



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

IDENTIFICACIÓN DE ARCILLAS
DISPERSIVAS EN LAS LLANURAS
COSTERAS DEL GOLFO DE MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL – GEOTECNIA

P R E S E N T A :

ALEJANDRO TREJO SANDOVAL

TUTOR:

DR. SALVADOR MARÍN CÓRDOVA



MÉXICO D.F.

ABRIL 2008

JURADO ASIGNADO:

Presidente : **Dr. Juárez Badillo Eulalio**

Secretario : **Dr. Díaz Rodríguez Jorge Abraham**

Vocal : **Dr. Marín Córdova Salvador**

1er. Suplente : **Dr. Aguayo Camargo Joaquín Eduardo**

2do. Suplente : **Ing. López Rincón Germán**

Lugar donde se realizó la tesis:

Facultad de Ingeniería, UNAM e Instituto Mexicano del Petróleo

TUTOR DE TESIS:

Dr. Salvador Marín Córdova

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer infinitamente,

A la **UNAM** que me ha brindado la oportunidad de crecer como persona y profesionista.

A **CONACYT** por el apoyo de beca brindado para la realización de mis estudios de maestría.

Al **Dr. Salvador Marín Córdova** por todo el apoyo que incondicionalmente me ha brindado durante esta etapa de mi vida.

A **Dios** por ser mi padre y creador por que me ha regalado un instante de vida en la eternidad.

A **mis padres y hermanos** por que siempre han estado compartiendo su vida conmigo.

A **todos aquellos** que en cierta forma están relacionados con mi vida.



ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivo	4
1.3 Alcance	4
1.4 Hipótesis	5
2. ARCILLAS DISPERSIVAS	
2.1 Clasificación y propiedades de las rocas	6
2.1.1 Rocas ígneas	8
2.1.2 Rocas sedimentarias	10
2.1.3 Rocas metamórficas	11
2.2 Minerales primarios y secundarios	13
2.3 Factores de la formación del suelo	14
2.4 Materiales de origen del suelo	16
2.5 Arcillas	17
2.5.1 Estructura atómica	17
2.5.2 Estructura de los filosilicatos	19
2.5.3 Minerales de arcilla	23
2.5.3.1 Grupo Caolinita	23
2.5.3.2 Grupo Esmectita	25
2.5.3.3 Grupo Illitas	28
2.6 Propiedades físico-químicas de las arcillas	30
2.7 Problemática de las arcillas dispersivas en obras de ingeniería civil	35



3. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DE DISPERSIÓN	
3.1 Dispersión	37
3.2 Identificación de las arcillas en campo	37
3.3 Ensayes para la identificación de arcillas dispersivas	40
3.3.1. Ensayo de Crumb (USBR 5400-89)	40
3.3.2. Ensayo del Doble Hidrómetro (ASTM D 4221-90)	42
4. ORIGEN DE LAS ARCILLAS DISPERSIVAS	44
4.1 Formaciones intemperizadas que tuvieron su origen en el mar y que actualmente se encuentran al descubierto.	45
4.2 A partir del intemperismo de rocas ígneas de la serie alcalina	45
4.3 En formaciones terrestres intemperizadas que en alguna época formaron parte de un aulacógeno.	45
4.4 A partir del flujo ascendente de aguas y el contacto con estratos y/o domos salinos.	47
5. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y FISIOGRÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	
5.1 Información geográfica del área de estudio	48
5.1.1 Coordenadas geográficas	48
5.1.2 Estados de la Republica involucrados	49
5.1.3 Orografía	50
5.1.4 Hidrografía	51
5.2 Llanura Costera del Golfo Norte	
5.2.1 Localización geográfica y colindancias	56
5.2.1.1 Sierras de San Carlos y Tamaulipas	56
5.2.1.2 Llanura Costera Tamaulipeca	57
5.2.1.3 Llanuras y Lomeríos	58



5.3. Llanura Costera del Golfo Sur	
5.3.1 Localización geográfica y colindancias	58
5.3.1.1 Llanura Costera Veracruzana	59
5.3.1.2 Llanuras y Pantanos Tabasqueños	60
5.3.1.3 Sierra de los Tuxtlas	60
6. GEOLOGÍA DE LA REGIÓN DE ESTUDIO	
6.1 Geología de la Llanura Costera del Golfo Norte	61
6.1.1 Formaciones geológicas	61
6.1.2 Secuencia litológica	72
6.1.3 Estructuras geológicas	77
6.2 Geología de la Llanura Costera del Golfo Sur	79
6.2.1 Formaciones geológicas	79
6.2.2 Secuencia litológica	89
6.2.3 Estructuras geológicas	92
6.2.4 Formación de domos salinos	94
6.2.5 Área salina del Istmo de Tehuantepec	97
6.3 Geología de las provincias de la plataforma continental	101
6.3.1 Provincia Laguna Madre	103
6.3.2 Provincia Marina de Tampico	106
6.3.3 Provincia Marina de Veracruz	108
6.3.4 Provincia Marina de Coatzacoalcos	110
6.4 Agua subterránea en las Llanuras Costeras del Golfo de México	114



7. CASOS PARTICULARES	
7.1 Sitios “El Sauz y La Escondida”, estado de Tamaulipas	124
7.1.1 Geología regional	127
7.1.2 Geología local	129
a) Litología	130
b) Estratigrafía	134
c) Estructura	135
7.1.3 Ensayes de laboratorio	135
7.2 Minatitlán, estado de Veracruz	
7.2.1 Localización geográfica del sitio explorado	142
7.2.2 Geología regional	144
7.2.3 Geología local	146
a) Litología	146
b) Estratigrafía	150
c) Estructura	150
7.2.4 Ensayes de laboratorio	151
CONCLUSIONES	153
BIBLIOGRAFÍA	155



LISTA DE FIGURAS Y MAPAS

UNIDAD 2

Figura 2.1. Ciclo de las Rocas. Tomada de Microsoft® Encarta® Biblioteca de Consulta 2002.	7
Figura 2.1.1. Clasificación de las rocas ígneas. (Tarbuck y Lutgens 1999).	9
Figura 2.1.2. Clasificación de las rocas sedimentarias. (Tarbuck y Lutgens 1999).	11
Figura 2.1.3. Clasificación de las rocas metamórficas. (Tarbuck y Lutgens 1999).	13
Figura 2.3.1. Muestra la meteorización de las rocas para así dar origen a los suelos.	15
Figura 2.3.2. Muestra la roca madre, plantas y pendiente que son los factores de formación de los suelos. (Tarbuck y Lutgens 1999).	16
Fig.2.5.1. Ordenamiento de los átomos en una célula unitaria de NaCl (los círculos con puntos Na; círculos grandes, Cl).	18
Figura 2.5.2. Silicatos más comunes. La complejidad de la estructura aumenta de arriba hacia abajo. (Tarbuck y Lutgens 1999).	22
Figura 2.5.3.1. Estructura del cristal del mineral caolinita $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$.	24
Figura 2.5.3.2. Arreglo estructural del grupo esmectita.	25
Figura 2.5.3.3 Estructura del cristal illita.	29
UNIDAD 3	
Figura 3.2.1 Muestra forma típica de erosión.	39
Figura 3.3.1. Se observa la tendencia de una muestra cúbica de suelo a disgregarse al hidratarse. El grado de tendencia es 2.	41
Figura 3.3.2. Presenta resultados del ensayo del Doble Hidrómetro.	43



UNIDAD 4	
Figura 4.1 Esta figura idealizada muestra una serie de ambientes donde se pueden formar suelos dispersivos.	46
UNIDAD 5	
Mapas 5.1.2 Estados de la Republica Mexicana (a), y la división fisiográfica que se empleó para este estudio (b).	49
Mapa 5.1.3. Orografía de la zona de estudio.	50
Mapa 5.1.4. Ríos de Tamaulipas. Fuente: INEGI.	52
Mapa 5.1.4.1 Regiones y cuencas hidrológicas de Tamaulipas. Fuente: INEGI.	53
Mapa 5.1.4.2 Regiones y cuencas hidrológicas de Veracruz. Fuente: INEGI.	55
UNIDAD 6	
FIGURA 6.1.1.1. Columnas estratigráficas de la Llanura Costera del Golfo Norte (Compilada por Quezada y Sarmiento, 1999).	71
Mapa 6.1.1 Geología de la Llanura Costera del Golfo Norte y división de regiones investigadas por E. López Ramos. (Atlas de México, Mapa de Geología, IV.1.1, Instituto de Geografía, UNAM, Padilla y Sánchez R. J. Aceves Quesada J. F., Mayo 1992).	76
FIGURA 6.2.1.1. Columnas estratigráficas de la Llanura Costera del Golfo Sur (Compilada por Quezada y Sarmiento, 1999, y por E. López Ramos, 1980).	88
Mapa 6.2.3.1 Geología de la Llanura Costera del Golfo Sur y división de regiones investigadas por E. López Ramos. (Atlas de México, Mapa de Geología, IV.1.1, Instituto de Geografía, UNAM, Padilla y Sánchez R. J. Aceves Quesada J. F., Mayo 1992).Dibujo sin escala.	93
Figura 6.2.4.1. Más de 500 domos de sal subterráneos conocidos en la región de la Costa del Golfo que va de México a Florida.	95
Figura 6.2.4.2. Evolución de un diapiro de sal. Fuente: tesis de maestría “Disposición de Residuos Peligrosos en Cavidades Geológicamente Estables” por Christían E. Hernández Mendoza.	96



- Figura 6.2.4.3.** Mineral de sal atrapado junto al petróleo bajo el borde del domo salino. Fuente: tesis de maestría “Disposición de Residuos Peligrosos en Cavidades Geológicamente Estables” por Cristián E. Hernández Mendoza. 97
- Mapa 6.2.5** Geología del denominado Istmo de Tehuantepec y división de regiones investigadas por E. López Ramos. (Atlas de México, Mapa de Geología, IV.1.1, Instituto de Geografía, UNAM, Padilla y Sánchez R. J. Aceves Quesada J. F., Mayo 1992).Dibujo sin escala. 100
- Figura. 6. 3. A** Plano de distribución de provincias topográficas del Golfo de México. Modificado de Jones y Uchupi 1967. 102
- Figura. 6. 3. B** Plano de localización y distribución Geológicas de la Plataforma Continental del Golfo de México, según PEMEX. 102
- Figura 6. 3. 1. A** Mapa de anomalía de Bouger e intensidad magnética total de la provincia geológica marina de la Laguna Madre, con las que se han determinado la presencia de estructuras geológicas. 104
- Figura 6. 3. 1. B** Mapa de eventos estructurales de la provincia Laguna Madre a 2 y 3 segundos interpretados de la información sísmica. 105
- Figura 6. 3. 1. B** Secciones sísmicas X e Y, localizadas en el extremo norte de la provincia de Laguna Madre, orientadas NW-SE. 105
- Figura 6. 3. 2** Secciones sísmicas E y F, localizadas frente a la ciudad de Tampico, Tams., muestran al basamento basculado hacia el oriente, afectado por algunas fallas normales, con levantamiento brusco hacia el archipiélago de Tamaulipas. 107
- Figura 6. 3. 3** Sección sísmica M, localizada frente al puerto de Veracruz, orientada NE-SW, en la que se identifican el Alto de Anegada correspondiente al Basamento-Mesozoico y probablemente el Terciario Inferior, sobre el que se reflejan arqueamientos agudos. 109
- Figura 6. 3. 3** Sección sísmica N, localizada al norte de la Sierra de las Tuxtlas, orientada NE-SW, en la que se infiere a más de 4 segundos un alto del basamento ligeramente basculado hacia el norte. 109
- Figura 6. 3. 4. Ñ** Sección sísmica Ñ donde se tienen dos falla normales con caída al norte y tendencia casi vertical. 111



Figura. 6.3.4. A Secciones sísmicas P, Q, R, localizadas al norte frente a la ciudad de Coatzacoalcos, Ver., orientadas NW-SE, que muestran la prolongación hacia el mar de la Cuenca Salina del Istmo, caracterizada por una secuencia arcillo-arenosa del Terciario-Medio-Superior-Reciente intrusionada por diapiros salinos, por su efecto conforman una serie de arqueamientos anticlinales de forma cómica, separados por fallas listricas (de crecimiento). 112

Figura 6.4.1 Ilustra la distribución de los recursos geotérmicos en México. Imagen tomada del Informe ESTIMACION DEL RECURSO Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE LA GEOTÉRMIA EN MÉXICO. INFORME IIE/11/3753/I 01/P MARZO 2005. 117

Figura 6.4.2 Esquema de un sistema geotérmico hidrotermal. Imagen tomada del Informe ESTIMACIÓN DEL RECURSO Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE LA GEOTÉRMIA EN MÉXICO. INFORME IIE/11/3753/I 01/P MARZO 2005. 119

Figura 6.4.3 Esquema de la formación de un manantial. (Tarbuck y Lutgens 1999). 120

Figura 6.4.4 Disponibilidad de las aguas subterráneas en la Republica Mexicana. 121

UNIDAD 7

Mapa 7.1.1. Localización topográfica de los sitios “El Sauz y La Escondida”. S/E. Fuente: INEGI. 125

Mapa 7.1.2. Presenta la Geología regional del estado de Tamaulipas. Fuente: INEGI. Información geográfica. 128

Mapa 7.1.2.1 Presenta la Geología local de los sitios “El Sauz y La Escondida”. S/E. 129

Figuras 7.1.3.1 y 7.1.3.2 Difractogramas de los especímenes ensayados por el método de difracción de rayos x. En la primer figura se observan todos los especímenes y en la segunda se observa el difractograma de la muestra M-I. 136

Figura 7.1.16 Se muestran los sitios en donde se recolectaron los materiales que fueron ensayados en el laboratorio. 140

Mapa 7.2.1. Localización topográfica del sitio “REFINERÍA LÁZARO CÁRDENAS”. S/E. Fuente: INEGI. 143

Mapa 7.2.2. Muestra la geología regional del estado de Veracruz. S/E 145

Mapa 7.2.3. Presenta la geología regional del sitio “Refinería Lázaro Cárdenas”. S/E. 147



LISTA DE TABLAS

UNIDAD 2

Tabla 2.5.1 Clasificación de minerales.	18
Tabla 2.5.3.2. Minerales del grupo esmectita.	27

UNIDAD 5

Tabla 5.1.4 Regiones y cuencas hidrológicas de Tamaulipas	51
Tabla 5.1.4.1 Regiones y cuencas hidrológicas de Veracruz.	54
Tabla 5.1.4.2 Corrientes de agua del estado de Veracruz.	55

UNIDAD 7

Tabla 7.1 Ubicación de los sitios “El Sauz y La Escondida”.	124
Tablas 7.1.3. Muestran las lecturas de las graficas que describen la granulometría de finos de las muestras ensayadas, también se muestra la dispersividad de los suelos en porciento así como la cantidad de sal que se encontró en las muestras de suelo ensayadas.	141



LISTA DE FOTOGRAFÍAS

UNIDAD 2

Fotografías 2.7.1 y 2.7.2. Fenómeno de dispersión y tubificación de una obra de contención construida con arcillas dispersivas en el sitio denominado “El Sauz”, estado de Tamaulipas. 35

UNIDAD 3

Fotografía 3.2.1 Muestra dispersión de arcillas en el talud de un canal. 39

UNIDAD 7

Fotografía 7.1.1. Se muestra en la parte central (al fondo) el terraplén construido en 1972 del sitio denominado “El Sauz”, correspondiente a la presa derivadora. 126

Fotografía 7.1.2. Acercamiento en donde se muestra vista hacia aguas abajo, de algunas de las tubificaciones producidas en la cortina de la presa en el sitio “El Sauz”. Fuente: CFE. 126

Fotografía 7.1.3. Se muestra el embalse de la presa de almacenamiento denominada “La Escondida”. 127

Fotografía 7.1.4. Se muestra material arcilloso de origen aluvial, el cual muestra salitre en la superficie, su color es café claro, de espesor variable y se localizó frente al terraplén de la presa de tierra. 130

Fotografía 7.1.5. Se muestra material intemperizado (lutita, limonita y calcita) que da origen a los suelos arcillosos, a estos rasgos estructurales se le denomina formación “Monjes”, su color es café y se localiza enfrente del vertedor aguas abajo aproximadamente a 50.0m de distancia. 131

Fotografía 7.1.6. Se muestra la limolita por debajo del material aluvial, en la Fotografía el material muestra un color café más oscuro que el material aluvial. 131

Fotografía 7.1.7. Se muestran estratos de lutita, por debajo del material aluvial. 132



ARCILLAS DISPERSIVAS



- Fotografía 7.1.8.** Se muestra el material conglomerático, localizado en la margen izquierda de la presa “La Escondida”. 132
- Fotografía 7.1.9.** Se muestra el conglomerado, localizado en la margen derecha de la presa “La Escondida”. 133
- Fotografía 7.1.10.** Se muestra el conglomerado, localizado en la margen derecha de la presa “La Escondida”. 133
- Fotografía 7.1.11.** Se muestra el material denominado lutita, localizado en el Camino hacia la presa “La Escondida”, a este material se le llama Choy, y también muestra una estratificación, así como la presencia de un anticlinal. 134
- Fotografía 7.1.12.** Se muestra el material estratificado, con cierta inclinación que nos permite saber la existencia de un anticlinal. 135
- Fotografías 7.1.13. y 7.1.14** Se muestran dos pruebas del material ensayado en laboratorio por medio del método del doble hidrómetro. 138
- Fotografías 7.1.15. y 7.1.16.** Se muestran dos materiales que fueron ensayados en laboratorio por medio del método de doble hidrómetro y en la superficie de éstos se observa cómo se formó una capa de sal en la superficie. Su dureza también aumento con la depositación del material sobre los recipientes. 139
- Fotografía 7.2.1.** Se muestra la zona pantanosa y junto a ella una torre eléctrica a la cual le han colocado suelo de relleno en su base, este suelo es un material areno-arcilloso. Esta fotografía fue tomada en la “Refinería Lázaro Cárdenas”. 147
- Fotografía 7.2.2.** Se muestra el relleno que han colocado sobre el material con materia orgánica, el cual presenta intercalaciones de arena y arcilla. Refinería Lázaro Cárdenas. 148
- Fotografía 7.2.3.** Esta fotografía muestra al suelo con materia orgánica. 148
- Fotografía 7.2.4.** Esta fotografía muestra el suelo arcilloso encontrado en la Refinería Lázaro Cárdenas en Minatitlán, Veracruz. 149
- Fotografía 7.2.5.** Esta fotografía muestra el suelo arcilloso que fue ensayado para saber el tipo de minerales de arcilla y el contenido de sales. 149
- Fotografías 7.2.6. Y 7.2.7.** Se muestra la prueba del material ensayado en laboratorio por medio del método de doble hidrómetro. 152



RESUMEN

El efecto de las sales sobre un suelo depende de muchos factores. Entre los principales se tienen el tipo, cantidad del mineral de arcilla y otros minerales, la fuerza iónica entre las partículas del suelo y del tipo de cationes intercambiables presentes. Cuando los procesos de evapotranspiración son mayores que la precipitación, privilegian la concentración creciente de la solución del suelo, así como el ascenso de las sales a la superficie por capilaridad, dando lugar a suelos salinos.

En dichas zonas es común observar una condición de permeabilidad que puede variar de baja a alta, en función de la cantidad y tipo del mineral de arcilla, si no se presentan obstáculos físicos para el movimiento del agua a través del perfil.

En el siglo pasado, los suelos arcillosos se consideraron resistentes a la erosión al fluir el agua, pero en los últimos años se tiene entendido que en la naturaleza existen ciertos suelos arcillosos que son potencialmente erosionables. Estos suelos son erosionados al presentarse previamente el fenómeno de dispersión debido a que su estructura y contenido de agua fueron modificados.



ARCILLAS DISPERSIVAS



La dispersión es un proceso por el cual un suelo deflocula espontáneamente cuando está expuesto al agua, que tenga poco o nada de, velocidad hidráulica. Se piensa que la dispersión generalmente es causada por la disminución de fuerzas de atracción entre las partículas de la arcilla, resultando en la formación de una suspensión coloidal estable del suelo.

Los suelos dispersivos no se pueden identificar con una clasificación visual o de acuerdo con sus estados de consistencia, análisis granulométrico vía húmeda o límites de Atterberg. Debido a esto, varios investigadores han implementado varios métodos de ensaye que permitan conocer las características que presentan los suelos dispersivos. Las arcillas deben ser ensayadas para conocer sus características de dispersividad como un procedimiento durante los estudios para presas de tierra y otras estructuras ingeniérriles en las cuales éstas se empleen.

En la tesis se plantea la hipótesis del posible origen geológico de las arcillas dispersivas con las que se construyó una de las cortinas del proyecto denominado “La Escondida” en Tamaulipas, México. También muestra la interacción de las diferentes áreas de estudio para dar respuesta al cuestionamiento, estas áreas de estudio son: Geología, Geotecnia, Geoquímica y Geografía.



INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Las arcillas dispersivas se han identificado en muchos países alrededor del mundo. Estas se han estudiado desde mediados de los años 60's del siglo pasado ya que las arcillas dispersivas demeritaban el rendimiento efectivo de la operación de canales, bordos de tierra y otras estructuras hidráulicas. [Ref. 23].

Sherard y Decker (1977) [Ref. 33], estudiaron la erosionabilidad de materiales que denominaron arcillas dispersivas, en las que por su particular composición química, pueden producirse fenómenos de erosión por defloculación. Estos autores indicaron que no parecía existir correlación con los parámetros geotécnicos usuales y que el fenómeno está gobernado por el contenido de sales especialmente el sodio.

Según Sherard, et al. (1977) los suelos dispersivos se erosionan mediante un proceso en el cual las partículas individuales son liberadas a suspensión en aguas prácticamente quietas, mientras que en los suelos en donde existe flujo de agua se requiere considerable velocidad del agua para generar la erosión.

En México en junio de 1972, durante la construcción de la presa de derivación del proyecto denominado la “Escondida” en el Estado de Tamaulipas [Ref. 27], la obra de contención (cortina) presentó fallas asociadas a una avenida extraordinaria. Los desperfectos



ARCILLAS DISPERSIVAS



encontrados fueron: 45 tubificaciones y siete fallas en la estructura, no existiendo precedente histórico alguno en obras de riego en México.

El material empleado en la construcción del terraplén de la cortina fue arcilla que no mostraba algún indicio de inquietud en su utilización. [Ref. 32].

La Dirección General de Obras de Riego, en la actualidad CNA, solicitó los servicios de J. L. Sherard (1972), quien realizó los estudios para identificar las causas que motivaron las fallas, siendo éstos: pruebas de mecánica de suelos, contenido de sales, determinación de composición mineralógica por medio de rayos X, también se elaboraron pruebas de permeabilidad de campo para observar el comportamiento directo del terraplén bajo pequeñas cargas (velocidad de flujo baja). De los estudios de campo y laboratorio se concluyó que las fallas fueron originadas por la presencia de arcillas dispersivas. [Ref. 32].

1.2 OBJETIVO

La presente Tesis tiene como objetivo fundamental, describir el posible origen de las arcillas dispersivas en la Llanuras Costeras del Golfo de México y su presencia en algunas áreas de las mismas.

1.3 ALCANCE

La tesis describe la naturaleza de las arcillas dispersivas, la problemática en obras de ingeniería civil, aspectos geográficos de las llanuras costeras del Golfo de México, la geología de la zona en estudio, la hidrología de las mismas, el agua subterránea y por último dos casos particulares donde se efectuaron estudios de campo.

Trejo Sandoval A.



1.4 HIPOTESIS

De acuerdo con los principales autores que han estudiado este tema, las arcillas dispersivas pueden tener su origen debido a:

- a) Formaciones intemperizadas que tuvieron su origen en el mar y que actualmente se encuentran al descubierto. [Ref. 9].
- b) A partir del intemperismo de rocas ígneas de la serie alcalina, las cuales contienen una gran cantidad de sodio. [Ref. 9].
- c) En formaciones terrestres intemperizadas que en alguna época formaron parte de una cuenca endorreica salina. [Ref. 9].
- d) Otra hipótesis que se trata en esta tesis es la posibilidad de un origen a partir del flujo ascendente de aguas, que a profundidades han estado en contacto con formaciones salinas estratificadas y/o estructuralmente deformadas (domos salinos).



2. ARCILLAS DISPERSIVAS

Las arcillas dispersivas son suelos de grano fino en donde las partículas espontáneamente se separan una de la otra al contacto con agua prácticamente tranquila, esto es debido a la presencia de sodio. Estos suelos son susceptibles a disolución y principalmente han sido asociados a problemas en estructuras hidráulicas, pero pueden afectar a cualquier obra de ingeniería.

Dado que los suelos se originan de los diversos tipos de rocas presentes en la superficie terrestre, es conveniente hacer una descripción de las mismas.

2.1 CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LAS ROCAS

Aproximadamente el 98% de la corteza terrestre está constituida por ocho elementos:

Oxígeno	46.6%
Silicio	27.7%
Aluminio	8.1%
Hierro	5.0%
Calcio	3.6%
Sodio	2.8%
Potasio	2.6%
Magnesio	2.1%

Se debe tener en cuenta que el oxígeno y el silicio constituyen el 75% de la composición de la corteza terrestre.



ARCILLAS DISPERSIVAS



La mayoría de estos elementos existen en combinación con uno o más de ellos para formar compuestos llamados minerales. Por lo anterior, la naturaleza de los suelos depende de la roca madre. Las rocas más importantes según su origen son: Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. [Ref. 4]. [Ver Fig. 2.1].

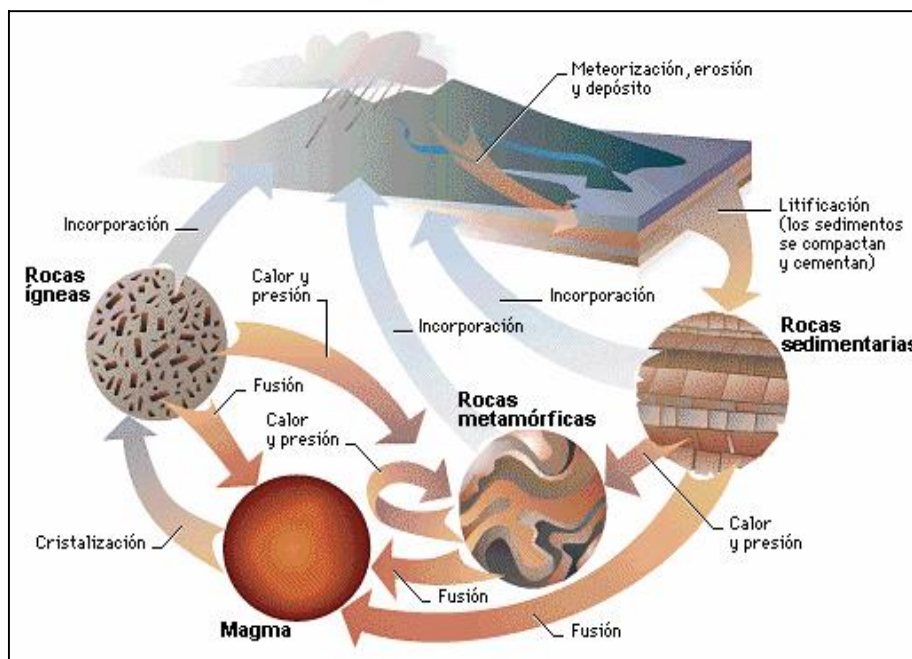


Figura 2.1. Ciclo de las Rocas. Tomada de Microsoft ® Encarta ® Biblioteca de Consulta 2002.



2.1.1 Rocas ígneas

Las rocas ígneas se forman a partir de la solidificación del magma; el cual se desarrolla en la corteza o en las capas más altas del manto de la Tierra. Las rocas ígneas están compuestas principalmente de minerales de silicio, y de otros minerales: olivinos, piroxenos, anfíbolos, micas y feldespatos, siendo estos los más representativos o comunes. Las rocas ígneas se pueden dividir de acuerdo a su modo de ocurrencia en intrusivas y extrusivas. [Ver Tabla 2.1.1]. [Ref. 13].

Las rocas ígneas intrusivas o plutónicas son aquellas que se derivan de un magma solidificado a grandes profundidades y altas temperaturas; esta condición favorece el mantenimiento de un magma relativamente fluido durante largos períodos de tiempo, con cambios de temperatura graduales durante el proceso de enfriamiento; por esta razón, los minerales que se van formando desarrollan una estructura de cristales grandes y bien definidos que ocupan todo el espacio disponible y dan origen a una roca de textura granular relativamente gruesa o fanerítica (Tarbuck y Lutgens, 1999). Este tipo de rocas comprende al granito, la cuarzodiorita y el gabro, entre otras. [Ref. 13].

