sedimentarios con sus correspondientes subambientes; Medios fluviales, Medios Eólicos Costeros y Medios Litorales los cuales se describen a continuación (Fig.2.2).

MEDIOS FLUVIALES:

Abanicos Aluviales o Conos de Deyección.

Un abanico aluvial consiste en una acumulación de aluviones sobre un piedemonte en una zona más o menos llana como una playa o una llanura de inundación, el contacto entre los sedimentos aluviales y los de playa suele ser digitado debido a los cambios de velocidad de sedimentación (Fig.2.3), el material resultante de la erosión de las regiones altas es transportado por una sola corriente principal de agua, el depósito del material presenta forma de cono generandose un drenaje de caracter radial divergente y cada capa del abanico representa un solo periodo de acumulación y siempre tienen una parte antigua y otra en formación.

Los depósitos de los abanicos aluviales parecen tener diversos tipos e intensidades de sedimentación dependiendo de la mineralogía y textura del material detrítico, y de la presencia de limo y arena carbonatados en las zonas proximas a él, los cuales son transportados por el viento y depositados en el cono aluvial, ahí sufren un proceso de disolución y una precipitación posterior.

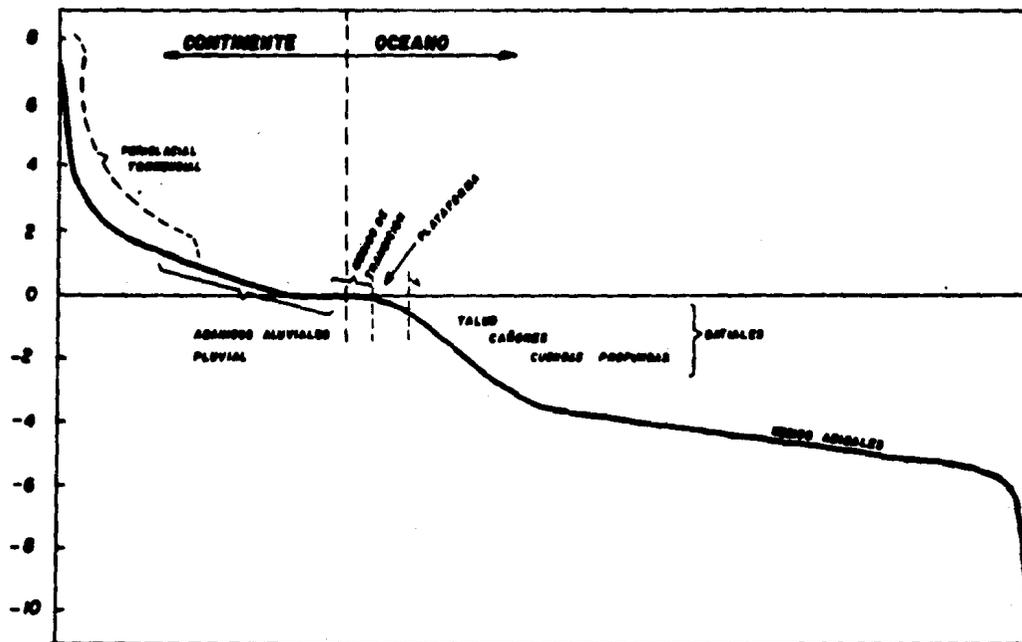


Fig. 2.2 Modelo Sedimentario (CORRALES, 1977)

Además de tener mala clasificación, los abanicos aluviales se caracterizan por su oxidación y por presentar frecuentes superficies de erosión. Se tienen diferentes tipos de depósitos en un abanico aluvial, como son:

- Depósitos debidos a corrientes laminares; se producen por aguas cargadas de sedimentos a escasa profundidad en diferentes canalillos excavados en el abanico, la posición de estos canalillos cambia rapidamente, originandose así un depósito en forma de lámina constituido por gravas, arenas y limos.
- Depósitos de canal; estan constituidos por particulas más gruesas que los anteriores y de granulometria uniforme.
- Depósitos de Tamiz (Hook; citado por Corrales, 1977); son abanicos de material permeable grueso en los cuales el agua se infiltra y se van reteniendo las particulas más finas (Fig.2.4).
- Depósitos de "Debris-Flows"; son generados por corrientes cargadas de particulas finas y fango, con los cuales adquieren gran viscosidad y densidad por lo que pueden transportar fragmentos de gran tamaño. Están constituidos por fragmentos grandes incluidos en una matriz de grano fino y se depositan en zonas donde hay mucha agua acumulada en un periodo de tiempo corto, con laderas y pendientes desprovistas de vegetación.

Corrientes fluviales.

De manera general las corrientes de agua en la región presentan patrones de drenaje anastomosados y meandriformes, debido a que los rios corren sobre materiales previamente depositados, sobre toda la planicie costera (Fig.2.5). En la sección transversal de un cauce la velocidad de la corriente no es uniforme en todos los puntos debido a la fricción, esto determina el tipo de sedimentos y estructuras. En una misma corriente fluvial las particulas pueden ser transportadas de diferentes maneras, por rodamiento, deslizamiento, saltación y tracción en el fondo, por suspensión ó flotación en particulas finas, y por disolución iónica o coloidal. El tamaño de las particulas y las condiciones energéticas de la corriente determinan las características de los diversos tipos de depósitos fluviales, como son:

Depósitos de canal (sobre el cauce de la corriente);

- Depósitos de "channel lag", lentes discontinuos de material grueso cubierto generalmente por arenas finas.
- Depósitos de islas o barras de canal, son depósitos de grano fino, típicos de rios anastomosados que forman barras desplazables en las partes bajas de los rios.
- Depósitos de "Point bar", se acumulan en la parte interna de los meandros y consisten en sedimentos gruesos con granoselección, en los que disminuye el tamaño hacia la parte superior (limos y arcillas de aguas tranquilas), también son frecuentes los depósitos de restos de plantas y conchas.



Fig 2.3 Contacto interdigitado entre los sedimentos de abanicos aluviales y los de playa (COMRALES, 1977)

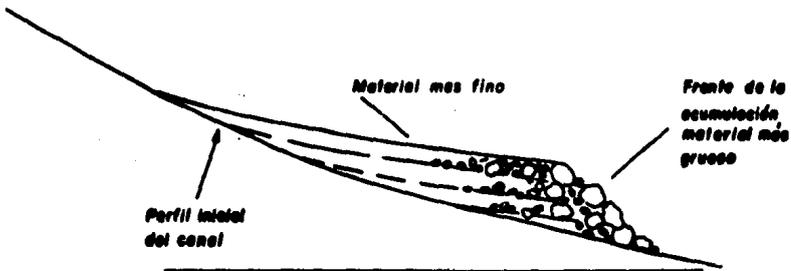


Fig 2.4 Dep3sitos de Terniz (Neche, 1967)

Depósitos en las márgenes de los ríos;

- Depósitos de relleno de depresiones de "Point bar", son sedimentos finos (limos y arcillas) que se depositan en época de avenidas.
- Depósitos de diques, son bandas de material grueso que bordean los cauces, están interestratificados con material fino y el tamaño de grano disminuye hacia las llanuras de inundación.
- Terrazas fluviales, son antiguos lechos de inundación de superficie plana con bordes escarpados sobre el cauce actual, presentan varias niveles dependiendo de las variaciones en el nivel del curso del río.

Depósitos de llanuras o lechos de inundación:

Se localizan en las zonas más alejadas del cauce y están formadas por limos y arcillas transportados en suspensión durante las épocas de crecidas, formando brazos de erosión y canales de estiaje durante las sequías.

Planicies aluviales:

Consisten en extensas planicies casi horizontales, con irregularidades menores, como barras, bancos y antiguos canales, presentan diversos depósitos de transición como meandros e incluyen llanuras de inundación que pueden llegar a constituir verdaderos pantanos; son características en el Golfo de México y llegan a presentar buena clasificación de arenas medias a finas, limos y arcillas con laminaciones, estratificación cruzada y grietas de desecación.

En una planicie aluvial los meandros pueden ser primarios, condicionados al relieve de la planicie, o secundarios debidos a cambios en la corriente, estos últimos se pueden presentar encajonados (cuando el cambio fluvial es por algún obstáculo), libres y cortados o estrangulados por una intensa erosión fluvial, en la parte cóncava se genera erosión y en la convexa acumulación, con cierta clasificación de materiales.

Tipos de depósitos aluviales:

- Aluvión.

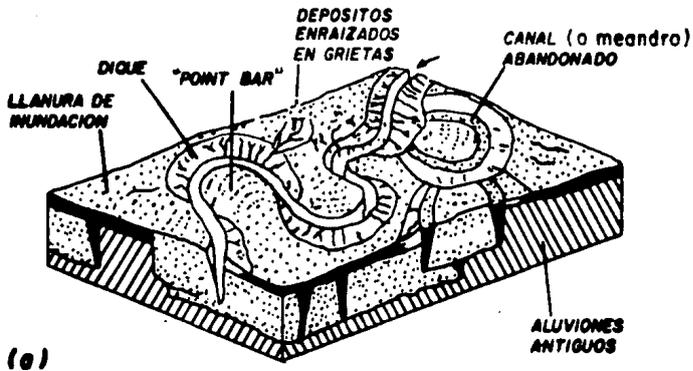
Sedimentos depositados por actividad fluvial sobre valles bien definidos, es material detrítico mal seleccionado con características texturales diferentes, pueden presentar cantos rodados, gravas, arenas y material fino.

- Coluvión.

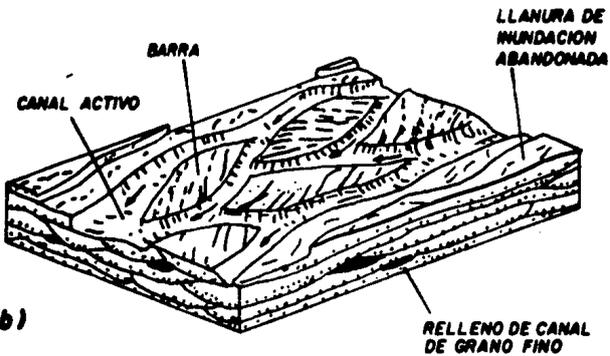
Depósitos formados en las laderas a partir de materiales arrancados de las zonas altas por agentes de erosión y por gravedad.

- Eluvión.

Material no consolidado originado por la acción de los agentes de intemperismo que se conserva "in situ" presenta un perfil de meteorización que corresponde a sus etapas de formación.



(a)



(b)

Medios Fluviales

Fig 2.9 a) Rios Meandriiformes. b) Rios Anastomosados (Según Allen, 1970)

MEDIOS EOLICOS COSTEROS:

Morfológicamente estos ambientes se presentan como bancos con tendencia planar con superficies truncadas por cordones, dunas y mantos de arena (cubiertas delgadas en llanuras lisas) los cuales estan constituidos principalmente por arenas de grano fino a medio con buena selección (uniformes), carbonatos y limos de diferente composición. Este tipo de medios predominan en la porción septentrional de la zona de estudio en la planicie costera (Fig.2.6).

Las estructuras más importantes de estas regiones son las "Dunas tipo barjanes" que tienen forma de media luna con la parte convexa en dirección del viento; se generan en costas expuestas a vientos fuertes y constantes de dirección perpendicular a la línea de costa, cuando hay suficiente aporte de arena, estas presentan formas más complejas en regiones húmedas debido a la vegetación y a las variaciones de humedad, presentando diversas estructuras como fallas normales y brechas, generadas por avalanchas en flancos de deslizamiento en la región de sotavento y fragmentación de costras de arena en forma de láminas originadas por la desecación.

Las dunas presentan una cohesión aparente debida a la capilaridad o a la cementación, las cuales se pueden perder bruscamente con las variaciones del nivel freático; Estas estructuras son muchas veces efímeras y generalmente no tienen más de veinte metros de altura.

MEDIOS LITORALES:

Estas regiones también son conocidas como medios de transición, en donde la costa es la zona limítrofe entre el continente y el mar por lo que está frecuentemente influenciada por transgresiones y regresiones asociadas a las condiciones climáticas, tal es el caso de la llanura costera de la región de estudio. En la zona de transición terrestre-marina propiamente dicha se forman las llanuras de marea, esteros e islas de barrera, cuyos depósitos son arenoso-limosos. Hacia el mar se continúan los materiales lutíticos de plataforma y hacia el continente, dependiendo de si existen o no islas de barrera se forman ambientes fluviales, de pantano o de dunas (Fig.2.7).

Subambientes en la zona costera.

- Playas.

Son franjas estrechas y alargadas formadas por la acumulación de sedimentos a lo largo de la costa, generalmente cóncavas hacia el mar y con vegetación escasa, quedan limitadas por la acción del oleaje, en donde el límite superior es la línea alcanzada por las olas durante los temporales, esta línea separa a los depósitos de playa propiamente dichos de las arenas de las dunas costeras, y el límite inferior es en donde el oleaje deja de tener influencia en el fondo marino. Consisten en depósitos de material detrítico de clasificación uniforme con predominancia de arenas sobre limos de varios metros de espesor. Las playas se desarrollan en costas bajas y presentan tres ambientes sedimentarios distintos:

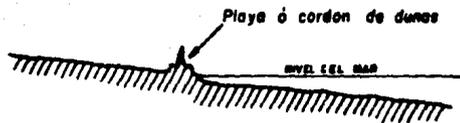


Fig 2.6 Medio eólico costero (CORRALES, 1977)

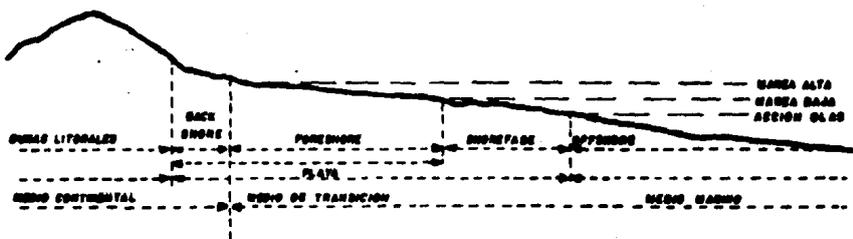


Fig 2.7 Subambientes en la zona costera (CORRALES, 1977)

- "Backshore".

Abarca la zona entre las dunas costeras y el límite inferior de la marea alta, presenta bermas con materiales fundamentalmente arenosos y menos del 10% de limo.

- "Foreshore".

Consiste en la zona adyacente a la anterior avanzando hacia el mar, siendo sus límites superior e inferior la marea alta y baja respectivamente. Corresponde a la playa propiamente dicha y presenta capas casi horizontales con un ligero buzamiento hacia el mar, las cuales constituyen superficies de acreción de materiales arenosos uniformes con poco limo y acumulaciones de conchas. Pueden presentar barras paralelas a la línea de costa.

- "Shoreface".

Es la parte más distal de la playa, se encuentra sumergida y sus límites son imprecisos variando entre la marea baja y el punto en donde el oleaje deja de influir en el fondo, son todavía depósitos de materiales arenosos, pero de transición a arcillosos, característicos de plataforma ("Offshore").

- Deltas.

Son depósitos detríticos que se acumulan en la desembocadura de los ríos hacia un mar o lago. Es un medio de transición móvil que está en constante lucha con el mar, si los procesos fluviales dominan, el delta se desarrolla ganando terreno al mar, como sucede en las costas del Golfo de México, lo cual no sería posible si las corrientes, oleaje y mareas recogieran el material de los ríos y lo distribuyeran hacia la plataforma y planicie y abisal. Presentan formas lobuladas o digitadas con dos o tres canales mayores y varias ramificaciones, o también pueden ser redondeados o de arco, con drenaje radial y canales ramificados. Su sedimentación está influida por la floculación de partículas finas por ionización bajo la acción del agua de mar; constituyen llanuras de fácil cultivo y yacimientos petrolíferos debido a que presentan bajos pantanosos delimitados por cercados que se forman durante las antiguas posiciones del cordón litoral.

Partes de un delta:

- Llanura deltaica o proximal. Porción subaérea más cercana al río, predominan los fenómenos fluviales representados por canales que delimitan zonas llanas o depresiones ocupadas por pantanos y marismas. Dentro del subambiente fluvial el transporte de los sedimentos se efectúa por canales activos únicos o subdivididos en canales distributarios, que pueden tener carácter meandriforme y los límites de sus cauces son más elevados y están constituidos por materiales más gruesos, los canales se pueden colmar y llenarse de vegetación pues transportan en suspensión limos, arcillas y arenas finas. El submedio palustre incluye áreas pantanosas con alta sedimentación orgánica, que ocupan la mayor parte de la llanura deltaica y presentan sedimentación detrítica muy fina (Fig. 2.8).

- Frente Deltaico. Ambiente fluvio - marino que se localiza en aguas poco profundas de baja energía y desarrolla láminas de arena que cubren la superficie frontal del delta. Cuando el delta prograda debido a una intensa sedimentación se desarrollan varios subambientes en el frente deltaico como son:

(1) El canal distributivo, que es el cauce del río en su entrada al mar y consiste principalmente en arenas, puede presentar estructuras de deslizamientos originada por el transporte de masas densas no consolidadas.

(2) Barra de la boca de un distributivo, al perder energía la corriente fluvial que estaba confinada en su entrada al mar en zonas de aguas someras, deposita los materiales transportados arena fina, limos y arcillas en menor proporción.

(3) Barra distal, es la parte más extensa del delta presenta un suave talud de depósitos de limos y arcillas con partículas vegetales.

(4) Depósitos de frente deltaico en sedimentos actuales, se originan durante la progradación del delta, son cuerpos arenosos de forma alargada que presentan extrusiones diapiricas de arcillas del prodelta poco compactadas y ricas en agua.

- Prodelta. Parte más distal del continente completamente sumergida que presenta depósitos fluviales afectados por procesos marinos, estos depósitos consisten principalmente en arcillas y en ocasiones limos.

- Llanuras de marea o marismas.

Se desarrollan en los límites de marea alta y marea baja en las zonas bajas paralelas a las líneas de costa, presentan canales meandriformes perpendiculares a la costa excavados por las corrientes de marea de que se inician en la parte más alta de la costa y desembocan mar adentro, se desarrollan en áreas protegidas del oleaje por islas de barrera. Su sedimentación es compleja pues se depositan arenas, limos y arcillas con o sin vegetación la cual fija los limos originando ambientes de tipo manglar, se forman turbas de agua dulce en la parte interna de la marisma (más cercana al continente) y se depositan arenas en las partes más distales, pero una rotura en la barra de cierre puede originar sedimentación marina por encima de la turba, la cual bajo el peso de los sedimentos arenosos se comprime, y la marisma tiende a hundirse sin involucrar ningún movimiento tectónico. Se le llama zona supramareal a la parte que limita con el continente en la que se pueden formar cristales de yeso y halita, y submareal a la que limita con el mar.

- Esteros.

Son lagunas saladas de forma más o menos alargada en dirección paralela a la línea de costa; son semejantes las llanuras de marea debido a que se forman por aportes de costa poco profunda que esta limitada hacia el mar por una isla de barrera y se comunica con este por uno o varios canales, pueden poseer también emisarios de agua dulce con sedimentos de laguna por lo que presenta varios tipos de depósitos; materiales arcillo-limosos con delgadas capas de arena, depósitos salinos, fangos carbonatados y depósitos orgánicos.

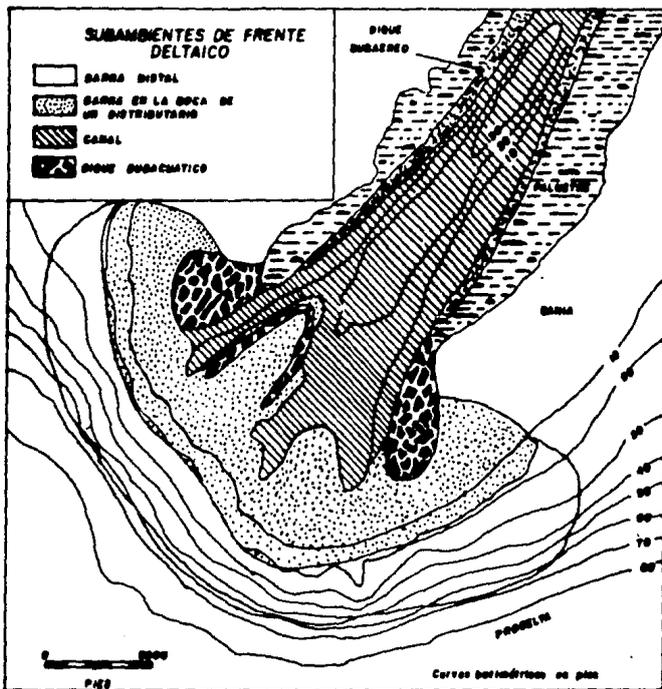


Fig 2.8 Partes de un delta (Coleman, 1965)



Fig 2.9 Invasión marina del área continental.
Formación de Esteros (CORRALES, 1977)

Medios sedimentarios litorales locales:

- Barras o cordones litorales.

Franja estrecha sensiblemente paralela a la línea de costa separada por una masa de agua y originada por el oleaje. Puede estar cortada por canales de marea y determina la formación de albuferas y estuarios.

- Terrazas marinas.

Superficie angosta plana o ligeramente inclinada limitada por un reborde escarpado de poca altura, originada por la acción erosiva del oleaje y por la elevación del continente (regresiones).

- Flechas y Tómbolos.

Franjas arenosas con escasa vegetación originada por el oleaje y corrientes marinas. Los Tómbolos son perpendiculares a la línea de costa y unen a una isla con el continente.

2.2.3. RASGOS MORFOLOGICOS DE LOS MATERIALES SEDIMENTARIOS.

Lutitas:

Forman depósitos extensos de espesor considerable, impermeables, de carácter plástico, fáciles de erosionar, frecuentemente interestratificados con areniscas, calizas y margas. La morfología de estos depósitos no refleja sus características estructurales, forman colinas uniformes suavemente redondeadas con laderas rectas o cóncavas de pendientes bajas, presentan un patrón de drenaje dendrítico de alta densidad sin patrones angulares con arroyos tributarios y cortos que se unen en ángulos agudos con perfiles transversales en forma de "v" abierta con interfluvios relativamente amplios, el espaciado de la red aumenta con el contenido de carbonatos dentro del material arcilloso.

Los paquetes de lutitas no protegidos por la erosión desarrollan laderas cóncavas y drenaje característico, y las que están protegidas presentan formas alargadas, planas y sin drenaje, y si además están en contacto con estratos permeables desarrollan vegetación, las crestas son más redondeadas con mayor control estructural y el agua puede aflorar en el contacto entre el material permeable e impermeable.

Areniscas:

Este tipo de rocas tienen de mediana a alta permeabilidad y porosidad y no forman grandes paquetes sedimentarios, generalmente están interestratificadas con lutitas y margas, cuando los paquetes están bien cementados sus contactos con rocas más suaves están bien marcados por escarpes con bordes angulosos y dentados. En general presentan formas redondeadas de pendiente media a fuerte, cuando los estratos son horizontales se forman relieves tabulares a veces con estratificación cruzada con una red dendrítica muy encajada, y cuando son estratos plegados, el patrón de drenaje presenta un control estructural; se forman relieves bajos cuando los granos de las areniscas son de composición calcárea o el cementante es calcáreo, cuando el tamaño de grano es fino, cuando se tiene un grado bajo de cementación y cuando la cohesión es escasa y la matriz es arcillosa.

En climas húmedos como en la zona de Veracruz, se tienen relieves suaves con una densidad de drenaje baja con tendencia dendrítica más acusada y menor grado de erosión que en climas secos. Los ríos colectores tienen carácter subsecuente corriendo paralelamente a los estratos, por fracturas y por materiales más blandos, y los arroyos de ladera son transversales a los colectores, corriendo en el sentido del buzamiento de los mismos (resecuentes y consecuentes), son de recorrido corto y de cabecera poco ramificada.

Conglomerados:

Son rocas competentes en las que al aumentar su tamaño de grano y el contenido de cementante con respecto a la matriz presentan mayor número de fallas y fracturas, y pueden ser permeables si el cementante es soluble. Forman estratos horizontales que al estar intercalados con materiales de menor competencia como lutitas o margas forman mesas que protegen de la erosión a dichos materiales.

Forman lomas redondeadas de pendientes fuertes con interfluvios poco definidos, el perfil transversal de sus valles tienen forma de "v" presentando laderas convexas y mesas escarpadas en fallas y contactos, su resistencia a la erosión disminuye cuando el tamaño de grano es pequeño, cuando tienen matriz arcillosa y bajo grado de cementación, y cuando están poco compactados. Presentan una red de drenaje pobre, con espaciamiento amplio de carácter angular en estratos macizos y fracturados y de carácter dendrítico poco acusado, con encajamiento rápido y mayor densidad, cuando los conglomerados están interestratificados con materiales suaves; si se alternan con materiales impermeables pueden presentar manantiales y mayor vegetación.

2.3. HIDROLOGIA

Las corrientes de la región de estudio pertenecen a la Vertiente del Golfo de México, siendo las más importantes las correspondientes a los ríos; Tuxpan, Cazonas, Nautla, Antigua y Jamapa, cada uno de los cuales tiene un escurrimiento medio anual superior a los 40 m³/seg en su desembocadura (SRH, Atlas del Agua de la República Mexicana).

Dichas corrientes son características de las planicies costeras jóvenes típicamente planas con depósitos cenagosos u orgánicos condicionados por; meándros, pantanos de marea abandonados y patrones de drenaje burdamente dendrítico en las zonas topográficas más bajas de la costa.

En general, una corriente fluvial se inicia en la llamada "cabecera del río" en zonas con laderas de pendiente fuerte con intensa erosión vertical, en las corrientes fluviales de la zona estudiada, dichas cabeceras se localizan en la Sierra Madre Oriental que es la fuente de los carbonatos y materiales detriticos transportados hacia el mar; a lo largo de la corriente fluvial se tienen diversas confluencias, el caudal aumenta hacia la parte media del río y continua la erosión vertical; en ocasiones se tienen anomalías geomorfológicas en el relieve que propician acumulaciones locales del material transportado, hacia la desembocadura del río empieza a predominar la erosión lateral sobre la vertical para depositar su carga en la desembocadura.

El potencial acuifero subterráneo de la región estudiada esta íntimamente relacionado con la precipitación pluvial, y con la porosidad y permeabilidad de los suelos y rocas presentes.

En la Llanura Costera del Golfo Norte las unidades más abundantes son de materiales rocosos con baja permeabilidad dispuestos en secuencias estratigráficas arcillo-arenosas formadas de manera progradante con un gradiente estructural y topográfico adversos para la infiltración y almacenamiento de agua. Casi todos los acuíferos de la región estan subexplotados, excepto en la Ciudad de Veracruz (D.G.G., 1981).

La región de estudio comprende dos de las cinco regiones hidrológicas de la planicie costera del Estado de Veracruz, la RH 27 y la RH 28 (INEGI, 1981) (Fig.2.10).

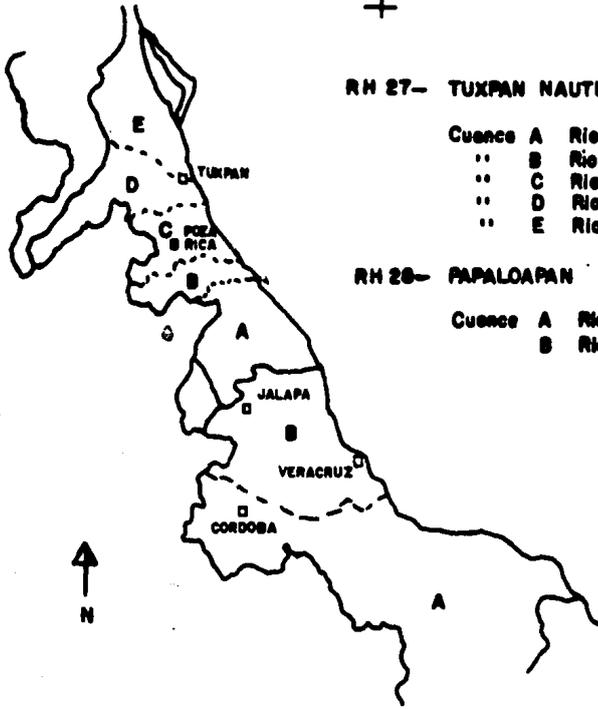
- La región Tuxpan-Nautla. Ocupa la mayor parte de la región y está integrada por las cuencas de los rios Nautla, Tecolutla, Cazones y Tuxpan, el río Nautla se inicia en Cofre de Perote, el río Tecolutla en la Sierra de Puebla, el Cazones en la region montañosa de Hidalgo y el río Tuxpan en la región de Pantepec, Hgo. La región tiene un gasto promedio de 264.32 m³/seg, que representa el 44.1% del gasto total de la vertiente del Golfo.

- Porción septentrional de la región Papaloapan, representada por el Río Jamapa, esta región ocupa la porción Centro-Sur del Estado de Veracruz, e incluye corrientes en disposición radial y paralela controlada por algunas elevaciones de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico; la conforman las cuencas de los rios Papaloapan y Jamapa, que nace en las faldas del Pico de Orizaba con la denominación de río Pantepec.

90
22° +

90
+

95
+ 22°



RH 27- TUXPAN NAUTLA

- Cuenca A Río Nautla y otros
- .. B Río Tecolutla
- .. C Río Coscoas
- .. D Río Tuxpan
- .. E Río Tamiahua

RH 28- PAPALOAPAN

- Cuenca A Río Papaloapan
- B Río Jamapa y otros

Fig 2.10 REGIONES HIDROLOGICAS Y CUENCAS.

Las unidades geohidrológicas de aguas subterráneas en Veracruz están en función de sus características físicas y espaciales las cuales determinan su capacidad para almacenar agua susceptible de aprovecharse:

- Unidad de rocas con posibilidades bajas. Está constituida por las lutitas y areniscas Terciarias que están distribuidas en la Llanura Costera del Golfo Norte, es la más extensa del estado y presenta un gasto reducido porque los estratos son impermeables, es una zona con alto índice de escurrimiento.

- Unidad de rocas con posibilidades medias. Está constituida por las lutitas y areniscas del Mioceno y las rocas basálticas Cuaternarias de la Llanura Costera del Golfo Norte y en el Eje Neovolcánico; en los lugares donde la unidad esta formada por rocas basálticas, se considera área de recarga de agua susceptible de extraerse.