Las rocas ígneas extrusivas, también llamadas efusivas o volcánicas, se pueden desarrollar a partir de un magma que se solidifica en la superficie terrestre. Este enfriamiento es rápido, por lo cual no hay tiempo para que se formen cristales grandes desarrollándose una textura conocida como afanítica, es decir, de cristales no observables a simple vista (Tarbuck y Lutgens, 1999). Dentro de esta clasificación se encuentran rocas como la riolita, la andesita y el basalto; se presentan también algunas rocas formadas,



ARCILLAS DISPERSIVAS



principalmente por vidrio *volcánico* (material sin *estructura* interna), las cuales, debido a su enfriamiento extremadamente rápido, no forman cristales y por tanto desarrollan una textura vítrea, como es el caso de la obsidiana y la pumicita (piedra pómez). [Ref. 13].

También se forman rocas extrusivas por la litificación de materiales que componen cenizas volcánicas y son llamadas rocas piroclásticas. Se define a un piroclasto como todo fragmento sólido que es expulsado por los volcanes durante sus erupciones. Los depósitos piroclásticos se originan por la acumulación de los productos de la fragmentación de un magma o de la acción directa de un magma sobre las rocas preexistentes en las estructuras volcánicas. Estas rocas se clasifican, teniendo en cuenta el tamaño de las partículas o piroclastos que las forman, en aglomerados o brechas volcánicas, lapilli y tobas. [Ref. 13].

	Félsicas (graníticas)	Intermedias (andesíticas)	Máficos (basálticos)	Ultramáficos
Faneríticas (grano grueso)	Granito	Diorita	Gabro	Peridotita
Afaníticas (grano fino)	Riolita	Andesita	Basalto	Komatita (rara)
Composición mineral	Cuarzo	Anfíbol	Plagioclasa cálcica	Olivino
	Feldespato potásico	Plagioclasa intermedia	Piroxeno	Piroxeno
	Plagioclasa sódica			
Constituyentes minerales menores	Moscovita	Piroxeno	Olivino	Plagioclasa cálcica
	Biotita	Anfíbol	Anfíbol	
	Anfíbol	Biotita		
Color de la roca basado en el % de minerales oscuros (máficos)	Colores claros	De colores medios	Gris oscuro a negro	Verde oscuro a negro
	Menos del 15% de minerales oscuros	15-40% de minerales oscuros	Más del 40% de minerales oscuros	Casi un 100% de minerales oscuros

Figura 2.1.1. Clasificación de las rocas ígneas. (Tarbuck y Lutgens 1999).



2.1.2 Rocas sedimentarias

La mayoría de las rocas sedimentarias están compuestas de material detrítico derivado de la meteorización de las rocas preexistentes. Estos tipos clásticos constituyen del 80% al 95% de todas las rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias no clásticas son producto de la precipitación química y bioquímica, mientras que otras son de origen orgánico como el carbón mineral. Una característica común de todas las rocas sedimentarias es que fueron depositadas, y esto contesta a su característica más notable, su estratificación. Sin embargo las rocas sedimentarias solo conforman el 5% de la corteza terrestre, este tipo de rocas cubre tres cuartas partes del área continental y la mayor parte del suelo oceánico. [Ver Tabla 2.1.2]. [Ref. 13].

El proceso de meteorización incluye al intemperismo y la erosión, y cada ciclo de erosión está acompañado de un ciclo de sedimentación. Las partículas involucradas comúnmente se han sometido a transportación, la cual ha tenido un efecto sobre su tamaño y forma. La composición de las rocas sedimentarias clásticas depende de la composición del material parental, la estabilidad de sus componentes minerales, el tipo de acción a la cual ha sido sujeta y durante cuánto tiempo ha sufrido dicha acción. Para transformar un sedimento no consolidado en una roca sólida, éstos deben someterse al proceso de litificación, el cual incluye la consolidación y la cementación.

Las rocas sedimentarias clásticas se denominan: conglomerados, brechas, areniscas, limolitas y lutitas. Las lutitas son las más comunes de este tipo de rocas. Las rocas calizas son de origen poligenético, algunas son clásticas, otras son resultado de precipitaciones



ARCILLAS DISPERSIVAS



químicas o bioquímicas y otras orgánicas, tales como las calizas coralinas. Los depósitos evaporíticos se forman por precipitación del agua salina. [Ref. 13].

ROCAS DETRÍTICAS			
Textura	Nombre del sedimento y tamaño del clasto	Comentarios	Nombre de la roca
	Grava (>2 mm)	Fragmentos redondeados de roca Fragmentos angulosos de roca	Conglomerado Brecha
Clástica	Arena (1/16–2 mm)	Predomina el cuarzo Cuarzo con abundante feldespato Color oscuro; cuarzo con abundante feldespato, arcilla y fragmentos de roca	Cuarzoarenita Arcosa Grauvaca
	Arcilla (<1/16 mm)	Se separa en finas capas Se rompe en bloques o trozos	Lutita fisil Lutita (shale)
ROCAS QUÍMICAS			
Grupo	Textura	Composición	Nombre de la roca
Inorgánico	Clástica o no clástica	Calcita, CaCO_3	Caliza
	No clástica	Dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Dolomía
	No clástica	Cuarzo microcristalino, SiO_2	Sílex
	No clástica	Halita, NaCl	Sal de roca
	No clástica	Yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Yeso
Bioquímico	Clástica o no clástica	Calcita, CaCO_3	Caliza
	No clástica	Cuarzo microcristalino, SiO_2	Sílex
	No clástica	Restos vegetales alterados	Carbón

Figura 2.1.2. Clasificación de las rocas sedimentarias. (Tarbuck y Lutgens 1999).

2.1.3 Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas se derivan de los tipos de rocas preexistentes, y han experimentado cambios mineralógicos, estructurales y de textura. Estas alteraciones se han efectuado en los ambientes físico y químico en los cuales existían las rocas, las condiciones cambiantes de temperatura y presión son los agentes primarios que provocan las reacciones metamórficas en las rocas. Los minerales individuales son estables hasta condiciones límite de temperatura y presión, lo que significa que, cuando estos límites se exceden, se llevan a cabo ajustes mineralógicos para establecer un equilibrio con el nuevo ambiente. De acuerdo con Tarbuck y Lutgens (1999) lo anterior puede manifestarse de tres formas:



ARCILLAS DISPERSIVAS



Pizarrosidad: son capas paralelas, delgadas y planas formadas por microcristales de micas. Los planos de foliación no son apreciables a simple vista.

Esquistosidad: son láminas delgadas formadas por la orientación de minerales de tamaño mayor que en la pizarrosidad y que le dan a la roca un aspecto escamoso.

Bandeado gnésico: es un bandeamiento de la roca originado por la segregación de minerales en el cual cada banda tiene una composición mineralógica definida y diferente de la adyacente.

En las rocas que originalmente eran monomineralógicas, el metamorfismo produce un reordenamiento de los minerales que no conlleva a foliación, por lo cual, la roca metamórfica producida tiene una apariencia masiva. [Ref. 13].

Con base en el marco geológico se pueden distinguir dos tipos principales de metamorfismo: local y regional. El primero de ellos incluye al metamorfismo térmico o de contacto, y el segundo se refiere a un metamorfismo que es generado en una región dada. El metamorfismo térmico ocurre alrededor de las intrusiones ígneas, por lo que el principal factor que controla la reacción es la temperatura. El metamorfismo regional se puede extender sobre cientos o incluso miles de kilómetros cuadrados y comprende a los procesos de cambio de temperatura y esfuerzos. De hecho, el metamorfismo regional puede incluir temperaturas superiores a un máximo de 800°C, y las presiones de confinamiento generalmente están en un exceso de 3 kilobares. Las temperaturas y presiones conducentes a un metamorfismo regional pueden mantenerse durante millones de años. [Ver Tabla 2.1.3]. [Ref. 13].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Rocas metamórficas	Textura	Roca inicial	Comentarios
Pizarras	Foliada	Lutitas	De grano muy fino
Filitas	Foliada	Lutitas	De grano fino a medio
Esquistos	Foliada	Lutitas, rocas volcánicas y graníticas	Minerales diversos de grano grueso
Gneises	Foliada	Lutitas, rocas volcánicas y graníticas	De grano grueso (no micáceo)
Mármoles	No foliada	Calizas, dolomías	Compuesto por granos de calcita intercrecidos
Cuarцитas	No foliada	Arenisca rica en cuarzo	Compuesto por granos de cuarzo intercrecidos
Corneanas	No foliada	Cualquier material de grano fino	De grano fino
Migmatitas	Débilmente foliada	Mezcla de rocas graníticas y máficas	Compuesto por capas con volutas
Milonitas	Débilmente foliada	Cualquier material	Roca dura de grano fino
Metaconglomerados	Débilmente foliada	Conglomerado rico en cuarzo	Cantos rodados muy estirados
Anfibolitas	Débilmente foliada	Rocas volcánicas máficas	De grano grueso

Figura 2.1.3. Clasificación de las rocas metamórficas. (Tarbuck y Lutgens 1999).

2.2 MINERALES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

Las arcillas pueden formarse como minerales primarios o secundarios. [Ref. 8].

Los minerales primarios constituyen la fuente original de los elementos químicos en los suelos y comprenden la mayor parte del material inorgánico en la masa de los suelos minerales. Se han derivado de rocas ígneas y metamórficas, principalmente, sin que sus propiedades químicas se hayan alterado. Un suelo joven se encuentra constituido, fundamentalmente, de silicatos (cuya unidad básica es representada por un tetraedro), y consta de minerales primarios heredados de su material parental, de aire, agua y materia orgánica. [Ref. 4].

Los minerales secundarios se generan por la acción de agentes físicos, químicos y biológicos, sobre los minerales primarios. Constituyen, junto con la materia orgánica, la fracción más activa de los suelos. Los minerales arcillosos componen la parte más valiosa del suelo, la cual está constituida por partículas coloidales. [Ref. 4].



Un mineral es una sustancia inorgánica que tiene dos características:

- posee una composición química definida.
- posee una disposición ordenada de átomos cuya forma es cristalina.

2.3 FACTORES DE LA FORMACIÓN DEL SUELO

La influencia de la meteorización es evidente en todas partes, nada es ajeno a ella: rompe las rocas, modifica sus características químicas y físicas y arrastra productos tanto en solución como algunos sólidos. [Ver Fig.2.3.1].

Los procesos de intemperización son fundamentalmente de naturaleza destructiva, ayudan a cambiar las rocas consolidadas en materiales no consolidados. [Ver Fig.2.3.2].

En cualquier ubicación específica sobre la superficie de la tierra actúan varios factores dentro del proceso de formación del suelo. Su relación con las propiedades del suelo se pueden expresar mediante:

$$S = f(Cl, b, r, p, t, ?)$$

Donde:

S = Cualquier propiedad del suelo (contenido de arcilla, por ejemplo).

f = función dependiente.

Cl = Clima

r = Relieve

b = biosfera (vegetación, organismos, hombre)



ARCILLAS DISPERSIVAS



p = material original

t = tiempo.

El clima resulta ser el factor predominante en la formación del suelo por la precipitación y la temperatura. La precipitación regula el régimen de humedad y aire del suelo. La temperatura afecta la velocidad de las reacciones químicas. [Ref. 4].

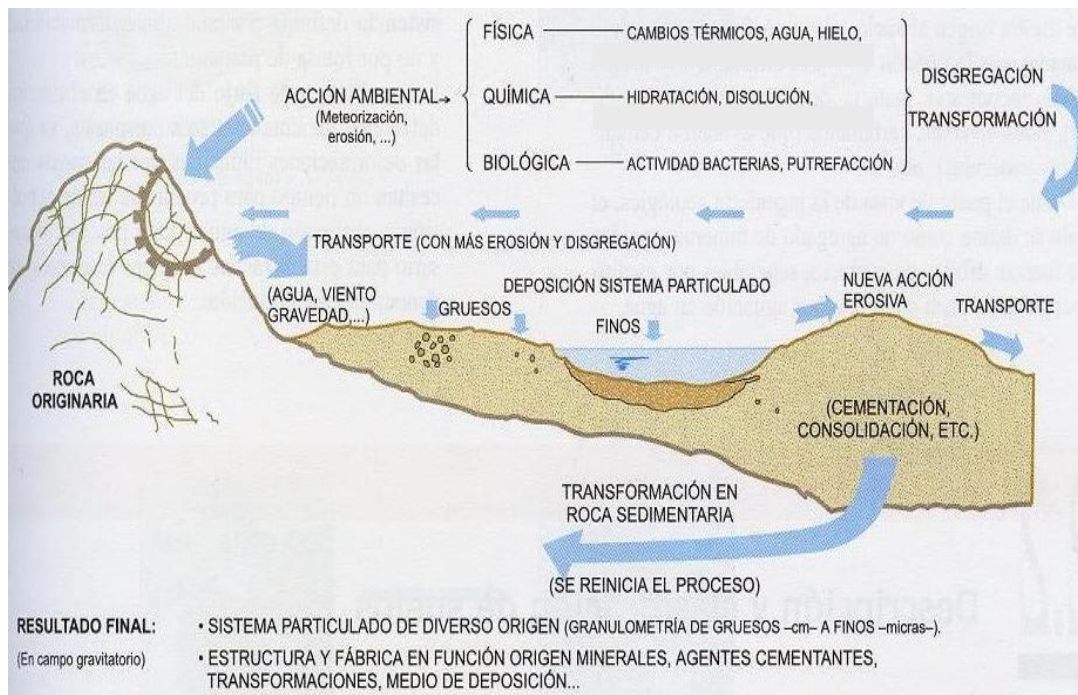


Figura 2.3.1. Muestra la meteorización de las rocas para así dar origen de los suelos.

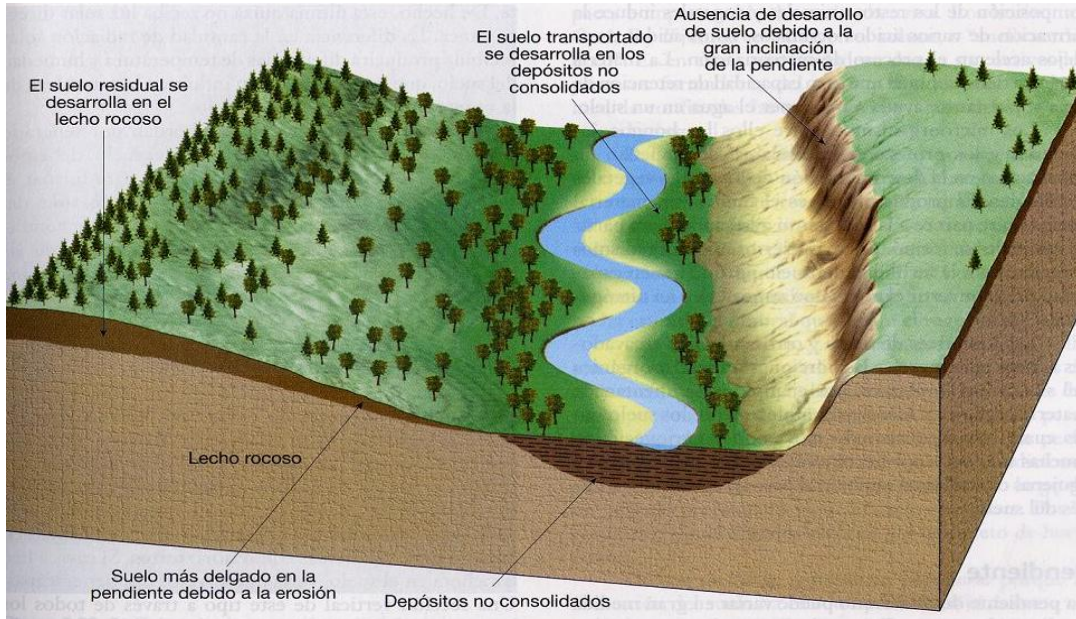


Figura 2.3.2. Muestra la roca madre, plantas y pendiente que son los factores de formación de los suelos. (Tarbuck y Lutgens 1999).

2.4 MATERIALES DE ORIGEN DEL SUELO

La materia mineral heredada de las rocas mencionadas en el inciso 2.1, es nombrado material origen del suelo, por que es su principal ingrediente, por lo que el contenido mineral de los materiales de origen es de particular importancia. [Ref. 4]. La porción inorgánica varía en dimensión y en composición. Un mineral es un sólido formado inorgánicamente a base de elementos específicos dispuestos en un orden característico. La estructura mineral puede permitir la existencia parcial de unos elementos con otros sin que, por ello, los cristales dejen de ser en si homogéneos.



2.5 ARCILLAS

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados, desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura, intercambio catiónico y su tamaño de grano, muy fino (inferior a $2\ \mu\text{m}$). Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos.

2.5.1. ESTRUCTURAS ATOMICAS

La estructura molecular y la composición general es propia de cada mineral, pero algunos elementos pueden ser reemplazados por otros. [Ver Tabla 2.5.1]. [Ref. 11]. Para el caso de análisis de las arcillas dispersivas se considera a los silicatos y las sales.

La estructura atómica de los cristales puede ser investigada por los métodos de análisis de rayos X. El ordenamiento y espaciamiento de los átomos, de los cuales está compuesto un mineral, controlan su forma y sus propiedades. Por ejemplo, los átomos de sodio y cloro en un cristal de sal común (NaCl) están ordenados alternadamente por las esquinas de un patrón cúbico [Ver Fig. 2.5.1] la cual se repite indefinidamente en todas direcciones. [Ref. 25].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Tabla 2.5.1 Clasificación de minerales.

CLASE	GRUPO	MINERAL	COMPOSICION QUIMICA	
SALES	SALES HALOIDES (HALITA)	SAL GEMA	NaCl	
		SILVITA	ClK	
		CARNALITA	Cl ₂ MgClK ₆ H ₂ O	
		FLUORITA	F ₂ Ca	
		CRIOBITA	F ₆ AlNa ₃	
		ATACAMITA	Cl ₂ Cu ₃ Cu(OH) ₂	
		CERARGIRITA	AgCl	
		SILICATOS	FELDESPATOS	FELDESPATOS MONOCLINICOS ORTOSA (FELDESPATO COMUN, ADULARIA Y SANIDINA)
FELDESPATOS TRICLINICOS				
			MICROLINO (AMAZONITA)	Si ₂ AlO ₈ K
			PLAGIOCLASA	
			ALBITA	Si ₃ AlO ₈ Na
			ANORTITA	Si ₂ Al ₂ O ₈ Ca
	NEFELINA		NEFELINA	SiAlO ₉ Na
	LEUCITA		LEUCITA	SiAlO ₆ K
	SODALITA		SODALITA	Si ₆ Al ₆ O ₂₄ Na ₈ Cl ₂
	CEOLITAS		CEOLITAS	

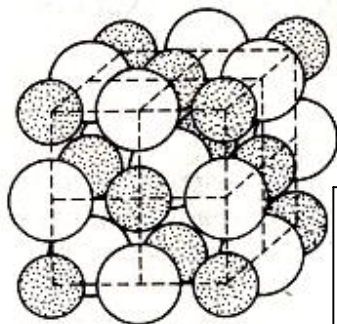


Fig.2.5.1. Ordenamiento de los átomos en un cristal de sal común NaCl (los círculos con puntos Na; círculos grandes, Cl)



2.5.2 ESTRUCTURA DE LOS FILOSILICATOS

Las propiedades de las arcillas son consecuencia de sus características estructurales. Por lo que es imprescindible entender la estructura de los filosilicatos para poder saber sus propiedades. [Ref. 25].

Las arcillas, al igual que el resto de los filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones de oxígeno e hidroxilos, siendo éstas:

Grupos SiO_4 separados. Se encuentran en algunos minerales que están íntimamente empaquetados en hileras o columnas en toda la estructura del cristal y ligada una a la otra por átomos metálicos (Mg, Fe, Ca, etc.) situados entre los tetraedros. [Ver Fig. 2.5.2]. [Ref. 11].

Estructuras de cadena sencilla Si_2O_6 . Son formados por grupos SiO_4 ligados en cadenas lineales, compartiendo cada grupo dos oxígenos con sus vecinos [Ver Fig. 2.5.2]. Esta estructura es característica de las piroxenas. [Ref. 25].

Estructuras en anillos. Los grupos tetraédricos $(SiO)_4^{4-}$ se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula $(Si_2O_5)^{2-}$, que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar, en parte, sustituido por Al^{3+} o Fe^{3+} . [Ref. 11].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Estas capas tetraédricas se unen a otras octaédricas de tipo gibbsita o brucita. En ellas algunos Al^{3+} o Mg^{2+} , pueden estar sustituidos por Fe^{2+} o Fe^{3+} y más raramente por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn. El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros que se encontraban sin compartir con otros tetraedros (oxígenos apicales), y por grupos $(\text{OH})^-$ de la capa brucítica o gibsitica, de forma que, en este plano, quede un $(\text{OH})^-$ en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales. El resto de los $(\text{OH})^-$ son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros. [Ref. 11].

Estructura de doble cadena. Dos cadenas simples están unidas lado a lado [Ver Fig. 2.5.2] y se encuentran en las anfíbolos. Las cadenas dobles corren paralelas al eje de los minerales y son ligadas lateralmente por átomos metálicos que se encuentran entre las cadenas. [Ref. 25].

Estructura en capas. Una unión similar puede ocurrir en la superficie opuesta de la capa octaédrica. Así, los filosilicatos pueden estar formados por dos capas: tetraédrica más octaédrica y se denominan bilaminares, (1:1, o T:O); o bien por tres capas: una octaédrica y dos tetraédricas, denominándose trilaminares, (2:1 o T:O:T). A la unidad formada por la unión de una capa octaédrica más una o dos tetraédricas se la denomina lámina. [Ref. 11].

Si todos los huecos octaédricos están ocupados, la lámina se denomina **trioctaédrica** (Mg^{2+} dominante en la capa octaédrica). Si sólo están ocupados dos tercios de las posiciones octaédricas y el tercio restante está vacante, se denomina **dioctaédrica** (el Al^{3+} es el catión octaédrico dominante). [Ref. 11].



ARCILLAS DISPERSIVAS



En algunos filosilicatos (**esmeclitas, vermiculitas, micas, entre otros**) las láminas no son eléctricamente neutras debido a las sustituciones de unos cationes por otros de distinta carga. El balance de carga se mantiene por la presencia, en el espacio interlaminar, o espacio existente entre dos láminas consecutivas, de cationes (como por ejemplo en el grupo de las micas), cationes hidratados (como en las vermiculitas y esmeclitas) o grupos hidroxilo coordinados octaédricamente, similares a las capas octaédricas, como sucede en las cloritas. A éstas últimas también se les denomina **T:O:T:O** o **2:1:1**. La unidad formada por una lámina más la interlámina es la unidad estructural. Los cationes interlaminares más frecuentes son alcalinos (Na y K) o alcalinotérreos (Mg y Ca). [Ref. 11].

Las fuerzas que unen las diferentes unidades estructurales son más débiles que las existentes entre los iones de una misma lámina, por ese motivo los filosilicatos tienen una clara dirección de exfoliación, paralela a las láminas. [Ref. 11].

También pertenecen a este grupo de minerales la sepiolita y la paligorskita, a pesar de presentar diferencias estructurales con el resto de los filosilicatos. Estructuralmente están formadas por láminas discontinuas de tipo mica. A diferencia del resto de los filosilicatos, que son laminares, éstos tienen hábito fibroso, ya que la capa basal de oxígenos es continua, pero los oxígenos apicales sufren una inversión periódica cada 8 posiciones octaédricas (sepiolita) o cada 5 posiciones (paligorskita). Esta inversión da lugar a la interrupción de la capa octaédrica que es discontinua. [Ver Fig. 2.5.2]. [Ref. 11].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Armazones Tridimensionales SiO₂. Son formadas cuando cada tetraedro esta ligado con cuatro oxígenos, compartiendo los oxígenos con los grupos adyacentes. [Ref. 25]. [Ver Fig. 2.5.2].

Mineral		Fórmula idealizada	Exfoliación	Estructura de silicatos
Olivino		(Mg, Fe) ₂ SiO ₄	Ninguna	Tetraedro simple
Grupo de los piroxenos (augita)		(Mg, Fe)SiO ₃	Dos planos en ángulos rectos	Cadenas sencillas
Grupo de los anfíboles (hornblenda)		Ca ₂ (Fe, Mg) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Dos planos a 60° y 120°	Cadenas dobles
Micas	Biotita	K(Mg, Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	Un plano	Láminas
	Moscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂		
Feldespatos	Ortosa	KAlSi ₃ O ₈	Dos planos a 90°	Redes tridimensionales
	Plagioclasa	(Ca, Na)AlSi ₃ O ₈		
Cuarzo		SiO ₂	Ninguna	(Vista expandida)

Figura 2.5.2. Silicatos más comunes. La complejidad de la estructura aumenta de arriba hacia abajo. (Tarbuck y Lutgens 1999).



2.5.3 MINERALES DE ARCILLA

Los grupos de minerales de arcilla son:

Grupo Caolinita

Antigorita
Dickita
Halloysita
Caolinita
Nacrita

Grupo Illita

Illita

Grupo Esmectita

Beidellita
Montmorillonita
Nontronita
Saponita

2.5.3.1 GRUPO CAOLINITA

En cuestión de hojas, el silicato es más sencillo, y cada una de ellas contiene una capa tetraédrica y otra octaédrica, unidas por los iones de oxígeno apicales (no compartidos) de la primera que sustituyen a algunos iones hidroxilo de la forma gibsita (Al_2OH_6) de la segunda. Estos oxígenos principales poseen una carga neutralizada por los iones silicio de la capa tetraédrica, por lo que posee la misma carga efectiva de los iones OH^- que remplazan. La fórmula octaédrica de la caolinita es $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. Cada una de las hojas es eléctricamente neutra, excepto para los enlaces rotos en los bordes del cristal, los cuales proporcionan, a la caolinita, una pequeña carga que sirve para almacenar nutrientes en el suelo [Ver Fig. 2.5.3.1]. Todas las cargas positivas y negativas en la hoja se hallan equilibradas de manera que no existen los enlaces iónicos libres que mantienen unidas a las hojas adyacentes. Sin embargo los cristales se mantienen juntos debido a la presencia de puentes de hidrógeno, los cuales son lo bastante fuertes para impedir que el agua y otros iones foráneos penetren entre las estructuras. En consecuencia, la caolinita es un mineral de arcilla no expandible, con escasa o nula tendencia a hincharse en estado húmedo, y a



contraerse en estado seco. [Ref. 12]. El mineral Dickita tiene la misma composición que la caolinita, pero los lechos de su estructura tienen diferente ordenamiento. La Halloysita $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$ ocurre como diminutos tubos, las capas envolventes de composición de silicio-oxígeno y aluminio-hidroxilo. Ciertas arcillas poseen propiedades especiales con relación a la porosidad y contenido de agua. [Ref. 12].

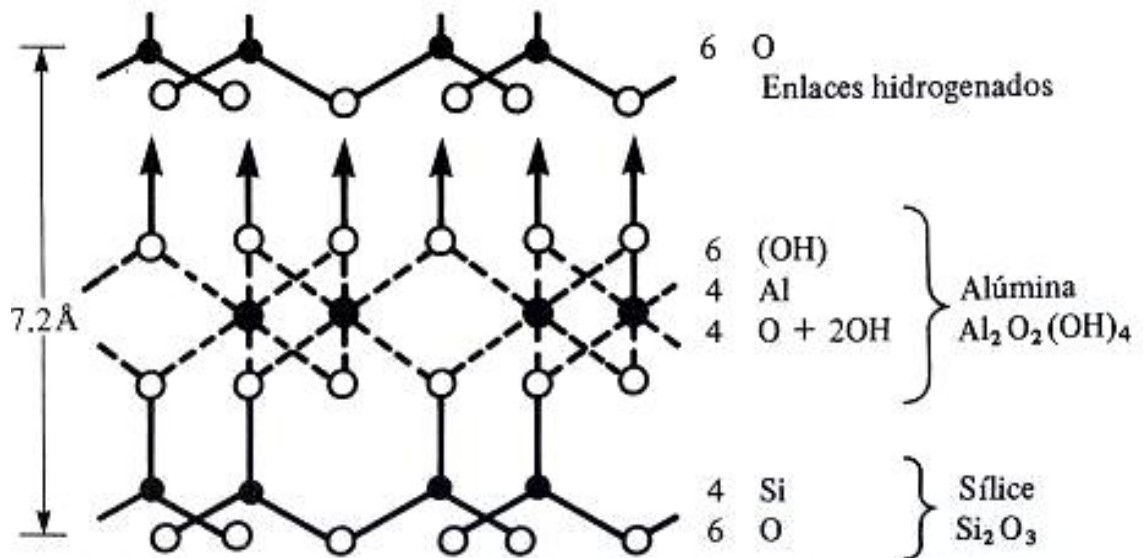


Figura 2.5.3.1. Estructura del cristal del mineral caolinita $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$.



2.5.3.2 GRUPO ESMECTITAS

Las esmectitas son filosilicatos con estructura 2:1, presentando una gran diversidad en su composición. Se trata, además, del único grupo de filosilicatos que aparece únicamente en las fracciones finas (< 2 μm). [Ref. 12].

Como en el resto de los filosilicatos, su estructura se basa en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los oxígenos se unen formando capas de extensión infinita con coordinación tetraédrica. Tres de cada cuatro oxígenos están compartidos con los tetraedros vecinos. En el interior de los tetraedros se alojan cationes Si^{4+} . Los hidroxilos forman capas de coordinación octaédrica. Los oxígenos tetraédricos sin compartir con otros oxígenos (oxígenos apicales), forman parte de la capa octaédrica adyacente. Los cationes octaédricos son, generalmente, Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} o Fe^{3+} y, más raramente, Li^{2+} , Cr^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} o Zn^{2+} [Ver Fig. 2.5.3.2]. Una capa octaédrica entre dos tetraédricas, unidas fuertemente por enlace covalente, forman la unidad estructural básica de las esmectitas. [Ref. 12].

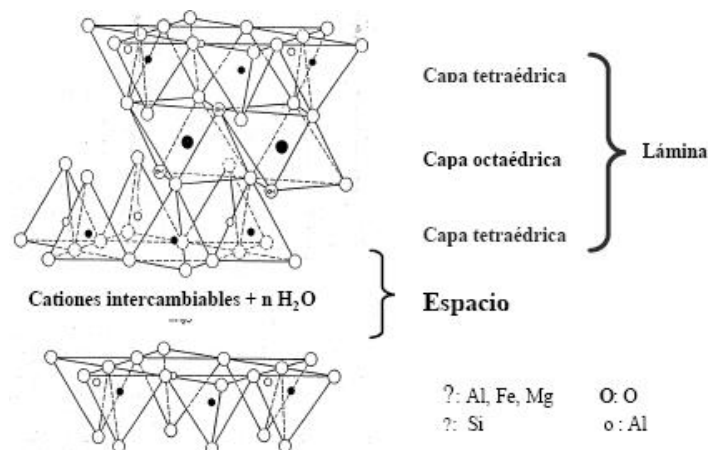


Figura 2.5.3.2. Arreglo estructural del grupo esmectita.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Estas láminas se encuentran separadas por cationes débilmente hidratados (fundamentalmente Ca, Mg y Na), que compensan las cargas negativas resultantes de las sustituciones isomórficas, tanto tetraédricas como octaédricas, de cationes, por otros con valencias diferentes. Dichas sustituciones isomórficas, en las esmectitas, hacen que la lámina tenga una carga comprendida entre 0.2 y 0.6 milihoms para una fórmula unidad con $O_{10}(OH)_2$. [Ref. 12].

La presencia de la superficie interlaminar así como de una débil carga en la misma, son características esenciales de este grupo de minerales. Como consecuencia de ello, son capaces de incluir no sólo cationes hidratados, sino también agua u otros líquidos polares, dando lugar a una mayor separación de las capas (aumento de su espaciado reticular) y por tanto hinchamiento.

Las esmectitas se dividen en dos subgrupos en función del tipo de ocupación de las posiciones octaédricas: dioctaédricas y trioctaédricas. Se denominan trioctaédricas aquellas en que están ocupadas todas las posiciones octaédricas y dioctaédricas, las que sólo tienen ocupados 2/3 de los huecos. [Ref. 12].

En la Tabla 2.5.3.2 se muestran las fórmulas estructurales ideales para los distintos miembros del grupo de las esmectitas.



ARCILLAS DISPERSIVAS



	Cationes Tetraédricos	Cationes Octaédricos	Interlámina	
DIOCTAEDRICAS:				
Montmorillonita	Si ₄	(Al _{2-x} R _x ²⁺)	Cl _x	O ₁₀ (OH) ₂ . nH ₂ O
Beidellita	(Si _{4-x} Al _x)	Al ₂	Cl _x	O ₁₀ (OH) ₂ . nH ₂ O
Nontronita	(Si _{4-x} Al _x)	Fe _{2-x} ³⁺ Al _x	Cl _x	O ₁₀ (OH) ₂ . nH ₂ O
TRIOCTAEDRICAS:				
Saponita	(Si _{4-x} Al _x)	Mg ₃	Cl _x	O ₁₀ (OH) ₂ .nH ₂ O
Hectorita	Si ₄	Mg _{3-x} (Li, F) _x	Cl _x	O ₁₀ (OH) ₂ .nH ₂ O
Estevensita	Si ₄	(Mg _{3-x} R _x ³⁺)	Cl _x	O ₁₀ (OH) ₂ .nH ₂ O

Tabla 2.5.3.2. Minerales del grupo esmectita.

Como puede verse, las esmectitas dioctaédricas son predominantemente alumínicas (montmorillonita y beidellita) o ricas en hierro (nontronita). Estas se diferencian por la posición de la carga de la lámina. En la montmorillonita la carga se debe a sustituciones de Al³⁺ por cationes divalentes en posición octaédrica, y en la beidellita a sustituciones de Al³⁺ por Si⁴⁺ en posición tetraédrica. Además, es posible encontrar toda una serie de tipos intermedios entre estos dos extremos. La nontronita es equivalente a la beidellita con el Al³⁺ octaédrico reemplazado por Fe³⁺, aunque, generalmente, se acepta como nontronita a cualquier esmectita dioctaédrica con Fe³⁺ >1,5 para O₁₀(OH)₂. [Ref. 12].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Las esmectitas trioctaédricas tienen, mayoritariamente, Mg^{2+} en posición octaédrica. El término más importante es la saponita. En ella la carga de la lámina deriva de la sustitución de Si^{4+} por Al^{3+} en posición tetraédrica, aunque esto se compensa, parcialmente, por la entrada de cationes trivalentes en posición octaédrica. Existen otras dos variedades trioctaédricas: hectorita y estevensita. La primera contiene, esencialmente Li y F en posición octaédrica. La estevensita tiene la carga más baja de todas las esmectitas, debido a sustituciones octaédricas. [Ref. 12].

Las esmectitas más comunes en las bentonitas son las de la serie montmorillonita-beidellita, con pequeñas cantidades de hierro.

2.5.3.3 GRUPO ILLITAS

Nombrada según el Edo. de Illinois por R. E. Grim, 1937. Es similar en muchos aspectos a la mica blanca, pero tiene menos potasio (K^+) y más agua en su composición. Cuando la mica se descompone por la acción de la intemperie, alguna de las capas de K^+ que se enlazan a láminas de mica más próximas se hidratan y se incrementa el espaciamiento basal de estos minerales. A este grupo pertenecen las micas muscovita, biotita y flogopita. El principal representante de este grupo es la illita, que se diferencia de las micas por tener menos sustitución de silicio por aluminio, contener más agua y parte del potasio sustituido por calcio y magnesio. En este grupo la capacidad de intercambio catiónico de sus representantes fluctúa entre 10 y 40 meq por 100g de material; presenta una cohesión y plasticidad medias, su



porosidad y permeabilidad, en términos generales se consideran también medias. [Ver Fig. 2.5.3.3]. [Ref. 4 y 25].

Las arcillas sedimentarias son principalmente mezclas de illita y caolinita con algo de montmorillonita y las lutitas tienen a la illita como el mineral arcilloso dominante. La illita es el mineral arcilloso más ampliamente distribuido en los llamados sedimentos argiláceos marinos, caracterizados por su mal olor.

La illita es un mineral resultado de la alteración de la esmectita y es un material considerado como no expansivo. [Ref. 34].

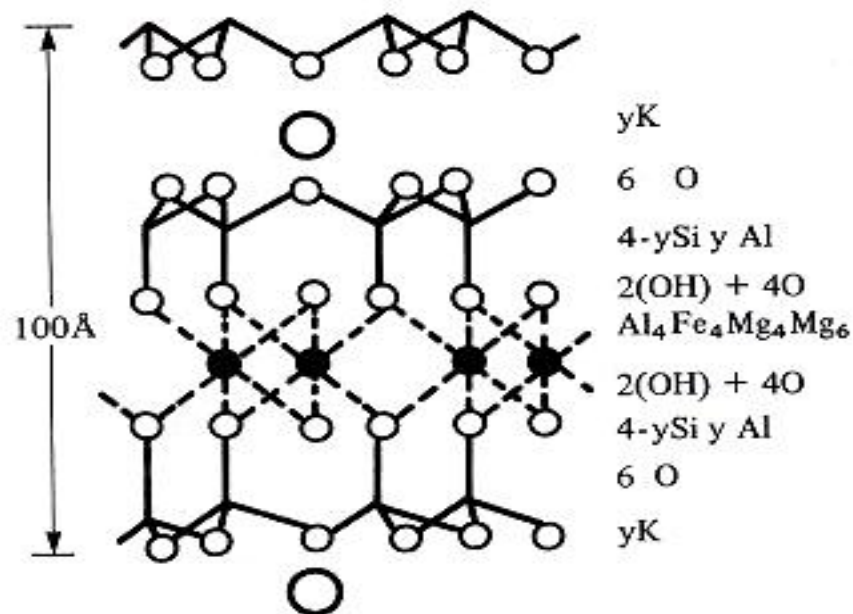


Figura 2.5.3.3 Estructura del cristal illita.



2.6 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS MINERALES DE ARCILLA

Las principales propiedades físico-químicas de las arcillas son: Superficie específica, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de absorción, hidratación y expansión, plasticidad y tixotropía.

- **Superficie específica**

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más, el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g . [Ref. 11].

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad. [Ref. 11].

A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:

Caolinita	de elevada cristalinidad	hasta	15	m^2/g
Caolinita	de baja cristalinidad	hasta	50	m^2/g
Halloysita	hasta		60	m^2/g
Illita	hasta		50	m^2/g
Montmorillonita			80-300	m^2/g
Sepiolita			100-240	m^2/g
Paligorskita			100-200	m^2/g



ARCILLAS DISPERSIVAS



- **Capacidad de intercambio catiónico**

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH, es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 % de la carga neta de la partícula; es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 % de la carga total de la lámina.

[Ref. 11]. A continuación se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g):

Caolinita:	3-5
Halloysita:	10-40
Illita:	10-50
Clorita:	10-50
Vermiculita:	100-200
Montmorillonita:	80-200
Sepiolita-paligorskita:	20-35



- **Capacidad de absorción**

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmectitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita). [Ref. 11].

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características de textura (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato). [Ref. 11].

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso. [Ref. 11].

- **Hidratación y expansividad**

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y de importancia crucial en diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina. [Ref. 11].



ARCILLAS DISPERSIVAS



La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar a un aumento de volumen. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de expansión pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de expansión, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida. [Ref. 11].

- **Plasticidad**

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una cubierta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Contracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o



ARCILLAS DISPERSIVAS



modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, 1975). [Ref. 11].

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material. [Ref. 11].

- **Tixotropía**

La tixotropía se define como la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo por un determinado tiempo recuperan su cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, con referencia a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico. [Ref. 11].



2.7 LA PROBLEMÁTICA DE LAS ARCILLAS DISPERSIVAS EN OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL

El problema que generan las arcillas dispersivas en obras ingenieriles, es que éstas se tornan inestables cuando su estructura y contenido de agua son modificados, lo que ayuda a que el suelo presente en dichas obras genere fallas. En el caso de presas pequeñas se han ocupado como material para la construcción de obras de contención (cortinas). Los ensayos estándar para clasificación de suelos para propósitos ingenieriles no identifican esta propiedad de un suelo de grano fino, [Ref. 33], debido a que muestran diferencia con los estados de consistencia de los suelos no dispersivos.

Al emplear este tipo de suelos en obras de retención, su estructura, contenido de humedad y sus procesos físico-químicos de unión entre partículas han sido modificados, por lo que, al establecerse un flujo de agua a través de ellos se puede generar el fenómeno de tubificación. [Ref. 33].





ARCILLAS DISPERSIVAS



Fotografías 2.7.1 y 2.7.2. Fenómeno de dispersión y tubificación de una obra de contención construida con arcillas dispersivas en el sitio denominado “El Sauz”, estado de Tamaulipas.



3. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DE DISPERSIÓN

3.1 DISPERSIÓN

Se denomina así, al proceso por el cual las partículas de arcilla de muy pequeñas dimensiones, ven disminuidas sus fuerzas de atracción molecular por efecto de la presencia de iones de sodio, lo que las vuelve susceptibles al arrastre o disolución. Los cationes Na^+ aumentan el espesor de la doble capa y las fuerzas eléctricas de repulsión, siendo superiores a las de atracción de Van der Waals. El proceso degrada los suelos con alto contenido de sodio debido al arrastre (dispersión o defloculación) de coloides. [Ref. 33].

3.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS DISPERSIVAS EN CAMPO

El fenómeno de dispersión se presenta en el campo generalmente en forma de erosión del terreno. La susceptibilidad de un suelo a sufrir procesos de erosión se le conoce con el nombre de “erosionabilidad” y tiene relación con las propiedades físico-químicas del suelo y su estructura inter-partículas, la cual es considerablemente compleja en algunos de ellos. Se ha encontrado que la erosionabilidad de un grupo de suelos afectado por procesos de erosión intensa, depende de la mezcla e interrelación de las partículas granulares con las arcillosas. Las partículas de arena se presentan en ocasiones cubiertas por películas delgadas de partículas de illita o montmorillonita, las cuales al hidratarse facilitan su desprendimiento y transporte. Los porcentajes de arcilla activa, son generalmente pequeños y la erosión es diferencial, de acuerdo a la composición y estructura del suelo. La susceptibilidad a sufrir procesos de erosión varía de acuerdo con las características geológicas y mineralógicas,



ARCILLAS DISPERSIVAS



del suelo y del perfil de meteorización de la formación, la topografía y la cobertura vegetal [Ref. 33].

El problema de la erosión no es un problema de corte profundo, sino un problema de fuerzas en la superficie; la geometría y la localización de las partículas tienen gran influencia. Las partículas de suelo son liberadas o separadas entre sí por fuerzas electroquímicas. En este caso las propiedades químicas del suelo y del agua juegan un papel importante. El proceso de hidratación es diferencial y se observa que es mayor en el contacto de la matriz con las partículas granulares. [Ref. 23].

Generalmente las señales de erosión se presentan en taludes naturales o conformados por el hombre, como en el caso de cortes realizados en el terreno por donde cruzará un camino, en terraplenes y bordos o simplemente en terrenos con pendiente. [Ref. 9].

Para identificar las arcillas dispersivas en campo es necesario conocer las formas típicas siguientes de erosión: [Ver Fig. 3.2.1 y Fotografía 3.2.1] .

- a) Erosión en surcos o chorreras.
- b) Erosión en cárcavas.
- c) Erosión en túneles.
- d) Formación de “Monjes”.
- e) Precipitación de sales en la superficie del suelo.

A continuación se describen dos formas típicas de erosión:



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formación “Monjes”

Durante una lluvia fuerte las gotas golpean la superficie del terreno removiendo en capas el suelo superficial, en el caso de taludes con pendiente fuerte generalmente todo el material es acarreado desde el hombro hasta el pie y depositado allí, en terrenos prácticamente planos el suelo debido a su composición química y contenido de sales suele formar pequeños pedestales conocidos en la literatura como “Monjes”.

Precipitación de sales

Debido a que los suelos dispersivos contienen una gran cantidad de sales, especialmente el sodio, dan apariencia de pequeños cristales en su superficie (salitre), esto se debe a que los minerales de sodio se disuelven con el agua de lluvia y por tanto se forma una capa de pequeños cristales.

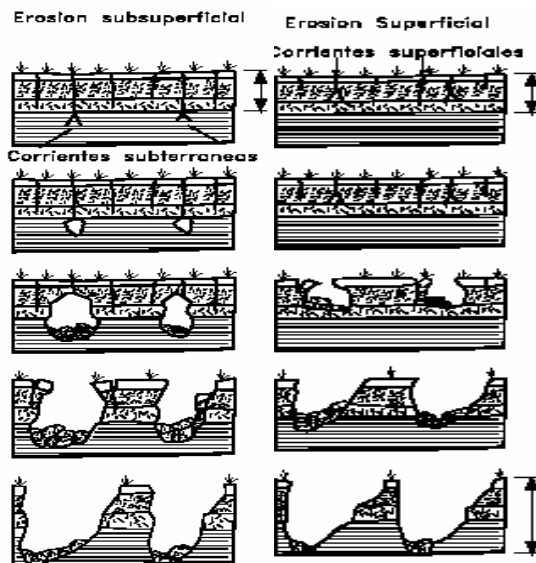


Figura 3.2.1 Muestra forma típica de erosión.



Fotografía 3.2.1 Muestra dispersión de arcillas en el talud de un canal.



3.3 ENSAYES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ARCILLAS DISPERSIVAS

Los métodos comúnmente utilizados para la identificación de arcillas dispersivas en laboratorio, son:

- Ensaye Crumb (Emerson, 1967).
- Método estándar de ensaye para la caracterización de arcillas dispersivas por doble hidrómetro (ASTM D4211-83,1986).
- Análisis químico de extracción de agua de poro (Sherard, 1972).
- Ensaye Pinhole (Sherard, 1976).
- Análisis Térmico y Difracción de Rayos X.

A continuación se hará referencia de algunos de ellos:

3.3.1. Ensayo de Crumb (USBR 5400-89)

El ensayo de Emerson Crumb (Emerson, 1967) fue desarrollado como un procedimiento simple para identificar el comportamiento dispersivo en campo, pero ahora es muy frecuentemente usado en el laboratorio. [Ref. 10].

El ensayo consiste en preparar un espécimen cúbico de 15mm de lado. El espécimen es colocado cuidadosamente en alrededor de 250ml de agua destilada. Mientras el suelo se comienza a hidratar, se observa la tendencia de las partículas coloidales para deflocularse y entrar en suspensión. [Ver Fig. 3.3.1]. [Ref. 10].



ARCILLAS DISPERSIVAS



La tendencia para que las partículas de arcilla entren en suspensión coloidal es observada después de 5 a 10 minutos de inmersión, usando la siguiente guía de interpretación:

- Grado 1. Ninguna reacción: El suelo puede desmoronarse y esparcirse en el fondo del vaso de precipitado, sin ningún signo de agua nublada causada por coloidales en suspensión.
- Grado 2. Reacción ligera: Simple insinuación de nubosidad en agua en la superficie del espécimen (si la nubosidad es fácilmente visible, use el grado 3).
- Grado 3. Reacción moderada: Nubosidad de coloides fácilmente reconocible en suspensión. Usualmente diseminado en trazas delgadas en el fondo del vaso de precipitado.
- Grado 4. Reacción fuerte: Nubosidad coloidal cubre casi la totalidad del fondo del vaso de precipitado, usualmente en una superficie muy delgada. En casos extremos toda el agua en el vaso de precipitado se vuelve nubosa. [Ref. 10].




Ejemplo	Grado (G)			Resultado después de 10 minutos
	T = 0 min	T = 5 min	T = 10 min	
1/1				G2

Figura 3.3.1. Se observa la tendencia de una muestra cúbica de suelo a disgregarse al hidratarse. El grado de tendencia es 2.



3.3.2. Ensayo de Doble Hidrómetro (ASTM D 4211-83,1986)

El ensayo del Servicio de Conservación del Suelo de EEUU, y el Ensayo de Dispersión en Porcentaje (Norma de la Asociación de Australia, 1980) son también conocidos como Ensayo de Doble Hidrómetro. Este ensayo consta de dos especímenes del hidrómetro en suelos tamizados a través de la malla de 2.36mm. Los ensayos del hidrómetro son realizados con y sin defloculante. La dispersión en porcentaje es determinada como:

Donde

P = porcentaje de suelos más finos que 0.005mm para el ensayo sin defloculante.

Q = porcentaje de suelos más finos que 0.005mm para el ensayo con defloculante.

La distribución del tamaño de partículas es determinada empleando primero el Ensayo Estándar del Hidrómetro en el que el espécimen del suelo es dispersado en agua destilada con una fuerte agitación mecánica. Un ensayo paralelo al anterior es realizado después en un espécimen duplicado, con sin agitación mecánica y con defloculante. El “porcentaje de dispersión” es la relación de transformación de las partículas de 0.005mm de diámetro del segundo ensayo al primero, expresado en porcentaje [Figura 3.4]. [Ref. 10].



ARCILLAS DISPERSIVAS



El criterio para la evaluación del grado de dispersión usando los resultados del ensayo del Doble Hidrómetro es:

Porcentaje de Dispersión	Grado de Dispersión
<30	No dispersivo
30 a 50	Intermedio
>50	Dispersivo

Una variación de este método es llamado Ensayo de Triple Hidrómetro: 1) Ensayo normal del Hidrómetro con dispersante y agitación; 2) Ensayo solamente con agua destilada, 3) Ensayo con agua de sitio. [Ref. 10].

Figura 3.3.2. Presenta resultados del ensayo del Doble Hidrómetro.



4.0 ORIGEN DE LAS ARCILLAS DISPERSIVAS

El origen geológico de las arcillas dispersivas con que se construyó el terraplén de la cortina de la presa de derivación del proyecto denominado “La Escondida” nunca fue identificado. Los varios orígenes de las arcillas dispersivas no son bien conocidos. La mayoría de los datos reportados por varios investigadores describen que pueden ser arcillas aluviales en la forma de depósitos de llanos de inundación, taludes lavados, depósitos en lechos de lagos, y depósitos de loess. [Ref. 33].

En este capítulo se retoman las hipótesis mencionadas al principio de esta tesis y de acuerdo con los principales autores que han estudiado este tema, las arcillas dispersivas pueden tener su origen debido a:

- a) Formaciones intemperizadas que tuvieron su origen en el mar y que actualmente se encuentran al descubierto. [Ref. 9].
- b) A partir del intemperismo de rocas ígneas de la serie alcalina, las cuales contienen una gran cantidad de sodio. [Ref. 9].
- c) En formaciones terrestres intemperizadas que en alguna época formaron parte de una cuenca endorreica salina. [Ref. 9].

Finalmente otra hipótesis que se trata en esta tesis es la posibilidad de un origen a partir del flujo ascendente de aguas, que a profundidades han estado en contacto con formaciones salinas estratificadas y/o estructuralmente deformadas (domos salinos).



4.1 FORMACIONES INTEMPERIZADAS QUE TUVIERON SU ORIGEN EN EL MAR Y QUE ACTUALMENTE SE ENCUENTRAN AL DESCUBIERTO.

En este caso los sedimentos se floculan debido a la gran concentración de sales en el agua de mar la cual es mayor que el coeficiente de coagulación crítico. Cuando quedaron al descubierto por cualquier razón, el intemperismo ha llevado a la generación de suelos con gran cantidad de sodio. Estas formaciones por lo regular se encuentran cerca de las costas. [Ref. 9].

4.2 A PARTIR DEL INTEMPERISMO DE ROCAS ÍGNEAS DE LA SERIE ALCALINA.

El intemperismo de rocas ígneas de la serie alcalina genera suelos residuales con contenidos altos de óxidos de sodio; se denominan de la serie alcalina por que en la formación de la roca, ésta tuvo contacto con formaciones salinas. [Ref. 9]. [Ver Fig. 4].

4.3 EN FORMACIONES TERRESTRES INTEMPERIZADAS QUE EN ALGUNA ÉPOCA FORMARON PARTE DE UNA CUENCA ENDORREICA SALINA

En este caso los sedimentos se floculan debido a la gran concentración de sales en el agua de mar la cual es mayor que el coeficiente de coagulación crítico. Esta formación, se localiza tierra adentro en el continente. También se les conocen como formaciones evaporíticas. [Ref. 9]. [Ver Fig. 4].



ARCILLAS DISPERSIVAS

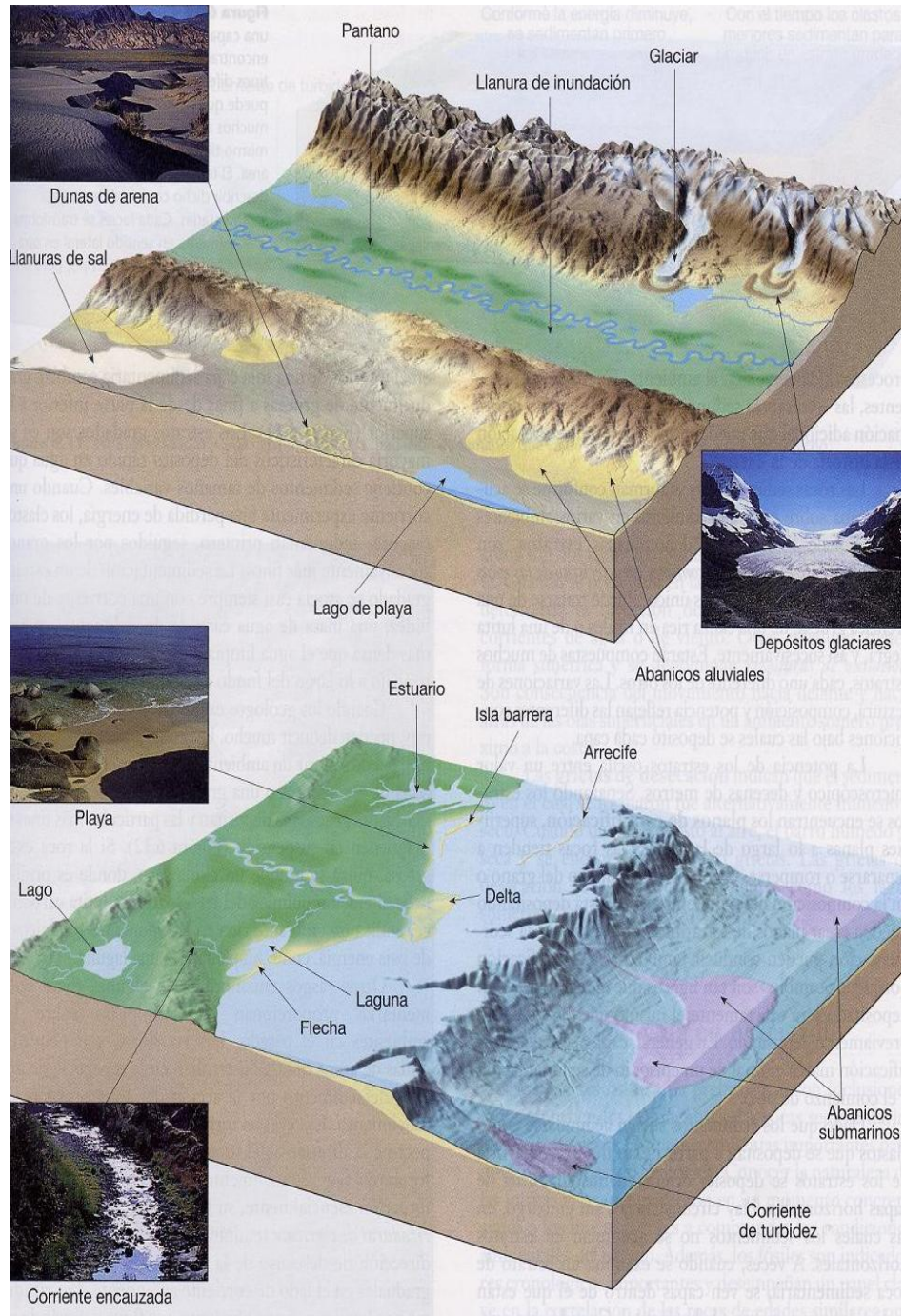


Fig. 4.1 Esta figura idealizada muestra una serie de ambientes donde se pueden formar suelos dispersivos.



ARCILLAS DISPERSIVAS



4. 4 A PARTIR DEL FLUJO ASCENDENTE DE AGUAS Y EL CONTACTO CON ESTRATOS Y/O DOMOS SALINOS

En la actualidad se tienen, en diversas regiones del país, manantiales y/o pozos perforados con un alto contenido de sales, tales como: Lago de Texcoco, laguna del Rey, Santiaguillo, etc...

Esas regiones tanto por el paso del tiempo como por la perforación de pozos de exploración y de explotación en busca de agua potable o riego, manifiestan abatimiento del nivel freático, sin embargo, durante largo tiempo saturaron a las unidades litológicas superiores con sales y llegando, en diversas ocasiones, a formar lagunas con agua salada, en las cuales se incrementa la concentración por inmovilidad hidráulica y por evapotranspiración.



5.0 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y FISIAGRÁFICAS DEL AREA DE ESTUDIO

5.1 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El conocimiento de las características geográficas y geomórficas del área de estudio permite comprender mejor el conjunto de condiciones que se encuentran en ella; particularmente las relacionadas con los siguientes aspectos: coordenadas geográficas, fisiografía, orografía e hidrografía, información que se consideró para esta investigación.

5.1.1 COORDENADAS GEOGRÁFICAS

La Planicie Costera del Golfo de México se divide de acuerdo a los elementos geomórficos en: Llanura Costera del Golfo Norte y Llanura Costera del Golfo Sur; estas planicies comprenden el área de tierras bajas que circunda el Golfo de México. [Ver Mapa 5.1.1].