- Unidad con posibilidades altas. Se localiza al Oeste del puerto de Veracruz, y está constituida por conglomerados medianamente consolidados, tiene alta capacidad de almacenaje pero ha sido sobreexplotado.

3 CONTEXTO GEOLOGICO

3.1. ESTRATIGRAFIA

Dado que el área de estudio abarca la región Centro y Norte del Estado de Veracruz, se describirán a continuación las columnas estratigráficas de las porciones geológicas comprendidas haciendo énfasis en los depósitos del Cretácico Superior y Cenozoico que dieron origen a los materiales que cubren la región (Nomenclatura y definiciones tomadas de Lopez R., 1982), las estructuras geológicas comprendidas en este estudio son :

- 3.1.1. La Cuenca Sedimentaria Tampico-Misantla en su porción meridional, que en los límites de estudio abarca desde el Río Tuxpan hasta las poblaciones de Misantla y Nautla y que corresponde con parte de la Provincia Fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Norte.
- 3.1.2. El Eje Neovolcánico, que atravieza el Estado de Veracruz en dirección Este-Oeste y se extiende hasta Punta Mancha sobre la línea de costa, abarcando el Macizo de Teztlutlán.
- 3.1.3. La Cuenca Cenozoica de Veracruz, que corresponde a la parte septentrional de la Provincia Fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Sur.

3.1.1. CUENCA SEDIMENTARIA TAMPICO - MISANTLA :

Estratigrafía:

Presenta afloramientos extensos de rocas del Terciario distribuidas en forma de franjas más o menos paralelas a la línea de costa, su edad decrece conforme disminuye su distancia del Golfo, lo cual indica una regresión marina hacia el Este. En algunas áreas, dichas unidades están cubiertas por rocas volcánicas del Cenozoico Superior (Figs.3.1 y 3.2).

Jurásico Inferior:

Fm Huayacacolla (Imlay, 1948); lutitas negras intercaladas con areniscas verdes, secuencia marina con amonitas.

Fms Totolapa y Divisadero (Erben, 1954); areniscas con pocas lutitas y abundantes pelecipodos.

Jurásico Medio:

Fm Sahuasas (Carrillo B., 1961); lutitas, areniscas y conglomerados rojos.

Fm Huehuetepic (Gonzalez G., 1970); Bat-Call, evaporitas con lutitas y limolitas rojas, mudstone calcáreo y areniscas.

Fm Calcarenita Tepexic (Erben, 1956; Call-Bat, lodolita café grisáceo con cuarzo.

Jurásico Superior:

Fm Pantlaga (Chantu Ch.A., 1969); Call-Oxf, limolitas que gradúan a lutitas calcáreas.

Fm Tambu (Heim A., 1940); Oxf, mudstone calcáreo - arcilloso con intercalaciones de lutitas.

Fm Chipoco (Inédita); Kim-Tit; mudstone calcáreo con intercalaciones de grainstonita.

Fm San Andrés (Carrillo M.P., 1960); Kim-Tit, grainstone de oolitos, peletoides y bioclastos.

Fm Pimienta (Heim, 1940); Tit, dos miembros, inferior arcillocalcáreo y superior de mudstone e intraclastos.

Cretácico Inferior - Cretácico Superior (facies de Cuenca):

Tamaulipas inferior (Muir, 1936) (Stephenson, 1921); calizas densas de grano fino con nodulos esferoidales de pedernal amarillo.

Horizonte Otates (Muir, 1936); Apt, calizas arcillosas de color gris y negro intercaladas con lutitas negras muy bituminosas.

Fm Tamaulipas Superior (Muir, 1936); Alb-Cen, presenta dos miembros, el inferior son calizas blancas con estilolitas, sin pedernal y el superior son calizas densas con nódulos de pedernal.

Cretácico Inferior - Cretácico Medio (facies de Plataforma):

Fm El Abra (Heim, 1926, 1940); Tur-Alb-Cen, dos miembros, el inferior de calizas con rudistas (bioherma) y masiva, y el superior de calizas con abundantes miliólidos, masiva.

Fm Tamabra (Heim, 1930); Alb-Cen-Tur, facies prearrecifales con dos miembros, inferior de calizas dolomíticas y cavernosas de aspecto brechoide y el superior de calizas compactas criptocristalinas con nódulos de pedernal negro.

Cretácico Superior:

Fms Agua Nueva y Xilita (Stephenson, 1921); Tur, lutitas negras en la base y gradación a calizas en la parte superior, la Fm. Xilita presenta rocas más bituminosas.

Fm San Felipe (Jeffreys, 1910); Con-Sen, calizas compactas, arcillosas de color gris, ampliamente distribuidas en el Estado de Veracruz.

TABLA ESTRATIGRAFICA

NOMENCLATURA EUROPEA TIEMPO		CUENCA SEDIMENTARIA DE TAMPICO		POZA RICA PORCION S-DE AREA DE SAN ANDRES MISANTLA		
ERA	SISTEMA CUATERNARIO	PISO	FORMACION	FORMACION		
	SENE		RECIENTE	RECIENTE		
CENOZOICO	TERTIARIO	CUATERNARIO	Unduliforme	Tuxpan (M)	Tuxpan (M)	
			Burdigalico			
			Aquitaniense	Mezcla (Om)	Escollin (Og) Coahuila (Og)	Escollin (Og) Coahuila (Og)
			Chattiano	Alicia (Oa)	Palma Real sup. (Opra)	Palma Real sup. (Opra)
			Apulense y Luteriano	Palma Real inf. (Opril)	Palma Real inf. (Opril)	Palma Real inf. (Opril)
		EOCENO	EOCENO	Ludense	Chappeto	Chappeto
					Tantoyuca	Tantoyuca
				Auvernense	Gueyabal (Eg)	Gueyabal (Eg)
				Lutecense	Aragoa (Ea)	Aragoa (Ea)
				Ypresiano	Chiontepec (Volocho Sup.)	Chiontepec Sup. (Echa)
				Sparteaco	Chiontepec (Volocho Sup.)	Chiontepec Med. (Pachm)
				Ludense	Chiontepec (Volocho Sup.)	Chiontepec inf. (Pachm)
					Montense	Chiontepec inf. (Volocho Sup.)
				Gargasense	Volocho basal	Volocho basal (Pachm)
CRETACICO	CRETACICO	SUPTERIO	Maastrichtiano	Mérida		
			Campaniano	San Andrés		
			Santoniano	San Felipe		
			Coleciense	San Felipe		
		MIDIO	Turoniano	Agua Nueva	El Abra	
			Cenomaniano	Tampico Sup.	Tampico	
		INFERIO	Aptiano	Otatoc	Otatoc	
			Sarmatense			
			Masturbiano	Tampico inf.	Tampico inf.	
			Valanginiano			
Berriacense						
JURASICO	JURASICO	SUPTERIO	Tithoniano	Pimienta		
			Boninense	Toma		
			Herrero	Chipoco		
			Sequenense	San Andrés		
			Argentino			
			Divisivo			
			Calviano			
			MIDIO	Bataviano	Cahuas	
				Bejasiano	Cahuas	
			INFERIO	Aaleniano	Reocric	
		Turoniano				
		Charmatense				
		TRIASICO	Retiano	Huixtla		
		PERMIANO	PERMIANO	PERMIANO	Guadalupe	Guadalupe
Del Monte	Del Monte					
Vicente Guerrero	Vicente Guerrero					
La yerba	La yerba					
Caballeros	Caballeros					
Victoria	Victoria					
La presa	La presa					
ORDOVICICO						
CAMBRICO						
PALEOZOICO						
PRECAMBRICO						

Fig. 3.1 Estratigrafo de la Cuenca TAMPICO-MISANTLA (López Ramos, 1982)

UNIDADES GEOTECTONICAS DE LA REGION

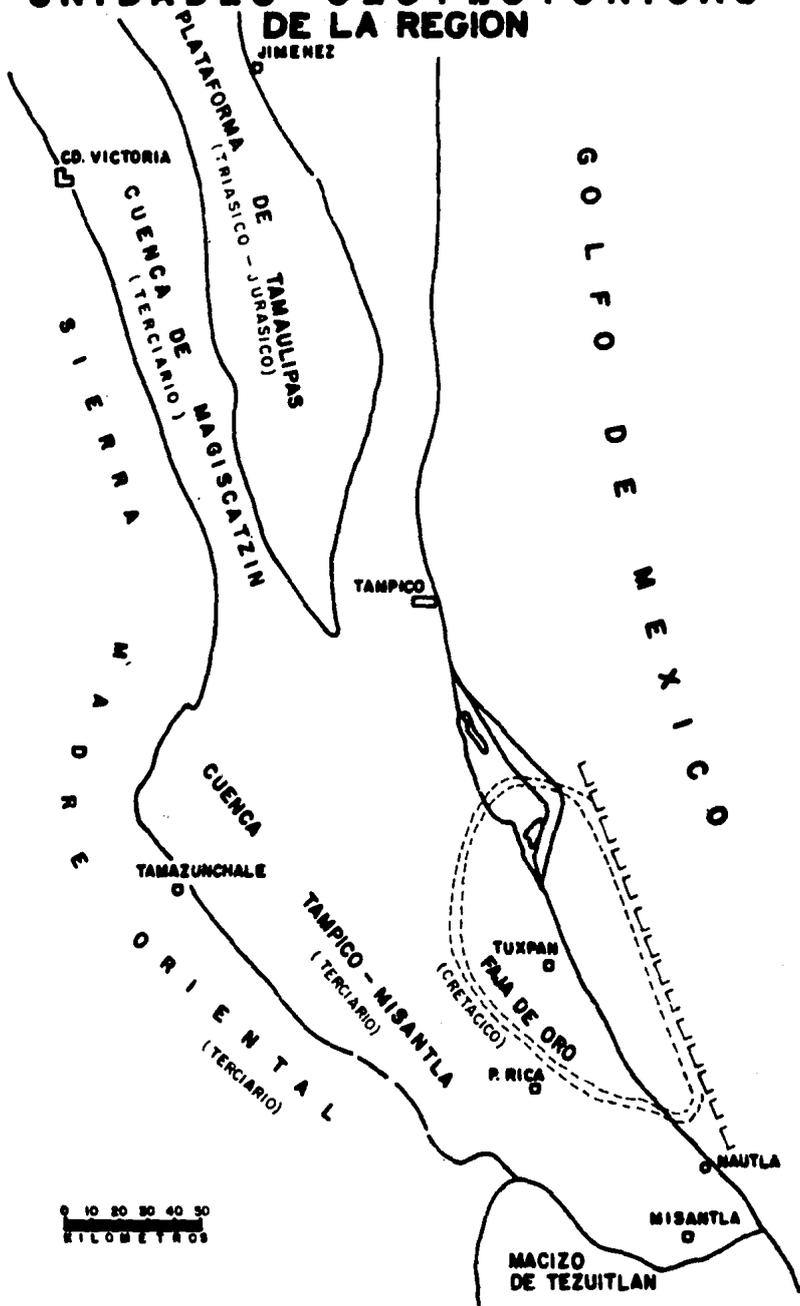


Fig. 3.2 Subprovincia Cuenca Tampico - Misantla (Lopez R., 1982)

Fm Mendez (Dumble, 1911) (Jeffreys, 1912); Camp-Maes, lutitas pardas con intercalaciones de margas de ambiente marino nerítico, contacto transicional con San Felipe, su expresión morfológica es de planicie.

Cenozoico:

Fm Velasco (Cushman y Trager, 1924); Paleoceno-Eoceno, sedimentos "Flysch", lutitas arcillo-margosas con horizontes delgados de bentonita semiduras de profundidad moderada, forman sierras bajas de pendiente media.

Fm Chicontepec (Dumble E.T., 1918); Paleoceno-Eoceno, depósitos "Flysch" que comenzaron a llenar la Fosa de Chicontepec, consiste en tres miembros de lutitas y areniscas, las lutitas son arcillo-margosas de color gris a pardo y las areniscas son de grano fino a medio y color gris. Forman sierras de pendiente moderada y se han encontrado en el subsuelo de el Distrito de Poza Rica.

Fm Aragón (Nuttall W.F., 1930); Eoceno Inferior, lutitas con bentonitas en la base y arena fina con nódulos calcáreos en la parte alta, aflora desde Palma Sola hasta el Macizo de Teziutlan.

Fm Huayabal (Cole W.S., 1927); Eoceno Medio, lutitas de color gris azul, con nódulos de siderita y delgadas intercalaciones de arena de grano fino, al sur del Río Tecolutla está constituida por sedimentos de facies marginales con conglomerados y arcillas arenosas, aflora en forma de una faja burdamente paralela a la línea de costa cerca de Tantoyuca, Veracruz, Chicontepec y Tempoal.

Fm Chapopote Tantoyuca (Cole W.S., 1927); Eoceno Superior, son dos diferentes facies dentro de una formación, la facies Chapopote consiste en margas grises y aflora en la región de Misantla y la facies Tantoyuca, son sedimentos areno-conglomeráticos con matriz calcárea e intercalaciones de lutitas y margas arenosas. Está expuesta en la región de Tuxpan, al sur de Tantoyuca y, al poniente de Papantla.

Fm Marcanes (Grimsdale T., 1933) (Salas G., 1949); margas grises o lutitas ligeramente calcáreas intercaladas con areniscas de grano fino, aflora en la región de Poza Rica y Castillo de Teayo.

Fm Palma Real Inferior (Barker y Blow, 1976); Oligoceno Inferior, su litología es variable de acuerdo con la proximidad a la antigua línea de costa, areniscas, conglomerados, margas arenosas y lentes de calizas coralinas, es una serie transgresiva que aflora en Papantla y Coatzintla formando lomeríos.

Fm Palma Real Superior (Barker y Blow, 1976); Oligoceno Medio, lutitas suaves ligeramente arenosas con intercalaciones de areniscas de grano fino, en ocasiones con calizas arrecifales con horizontes clásticos en la cima, aflora en la región de Papantla y al Oriente y Sureste de Misantla. Durante el Oligoceno Medio y Superior una serie de transgresiones y regresiones originaron varios cambios de facies.

Fm Alazán (Dumble E.T., 1918); Oligoceno Inferior y Medio, lutitas arenosas a areniscas con intercalaciones arcillosas a veces con muestras de oleaje y con intercalaciones de margas, forma lomeríos y aflora en la superficie como unas franjas cerca del Río Tuxpan, y del Río Cazones al Noroeste de Poza Rica.

Fm Meson (Dumble E.T., 1918); Oligoceno Medio y Superior, lutitas y margas arenosas con estratos de areniscas calcáreas y capas delgadas de calizas, facies de aguas someras, esta expuesta en la Planicie Costera hasta al Río Cazones al Norte de Poza Rica, tiene un franco caracter transgresivo en el norte sobre las formaciones Alazán, Palma Real y Aragón.

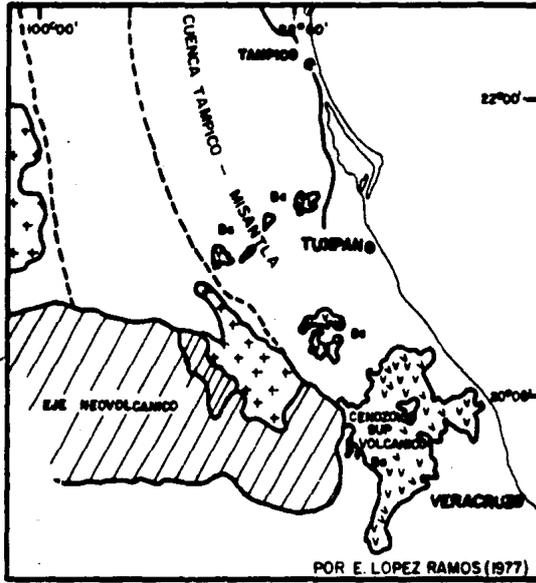
Fm Coatzacoatlán (Adkins W.S., 1925); Oligoceno Superior, margas grises interestratificadas con margas arenosas y en algunos lugares con conglomerados y calizas coralinas, en ocasiones también presenta lutitas, forman lomeríos, y afloran en el área de Poza Rica.

Fm Cocollán (Grimsdale F.T., 1933); Oligoceno Superior, margas masivas y margas arenosas con areniscas calcáreas de grano fino a mediano, aflora al Sureste del campo de Poza Rica, forma lomeríos.

Fm Tuxpan (Dumble E.T., 1911); Mioceno Inferior y Medio, areniscas, areniscas calcáreas, caliza arenosa y lutita más o menos arenosa con algunos conglomerados en la base, facies transgresivas de aguas someras con una regresión al final del depósito hasta alcanzar su posición actual en el Golfo de México, cubre discordantemente a las rocas subyacentes y afloran al Noroeste y Suroeste de Tuxpan y en Papantla, forman lomeríos suaves.

Rocas Igneas ; Las rocas del Plioceno y del Pleistoceno están representadas por depósitos cineríticos y rocas basálticas sobre todo para el Cuaternario, pues se han encontrado rocas Terciarias ríolíticas, las rocas basálticas son ricas en olivino, también se encuentran basalto andesíticos y brechas volcánicas. A la altura de la Sierra Madre Oriental se localiza la zona con vulcanismo calco-alcálico, en el que se diferencian dos sectores, uno al sur que se extiende entre Jalapa y el Golfo en la prolongación de la estructura del Eje Neovolcánico y otro en el Norte (Edo. de Hidalgo) de carácter ácido (Fig.3.3).

Depósitos Recientes ; corresponden al aluvión que se encuentra en los cauces de los grandes ríos y en la actual llanura costera, estos depósitos corresponden a suelos formados por el material proveniente de las rocas preexistentes, y están compuestos por limos, arcillas, arenas y algunos lentes de gravas; pueden ser además de origen eólico, lacustre y litoral y se distribuyen ampliamente.



LEYENDA

-  VULCANISMO (BASALTOS)
-  EJE NEOVOLCANICO
-  RIOLITAS

Fig. 3.3 Rocas ígneas de la cuenca Tampico-Misantla (López R, 1982)

3.1.2. EJE NEOVOLCANICO :

Estratigrafía.

Está constituido por rocas ígneas andesíticas riolíticas y basálticas que se depositaron durante el Cenozoico en forma de derrames, lavas, brechas, tobas y cenizas volcánicas. También hay rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico e ígneas intrusivas del Terciario, las cuales están expuestas en la superficie mediante ventanas erosionales o bien no fueron cubiertas por las rocas eruptivas. Las rocas más antiguas son los depósitos arcillo-calcáreos del Jurásico Superior y las más jóvenes son depósitos no consolidados del Cuaternario.

Sm Tambn ; calizas y lutitas del Jurásico Superior que forman montes de pendientes suaves.

Sm Tamauilpas ; calizas masivas o de estratificación gruesa que forman montañas de pendientes moderadas.

Sm Velasco y Chicantepec ; sedimentos tipo "Flysch" de edad Paleoceno que consisten en lutitas y areniscas formadoras de lomeríos bajos de pendiente suave.

Sm Chicantepec Aragon Guayabal y Chapopote ; lutitas y areniscas intercaladas con areniscas que forman lomeríos de pendiente suave y afloran al Oriente de Misantla y al Poniente de Jalapa.

Sm Morcanes Palma Real y Mesdn ; lutitas y areniscas de edad Oligoceno, forman lomeríos de pendientes suaves y afloran al Norte de Martínez de la Torre.

Actividad Ignea ; manifestaciones de edad Terciario Superior - Cuaternario. Las rocas ígneas intrusivas de composición ácida afectan la secuencia sedimentaria del Mesozoico; morfológicamente integran montañas de pendiente fuerte y afloran al Noroeste de Jalapa. La actividad volcánica se inicia con la efusión de rocas andesíticas (volcánes Pico de Orizaba y Cofre de Perote), las rocas volcánicas ácidas son menos abundantes, son rocas riolíticas que afloran al Suroeste de Nautla en San Rafael. Las últimas manifestaciones de vulcanismo en esta provincia corresponden a efusiones de corrientes de lava de productos piroclásticos de composición básica, las rocas basálticas son las que cubren mayor extensión de esa porción, su morfología es de conos volcánicos, mesetas y montículos de pendiente variable, se localizan en Martínez de la Torre, Perote y Jalapa.

3.1.3. CUENCA CENOZOICA DE VERACRUZ :

Su superficie está constituida principalmente por depósitos recientes formados de suelos que cubren gran parte de la secuencia sedimentaria marina depositada en cuencas Terciarias. En general, el Terciario se caracterizó por movimientos epeirogénicos que dieron lugar a la formación de sedimentos en ambientes de litoral a nerítico externo y batial inferior y posiblemente abisal, estos están formados por arcillas más o menos arenosas, arena o conglomerados depositados por una transgresión ocurrida durante el Mioceno, y a grandes deltas. Los conjuntos faunísticos indican que hubo una regresión del Oligoceno Medio al Reciente. La topografía en esta región es más o menos plana con porciones inundables o pantanosas (Fig.3.4.).

Basamento ; En los pozos para prospección petrolera (Lopez, 1982), solamente se han encontrado vestigios del basamento en la región de Actopan, en el resto del área, se infiere que el basamento se encuentra a una profundidad aproximada de 10 km.

Jurásico:

Fm Tepexilotta (Mena E., 1960); Kim-Tit, calizas bituminosas a carbonosas criptocristalinas con horizontes de calizas areno-arcillosas y pizarras negras en la base.

Cretácico:

Fm Tuxpanquilla (Viniegra, 1965); Neocomiano, calizas de estratificación delgada con lentes y nódulos de pedernal negro.

Fm Capolucan (Flores y Mena, Viniegra, 1965); Aptiano, cuerpo de calizas criptocristalinas con lentes y bandeamiento de pedernal negro, contacto transicional con las rocas subyacentes y sobreyacentes.

Fm Orizaba (Böse, 1899) (Viniegra, 1965); Cen, calizas de estratificación delgada y gruesa ricas en fósiles que presentan dos facies, una arrecifal y una postarrecifal.

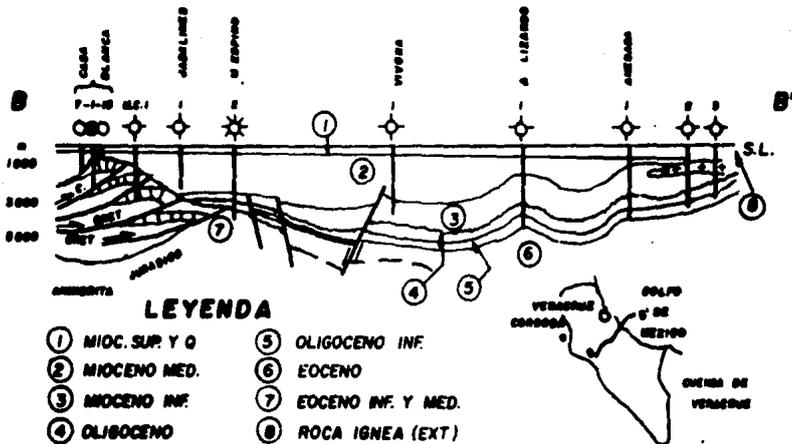
Fm Maltrata (Bonet F., 1969); Tur-Con, calizas con pedernal negro con intercalaciones de pizarra arcillosa de color amarillo, de estratificación delgada.

Fm Suzmanilla (Pemex, 1978); Tur-Sen, grainstone y packstone de oolitas, pellets y bioclastos en capas muy potentes.

Pizarra Necoalla (Bose, 1899) (Mena E., 1859); Sen-Camp, pizarras arcillosas ocasionalmente margosas que a veces presentan concreciones calcáreas o ferruginosas.

TABLA ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA DE VERACRUZ PLATAFORMA DE CORDOBA						
ERA	PERIODO	FUENTE	FORMACION	LITOLOGIA	ESP.	
CENOZOICO	MIOCENO	S. U. P.	PARAJE SOLO	[Dotted pattern]	100	
			CONCEPCION SUP.	[Horizontal lines]	300	
			CONCEPCION INF.	[Horizontal lines]	350	
			ERCANTO SUP.	[Dotted pattern]	400	
			ERCANTO INF.	[Dotted pattern]	300	
	OLIGOCENO	S. U. P.	DEPOSITO	[Dotted pattern]	1800	
			LA LAJA	[Horizontal lines]	1400	
			DEPOSITO	[Horizontal lines]	400	
			DEPOSITO	[Horizontal lines]	200	
			DEPOSITO	[Horizontal lines]	200	
MESOZOICO	CRETACEO	S. U. P.	ATOTAC	[Brick pattern]	800	
			OSAMANTLA	[Brick pattern]	1000	
			M. I. N.	ORIZABA	[Brick pattern]	800
				DOMAMARCA	[Brick pattern]	600
				SAN PEDRO	[Brick pattern]	600
	JURASICO	S. U. P.	TODOS SANTOS	[Brick pattern]	1000	
			EDUARDOS ACATLAN	[Wavy pattern]		
			PALEOZOICO	VELAZCO	[Horizontal lines]	1700
				DEPOSITO	[Horizontal lines]	200
				DEPOSITO	[Horizontal lines]	200

Fig. 3.4(a) López Ramos (1982)



Cuenca de Veracruz
Fig. 3.4(b) López Ramos (1982)

Cenozoico:

El registro Cenozoico de esta Cuenca es semejante al de la Cuenca Sedimentaria Tampico-Misantla hasta el Eoceno, las diferencias empiezan en el Oligoceno con la Fm Horcones.

Fms Chicantepec-Velasco; Paleoceno, sedimentos flysch de lutitas alternadas con areniscas de cementante calcáreo-arcilloso; forma lomerios suaves.

Fm Aragón; Eoceno Inferior, lutitas de color gris azul.

Fm Suayabal; Eoceno Medio, lutitas oscuras en ocasiones arenosas con concreciones calcáreas y a veces ferruginosas, forma lomerios suaves.

Fm Chapopote; Eoceno Superior, lutitas y arcillas azules arenosas con lentes de areniscas y concreciones calcáreas.

Fm Horcones; Oligoceno Inferior, lutitas gris verde con un conglomerado basal y fragmentos de pedernal, de ambiente de aguas profundas, forman lomerios bajos de pendientes suaves.

Fm La Laja; Oligoceno Medio, presenta conglomerados basales con rocas clásticas, predominantemente lutitas con arenas y tobas volcánicas y en ocasiones areniscas calcáreas, forman lomerios suaves.

Fm Depósito; Mioceno Inferior, secuencia clástica de lutitas, tobas y arenas de origen volcánico en ocasiones mal consolidada y conglomerados con gravas de material volcánico y matriz calcárea.

Fm Encanta Inferior y Superior; Mioceno Inferior y Medio, lutitas gris verdosas con poca arena y abundantes fragmentos de pirita y arena volcánica, y fragmentos conglomeráticos de calizas, cuarzo y pedernal con cementante areno-margoso; forma pequeños montículos y planicies.

Fm Concepción Inferior; Mioceno Medio, lutitas grises ligeramente arenosas con fragmentos de pirita y laminillas de mica intercaladas con areniscas de grano fino.

Fm Concepción Superior; Mioceno Medio Superior, lutitas y arcillas de color gris a azul en ocasiones muy arenosas, con mala estratificación, forman montículos y planicies.

Fms Fillsala y Paraje Fala; Mioceno Superior, conglomerados de fragmentos volcánicos con horizontes arenosos y matriz calcárea y de arcilla tobácea.

Depositos Recientes; Terciario Superior-Cuaternario, una unidad de conglomerados terciarios de origen continental se distribuye al Oeste de la Ciudad de Veracruz, cubren discordantemente a las rocas marinas Terciarias y su expresión morfológica es de lomerios con pendientes suaves. Se registró un periodo de actividad volcánica del Terciario Superior al Cuaternario, con derrames de lavas andesíticas y basálticas, y depósitos de grandes cantidades de sedimentos piroclásticos de composición intermedia a básica.

Los suelos son los depósitos de mayor extensión en las partes bajas y valles, presentan una granulometría variada, de gravas y arenas a arcillas y limos, hay depósitos de ambientes lacustres, palustres, eólicos, litorales y aluviales.

3.2. ESTRUCTURAS

En la región de la Cuenca Tampico-Misantla, las rocas sedimentarias Terciarias forman una estructura Monoclinal con una inclinación muy suave hacia el Este y las rocas volcánicas se presentan como derrames de lava. Se tienen dos fases tectónicas, una de compresión llamada "Orogenia Laramide", del Cretácico Superior al Terciario Inferior que dió origen a esta cuenca, y otra de distensión ocurrida a finales del Terciario y durante el Cuaternario, que provocó actividad volcánica.

Los rasgos geológicos más importantes del Eje Neovolcánico consisten en conos cónicos, volcanes compuestos y derrames lávicos. Las rocas ígneas intrusivas que afloran presentan estructuras de diques y mantos, como los de el Noroeste de Jalapa. Las rocas sedimentarias presentan plegamientos producidos por los esfuerzos compresivos Laramídicos.

En cambio, en la Cuenca de Veracruz no se expresa ninguna estructura geológica debido a la gran cantidad de depósitos recientes.

Unas de las principales estructuras labradas por los procesos geológicos que actuaron durante el Cenozoico son varios PALEOCAÑONES SUBMARINOS cuyo origen se asocia a corrientes de turbidez debido a que la mayoría de estos se encuentra sobre deltas antiguos o desembocaduras de ríos ancestrales (Carrillo, 1980).

De acuerdo a esta teoría se describen a continuación los paleocañones identificados con pozos de exploración, datos sísmológicos y geología de campo, la mayoría de estos cañones tiene una dirección perpendicular a las antiguas líneas de costa y su relleno esta constituido por una secuencia de conglomerados, areniscas y lutitas de origen turbidítico de edad Eoceno-Oligoceno, depositados en un ambiente predominantemente batial. Se han localizado en la región de estudio los siguientes paleocañones (Fig. 3.5).

- Paleocañón Bejuco - La Laja.

Se encuentra al norte de la zonas de erosión Bejuco-San Andrés en una depresión ubicada entre la margen noroccidental del Atolón Faja de Oro y al sureste del arco de Tamaulipas, posiblemente durante el Eoceno y Oligoceno desembocaba el Río Tempoal en su extremo occidental.