Las coordenadas geográficas de la LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE son:

Latitud Norte 20° 00' Latitud Norte 26° 00'

Longitud oeste 97° 00' Longitud oeste 100° 0'

Las coordenadas geográficas de la LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR son:

Latitud Norte 17° 30' Latitud Norte 19° 40'

Longitud oeste 90° 30' Longitud oeste 96° 30'



ARCILLAS DISPERSIVAS



5.1.2 ESTADOS DE LA REPUBLICA INVOLUCRADOS

Los estados de la Republica que se encuentran involucrados en la Llanura del Golfo de México, descritos de norte a sur son: Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí, Tabasco, Oaxaca y Chiapas. [Ver Mapas 5.1.2].



Mapas 5.1.2 Muestran los estados de la Republica Mexicana involucrados (a), y la división fisiográfica que se empleó para este estudio (b).



5.1.3 OROGRAFÍA

La Llanura Costera del Golfo Norte es una extensa planicie con alturas menores a los 350m.s.n.m. interrumpida por las Sierras de San Carlos (Sierra Chiquita) y de Tamaulipas (Sierra Azul) con altitudes que no sobrepasan los 1500m. El relieve característico de esta región es de topografía plana con ligera inclinación hacia la Costa del Golfo de México [Ref. 26, 27, 28 y 5]. [Ver Mapa 5.1.3].

La Llanura Costera del Golfo Sur se caracteriza por un paisaje monótono comprendido de llanuras planas y ondulantes, también se encuentran pantanos en el estado de Tabasco, esta Llanura presenta altitudes medias que no sobrepasan los 1000m.s.n.m. [Ref. 19, 30 y 31]. [Ver Mapa 5.1.3].



Mapa 5.1.3. Muestra la orografía de la zona de estudio.



5.1.4 HIDROGRAFÍA

La *Llanura Costera del Golfo Norte* presenta ríos cortos de poco caudal, que descienden de las zonas montañosas, paralelos entre sí y cuyo caudal aumenta gradualmente al avanzar hacia el sur. En esta Llanura destacan los ríos: Bravo y sus afluentes, Soto la Marina, San Fernando, Guayalejo, Tamesí, Tuxpan, Czones, Tecolutla, Nauta y Pánuco. [Ver Mapa 5.1.4].

Dentro del marco hidrológico corresponden al estado de Tamaulipas porciones de cuatro regiones hidrológicas, que son: “Bravo-Conchos” (R. H. No.24), que comprende toda la parte norte hasta las inmediaciones superiores de la Laguna Madre, y abarca una superficie de 14,674.16 km²; “San Fernando Soto la Marina” (R. H. No.25), localizada en toda la parte central del estado y porción sureste, con un área de 42,770.83km²; “Pánuco” (R. H. No.26), ubicada en la parte sur en un área de 16,226.07km²; y, por último en la porción suroeste del estado se localiza la región hidrológica No.37 “El Salado” con una superficie de 4,385.44km². La mayoría de los ríos de estas cuencas nacen en la Sierra Madre Oriental. [Ver Mapa 5.1.4.1].[Ref. 5, 26 y 27].

Tabla 5.1.4 Regiones y cuencas hidrológicas de Tamaulipas

CLAVE	REGIÓN	CUENCA
RH24	Bravo-Conchos	R. Bravo-Matamoros-Reynosa
		R. Bravo-San Juan
		R. Bravo- Sosa
		Presa Falcón río Salado.
RH25	San Fernando-Soto la Marina	Laguna de San Andrés-Laguna Morales
		R. Soto la Marina
		Laguna Madre
RH26	Pánuco	R. Tamesí
		R. Tamuín
		R. Pánuco
RH37	El Salado	R. Sierra Madre



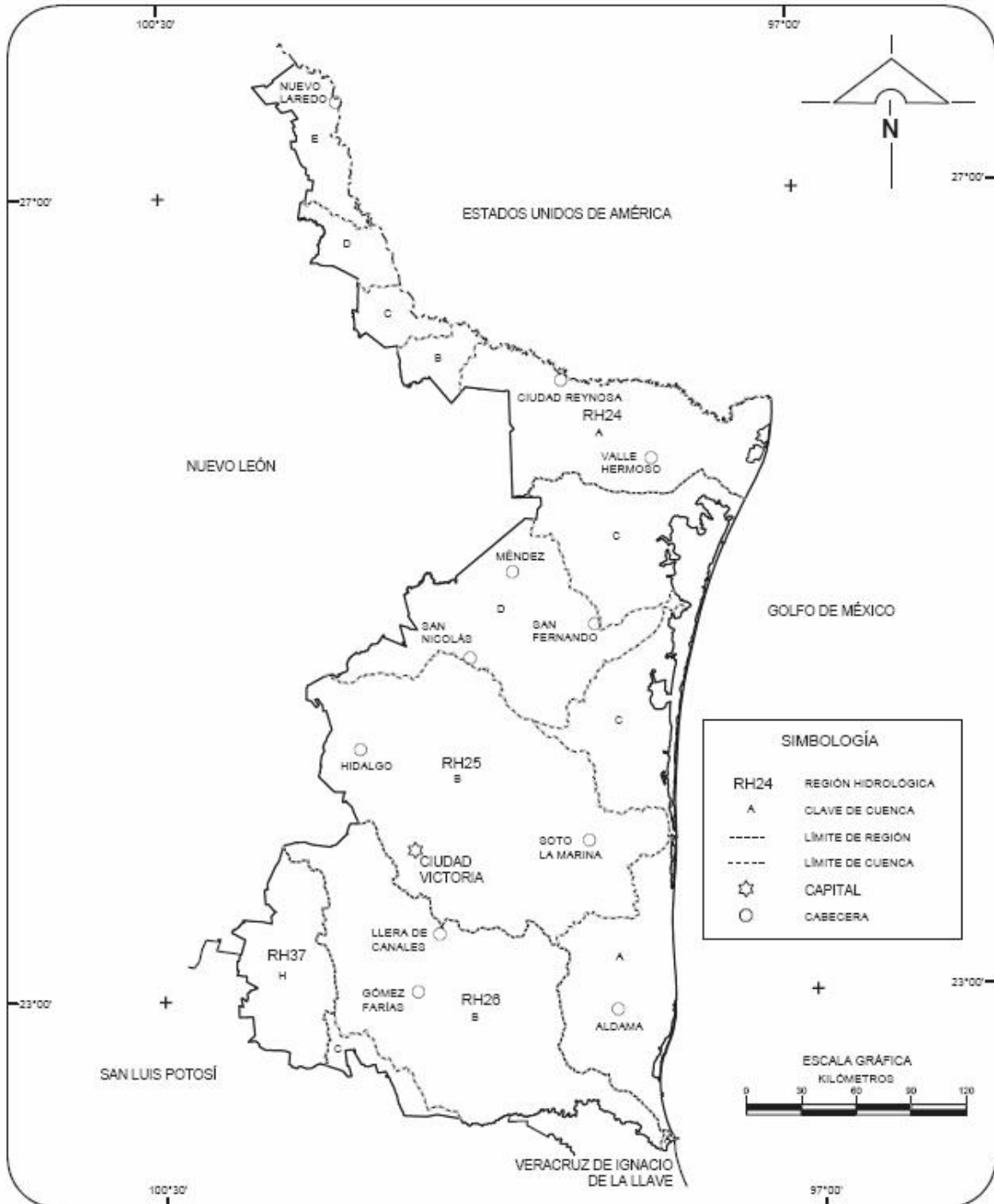
ARCILLAS DISPERSIVAS



Mapa 5.1.4. Ríos de Tamaulipas. Fuente: INEGI.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Mapa 5.1.4.1 Regiones y cuencas hidrológicas de Tamaulipas. Fuente: INEGI.



ARCILLAS DISPERSIVAS



La *Llanura Costera del Golfo Sur* presenta ríos cortos de poco caudal, que descienden de las zonas montañosas, paralelos entre sí y cuyo caudal aumenta gradualmente al avanzar hacia el sur. [Ver Fig. 3]. En esta Llanura destacan los Ríos: Balsas, Pánuco, Tuxpan - Nautla y Cazones, en el norte; Tecolutla, Actopan, La Antigua, Jamapa, Nautla y Blanco, en el centro; y Papaloapan, Coatzacoalcos y Grijalva - Usumacinta, en el sur. Veracruz concentra el 35% de los recursos hidrológicos del país, ya que todos los ríos veracruzanos pertenecen a la vertiente del Golfo de México (INEGI, 2006a). Las mayores cuencas hidrológicas, son alimentadas por los ríos Coatzacoalcos, Papaloapan, La Antigua, Tuxpan y Pánuco. En las tablas 5.1.4.1 y 5.1.4.2 se presentan, respectivamente, las regiones y cuencas hidrológicas, las principales corrientes de agua, y los cuerpos de aguas del estado de Veracruz. [Ref. 13, 20, 29 y 30].

Tabla 5.1.4.1 Regiones y cuencas hidrológicas de Veracruz.

CLAVE	REGIÓN	CUENCA	% DE LA SUPERFICIE ESTATAL
RH18	Balsas	R. Atoyac	0,87
RH26	Pánuco	R. Pánuco	8,49
		R. Tamesí	1,41
		R. Moctezuma	4,60
RH27	Tuxpan-Nautla	R. Nautla y Otros	6,65
		R. Tecolutla	2,49
		R. Cazones	3,35
		R. Tuxpan	8,31
		R. Tamíahua	3,39
RH28	Papaloapan	R. Papaloapan	27,26
		R. Jamapa y Otros	13,22
RH29	Coatzacoalcos	R. Tonalá y Lagunas del Carmen y	3,41
		R. Coatzacoalcos	16,48
RH30	Grijalva-Usumacinta	R. Grijalva-Tuxtla Gutiérrez	0,07

Fuente: INEGI. Carta hidrológica de aguas superficiales, escala 1:1 000000 y escala 1:250 000.



ARCILLAS DISPERSIVAS



NOMBRE	UBICACIÓN	NOMBRE	UBICACIÓN
Tamesí	R. Tamesí	Paso de Ovejas	R. Jamapa y Otros
Pánuco	R. Pánuco	Hueyapan	R. Papaloapan
Chicayán	R. Pánuco	San Juan	R. Papaloapan
Tamacuil	R. Pánuco	Coatzacoalcos	R. Coatzacoalcos
Tempoal	R. Moctezuma	Uxpanapa	R. Coatzacoalcos
Bobos-	R. Nautla y otros	Tonalá	R. Tonalá y lagunas del
Diamante	R. Nautla y otros	Cazones	R. Cazones
Papaloapan	R. Papaloapan	Tecolutla	R. Tecolutla
Tuxpan	R. Tuxpan	Necaxa	R. Tecolutla
Atoyac	R. Jamapa y otros	Actopan	R. Jamapa y otros
Jamapa	R. Jamapa y otros	San Marcos	R. Cazones
Muerto	R. Papaloapan	Los Pescados	R. Jamapa y otros

Tabla 5.1.4.2 Corrientes de agua del estado de Veracruz.



Mapa 5.1.4.2 Regiones y cuencas hidrológicas de Veracruz. Fuente: INEGI.



5.2 LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE

5.2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y COLINDANCIAS

La *Llanura Costera del Golfo Norte* abarca parte de los estados de Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz. La Llanura Costera del Golfo Norte mide aproximadamente 1,250.0km de largo y un ancho aproximado de 300 Km. La llanura está limitada al SW y al oeste por la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico; al Norte está limitada por el Río Bravo, al Noroeste con la Gran Llanura de Norteamérica, al este se encuentra limitada por el Golfo de México.

La Llanura Costera del Golfo Norte integra una Costa de emersión. Las rocas aflorantes son en gran medida sedimentos marinos no consolidados (arcillas, arenas y conglomerados) cuya edad aumenta conforme a la distancia de la costa. Una característica geológica importante es que existe ausencia de materiales aluviales a través de los ríos que desembocan a sus costas. Las subprovincias fisiográficas de esta llanura en nuestro país son propiamente: Sierras de San Carlos y Tamaulipas, Llanura Costera Tamaulipeca, Llanuras y Lomeríos. [Ver Mapas 5.1.2]. [Ref. 26, 27 y 28].

5.2.1.1 Sierras de San Carlos y Tamaulipas

Estas dos cordilleras prominentes rompen, el paisaje llano de la subprovincia Llanura Costera Tamaulipeca. La sierra de San Carlos, con una extensión total de 2,248.24 km², abarca superficies de los municipios de San Carlos, Burgos, San Nicolás, Cruillas y Jiménez; esta sierra está constituida por un conjunto de cuerpos intrusivos ígneos, entre los que



ARCILLAS DISPERSIVAS



predominan los intermedios, asociados a calizas. La parte oriental de este macizo montañoso es amplia y tendida; la occidental, llamada sierra Chiquita, es más escarpada y alcanza altitudes de 1,200m.s.n.m.

La sierra de Tamaulipas, con una extensión de 3,981.66 km², cubre terrenos de los municipios de Casas, Llera, González, Aldama y Soto la Marina. Está formada de calizas afectadas por cinco cuerpos de roca intrusiva ácida. Es escarpada y presenta una disección fuerte con drenaje radial. Tiene un profundo cañón con dirección Sur-Norte por donde fluye el Río Soto la Marina. En el núcleo de la sierra se levantan los picos Sierra Azul y Cerro Picacho, con altitudes de 1,400 y 1,200m.s.n.m. [Ref. 19]. [Ver Mapas 5.1.2].

5.2.1.2 Llanura Costera Tamaulipeca

Está formado por el sistema de topofórmulas denominado barras, que abarca una superficie de 369.81km² y comprende pequeñas áreas de los municipios Pueblo Viejo, Tampico Alto, Ozuluama y Tamiahua. Los materiales que constituyen estos sistemas son arcillo-arenosos marinos recientes. La barra más amplia es la que encierra a la laguna de Tamiahua; al Sur de esta se localiza la Laguna de Tampamachoco, limitada por la barra de Tuxpan, que tiene una dimensión menor que la primera. Diversos sitios de las orillas de estas lagunas se anegan y son salinos. [Ref. 19]. [Ver Mapas 5.1.2].



5.2.1.3 Llanuras y Lomeríos

La mayor parte de esta subprovincia, desde Tampico, Tamps. hasta Misantla queda incluida dentro de Veracruz; En el Norte de esta entidad se encuentra gran parte de la cuenca baja del Pánuco, en la que dominan llanuras aluviales y salinas, inundables y algunas permanentes como las de Champayán, Tortugas, El Chairel, Cerro Pez, Chilá y Pueblo Viejo. Existen algunas llanuras no inundables asociadas con lomeríos. Hacia el sur, hasta el Valle de Tuxpan, siguen extensos sistemas de lomeríos suaves asociados con llanos y algunas cañadas. Junto a la Sierra, al occidente, se localiza el amplio valle de laderas tendidas por donde fluye el Río Moctezuma. [Ref. 18 y 19]. [Ver Mapas 5.1.2].

5.3 LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR

5.3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y COLINDANCIAS

La *Llanura Costera del Golfo Sur* abarca parte de los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Oaxaca y Campeche; mide aproximadamente 630.0 km. de largo y varía en ancho aproximado desde 105.0 hasta 160.0 km. [Ref. 20 y 29]. La *Llanura Costera del Golfo Sur* está limitada al Norte por el Golfo de México, al oeste con la Cordillera Neovolcánica, al SW con la Sierra Madre del Sur, al sur con la Cordillera Centroamericana, al SE con las Sierras de Chiapas y Guatemala y al este con la Península de Yucatán.

La *Llanura Costera del Golfo Sur* es una extensa planicie que en el Estado de Veracruz es de origen marino y en el Estado de Tabasco es de suelos aluviales del acarreo de los ríos, durante miles de años. A diferencia de la Llanura Costera Norte, esta es una



ARCILLAS DISPERSIVAS



Llanura de formaciones extensas de aluvión por parte de los ríos más caudalosos del país. Las subprovincias de la Llanura Costera del Golfo Sur son: Llanura Costera Veracruzana, Llanuras y Pantanos Tabasqueños y Sierra de los Tuxtlas. [Ver Mapas 5.1.2]. [Ref. 20 y 30].

5.3.1.1 Llanura Costera Veracruzana

Casi toda esta subprovincia se encuentra en territorio veracruzano, y es la que ocupa una mayor extensión, con 27001.17 km². Esta subprovincia se divide en tres grandes regiones: los Sistemas de Lomeríos del oeste, la Llanura Costera Aluvial y la Llanura del Papaloapan (Sistemas de Lomeríos del Sur y Sureste). Los Sistemas de topofórmulas del Oeste inician desde la Sierra de Chiconquiaco y constan de lomeríos tendidos con cañadas. Tales cañadas tienen una disposición radial y se aproximan a la costa, a la altura del puerto de Veracruz. Cerca de Tierra Blanca los lomeríos son suaves, a veces simplemente ondulados, asociados con llanuras relativamente amplias. La Llanura Costera Aluvial es angosta en el norte, con una importante área alargada de dunas costeras cerca del puerto de Veracruz. Se ensancha en Boca del Río, donde desemboca el Río Atoyac. La Llanura del Papaloapan y sus afluentes es también amplia, sufre inundaciones frecuentes en el Sur y en el Norte existen áreas de inundación permanente.[Ref. 20]. [Ver Mapas 5.1.2].



5.3.1.2 Llanuras y Pantanos Tabasqueños

Esta subprovincia está surcada por diversos ríos entre ellos el Grijalva y el Usumacinta, los más caudalosos del país; el Tonalá que marca el límite entre Tabasco y Veracruz; y el Chumpan y La Candelaria, al este. Tales ríos en la llanura han sido de cursos inestables debido a que sus cauces han sufrido cambios abruptos, por tal motivo los aluviones recientes cubren en forma uniforme a casi toda esta subprovincia. [Ref. 20]. [Ver Mapas 5.1.2].

5.3.1.3 Sierra de los Tuxtlas

La Sierra Volcánica de los Tuxtlas interrumpe en forma abrupta la continuidad de la Llanura Costera del Golfo Sur. Toda ella con una extensión de 3681.79 km², queda dentro del estado de Veracruz. El núcleo de la Sierra, predominantemente basáltico, es alargado con orientación Noroeste-Sureste. Es de laderas tendidas en el oeste, escarpadas en el este y asociada siempre con lomeríos. En la unidad occidental mas reciente del vulcanismo, se levanta el estrato-volcán de San Martín Tuxtla con 1650 m.s.n.m., se encuentra rodeado de depósitos de cenizas, coladas lávicas y aparatos menores. [Ref. 20]. [Ver Mapas 5.1.2].



6.0 GEOLOGÍA DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

La geología es la ciencia que concierne a la Tierra y a las rocas de las que está constituida, los procesos que las formaron durante el tiempo geológico y el modelado de su superficie en el pasado y el presente. La Tierra no es un cuerpo estático, sino que continuamente ésta sujeta a cambios, tanto en la superficie como a niveles más profundos. Los cambios superficiales pueden ser observados, la erosión es un proceso que destruye grandes masas de roca, transporta y deposita el material destruido en otro sitio diferente al de origen. [Ref. 8].

Lo que trata este capítulo, es de gran importancia ya que el origen de las arcillas dispersivas no es muy conocido, en el estudio presente se ha encontrado información recopilada por varios investigadores la cual permite hacer varios planteamientos sobre el origen de los suelos dispersivos, por esto es necesario describir las características geológicas siguientes.

6.1 GEOLOGÍA DE LA LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE.

6.1.1 FORMACIONES GEOLÓGICAS

La parte noreste (Cuenca de Burgos) de esta Llanura es de edad Terciaria; está constituida por un potente espesor de sedimentos que se extienden a lo largo de la misma, quedando enmarcada por accidentes tectónicos estrechamente relacionados con la formación de los pliegues de la Sierra Madre Oriental y los levantamientos de las Sierras de San Carlos y Cruillas y la parte norte de la Provincia Sierras de Tamaulipas. [Ref. 21].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Hacia fines del periodo Cretácico y principios del Terciario la Orogenia Laramide alcanzó su máximo desarrollo, elevando, plegando y fallando los grandes depósitos del Geosinclinal Mexicano. Esta parte de la llanura está formada por sedimentos del Paleoceno al Reciente y la formaciones se encuentran expuestas a la manera de franjas orientadas NNW-SSE, dispuestas de manera que estratigráficamente las capas más antiguas yacen en la porción occidental, siendo más joven el oriente y notándose un marcado engrosamiento de los sedimentos en esa misma dirección.

En la parte noroeste y central de esta Llanura, la Plataforma Burro- Picacho e Isla San Carlos actuaron como elementos positivos, influyendo en la distribución y carácter de los sedimentos representativos de la transgresión marina del Jurásico. Posteriormente fueron cubiertos por sedimentos carbonatados del Cretácico Inferior y por clásticos del Cretácico Superior, para emerger finalmente durante la Orogenia Laramide. Los elementos más antiguos de esta zona son rocas metamórficas de edad paleozoica, intrusionados por cuerpos graníticos que varían en tamaño y forma. En la Sierra de San Carlos, el Cretácico se encuentra representado en casi su totalidad, por rocas sedimentarias expuestas. [Ref. 21].

También en la parte central y sur de esta Llanura, la Cuenca Tampico-Misantla comprende una parte de las formaciones del Terciario Marino de México. [Ref. 21].

Se describen a continuación las principales formaciones geológicas (López Ramos, 1980) que fueron estudiadas en esta tesis, con base en su litología, su posición geográfica y su relación con el posible origen de las arcillas dispersivas. [Ver Mapa 6.1 y Figura 6.1.1.1].



ARCILLAS DISPERSIVAS



a) Parte noreste (Cuenca de Burgos)

Formación Velasco. Está constituida por una serie de margas y lutitas de colores gris y gris azul, con algunos delgados lechos de arenisca calcárea. Su espesor de 250-800m. representa una facie de aguas profundas equivalente a la parte inferior de la Formación Midway.

Formación Midway. La parte inferior de esta formación está representada por sedimentos de litoral tales como arenas y areniscas con abundante glaucomita y lentes calcáreas con fósiles retrabajados, los estratos superiores consisten de sedimentos marinos de aguas profundas representadas por lutitas con abundante fauna marina y con escasas concreciones calcáreas. Su espesor varía de 400m a más de 1,000m.

Formación Wilcox. Los sedimentos de esta formación descansan discordantemente sobre la Formación Midway. Está constituida por capas delgadas de lutita y de arenisca arcillosa dispuestas en alternancia. Ocasionalmente se encuentran intercalados, bancos de arenisca micacífera, con estratificación cruzada y capas gruesas de arcillas de colores gris y rojo. Su espesor es de 800-1,300m.

Formación Carrizo. Se compone en su mayor parte de arenas y areniscas de grano fino a medio, de colores blanco a rojizo de acuerdo con el grado de intemperismo. Entre estos sedimentos se encuentran intercalaciones arcillosas de 2 a 15m de espesor. Su espesor varía de 300-800m.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formación Mount Selman. Esta incluye los miembros Weches, Queen City y Recklaw. El miembro inferior Recklaw, está constituido por arenas interestratificadas con lutitas y limolitas de colores verde, rosa y púrpura, ferruginosa a veces, con yeso y trazas de azufre y con lutitas carbonosas, que sugieren su origen subcontinental. El miembro Queen City se compone de arenas de cuarzo de grano fino de color gris, interestratificadas con lechos de lutitas y arcillas con foraminíferos de aguas salobres. El miembro superior Weches está representado por depósitos esencialmente marinos. Consiste de arenas de color gris, lutitas de colores café, gris y rojizo, con abundancia de foraminíferos y microfósiles. Su espesor varía de 250m a 1,200m.

Formación Cook Mountain. Está formada principalmente por una serie de areniscas glauconíticas de color gris verdoso, que alternan con capas delgadas de arcillas de colores café y gris, muy fosilíferos, que por intemperismo toman un color amarillo intenso. Su espesor varía de 250m a 1,000m.

Formación Yégua. Consiste de una potente serie de arcillas de colores gris y verde, con intercalaciones de lutitas carbonosas, dispuestas entre dos cuerpos de areniscas de color gris denominadas areniscas Mier. Su espesor varía de 100m a 1,000m.

Formación Jackson. Consiste de arenas y areniscas interestratificadas con lutitas arenosas de colores gris y verde, fosilíferas, con capas de ceniza volcánica y madera silicificada en la parte media y superior.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formación Vicksburg. Está constituida por sedimentos marinos y salobres, arcillas y arenas de grano fino a medio que alternan con lechos de ceniza volcánica, con abundancia de microfósiles. Su espesor de hasta 3,000m.

Formación Frió. Está incluye los miembros Frió Marino y Frió No Marino. El miembro Frió Marino se compone principalmente de lutitas de color gris, verde y café, con abundancia de foraminíferos. Su espesor de 30m a 1,000m. El miembro Frió No Marino está formado por lutitas de colores café rojizo, gris y verde, fragmentos de anhidrita y de yeso, y varios cuerpos arenosos de carácter lenticular, de grano fino a grueso, de permeabilidad variable, muy calcárea. Su espesor de hasta 2,000m.

Conglomerado Norma. Se trata de un desarrollo sedimentario local, lo forma un gran abanico de clásticos gruesos, de gravilla hasta guijarros grandes de 30 a 40cm de diámetro depositados por alguna corriente fluvial. Los cantos rodados que lo forman se derivan de caliza, roca ígnea y arenisca. Su espesor varía de 75m a 300m.

Formación Anáhuac. Está representada por sedimentos marinos, lutitas de colores café y café rojizo y arena de grano fino, de colores café a gris pobremente consolidados. Su espesor varía de 80m a 120m.

Formación Catahoula. Se compone de lutitas y areniscas con abundancia de material tobáceo. Las lutitas son de color gris verde, plásticas; las areniscas presentan color gris. Las tobas son de color gris claro, gris verdoso y verdes, de textura finas. Su espesor de hasta 160m.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formaciones Oakville y Lagarto. Están formadas por sedimentos continentales y de aguas someras. Están constituidas por arenas y areniscas, gravas y arcillas, materiales dispuestos en capas que frecuentemente presentan estratificación cruzada.

Formación Reynosa. La forman sedimentos de origen continental, gravas, arenas y arcillas con trazas de material yesífero, que probablemente fueron depositados por ríos y arroyos caudalosos sobre la superficie. Su espesor varía de 15m a 35m.

b) Parte noroeste y central (Plataforma Burro- Picacho e Isla San Carlos)

Los elementos más antiguos están constituidos por rocas metamórficas de edad Paleozoica, intrusionadas por cuerpos graníticos que varían en tamaño y forma. En la Sierra de San Carlos, el Cretácico se encuentra representado en casi toda su totalidad por rocas sedimentarias expuestas. Solo puede verse un afloramiento de rocas de la Formación La Casita, sobreyacen a esta las rocas cretácicas más antiguas de la Formación Cupido y después a esta sobreyacen las formaciones La Peña y Otates; posteriormente se encuentra la formación Aurora y la formación Cuesta del Cura las cuales hacia el sur se agrupan dentro de la formación Tamaulipas Superior.

Las formaciones del Cretácico Superior, Agua Nueva, San Felipe y Méndez, conservan los mismos nombres tanto en el noreste de México como en la cuenca Tampico-Misantla. También se encuentran aflorando en el área gran variedad de rocas ígneas y metamórficas.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Dentro de las rocas ígneas se encuentran presentes tanto rocas de tipo plutónico, como de tipo extrusivo e hipabisal. Las rocas metamórficas aflorantes en su totalidad de origen sedimentario transformadas por el metaformismo de contacto, originado por las intrusiones ígneas, siendo el producto final el mármol.

c) Parte central y sur (Cuenca Tampico-Misantla)

Formación Velasco. Los sedimentos de esta formación indican por su litología y fauna, condiciones de depósito en aguas moderadamente profundas, pues están constituidas en su mayor parte por lutitas homogéneas de grano fino y localmente en capas delgadas de bentonita de color verdoso. Su espesor es variable en un rango de 70m a 1,235m.

Formación Chicontepec. Está constituida por las siguientes formaciones: Chicontepec Superior, Chicontepec Medio y Chicontepec Inferior. *Chicontepec Superior:* consta de capas de arenisca de grano fino a medio, de colores gris y gris oscura, de 5 a 10cm de espesor, con impresiones de gusanos marinos; huellas de oleaje y restos de plantas. Alternan con estas areniscas, capas delgadas de margas arenosas de color gris y de lutitas de color gris azul. *Chicontepec Medio:* está constituido por una serie de areniscas y lutitas en alternancia. Las areniscas son de color gris, de grano medio, compactas en capas de 20cm a 1.0m de espesor, en ocasiones con material carbonoso (restos de plantas). Las lutitas son de color gris o gris azul, duras y estratificadas en capas delgadas. Su espesor varía de 40m a 200m. *Chicontepec Inferior:* esta constituida por una serie alternante de capas de arenisca calcárea y de lutitas y margas depositadas en aguas poco profundas. En la parte inferior se encuentran capas de



ARCILLAS DISPERSIVAS



arenisca calcárea de grano fino, de color gris oscuro, de 50cm a 60cm de espesor que alternan con capas de lutita calcárea de 20 a 25cm de espesor.

Formación Aragón. Está constituida por lutitas de color gris, gris azul y verde, que por acción del intemperismo toman color amarillento. En la base de esta formación se presentan bandas de bentonita. Hacia la parte alta se encuentran láminas de arena fina y pequeños nódulos calcáreos. Tiene un espesor medio de 150m.