- Paleocañón de Chicontepec.

Bordea la porción sur y suroccidental del Atolón Faja de Oro, tiene una longitud de 123 km y un ancho de 12 km a 23 km, se localiza sobre los ríos Vinasco, Cazonés y Tecolutla por lo que está asociado a sus antiguas corrientes, es también llamado Paleocanal San Andrés y es el que más ha sido estudiado (Fig.3.7).

- Paleocañón de Nautla.

Se localiza al sur del Paleocañón de Chicontepec, tiene una longitud de 75 km y un ancho de 25 km y se asocia con la corriente ancestral del Río Nautla.

- Paleocañón Paso de Ovejas.

Se ubica en la depresión tectónica situada entre la porción norte de la plataforma de Córdoba y el Bloque Tectónico de Teziutlán-Jalapa coincidente con el extremo noroccidental de la Cuenca Terciaria de Veracruz y se asocia con las desembocaduras ancestrales de los ríos Actopan, La Antigua y Paso de Ovejas.

Se han descubierto varios Paleocañones más hacia el sur del Golfo de México sobre todo en la zona de Yucatán y Campeche. Además debido al alto contenido de materia orgánica en los sedimentos aportados por las corrientes fluviales, a su sepultamiento y al sellamiento de rocas arcillosas Terciarias y a su asociación con la zona de erosión Bejuco-San Andrés (que se extiende desde Misantla hacia el norte del Golfo) con los campos petroleros gigantes de México se ha considerado que estas estructuras erosionales Cenozoicas en la Plataforma Continental y en la Planicie Costera del Golfo crearon un número indeterminado de trampas debajo del plano de discordancia favoreciendo la acumulación de hidrocarburos (op.cit.). En la Fig. 3.6, se observan las condiciones estructurales del basamento Cretácico y su discordancia con los depósitos Terciarios.

Otras estructuras importantes fueron estudiadas por Bryant (1968), que en base a perfiles batimétricos delimitó cinco ZONAS FISIOGRAFICAS en la Plataforma Continental y en el Talud del Golfo de México de acuerdo a los cambios de dirección de los sistemas de plegamiento y a las características de su subsuelo, estas son:

- Zona 1: Se localiza en el norte del Golfo y no se observa en la región de estudio pues es una extensión occidental del escarpe de Sigbee con escalonamientos a gran desnivel de orientación NE-SW, los sedimentos abisales se traslapan con las elevaciones continentales.

- Zona 2: Se encuentra hacia el sur de la anterior y consiste en series de largos anticlinales y sinclinales. Este plegamiento tiene una orientación NNE y buza a manera general hacia el Norte. Parece ser que los pliegues que están más hacia el Este son concéntricos; aunque las elevaciones son variadas, se forman llanuras suaves entre éstas y los pliegues parecen persistir bajo la cubierta sedimentaria superior del talud.

- Zona 3: Esta es una zona angosta que se caracteriza por series de escarpes con orientación E - W, trunca la continuidad del plegamiento que venía del Norte (Zona 2).

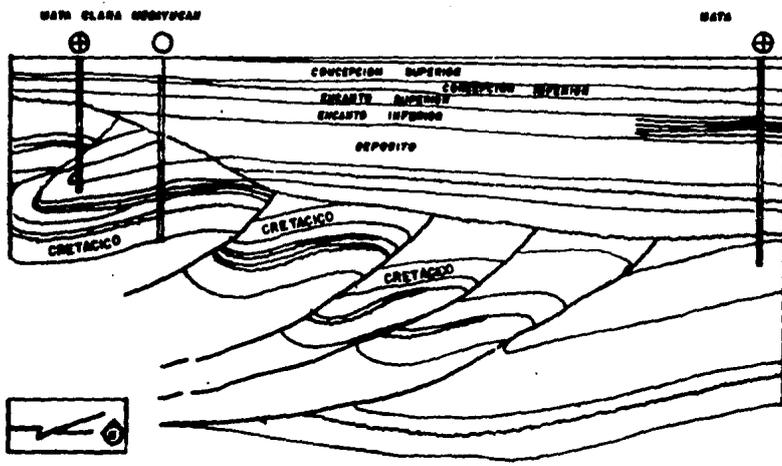


Fig. 3. 6 Seccionamiento Regional hacia el poniente en la zona costera del Golfo de México (Carrillo S., 1980)

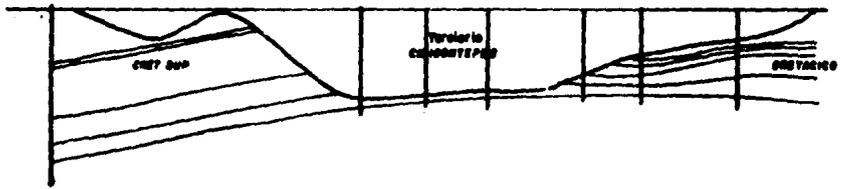


Fig. 3. 7 Sección transversal del Paleozoico de Chicontepec (Carrillo S., 1980)

- **Zona 4:** Esta zona es muy similar en su estructura a la Zona 2, pero los pliegues están ligeramente arqueados siguiendo una orientación NNW la cual coincide con la orientación de la Faja de Oro. Presenta suaves crecimientos en las elevaciones continentales superiores y parece ser que adyacente a esta, la Zona 2 continúa hacia el continente pero está sepultada por sedimentos.

- **Zona 5:** Esta zona tampoco se incluye en la región de estudio pues se localiza más hacia el sur, en la Bahía de Campeche. Presenta una topografía rugosa debida aparentemente a las estructuras salinas características de esta región, es una zona muy compleja.

La Zona 2 descrita por Bryant ha sido llamada Mexican Ridges Foldbelt en un principio y después De Cserna propuso el nombre de "Cordillera de Ordoñez". Bryant propone también la teoría de que estos plegamientos de la plataforma y talúd del Golfo se originan por el deslizamiento gravitacional de las rocas sedimentarias en una superficie de decollement constituida por evaporitas (Figs.3.8 y 3.9),

3.3. EVOLUCION GEOLOGICA

Se ha considerado al Golfo de México como una cuenca divergente circunatlántica originada por el rompimiento de Pangea (Modelo extensional Rift-Drift con desarrollo de suelo marino y subsidencia terminal).

La corteza continental mexicana fué conformada durante el Paleozoico Superior al concurrir diferentes límites de placas generando un basamento Paleozoico cristalino Metamórfico. (Morán, 1986). Se ha supuesto la existencia de un Paleooceano entre Sudamérica y Norteamérica en el Paleozoico Temprano, el cual, al ser subducida la corteza oceánica, se convirtió en una cuenca episutural y para finales del Paleozoico y principios del Mesozoico, toda la región del Golfo de México formó parte del supracontinente llamado PANGEA (Wicham, 1978) (Fig.3.10).

Se tiene una depositación continental generalizada para el Triásico y Jurásico Tardío, exceptuando en las regiones de Huayacocotla y Zacatecas, las cuales tuvieron influencia marina Pacífica (Buffler, 1981); estos depósitos son contemporáneos al desarrollo de la corteza continental transicional reconocida en el Golfo de México, la cual fué cubierta por depósitos salinos pre-marinos de edad Calloviana (Anhidritas).

Para este tiempo (Jurásico Superior) se inicia una transgresión generalizada en el Norte y Noreste del Golfo que Tardy (1980) relaciona con la apertura occidental del mar de Tethys durante la disgregación de Pangea. La expansión del suelo oceánico continúa hasta el Neocomiano y África y Norteamérica presentan un movimiento divergente (Morán, 1984).

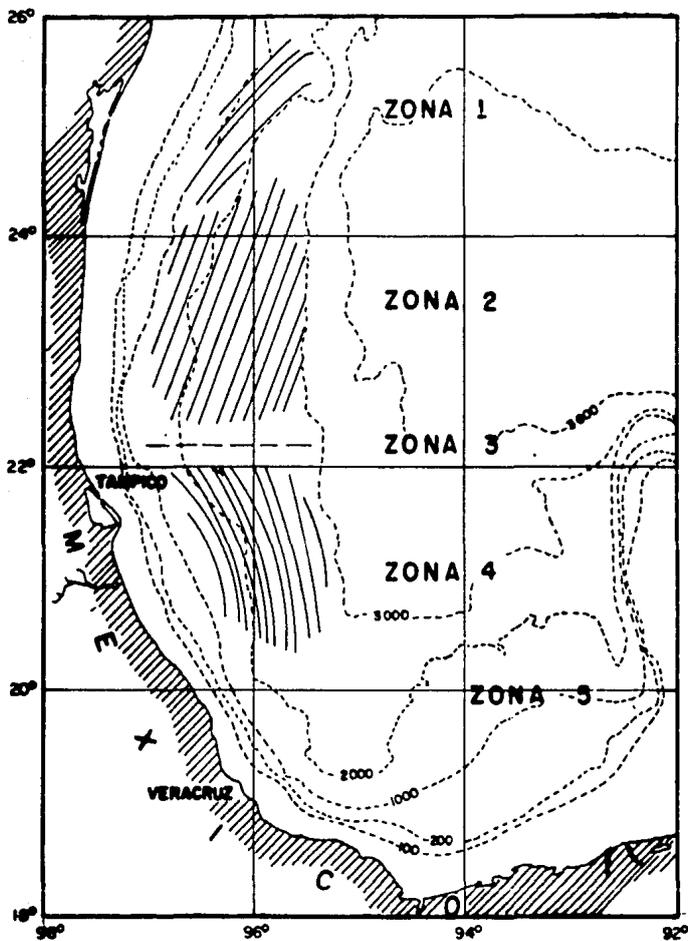
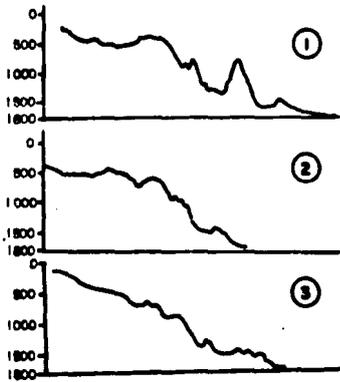


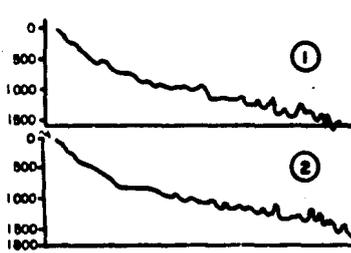
Fig. 3.8 Zonas Fisiográficas en la Plataforma Continental en el Talud del Golfo de México (Bryant, 1968)

Fig. 3.9 Perfiles Batimétricos de la Zona Pleistocénica (Bryant, 1968)

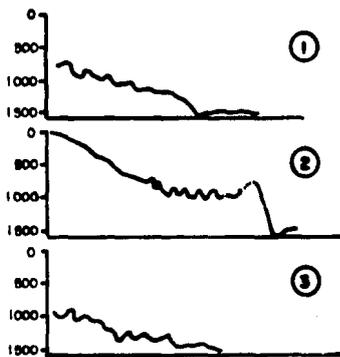
ZONA 1



ZONA 2



ZONA 3



ZONA 4

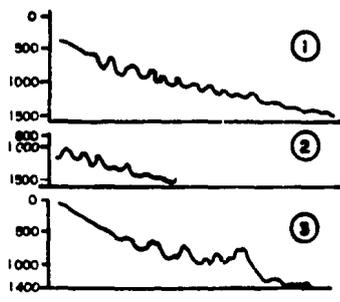


Fig. 8.10

(a) Reconstrucción de Pangea. Paleozoico Sup.-Mesozoico (200 m.)

(b) Reconstrucción del Rompimiento de Pangea Jurásico Sup (180 m.)

(Dietz y Holden, CIT. WERNER Y SAUPLER, 1968).



(a)



(b)

La rotación de Norteamérica hacia el Noroeste determinó dos dominios principales: Un dominio de origen Atlántico de movimiento divergente asociado al rompimiento de Pangea, en donde parte de la corteza oceánica es rodeada por corteza continental la cual es un mosaico de relictos de basamento postrompimiento (asociados a Horsts y Grabens); y un dominio de margen Pacífica o de movimiento convergente entre la Placa Pacífica y la región del Caribe en el Oeste, con la posible acresión de remanentes de placas (Winker y Buffler, 1988) (Fig.3.11).

Con la transgresión marina Oxfordiana se generan facies de cuenca y depósitos evaporíticos que aunados a los diferentes dominios tectónicos mencionados, definen los elementos paleogeográficos que controlan la sedimentación y deformaciones tectónicas del Mesozoico (op.cit.) (Morán, 1984).

Estos elementos paleogeográficos son: La Península-Archipiélago de Tamaulipas, Golfo de Sabinas, Cuenca de Chihuahua, Península de Aldama y la Isla de Coahuila en el Noreste del Golfo; y en la parte Centro-oriental se define, durante la primera mitad del Cretácico un sistema de plataformas y cuencas, la Plataforma de Córdoba, Cuenca de Zongolica, y Banco Yucateco con sedimentación calcárea y bancos arrecifales.

Del Jurásico Superior al Neocomiano se observan deformaciones estructurales tipo fallas de crecimiento, relacionadas con la progradación en los márgenes de plataformas; estas progradaciones postoxfordianas marinas producen diversos cambios en la batimetría del Golfo de México, pues se tiene mayor sedimentación que subsidencia en las márgenes de la cuenca, tal es el caso de la plataforma del norte del Golfo adyacente al Cratón Norteamericano, en donde grandes aportes de terrígenos del continente indican el primer desarrollo de drenaje desde la Orogenia Paleozoica Alleghiniana; se presentan también, retrogradaciones generalizadas debidas a mayor subsidencia que sedimentación como en las márgenes de plataforma del Noreste, Este-centro y Sur de México, en donde se tiene rápida subsidencia termal, ineficiente producción de carbonatos y limitado flujo de terrígenos, pues en estas regiones solo había pequeñas fuentes de aporte (Fig.3.12).

Para el Cretácico, en el Noreste del Golfo de México Winker y Buffler (1988) proponen tres secuencias estratigráficas:

- Una secuencia Coahuileana para el Cretácico inferior, en la cual se tienen depósitos de mar abierto en el antiguo Golfo de México (Morán, 1984), desarrollandose bancos de carbonatos en la margen del Golfo con una mínima aportación de terrígenos; se tiene una retrogradación general, exceptuando en el Norte en donde hay una progradación clástica.
- Una secuencia Comancheana para el Cretácico Medio, determinada por una transgresión general que redujo las márgenes de plataforma y cubrió los últimos elementos positivos; solamente se tiene progradación en el Noroeste y Suroeste del Golfo.

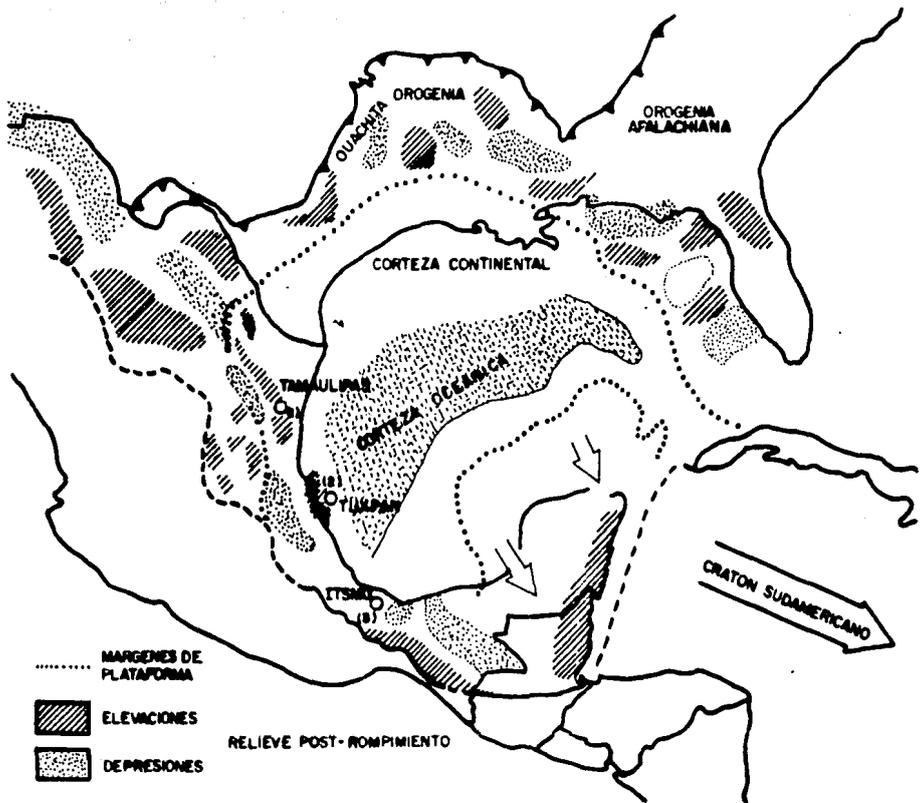


Fig. 3. 11 Elementos Tectónicos de la Provincia Circum-Golfo Mexicano relacionados con el Rompimiento de Pangea (1) Tamaulipas (2) Tuxpan (3) Istmo (Wieler y Buffler, 1988)

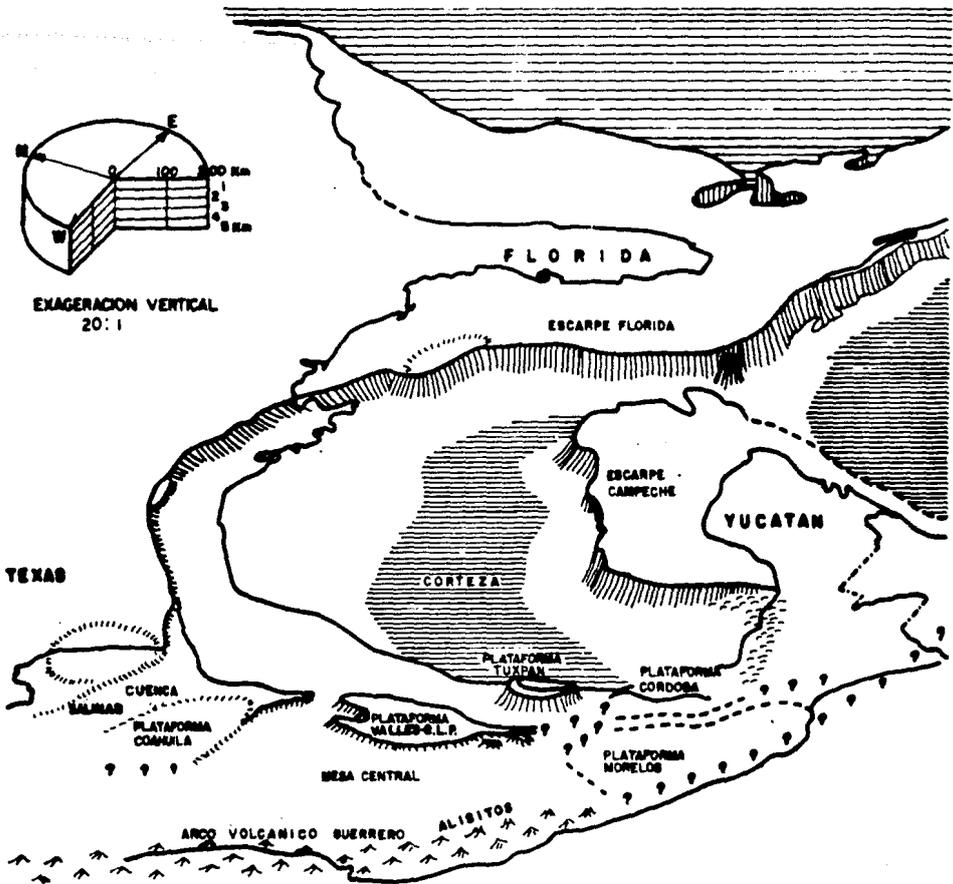


Fig. 3.12 Perspectiva de la Paleogeografía del Cretácico Medio (Winker y Buffler, 1966)

- Una secuencia Golfeana para el Cretácico Superior asociada a la Orogenia Laramide, que se inicia con una creciente influencia detrítica en la sedimentación debida al levantamiento del noroeste de México y a la retirada gradual de los mares hacia el Oriente, el hundimiento y depósito de las Cuencas Cretácicas (Formaciones San Felipe, Agua Nueva y Méndez) precede a los episodios de mayor deformación en el ámbito de la Sierra Madre Oriental.

El **decollement** sobre los depósitos evaporíticos del Jurásico Superior-Cretácico Inferior parece ser el mecanismo más importante en la deformación de esta carpeta Mesozoica (Winker y Buffler, 1988). "Coney considera que el aumento de velocidad de convergencia entre las placas de Norteamérica y Farallón originó las deformaciones laramídicas en el Oriente" (op.cit).

Para principios del CENOZOICO continúan las manifestaciones de las deformaciones compresionales que se iniciaron en el Cretácico Superior, se formaron varias antefosas a lo largo de la margen oriental de la Sierra interpretándose el desarrollo de Horsts y Grabens, como son las cuencas de Veracruz, Comalcalco y Macuspana que regularon la sedimentación subsecuente de facies "Flysch" y "Molasse" durante el Eoceno, en el tiempo de máxima deformación de la Sierra Madre Oriental (Congreso Geológico Internacional, 1956) (Morán, 1986).

Se ha identificado una enorme zona de discordancia de edad Eoceno Temprano que fué labrada principalmente por corrientes submarinas originadas por una regresión generalizada hacia el Este que se caracterizó por la denudación subacuática debida a la acción mecánica de dichas corrientes turbidíticas como consecuencia de la gravedad y del basculamiento generalizado hacia el poniente de toda la zona costera y de la plataforma continental en el Eoceno. Esta zona de erosión denominada "Bejuco-San Andrés" tiene más de 2000 km de longitud y una ancho superior a los 100 km, su margen occidental se adapta a la forma de las porciones orientales de los elementos positivos Mesozoicos como son las Plataformas de Tuxpan, Córdoba y Yucatán, y la Península de Tamaulipas, lo que propició la formación de una serie de Paleocañones que fueron excavados en rocas del Paleoceno, Cretácico, Jurásico y Triásico Tardío (Carrillo Bravo, 1980), y se manifiesta en parte de la región de la Faja de Oro (Figs. 3.13.a, 3.13.b, y 3.14).

En los elementos positivos que sufrieron menor deformación, se formaron grandes depresiones debidas a la erosión ocurrida a principios del Eoceno, de manera que se individualizaron varias cuencas; la Cuenca de Burgos y la Cuenca Tampico-Misantla separadas por los pliegues laramídicos de la Sierra de Tamaulipas y San Carlos, las cuencas de Tuxpan y Veracruz, y las cuencas Terciarias del Sureste, en las que se depositaron sedimentos arcillo-arenosos de 7000 m de espesor; dichos depósitos corresponden a las Formaciones Chicontepec, Velasco, Aragón, Guayabal, Chapopote, Palma Real y demás secuencias Terciarias (Congreso Geol.Int., 1956) (Carrillo, 1980).

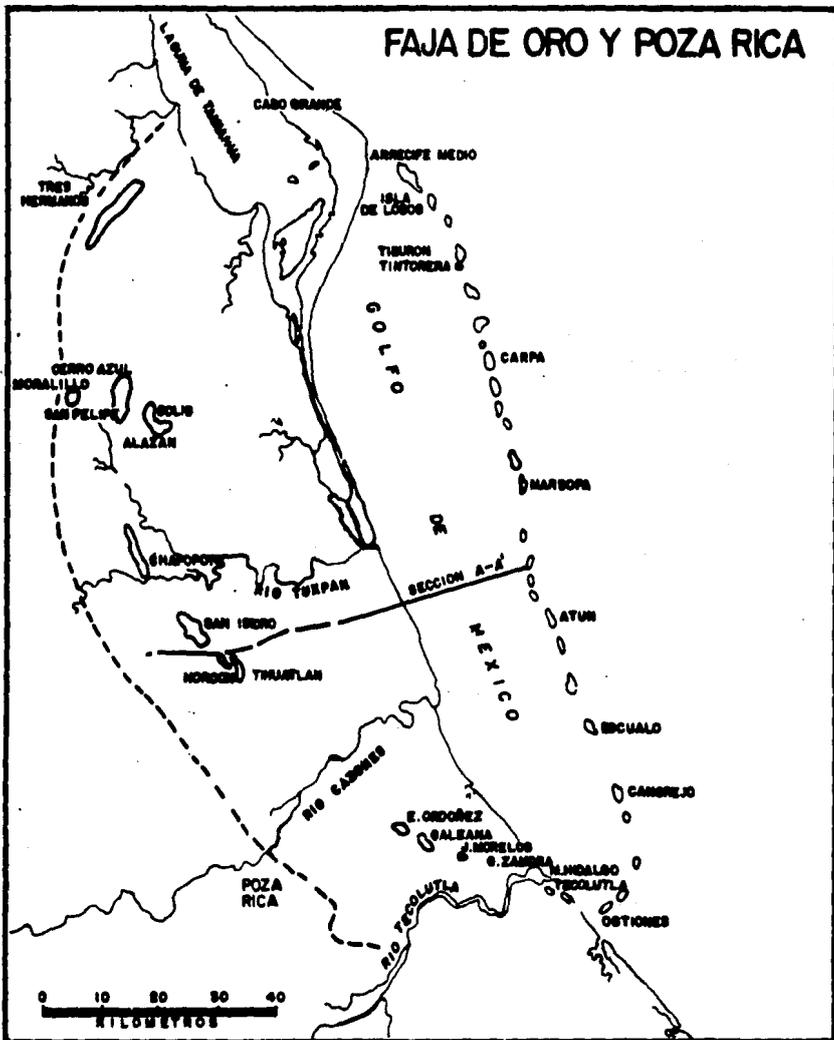


Fig. 3.13 (a) Atala Faja de Oro (López Ramos E., 1982)



Fig. 3.13.(b) Sección A-A' Arrecife Faja de Oro (López Ramos, 1922)

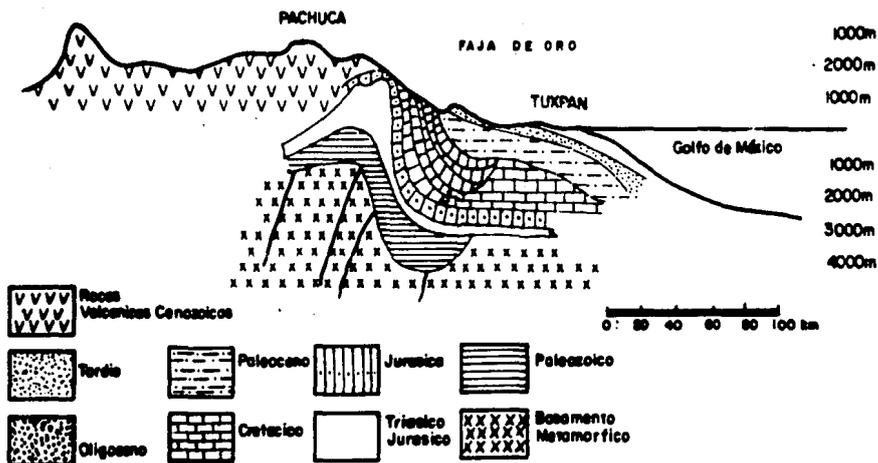


Fig. 3.14 Sección Geológica Simplificada de la Sierra Madre Oriental (Schmidt-Effing, 1980)

Bertagne (1984) identificó cinco secuencias sismoestratigráficas posteriores al Mioceno Temprano, originadas por una serie de procesos sedimentarios que fueron determinados por la evolución de los elementos que actualmente limitan la Fosa de Veracruz; la Cordillera de Ordoñez al Poniente y la Provincia Salina Campeche-Sigbee al Suroriente,

Este estudio se basa en la distribución de depósitos turbidíticos acarreados por corrientes iniciadas en el borde de las plataformas y en la parte superior del talud continental por deslizamiento o colapsamiento, estos son depósitos de energía media-alta; y se basa también en la distribución de depósitos hemipelágicos que son acumulaciones por asentamiento en zonas marinas de baja energía (restringidas), pero que contienen en parte terrígenos provenientes de plumas turbidíticas.

De acuerdo a estas distribuciones la historia deposicional de la Fosa de Veracruz nos proporciona una evidencia indirecta de la evolución de los elementos que la limitan.

Dichas distribuciones indican que en un principio los depósitos turbidíticos provenían del área de la Cordillera y no de la Provincia Salina, pero en el Mioceno Tardío se desarrollaron los domos salinos, inhibiendo el aporte de la margen suroriental de la Fosa, para este tiempo se inicia el plegamiento de la Cordillera, pero es incipiente, por lo que no forma una barrera completa a las corrientes turbidíticas, sino que solamente las restringe.

Del Mioceno al Plioceno se conformaron los pliegues de la Cordillera, y para el Plesitoceno Temprano, las corrientes que venían del oeste, siguieron los cursos sinclinales hacia el suroeste, bordeando la Cordillera para luego reingresar a la Fosa con dirección noreste. Durante el Pleistoceno Tardío el canal de la Fosa migra hacia el suroriente, probablemente debido a que ya se estaba desplazando la Cordillera de Ordoñez; la desviación de la dirección de los flujos de corrientes turbidíticas ocasiona que las turbiditas del Mioceno Medio y la parte inferior del Mioceno Superior fueran sobreyacidas por hemipelagitas (Fig.3.15).

Si se considera que el plegamiento de la Cordillera de Ordoñez se inició en el Mioceno Tardío, se puede explicar la deformación por deslizamiento, ya que en el área de la Plataforma de Tuxpan, se ha identificado un basculamiento hacia el oriente para el Mioceno (Carrillo, 1980) y este mecanismo de deslizamiento, fué acompañado por fallas de crecimiento que permitieron la acumulación de gruesas secuencias clásticas del Mioceno Tardío al Plioceno.

Por otro lado, De Cserna (1981) propone otro modelo tectónico para el desarrollo del Golfo de México durante el Cenozoico, en el cual se considera una margen continental de colisión activa enfrente del Estado de Veracruz, contra la placa oceánica del Golfo.