Formación Guayabal. La forman lutitas de color gris, azul y café que por acción del intemperismo adquieren un color gris o crema. Entre las lutitas se encuentran nódulos de siderita (que le son característicos) y delgadas intercalaciones de arena de grano fino. Su espesor varía de 100m a 1000m.

Formación Chapopote-Tantoyuca. Se trata de una formación con dos diferentes facies características, siendo éstas: Facies Chapopote y Facies Tantoyuca. Facies Chapopote, está constituida por margas de color gris a gris verdoso, que por intemperismo toman un color crema. La estratificación no es muy característica y donde se presenta está muy marcada por capas delgadas de bentonita de color amarillo verdoso que son más frecuentes hacia la cima de la formación. Facies Tantoyuca, está constituida por sedimentos arenoso-conglomeráticos. La forman areniscas de grano fino a grueso y areniscas conglomeráticas de matriz calcárea con algunas intercalaciones de lutita o de marga arenosa de colores gris y gris oscuro. El espesor de las dos facies varía desde unos cuantos metros hasta 400m.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formación Horcones. Son margas grises de tonalidad que varía de un tono claro a oscuro azulado y que intemperizan en color café a gris crema; frecuentemente presentan intercalaciones de arenisca de grano fino y ocasionalmente de capas de ceniza volcánica.

Formación Palma Real. Está constituida por dos Formaciones: Palma Real Superior y Palma Real Inferior. *Palma Real Inferior*, es variable según la proximidad a la línea de costa. Las facies costeras de aguas someras consisten de areniscas, conglomerados y margas arenosas, mostrando los estratos variaciones laterales muy marcadas. Los conglomerados tienen cantos de calizas del Cretácico y guijarros de pedernal negro; también se encuentran bloques o lentes de caliza coralina. *Palma Real Superior*, se distingue de la anterior por la ausencia de ciertas especies de microfósiles; está constituida por lutitas suaves de color gris, ligeramente arenosos en parte, con algunas intercalaciones de arenisca de grano fino del mismo color. Su espesor total varía de un promedio de 140m a 690m.

Formación Mesón. Esta se desarrolló en facies de aguas someras. La parte inferior está formada por lutitas y margas, generalmente muy arenosas, de colores gris a gris azulado. Sobre esta capa se encuentran estratos de arenisca calcárea de 20 a 30cm de espesor, de grano fino a medio, de color café. Las areniscas están cubiertas por capas delgadas (10 a 20cm de espesor) de caliza con intercalaciones de arenisca gris azul; conjunto que está cubierto a su vez, por un conglomerado formado por restos de conchas bivalvos de corales y algunas especies de foraminíferos en matriz calcárea. Su espesor varía de 90m a 875m.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formación Alazán. Está expuesta en diversas localidades dentro de la cuenca Tampico-Tuxpan, sus afloramientos consisten de una serie de margas y lutitas de colores gris a azul oscuro que por intemperismo adquieren un color rojizo. Ocasionalmente se encuentran intercaladas algunas capas delgadas de arenisca arcillosa de 2 a 3cm de espesor. Su espesor varía de 60m a 960m.

Formación Coatzintla. Está constituida por lutitas y margas de color gris oscuro que alternan con margas arenosas y en algunos lugares con conglomerados y calizas coralinas. Esta formación representa un depósito de aguas más profundas a la Formación Mesón que la subyace, y parece haberse depositado durante una etapa de trasgresión, a juzgar por la secuencia de clásticos que la forman. Su espesor varía desde 150m hasta 450m.

Formación Escolín. Constituida por margas de color gris oscuro, homogéneas y masivas que están cubiertas por margas arenosas que alternan con capas de arenisca calcárea de grano fino a medio y de caliza arenosa, generalmente desprovistas de fósiles. En la localidad tipo su espesor varía de 250m y 300m.

Formación Tuxpan. Constituida por capas de arenisca, de arenisca calcárea, de caliza arenosa y de lutita más o menos arenosa, con predominio de estas últimas; localmente se aprecian algunos conglomerados, particularmente hacia la base de la formación. Los sedimentos de esta formación fueron depositados durante una trasgresión de aguas someras, seguidas por una regresión, hasta alcanzar su posición actual en el Golfo de México. Su espesor varía de 50m a 250m.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Basaltos. Tomando en cuenta su composición química de estas rocas, se trata de una serie alcalina diferenciada (basanitas-basalto alcalinos traquitas-fonolitas). Su espesor no ha sido bien definido.

ERA		SISTEMA		SERIE		EDAD		LLANURA DEL GOLFO NORTE				
						PISO		Cuenca de Burgos		Sierras de Tamaulipas		Cuenca Tampico-Misantla
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO			ALUVION		ALUVION		ALUVION			
			PLEISTOCENO	CONGLOMERADO		LISSIE Y ALUVION		ARENAS Y GRAVILLAS Y				
		PLIOCENO		PIANCENCIANO	REYNOSA		FLEMING		GRAVAS			
			ZANCLEANO	GOLIAD								
	MIOCENO	SUPERIOR	MESSINIANO	OAKVILLE		OAKVILLE		TUXPAN				
			TORTONIANO									
			SERRAVALIANO									
		INFERIOR	LANGHINIANO	CATAHOULA		OAKVILLE		ESCOLIN				
			BURDIGALIANO									
			AQUITANIANO									
	OLIGOCENO	SUPERIOR	CHATIANO	CONGLOMERADO NORMA	ANAHUAC	CONGLOMERADO NORMA	ANAHUAC	FRIO		P A L M A		
				FRIO NO MARINO		CATAHOALA		M E S O N		A L A Z A N		
		INFERIOR		FRIO MARINO						R E A L		
			RUPELIANO	VICKSBURG		VICKSBURG		HORCONES				
	EOCENO	SUPERIOR	PRIABONIANO	JACKSON		JACKSON		TANTOYUCA		CHAPOPOTE		
				YEGUA		YEGUA						
		MEDIO	BARTONIANO	COOK MOUNTAIN	CL A I B O R N E	COOK MOUNTAIN	GUAYABAL					
				WECHES		WECHES						
		INFERIOR	LUTECIONANIO	QUEEN CITY		QUEEN CITY						
			RECKLAW	RECKLAW		ARAGON						
PALEOCENO	SUPERIOR	YPRECIANO	WILCOX		WILCOX - INDIO							
			MIDWAY		MIDWAY VELASCO		CHICONTEPEC					
	INFERIOR	DAHIANO					VELASCO					

FIGURA 6.1.1.1. Columnas estratigráficas de la Llanura Costera del Golfo Norte (Compilada por Quezada y Sarmiento, 1999).



6.1.2 SECUENCIA LITOLÓGICA

En general la secuencia litológica que se tiene a lo largo de la Llanura Costera del Golfo Norte, es la siguiente:

Suelos

Unidad que pertenece al Cuaternario, integrada por depósitos aluviales, lacustres, eólicos y de litoral, compuestos por arcillas, limos y arenas finas. Se distribuyen principalmente en la porción nororiental de Tamaulipas y a lo largo de la Costa del Golfo. [Ref. 19].

Brecha Volcánica Básica

Unidad constituida por productos piroclásticos (ceniza volcánica, lapilli, brecha volcánica y algunas bombas volcánicas). Se encuentra representada por algunos conos cineríticos. Pertenece al Cuaternario y aflora al Sur del Río Soto la Marina cerca de la Costa del Golfo. [Ref. 19].

Basalto

Roca ígnea extrusiva, de colores gris claro a negro, constituida por derrames lávicos. En algunos sitios presenta intemperismo esferoidal. Se encuentra cubriendo a las rocas sedimentarias cretácicas y terciarias. [Ref. 19].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Gabro

Roca intrusiva de color negro con tonos verdes y pardos que intrusionan rocas calcáreas donde ha provocado la formación del mármol. Aflora en la Sierra San Carlos. [Ref. 19].

Sienita

Roca que intrusiona a los depósitos sedimentareos del Cretácico Inferior; sus colores son gris y blanco; tiene importancia económica ya que ha dado lugar a la formación de vetas de sulfuros de plata, plomo y cobre. Aflora en la Sierra de San Carlos. [Ref. 19].

Diorita

Roca intrusiva de colores gris claro y gris oscuro, que intemperiza en forma esferoidal. Intrusiona a la secuencia marina del Cretácico Superior donde se encuentra emplazada en forma de mantos. Aflora en áreas de la Sierra de San Carlos. [Ref. 19].

Granito

Unidad intrusiva de color crema que intemperiza a color amarillento. Se presenta superficialmente en forma de grandes bloques; intrusiona a rocas sedimentarias del Cretácico. Afloran en la sierra de San Carlos y de Tamaulipas. [Ref. 19].

Conglomerado

Unidad sedimentaria del Plioceno, constituida de depósitos continentales, conglomeráticos de diferentes clastos de caliza, pedernal y, en ocasiones, de rocas ígneas



ARCILLAS DISPERSIVAS



cementadas por carbonatos; presentan matriz arcillo-arenosa; pertenece a la Formación Reynosa y descansa discordantemente sobre rocas sedimentarias terciarias. [Ref. 19].

Lutita-Arenisca

Unidad sedimentaria del Mioceno, depositada en ambientes continentales y marinos de aguas poco profundas, compuesta de lutitas arenosas y calcáreas y de areniscas que presentan estratificación cruzada. Contienen intercalaciones de cenizas volcánicas y algunos lentes calcáreos, constituye las formaciones Oakville y Tuxpan. Aflora al Oriente de la Sierra de San Carlos y de Tamaulipas. [Ref. 19].

Lutita-Arenisca

Esta unidad pertenece al Oligoceno, está formada por una secuencia de lutitas y areniscas de grano fino, depositada en un ambiente sedimentológico regresivo con pequeñas regresiones; presenta algunos estratos conglomeráticos y calizas coralinas. Descansa en forma discordante sobre las rocas del Eoceno. Las rocas del Oligoceno afloran en una franja al Oriente de la Sierra de San Carlos y de Tamaulipas, así como en el área de Tampico. Constituye las formaciones Catahoula, Palma Real y Mesón. [Ref. 19].

Lutita-Arenisca

Esta unidad pertenece al Eoceno, constituida por margas arenosas interestratificadas con areniscas de grano fino, con algunas lutitas. Esta unidad aflora en forma de franja al Oriente de las Sierras de San Carlos y Tamaulipas, incluye a las formaciones Wilcox, Carrizo, Cook Mountain, Yegua, Kackson y Chapopote. [Ref. 19].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Lutita–Arenisca

Esta unidad pertenece al Paleoceno y está constituida por estratos medianos y delgados de lutitas, areniscas, areniscas arcillosas y algunas limolitas. Se depositaron en ambiente nerítico de un mar regresivo. Incluye formaciones Velasco y Midway. [Ref. 19].

Lutita

Unidad sedimentaria del Paleoceno, integrada por lutitas calcáreas de color gris con tonalidades verdes, que presentan intercalaciones arenosas y de margas; sus contactos discordantes, pertenecen a la formación Velasco. [Ref. 19].

Lutita

Unidad sedimentaria del Cretácico Superior, constituida por lutitas laminares calcáreas y algunas margas, depositadas en ambiente nerítico en un mar regresivo. [Ref. 19].

Caliza-Lutita

Unidad sedimentaria del Cretácico Superior formada por una alternancia rítmica de calizas y lutitas en estratos medios y delgados, depositados en un ambiente nerítico de un mar regresivo. Incluye a las formaciones Agua Nueva y San Felipe. Sus contactos son concordantes. [Ref. 19].

Caliza

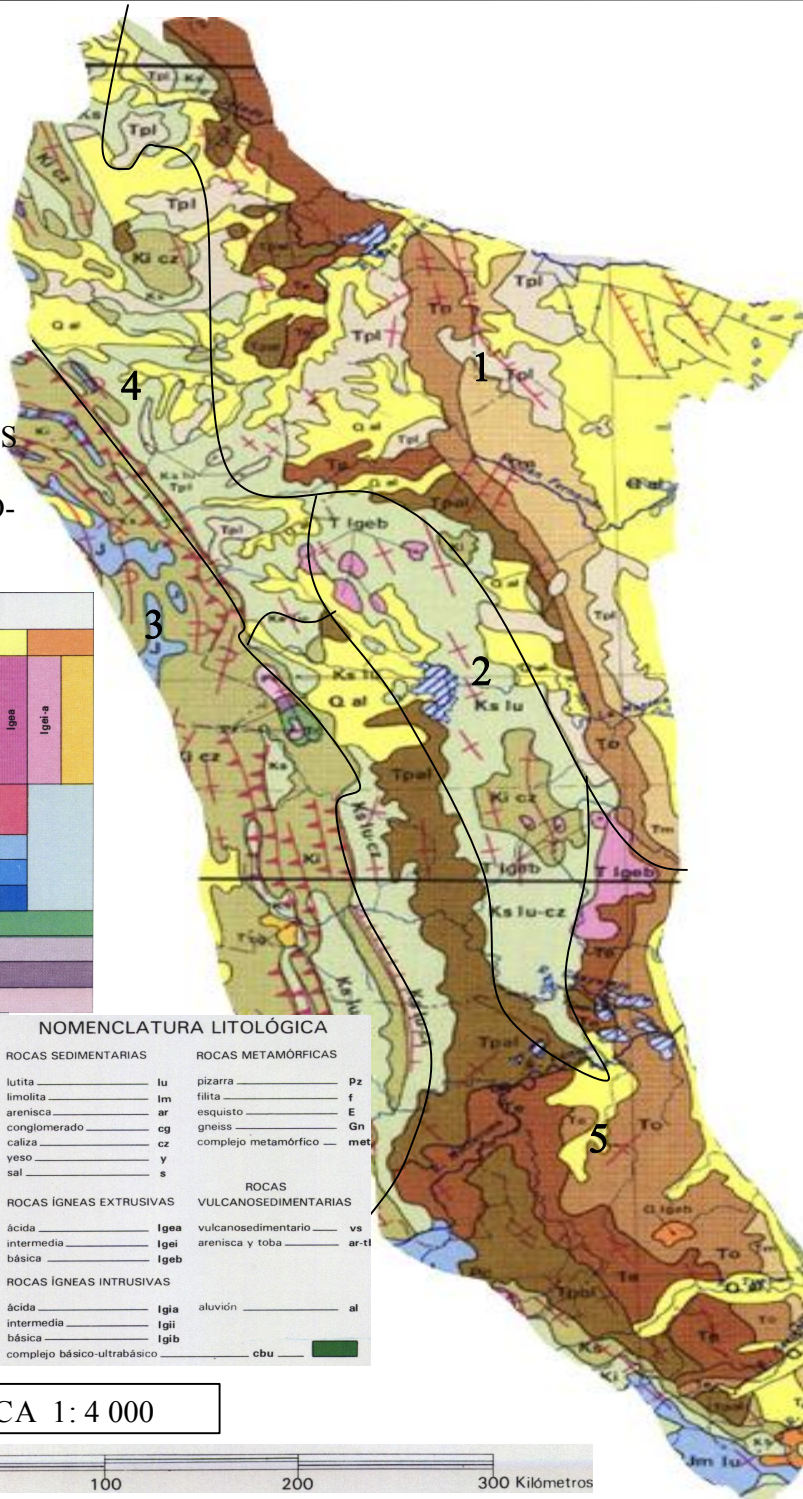
Unidad sedimentaria del Cretácico Inferior, ancha de sedimentos calcáreos depositados en una cuenca de estratos medianos y gruesos. Incluye a las formaciones Tamaulipas Inferior, Otates y Tamaulipas Superior. [Ref. 19].



ARCILLAS DISPERSIVAS



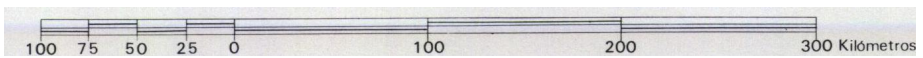
1. CUENCA DE BURGOS
2. SIERRA DE TAMAULIPAS
3. SIERRA MADRE ORIENTAL
4. PLATAFORMA BURROS-PICACHOS
5. CUENCA TAMPICO-MISANTLA



CRONOLOGÍA			
CENOZOICO Cz	TERCIARIO (T)	CUATERNARIO Q	
		TERCIARIO SUPERIOR Ts	PLIOCENO Tpl MIOCENO Tm
		TERCIARIO INFERIOR Ti	OLIGOCENO To EOCENO Te PALEOCENO Tpal
			Igea Igea-a
MESOZOICO Mz	CRETÁCICO K	CRETÁCICO SUPERIOR (Ka)	
		CRETÁCICO INFERIOR (Ki)	
	JURÁSICO J	JURÁSICO SUPERIOR (Jsa)	
		JURÁSICO MEDIO (Jm)	
		JURÁSICO INFERIOR (Ji)	
	TRIÁSICO (Tr)		
PALEOZOICO Pz		PALEOZOICO SUPERIOR (Ps)	
		PALEOZOICO INFERIOR (Pi)	
		PRECÁMBRICO (Pc)	

SIMBOLOGÍA		NOMENCLATURA LITOLÓGICA	
PLIEGUES	Anticlinales	Simétricos	Asimétricos
	Sinclinal	Domo	
FALLAS	Normal y de crecimiento	Aflorante	Sepultada
	Inversa		
Transcurrente	Aflorante	Sepultada	
Falla no verificada o fractura			
ESTRUCTURAS VOLCÁNICAS			
Caldera			
Domo salino			
Cuerpos de agua			
Caldera inferida			
ROCAS SEDIMENTARIAS		ROCAS METAMÓRFICAS	
lutita	limolita	arenisca	conglomerado
caliza	yeso	sal	
ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS		ROCAS METAMÓRFICAS	
ácida	intermedia	básica	
ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS		ROCAS METAMÓRFICAS	
ácida	intermedia	básica	complejo básico-ultrabásico
ROCAS METAMÓRFICAS		ROCAS METAMÓRFICAS	
pizarra	filita	esquistos	gneisis
ROCAS METAMÓRFICAS		ROCAS METAMÓRFICAS	
complejo metamórfico			
ROCAS METAMÓRFICAS		ROCAS METAMÓRFICAS	
vulcanosedimentario	arenisca y toba		
ROCAS METAMÓRFICAS		ROCAS METAMÓRFICAS	
aluvión			

ESCALA GRAFICA 1: 4 000



Mapa 6.1.1 Geología de la Llanura Costera del Golfo Norte y división de regiones investigadas por E. López Ramos. (Atlas de México, Mapa de Geología, IV.1.1, Instituto de Geografía, UNAM, Padilla y Sánchez R. J. Aceves Quesada J. F., Mayo 1992).



6.1.3 ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

Las estructuras geológicas nos definen los anticlinales, sinclinales, monoclinales y fallas que fueron originadas por los cambios de esfuerzos tectónicos que han ocurrido en las masas rocosas:

a) Parte noreste (Cuenca de Burgos)

La regresión Terciaria de la Cuenca de Burgos, tuvo lugar siendo un rumbo general de depósito Norte-Sur con echado regional y divergencia hacia al oriente. El aspecto estructural más notable es el afallamiento tan intenso que interrumpe a los sedimentos del Oligoceno. Todas las fallas son normales, se orientan con rumbo general Norte-Sur y presentan su bloque oriental caído. Muchos de los anticlinales formados de gruesos cuerpos de arenas no son más que resultado de la compactación diferencial de las arcillas originales y los cuerpos arenosos. [Ref. 21].

b) Parte noroeste y central (Plataforma Burro- Picacho e Isla San Carlos)

Prácticamente, toda la porción Norte y Noreste del Estado de Nuevo León, está situado en la Llanura Costera del Golfo Norte, la cual esta interrumpida por cerros de pequeña magnitud, como el de Picachos-Papagayos, al NW de Cerralvo o el de Ramones al Oriente de Monterrey. Estos cerros o sierra se consideran verdaderas estructuras anticlinales, algunos de los cuales presentan intrusiones ígneas. Las rocas que forman la Llanura Costera, que estructuralmente constituyen un monoclinal al Oriente, van desde calizas de la San Felipe, margas y lutitas de la Méndez, areniscas y lutitas de la Midway, hasta clásticos del Eoceno y el Oligoceno. [Ref. 21].



c) Parte central y sur (Cuenca Tampico-Misantla)

La Cuenca Sedimentaria de Tampico-Misantla está compuesta principalmente por tres unidades estructurales primarias, la parte sur de la Plataforma de Tamaulipas, la Antefosa de Chicontepec y la Sierra Madre Oriental. Destaca en la primera la Sierra de Tamaulipas, cuyo extremo sur está cubierto por sedimentos del Cretácico Superior y del Eoceno, dando origen a la estructura de Pánuco-Ébano. Existe en ella un sistema de fallas con orientación NNE-SSW (Falla de Menudillo) y sin conexión con los esfuerzos tectónicos que levantaron la Sierra Madre Oriental. Al sur existe el bloque de la Faja de Oro con forma semicircular, entre la laguna de Tamiahua y la Barra de Tecolutla. Esta estructura arrecifal tiene su parte más alta en el centro y buza hacia los extremos. En el Eoceno Superior se depositaron grandes espesores de sedimentos de tipo “Molasse” que corresponden a la época de máxima orogenia, de la Sierra (Formación Tantoyuca). Dichas capas posteriormente fueron muy plegadas adquiriendo orientaciones NNW-SSE en lo que actualmente es la Cuenca Chicontepec. [Ref. 21].



6.2 GEOLOGÍA DE LA LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR

De acuerdo con los estudios realizados por E. López Ramos la Llanura Costera del Golfo Sur la divide en: Cuenca de Veracruz, San Andrés Tuxtla y Cuenca del Sureste. Al realizar esta división detalla más la geología de esta llanura, también se consideran la porción NE del Altiplano Oaxaqueño y el Istmo de Tehuantepec persiguiendo la finalidad de describir algunas de las características que presentan las formaciones geológicas encontradas.

6.2.1 FORMACIONES GEOLÓGICAS

La columna sedimentaria de la Cuenca de Veracruz descansa sobre un basamento metamórfico granítico de edad Paleozoico y se inicia con los sedimentos Triásico-Jurásico Superior, principalmente constituidos de carbonatos. En el Cretácico, en general se tienen carbonatos, calizas, arcilla y margas. En esta Cuenca afloran principalmente sedimentos Terciarios y Recientes; sin embargo las formaciones sedimentarias más antiguas, están cubiertas por piroclásticos y por rocas recientes, probablemente de origen fluvial. La columna estratigráfica del Terciario incluye los pisos del Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Reciente. Existe en el Terciario una semejanza estratigráfica de la Cuenca de Veracruz con la Cuenca Salina del Istmo. La Provincia de San Andrés Tuxtla esta cubierta por rocas volcánicas evidentemente más jóvenes que el Mioceno, pues las cubre discordantemente; consisten de lava de andesita o basalto, brechas, tobas y cenizas volcánicas derramadas por antiguos aparatos volcánicos, de los cuales solo quedan como testigos el Pico de Orizaba, Cofre de Perote y Volcán de San Martín (San Andrés Tuxtla). [Ref. 22].



ARCILLAS DISPERSIVAS



La Cuenca del Sureste como la delimita E. López Ramos abarca los estados de Tabasco y Chiapas. La columna estratigráfica del Terciario incluye los pisos del Paleoceno y Eoceno en la Sierra Norte de Chiapas, en Tabasco el piso corresponde al Oligoceno, en ambos estados se encuentra el piso que pertenece al Mioceno. [Ref. 22].

En la Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec existen pisos geológicos pertenecientes al Cretácico Superior donde se han encontrado formaciones geológicas salinas a una profundidad de entre 941m y 945m siendo descritas como sal gris claro con lutitas gris oscuro y anhidrita.

Se describen a continuación las principales formaciones geológicas (López-Ramos, 1980) que fueron estudiadas para esta tesis, con base en su litología, su posición geográfica y su relación con el posible origen de las arcillas dispersivas. [Ver Mapa 6.3 y Tabla 6.3.1.1]:

a) *Cuenca de Veracruz*

Formaciones Chicontepec-Velasco. Está caracterizada por capas de lutitas color café verdoso que intemperizan a color plomo amarillento o bien plomo rojizo, alternando con areniscas de grano medio a grueso de cementante calcáreo-arcilloso, incluyendo laminillas de yeso y mica. Entre los planos de estratificación de las lutitas, se encuentran restos de plantas fósiles muy mal conservadas. Presenta secuencias de más de 1700m.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formación Aragón. Sobreyace a las formaciones Chicontepepec o Velasco y esta formada por una serie de lutitas gris azul, estratificadas en espesores de 5 a 10cm y se intemperizan a un color crema o café claro. Su espesor máximo llega hasta 600m.

Formación Guayabal. Esta formada de lutitas oscuras, gris acero y gris azul en ocasiones rojizas y arenosas, con concreciones calcáreas y a veces ferruginosas. Su espesor total se estima en unos 500m.

Formación Horcones. Aunque la formación Horcones pertenece a la Cuenca Tampico-Misantla, aparece también en la columna geológica de la Cuenca de Veracruz. Está constituida por lutitas de color gris verde, con restos de plantas fósiles, la lutita es homogénea, compacta, con ligeras trazas de arena; hacia la base existe indistintamente un conglomerado de cantos y fragmentos angulosos a subangulosos, gris oscuro y gris claro y algunos fragmentos de pedernal y basalto formando un cuerpo de hasta 300m.

Formación La Laja. Presenta conglomerados basales seguidos de una secuencia de más de 1000m de roca clástica predominando las lutitas.

Formación Depósito. Consiste de una secuencia clástica de lutitas, tobas y arenas de origen volcánico con espesores del orden de 1800m.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formación Encanto. Esta formación se divide en: *Encanto Superior* y *Encanto Inferior*. La *Formación Encanto Superior* está constituida por lutitas de color gris verdoso con un bajo porcentaje de arena, con abundantes fragmentos de pirita, en ocasiones la lutita es arenosa con arena de grano medio a grueso formada principalmente por material volcánico; ocasionalmente se encuentran intercalaciones de arenisca de fragmentos de caliza de color gris y crema, cuarzo y pedernal gris. Su espesor varía del orden de 570m. La *Formación Encanto Inferior* está litológicamente constituida por lutitas de color gris claro escasamente arenosas, con delgadas intercalaciones de conglomerados formados principalmente de pequeños fragmentos de cuarzo con cementantes areno-margosos.

Formación Concepción. Esta formación se divide en *Formación Concepción Superior* y *Formación Concepción Inferior*. La *Formación Concepción Inferior* presenta lutitas ligeramente arenosas de color gris claro y gris verdoso, conteniendo fragmentos de pirita y laminillas de mica y delgadas intercalaciones de arenisca compacta de grano fino. Sus espesores no son muy considerables alcanzando hasta 350m. La *Formación Concepción Superior* consta esencialmente de lutitas y arcillas de color que varía de gris al gris azul, en ocasiones muy arenosas, intemperizando a color gris amarillento, sin embargo, su contacto con la *Formación Filisola* puede reconocerse por la intercalación lenticular de areniscas de grano fino, calcáreas y fosilíferas. Los espesores alcanzan hasta 300m.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formación Filisola. Aflora únicamente en la provincia de los Tuxtlas y está constituida por una serie de capas de 10cm a 1m de espesor de areniscas compactas, grano fino y de color gris azul a gris crema, alternando con bancos delgados y gruesos de arena arcillosa consolidada, con abundancia de macrofauna. Su espesor varía hasta 150m.

Formación Paraje Solo. Esta formación la representan conglomerados formados por gravas, gravillas y arenas de grano grueso, derivadas de material volcánico, en colores del gris al gris amarillento, con restos de fauna cementada en una matriz calcárea y algunas intercalaciones de arenisca y arcilla tobácea de coloración del gris a un amarillento ocre. Su espesor varía hasta 120m.

b) Cuenca del Sureste

Formación Equivalente a Chicontepepec-Velasco. Esta formación está constituida por lutitas calcáreas de color gris oscuro y azul cuando frescas, o bien café chocolate cuando están intemperizadas. Hacia la base presenta algunos horizontes arenosos y conglomeráticos. Su espesor varía hasta 798m. Esta formación también es considerada como parte del Eoceno Inferior.

Formación Chinal. Esta formación se divide en lutitas Chinal, conglomerado Puente de Piedra y calizas Chinal. Las lutitas Chinal son de color gris azul y gris oscuro micacíferas, estratificadas en capas delgadas, con ambiente de microfauna. Su espesor varía de 200m a 2000m. El conglomerado Puente de Piedra es un material clástico que consiste de gravas y cantos rodados angulosos y mal clasificados de caliza fosilífera del Albiano-Cenomaniano, con

Trejo Sandoval A.



ARCILLAS DISPERSIVAS



abundantes especies de corales, todo ello en matriz de areniscas y cementado por CaCO_3 . Las calizas Chinal son rocas de color gris claro, criptocristalinas que generalmente tienen estratificación delgada. Su espesor varía de 200m a 250m.