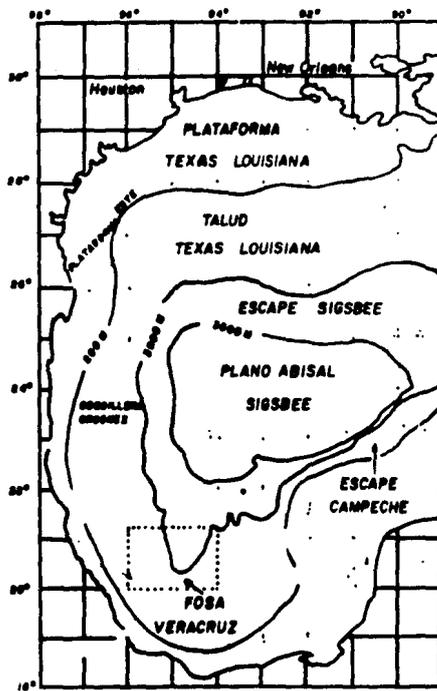
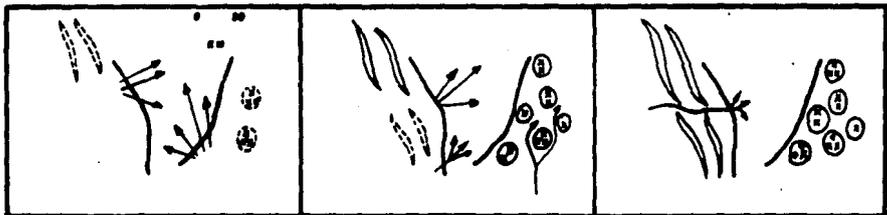


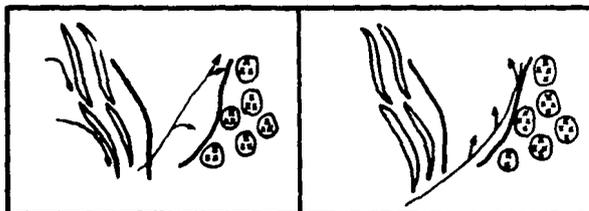
Fig. 3.8(a) BATIMETRIA
General del oeste
del Golfo de México



MIOCENO MEDIO

MIOCENO TEMPRANO

MIOCENO TARDIO Y PLIOCENO



PLEISTOCENO TEMPRANO

PLEISTOCENO TARDIO

LEYENDA

- PLIEGUES
- DOMOS SALINAS
- CORRIENTES TURBIDITICAS

Fig. 3.13 Modelo propuesto para el Mioceno post temprano, en la evolución de la Fosa de Veracruz
(Bortugno A. 1984)

Se involucran tres eventos tectónicos: la Cordillera de Ordoñez, cuyo origen de acuerdo a De Cserna (op.cit.), se podría establecer por transporte tectónico o por esfuerzos compresionales en donde la Cordillera constituiría un gran alóctono que avanza de Este a Oeste, pero no hay un motor que hubiera generado estos esfuerzos durante el Terciario Tardío-Holoceno; otro evento importante, consiste en el truncamiento oblicuo del borde de la plataforma continental con la Cordillera de Ordoñez (entre Tecolutla y los Tuxtlas), por el cual, el autor involucra un gran transporte tectónico que no se explica por un simple deslizamiento gravitacional y menciona que la traza frontal del truncamiento es una cabalgadura mayor de dirección nororiental; el tercer evento tectónico está constituido por una serie de fosas que cortan a la Cordillera y que el autor asocia a procesos volcánicos, lo que implicaría un periodo de tensión (Fig.3.16).

Dadas las relaciones entre los tres eventos tectónicos y su alcance estratigráfico, De Cserna considera estos cabalgamientos activos, sin embargo, las formaciones de la Cordillera de Ordoñez ha sido discutida por varios autores como: Bertagne (1984), Morán (1986) y Silva (inédito); quienes mencionan que es muy factible que se haya generado un fuerte deslizamiento a lo largo de una superficie de decollement constituida por evaporitas y/o arcillas, y que puede ser una repercusión del basculamiento del basamento Cretácico, por lo que el supuesto truncamiento tectónico no sería más que una traza entre la Cordillera y la plataforma debida a las diferentes orientaciones de a misma.

La actividad ígnea que se manifiesta a finales de Mesozoico y principios del Cenozoico como intrusiones graníticas, se restringe en el Terciario Superior y Cuaternario, a emisiones basáltico-alcalinas que cubren la región irregularmente (Morán, 1984).

Demant (1978), menciona que dichas emisiones ígneas pertenecen a una provincia petrológica alcalina relacionada con la evolución geodinámica reciente del Golfo y no al Eje Neovolcánico, al cual le asigna edad Plio-Cuaternario y lo asocia a la subducción de la Placa de Cocos bajo la Corteza de México; hace esta separación con base en la diferencia de composición entre ambas entidades, ya que en esta región el Eje Neovolcánico tiene una composición calcoalcalina; se basa además en la distribución perpendicular de un volcanismo con respecto a otro. Para este autor, el límite entre ambas manifestaciones volcánicas esta constituido por la cadena formada por el Pico de Orizaba y el Cofre de Perote e incluye a la misma en un grupo de estratovolcánes de composición dacítica, de gran elevación y extensión, que forma parte del Eje Neovolcánico.

No obstante, Morán (1986) resalta la variabilidad en la composición petrográfica del Eje Neovolcánico, y sugiere que pudieron haber intervenido otros factores tectónicos que afectaron su distribución, por lo que considera que su límite oriental es el Golfo de México (Fig.3.17). Se coincide con esta última apreciación en el presente trabajo.

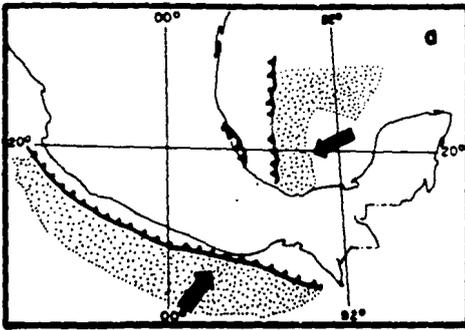
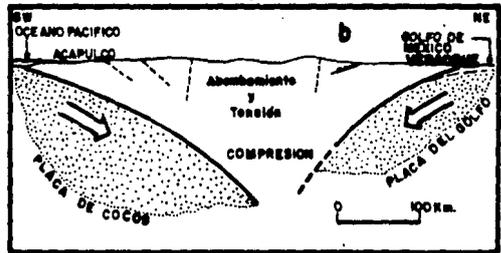
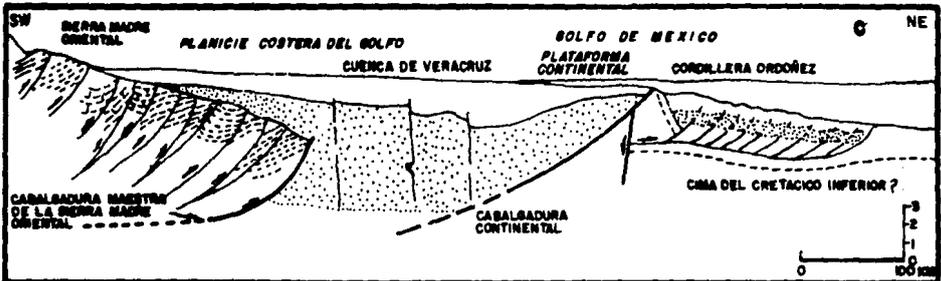


Fig 3.16 (De Castro, 1981)



16 (a) y 16(b) Dirección de los esfuerzos compresionales asociados a la Subducción en ambos márgenes



16 (c) Sección Transversal que muestra la Cuenca Tectónica formada por la Cordillera Ordóñez y la traza de la carbagadura

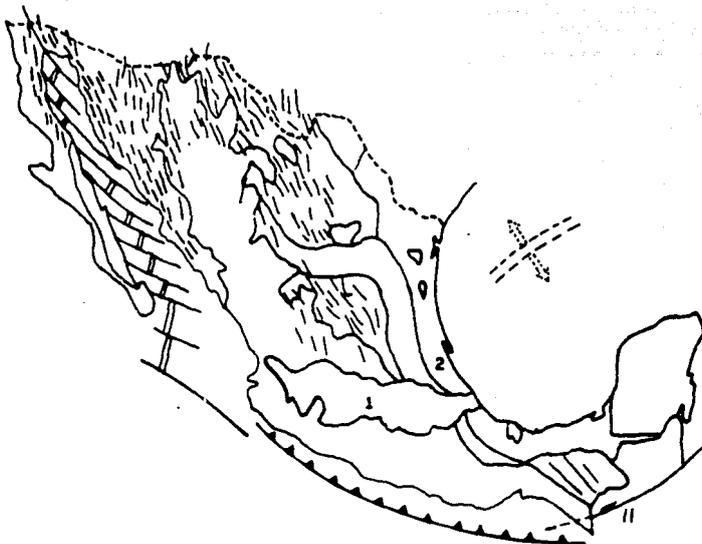


Fig. 3.17(a) Elementos Tectónicos de México

1) Eje Neovolcánico Transmexicano

(D. Marín, 1986)

2) Línea Costera del Golfo



Fig: 3.17(b) Extensión del Eje Neovolcánico de acuerdo a Demont A, 1978

4 ASPECTOS GEOTECNICOS.

4.1. GENERALIDADES

Cuando se tuvo conciencia, con base en varias experiencias en donde se perdieron muchas vidas y dinero, de la importancia de hacer un estudio cuidadoso del ambiente y de los materiales en donde se proyecta una obra civil los geólogos tuvieron que familiarizarse con las funciones y comportamiento de las estructuras ingenieriles, naciendo así la *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil* en la que los descubrimientos y deducciones del Geólogo se traducen en aplicaciones prácticas en la construcción; por otra parte, la necesidad de conocer la respuesta del suelo y de las masas rocosas ante los cambios de estado de esfuerzos producidos por las obras civiles dió origen a la Mecánica de Suelos y a la Mecánica de Rocas, las cuales se basan en el estudio físico y mecánico del medio para el conocimiento de los esfuerzos. De este modo, la Geología aplicada a la Ingeniería Civil, con adecuadas nociones de ingeniería, se transformó en la disciplina que actualmente conocemos como GEOTECNIA, la cual se apoya también en otras ramas de las Ciencias de la Tierra como son: la neotectónica, la petrología, la geomorfología, la pedología o ciencia del suelo, la hidrología, la geofísica y la sedimentología

El concepto de SUELO ha tenido diferentes acepciones a través del tiempo y de acuerdo al punto de vista con que se ha definido. Terzaghi y Peck (1967) mencionan que para el Geólogo, el término se refiere a un manto formado entre la roca y la atmósfera, que esta constituido por el suelo vegetal y otras capas con características físicas, químicas y biológicas propias, que corresponden al material intemperizado "in situ"; este manto de intemperización es llamado también corteza de meteorización (Gorshkov, 1979), por otro lado, en el léxico geológico los suelos transportados se designan como "material no Consolidado". Desde el punto de vista estratigráfico los suelos solo son depósitos transitorios recientes muy vulnerables a la erosión (Corrales, 1977).

Edafológicamente se define al suelo como un continuo espacio-tiempo que forma la parte superior de la corteza terrestre, esto es, un continuo tridimensional que varía vertical y lateralmente, y que además cambia con el tiempo (Fitz-Patrick, 1984).

Terzaghi y Peck (op.cit.) mencionan que para el Ingeniero Civil el suelo es: "todo agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad, como agitación en el agua". Juárez Badillo (1982) considera para efectos ingenieriles al suelo como todo material terroso y al agua como parte integral del mismo. De acuerdo al objetivo del presente trabajo, se considera este punto de vista para la definición de las propiedades de los suelos y la variación de las mismas durante la vida útil de la obra proyectada; de esta manera, se han establecido básicamente dos tipos de suelos: los suelos residuales y los suelos transportados.

Cabe hacer notar que de acuerdo a las definiciones anteriores, los suelos residuales corresponden al concepto edafológico y geológico de suelo, y los suelos transportados se consideran como materiales recientes no consolidados.

Los suelos residuales son los que permanecen en el mismo sitio en que se formaron y yacen directamente sobre el material de procedencia o roca madre, en cambio los suelos transportados están formados por los materiales que han sido llevados fuera del lecho original de la roca de procedencia para volver a ser depositados en otra localidad (Krynine, 1961). El tipo de suelo originado depende de la velocidad relativa del intemperismo con respecto a la erosión; si la velocidad de descomposición de la roca supera a la de arrastre del material producido se produce una acumulación de suelo residual y si es mayor la velocidad de transporte que la de descomposición, se generarán suelos transportados (Lambe y Whitman, 1972).

4.2: GENERACION DE SUELOS

4.2.1. PROCESOS GEOMORFOLOGICOS.

Dentro de los factores modeladores del relieve terrestre existen dos tipos de procesos que interactúan, los Procesos Endógenos o Internos y los Procesos Exógenos o Externos, ambos están en función de los movimientos de la tierra y de su campo de gravedad (Kostenko, 1975).

Procesos Endógenos.

Son los factores tectónicos generadores del relieve, están relacionados con la actividad de la corteza y del manto superior de la tierra para formar irregularidades en la superficie terrestre (op.cit.)

Procesos Exógenos.

Son los factores modeladores del relieve y consisten en tres procesos fundamentales; el intemperismo, la erosión y la acumulación de sedimentos. El relieve generado por los procesos endógenos y el campo gravitacional de la tierra, determinan la dirección de estos procesos, así el hundimiento provoca la acumulación y el levantamiento la erosión (op.cit) (Fig.4.1).

La región costera adyacente a la Sierra Madre Oriental es un ejemplo del desarrollo de un levantamiento orogénico profundamente disectado, con altas velocidades de erosión, en donde las vertientes se unen a la planicie acumulativa de Tampico-Misantla, en donde se deposita el material acarreado; estos son procesos actuales que pueden afectar directamente la construcción, vida útil y riesgos de una obra de ingeniería.

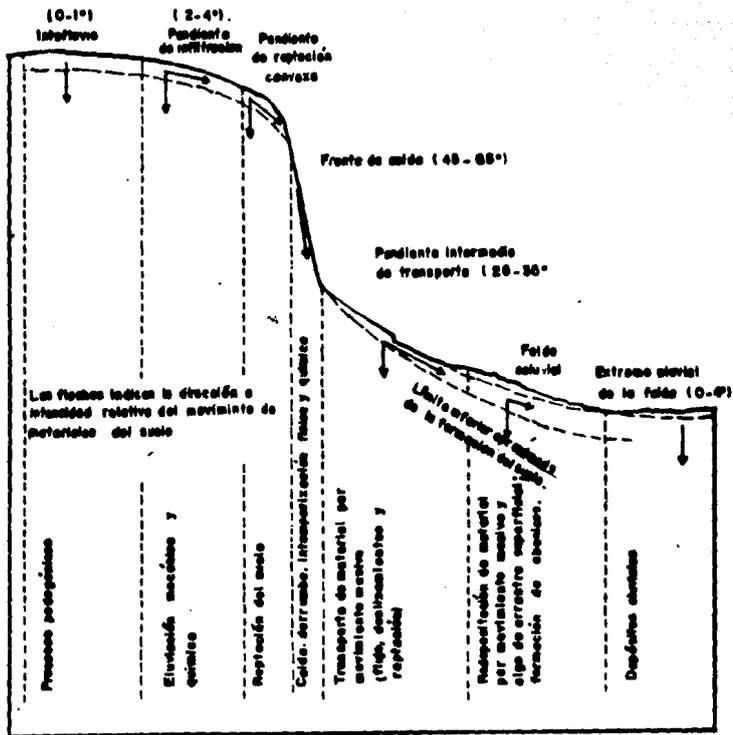


Fig. 4.1 PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS QUE ACTUAN EN LA SUPERFICIE TERRESTRE (Citado por Fitz-Patrick, 1964)

Factores que intervienen en la formación de los suelos:

La naturaleza del proceso que produce los sedimentos depende de varios factores como la composición mineralógica de la roca madre, las condiciones climáticas de la región (precipitación y temperatura), la topografía, las actividades de los organismos y el tiempo.

En los sedimentos clásticos gruesos tienen mayor influencia las características de la roca original y el medio de transporte, mientras que las propiedades de las partículas finas como limos y arcillas dependen principalmente de las condiciones climáticas y el tipo de intemperismo predominante.

- Composición mineralógica de la roca madre y estabilidad mineral.

La influencia del material materno se muestra con mayor intensidad en las etapas iniciales de la formación de los suelos. Los principales constituyentes de dicho material son: el cuarzo, los feldespatos y los silicatos laminares (muscovita, biotita, talco y minerales arcillosos secundarios).

La estabilidad de un mineral es la resistencia que presenta a la alteración. La estabilidad mineral de los suelos y de los sedimentos se puede estudiar determinando el orden de desaparición de los minerales en un perfil de suelos a medida que pasa de roca fresca a alterada, o con la frecuencia con que se presentan determinadas especies minerales en los sedimentos, así se ha concluido que los minerales máficos son menos estables que los feldespatos alcalinos y que los minerales más estables son el cuarzo y algunas micas.

Los siguientes minerales muestran un rango de resistencia relativa a la alteración de algunos minerales bajo condiciones de intemperismo basándose en su solubilidad. Este orden de estabilidad tiene una relación inversa con las temperaturas y presiones de su formación (Press y Siever, 1982):

Oxidos de Hierro	_____	más estables
Oxidos de Aluminio		
Cuarzo		
Minerales Arcillosos		
Muscovita		
Feldespatos Potásicos (Ortoclasa)		
Biotita		
Feldespatos Sódicos (Albita)		
Anfiboles		
Piroxenos		
Feldespatos Cálcicos (Anortita)	_____	
Olivino		menos estables

Los residuos producidos por el intemperismo en la roca sufren cambios y alteraciones durante el transporte desde el área origen hasta la cuenca de depósito debido a que se van eliminando los componentes inestables con el consiguiente enriquecimiento en proporción de partículas estables como el cuarzo. De esta manera el conjunto sufre una selección, las arcillas se separan de las arenas y gravas, y estas últimas se redondean y fraccionan por abrasión selectiva.

- Condiciones Climáticas.

Los factores que determinan el clima son la temperatura, la humedad y las variaciones temporales de ambos. En climas cálidos y húmedos como los de la región estudiada predomina la descomposición química de los materiales.

La temperatura influye en la tasa de reacciones químicas (por cada 10° de ascenso, las velocidades de reacción se duplican), aumenta la hidrólisis de silicatos y la descomposición de materia orgánica; y varía con la altitud, la latitud, los vientos y la vegetación de una región.

Por otro lado, el agua que penetra en el suelo puede estar circulando libre, acarreado material o reaccionando con los elementos minerales hasta llegar a integrarse a las partículas de manera que es retenida en el suelo por diversos grados de tensión, los efectos del agua en la masa de suelos dependen de la intensidad y distribución de la lluvias y de capacidad de infiltración del suelo, la cual varía con la permeabilidad y la pendiente del terreno.

- Topografía.

El relieve de una región influye en su clima y viceversa, de hecho, la composición de un sedimento depende de los efectos combinados de ambos porque estos controlan la erosión y el intemperismo, en las regiones abruptas la erosión es rápida y predomina el intemperismo físico debido a que los materiales son removidos antes de descomponerse, por lo que los suelos son de poco espesor, en cambio en las planicies, en donde la erosión es lenta, las condiciones del medio influyen más tiempo en el suelo, predominando la alteración química y por lo tanto los suelos tienen mayor espesor y un alto contenido de arcilla.

- Actividad de los organismos.

Este factor tiene mayor influencia en la formación de suelos residuales. Los tipos de organismos que intervienen en el desarrollo de los suelos abarcan desde bacterias microscópicas hasta mamíferos grandes. Las plantas superiores, al extender sus raíces en el suelo actúan como fijadores impidiendo que haya erosión y a medida que crecen y se expanden producen cierta compactación y redistribución del suelo mineral, además al morir las plantas, las raíces se pudren dejando una red de espacios porosos en los que circula el agua y el aire con mayor facilidad.

Las plantas y los microorganismos como las bacterias y los hongos afectan químicamente al suelo, en cambio los animales más grandes como los gusanos y algunos mamíferos pequeños, influyen mecánicamente transportando una gran cantidad de material.

- Tiempo.

La formación de un suelo es un proceso muy lento que requiere miles y hasta millones de años, la mayoría se ha formado entre los periodos Pleistoceno y Holoceno. Al desarrollarse los suelos pasan por diversas etapas y en cada etapa se forma un sistema con características específicas.

Como se ha podido observar, los factores que intervienen en la formación de los suelos no son independientes, sino que actúan conjuntamente para dar a cada suelo sus características y propiedades específicas.

4.2.2. INTEMPERISMO Y SUELOS RESIDUALES.

Intemperismo.

El intemperismo es un proceso de cambio en el que la mineralogía de las rocas es alterada "in situ" como consecuencia de procesos físicos y químicos, en los que comúnmente participan el agua y el aire. Es debido al intemperismo que los sedimentos no tienen la misma composición mineralógica que los materiales originales. Si el ambiente favorece una intensa descomposición química, el producto intemperizado contiene una concentración de minerales primarios estables entre los granos de arena y limo, y minerales arcillosos entre las partículas más pequeñas, en consecuencia, si predominan los minerales inestables significa que hubo una rápida erosión y la descomposición química fue mínima, entonces la composición mineralógica del suelo es semejante a la de la roca original.

El intemperismo es un proceso doble, de decaimiento o intemperismo químico y de fragmentación o intemperismo mecánico, ambos se complementan pues el ataque químico hace a la roca susceptible de fracturarse. El intemperismo biológico involucra ambos procesos, pero originados por animales o plantas.

- Intemperismo Químico.

Se puede definir como la aproximación al equilibrio de un sistema que involucra rocas, agua y aire en o cerca de la superficie terrestre. Este proceso es muy importante para la formación de depósitos residuales.

De manera general, cuando se completan los procesos del intemperismo químico se generan tres tipos de fracciones: materiales en solución como los carbonatos de calcio y magnesio y el sílice, materiales resistentes químicamente, más o menos inalterados y, nuevos minerales hidratados producidos por el intemperismo como son los minerales arcillosos, la Limonita, la Gibbsita, etc..

Las reacciones químicas que se llevan a cabo dependen casi totalmente del agua; en la región estudiada el agua superficial es normalmente ácida y por lo tanto más agresiva debido a que en las zonas costeras se tiene la influencia de los depósitos salinos, y la agresividad del agua subterránea también es aumentada por el bióxido de carbono disuelto proveniente de la atmósfera y el ácido húmico producido por procesos biológicos.

El intemperismo químico involucra tres reacciones principales que tienen lugar en el contacto entre la roca y la atmósfera:

- Hidrólisis. Es el proceso por el cual los silicatos forman minerales hidratados y consiste en la ruptura de un compuesto por reacción con el ión Hidrógeno del agua así por ejemplo, a partir de los Feldespatos se forman hidromicas.

- Oxidación. Es la reacción del oxígeno con los silicatos y sulfuros de Hierro; por ejemplo, cuando el Hierro es liberado por hidrólisis y entra a una atmósfera aeróbica es oxidado y precipita como hidróxido férrico, que se transforma lentamente en hematita en los lugares cálidos.

- Disolución. Reacción de algunos minerales que cambian su estructura y se disuelven en el agua dejando pocos residuos, tal es el caso de los carbonatos y los yesos. El proceso de disolución se favorece con la presencia de CO₂ disuelto en el agua.

Uno de los efectos más importantes del intemperismo químico consiste en la formación de minerales arcillosos, estos son silicoaluminatos hidratados que se clasifican de acuerdo a su manera de combinarse con calcio, potasio, hierro y magnesio.

- Intemperismo Físico o Fragmentación.

Consiste en el rompimiento de masas de roca en bloques, guijarros, arenas y limos, contribuye a la alteración química porque al fragmentar las rocas multiplica la superficie rocosa que tiene contacto con los agentes de alteración química (agua, aire, etc.). La fragmentación ocurre a lo largo de zonas de debilidad formadas por el crucero, la esquistosidad, la estratificación y otros planos estructurales en la roca, por lo que el tamaño de los fragmentos es una buena clave para determinar la intensidad del intemperismo y las características estructurales de la roca. La fragmentación también puede ser originada por los cambios periódicos de temperatura que ocasionan contracción y dilatación en las rocas.

- Intemperismo Biológico.

Implica los efectos físico-químicos que tienen los procesos orgánicos sobre la masa de suelo. Dentro de su influencia química se tiene que algunos organismos como las bacterias, acidifican el suelo por expulsión de bióxido de Carbono durante la respiración y algunos también secretan ácidos orgánicos como parte de su metabolismo; de hecho los microorganismos son los principales agentes de la descomposición de la materia orgánica y en ocasiones influyen en la alteración mineral (es sabido que la albita y la muscovita se descomponen dos veces más rápido en presencia de bacterias). Por otro lado, parte de su influencia mecánica se debe a los gusanos que habitan en el suelo y transportan el material redistribuyendo el sistema del suelo, por lo que los granos minerales son expuestos a cambios regulares de ambiente descomponiéndose con mayor rapidez (Fitz-Patrick, 1984).

Suelos Residuales.

Las características mineralógicas de la porción superior de los suelos residuales pueden ser descritas por medio de un "Perfil de Meteorización o Intemperismo" en el que se describe la secuencia de materiales que se han formado sobre la roca no alterada, este perfil varía de acuerdo al tipo de roca, régimen de aguas subterráneas y el clima.

B. Polynov (citado por Gorshkov G.P., 1970), propuso un perfil de intemperización basado en las diferentes fases o etapas de intemperismo que presentan los productos residuales, a los cuales este autor denomina "Eluvio" y menciona que su composición varía de acuerdo a la fase en que se encuentran. De acuerdo a los productos particulares de cada una, se definen cuatro fases de intemperismo; detritica, siálica con calcitización, silicica ácida y álitica; estas fases son particularmente patentes en las rocas magmáticas.

1.-Detritica, Esta primera etapa se caracteriza por el predominio del intemperismo físico o fragmentación, por lo que se acumulan detritos de diferentes tamaños, sin variación en su composición mineralógica. En las regiones de clima cálido-húmedo esta etapa es de corta duración y la descomposición química prevalece sobre la desintegración física.

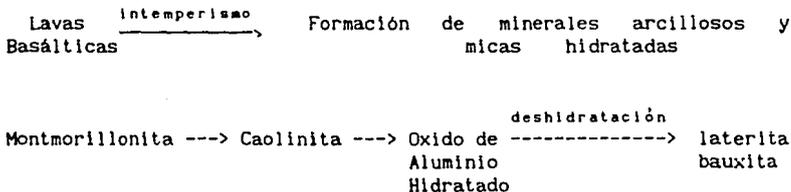
2.-Siálica con calcitización. Esta segunda fase corresponde con la etapa inicial del intemperismo químico en que comienza la disociación de silcoaluminatos y silicatos con eliminación de cationes. Se forman los minerales arcillosos intermedios del grupo de la Montmorillonita, se inicia la formación de hidromicas en un medio alcalino, y se acumulan sales poco solubles y carbonatos de calcio.

3.-Siálica ácida. En la tercera fase se eliminan cationes, disminuye el contenido de silicio y el medio se torna ácido. Los minerales intermedios como la Montmorillonita y las Hidromicas originados en la segunda fase, son destruidos y se forman nuevos minerales arcillosos del grupo de la Caolinita. Gran parte del carbonato de calcio, es eliminado sobre todo en las regiones de clima calido-húmedo donde las abundantes lluvias lixivian intensamente los suelos.

4.-Alítica. La cuarta fase se caracteriza por la descomposición ulterior de los minerales arcillosos para formar minerales simples estables en superficie como los hidróxidos aluminicos, férricos y silícicos que forman los minerales coloidales constituyentes de bauxitas, hematites, ópalo, etc. El suelo se denomina alítico debido a la gran cantidad de hidróxidos de aluminio que presenta. Esta fase alcanza su mayor difusión y potencia en el clima cálido-húmedo de las zonas tropicales y subtropicales, tal es el caso de las rocas volcánicas de la región de estudio. En estas zonas el suelo presenta un color rojo debido a la presencia de hidróxido de hierro por lo que se le denomina laterita (del latín Later, ladrillo).

En general, las rocas sedimentarias dan lugar a suelos muy arcillosos y las fases de alteración se desarrollan más lentamente que en las rocas volcánicas porque las primeras se forman en condiciones más cercanas a las actuales. Es por esto que los suelos residuales formados a partir de las lutitas y areniscas Terciarias que se presentan en la región de estudio, se encuentran en la segunda fase de alteración (Siálica con calcitización) a pesar de que están sometidas a las mismas condiciones climáticas que las rocas basálticas, las cuales tienen un grado más alto de alteración (fase Alítica) debido a que estas cristalizan a elevadas temperaturas en un ambiente relativamente anhidro, por lo que sus minerales se descomponen rápidamente; además, estas rocas tienen cristales pequeños en una matriz vítrea y contienen aproximadamente un 12% de Hierro, lo que en las condiciones climáticas presentes, propicia el desarrollo de suelos con una corteza rica en Hierro.

Secuencia de tipos de arcillas producidas por la variación de la intensidad y duración del intemperismo de las Rocas Basálticas en climas tropicales de acuerdo a Sherman (1952):



Se considera que los suelos residuales están constituidos por tres zonas principalmente: la zona superior con elevado grado de intemperismo (Fases Alítica y Siálica Acida) y cierto arrastre de materiales, una zona intermedia en cuya parte superior hay cierto grado de intemperismo (Fase Siálica con Calcitización) pero también cierta deposición hacia la parte inferior de la misma y la zona inferior que esta parcialmente alterada (Fase Detritica) y constituye la transición del suelo residual a la roca no alterada. Esta distribución es semejante a la de la concepción edafológica de los suelos (Horizontes A, B y C) (Fig. 4.2).

En climas calientes y húmedos los suelos residuales pueden alcanzar varias decenas de metros de profundidad. Aunque normalmente estos suelos incrementan su consistencia con la profundidad, también pueden componerse de materiales altamente compresibles que rodean bloques de rocas menos alteradas, lo que se traduce en condiciones difíciles de cimentación (Vieltez, 1978).

La heterogeneidad en las características y propiedades de los suelos residuales se debe principalmente a dos factores: a que los procesos de intemperismo tienen un carácter selectivo, sobre todo con la variación de la dureza de las rocas, las rocas menos resistentes se desmoronan más fácilmente y son más susceptibles a la formación de suelos (Gorshkov, 1970); y a que los suelos residuales tienen partículas de varios tamaños por que no han sufrido ningún proceso de selección.

4.2.3. EROSION Y SUELOS TRANSPORTADOS.

Erosión y Transporte.

La Erosión es el proceso que elimina la masa del material alterado de la superficie terrestre e implica el transporte de estos materiales de las zonas elevadas hasta aproximarse a las superficies de menor potencial gravitatorio. El proceso por el cual el material alterado da origen a los sedimentos comprende tres etapas principales:

- Comienzo del movimiento de materiales y sustancias por el intemperismo de la roca madre en el medio generador.
- Transporte del material preparado por el intemperismo con sedimentación parcial dependiendo de la energía del mismo.
- Depósito del material en los diferentes medios sedimentarios o receptores, con estabilización y fijación mecánica, físico-química y biológica (en condiciones estables como la del Golfo de México, se forman medios sedimentarios aluviales, marinos y eólicos).

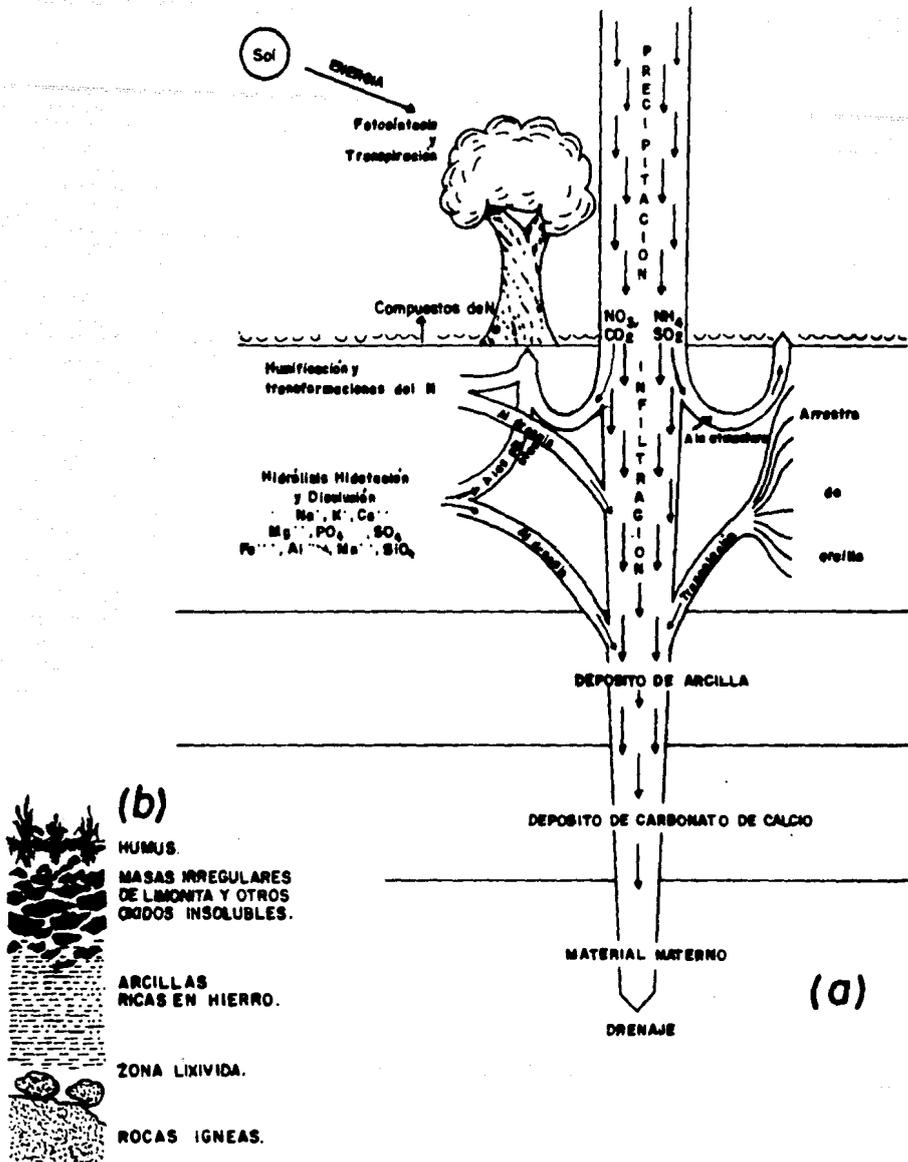


Fig. 4.2 EJEMPLOS DE SISTEMAS DE SUELOS RESIDUALES.

(a) Suelo con lixiviación de arcilla y CaCO_3 (FITZ PATRICK, 1984)

(b) Suelo laterítico (PRESS, 1982)

El transporte de los sedimentos es la consecuencia de la interacción dinámica entre las partículas detríticas y el movimiento fluido del medio. Si varían las condiciones de la corriente, variarán las características y clasificación de los sedimentos, es decir, su distribución de acuerdo al tamaño, forma y densidad (Corrales, 1977).

Los diferentes materiales pueden ser transportados de varias maneras: en solución parcial como el fierro y el aluminio, o total como los bicarbonatos, nitratos y sulfatos; en suspensión, como las arcillas y limos que se mantienen en el seno de la corriente durante largo tiempo por lo que sufren muy poca abrasión; por saltación, cuando las partículas solo se levantan pequeñas distancias; y por tracción de fondo, donde las partículas grandes rara vez se despegan de la superficie y son remodeladas por la abrasión y el fracturamiento que provocan la fricción y el repetido impacto de las partículas entre sí y contra el lecho rocoso.

Los mecanismos de transporte varían de acuerdo al medio físico en que se desarrollan, en la región estudiada se presentan principalmente tres agentes de transporte; 1) el agua, 2) la gravedad y 3) el aire, los cuales se describen a continuación (Fig.4.3):

1) Transporte por agua.

El agua es el medio más eficiente para acarrear material ya sea en solución, en suspensión, por saltación, o como carga de fondo (por rodamiento).

Los ríos acarrean material de diversas graduaciones de acuerdo a su perfil de velocidades y van depositando los sedimentos según sus tamaños hasta llegar a depositar las partículas más finas en los lugares próximos a su desembocadura, en la planicie costera son característicos los ríos meándricos en los que además se presenta una selección lateral causada por la migración del canal (Fig.4.4). Por otra parte, las partículas también son transportadas en los mares, aunque a menores velocidades, por corrientes de convección, corrientes de marea y oleaje.

Existe una relación muy estrecha, entre el transporte de partículas inducido por el agua y por la gravedad, debido a que el agua, sin importar la cantidad de material transportado, siempre fluye hacia lugares topográficamente más bajos. De acuerdo a la cantidad de carga que lleva en él se pueden tener diferentes estados de fluido:

- Corrientes de agua normales, en donde el agua es abundante y se despalza conforme a la pendiente.
- Corrientes de turbidez, son corrientes de agua con alta densidad de partículas en suspensión.
- Flujos, transporte en masa con una cantidad media de agua, de velocidad variable.
- Deslizamientos, ocurren en sedimentos sin consolidar y se pueden presentar en laderas donde la pendiente es fuerte y sobrepasa el ángulo de estabilidad.

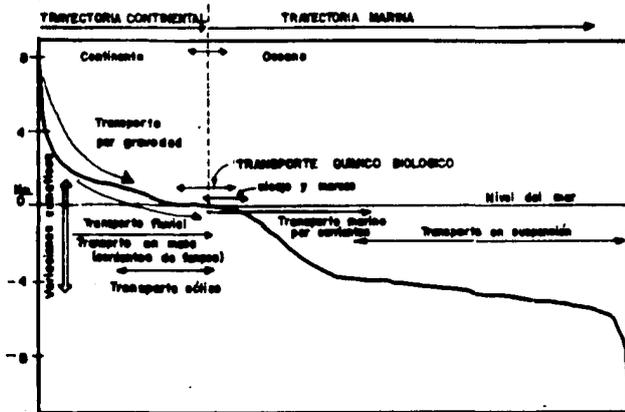


Fig. 4.3 RELACION ENTRE MECANISMOS DE TRANSPORTE Y RELIEVE (Correia, 1977)

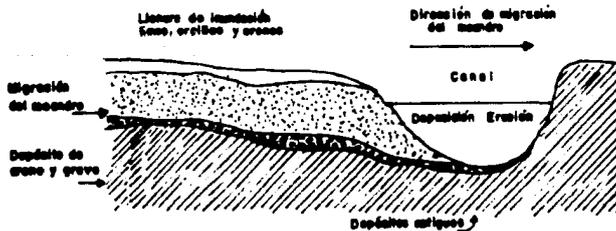


Fig. 4.4 GRANO-SELECCION EN LA FORMACION DE UN CANAL MEANDRICO (Fross, 1962)

2) Transporte por Gravedad o Procesos Gravitacionales.

Este medio de transporte está muy relacionado con el contenido de agua, que actúa como lubricante y satura los materiales reduciendo sus condiciones de estabilidad, mismas que pueden ser afectadas también por el ángulo de reposo del talud de las laderas (el cual varía de acuerdo al tamaño y forma de las partículas), y por la vegetación, que puede actuar como estabilizador en los materiales superficiales.

Se consideran básicamente tres mecanismos de transporte por gravedad (Press y Siever, 1982) (Juarez, 1982):

- Deslizamientos.

Son movimientos de masas de roca y suelo, en donde el material tiende a deslizarse hacia abajo como un fluido viscoso; y son generados por una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, la cual puede ser propiciada por una determinada conformación geológica (como una superficie de falla asociada a deformaciones estratigráficas) y/o por flujos de agua subterránea.

Antes de ocurrir un deslizamiento pueden aparecer grietas indicativas de un estado de tensiones en la parte superficial de la ladera, mismas que generan empujes hidrostáticos importantes cuando almacenan agua de lluvia y por lo tanto, contribuyen a la disminución de la resistencia de toda la masa.

En algunos deslizamientos el suelo puede llegar a la licuación, esto es, se comporta como un líquido fluyendo rápidamente y cualquier sacudida puede desencadenar el movimiento de toda la ladera. Este fenómeno se puede producir en arenas poco compactas o en laderas de formaciones arcillosas en las que disminuye la "cohesión aparente" del material cuando éste aumenta de humedad o por la pérdida de resistencia en arcillas sensibles a causa de alguna degradación estructural o de expansión por absorción de agua.

Los diferentes tipos de deslizamientos suelen abarcar grandes extensiones y se manifiestan generalmente como acumulaciones de suelos en depresiones y falta de estos en las partes altas.

- Flujos.

Son movimientos más o menos rápidos de fluidos viscosos en donde existe una superficie de falla, se desplazan como lenguetas viscosas y pueden ocurrir en cualquier formación no cementada desde fragmentos de roca hasta arcillas. Las avalanchas de detritos son flujos de alta velocidad asociados a regiones montañosas húmedas, éstas y los flujos de lodo se desencadenan fácilmente en los taludes de conos volcánicos cineríticos cuando las acumulaciones no consolidadas de cenizas y otros materiales se saturan a causa de las lluvias.

- Reptación.

Son movimientos muy lentos que varían de algunos milímetros a centímetros por año, dependiendo del tipo de suelo, la pendiente del talud, las lluvias y el tipo de vegetación. Su mecanismo está asociado a pequeños movimientos causados por el humedecimiento y secado de los suelos, la expansión térmica, actividades de organismos y movimientos de las raíces durante el crecimiento de las plantas. Dependiendo del grado de saturación el suelo se puede desplazar rápida o lentamente.

Debe mencionarse que los desplazamientos de material en la naturaleza pueden presentar diferentes combinaciones de los fenómenos citados. Tal es el caso de los deslizamientos masivos ocurridos en la región de Misantla, Ver. que se comentan en el Capítulo 6 de este trabajo.

3) Transporte por aire.

Este medio tiene un mecanismo semejante al del agua pero con menor eficiencia para transportar carga y con mayor capacidad de granoselección. El viento transporta los sedimentos por saltación y rodamiento (principalmente arenas finas) y en suspensión (limos y arcillas). Este medio de transporte es característico de zonas desérticas y costeras, en donde forma dunas, barjanas, etc..

Suelos transportados

Los suelos transportados pueden estar constituidos por partículas de diversos tamaños (boleos, gravas, arenas, limos y/o arcillas) dependiendo de las condiciones de depósito en los diferentes medios sedimentarios (dichas condiciones fueron explicadas en el Capítulo 2 del presente trabajo). Los suelos transportados pueden ser firmes pero también blandos y sueltos a profundidades de varias decenas de metros.

El material transportado por un determinado medio se deposita cuando la velocidad del mismo disminuye, y las características de los suelos formados por estos depósitos dependen tanto de la forma de transporte y sedimentación como de la naturaleza del medio en que se realiza el depósito y del tipo de sedimentos involucrados; por ejemplo, cuando el medio es acuoso influyen para la deposición: la disminución de la solubilidad y el aumento de electrólitos en el agua marina.

Durante el transporte en medios fluidos (agua o aire) se produce una clasificación o graduación de las partículas, debido a que cuando se deposita una carga de sedimentos, caen primero las partículas más grandes y pesadas, mientras que las más pequeñas y ligeras continúan viajando, especialmente las que no son equidimensionales (como las arcillas), por lo que el tamaño de grano promedio de los depósitos disminuye progresivamente a medida que disminuye la energía del medio de transporte.

Las masas transportadas por deslizamientos se desplazan caótica y rápidamente, por lo que su selección es muy pobre o nula y las características físicas de las partículas como su forma, tamaño y textura se modifican por abrasión, desgaste, impacto y disolución.

En la Planicie Costera del Golfo, existen suelos residuales y transportados, los primeros predominan en las zonas altas y en los lomeríos, y los segundos en las partes bajas de la costa; en ambos tipos, los suelos de grano grueso son en general compactos y estables, pero en las partes bajas de la costa los suelos son de grano más fino y tienen estructuras más sueltas y abiertas, y por lo tanto compresibles. El comportamiento mecánico y las características específicas de los materiales encontrados en la zona de estudio se describen en los incisos siguientes.

4.3. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO MECANICO DE LOS SUELOS

Lambe y Whitman (1972) mencionan algunos factores que influyen en el comportamiento mecánico de una masa de suelo: 1) su estado de esfuerzos, 2) el agua, 3) el entorno físico y sus perturbaciones por causas externas, y 4) el tiempo.

4.3.1. ESTADO DE ESFUERZOS.

La deformación general de una masa de suelo se debe al desplazamiento relativo entre partículas y las deformaciones de éstas; y su resistencia al esfuerzo cortante queda definida por la resistencia que oponen dichas partículas a esos desplazamientos.

En general, un aumento de la presión confinante efectiva sobre una masa de suelo produce un incremento de la resistencia al esfuerzo cortante, una disminución de la compresibilidad y una reducción de la permeabilidad; los efectos contrarios se producen si la presión confinante disminuye (erosión, excavaciones, etc.) (Lambe y Whitman, 1972).

4.3.2. LOS EFECTOS DEL AGUA.

a) Características físico-químicas:

El agua es una parte integral del sistema del suelo y el contenido de la misma en los intersticios determina el comportamiento mecánico de todo éste sistema, pues modifica las fuerzas de contacto efectivas entre las partículas. En algunos minerales, especialmente en los arcillosos, el agua forma parte de su estructura, esto es porque debido a su carga eléctrica superficial estas partículas atraen las moléculas de agua para estabilizarse formando una película de agua fuertemente adherida alrededor de ellas, dicha película recibe el nombre de agua "adsorbida" y presenta propiedades entre la fase sólida y la fase líquida del sistema del suelo.

Ciertos aspectos del comportamiento mecánico de los suelos, como la resistencia, son controlados por los esfuerzos efectivos que actúan en los mismos; estos esfuerzos consisten en la diferencia entre el esfuerzo total aplicado en la masa de suelo y su presión intersticial (op.cit.).

b) El agua como factor desestabilizador:

En general, al agua ejerce fuerzas desfavorables a la estabilidad de algunos materiales, porque actúa como lubricante al disminuir los enlaces entre las superficies minerales y por lo tanto su resistencia tangencial (op.cit.); y es por este efecto que los suelos saturados suelen presentar poca estabilidad. Sin embargo, el agua puede también aumentar el coeficiente de fricción en una masa de suelo, sobre todo si esta constituida por partículas granulares o equidimensionales como lo muestran los resultados experimentales de Horn y Deere (citados por Ramirez, 1987).

Horn y Deere (op.cit.) muestran que la historia de humedad entre las partículas influye sobre su coeficiente de fricción y también que el efecto lubricante del agua disminuye al aumentar la rugosidad de los minerales; Lambe y Whitman (1972) mencionan que la disminución de este efecto se puede deber a que la capacidad lubricante del agua disminuye en superficies limpias y a medida que aumenta la rugosidad es más difícil encontrar en los minerales una capa uniforme de contaminantes como la materia orgánica o partículas arcillosas.

4.3.3. VARIACIONES EN EL MEDIO AMBIENTE.

Las variaciones en algunas condiciones como la naturaleza del fluido intersticial y la temperatura pueden tener gran influencia en el comportamiento del suelo. Por ejemplo, cuando un suelo transportado se forma en un ambiente marino tiene un fluido intersticial inicial con una salinidad más elevada que los fluidos que se infiltran posteriormente, por lo que con el arrastre y lavado gradual de la sal, es decir, con la disminución de electrolitos se reduce la fuerza neta de atracción entre las partículas, lo que ocasiona una reducción de su resistencia al corte; otro caso es el de las arcillas marinas que comúnmente son muy sensibles porque se depositan en estado floculado, pero al ser lavados los electrolitos, adquieren una estructura dispersa (las partículas laminares se acomodan paralelamente) y para la misma humedad, su resistencia es menor. Por otro lado cuando una masa de suelo es perturbada, se rompen los enlaces formados durante largos años bajo las presiones de determinado grado de confinamiento, de manera que se pierde toda su resistencia y se transforma en una masa pastosa suelo-agua, de resistencia al corte nula.

4.3.4. TIEMPO.

Esta variable interviene en los demás factores que influyen en el comportamiento del suelo, en especial en lo que se refiere a las variaciones de presiones, humedad y de las condiciones del medio. Por ejemplo, en los suelos de grano fino para que se puedan apreciar los efectos completos de una variación de presiones, el agua debe ser expulsada o absorbida por la masa de suelo, y debido a su baja permeabilidad se requiere un cierto tiempo para que el agua escape o penetre en estos. El tiempo también es un factor importante en las reacciones químicas de los procesos de intemperización y en general en todos los procesos involucrados en la formación de los suelos.

4.4. ASPECTOS GENERALES DEL COMPORTAMIENTO MECANICO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS ENCONTRADOS EN LA PLANICIE COSTERA DEL GOLFO DE MEXICO

Los siguientes materiales se pueden presentar formando parte tanto de suelos residuales como transportados; en los primeros no se presenta ningún patrón de selección y su distribución depende de la composición y grado de alteración de la roca que les dió origen; en cambio, la distribución de los materiales que constituyen los suelos transportados depende del ambiente en que se depositaron, es por esto que se da mayor énfasis a este aspecto. A continuación se describen las variaciones de las características de estos materiales y sus consecuencias mecánicas (Press y Siever, 1982) (Krynine, 1961) (Lambe y Whitman, 1972) (Terzaghi, 1967).

4.4.1. ARENAS.

Las arenas son fragmentos granulares compuestos principalmente de cuarzo y feldespatos, que en la región se presentan generalmente redondeados y de varios tamaños: gruesa (>1 mm), media (0.25 a 0.5 mm) y fina (<0.25 mm), dependiendo de la energía e la corriente de depósito, en general son fáciles de compactar y resultan difícilmente afectadas por la humedad.

Suelos de la región en que predominan las arenas:

Como se mencionó en el Capítulo 2, en la Planicie Costera del Golfo de México se tienen principalmente tres tipos de medios sedimentarios: aluviales, costeros y eólicos; en los cuales las acumulaciones arenosas son muy importantes (Fig 4.5).

- Medios Fluviales.

Se presenta una gran diversidad de materiales con gradación irregular (boleos, gravas, arenas, limos y arcillas) y su distribución varía de acuerdo al tipo de subambiente, como en el cauce del río, llanuras de inundación, planicies aluviales o deltas (transición fluvial-marina) (Fig. 4.6).

Las arenas se localizan principalmente en los cauces de los ríos y en las planicies aluviales; en los depósitos de canal se tienen arenas gruesas con cierta gradación a material más fino, hacia la cima de los mismos, y en las planicies aluviales se encuentran interdigitadas con materiales más finos.

En general los depósitos arenosos presentan una buena graduación de tamaños en estos ambientes, por lo que su compacidad y estabilidad son elevadas, sin embargo, debido a la variabilidad de la intensidad y dirección de las corrientes de transporte se pueden presentar también lentes o mantos de arena suelta y uniforme, y en consecuencia muy permeables.

- Medios Costeros.

Las playas están constituidas principalmente por arenas finas, redondeadas, uniformes y de baja compacidad, pero en las regiones en donde se forman barras paralelas a la línea de costa, se propicia la formación de esteros, donde los depósitos arenosos están asociados a limos ricos en materia orgánica. Es frecuente también, que los depósitos arenosos litorales se encuentren interdigitados con depósitos aluviales en las zonas de desembocadura de los ríos al mar (ambiente deltaico).

MEDIOS		MATERIAL	GEOMETRIA	ENERGIA	LITOLOGIA
ABANICO ALUVIAL		Corrientes de agua y fangos efímeros. Ocasionalmente aire.	Abanicos coalescentes, apoyados en zonas montañosas. Límites con medios edóico, fluvial, glacial y lacustre.	Corrientes de agua y corrientes de gravedad.	Cantos y conglomerados, arenas y fangos arcillosos. Mala clasificación. Señales de oxidación. Curvas polimodales y clastos subangulosos.
FLUVIAL	Arroyos intermitentes	Agua, en movimiento.	Forma de la red de drenaje, límites del valle, pendientes y máxima superficie de inundación.	Energía cinética de la corriente de agua.	Arenas, gravas y limos arcillosos. Predominio de limos con las arenas en geometría alargada.
	Manantiales	Idem.	Idem.	Idem.	Arenas, limos arcillosos y lentajones de gravas. Pobre clasificación y poca madurez. Predominio de arenas en lentajones planares (canales de alta sinuosidad). Clastos.
EOLICO		Aire, accidentalmente agua (red torrencial con grandes crecidas).	Condiciones límites dadas por vertientes externas y medio fluvial. A veces lagos temporales.	Viento y corrientes de agua efímeras.	Arenas de grano fino-medio, de cuarzo. En zonas costeras, carbonatos con posibles cementos. Buena clasificación. Limos (de variada composición) en losas.
LITORAL		Agua marina y accidentalmente aire (dunas litorales y playas). Caracterizado por alternancias agua-aire.	Muy variable. Tendencia alargada a superficial (costas de playas acunilladas, polders, barreras, manglares, etcétera).	Predominio de energía mecánica de oleaje y corrientes litorales. Accidentalmente el viento.	Depósitos detríticos, cantos a limos, predominio de arena media fina. Buena clasificación. Restos de conchas en la fracción detrítica.
DELTAICO		Ocasionalmente aire.	Tamaño restringido; tiende a forma de abanico con canales de distribución, barreras, etc.	Principalmente mecánica, aportada por las corrientes fluviales, las mareas y el oleaje. Secundariamente, el viento.	Detríticos de todos los tamaños, predominio limos y arcillas. La fracción más gruesa y mejor clasificada se concentra en el techo de la unidad. Sedimentos autígenos y restos orgánicos vegetales.
PALUSTRE		Agua cenozoa, con gases disueltos (H ₂ , CO ₂ , etcétera), que forman condiciones anaerobias.	Ovalada con profundidad muy escasa. A veces lineal.	Química, térmica y biológica. Escasa energía mecánica.	Sedimentos de tamaño limo a arcilla, con predominio de restos orgánicos vegetales.

4.5 ELEMENTOS DE LOS MEDIOS SEDIMENTARIOS (Corrales, 1977)

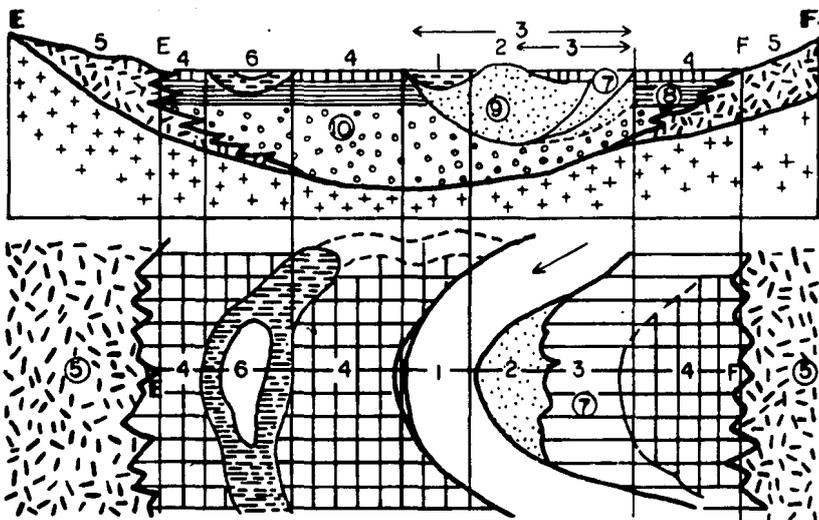


Fig. 4.6 ELEMENTOS FORMADORES DE LLANURAS DE INUNDACION Y DE CAUCES FLUVIALES (Kosterko, 1978).

1- CAUCE, 2- BARRA ALUVIAL; 3- MEANDRO MIGRANTE; 4- LECHO MAYOR NO MODIFICADO POR MEANDRO MIGRANTE ALGUNO; 5- DELUVIONES O SEDIMENTOS GRAVITACIONALES DE LAS VERTIENTES; 6- ALUVION DE CAUCE ANTIGUO; 7y8- ALUVION DE LECHO MAYOR; 9y10- ALUVION DE CAUCE.

Los cambios en la distribución de los materiales, están sujetos a los cambios climáticos estacionales, a la abrasión del material que se mueve en valvén y al material acarreado por las olas y mareas; como estos factores cambian constantemente, un litoral arenoso nunca adquiere un estado fijo o una forma definitiva, sino que oscila con respecto a cierto "perfil de equilibrio".

- Medios eólicos.

Las dunas que se presentan en la región están constituidas por arenas uniformes finas a muy finas, compuestas generalmente por fragmentos de cuarzo. Estos depósitos suelen ser muy inestables y de alta movilidad, por lo que cubren y descubren las estructuras que sustentan, de manera que se presenta una elevada variación de esfuerzos en las mismas.

El cementante principal de estos depósitos es el carbonato de calcio, el cual les proporciona una cohesión temporal que se pierde cuando es disuelto por el agua. Asimismo, la tensión capilar producida por la humedad en los materiales que se encuentran sobre el nivel freático, también puede generar una cohesión aparente que puede dar mayor estabilidad a los taludes cuando están húmedos, pero esta se pierde bruscamente si las arenas se saturan, ocasionando el colapso de la estructura del suelo.

En la zona costera las arenas finas y uniformes que están bajo el nivel freático son muy susceptibles a licuarse al ser perturbadas porque tienen estructuras abiertas con poros pequeños, esta característica ocasiona que las fuerzas aplicadas sean primero soportadas por el agua, la cual incrementa su presión y reduce la resistencia de la estructura intergranular de manera que la masa de suelo puede llegar a comportarse como un líquido viscoso.

4.4.2. LIMOS.

Los limos son depósitos frecuentemente asociados con arenas finas, arcillas y materia orgánica, que se localizan en la desembocadura de los ríos y en las zonas de baja energía de las costas, como en las zonas de marea, esteros o en algunas partes de los deltas.

Existen dos tipos de partículas limosas, los limos no plásticos o inorgánicos, y los limos plásticos u orgánicos, se les da este nombre debido a que es el contenido de materia orgánica el que les da esta propiedad. En general los limos son materiales inestables y de difícil tratamiento pues son difíciles de compactar y de drenar, y tienden a fluir cuando están saturados.

Los limos no plásticos se comportan de manera semejante a las arenas finas y tienen el mismo problema de licuación; estos también pueden tener cierto grado de plasticidad, los menos plásticos consisten en partículas más o menos equidimensionales de cuarzo y son denominados también "polvo de roca", y los más plásticos contienen cierto porcentaje de partículas en forma de escamas (Terzaghi, 1967). Estos limos son muy erosionables, es decir son arrastrados fácilmente por el agua e incluso pueden llegar a crear tubificaciones en el terreno.

Los limos plásticos contienen una mezcla de partículas de materia orgánica, y cantidades apreciables de H_2S y CO_2 originados al descomponerse la misma. Su comportamiento mecánico es semejante al de las arcillas blandas o medianamente duras, y al igual que éstas, presentan muy alta compresibilidad y baja permeabilidad.

4.4.3. ARCILLAS.

Las arcillas son agregados de partículas microscópicas y submicroscópicas derivadas de la descomposición química de las rocas.

- El proceso de formación de las arcillas.

Parte de este proceso fué mencionado cuando se habló de el intemperismo químico que es el principal mecanismo de generación de suelos residuales, en el cual uno de los factores más importantes es la bipolaridad de las moléculas del agua que determina su carácter solvente, de esta manera los cationes (el potasio, el sodio y el calcio) de los silicatos (feldespatos principalmente) son disueltos, y el silice y otros minerales son hidratados pues el agua utilizada en la reacción es absorbida por su estructura (Press-Siever, 1982). Como se observó en el perfil de meteorización propuesto por B. Polynov (op.cit., inciso 4.2.2.), los feldespatos y otros silicoaluminatos pueden alterar a diferentes tipos de minerales arcillosos en las diferentes fases del intemperismo.

- Principales grupos minerales de arcillas.