Formación Misopá - Macuspana. Las lutitas Misopá subyacen a la Caliza Macuspana. Otra denominación de las lutitas Misopá es de “lutitas Macuspana”. Esta formación está constituida de lutitas calcáreas, de color azul oscuro o gris oscuro en los afloramientos, siendo arenosa y micáceas en parte, la diferencia entre estas y las lutitas Chinal es que éstas tienen mayor contenido de fauna de microfósiles. Su espesor varía hasta 840m.

Formación Amate. Esta formación se divide en Amate Superior y Amate Inferior. La formación Amate Inferior consiste de lutitas, arenas y ocasionalmente areniscas, predominando el color gris a gris azulado así como gris oscuro. Su espesor varía hasta 900m. La formación Amate Superior consta de lutitas grises a gris azulado, bien estratificadas en la base graduando hacia arriba en clásticos más arenosos, formando en ocasiones gruesas capas de arenas que son productores de hidrocarburos en la Cuenca Macuspana – Campeche. Su espesor varía de 300 a 350m.

Formación Encajonado. La formación se divide en dos miembros, Encajonado Inferior y Superior. El Encajonado Inferior está formado principalmente de areniscas pobremente cementadas, de grano fino, más o menos arcillosas de colores azul claro, gris o crema generalmente cuarcíferas. Su espesor varía hasta 300m. El Encajonado Superior está formado por margas, lutitas arenosas y arenas arcillosas sueltas, que alternan con delgadas capas de



ARCILLAS DISPERSIVAS



arcillas puras de color gris. Las arenas son por lo común de color rosado y contienen mica en abundancia. Su espesor varía hasta 500m.

Formación Zargazal. Se trata de arcilla y lutitas de colores gris oscuro, gris azul o verde azulado, con intercalaciones delgadas de material carbonoso (principalmente turbas y lignitas) así como cuerpos lenticulares de arena, también aparecen pequeños cristales de yeso de origen secundario. Su espesor varía hasta 550m.

Formación Belem. Está formada por una serie de arcilla verdes plásticas a veces duras y masivas en ocasiones muy fosilíferas y arenosas. Su espesor varía de 300m a 750m.

Formación Tres Puentes. Consiste de Lutitas abigarradas arenosas en la porción intemperizada. Los afloramientos frescos son de arcillas arenosas de color azul y verde, en ocasiones con mucho material carbonoso (turbas) y lignitas. Su espesor varía hasta 150m.

c) Istmo de Tehuantepec y poniente de Tabasco

Formación Uzpanapa. Está formada por el denominado conglomerado Uzpanapa el cual tiene un espesor variable entre 500m y 600m; está constituido principalmente por cantos redondeados de roca ígnea y arenisca, siendo sumamente escasos los cantos de caliza. Dentro del conglomerado se presentan aisladamente algunas intercalaciones de lutita.

Formación Nanchital. Está formada en su mayor parte por lutitas muy poco arenosas, alteradas en su parte inferior y con intercalaciones de areniscas de grano fino. Los colores son muy oscuros en la parte superior y la dureza es mayor presentando bandas de arenisca bastante



ARCILLAS DISPERSIVAS



espaciadas. La parte inferior es arenosa y contiene areniscas arcóscicas en bandas que varían de entre 10 y 30cm de espesor. Hay porciones en las lutitas de Nanchital donde predominan los conglomerados y las arenas. Su espesor es muy variable, de 300m hasta 1000m en Cerro Pelón.

Formación la Laja. Es una secuencia de lutitas grises, arenosas, con intercalaciones de areniscas y eventualmente de conglomerados (conglomerados Nanchital) en la base. Su espesor varía aproximadamente hasta 1400m.

Formación Depósito. Es una secuencia de lutitas gris a gris azulado, ligeramente arenosas, bien estratificadas con intercalaciones de tobas y cenizas volcánicas. Su espesor máximo se considera del orden de 1000m.

Formación Encanto. Consiste principalmente de series alternadas de arenas, areniscas de grano fino y lutitas arenosas. Su color es variable, pero generalmente es gris azulado o gris amarillento. Ocasionalmente se encuentra dentro de esta formación algunos conglomerados.

Formación Concepción. Esta formación se divide en Concepción Inferior y Superior. La formación *Concepción Inferior* está formada principalmente por lutitas bien consolidadas, mal estratificadas, de color gris, azul claro y azul oscuro, micacíferas. La parte superior de esta formación es arenosa. Su espesor varía hasta 400m. La formación *Concepción Superior* consta principalmente de lutitas arenosas de color azul grisáceo, compactas cuyos planos de estratificación no existen o están muy mal definidos. En ocasiones se presentan concreciones de arenisca color café y amarillento cementadas con material calcáreo. Su espesor varía de 100m a 200m.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Formación Filisola. Consiste de grandes espesores de arenas y areniscas de arenas cuarcíferas de grano fino a grueso, con escasas intercalaciones de capas delgadas de lutitas suaves de color gris azulado.

Formación Paraje Solo. Está constituida por clásticos de finos a gruesos, depositados en aguas salobres, con fauna más bien escasa. La parte inferior de esta formación consiste de areniscas compactas de grano grueso de color gris y pardo, interstratificadas con arcilla, seguidas de un horizonte fosilífero y después areniscas de grano grueso. Su espesor varía de 300 m a 600m.

Formación Agueguexquite. Consiste en una serie de areniscas de color gris parduzco y café con intercalaciones de arcillas ligníticas de color azul-grisáceo, lutitas gris oscuro en parte arenosas. Debido a su carácter transgresivo en ocasiones se presentan conglomerados clásticos gruesos en la base. Su espesor varía hasta 500m.

Formación Cedral. Consiste en una serie de arenas, arcillas y conglomerados, con colores abigarrados, predominando el color rojo amarillento y a veces gris. Contiene también espesores delgados de arcilla plástica azulosa. Su espesor varía de 300m a 500m.

En la Fig. 6.2.1.1 se presentan las columnas litológicas referidas a la Llanura Costera de Golfo Sur y otras zonas colindantes a ella.



ARCILLAS DISPERSIVAS



TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRIFICA DE LA LLANURA DEL GOLFO SUR														
ERA	SISTEMA	SERIE	EDAD		LLANURA DEL GOLFO SUR									
			PISO		Cuenca de Veracruz		Cuenca del Sureste		Cuenca Salina del Istmo					
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO			ALUVION		ALUVION		ALUVION					
		PLEISTOCENO			ARENAS Y GRAVILLAS		TRES PUENTES		ARENAS Y GRAVILLAS					
					PARAJE SOLO									
		PLIOCENO	PIANCENCIANO	FILISOLA		ZARGAZAL								
			ZANCLEANO	CONCEPCION										
	TERCIARIO	MIOCENO	SUPERIOR	MESSINIANO	ENCANTO		ENCAJONADO	BELEM	CEDRAL					
				TORTONIANO					DEPOSITO		AGUEGUEXQUITE			
			MEDIO	SERRAVALIANO			LA LAJA		LUTITAS, LUTITAS BENTONITICAS Y ARENISCAS "AMATE"		FILISOLA	PARAJE SOLO		
			INFERIOR	BURDIGALIANO									CONCEPCION	ENCANTO
				AQUITANIANO										
		OLIGOCENO	SUPERIOR	CHATIANO			MISOPA - MACUSPANA		DEPOSITO					
			INFERIOR	RUPELIANO	HORCONES				LA LAJA					
		EOCENO	SUPERIOR	PRIABONIANO	TANTOYUCA	CHAPOPOTE	CHINAL		NANCHITAL					
				BARTONIANO	GUAYABAL									
				LUTECIONARIO	ARAGON									
	INFERIOR		YPRECIANO	CHICONTEPEC		CONGLOMERADO UZPANAPA								
	PALEOCENO	SUPERIOR	THANENIANO	VELASCO		CHICONTEPEC	VELASCO	UZPANAPA						
		INFERIOR	DANIANO											

FIGURA 6.2.1.1. Columnas estratigráfica de la Llanura Costera del Golfo Sur (Compilada por Quezada y Sarmiento, 1999, y por E. López Ramos, 1980).



6.2.2 SECUENCIA LITOLÓGICA

La secuencia litológica de la Llanura Costera del Golfo Sur es:

Suelos

Los suelos son los que ocupan la mayor extensión de esta provincia, están formados por material erosionado de las rocas preexistentes, el cual se deposita en las partes bajas como relleno del valle y en los deltas de los ríos. Su granulometría es variada va desde gravas y arenas hasta arcillas y limos. Los hay lacustres, palustres, eólicos, litorales, aluviales. Estos suelos forman los depósitos más recientes (Cuaternario) y se distribuyen en las localidades de Veracruz, Cosamaloapan, Villa Azueta, y Coatzacoalcos, entre otros. [Ref. 20].

Basalto

Las manifestaciones volcánicas se iniciaron en el Terciario Superior y culminaron en el Cuaternario. Están representadas por derrames de basaltos de olivino y basaltos andesíticos, así como por brechas y cenizas volcánicas de composición básica. Los afloramientos de rocas volcánicas se distribuyen en el área de los Tuxtlas. [Ref. 20].

Conglomerado

La unidad de conglomerados del terciario que se distribuye al oeste de la ciudad de Veracruz es de origen continental y está constituida por clastos de rocas preexistentes. Cubre discordantemente a rocas sedimentarias marinas del Terciario. [Ref. 20].



Lutita–Arenisca-Conglomerado

Los depósitos del Mioceno sobreyacen en aparente concordancia a las rocas del Oligoceno y están representados por las unidades de lutita-arenisca-conglomerado, arenisca-conglomerado y arenisca, las cuales pertenecen a las formaciones Depósito, Encanto, Concepción, Filisola y Paraje Solo. Las lutitas son arenosas, bien consolidadas y en ocasiones mal estratificadas, de colores gris y gris azulado. Las areniscas son calcáreas, de grano fino, en estratos cuyo espesor varía de 10 a 30 centímetros, de color gris y gris amarillento. Los conglomerados están formados por gravas provenientes de material volcánico, su matriz es calcárea, son de color gris con tonos amarillentos. También existen algunas intercalaciones de tobas y arenas no consolidadas. En esta provincia los depósitos están ampliamente distribuidos. Se localizan en las localidades de Acayucan, Minatitlán, Xochiapa, y Estación Jesús Carranza. [Ref. 20].

Lutita-Arenisca

Del Oligoceno aflora la unidad de lutitas y areniscas que se depositaron en aguas profundas. Las lutitas son homogéneas, compactas, de coloración oscura (gris, azul, verde y negro). Se encuentran intercaladas con areniscas calcáreas y arenas no consolidadas; también existen algunas intercalaciones de tobas y conglomerados. Corresponde a las formaciones Horcones y La Laja; sus contactos litológicos inferior y superior se encuentran en aparente concordancia con las unidades del Eoceno y Mioceno, respectivamente. Aflora en la localidad de Estación Almagres, al Sur de Cahuapa y al Sureste de Estación Jesús Carranza. [Ref. 20].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Lutita

El Eoceno está representado por una secuencia en la cual predominan las lutitas, que en ocasiones son arenosas, intercaladas con areniscas de grano fino, depositadas en mares profundos. Su coloración es gris azulado, verde y pardo. Está incluida dentro de las formaciones Aragón, Guayabal, Chapopote y lutitas Nanchital. Su contacto inferior es discordante con las calizas del Cretácico Inferior y Superior. Aflora al sureste de Peña Blanca y de Estación Jesús Carranza. [Ref. 20].

Caliza

Del Cretácico Inferior se encuentran las calizas de la plataforma de la formación de San Ricardo, sobreyacen de manera concordante a las rocas del Cretácico superior y afloran en los márgenes del Río Uspanapa. Sobre las calizas de la formación anterior descansan concordantemente las rocas calcáreas del Cretácico superior, depositadas en un ambiente de plataformas de aguas relativamente profundas; éstas se correlacionan con la Formación Caliza Sierra Madre, su morfología es de montañas con desarrollo cárstico, afloran también en los márgenes del Río Uspanapa. [Ref. 20].

Caliza

El Jurásico Superior está representado por calizas de color gris oscuro depositadas en ambiente de cuenca; pertenecen a la formación Chinameca y afloran al este de la localidad del mismo nombre. [Ref. 20].



6.2.3 ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

Gran parte de la Sierra de Juárez está constituida por rocas paleozoicas plegadas y afalladas durante la Revolución Apalachiana, la cual ocasionó metaformismo regional, posteriormente, fue afectada por una serie de intrusiones graníticas jóvenes.

La Cuenca de Veracruz tiene un comportamiento estructural como unidad, poco complicada, de pliegues suaves casi simétricos y de gran amplitud, con una orientación de NW a SE. La Cuenca Salina del Istmo estuvo cubierta por mares someros del Cretácico Superior, en los que predominan las arenas y lutitas y en donde existen formaciones de domos salinos correspondientes a las estructuras geológicas. En lo que respecta a la Sierra de Chiapas, se puede decir, que existen pliegues anticlinales y sinclinales sepultados en colindancias con la Llanura Costera del Golfo Sur. [Ref. 22].

En la actualidad debido a que los suelos cubren gran parte de la secuencia dendrítica del Terciario en la Llanura Costera del Golfo Sur, no se observa ninguna estructura geológica, sin embargo, existen amplios plegamientos anticlinales y sinclinales de echado suave cuyos ejes siguen una orientación preferencial noreste- suroeste. También se encuentran fallas de tipo normal y fracturas que siguen esa misma orientación, y que afectan a las rocas calcáreas del Cretácico en la porción sureste del estado. Las rocas volcánicas forman estructuras de conos volcánicos y derrames lávicos. [Ref. 9].

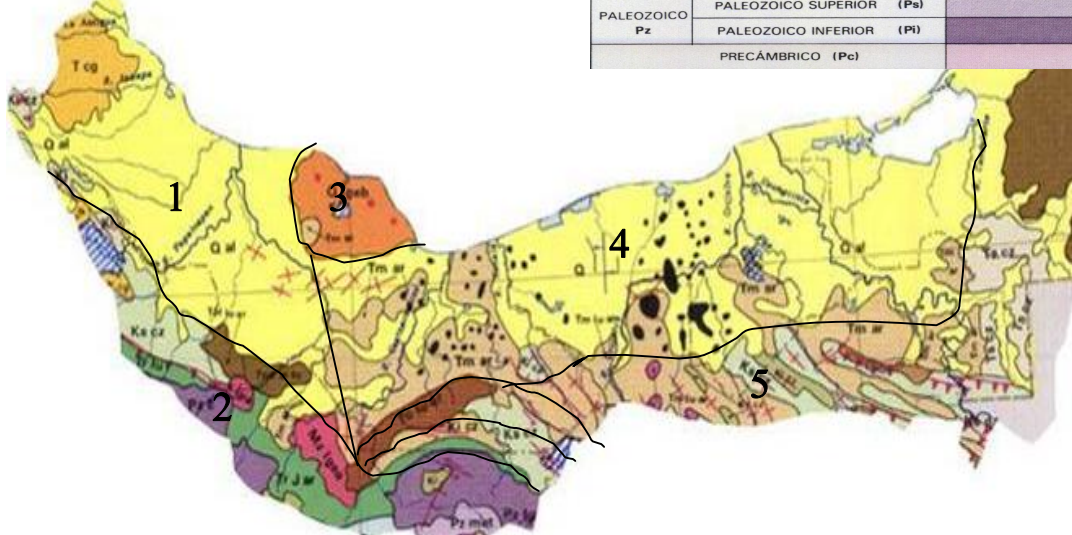


ARCILLAS DISPERSIVAS



1. CUENCA DE VERACRUZ
2. SIERRA DE JUAREZ
3. SAN ANDRÉS TUXTLA
4. CUENCA DEL SURESTE
5. SIERRA DE CHIAPAS

CRONOLOGÍA					
CENOZOICO Cz	TERCIARIO T	CUATERNARIO Q			
		TERCIARIO SUPERIOR Ts	PLIOCENO Tpl MIOCENO Tm		
		TERCIARIO INFERIOR Ti	OLIGOCENO To	Igea	
			EOCENO Te		Igeia
			PALEOCENO Tpai		
MESOZOICO Mz	CRETÁCICO K	CRETÁCICO SUPERIOR (Ks)			
		CRETÁCICO INFERIOR (Ki)			
	JURÁSICO J	JURÁSICO SUPERIOR (Js)			
		JURÁSICO MEDIO (Jm)			
		JURÁSICO INFERIOR (Ji)			
TRIÁSICO (Tr)					
PALEOZOICO Pz	PALEOZOICO SUPERIOR (Ps)				
	PALEOZOICO INFERIOR (Pi)				
	PRECÁMBRICO (Pc)				



SIMBOLOGÍA							
PLIEGUES							
Anticlinales	<table style="border: none;"> <tr> <td>Simétricos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Asimétricos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Domo</td> <td></td> </tr> </table>	Simétricos		Asimétricos		Domo	
Simétricos							
Asimétricos							
Domo							
Sinclinal							
FALLAS							
Normal y de crecimiento	<table style="border: none;"> <tr> <td>Aflorante</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sepultada</td> <td></td> </tr> </table>	Aflorante		Sepultada			
Aflorante							
Sepultada							
Inversa							
Transcurrente	<table style="border: none;"> <tr> <td>Aflorante</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sepultada</td> <td></td> </tr> </table>	Aflorante		Sepultada			
Aflorante							
Sepultada							
Falla no verificada o fractura							
ESTRUCTURAS VOLCÁNICAS							
Volcanes cuaternarios y plio-cuaternarios							
Caldera							
Domo salino							
Cuerpos de agua							
Caldera inferida							

NOMENCLATURA LITOLÓGICA			
ROCAS SEDIMENTARIAS		ROCAS METAMÓRFICAS	
lutita	lu	pizarra	Pz
limolita	lm	filita	f
arenisca	ar	esquisto	E
conglomerado	cg	gneiss	Gn
caliza	cz	complejo metamórfico	met
yeso	y		
sal	s		
ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS		ROCAS VULCANOSSEDIMENTARIAS	
ácida	Igea	vulcanosedimentario	vs
intermedia	Igei	arenisca y toba	ar-tl
básica	Igeb		
ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS			
ácida	Igia	aluvión	al
intermedia	Igii		
básica	Igib		
complejo básico-ultrabásico	cbu		

Mapa 6.2.3.1 Geología de la Llanura Costera del Golfo Sur y división de regiones investigadas por E. López Ramos. (Atlas de México, Mapa de Geología, IV.1.1, Instituto de Geografía, UNAM, Padilla y Sánchez R. J. Aceves Quesada J. F., Mayo 1992). Dibujo sin escala.



6.2.4 FORMACIÓN DE DOMOS SALINOS.

Los domos se forman por el abombamiento de las rocas superficiales debido al empuje de las sales que hay debajo. Como la sal es menos densa tiende a ascender y empuja a otros estratos dando lugar a un anticlinal. Puede ocurrir que la sal atraviese los estratos superiores abombados. Entonces adquiere forma de seta y forma un diapiro. Los domos salinos pueden estar asociados a yacimientos petrolíferos importantes. La intrusión de material fundido que da lugar a rocas ígneas también puede producir domos. Esto es lo que ocurre en la fase inicial de la formación de un valle de rift o fosa tectónica o graben. [Ref. 13].

Los domos de sal son grandes formaciones, casi homogéneas, de cloruro de sodio (NaCl), aunque pueden contener zonas no homogéneas. Pfeifle (1995) menciona que el contenido típico de anhidrita (CaSO_4) en domos de la Costa de Golfo es en promedio menos del 5%. Se sabe que hay más de 500 domos de sal subterráneos conocidos en la región de la Costa del Golfo que va de México a Florida, esto se puede observar en la figura 6.2.4.1. Los domos salinos fueron creados por los procesos geológicos que sucedieron durante millones de años (Chilingarian, 1989). La evolución de un diapiro de sal se muestra en la figura 6.2.4.2. Hace aproximadamente 30 millones de años, la sal enterrada por materiales más densos fluyó hacia arriba para formar diapiros (domos o pliegues de anticlinal cuyas rocas que las cubren han sido rotas por la compresión del corazón de sal más plástico) bancos, pilares y otras estructuras de cubierta aguda. Como la sal es menos densa o “flotante” comparada con los sedimentos circundantes y dado que la sal puede fluir a temperaturas y presiones más altas, estos domos de sal empujan y suben por el sedimento casi hasta la



ARCILLAS DISPERSIVAS



superficie. Estos domos de sal están formados principalmente de mineral halita y sirven como recurso valioso para varias industrias. Cuando la sal pasa por encima de los sedimentos de recubrimiento, se desarrollan proyecciones largas parecidas a un dedo (Tomasko, 1997; Schulemberger, 2005 y Solution Mining Institute, 2005). [Ref. 13].



Figura 6.2.4.1. Más de 500 domos de sal subterráneos conocidos en la región de la Costa del Golfo que va de México a Florida.

La profundidad de la sal intrusiva puede ser mayor de 305m, y la anchura superior de los domos de sal está en el rango de 805 a 4023m aproximadamente. Si la sal incrustada se pusiera en contacto con el agua no saturada, ocurriría la disolución. A menudo se formaba una capa de roca (casquete) por medio de una interacción compleja de disolución, recristalización, hidratación de la anhidrita para formar yeso, reducción del sulfato, cementación, etcétera. Aunque las capas de rocas son comunes en los alrededores de los domos de sal no siempre existen.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Con frecuencia se desarrollaba en lo alto de una capa de roca una región de roca caliza. Esta caliza puede haber sido formada por una cantidad de procesos, incluyendo la reducción del sulfato de calcio de la capa de roca y la precipitación del sulfato rico de calcio del agua. [Ref. 13].

Como la sal se intrusionó en los sedimentos del Cenozoico a lo largo de la Costa del Golfo, a menudo varios minerales eran precipitados en alrededores de la capa de roca. Frecuentemente junto con los minerales, el petróleo era atrapado bajo el borde, tal como se muestra en la figura 6.2.4.3. A causa de la alta probabilidad de encontrar petróleo y otros minerales valiosos, los domos de sal han sido explorados extensamente y extraídos durante más de 100 años. Comenzando a finales de los años 1800s, los domos de sal fueron cavados comercialmente en busca de sal usando varias técnicas de lixiviación. Las formas de las cavernas resultantes eran a menudo irregulares debido a las técnicas aplicadas, pero una cantidad de cavernas, tales como el West Hackberry Cavern 11, son casi simétricas. [Ref. 13].

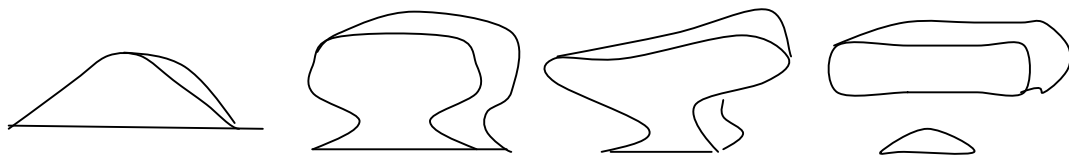


Figura 6.2.4.2. Evolución de un diapiro de sal. Fuente tesis de maestría Disposición de Residuos Peligrosos en Cavidades Geológicamente Estables por Cristián E. Hernández Mendoza. [Ref. 13].

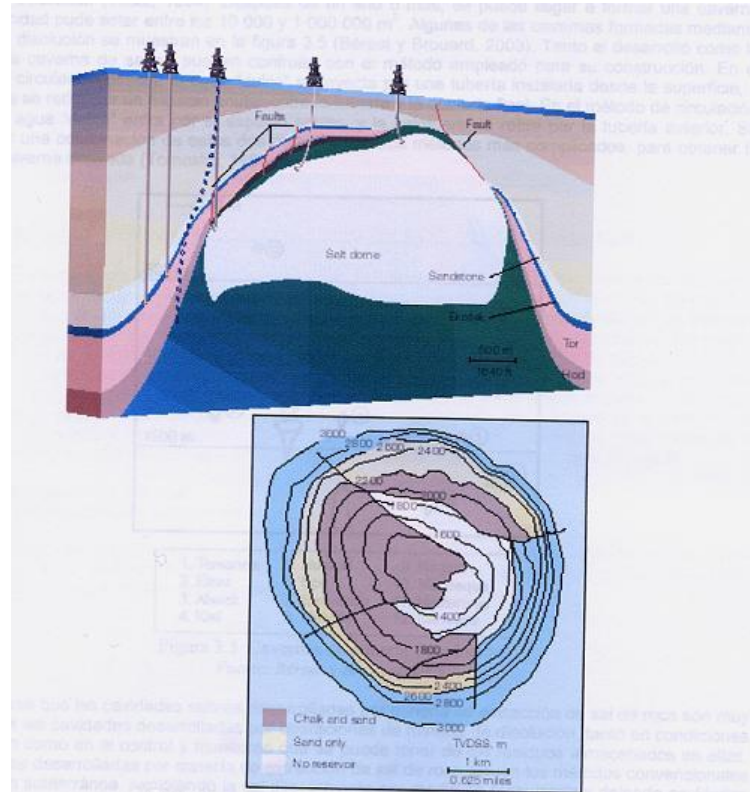


Figura 6.2.4.3. Mineral de sal atrapado junto al petróleo bajo el borde del domo salino. Fuente tesis de maestría Disposición de Residuos Peligrosos en Cavidades Geológicamente Estables por Cristián E. Hernández Mendoza. [Ref. 13].

6.2.5 ÁREA SALINA DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC

El Istmo de Tehuantepec es una región comprendida entre los estados de Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Veracruz. Se trata de la zona más angosta entre dos océanos que posee México. Algunos geógrafos opinan que en este punto inicia la zona ístmica de América Central. Es una zona rica en petróleo y en recursos maderables. [Ref. 13].



ARCILLAS DISPERSIVAS



El Istmo de Tehuantepec comprende una parte de México localizada entre los Meridianos 94° y 96° oeste. En su punto más angosto, el Istmo alcanza los 200km de distancia entre el Océano Pacífico y el Golfo de México. En Tehuantepec, la Sierra Madre del Sur se convierte en un paso de poca altura y plano, apenas ondulado por algunas colinas que se levantan en la Llanura. [Ref. 13].

El Istmo es una zona prácticamente llana, salvo por la presencia de lomas y cerros que componen la Sierra Atravesada. Esta Sierra tiene una longitud aproximada de 250km, su punto más alto se encuentra localizado en el paso de Chivela, a una altura aproximada de 250msnm. Más al oriente, cerca del límite entre Oaxaca y Chiapas, se localiza el Cerro Azul, que alcanza una altitud de 2300msnm. [Ref. 13].

Los ríos del Istmo de Tehuantepec pueden agruparse en dos vertientes: al norte, en el territorio veracruzano, se encuentra la vertiente del Golfo de México, en esta vertiente desembocan los ríos que forman parte de la región hidrológica 29. Esta región destaca por los numerosos afluentes existentes en ella, siendo el río Coatzacoalcos uno de los más caudalosos del país. Las otras regiones hidrológicas importantes de esta zona son: 22, 23 y 30. La región hidrológica 22 es la que corresponde a Tehuantepec, la región hidrológica 23 corresponde a la Costa de Chiapas y la región hidrológica 30 corresponde a la cuenca de los ríos Usumacinta-Grijalva. [Ref. 13].

El Istmo de Tehuantepec está repartido entre tres de las quince provincias fisiográficas en que el INEGI ha dividido a la República Mexicana. La parte Norte del Istmo corresponde



ARCILLAS DISPERSIVAS



a las subprovincias de la Llanura Costera y de los Pantanos Tabasqueños, ambas correspondientes a la provincia Llanura Costera del Golfo Sur. Otra porción del Istmo se localiza donde se unen los límites de los estados de Oaxaca, Chiapas y Veracruz correspondientes a la subprovincia de la Sierra del Norte de Chiapas, de la provincia de las Sierras de Chiapas y Guatemala. La mitad del territorio Oaxaqueño correspondiente al Istmo está ocupada por la subprovincia de las Sierras del Sur de Chiapas que corresponde a la provincia Cordillera Centroamericana. [Ref. 13].

La Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec tiene aproximadamente 290km de longitud y 70km de ancho. Esta Cuenca ocupa toda la planicie Costera que se extiende desde el sureste de Veracruz hasta el noreste de Tabasco, y posiblemente continúa hacia el este en dirección de la Península de Yucatán. Se sabe que esta área ha sido explorada formalmente desde 1902. Debido al enorme tamaño de sus estructuras salinas (masas salinas que cubren áreas de hasta 2,000km²) y otras estructuras, se asume que las evaporitas de la cuenca alcanzan espesores de alrededor de 5,000m. También se asume que la parte superior de las estructuras salinas ascendieron más o menos 300m, y que estas estructuras se formaron originalmente por plegamientos en el período Jurásico para constituirse finalmente como domos salinos por la diferencia de presiones causada por los grandes espesores de los sedimentos del Oligoceno y del Mioceno Inferior. [Ref. 22].