Los minerales de arcillas son principalmente silicatos hidricos de aluminio, magnesio o hierro y cada partícula de arcilla está compuesta por un arreglo específico de láminas de silicio y láminas de aluminio, de acuerdo a la estructura de estos arreglos las arcillas se clasifican en tres grupos principales (Krynine, 1961) (Juarez B., 1982):

Grupo de la Caolinita:

(Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O) Es el grupo de estructura más simple, pues las láminas de sílice y aluminio están intercaladas en relación 1 : 1. Esta estructura se opone a la introducción de agua en sus retículos, por lo que estas arcillas son muy estables y no se expanden cuando se saturan, son moderadamente plásticas y tienden a poseer un coeficiente de fricción interna mayor que el de cualquier otro mineral arcilloso, a este grupo pertenece la Haloisita, la cual confiere un peso específico muy bajo a los suelos (Lambe y Whitman, 1972).

Grupo de la Montmorillonita:

[(OH)₄Si₈Al₄O₂₀.nH₂O] En estas arcillas se tiene una lámina aluminica entre dos láminas silícicas en relación 2:1, por lo que su unión es débil y el agua puede introducirse fácilmente, de manera que este mineral es inestable especialmente en presencia de agua, dada su gran capacidad de expansión. Estas arcillas presentan alta plasticidad, un bajo coeficiente de fricción interna y cuando se desecan se contraen y agrietan; es por esto que pueden ocasionar fuertes problemas en las obras de ingeniería, pues dañan las estructuras por alzamientos o deslizamientos. Un ejemplo de este grupo es la Bentonita originada a partir de la descomposición de cenizas volcánicas que posee un comportamiento mecánico crítico pero puede ser utilizada para impedir fugas en depósitos y canales.

Grupo de la Illita:

[(OH)₄.Ky(Si₈-y.Aly) (Al₄.Fe₄.Mg₄.Mg₄)O₂₀], y=1.5. También denominadas hidromicas, estas arcillas poseen una estructura semejante a la de las montmorillonitas, pero su composición química varía, está compuesta de partículas que forman agregados o grumos, por lo que su atracción al agua es menor, se reduce su expandibilidad y aumenta su coeficiente de fricción interna.

Existen otros grupos de arcillas menos importantes en el campo de la Ingeniería, como el grupo de la Vermiculita, el grupo de la Clorita y el Alófano, estos grupos se encuentran asociados a los otros minerales de arcilla, pues estos rara vez se encuentran en forma pura y el porcentaje de cada uno de ellos intervendrá en el comportamiento del material compuesto.

Las arcillas que se encuentran en la Planicie Costera del Golfo poseen diferentes estructuras de acuerdo a las condiciones en que se depositaron y de acuerdo con su historia de cargas, así, se pueden presentar: fango arcilloso y arcillas recientemente subconsolidadas con una densidad muy baja, alta compresibilidad y baja resistencia al corte; y arcillas más antiguas normalmente consolidadas con mayor resistencia y menor compresibilidad.

Los acontecimientos geológicos en el litoral no parecen haber dado lugar a erosiones ni a sequías tan importantes como para que existan arcillas altamente preconsolidadas en los sedimentos Cuaternarios, es por esto que la historia geológica de los suelos arcillosos tiene también gran influencia en su comportamiento mecánico (Vieitez, 1978).

Por lo que se ha discutido en los párrafos anteriores, las variaciones el contenido de agua en los minerales arcillosos producen importantes variaciones volumétricas, cuya ocurrencia debe ser considerada en los sitios donde se proyecte la construcción de obras. Además son materiales de difícil tratamiento, porque debido a sus características físico-químicas son difíciles de compactar en estado húmedo e imposibles de drenar con métodos ordinarios (Lambe y Whitman, 1972).

En la Planicie Costera del Golfo de México se encuentran suelos con predominancia de arcillas en las áreas palustres y deltaicas de la costa y en las llanuras de inundación de los ríos, además de que constituyen la mayor parte de los suelos residuales localizados en los lomeríos formados por rocas sedimentarias Terciarias.

4.4.4. TURBAS.

Son agregados fibrosos de materia orgánica descompuesta de colores oscuros que se forman en lagunas, en bahías cerradas por un cordón litoral y en los meandros abandonados de los grandes ríos que desembocan al Golfo. Las capas de turbas comúnmente son de poco espesor (alrededor de un metro) y se pueden encontrar intercaladas entre depósitos de arenas, limos, arcillas o fangos. Las turbas tienen muy bajo peso volumétrico, alto contenido de agua y materia orgánica y muy baja resistencia al corte; se caracterizan por su elevada compresibilidad, y su permeabilidad es mayor en sentido horizontal que en sentido vertical, pero decrece cuando se comprimen. Las turbas que todavía están en proceso de descomposición pueden presentar grandes variaciones de sus propiedades con el tiempo.

4.5. CONSIDERACIONES GEOTECNICAS EN LA REGION DE ESTUDIO

4.5.1. CORRELACION ENTRE LA EDAFOLOGIA Y LA GEOTECNIA.

La edafología puede ser muy útil en la mecánica de suelos para interpretar las características de los materiales en la parte superficial del subsuelo (Zeevart, 1966). Las tres zonas anteriormente definidas en el perfil de los suelos residuales coinciden con la concepción edafológica de los suelos, de acuerdo a la cual también se presentan tres zonas principales denominadas horizontes (Press y Siever, 1982) (Zeevart, 1966).

- Horizonte A:

También llamado Eluvial o Superior, presenta un alto contenido de materia orgánica, característica que lo hace indeseable como material de construcción porque en la mayoría de los casos se requiere utilizar cementantes para su estabilización además de que es muy frecuente que en los climas húmedos se desarrollen turbas en su parte superior. Es una zona de intensa actividad biológica y por lo tanto también de máxima alteración química. Las sales disueltas son arrastradas por el agua infiltrada destruyendo el esqueleto granular. Los minerales más abundantes son, algunas arcillas y minerales insolubles como el cuarzo.

- Horizonte B:

También llamado Iluvial o Intermedio; en esta zona precipitan los materiales arrastrados en solución y se acumulan las partículas finas de arcilla procedentes del horizonte superior. Esta zona es muy importante desde el punto de vista de la mecánica de suelos porque las arcillas coloidales presentan un comportamiento plástico e inestable para el apoyo de cimentaciones o para usarse como material de construcción. Presentan óxidos de Hierro y poca materia orgánica.

- Horizonte C:

También llamado de transición o Inferior, predomina la alteración física sobre la química y biológica, es un estrato rocoso alterado y fracturado que constituye la transición hacia la roca sana.

Las características de los horizontes de los suelos son la base de su clasificación edafológica; de acuerdo a dicha clasificación, en la Planicie Costera del Golfo de México, son particularmente abundantes en orden decreciente los siguientes suelos: Vertisols, Feozems, Luvisols, Gleysols, Andosols y Regosols (INEGI, 1981) (Fitz-Patrick, 1980).

Vertisols (Va): Tienen 35% o más de arcilla en todos los horizontes, generalmente Montmorillonita, son de color oscuro con bajo contenido de materia orgánica duros y compactos cuando están secos y plásticos y expandibles cuando están mojados, presentan una matriz de arena fina y limo con concreciones de carbonato de calcio. Estos suelos comúnmente presentan grietas profundas y anchas en periodos de sequía y desplazamientos diferenciales de material que forman estructuras de cuña cuando una capa desliza sobre otra como manifestaciones de la liberación de presión. Se desarrollan en depósitos aluviales de textura fina y en sitios de pendientes suaves o depresiones a partir de lutitas, areniscas, calizas, basáltos, y/o cenizas volcánicas. Son muy susceptibles a la erosión y se desarrollaron durante el periodo Holoceno-Pleistoceno. Se localizan en las áreas de Cazonas, Poza Rica, parte media de Tlhuatlán, Nautla, Martínez de la Torre y José Cardel, principalmente en el norte de la zona de estudio.

Feozems (Fz): Tienen una capa superficial oscura rica en materia orgánica y predominan las arcillas y limos. Los materiales maternos son usualmente depósitos no consolidados, aunque pueden encontrarse en terrenos planos con cualquier tipo de vegetación. La mayoría se han desarrollado durante el Pleistoceno Tardío, de manera que son relativamente jóvenes. Se distribuyen en zonas aisladas como en el cauce de los ríos Tuxpan, Papantla y Tecolutla, en la porción de Punta Villa Rica a Zempoala, hacia el Sur de la Ciudad de Veracruz y hacia el Noreste de Jalapa.

Luvissols (Lo): Se forman por la migración progresiva de material hacia abajo, inicialmente las sales solubles y los carbonatos son removidos por la precipitación, esto es seguido por el transporte gradual de arcillas, por lo que presentan un horizonte intermedio argilítico característico. Predominan en lugares de pendientes moderadas. Los Luvisols se localizan en las zonas aledañas a la región montañosa del Eje Neovolcánico, como en Misantla, Jalapa, hacia el Suroeste de la Cd. de Veracruz, Juchique de Ferrer, Coatzintla y Guadalupe (desembocadura del río Tecolutla).

Fleysols (Fo): Son suelos arcillosos ricos en materia orgánica que se agrietan al secarse. Se encuentran en las topofórmulas inundables de la llanura costera donde se acumula y estanca el agua, especialmente en la región de Tuxpan.

Andosols (Ao): Suelos poco cohesivos derivados de cenizas volcánicas que pueden ser profundos y someros, consisten en arenas con vidrio volcánico, se encuentran limitados por rocas ígneas y son altamente susceptibles a la erosión. Se localizan en las regiones de Cofre de Perote y en la Sierra de Chinconquiaco.

Regosols (Rs): Estos suelos constituyen la etapa inicial de la formación de otros suelos como los Luvisols, no presentan capas distintivas y son semejantes a la roca que les dió origen y ocurren en todas las zonas climatológicas. Se localizan en la planicie costera desde el Sur del río Cazonés hasta Nautla, en Castillo de Teayo, Alto Lucero y Cd. de Veracruz.

Características Geotécnicas generales de los suelos localizados en la región de estudio de acuerdo a su nomenclatura Edafológica (datos tomados de Orozco, 1977); Tabla 4.1.

	V _o	F ₄	L _o	S _o	A _o	R _o
Clima	Temp - Trop.	Temp.	Temp - Trop.	Varia	Varia	Temp - Trop.
Paisaje	Mont.- Lomerio Llan.C.	Mont.- Lomerio Llan.C.	Mont.- Lomerio Llan.C.	Llanura	Mont.- Lomerio Llan.C.	Indistinto
Origen	Resid.- Lacus.- Marino	Resid.- Aluvial	Resid.- Aluvial	Resid.- Aluvial Palus.	Cine- ritico	Resid. Aluvial Ciner.
Roca Madre	Calizas R.Sedim	Calizas R.Sedim	Rocas Sedim.	Calizas R.Sedim	Cenizas Volc.	Cen.Vol R.Sedim
Permeabilidad	Impermeable	Permeable	Permeable	Varia	Perm. a Muy p.	Muy Perm.
Resist. a Erosion	Alta	Media	Baja a Media	Alta	Baja	Varia
SUCS (por horizonte)	A,C: CH C: ML,CL	A: OL-OH B: CL C: SC	A: OL-OH B: CL,SM C: SC,GC	A: OL-OH B,C: CL,SC	A: OL-OH B,C: ML	A,B,C: SM,SC SP,GW.
Posibles Problemas	Expan.- Disper.	Org.- Disper.	Org.- Expan.	Org.- Expan.- Disper.	Org.- Colap- sable	Suelto Colap- sable

Tabla 4.1

Como se puede observar en la tabla 4.1, algunos de los problemas que pueden presentar los suelos de la región estudiada son: la expansión, el colapsamiento y la dispersión. Es sabido que la expansividad de un suelo depende de la composición y estructuración de sus partículas, de la presión confinante del suelo y del tiempo permitido para que el suelo se expanda; los suelos característicamente expansivos son los Vertisoles, Gleysoles Vérticos y Luvisoles Vérticos. Por otro lado los suelos colapsables son aquellos que sufren fuertes asentamientos repentinos cuando se saturan parcial o totalmente, la mayoría son de origen eólico y algunos de origen aluvial, los suelos que pueden presentar este comportamiento son los Andosoles y Regosoles. Finalmente, los suelos dispersivos son suelos arcillosos o limosos altamente erosionables en presencia de agua y en consecuencia susceptibles a la tubificación; los Vertisoles, Feozems y Gleysoles pueden presentar este comportamiento.

4.5.2. CONDICIONES GEOTECNICAS GENERALES.

Vieitez (1978) realizó un amplio estudio de las condiciones geotécnicas de la Planicie Costera del Golfo, y señaló algunos de los problemas que se pueden encontrar en los materiales de la región durante la cimentación de una obra, de estos problemas, el más generalizado radica en la gran movilidad de los perfiles de los suelos, pues cada perfil corresponde a las condiciones de su momento de formación y estas pueden ser muy variables tanto en los deltas, llanuras de marea y llanuras de inundación, como en las playas en donde dichos perfiles cambian más rápidamente como respuesta a tempestades o condiciones tranquilas, las dunas litorales, también experimentan frecuentes cambios debido a las variaciones en la dirección e intensidad del viento y a las alteraciones de la vegetación; las rápidas variaciones de los perfiles en playas y dunas ocasionan una heterogeneidad muy alta de materiales y estructuras y por consiguiente de sus propiedades mecánicas.

Otros problemas importantes en la ésta región son, en primer lugar, la dificultad para identificar los suelos inestables porque son materiales complejos y su estructura y comportamiento dependen de las condiciones naturales pasadas y presentes, y además, este puede ser alterado por las condiciones artificiales que se imponen con las obras realizadas. En segundo lugar, el alto contenido de agua que presentan dichos materiales lo cual es una consecuencia de las condiciones climáticas de la región y un factor de inestabilidad muy importante, así, un sedimento marino reciente puede tener un contenido de agua de 40 a 100% dependiendo del tamaño de las partículas; en condiciones de saturación las arenas medias alcanzan el 45%, los limos del 50 a 70%, los fangos arcillosos del 80 al 90% y en arcillas coloidales hasta el 100%, si la estructura es floculada y el mineral de arcilla es montmorillonita o illita, el contenido de agua puede ser extraordinariamente alto.

Para tratar de solucionar estos problemas el mismo autor, recomienda utilizar tipos de cimentación y procedimientos constructivos compatibles con las características de los depósitos y tratar de aislarlos de los factores de cambio, aunque esto implica una mayor inversión. Cabe hacer notar que además del factor económico, el tipo de cimentación utilizada en una obra, está determinado por las condiciones de la superestructura que se refieren a la distribución de cargas, y las condiciones del suelo que se refieren a sus propiedades mecánicas, especialmente resistencia, compresibilidad y condiciones hidráulicas.

En los suelos de estructuras inestables, las soluciones de cimentación no deben alterar sus equilibrios de humedad o bien alterarlos definitivamente antes de realizar los trabajos de estabilización y deben precisarse los niveles de esfuerzo, bajo los cuales no se produce inestabilidad.

En los depósitos de playas se pueden utilizar sistemas de contención como tablestacas porque la capacidad de carga de las arenas aumenta con el confinamiento, y se debe procurar que las cimentaciones a base de zapatas sean profundas, en el caso de utilizar pilotes hincados, se debe tener en cuenta que estos pueden encontrar rechazos a diferentes profundidades debido a las diferencias de densidad de las arenas. La estabilidad de los taludes sobre el nivel freático se favorece si se mantiene un mínimo de humedad capilar; y se debe evitar apoyar en arenas sueltas, sobre todo si se encuentran bajo el nivel freático porque tienen un alto riesgo de licuación.

Si en la prueba de penetración estándar se tiene $N < 10$ para los limos estos son demasiado suelos para sostener estructuras, y menos con cimentaciones sómeras; pero si se tiene $N > 10$, se puede hacer equivalencia de condiciones a las arcillas o arenas finas, dependiendo de su plasticidad. Cuando se hacen excavaciones bajo el nivel freático, los limos pueden presentar pérdidas de terreno y asentamientos en las zonas aledañas debido al drenaje del limo y a la consolidación consiguiente.

Las turbas pueden mejorarse si son preconsolidadas por precarga, pero es preferible retirarla o hacer cimentaciones profundas en estratos más resistentes y menos compresibles.

En las arcillas las soluciones de cimentación pueden ser por ampliación de base, compensación de carga o por pilotes. En las excavaciones a cielo abierto deben controlarse las fuerzas de filtración para que no contribuyan a su capacidad expansiva, además las presiones altas también contrarrestan la expansión. Su resistencia al corte y compresibilidad también pueden ser mejoradas por precarga, aunque el procedimiento es muy lento debido a la baja permeabilidad de estos materiales. Un problema que se puede presentar en las arcillas que se han depositado en determinados ambientes salinos como el de la costa, es que al utilizarse para retener aguas dulces se pueden transformar en arcillas dispersivas, esto es, pierden sus ligas electroquímicas, se colapsan, erosionan y socavan, sin encontrar resistencia.

En el litoral, los suelos arcillosos requieren soluciones de cimentación más costosas que los suelos francamente granulares o en suelos intermedios, donde las arenas gruesas dominan el comportamiento y la fracción fina colabore en la resistencia dando una cohesión intergranular.

5 UNIDADES GEOTECNICAS

5.1. DEFINICION DE UNIDADES GEOTECNICAS

La definición de las siguientes Unidades se realizó a partir de la interpretación de perfiles geotécnicos, dentro de los cuales se consideraron las variaciones verticales y laterales de los materiales que constituyen a los suelos, así como las variaciones del contenido de agua y de la resistencia a la penetración estandar en los mismos. En la figura 5.1 (a, b y c), se representan modificados, algunos sondeos realizados por la Comisión Federal de Electricidad, en los cuales, se pueden observar y correlacionar dichas variaciones para cada Unidad.

UNIDAD A :Suelos Residuales generados a partir de Rocas Sedimentarias (Lutitas, Areniscas y Margas).

Unidad constituida, de manera general, por arcillas de plasticidad media a alta, que en ocasiones presentan intercalaciones o lentes de limos, arenas muy finas o grumos calcáreos cerca de la superficie (0.5 a 1.0 m), suelen tener un alto contenido de materia orgánica. La potencia de los estratos es muy variable debido a que en algunos lugares no se tienen las condiciones morfológicas adecuadas para su preservación y los materiales son transportados o cubiertos por depósitos aluviales de poco espesor. En los sondeos analizados, estos materiales alcanzan aproximadamente hasta 7 m, hacia los cuales se presentan las características propias de lutitas alteradas.

En las capas orgánicas superficiales (OH), el contenido de agua (w) es menor que el Límite Plástico (LP), pero en general, en los primeros metros estos suelos tienen un alto contenido de agua ($w > LP$) y son de consistencia suave a media (Número de golpes en la Penetración Estandar: $5 < N < 30$), sin embargo, con la profundidad la consistencia aumenta notablemente hasta llegar a ser muy alta ($N > 60$), y el contenido de agua se mantiene próximo al Límite Plástico; en estas condiciones los suelos son prácticamente Lutitas.

La susceptibilidad a la erosión de los suelos de esta Unidad es en general elevada.

Estos suelos siguen la distribución de las rocas sedimentarias Terciarias que afloran casi paralelamente a la costa del Golfo de México y se han localizado específicamente, en las regiones de Misantla, Martínez de la Torre, El Espinal y desde Poza Rica hacia Tuxpan, en donde se encuentran ocasionalmente interrumpidos por depósitos aluviales.

UNIDAD B : Suelos Residuales generados a partir de Rocas Igneas Extrusivas (Basaltos, Andesitas y Tobas).

Esta unidad está constituida por arcilla, limo, arena y grava en diferentes proporciones de acuerdo a la composición y textura de la roca que les dió origen, por lo que se puede subdividir en las siguientes subunidades:

B1 : Suelos formados a partir de Basaltos y Andesitas.

Los suelos originados de rocas básicas consisten principalmente en arcillas limosas o limos arcillosos de plasticidad media a alta; con intercalaciones de limos arenosos, vidrio volcánico y/o bolsas de arena; estos suelos son generalmente de poco espesor. Su consistencia aumenta a medida que lo hace la profundidad y el contenido de agua se mantiene más o menos constante en el 60% (W = LL). Se distribuyen irregularmente en la región del Eje Neovolcánico, y se analizaron particularmente en la zona de Jalapa y en la de Punta Limón.

Los suelos formados a partir de rocas volcánicas intermedias son semejantes a los de rocas básicas, solo que estos presentan mayor contenido de limos arenosos y al aumentar la profundidad disminuye el contenido de arcilla, hasta llegar a ser brechas alteradas cuyas fracturas están rellenas de arcilla y calcita. Se localizan principalmente en la región del Eje Neovolcánico.

B2 ; Suelos formados a partir de tobas.

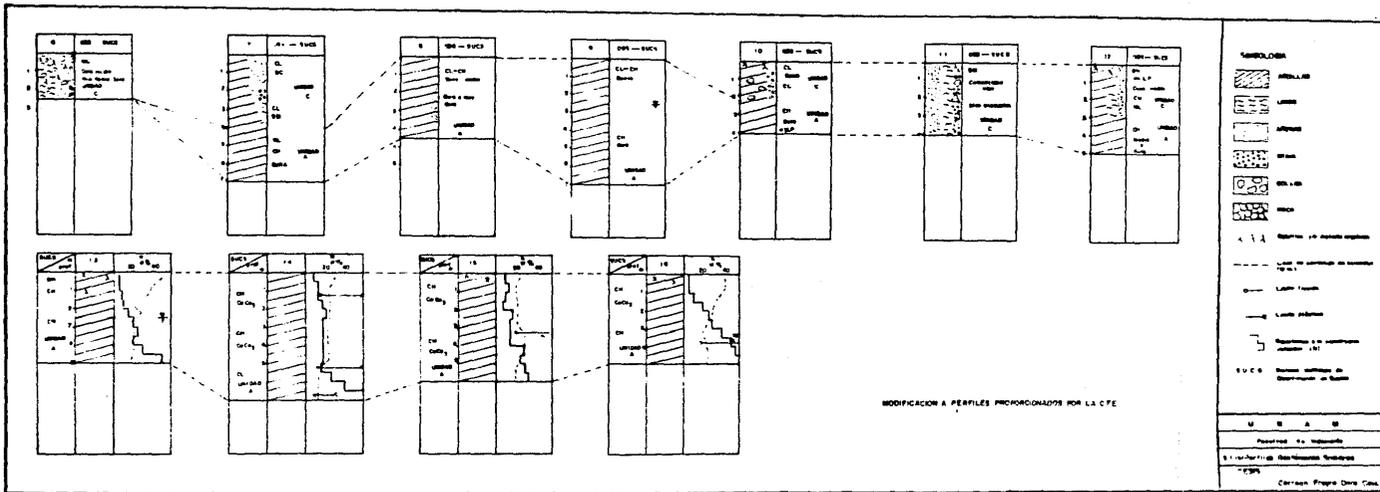
Esta subunidad se compone de limos arcillosos, limos arenosos, arenas con gravas y arenas pumíticas con limos poco plásticos, generalmente se presenta en espesores de 3 a 5 m y puede estar cubierta por depósitos aluviales. Las arcillas suelen ser de alta plasticidad y consistencia dura y los materiales granulares son de compacidad media a alta con cierto grado de cementación; a excepción de las arenas pumíticas que tienen menor compacidad. Se encuentra distribuida principalmente en la región de Cofre de Perote y Jalapa.

UNIDAD C : Suelos transportados asociados a procesos aluviales eólicos y litorales.

La principal característica de ésta unidad radica en la heterogeneidad de los materiales que la constituyen y en consecuencia de su comportamiento mecánico. Se tiene todo tipo de materiales: Arcillas y limos con materia orgánica y arenas finas uniformes muy sueltas generalmente en depósitos superficiales; gravas y boleos de diferentes composiciones, subangulosos y subredondeados empacados en una matriz limo - arcillosa con carbonato de calcio, fragmentos de conchas, lentes y/o bandas limo - arcillosos, etc. localizados a profundidades variables.

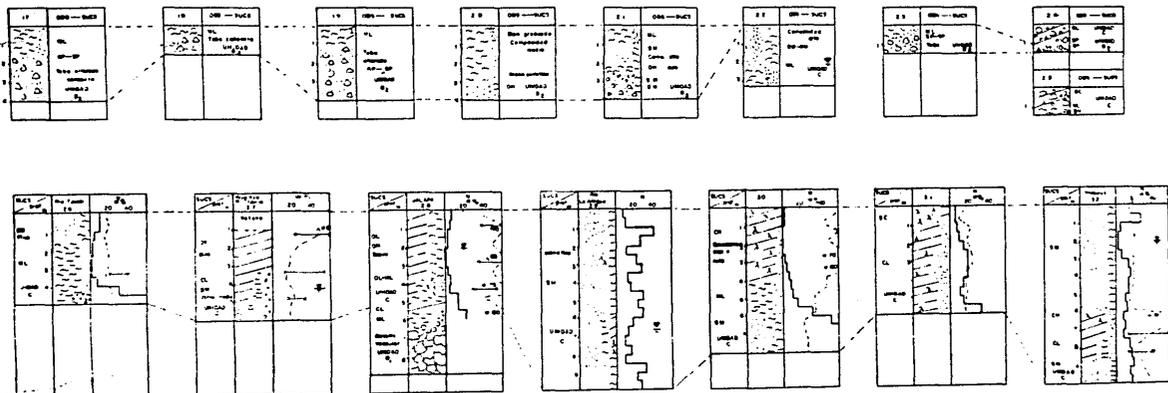
Estos materiales se encuentran cubriendo parcialmente a las rocas sedimentarias y volcánicas de la región, y se distribuyen principalmente en la zona de la Ciudad de Veracruz que corresponde a la Llanura Costera del Golfo Sur, a lo largo de toda la planicie costera y en los cauces y llanuras fluviales de los principales ríos: Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Misantla, Palma Sola y la Antigua.

Los principales problemas que puede ocasionar esta unidad son, en primer lugar los asentamientos diferenciales que pueden ser producidos por la consolidación de arcillas o la licuación de arenas debido a las diferencias de consistencias y compacidades ; y en segundo lugar, los problemas de agua que ocasiona el que de manera general, debido a las condiciones fisiográficas, el nivel freático tiene poca profundidad (2 a 3 m) en esta unidad. Cabe mencionar, que la compacidad y capacidad de carga de estos depósitos suele aumentar con la profundidad cuando están constituidos por materiales bien clasificados.



- LEYENDA**
- L. 1.1
 - L. 1.2
 - L. 1.3
 - L. 1.4
 - L. 1.5
 - L. 1.6
 - L. 1.7
 - L. 1.8
 - L. 1.9
 - L. 1.10
 - L. 1.11
 - L. 1.12
 - L. 1.13
 - L. 1.14
 - L. 1.15
 - L. 1.16
 - L. 1.17
 - L. 1.18
 - L. 1.19
 - L. 1.20
 - L. 1.21
 - L. 1.22
 - L. 1.23
 - L. 1.24
 - L. 1.25
 - L. 1.26
 - L. 1.27
 - L. 1.28
 - L. 1.29
 - L. 1.30
 - L. 1.31
 - L. 1.32
 - L. 1.33
 - L. 1.34
 - L. 1.35
 - L. 1.36
 - L. 1.37
 - L. 1.38
 - L. 1.39
 - L. 1.40
 - L. 1.41
 - L. 1.42
 - L. 1.43
 - L. 1.44
 - L. 1.45
 - L. 1.46
 - L. 1.47
 - L. 1.48
 - L. 1.49
 - L. 1.50
 - L. 1.51
 - L. 1.52
 - L. 1.53
 - L. 1.54
 - L. 1.55
 - L. 1.56
 - L. 1.57
 - L. 1.58
 - L. 1.59
 - L. 1.60
 - L. 1.61
 - L. 1.62
 - L. 1.63
 - L. 1.64
 - L. 1.65
 - L. 1.66
 - L. 1.67
 - L. 1.68
 - L. 1.69
 - L. 1.70
 - L. 1.71
 - L. 1.72
 - L. 1.73
 - L. 1.74
 - L. 1.75
 - L. 1.76
 - L. 1.77
 - L. 1.78
 - L. 1.79
 - L. 1.80
 - L. 1.81
 - L. 1.82
 - L. 1.83
 - L. 1.84
 - L. 1.85
 - L. 1.86
 - L. 1.87
 - L. 1.88
 - L. 1.89
 - L. 1.90
 - L. 1.91
 - L. 1.92
 - L. 1.93
 - L. 1.94
 - L. 1.95
 - L. 1.96
 - L. 1.97
 - L. 1.98
 - L. 1.99
 - L. 1.100

U	M	A	M
Proyecto de Ingeniería			
Escuela de Ingeniería			
Carrera: Ingeniería de Alimentos			
Código: 1000			
Carrera: Ingeniería de Alimentos			



MODIFICACION A PERFILES PROPORCIONADOS POR LA CFE

SOLUCIONES

- SOLUCIONES
- A.A.
- Asfalto
- Lodo (arena)
- Lodo (limon)
- Muestra de la perforacion (tubo 100)
- Muestra (perfil de) (perfil de)

U M S M

Perfil de ingenieria

5 (1) Muestras Geotecnicas Saneamiento

YES45

Carretera Puyco-Dora C.

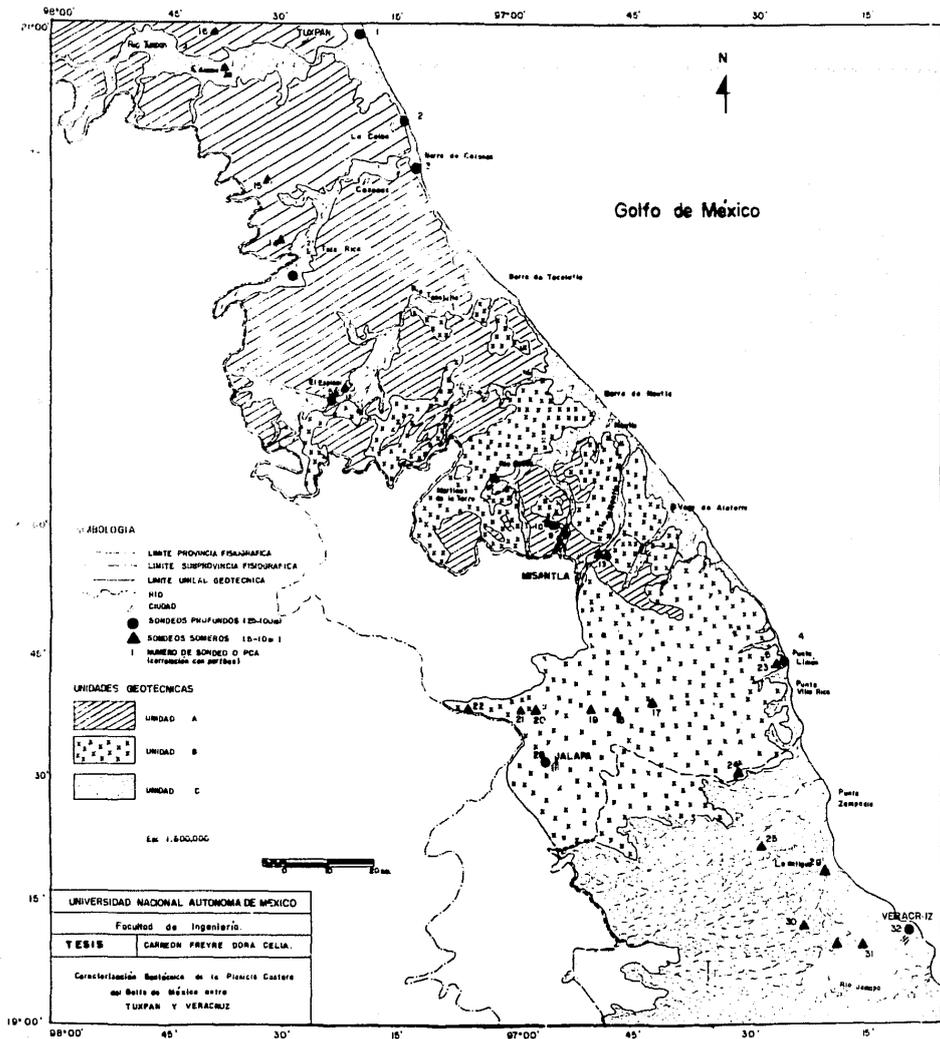
5.2. TABLA DE CORRELACION GEOLOGICO - GEOTECNICA DE LOS SUELOS LOCALIZADOS EN LA PLANICIE COSTERA DEL GOLFO Y MAPA DE CARACTERIZACION SUPERFICIAL

En la tabla siguiente, se muestra la relación existente entre las condiciones geológicas de una zona y las características mecánicas de los suelos que se presentan en la misma. Cabe resaltar que el desarrollo de dicha tabla sigue una secuencia inversa a la del presente trabajo, esto es que ahora se conduce a las características fisiográficas y geológicas a partir de las condiciones mecánicas de los materiales, de manera que se estos puedan ser ubicados dentro de su contexto geológico, con el objeto de mostrar que el comportamiento mecánico de estos materiales depende de sus condiciones de formación e incluso, de cierta manera, de las condiciones de formación de las rocas que les dan origen.

La distribución de las Unidades antes definidas, se presenta en el mapa de Caracterización Geotécnica, también contenido dentro de esta sección.

Tabla 5.1. Corrección GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA

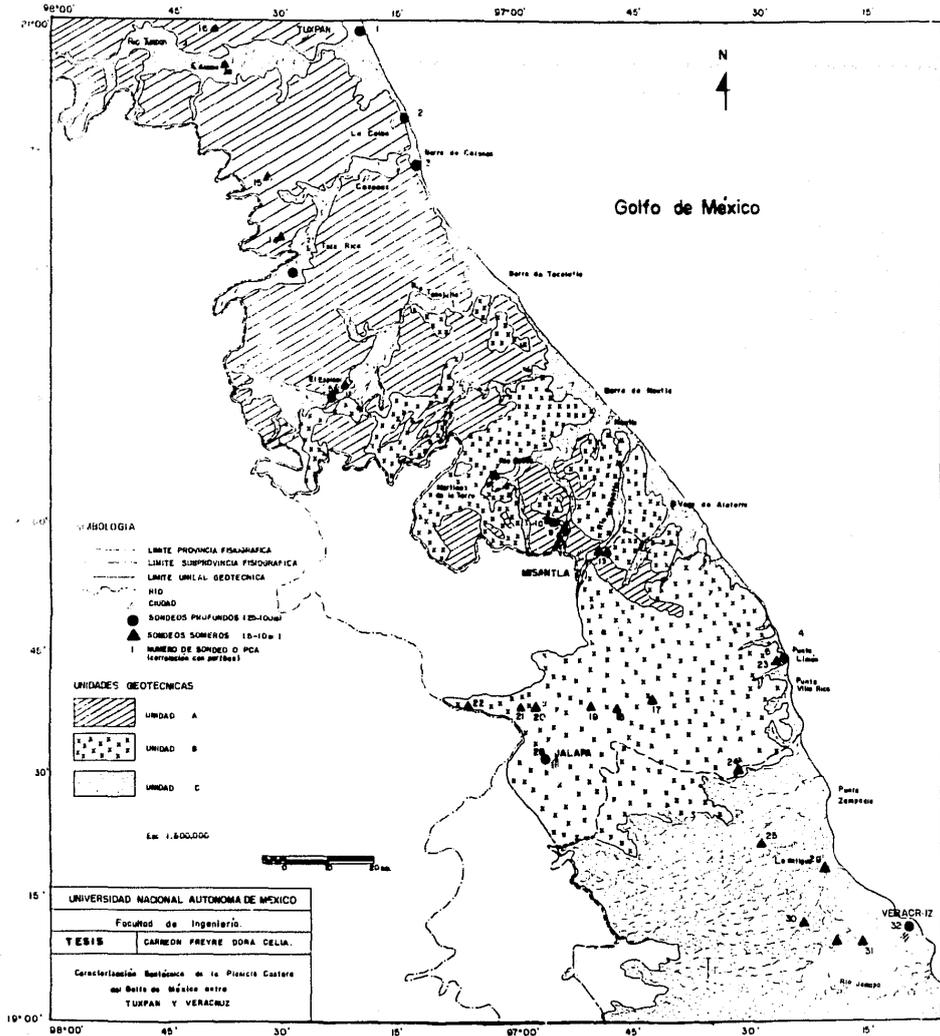
Unidades Geotécnicas	Distribución	Propiedades y Consideraciones Ingenieriles	Componentes	Clasificaciones de Suelos	Mecanismos de Formación	Fisigrafía	Cond. Geomorfológicas	Entidades Geológicas y Estratigrafía
A Suelos residuales originados a partir de Rocas Sedimentarias (Lutitas, Areniscas y Margas)	- Paralela a la línea de costa - Misantla. - El Espinal. - Poza Rica - Tuxpan. - Martínez de la Torre.	- WLP, disminuye a profundidad WLP SHCO en superficie hasta NG60 a profundidad; esto es, alta compresibilidad en superficie (depende del contenido de agua). - Espesores variables. - Alta susceptibilidad a la erosión. - Pueden generar grandes problemas de estabilidad, sobre todo en laderas.	- Arcillas de plasticidad media alta - Carbonato de Calcio. - Limos y arenas muy finas ocasionales. - Materia orgánica en superficie.	Suelos residuales <u>SUS</u> , CL - CH <u>Edafología</u> - Vertisols principalmente. - Luvisols. - Feozems. - Gleysols	- Intemperismo químico principalmente (fase silícea con calcificación) - Se generan materiales en erosión (como el CaCO ₃), materiales resistentes y planicies disectada por los ríos: Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Pinos, Tuxpan, Cazonautla y Misantla.	Llanura Costera del Golfo Norte. Sub-provincia de Llanuras y Loserrios. Clima cálido y semicálido húmedo Zona de pendientes suaves y planicies disectada por los ríos: Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Pinos, Tuxpan, Cazonautla y Misantla.	Procesos denudatorios que actúan sobre las secuencias arcillo-areniscas y carbonatadas Zona de pendientes suaves y planicies disectada por los ríos: Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Pinos, Tuxpan, Cazonautla y Misantla.	Cuenca Sedimentaria Tuxpan-Misantla de edad Terciaria (se extiende desde Tuxpan hasta Misantla) - El levantamiento post-terciario de las rocas carbonatadas (cretácicas de lugar a la costa de erosión en la que se depositan sedimentos marinos cuya edad aumenta conforme lo hace su distancia a la línea de costa). Formaciones principales: (Bacopote, Guayabal, Palma Real, Beón y Tuxpan)
B Suelos residuales originados a partir de Rocas Volcánicas (Basaltos, Andesitas y Tobas)	- Jalapa. - Punta León. - Cofre de Perote. - Martínez de la Torre.	- WLP mas o menos constante, aproximado al LL. - La resistencia a penetración aumenta con la profundidad. - Compacidad media - alta. - Compresibilidad en general baja aunque pueden presentar asentamientos. - Semipermeables a permeables. - Alta susceptibilidad a la erosión.	- Para B1: Arcillas y limos, arenas y gravas en menor proporción, en la roca alterada se tiene arcilla y caliza en las fracturas. - Para B2: Limos arenosos, limos arcillosos, vidrio volcánico, arena puzolana y arena con gravas.	Suelos Residuales <u>SUS</u> B1: OL - OH en superficie, ML, SM y CH. B2: OL-OH, ML-SH, SW, SP y GP. <u>Edafología</u> - Vertisols. - Andosols	- Intemperismo Químico principalmente en B1 (fase Alúlica) - Intemperismo Físico principalmente en B2 (gravas, arenas y limos)	Eje Neovolcánico, parte de la subprovincia de la Sierra de Chicontepec. Clima semicálido húmedo con lluvias en Verano. Zona de laderas abruptas asociadas a caudales, torrentes y planicies.	Denudación de estructuras volcánicas y acumulaciones aluviales locales. Zona de laderas abruptas asociadas a caudales, torrentes y planicies.	Eje Neovolcánico, de edad Terciario Sup - Cuaternario Estratos basáltico-alcálicos que cubren la región triangularmente, forman derrames volcánicos, conos cónicos, volcanes con puestas y material piroclástico e indiferenciados. Se presentan principalmente: Basaltos, Andesitas y tobas ácidas e indiferenciados.
C Suelos transportados (Aluviales Eólicos y de Litoral)	- Al Oeste de la Cd de Vera Cruz - Cauces de los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Bantúa y Palma Soia Misantla. - Llanura costera	Propiedades altamente heterogéneas en su distribución lateral y a profundidad. - WLP mayor en superficie debido a la infiltración. - Semipermeables. - H.L. superficial generalmente. - Espesores variables, entre frecuentemente a formaciones y suelos de origen ípico y sedimentario. - En general la capacidad de carga aumenta con la profundidad. - Se pueden producir asentamientos diferenciales.	Materiales diversos - Arcillas, limos, arenas finas y gruesas, gravas y bolos subangulosos a subredondeados de diferentes orígenes: carbonatos de calcio, fragmentos de conchas.	Suelos Transportados. <u>SUS</u> OL-OH en superficie, CL, CH, ML, SM, SC, SW, SP, GP, GC y SU. <u>Edafología</u> - Gleysols. - Feozems.	- Erosión. Tres mecanismos de transporte: a) Transporte por agua. Corrientes fluviales y marinas (gran selección variable). b) Transporte por gravedad (gran selección nula). - Deslizamientos. - Fijos. - Separación. c) Transporte por aire en la zona litoral (buena gran-selección).	Porción septentrional de la Llanura Costera del Golfo Sur. Subprovincia de Sistemas de lomeríos del Oeste. Clima cálido húmedo y subhúmedo con lluvias en Verano. Zona de planicies con Areas inundables o pantanosas.	Medios Sedimentarios. Aluviales. Aluviales, Llanuras de inundación y Margenes. Litorales: Playas, Deltas y Llanuras de sales. Eólico. Dunes tipo terzales en la costa.	Cuenca de Veracruz, de edad Cenozoico Inferior. Antefosa formada a lo largo de la margen occidental de la Sierra Madre Oriental, cubierta por depósitos recientes Terciario Superior - Cuaternario).



Golfo de México



VERACRUZ



6 ESTUDIO DE UN CASO: LA ZONA DE MISANTLA

6.1. INTRODUCCION

En las inmediaciones de la Ciudad de Misantla se ha presentado una serie de desplazamientos regionales sobre los terrenos constituidos por lutitas y areniscas. Estos desplazamientos han sido objeto de varios estudios que han destacado la íntima relación existente entre las condiciones geológicas, meteorológicas y mecánicas de la región así como la importancia de comprender la evolución del medio físico sobre el que es emplazada una obra civil.

Los trabajos realizados, en especial por la Comisión Federal de Electricidad, comprenden diferentes tipos de estudios tanto en campo como en gabinete, tales como interpretación fotogeológica, levantamientos a detalle y semidetalle, perforaciones con control piezométrico e inclinometría, control topográfico, estudios geofísicos, etc.. Dichos estudios tuvieron por objeto definir la columna geológica de la región y la distribución de los materiales más afectados por los deslizamientos para zonificarlos de acuerdo al avance de los procesos erosivos y a su estabilidad.

Dichos estudios permitieron conocer los factores que propiciaron la inestabilidad del terreno y por consiguiente las diferentes opciones para la mejor ubicación de cualquier proyecto de ingeniería civil en la región.

6.2. GENERALIDADES

La región estudiada se localiza en las cercanías de la Cd. de Misantla Ver., aproximadamente 50 km al norte de Jalapa (Fig.6.1); se presenta un clima cálido a semicálido, húmedo con lluvias todo el año, sin embargo en Otoño ocurren numerosas precipitaciones torrenciales; de acuerdo a la estación meteorológica de Misantla se tiene un promedio anual de lluvias de 2133 mm.

Fisiográficamente la región está ubicada en los límites entre la provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte y la provincia del Eje Neovolcánico (INEGI, 1988). Se tiene una zona elevada formada por las sierras al SW de la Cd. de Misantla que corresponde a los afloramientos de rocas Cretácicas y emplazamientos volcánicos, y una zona de planicies formada por los afloramientos de rocas Terciarias.

La red de drenaje es variable, de manera general está formada por corrientes consecuentes de carácter dendrítico y se encuentra más desarrollada en las zonas planas constituidas por lutitas y areniscas Terciarias que en las rocas volcánicas que afloran en la región.

La mayor parte de la vegetación de la región es de baja altura y está constituida por cañaverales, pastizales, huertos, etc., cuyas raíces son poco profundas

6.3. CONDICIONES GEOLOGICAS DEL AREA

ESTRATIGRAFIA.

La zona estudiada se encuentra en el límite meridional de la Cuenca Sedimentaria Tampico - Misantla, en la cual, se depositaron varias secuencias de lutitas y areniscas producidas por la erosión de las elevaciones generadas durante la Orogenia Laramide que se localizan al Oeste de la Planicie Costera del Golfo de México. Por otro lado, durante el Cuaternario, las manifestaciones del Eje Neovolcánico cubrieron parcialmente la región con tobas y basaltos. De acuerdo a las observaciones anteriores, la secuencia sedimentaria de la región se inicia con las rocas Cretácicas localizadas en las sierras hacia el occidente del área, y los sedimentos más recientes y de menor consistencia afloran en los bordes de las sierras y en la Planicie Costera de Golfo (Arvizu, 1989) (Figs. 6.2 y 6.3).

De acuerdo a su litología se tienen varias secuencias de materiales en la región:

- *Calizas*

Estas rocas son duras y densas con gran cantidad de micro y microfósiles, nódulos de pedernal negro y delgadas intercalaciones de lutita negra carbonosa; de acuerdo a su litología, pueden corresponder a las Formaciones Tamaulipas Superior, Abra y Tamabra, depositadas durante el Cretácico Inferior-Medio que evidencian un cambio de facies de cuenca a plataforma en esta región. Afloran hacia el sur de la ciudad de Misantla.

- *Calizas y Lutitas*

Secuencia alternante de gran potencia de calizas, margas y lutitas delesnables que pueden corresponder a las Formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez del Cretácico Superior. Durante este periodo se inicia el depósito de materiales detríticos asociado al levantamiento Laramidico de la porción occidental de la zona.

Debido a su composición, estas rocas son muy inestables al saturarse pues el carbonato de calcio es disuelto y disminuye notablemente su resistencia; afloran hacia el SW de Misantla.

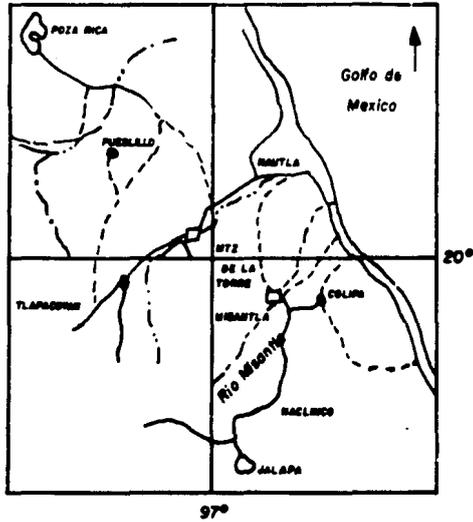


Fig 6.1 Croquis de localización

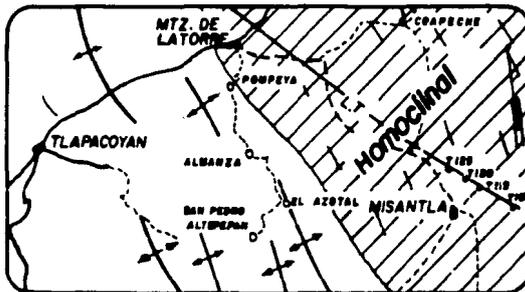


Fig 6.2 Estructuras geológicas (Arvizu G.L., 1989)

- Lutitas y Areniscas

Secuencia de lutitas y areniscas alternadas con una tendencia estructural de N30°W-15°NE. Las lutitas presentan fractura concoidal y superficialmente se presentan desgajadas por la deshidratación, son poco compactas, friables y con un alto contenido de carbonato de calcio; en la mayoría de los afloramientos se presentan como rocas alteradas o como suelo lutítico. Las areniscas son de grano fino a medio con matriz calcárea y cristales de plagioclasa, cuarzo y ferromagnesianos.

Estos depósitos terrigenos tuvieron lugar durante la mayor parte del Cenozoico y pueden corresponder entre otras a las Formaciones Guayabal, Chapopote y Palma Real (Eoceno-Oligoceno) las cuales tienen una amplia distribución en la región de Misantla.

De acuerdo a sus condiciones, la secuencia litológica se puede subdividir en:

U1: Alternancia de lutitas semicompactas y areniscas calcáreas compactas muy resistentes a la erosión que se distribuyen en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental formando lomerios.

U2: Unidad constituida principalmente por lutitas bentónicas con estratos arenosos irregulares disgregables de grano fino. Estos materiales presentan una cubierta de alteración muy potente (aprox. 16 m), que debido a sus condiciones físico-químicas retiene mucha humedad lo que le proporciona gran plasticidad y escasa resistencia, y por lo tanto una alta susceptibilidad a generar deslizamientos masivos. Constituyen cerros de fuertes pendientes con drenaje bien desarrollado que afloran en casi toda la región de Misantla.

U3: Alternancia de lutitas y areniscas semicompactas semejantes a las de la U1, ambas unidades son consideradas estables.

- Rocas Volcánicas

Las formaciones ígneas de esta zona se asocian a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico de edad Terciario Superior-Cuaternario (Morán, 1986).

Se tienen tres tipos de manifestaciones volcánicas que cubren heterogeneamente a las rocas subyacentes: derrames o remanentes de derrames, bloques aglomeráticos con fragmentos angulosos y tobas basálto-andesíticas. Estos depósitos yacen con una posición inclinada acorde al echado regional y forman lomerios irregulares y mesas que afloran hacia el SW y NE de Misantla. En general las rocas basálticas y aglomeráticas están altamente intemperizadas y su espesor varía de 15 a más de 80 m.

- Depósitos Recientes

Depósitos principalmente de origen aluvial constituidos por cantos volcánicos bien redondeados, gravas, arenas, limos y arcillas que se localizan en el cauce meándrico actual de los ríos Misantla, Chapachapa y Quilate; también se encuentra material volcánico de acarreo empacado en una matriz arenosa que fueron depositados en antiguas planicies de inundación y que actualmente forman terrazas aluviales con cortes verticales de 8 a 10 m de altura.

ESTRUCTURAS.

De acuerdo a su estructura, las regiones abruptas corresponden a anticlinales y sinclinales simétricos suaves y la planicie esta formada por un homoclinal inclinado ligeramente hacia el NE (10 a 13°), con algunos lomeríos de pendiente suave (Fig.6.4).

6.4. CONDICIONES DE INESTABILIDAD

6.4.1. FACTORES.

Los deslizamientos que tienen lugar en la región estudiada son propiciados por la acción de los mecanismos de erosión en el medio, la cual depende de tres tipos de factores: (a) Geológicos, (b) Metereológicos y (c) Mecánicos.

a) Factores Geológicos.

El tipo de litología es de gran importancia pues las lutitas y areniscas que predominan en la región, generan suelos altamente susceptibles a la erosión y por lo tanto muy inestables. Edafológicamente dichos suelos están clasificados como Luvisoles con horizontes Ortico y Crómico, y corresponden a acumulaciones arcillosas de color rojizo con mediana permeabilidad y de origen residual (Orozco S., 1970).

La inestabilidad en estos materiales se acentúa cuando se tienen echados desfavorables en la estratificación y cuando la pendiente del terreno es alta.

b) Factores Metereológicos.

En los lugares en donde la pluviosidad es más intensa se presenta mayor inestabilidad en los materiales, sobre todo durante el otoño cuando se tienen precipitaciones torrenciales y aumenta la relación del escurrimiento sobre la infiltración lo que produce una mayor erosión superficial. Además, es de gran importancia el efecto desestabilizador del agua pluvial infiltrada, mismo que se comenta a continuación (Figs. 6.5 y 6.6).

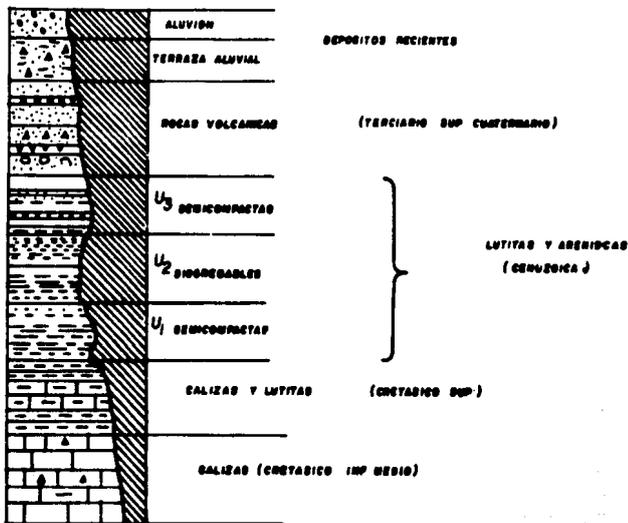


Fig 6.3 Columna litológica (Modificada de Arvizu G.L, 1989)

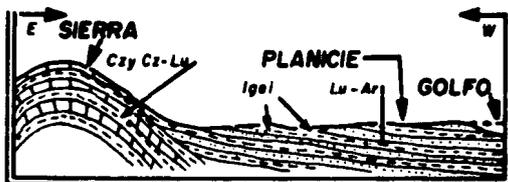
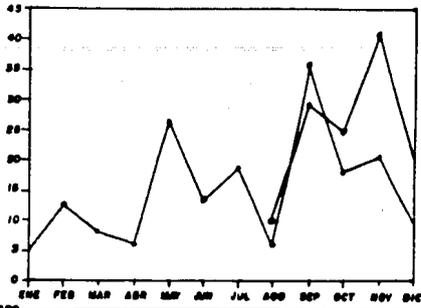


Fig 6.4 Secuencias sedimentarias Sierra-Planicie (Arvizu G.L, 1989)

Distribución
promedio (mm/día)



Precipitación
mensual (mm)

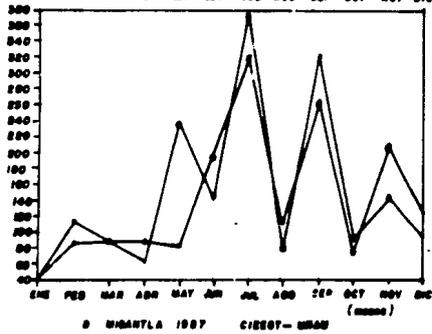


Fig 6.5 Distribución Temporal de la lluvia (Citada por Ramirez R, 1988)

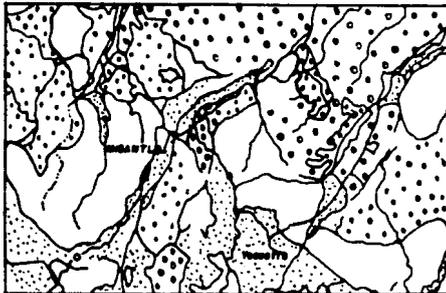
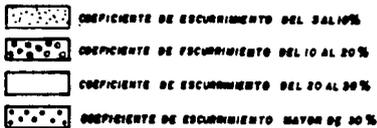


Fig 6.6 Permeabilidades en la región estudiada en función de las curvas de igual coeficiente de escurrimiento.

(Citada por Ramirez R, 1988)



c) Factores Mecánicos.

Desde el punto de vista mecánico el agua es el principal agente desestabilizador en los materiales sedimentarios y los afecta de dos maneras principalmente; En primer lugar al infiltrarse en los suelos con drenaje deficiente disminuye su fuerza cohesiva porque disuelve los carbonatos que actúan como cementante, y al sobresaturar estos suelos, aumenta la presión intersticial y el peso propio de los mismos de manera que pueden generarse esfuerzos mayores que la resistencia al corte que propician los deslizamientos.

En segundo lugar las capas superficiales de lutitas y areniscas se mantienen estables gracias al confinamiento lateral que les da su continuidad pero este es roto por el cauce labrado por los arroyos durante el escurrimiento del agua de lluvia, es por esto que los movimientos se manifiestan en dichos arroyos, los cuales pueden ser a su vez, un producto de el fenómeno de sobresaturación pues con la constante hidratación y deshidratación de las lutitas y areniscas se forman grietas de tensión en las cuales se acumula el agua, ejerciendo presiones hidrostáticas que aumentan la inestabilidad (Fig. 6.7).

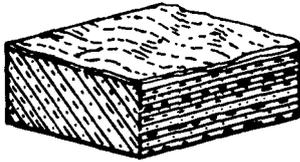
6.4.2. MANIFESTACIONES.

La superficie del terreno sufre deslizamientos masivos desarticulados o desprendimientos de bloques de diferente magnitud que avanzan, de manera general, hacia las zonas erosionadas por el drenaje debido a que las lutitas y areniscas tienden a encontrar su nivel base de erosión en el cauce de los arroyos. El material transportado es sustituido por el que viene deslizando atrás, por lo que el fenómeno es progresivo.

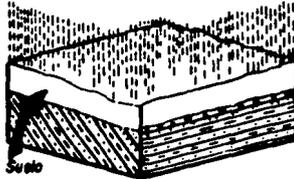
Morfológicamente las masas deslizadas se manifiestan por superficies rugosas y fracturadas, amontonamientos en forma de bordos en las partes bajas como si fueran escalinatas de pendientes suaves y fisuras de tensión en las partes altas que favorecen la infiltración del agua de lluvia. Se pueden observar también secuencias sedimentarias desarticuladas y afloramientos en forma de ventanas en los arroyos.

Las formas erosivas que evidencian los desplazamientos son:

- Escarpes. Producidos por fallas gravitacionales lineales o de cuchara que presentan saltos variables desde 0.5 a 3.0 m, presentan pendientes de 30 a 60° que limitan depresiones, ocurren en las porciones superiores y avanzan de acuerdo a la topografía.
- Deslizamientos Menores. Se localizan en las laderas de los arroyos y son de forma circular.
- Material de Derrubio. Es una mezcla de lodo producido por la alteración de Lu - Ar y fragmentos de rocas volcánicas y sedimentarias que forman masas de terreno amorfas en los arroyos.

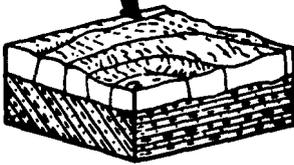


PRECIPITACION



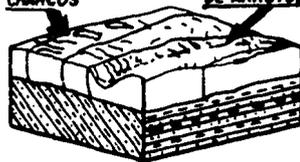
Lutitas y areniscas Sobrecargadas

FALLAS DE TENSION

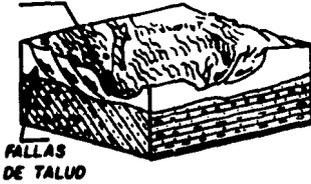


FORMACION DE ARROYOS

CHARCOS



**Transporte de material en
suspension y fricción de fondo**



FALLAS DE TALUD

Fig 6.7 Condiciones de los deslizamientos (Arrizu G.L., 1989)

- Drenaje. Se encuentra más desarrollado en las Lu - Ar, es deficiente porque los deslizamientos en las laderas lo cortan y ocasionan que los arroyos crezcan más rápidamente en forma horizontal, tal es el caso de los arroyos Hueso Blanco y El Buey.
- Lagunas y Ojos de Agua. Se forman cuando al saturarse las Lu - Ar se forman niveles freáticos colgados debido a que hay una barrera impermeable abajo, son comunes en los contactos entre rocas sedimentarias y rocas volcánicas, son una manifestación de la deficiencia del drenaje.

La velocidad de los movimientos depende de la viscosidad que adquiere la masa de sedimentos, y principalmente de la pendiente del terreno. El análisis de las pendientes en las zonas inestables ha permitido correlacionarlas con su litología de la siguiente manera:

- Planicies ($0.5-3^{\circ}$), localizadas en los playones del Río Misantla, arroyos secundarios y en las partes altas de las mesetas volcánicas. Estos lugares son los más estables.
- Laderas de Pendiente Suave ($3-6^{\circ}$), se presentan en rocas sedimentarias y en afloramientos alargados de rocas volcánicas. Son zonas inestables con superficies irregulares.
- Laderas de Pendiente Media ($6-15^{\circ}$), forman zonas de transición entre las formaciones sedimentarias y los afloramientos volcánicos más elevados.
- Laderas de Pendiente Moderada ($15-30^{\circ}$), se localizan en los márgenes de los arroyos principales, esto es con mayor grado de erosión.
- Laderas de Pendiente Fuerte ($>30^{\circ}$), corresponden a escarpes producidos por asentamientos en el terreno y a las fallas de talud de los arroyos principales.