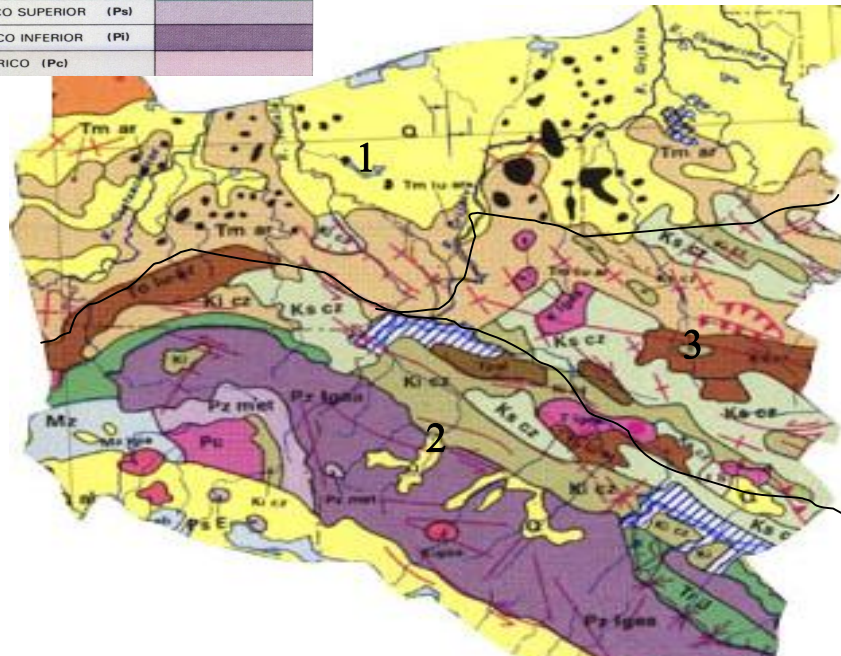


ARCILLAS DISPERSIVAS



CRONOLOGÍA				
CENOZOICO Cz	TERCIARIO (T)	CUATERNARIO Q		
		TERCIARIO SUPERIOR Ts	PLIOCENO Tpl	
			MIOCENO Tm	
		TERCIARIO INFERIOR Ti	OLIGOCENO To	
			EOCENO Te	
			PALEOCENO Tpal	
MESOZOICO Mz	CRETÁCICO K	CRETÁCICO SUPERIOR (Ka)		
		CRETÁCICO INFERIOR (Ki)		
	JURÁSICO J	JURÁSICO SUPERIOR (Js)		
		JURÁSICO MEDIO (Jm)		
		JURÁSICO INFERIOR (Ji)		
	TRIÁSICO (Tr)			
PALEOZOICO Pz	PALEOZOICO SUPERIOR (Ps)			
	PALEOZOICO INFERIOR (Pi)			
PRECÁMBRICO (Pc)				

1. Llanura Costera del Golfo Sur
2. Sierra de Chiapas y Guatemala
3. Cordillera Centroamericana



SIMBOLOGÍA							
PLIEGUES							
Anticlinales	<table style="border: none;"> <tr> <td>Simétricos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Asimétricos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Domo</td> <td></td> </tr> </table>	Simétricos		Asimétricos		Domo	
Simétricos							
Asimétricos							
Domo							
Sinclinal							
FALLAS							
Normal y de crecimiento	<table style="border: none;"> <tr> <td>Aflorante</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sepultada</td> <td></td> </tr> </table>	Aflorante		Sepultada			
Aflorante							
Sepultada							
Inversa							
Transcurrente	<table style="border: none;"> <tr> <td>Aflorante</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sepultada</td> <td></td> </tr> </table>	Aflorante		Sepultada			
Aflorante							
Sepultada							
Falla no verificada o fractura							
ESTRUCTURAS VOLCÁNICAS							
Volcanes cuaternarios y plio-cuaternarios							
Caldera							
Domo salino							
Cuerpos de agua							
Caldera inferida							

NOMENCLATURA LITOLÓGICA			
ROCAS SEDIMENTARIAS		ROCAS METAMÓRFICAS	
lutita	lu	pizarra	Pz
limolita	lm	filita	f
arenisca	ar	esquisto	E
conglomerado	cg	gneiss	Gn
caliza	cz	complejo metamórfico	met
yeso	y		
sal	s		
ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS		ROCAS VULCANOSEDIMENTARIAS	
ácida	Igea	vulcanosedimentario	vs
intermedia	Igei	arenisca y toba	ar-ti
básica	Igeb		
ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS			
ácida	Igia	aluvión	al
intermedia	Igii		
básica	Igib		
complejo básico-ultrabásico	cbu		

Mapa 6.2.5 Geología del denominado Istmo de Tehuantepec y división de regiones investigadas por E. López Ramos. (Atlas de México, Mapa de Geología, IV.1.1, Instituto de Geografía, UNAM, Padilla y Sánchez R. J. Aceves Quesada J. F., Mayo 1992). Dibujo sin escala.



6.3 GEOLOGÍA DE LAS PROVINCIAS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL

La Cuenca del Golfo de México corresponde a una cuenca sedimentaria de abertura proto-oceánica, relacionada con la apertura del Océano Atlántico (Dickson, 1970). Winker and Buffler (1988), la consideran además del tipo de margen divergente, asociada a la margen continental circum-atlántica. De acuerdo a los conceptos sobre clasificación global de cuencas, corresponde a una cuenca combada (Klemme, 1980), ubicada en una depresión marginal. [Ref. 3].

El desarrollo se inicia durante el Triásico-Jurásico como consecuencia de la disgregación del supercontinente de la Pangea, ocasionando, por la separación de las placas Africana y Sudamericana de la Norteamericana, efectos tensionales reflejados en un sistema predominantemente de “horts-grabens”, debido a la fragmentación del basamento continental pre-mesozoico, para seguidamente por la expansión y agrietamiento de la litosfera, la presencia consecuente de corteza oceánica y el enfriamiento de ésta, propiciar la subsidencia acelerada de la cuenca, en la que se depositaron, principalmente, secuencias de capas rojas y evaporitas en el Triásico-Jurásico Medio, carbonatos durante el Jurásico Tardío-Cretácico y Terrígenos en el Terciario. [Ref. 3].

De acuerdo con la información disponible, el basamento de las márgenes de la cuenca está constituido por roca metamórficas asociadas a ígneas intrusivas predominantemente de edad Permo-Triásico; en tanto que en la porción central se infiere la presencia de corteza oceánica, emplazada aparentemente al inicio del Jurásico Tardío. [Ref. 3].



ARCILLAS DISPERSIVAS



De acuerdo a las características fisiográficas y geológicas, Jones (1967) y Uchupi (1967), así como Buffer (1979), dividieron al Golfo en las siguientes provincias: Talud de Texas-Louisiana, Franja Plegada Perdido, Plataforma Occidental de Florida, Franja Plegada Mexicana, Planicie Abisal de la Cuenca del Golfo, Salina de Campeche-Sigsbee, Escarpe de Campeche y Plataforma de Campeche.[Ver Fig. 6. 3. A].[Ref. 3].

Petróleos Mexicanos, de acuerdo a las características geológicas y fisiográficas de las áreas marinas del Golfo de México, ha dividido a la plataforma continental de esta región, en la Republica Mexicana, hasta la isobata de 500m, en las siguientes provincias: Laguna Madre, Tampico, Veracruz, y Coatzacoalcos, comprendidas en el presente estudio, además de las de Campeche y Cozumel [Ver Fig. 6. 3. B], que en conjunto tienen una superficie de 250,340km². [Ref. 3].

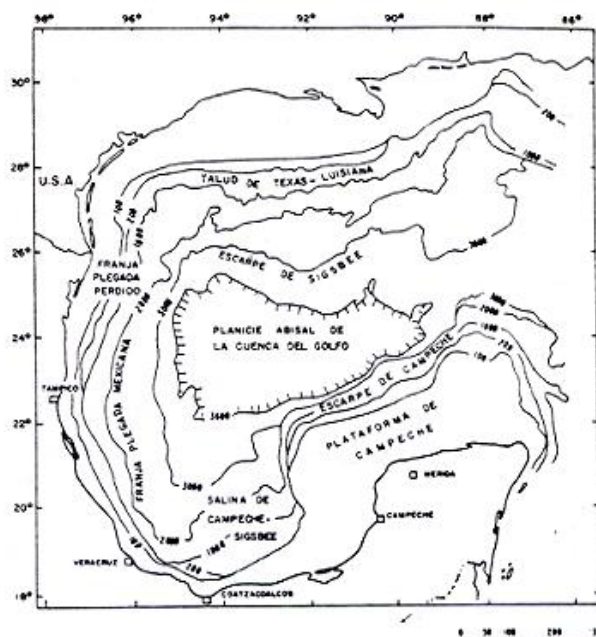


Figura. 6. 3. A Plano de distribución de provincias topográficas del Golfo de México. Modificado de Jones y Uchupi 1967.

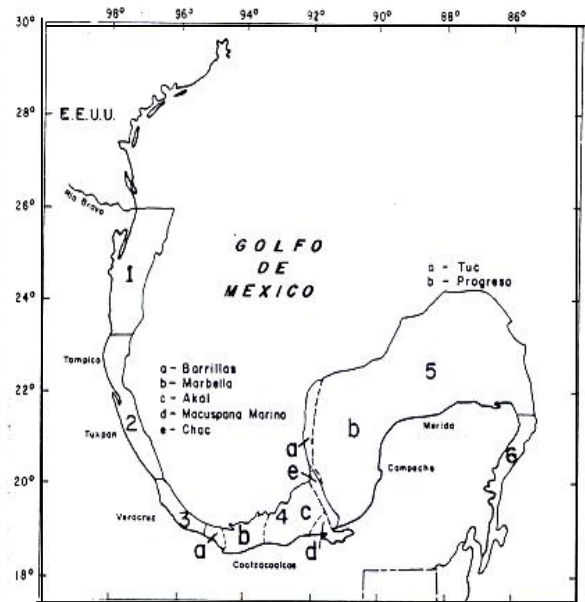


Figura. 6. 3. B Plano de localización y distribución Geológicas de la plataforma Continental del Golfo de México, según PEMEX.



6.3.1 PROVINCIA LAGUNA MADRE

Se localiza frente a las costas del estado de Tamaulipas. Tiene una superficie de 26,600km². Está caracterizada por una secuencia arcillo-arenosa de edad Mioceno-Reciente principalmente, con un espesor máximo de 10,000m.

En el Prospecto Este de Matamoros de esta Provincia, el mapa de anomalía de Bouger [Ver Fig. 6. 3. 1. A] muestra como anomalías más relevantes un máximo, situado en el área de Punta Jerez (23° Latitud Norte), relacionado con un levantamiento de basamento que también tiene expresión en el mapa de anomalías magnéticas. En la región de la desembocadura del Río Soto la Marina se desarrolla un mínimo, asociado al depósito de un grueso paquete de sedimentos del Terciario pobremente consolidados, según su expresión sísmica. Mas al norte, a la latitud 25°, existen otros máximos gravimétricos y magnéticos, asociados a una parte levantada del basamento y un mínimo, en donde se tiene la presencia de diapirismo arcilloso. Los mapas de eventos estructurales de la misma área [Ver Fig. 6. 3. 1. A] señalan la ubicación de las principales fallas de crecimiento y de las masas arcillosas y salinas, muchas de ellas creando condiciones apropiadas para el entrapamiento de hidrocarburos. [Ref. 3].

El patrón estructural de esta región es complejo, tal y como se muestra en los perfiles sísmicos X e Y [Ver Fig. 6. 3. 1. B], orientados WNW-ESE, localizados en la porción norte de la provincia, en donde se pueden distinguir dos estilos principales: al WNW por una serie



ARCILLAS DISPERSIVAS



de fallas de crecimiento con caída al oriente, que afectan desde la base del Mioceno o quizá la cima del Oligoceno, hasta prácticamente el Pleistoceno; se observan asociados a éstas, una serie de arqueamientos, que además pueden estar relacionadas al diapirismo profundo. El otro estilo característico de la porción media y oriental de la provincia determinado por diapiros arcillosos o salinos que afectan al Terciario Superior y aún al Reciente, ocasionando en la secuencia intrusionada fallamiento normal, acuñaientos, truncamientos, arqueamientos agudos y “grabens” de colapso en culminación de los domos; los diapiros de la porción media occidental están mejor definidos en comparación con los del extremo oriental, que son de menores proporciones y más angostos. [Ref. 3].

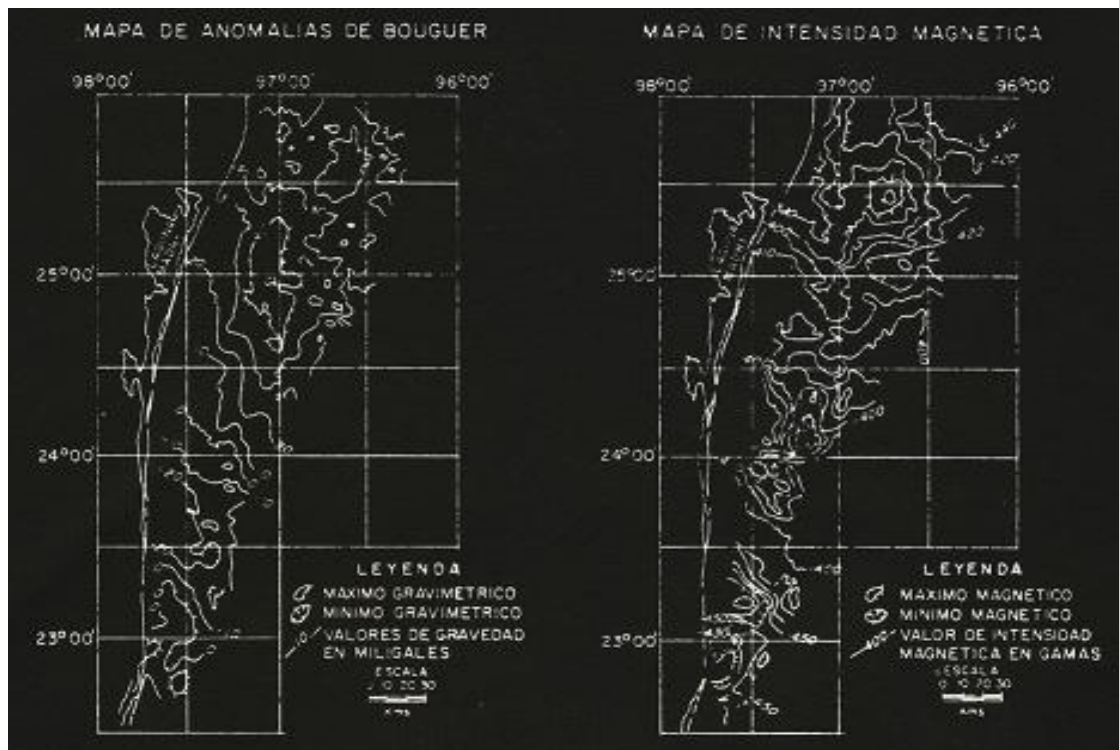


Figura 6. 3. 1. A Mapa de anomalía de Bouguer e intensidad magnética total de la provincia geológica Marina de Laguna Madre, con las que se han determinado la presencia de estructuras geológicas.



ARCILLAS DISPERSIVAS

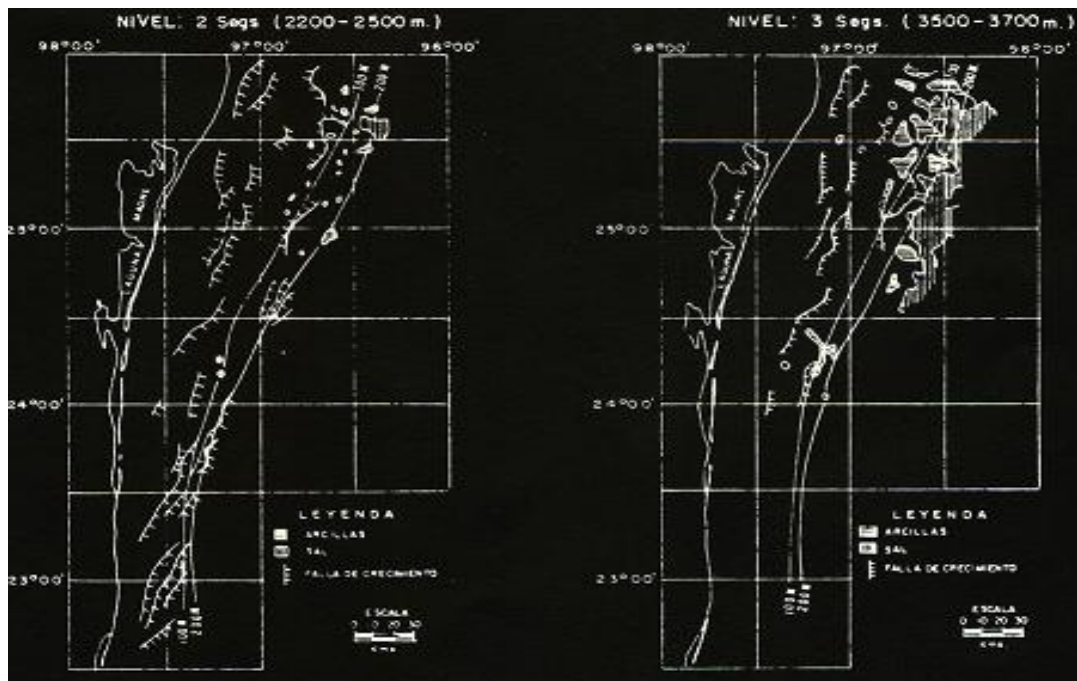
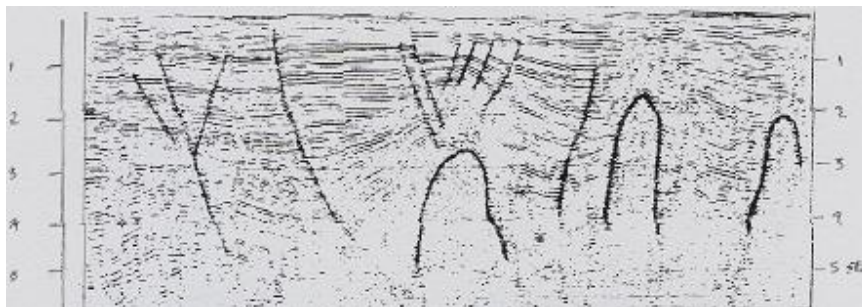


Figura 6. 3. 1. B Mapa de eventos estructurales de la provincia Laguna Madre a 2 y 3 segundos interpretados de la información sísmica.

SECCIÓN SISMICA X



SECCIÓN SISMICA Y

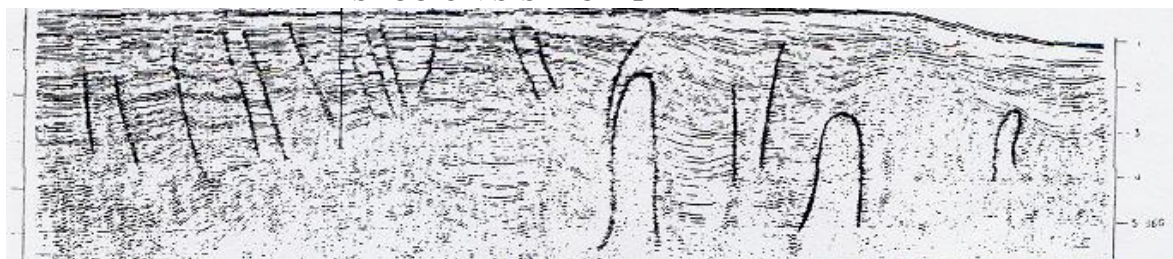


Figura 6. 3. 1. B Secciones sísmicas X e Y, localizadas en el extremo norte de la provincia de Laguna Madre, orientadas NW-SE, en donde se observan las diferentes estructuras geológicas.



6.3.2 PROVINCIA MARINA DE TAMPICO

Se localiza a las costas sur del estado de Tamaulipas y norte de Veracruz, con una superficie de 15,000km². La columna geológica de esta región está representada por un basamento metamórfico de edad Permo-Triásico, intrusionado por granitos de la misma edad que descansan en capas rojas de edad Triásico-Jurásico y las formaciones carbonatadas del Mesozoico, así como la secuencia arcillo-arenosa del Terciario. Son notables en dicha columna una serie de discordancias a nivel basamento del Mesozoico, intramesozoicas y Mesozoico-Terciario, lo que implica la marcada inestabilidad en esta región durante su historia geológica. [Ref. 3].

Tanto en el basamento como la cubierta del Mesozoico están afectados por algunas fallas normales con caída al oriente, notándose que a partir de los desniveles se genera en la secuencia del Terciario Superior un conjunto de fallas lítricas escalonadas con caída al oriente, algunas veces relacionadas a una falla maestra, entre las que se desarrollan arqueamientos y estructuras de arrastre; en el occidente, sobre algunos altos basamentos son comunes las flexuras, acuñamientos y engrosamientos de la sección mesozoica. El espesor promedio de la sección mesozoica es de 400m; en tanto que del Terciario es de 2,900m. [Ver Fig. 6. 3. 2]. [Ref. 3].



ARCILLAS DISPERSIVAS

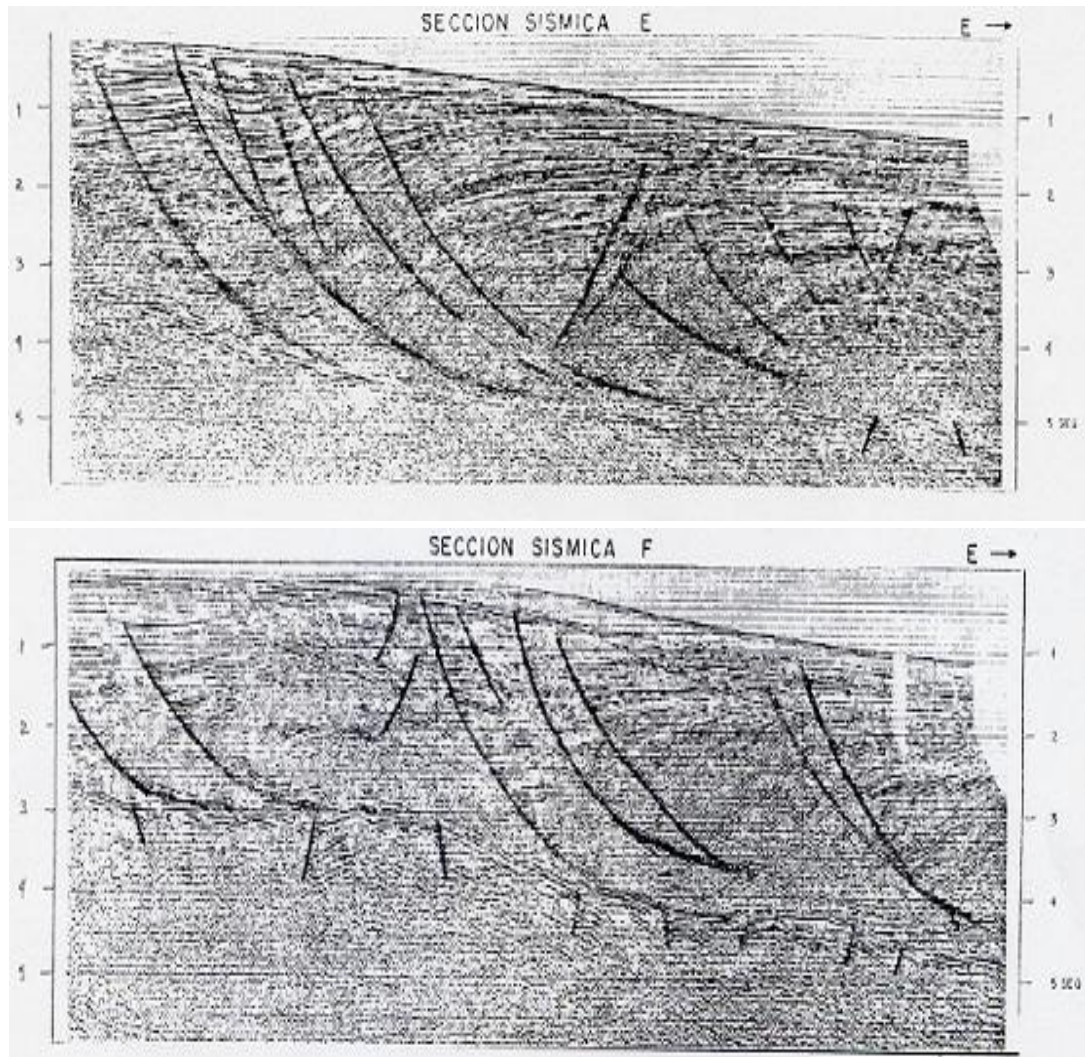


Figura 6.3.2 Secciones sísmicas E y F, localizadas frente a la ciudad de Tampico, Tams., muestran al basamento basculado hacia el oriente, afectado por algunas fallas normales, con levantamiento brusco hacia el archipiélago de Tamaulipas.



6.3.3 PROVINCIA MARINA DE VERACRUZ

Se localiza frente a las costas de Veracruz; tiene una superficie de 6,100km²; la columna geológica está constituida por una sección arcillo-arenosa del Terciario con un espesor máximo de 9,000m, asociada a una serie de altos basamentos, orientados de noreste a sureste, definidos con el nombre de “trend Macuile-Tlacotalpan-Ballena-Anegada”. En el Eoceno Superior se encontró un dique estrato de basalto andesítico de 131m de espesor.

De acuerdo a los perfiles sísmicos M y N [Ver Fig. 6. 3. 3], localizados en la porción norte y sureste de esta provincia, se observan los siguientes rasgos: En el M, orientado de NE a SW, se tiene el alto de Anegada que corresponde a la expresión del basamento mesozoico y probablemente al Terciario Medio y Superior, caracterizada por una serie arcillo-arenosa de más de 9,000m. de espesor, en el que se reflejan arqueamientos agudos, asociados con el alto estructural antes citado en el noreste y el de Antón Lizardo al sureste; la secuencia del Plioceno-Reciente es sensiblemente horizontal con ligeras flexuras entre los altos mencionados. [Ref. 3].

En el perfil N es posible definir otro alto estructural que corresponde a la continuidad más al suroeste del alineamiento Macuile-Anegada; en esta sección, la columna geológica tiene tendencia a la horizontalidad y solo interrumpen levemente este estilo la discordancia paralela entre el Plioceno-Mioceno Superior y los acuíferos del Terciario Inferior y Mesozoico. Destacan también, en esta sección pequeñas fallas normales con caída al noreste que afectan al Terciario Superior-Reciente, además de otras de las mismas características que inciden en el alto basamento y permiten su profundización hacia el centro del Golfo.



ARCILLAS DISPERSIVAS

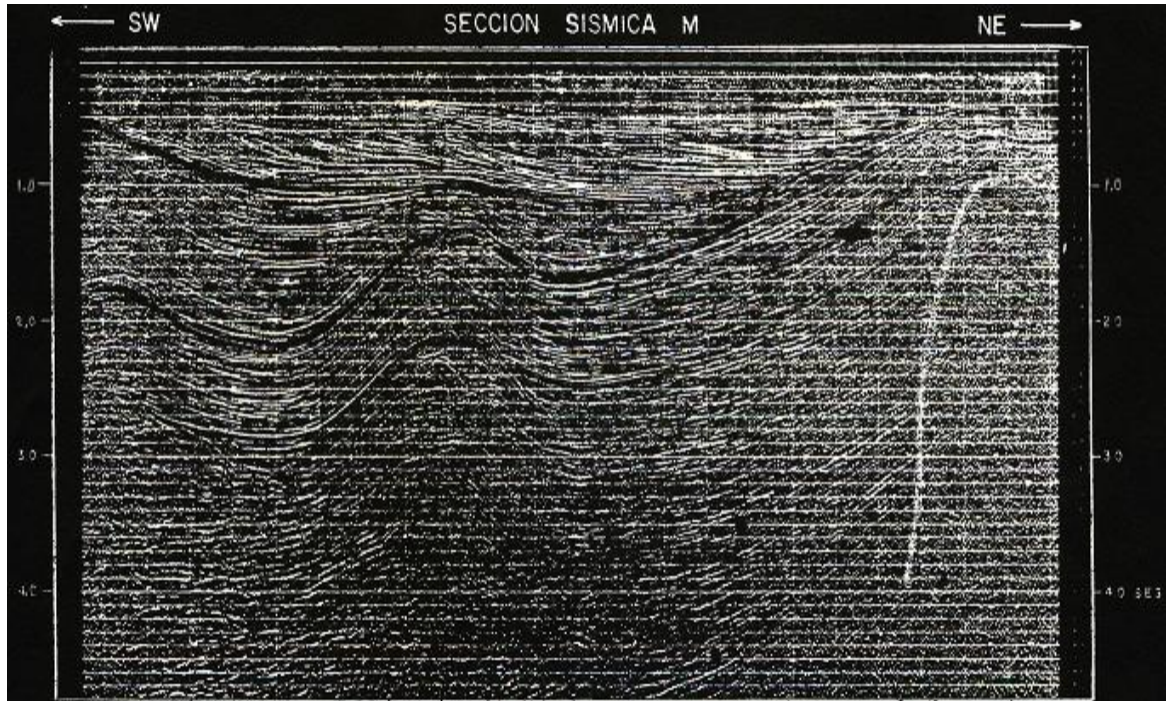


Figura 6. 3. 3 Sección sísmica M, localizada frente al puerto de Veracruz, orientada NE-SW, en la que se identifican el Alto de Anegada correspondiente al Basamento-Mesozoico y probablemente el Terciario Inferior, sobre el que se reflejan arqueamientos agudos.