De acuerdo a este análisis se pueden identificar áreas inestables manifestadas por cambios importantes de pendiente.

6.4.3. TRABAJOS DE EXPLORACION DIRECTA.

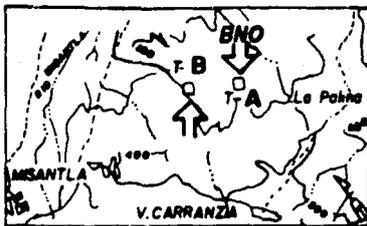
Debido a que las manifestaciones de inestabilidad han afectado entre otras estructuras a las torres de algunas líneas de transmisión eléctrica, la C.F.E. realizó dos barrenos para conocer la litología y el espesor de la zona sobresaturada (piezómetros) y para instalar inclinómetros que permitieran registrar las deformaciones del subsuelo, además de obtener muestras para pruebas de laboratorio.

Los barrenos perforados se localizan en las torres: A (35 m de prof.) y B (50 m de prof.) de la línea de transmisión que va hacia Poza Rica, porque es en estas torres en donde se detectaron los mayores movimientos. De Mayo a Junio de 1987, la torre A se desplazó 2.32 m y la torre B, 1.94 m (Fig. 6.8).

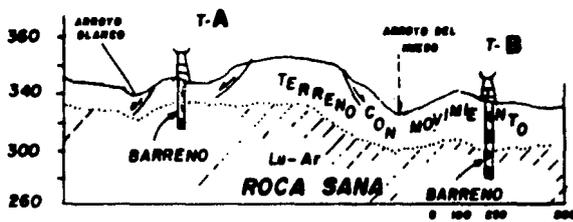
Del análisis de inclinometría se deduce lo siguiente (Ramírez, 1988) (Fig.6.9):

- Las capas superiores del subsuelo deslizan sobre niveles bien definidos y presentan un movimiento basculatorio. Se ha inferido que el contacto entre los materiales alterados y sanos constituye un plano de deslizamiento.
- El subsuelo parece estar dividido en bloques separados por discontinuidades y cada bloque se distorsiona de manera distinta.
- Como los desplazamientos registrados por los inclinómetros fueron más pequeños que los medidos en superficie, se supone la existencia de otros planos de deslizamiento a profundidades mayores de las exploradas.

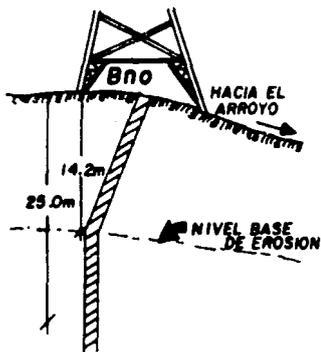
Para registrar la presión intersticial del subsuelo, las perforaciones fueron adecuadas para utilizarse como piezómetros (op.cit.), en estos se observó que el nivel freático superficial varía de acuerdo a las precipitaciones locales, pero existe un nivel piezométrico registrado a 22 m de profundidad en la torre B que es alimentado por corrientes subterráneas que provienen de las zonas altas colindantes al Oeste. Se detectó también una presión de poro considerable en los planos de deslizamiento. (Fig. 6.10)



a) Localización de los barrenos en las torres A y B



b) Perfil geológico que muestra los espesores de roca con movimiento



c) Inclinómetro en la torre A

Fig 6.8 Exploración directa en las torres de una línea de transmisión eléctrica

(Arvizu G.L., 1989)

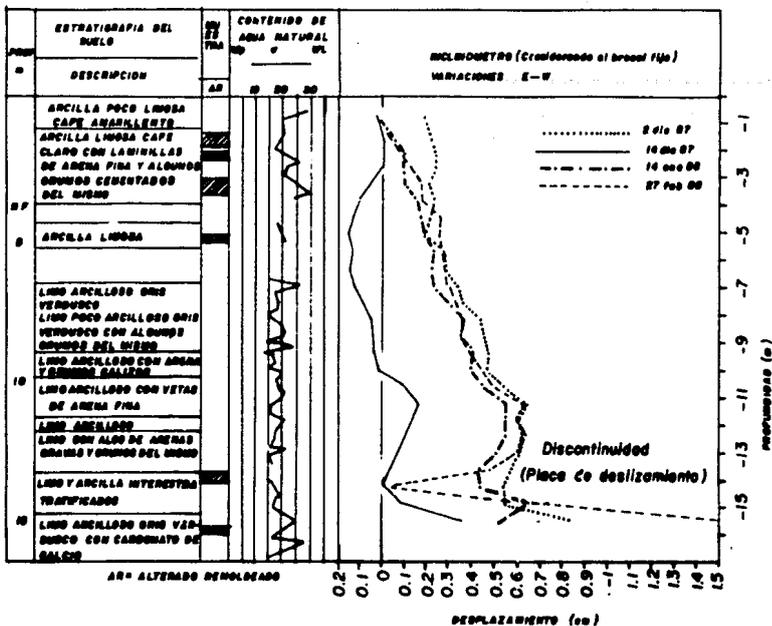


Fig 6.9 Perfil estratigráfico e inclinometría del sitio T-A (Ramirez R, 1988)

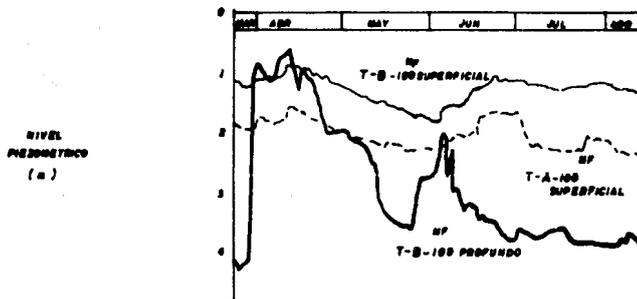


Fig 6.10 Elevaciones piezométricas (Ramirez R, 1988)

6.5. CONCLUSIONES

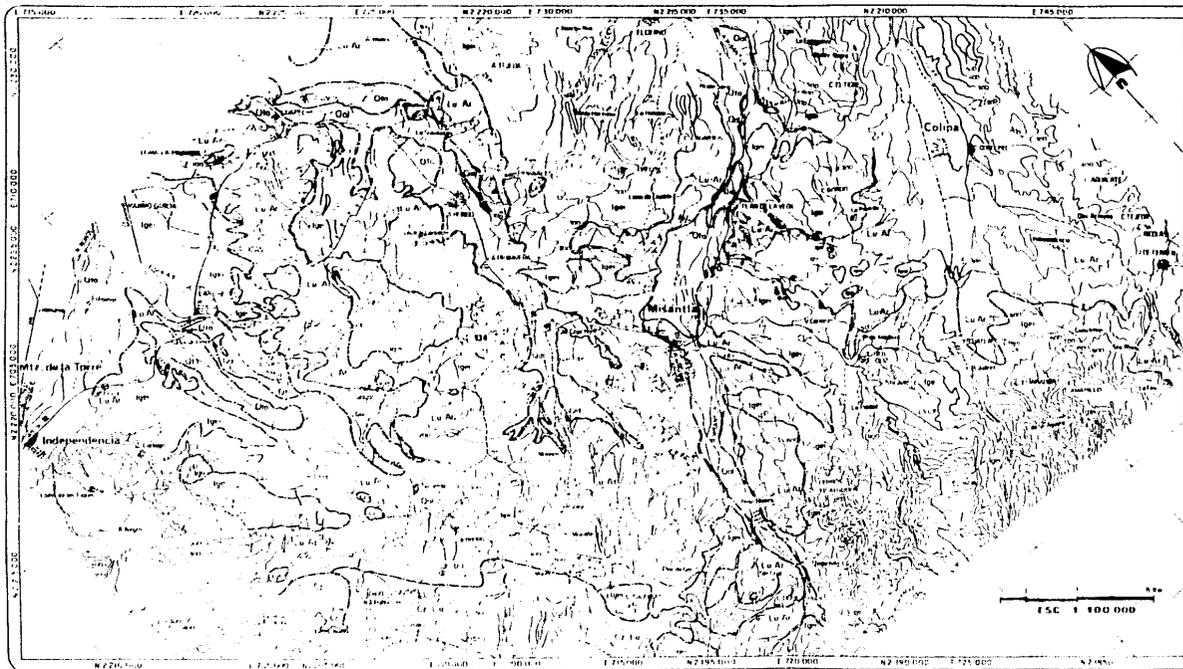
Los índices de inestabilidad en el área estudiada son:

- Estratos inclinados de Lutitas y Areniscas que al alterarse generan suelos altamente susceptibles a la erosión.
- Pendientes pronunciadas que ocasionan que los suelos se erosionen con mayor facilidad.
- Relieve accidentado que no puede explicarse solo por erosión superficial.
- Precipitaciones pluviales durante gran parte del año y lluvias torrenciales estacionales.
- Artesianismo o su posibilidad en laderas.
- Evidencias de erosión intensa (escarpes con vegetación escasa, pendientes fuertes, cicatrices frescas, etc.).
- Proximidad a francos frentes de erosión.

A partir de las observaciones anteriores se deduce que los factores geológicos determinan la susceptibilidad del medio a la erosión y los meteorológicos, la agresividad de la misma (Arvizu, 1988).

Por otra parte, los estudios realizados en la región han permitido delimitar las zonas estables, las zonas con movimientos potenciales y las zonas con movimientos registrados, de manera que se pueden considerar los factores adecuados para la mejor ubicación de un proyecto civil; como sería el localizar terrenos con pendientes favorables o rocas sanas preferentemente ígneas de espesores considerables, o bien tomar las medidas necesarias para disminuir el potencial de inestabilidad del terreno, por ejemplo crear drenajes que eviten la infiltración de agua o proteger a los materiales superficiales de la erosión con vegetación de raíces profundas.

Estos mismos criterios pueden ser aplicados en otras zonas de la planicie costera debido a que la similitud de las condiciones geológicas y meteorológicas puede propiciar fenómenos de inestabilidad semejantes; es por esto que en el presente trabajo estos materiales han sido agrupados dentro de la Unidad A (Suelos residuales de origen sedimentario, Capítulo 5) la cual se encuentra ampliamente distribuida a partir de esta región hacia la porción septentrional de la Llanura Costera del Golfo.



ESTADISTICA
Croquis de Localización
 (E. ARAYA - 1980)

Litología

- [Qd]** **Quarcita** (arenosa y limosa)
- [Qo]** **Formación Alameda**, (arenosa y limosa) (del tipo de arenisca) (del tipo de arenisca) (del tipo de arenisca)
- [Lg]** **Formación Lagunas** (arenosa y limosa)
- [Lr]** **Formación Lagunas** (arenosa y limosa)
- [Ld]** **Formación Lagunas** (arenosa y limosa)
- [Lc]** **Formación Lagunas** (arenosa y limosa)

Simbología

- [Línea]** **Línea de límite**
- [Punto]** **Punto de muestra**
- [Círculo]** **Círculo de muestra**
- [Triángulo]** **Triángulo de muestra**
- [Cuadrado]** **Cuadrado de muestra**
- [Estrella]** **Estrella de muestra**
- [Cruz]** **Cruz de muestra**
- [Oval]** **Oval de muestra**
- [Hexágono]** **Hexágono de muestra**
- [Ocho]** **Ocho de muestra**
- [Círculo con punto]** **Círculo con punto de muestra**
- [Círculo con línea]** **Círculo con línea de muestra**
- [Círculo con triángulo]** **Círculo con triángulo de muestra**
- [Círculo con cuadrado]** **Círculo con cuadrado de muestra**
- [Círculo con estrella]** **Círculo con estrella de muestra**
- [Círculo con cruz]** **Círculo con cruz de muestra**
- [Círculo con oval]** **Círculo con oval de muestra**
- [Círculo con hexágono]** **Círculo con hexágono de muestra**
- [Círculo con ocho]** **Círculo con ocho de muestra**

ESCALA 1:100 000

PLANO GEOLOGICO
 (ESTADISTICA DE MINERIA Y GEOLÓGICA, S. DE C. V.)
 1980

7 CONCLUSIONES GENERALES

Durante las diversas etapas del presente trabajo, se ha observado que la relación entre las características geológicas de una región y el comportamiento mecánico de los materiales superficiales que se localizan en la misma es tan estrecha, que no solo se expresa en la litología, estructura y clima que se observan en la actualidad, sino que se puede enfocar desde la evolución geológica regional que condiciona los procesos que generaron a dichos materiales.

En la Planicie Costera del Golfo de México se presentan las porciones de tres entidades geológicas y fisiográficas: la Cuenca Sedimentaria Tampico-Misantla, que corresponde con la Llanura Costera del Golfo Norte; el Eje Neovolcánico; y la Cuenca Cenozoica de Veracruz, que corresponde a la Llanura Costera del Golfo Sur.

El registro estratigráfico de la Cuenca Tampico-Misantla y la Cuenca de Veracruz es el mismo hasta el Eoceno-Oligoceno Inferior, lo que sugiere que hasta entonces constituían una sola provincia geológica, pero a partir del Oligoceno Medio; mientras que, para la Cuenca Tampico-Misantla se continúan los depósitos de plataforma de lutitas, areniscas y margas asociadas a diversas transgresiones y regresiones que continúan hasta el Mioceno; para la Cuenca de Veracruz los conjuntos faunísticos indican que en esta región hubo una regresión desde el Oligoceno Medio hasta el Reciente, además de que se observó una importante aportación de materiales volcánicos en los depósitos de este período. Las variaciones anteriores parecen indicar que la individualización de ambas provincias obedeció a un cambio estructural muy importante, tal vez asociado a una fase distensiva que pudiera estar relacionada con las manifestaciones volcánicas principalmente del Plioceno y que dieron lugar al Eje Neovolcánico.

Dicho cambio estructural se refleja también en algunas estructuras que se presentan en los depósitos Terciarios, por ejemplo; la Cordillera de Ordoñez, cuya formación fue propiciada por la geometría de la Cuenca Tampico-Misantla; o bien se puede mencionar la distribución de algunos paleocañones que corresponden a vertientes antiguas, las cuales se localizan principalmente en la región de la Cuenca Tampico-Misantla (los únicos paleocañones del área de la Cuenca de Veracruz, la bordean hacia su porción Noroccidental).

Además, en los pozos petroleros perforados en ambas regiones, se corta el basamento a muy diversas profundidades; en la Cuenca Tampico-Misantla se alcanza aproximadamente a los 2000 m, y en la Cuenca de Veracruz a más de 5000 m o es inferido (Lopez R., 1982), lo cual corrobora las diferencias estructurales entre ambas entidades.

Las anteriores condiciones geológicas han influido de manera determinante en la intensidad de los procesos geomorfológicos exógenos que actúan en la región; así de manera general, a excepción de la denudación efectuada por las corrientes fluviales más recientes, y debido a su morfología, litología y condiciones climáticas, en la región de la Cuenca Tampico-Misantla predomina la alteración de los materiales Terciarios, al igual que en el Eje Neovolcánico; en cambio en la Cuenca de Veracruz, predomina la acumulación de sedimentos.

La intensidad de los procesos de alteración que dan lugar a los suelos residuales, es también una consecuencia de las condiciones de formación y de la morfología de los materiales originales. En primer lugar, como los materiales sedimentarios Terciarios se formaron en condiciones más o menos semejantes a las del medio ambiente actual, presentan una velocidad de alteración menor que las rocas volcánicas, debido a que estas se forman a temperaturas elevadas en ambientes anhidros y en consecuencia están compuestas de materiales más inestables que se degradan rápidamente, por lo que presentan una elevada cantidad de óxidos de hierro (es característico su color rojizo) y de minerales coloidales. En segundo lugar, la morfología que presentan dichos materiales originales tiene gran influencia en el espesor de los suelos que generan, así, como las formaciones Terciarias presentan una topografía suave, la velocidad de erosión es baja y en consecuencia estos suelos alcanzan mayores espesores que los suelos de origen volcánico que se localizan en zonas de mesetas o lomeríos de mayor pendiente y por lo tanto, más afectados por la erosión.

En este trabajo, los suelos residuales de origen sedimentario fueron designados como Unidad A y se encuentran ampliamente distribuidos en la Cuenca Tampico-Misantla; y los suelos residuales de origen volcánico que se designaron como Unidad B, se localizan principalmente en el Eje Neovolcánico. Para la definición de las propiedades de estos materiales, fué de gran utilidad el apoyo edafológico que permitió reconocer las características correspondientes a su perfil de alteración.

De manera general, estos suelos presentan una mayor contenido de agua y materia orgánica en las capas superficiales, por lo que son muy suaves y compresibles, aunque normalmente incrementan su consistencia con la profundidad a medida que disminuye el grado de alteración de la roca.

Como consecuencia de sus características físicas y químicas, de su espesor y de las condiciones climáticas de la región, los suelos de la Unidad A pueden presentar una alta susceptibilidad a la inestabilidad, misma que se ha manifestado claramente en las inmediaciones de Misantla por la presencia de escarpes producidos por fallas gravitacionales, deslizamientos en las laderas de los arroyos y desarticulación de la red de drenaje.

Por otra parte, los suelos transportados localizados en la región fueron designados como Unidad C, la cual se encuentra distribuida en la zona de acumulación de la Cuenca de Veracruz, en los cauces de las corrientes fluviales y en la planicie costera. Es característica la heterogeneidad de las condiciones y propiedades de estos materiales debido a la alta variabilidad de la intensidad y dirección de las corrientes que transportan y depositan los sedimentos, ya sean fluviales, eólicas o marinas. Los principales problemas que se pueden presentar en estos materiales son: las diferencias de densidad y compacidad en los depósitos aluviales, la susceptibilidad a la licuación que presentan las arenas finas y limos al ser saturados, la granulometría uniforme de los depósitos arenosos eólicos y de playa, y los cambios en la distribución de los materiales en las zonas costeras como consecuencia de las variaciones climáticas de la región que modifican la intensidad y dirección de las corrientes de transporte.

La correlación entre las condiciones geológicas y geotécnicas de los materiales estudiados y su distribución superficial se muestran en la tabla 5.1 y en el mapa de la sección 5.2., los cuales resumen la información recopilada, por lo que se considera que constituyen la principal aportación del presente trabajo.

Finalmente, cabe resaltar la importancia de continuar con la integración de la información geológica y geotécnica disponible, tanto en las dependencias públicas como privadas, para lograr una correlación más detallada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS :

Arvizu L., G., y M. Brizuela V., 1989, **Estudio de Geología Aplicada**, Superintendencia de Estudios Zona Golfo, U.E.I.C., C.F.E.

Arvizu L., G., M. Brizuela V., y J.L. Garrido, 1988, **Informe Interno**, Superintendencia de Estudios Zona Golfo, U.E.I.C., C.F.E.

Bertagne, A.J., 1984, **Seismic Stratigraphy of Veracruz Tongue, Deep Southwestern Gulf of Mexico**, A.A.P.G., Bull. v.68, No.12.

Bryant, W., et.al., 1968, **Structure of Mexican Continental Shelf and Slope Gulf of Mexico**, A.A.P.G., Bull., v.52, No.7.

Carillo B., J., 1980, **Paleocañones Terciarios de la Planicie Costera del Golfo de México**, A.M.G.P., Bol., v.32, No.1.

Congreso Geológico Internacional, 1956, **Excursión C-16. Visita a las localidades tipo de las Fms. del Eoceno, Oligoceno y Mioceno de la Cuenca Sedim. Tampico-Misantla**, Instituto de Geología, U.N.A.M..

Corrales Z., I., et.al., 1977, **Estratigrafía**, Ed. Rueda, España.

Cserna, Z. De, 1981(1984), **Margen continental de colisión activa en la parte suroccidental del Golfo de México**, Rev. Instituto de Geología, U.N.A.M., v.18, No.2.

Demant, A., 1978, **Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación**, Rev. Instituto de Geología, U.N.A.M., v.2, No.2.

Fitz-Patrick, E.A., 1984, **Suelos. Su formación, clasificación y distribución**, Ed. C.E.C.S.A., México.

Gorshkov, G.P., y Yokushova, A.F., 1970, **Geología General**, Ed. Mir, Moscú.

Juarez B., E., y Rico R., A., 1982, **Mecánica de Suelos**, Ed. Limusa, México.

Kostenko, A.P., 1975, **Geomorfología Estructural Aplicada**, Instituto de Geografía, U.N.A.M., México-Moscú.

Krynine, D.P., y W.R. Judd, 1961, **Principios de Geología y Geotécnica para Ingenieros**, Ed. Omega, España.

Lambe, W.T., y R.V. Whitman, 1972, **Mecánica de Suelos**, Ed. Limusa, México.

Lopez R., E., 1962, **Geología de México**, Edición Escolar, Tomos I y II.

Morán Z., D., 1984, **Geología de México**, SPP/INEGI.

Morán Z., D., 1986, **Breve revisión sobre la evolución tectónica de México**, Rev. Geofísica Internacional, v.25, No.1.

Orozco S., R.V., et.al., 1977, **Manual de aplicación de las Cartas Edfológicas de CETENAL, para fines de Ingeniería Civil**, CETENAL, México.

Press, F., and Siever, R., 1982, **Earth**, Ed. Wh. Freeman and Cia, Sn. Fco., U.S.A..

Ramirez R., A., 1987, **Analyse géotechnique des glissements de versants sédimentaires sur des plans de stratification**, Tesis Doctoral, I.R.I.G.M..

Ramirez R., A., y F. Cancino L., 1988, **Inestabilidad regional en la inmediaciones de Misantla, Ver.**, XIV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, N.L., México.

Schmidt - Effing, 1980, **The Huayacocotla Aulacogen in Mexico and the origin of the Gulf of Mexico**, Symp. The origin of the Gulf of Mexico and the early opening of the Central North Atlantic Ocean, Baton Rouge, Louisiana.

Silva R., G., 1986, **Estructura de la Planicie Costera entre Tuxpan y Veracruz**, Inédito.

Síntesis Geográfica del Estado de Veracruz, 1988, SPP/INEGI.

Subgerencia de Estudios Experimentales, **Informes Geotécnicos Internos**, C.F.E..

Superintendencia de Estudios Zona Golfo, 1987, **Reporte Interno**, C.F.E..

Terzaghi, K., and R.B. Peck, 1967, **Soil Mechanics in Engineering Practice**, New York: J. Wiley.

Vieitez U., L., 1978, **La Geotecnia en el desarrollo urbano de la vertiente del Golfo de México**, VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, México.

Winker, Ch. D., and R.T. Buffler, 1988, **Paleogeographic evolution of early deep-water Gulf of Mexico and margins**, Jurassic to Middle Cretaceous (Comanchean), A.A.P.G., v.72, No.3.

Zeevart, L., 1966, **Apuntes de Mecánica de Suelos**, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M..

INFORMACION CARTOGRAFICA
SPP / INEGI (1981)

Cartas Topográfica y Geológica, **Misantla**, Esc. 1:50 000,
E14 B17.

Cartas Topográfica y Geológica, **Poza Rica**, Esc. 1:250 000,
F 14-12.

Cartas Topográfica y Geológica, **Veracruz**, Esc. 1:250'000,
E 14-13.

Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, **Veracruz**,
Esc. 1:250 000, E 14-13.

Carta Fisiográfica, **México**, Esc. 1:1 000 000.

Carta de Climas, **México**, Esc. 1:1 000 000.

Carta Edafológica, **México**, Esc. 1:1 000 000.

Carta de Precipitación Total Anual, **México**,
Esc. 1:1 000 000.

HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Se han utilizado básicamente dos propiedades de los suelos para indicar el comportamiento mecánico general de los materiales localizados en la región estudiada:

- el contenido de agua o humedad (w).
- la resistencia a la penetración estandar (N).

Contenido de agua y Límites de Plasticidad de los suelos finos.

El contenido de agua en un suelo se define como la relación entre el peso del agua que contiene dicho suelo en estado natural y el peso del mismo cuando es secado; esto es:

$$w(\%) = W_w / W_s$$

Atterberg demostró que la plasticidad no es una propiedad permanente en las arcillas, sino que depende de su contenido de agua; a partir de esta condición, definió cuatro estados de consistencia para los suelos finos: un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, pasando, al añadir agua a los estados semisólido, plástico y finalmente líquido, cuando se tiene la menor interacción entre partículas. El contenido de agua y los puntos de transición de unos estados a otros, se denominan límite de contracción, límite plástico y límite líquido.

De acuerdo al objetivo y a la información utilizada para el presente trabajo, se consideran los límites plástico y líquido y el Índice de Plasticidad para intentar definir de una manera general, las condiciones mecánicas de los suelos encontrados en la región:

Dentro del rango plástico, la resistencia de los suelos arcillosos puede variar ampliamente, y es cuando presentan esta consistencia, que pueden sufrir grandes variaciones en su volumen (Orozco, 1977).

El límite líquido indica el contenido de agua para el cual el suelo tiene una cierta consistencia, a mayor límite líquido los suelos presentan mayor compresibilidad. Además los suelos sueltos secos o parcialmente saturados que al saturarse alcanzan el límite líquido pueden obtener la consistencia de un fluido y se produce un colapsamiento.

El "Índice de Plasticidad" indica la magnitud del intervalo de humedades en que el suelo posee consistencia plástica, y se obtiene de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. El índice de plasticidad del suelo puede ser también una medida de la expansividad del mismo, esto es, un índice plástico alto ($I_p > 35$) cuando el contenido de agua está próximo al límite plástico, es indicativo de un alto potencial expansivo, los suelos con un índice plástico bajo ($I_p < 18$), se pueden considerar estables (op.cit.).

La frontera inferior de la capa de un suelo potencialmente expansiva corresponde a la profundidad en que la relación entre el contenido de agua y el índice plástico del mismo tiende a la unidad. Esta capa es afectada por la precipitación pluvial, la intensidad de los cambios climáticos, la magnitud de la primera lluvia, la plasticidad y permeabilidad de los suelos y el tamaño y espaciado de las grietas superficiales.

Prueba de Penetración Estándar.

La prueba de penetración estándar es un procedimiento exploratorio preliminar muy utilizado que consiste en la hincada de tomamuestras dejando caer una masa de 63.5 kg desde una altura de 76 cm. La resistencia a la penetración se expresa por el número de golpes necesarios para hincar el tomamuestras 30 cm.

La resistencia a la penetración es función de la presión de confinamiento en el instante de realizar las medidas y del tipo de material. En suelos puramente friccionantes, la prueba permite conocer la compacidad y el ángulo de fricción interna, y en los suelos arcillosos indica su resistencia.

En esta prueba se obtienen también, muestras alteradas representativas del suelo en estudio y gran parte de su importancia radica en las correlaciones realizadas entre los valores obtenidos en el campo y los obtenidos en el laboratorio.

Para pruebas realizadas con arcillas, Terzaghi y Peck dan la siguiente correlación, pero ésta puede estar sujeta a amplias dispersiones.:

<u>Consistencia</u>	<u>No. de Golpes</u> (N)	<u>Resistencia a la</u> <u>Compresion Simple</u> (Kg/cm ²)
Muy blanda	< 2	< 0.25
Blanda	2 - 4	0.25 - 0.50
Media	4 - 8	0.50 - 1.0
Firme	8 - 15	1.0 - 2.0
Muy firme	15 - 30	2.0 - 4.0
Dura	> 30	> 4.0

La prueba de penetración estándar solo debe utilizarse como indicación o junto con otros métodos de exploración pues puede presentar una amplia dispersión de resultados, sobre todo en las arcillas.

CLASIFICACION DE SUELOS

La clasificación de suelos consiste en incluir un suelo en un grupo que presenta un comportamiento semejante. Las características más utilizadas son la granulometría para suelos granulares y la plasticidad en suelos cohesivos (Lambe y Withman, 1972).

El sistema de clasificación más utilizado en la Mecánica de Suelos actualmente es el S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) que se basa en las propiedades mecánicas de los suelos tomadas cualitativamente con fines ingenieriles, comprende a los suelos gruesos y finos, considerando a un suelo grueso si tiene más del 50% de partículas gruesas y fino, si tiene más de la mitad de partículas finas.

Dentro de los suelos gruesos, se clasifican las gravas (G) y las arenas (S), las cuales se pueden encontrar: limpias de finos y bien graduadas (W), limpias de finos pero mal graduadas (P), con cantidad apreciable de finos no plásticos (M) o con cantidad apreciable de finos plásticos (C). A continuación se mencionan algunas combinaciones de materiales y sus características:

- GW y SW;** Los finos no influyen en la resistencia ni en la permeabilidad de la fracción gruesa.
- GP y SP;** Comprenden a las gravas uniformes de los lechos de los ríos, las arenas uniformes de las playas y las mezclas de grava y arena fina.
- GM y SM;** El contenido de finos afecta la relación esfuerzo - deformación y la permeabilidad de la fracción gruesa, cuando se tienen cantidades mayores del 12%.
- GC y SC;** Presentan más del 12% de fino y tienen plasticidad media a alta.

Dentro de los suelos finos se comprende a los limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O); estos materiales pueden ser de baja (L) o de alta (H) compresibilidad. Los suelos altamente orgánicos como la turba y los suelos pantanosos que son altamente compresibles forman un grupo independiente (Pt). Las propiedades de estos materiales son :

- CL y CH;** Comprenden a las arcillas de baja a alta plasticidad.
- ML y MH;** Dentro de ML se incluye a los limos inorgánicos o polvo de roca y depósitos eólicos. Y dentro de MH a las arcillas tipo caolin y a las tierra diatomáceas prácticamente puras.
- OL y OH;** Comprenden a las arcillas coloidales.

Los diferentes tipos de suelos finos se representan en la siguiente carta, llamada "Carta de Plasticidad" en la que se grafican los Límites Líquidos en el eje horizontal y el Índice de Plasticidad en el eje vertical. En esta carta se agrupa a los suelos de acuerdo a propiedades mecánicas e hidráulicas cualitativamente definidas.