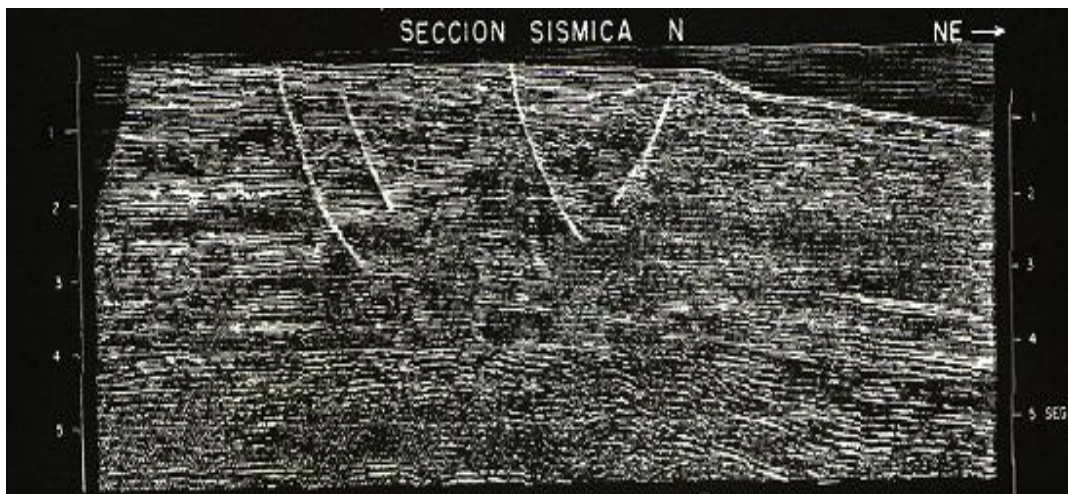


Figura 6. 3. 3 Sección sísmica N, localizada al norte de la Sierra de las Tuxtlas, orientada NW-SW, en la que se infiere a más de 4 segundos un alto del Basamento ligeramente basculado hacia el norte.



6. 3. 4 PROVINCIA MARINA DE COATZACOALCOS

La Provincia Marina de Coatzacoalcos se localiza en la porción media sur del Golfo de México, frente a los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, con una superficie de 29,270km², dividida de occidente a oriente en las áreas de Barilla, Marbella, Akal, Macuspana Marina y Chac [Ver Fig. 6. 3.B]. De acuerdo a datos de geología de subsuelo y a la interpretación de los perfiles sísmicos, se describen las características de la columna estratigráfica y estilos estructurales. [Ref. 3].

Área de Barrillas.- Corresponde a la porción occidental de la Provincia Marina de Coatzacoalcos, comprendida frente a las costas de la Sierra de los Tuxtlas. Existe en esta área una sección arcillo-arenosa de más de 9000m de espesor de edad Terciario-Reciente, afectada por discordancias del Mioceno Superior, Plioceno y Plioceno-Pleistoceno, notándose que el comportamiento estructural del Plioceno-Reciente es prácticamente horizontal, en tanto que el de la secuencia del Oligoceno-Mioceno esta definido por pequeñas ondulaciones que tienden a atenuarse a profundidad. Además, se nota la ausencia de efectos de fallamiento en la columna sedimentaria, con excepción de la porción del perfil Ñ donde se tienden dos falla normales con caída al norte y tendencia casi vertical, la que esta más al sur limitando a la masa ígnea extrusiva que en tierra corresponde con la expresión de la Sierra de los Tuxtlas, de los depósitos marinos del Terciario-Reciente. [Ref. 3].

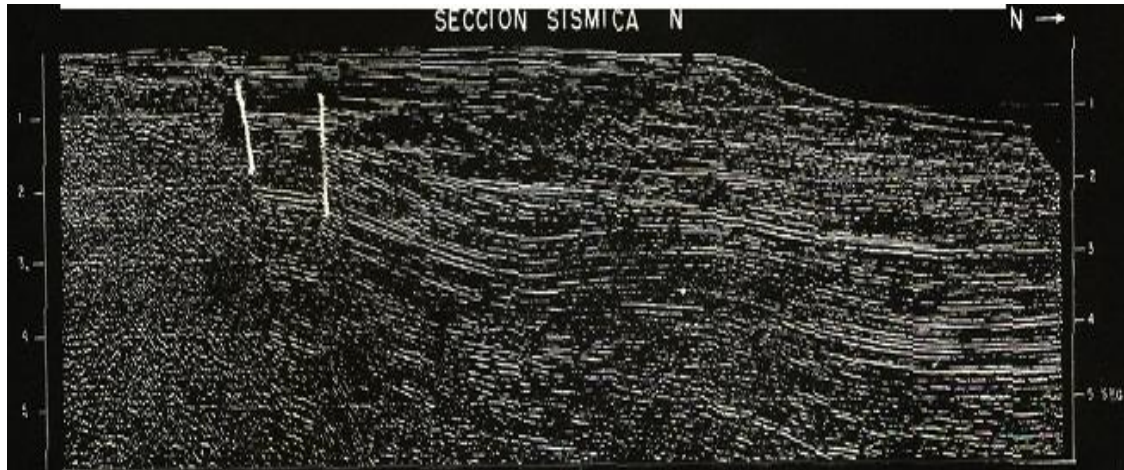


Figura 6. 3. 4 Ñ. Sección sísmica Ñ donde se tienden dos falla normales con caída al norte y tendencia casi vertical.

Área de Marbella.- Se localiza frente a la costa norte de la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz; corresponde a la prolongación hacia el mar de la conocida Cuenca Salina; en general, está caracterizada por una secuencia arcillo-arenosa de edad Terciario Medio-Superior al Reciente, con un espesor máximo de 14,000m, intrusionada por diapiros salinos que, por su efecto, conforman una serie de arqueamientos y anticlinales de forma cómica, separados entre sí por fallas predominante normales, siendo además comunes unos “grabens” de colapso en la culminación de los domos. [Ver perfiles P, Q, R y S, Fig. 6. 3. 4. A]. Así mismo, es notable hacia el sur de esta área, en asociación con estructuras cómicas profundas, la presencia de fallas lítricas algunas veces escalonadas con caídas hacia el continente, que propician un engrosamiento mayor de la columna del Terciario Superior-Reciente. [Ref. 3].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Figura. 6. 3. 4. A Secciones sísmicas P, Q, R, localizadas al norte frente a la ciudad de Coatzacoalcos, Ver., orientadas NW-SE, que muestran la prolongación hacia el mar de la Cuenca Salina del Istmo, caracterizada por una secuencia arcillo-arenosa del Terciario-Medio-Superior-Reciente intrusionada por diaporos salinos, por su efecto conforman una serie de arqueamientos anticlinales de forma cóncava, separados por fallas lítricas.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Área Akal.- Se localiza frente a la costa de Tabasco y en conjunto con las áreas de Macuspana Marina y Chac constituyen la llamada Sonda de Campeche, la cual es una zona pretolera explotada en la actualidad. La columna estratigráfica de esta área, está representada por una sección predominantemente carbonatada de edad Jurásico Tardío-Cretácico, que sobryace a extensos depósitos salinos del Jurásico Medio (Calloviano), y subyace a la potente secuencia arcillo-arenosa del Terciario-Reciente; con la particularidad que incluye depósitos de brechas calcáreas dolomitizadas en el límite Cretácico-Terciario. Esta columna tiende a adelgazarse por acuñaientos a nivel Jurásico y Terciario, o a engrosarse a nivel Cretácico, por cambios de facies con el borde occidental de la provincia Marina de Campeche. Al noreste de Akal son comunes los acuñaientos y truncamientos de las rocas mesozoicas y terciarias por efectos diapiricos de la masa salina. [Ref. 3].



6.4 AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS LLANURAS COSTERAS DEL GOLFO DE MÉXICO

El agua subterránea es la que se encuentra dentro de la litosfera. A la parte de la Hidrología que se ocupa de las aguas subterráneas se le ha denominado Geohidrología, o también Hidrogeología. La geohidrología estudia el porqué de la presencia del agua subterránea, como se efectúa su movimiento, la manera como se distribuye debajo de la superficie de la tierra y su conservación. En la antigüedad y en la Edad Media se creía que el agua subterránea provenía directamente del mar o bien de la condensación del aire en las cavernas que se suponía existían en el interior de la tierra. Sin embargo, en el siglo I el arquitecto romano Marco Vitruvio Pollio pensó en la existencia del agua subterránea como consecuencia de la infiltración del agua superficial; idea que tiempo después fue secundada por Mariotte, a quien se le considera padre de la Hidrología, y por Bernardo Palissy quien afirmó que el agua se infiltraba en el subsuelo hasta ser detenida por una capa impermeable. [Ref. 24].

En la actualidad se ha comprobado que la presencia de la mayor parte del agua subterránea se debe a la infiltración del agua en el suelo y forma parte del ciclo hidrológico. También hay aguas subterráneas debidas a otros fenómenos, tales como las magmáticas y las volcánicas (aguas juveniles) y las que resultan al quedar atrapadas en los intersticios de las rocas sedimentarias en el momento en que se depositan éstas (aguas fósiles), pero su cantidad no es muy considerable en relación con las que provienen de la infiltración. [Ref. 24].



ARCILLAS DISPERSIVAS



La infiltración está limitada por ciertos factores como el tipo de roca, las características geomorfológicas, etcétera. El movimiento del agua subterránea está controlado por las fuerzas principales, la gravedad y la de atracción molecular, interviniendo de manera especial la estructura de las formaciones de rocas. [Ref. 24].

Las formaciones de rocas según su aptitud para contener y dejar pasar el agua a través de su masa, reciben distintos nombres:

Acuíferos. Formaciones que permiten al agua moverse a través de ellas bajo condiciones ordinarias y son capaces de suministrarla por gravedad o por bombeo.

Acuiclerres. Formaciones capaces de contener el agua pero incapaces de transmitirla en cantidades suficientes como para captación de manantiales.

Acuífugos. Formaciones impermeables que no absorben agua ni transmiten agua.

El agua subterránea sale a la superficie en forma natural o inducida de acuerdo a las formas siguientes:

1. La que está más cerca del suelo se pierde por evaporación y transpiración.
2. Hay sitios en los que tiene lugar la filtración excurrente que es un movimiento lento del agua subterránea hacia la superficie.
3. Por medio de los manantiales.
4. Mediante la descarga artificial a través de pozos, galerías filtrantes etcétera.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Los manantiales son brotes concentrados de agua subterránea que aparecen en la superficie del suelo en forma de corrientes o simplemente como aguas brotantes. No se les debe confundir con la filtración excurrente en la que tiene lugar un escape difuso de agua la cual puede quedar estancada o escurrir, depende de la magnitud de dicho escape.

Los manantiales se clasifican desde diversos puntos de vista como por ejemplo: de acuerdo con las aberturas en las que salen, de acuerdo con la estructura de la roca, en relación a la permanencia de descarga, en relación a la temperatura y según las características topográficas. Este capítulo se enfoca a los manantiales relacionados con su temperatura; específicamente los manantiales termales. [Ref. 24].

Manantiales Termales. Aquellos cuyas aguas tienen una temperatura mayor que la media anual de los alrededores.

Cuando el agua subterránea circula a grandes profundidades, se calienta, si se eleva a la superficie el agua puede emerger como una fuente termal. Se piensa que la fuente de calor de la mayoría de las fuentes termales es el proceso de enfriamiento de las rocas ígneas del subsuelo. [Ref. 36].

Debido a sus particulares características geológico-estructurales, México cuenta con abundantes recursos geotérmicos. Actualmente contamos con una base de datos que incluye



ARCILLAS DISPERSIVAS



2,332 manifestaciones geotérmicas distribuidas en 27 de los 32 Estados Mexicanos. La Fig. 6.4.1 ilustra dicha distribución. [Ref. 14].

Figura 6.4.1 Ilustra la distribución de los Recursos Geotérmicos en México. Imagen tomada del Informe ESTIMACIÓN DEL RECURSO Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE LA GEOTERMIA EN MÉXICO. INFORME IIE/11/3753/I 01/P MARZO 2005.

Los recursos geotérmicos consisten principalmente de energía térmica. Por ello, la caracterización de recursos geotérmicos es la estimación de la energía térmica en el subsuelo, referida a la temperatura anual media. A la fecha se han identificado cinco tipos de sistemas geotérmicos: hidrotermales, roca seca caliente, geopresurizados, marinos y magmáticos.



ARCILLAS DISPERSIVAS



A continuación se describen los *sistemas hidrotermales*. Estos sistemas están constituidos por: una fuente de calor, agua (líquido y/o vapor) y la roca en donde se almacena el fluido (Fig. 6.4.2). El agua de los sistemas hidrotermales se origina en la superficie de la tierra en forma de lluvia hiel o de nieve. Se infiltra lentamente en la corteza terrestre, a través de poros y fracturas, penetrando a varios kilómetros de profundidad en donde es calentada por la roca alcanzando en algunas ocasiones temperaturas de hasta 400 °C.

Estos sistemas pueden clasificarse en tres tipos principales: vapor dominante, líquido dominante alta entalpía y líquido dominante baja entalpía. En la actualidad estos sistemas son los únicos que se explotan comercialmente para la generación eléctrica. [Ref. 14].

(i) *Vapor Dominante*. Son sistemas de alta entalpía, generalmente de vapor seco. Existen unos cuantos en el mundo. Los más conocidos son The Geysers (Estados Unidos) y Lardarello (Italia).

(ii) *Líquido dominante (alta entalpía)*. Sistemas de salmuera súper caliente, con temperaturas entre 200 °C y más de 300 °C. Son más abundantes que los anteriores. Ejemplo: Cerro Prieto (México), Wairakei (Nueva Zelanda), Tiwi (Filipinas).

(iii) *Líquido Dominante (baja entalpía)*. Sistemas con salmueras calientes, con temperaturas entre de 100 °C y 200 °C aproximadamente. Son más abundantes que los anteriores en una proporción de 10 a 1. Se encuentran en casi todos los países del mundo. Ejemplo: Heber (Estados Unidos), Yangbajin (China), cientos de sitios en México.

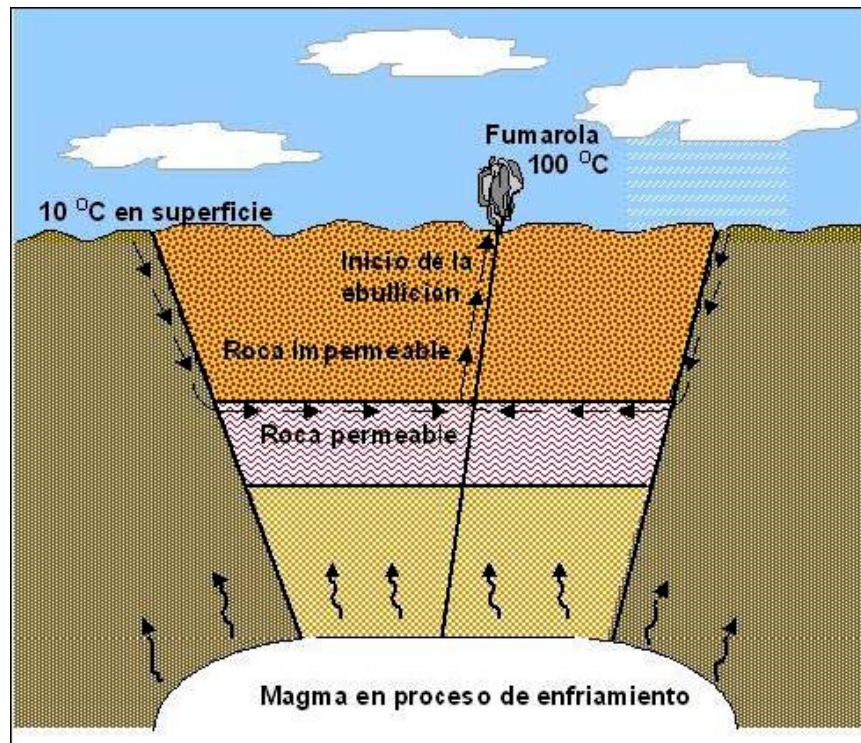


Figura 6.4.2 Esquema de un sistema geotérmico hidrotermal. Imagen tomada del Informe ESTIMACIÓN DEL RECURSO Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE LA GEOTÉRMIA EN MÉXICO. INFORME IIE/11/3753/I 01/P MARZO 2005.

Es importante la forma de la superficie del terreno ya que el agua tendrá mayor o menor oportunidad de infiltrarse y además, porque el agua ya infiltrada va a seguir una trayectoria determinada por dicho factor; así, en una región montañosa la pendiente del terreno por una parte, dará más facilidad al agua de escurrir que para infiltrarse y por otra, el agua que llegue a la zona de saturación tendrá más movimiento hacia las zonas más bajas, ya sea directamente al mar o regiones en donde por tener una pendiente menor, el movimiento del agua sea más lento y facilite su acumulación.[Ver Fig. 6.4.3]. [Ref. 24].

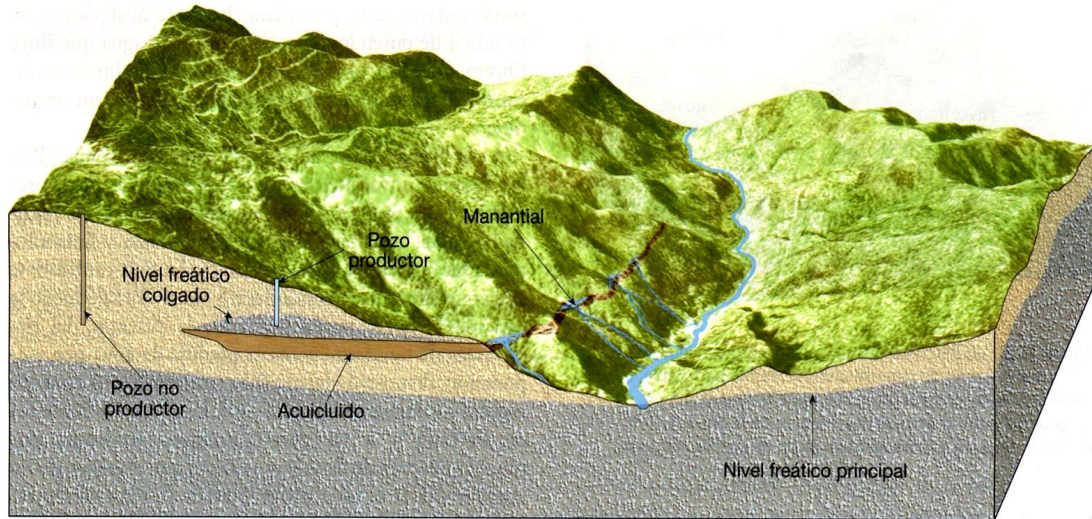


Figura 6.4.3 Esquema de la formación de un manantial. (Tarbuck y Lutgens 1999).

La configuración del territorio mexicano da lugar a una división tal que permite la formación de cuencas exorreicas y endorreicas perteneciendo en el primer caso, a la vertiente exterior y en segundo a la vertiente interior. Las Llanuras Costeras del Golfo de México son una vertiente exterior. [Ver Fig. 6.4.4]. [Ref. 24].

En México la distribución y origen de las rocas varía de acuerdo con la era geológica en la que se formaron. Los aspectos geológicos desempeñan un papel muy importante en la geohidrología ya que las diferentes formaciones de rocas poseen ciertas propiedades que son definitivas para poder constituir acuíferos y manantiales, estas propiedades son la porosidad y la permeabilidad. La roca sedimentaria muy extendida en el país es la caliza que corresponde a diferentes eras geológicas, siendo la Sierra Madre Oriental la que está formada por toda clase de rocas sedimentarias y en la que sobresalen las calizas del mesozoico. Las



ARCILLAS DISPERSIVAS



regiones costeras del golfo de México pueden considerarse constituidas por material poco consolidado, su formación es principalmente de origen marino y su desarrollo tuvo lugar en el Cenozoico. En estos terrenos hay depósitos aluviales, los cuales son favorables para la infiltración. [Ref. 24].

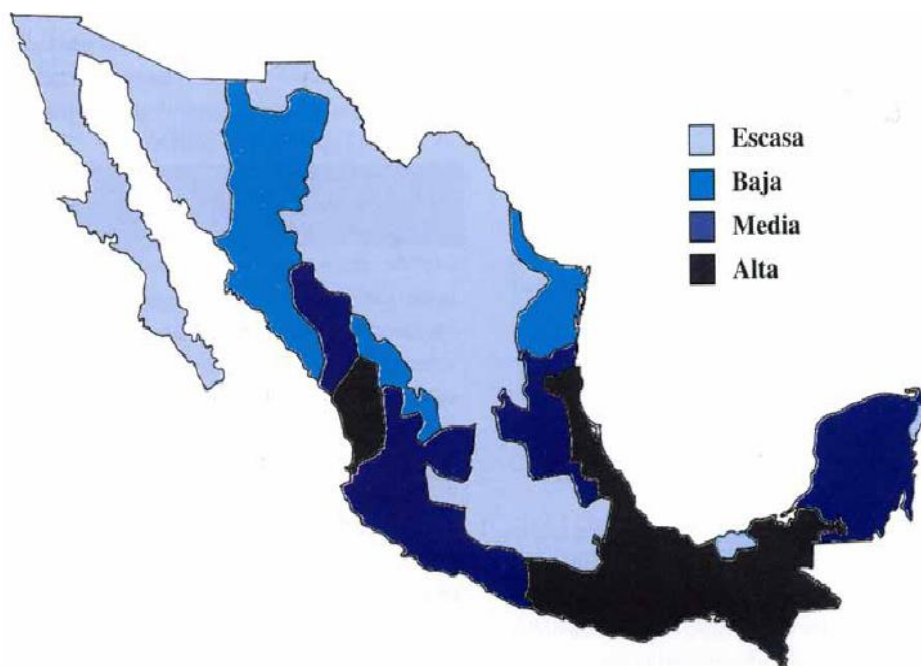


Figura 6.4.4 Disponibilidad de las aguas subterráneas en la República Mexicana. [Ref. 6].

LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE. Los manantiales aquí localizados corresponden a terrenos sedimentarios. En esta Llanura se localizan manantiales no termales localizados junto a la sierra Madre Oriental cuyo origen pertenece a la misma. Dentro de las rocas permeables se agrupan a las calizas El Abra, que constituyen la mayor parte de las sierras existentes, y debido a su carácter arrecifal presentan una porosidad primaria que permitió la formación de agujeros y conductos de disolución, a través de los cuales el agua



ARCILLAS DISPERSIVAS



de lluvia se infiltra y circula hacia rocas del subsuelo más profundos, que contienen acuíferos de gran potencial. Las rocas poco permeables comprenden a las formaciones San Felipe, Agua Nueva, Cuesta del Cura, Tamaulipas Superior y Tamaulipas Inferior, así como al conglomerado y aluvión del Cuatemario. [Ref. 7].

Las formaciones antes citadas están constituidas por calizas en general, pero ocasionalmente se hallan fracturadas y en consecuencia contienen acuíferos. El conglomerado, compuesto por arenas, gravas, cantos rodados y arcillas, poco compacto y mal clasificado, forma el pie de monte de las sierras y son muy permeables, condición que se ve atenuada por su poco espesor y pendientes topográficas muy fuertes, principalmente. Los aluviales están constituidos por materiales granulares de tamaño medio y fino, pero consolidados y con espesores reducidos. [Ref. 7].

Las rocas clasificadas como impermeables son las formaciones Méndez, Olvido, Huizachal, La Casita, el cuerpo arcilloso de Miquihuana, Horizonte Otates y los esquistos Granjero. Están constituidos en general por lutitas, margas, yesos, areniscas, calizas y hasta algunas rocas metamórficas, lo cual hace que se comporten como impermeables por efectos prácticos, funcionando como barreras al flujo de agua subterránea. [Ref. 7].

LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR. Aquí se localizan acuíferos libres.

En algunos sitios de la Llanura Costera del golfo de México se han realizado una serie de estudios en las salmueras para determinar las direcciones laterales de los flujos subterráneos, la posible interferencia y comunicación entre pozos, pronósticos sobre



ARCILLAS DISPERSIVAS



invasiones de agua, comunicación entre diferentes sistemas de acuíferos, comunicación por fracturas o fallas, el origen de las salmueras (agua marina, conata, fósil, meteórica), el tiempo de residencia y/o la edad de las salmueras. [Ref. 2].



7.0 CASOS PARTICULARES

Con la finalidad de contar con los elementos necesarios para efectuar un análisis comparativo de las arcillas dispersivas encontradas en el área de “El Sauz, Tamps.” y otras regiones del país, se realizaron dos recorridos de campo con toma de muestras. Uno en los sitios denominados “El Sauz y La Escondida, Tamps.” y otro en la región sur del país en el estado de Veracruz, en sus límites con Tabasco.

7.1 Sitios “El Sauz y La Escondida”, estado de Tamaulipas.

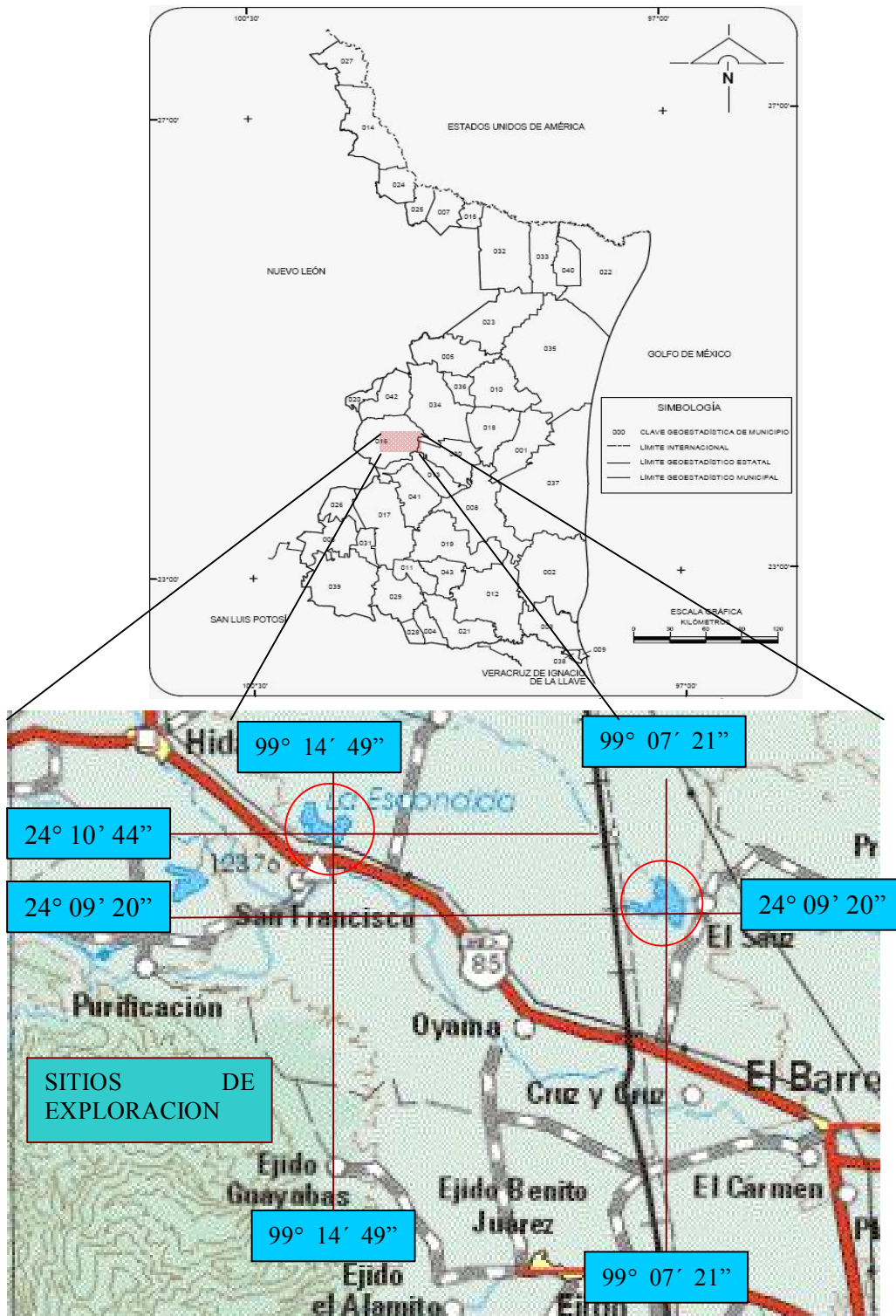
Los sitios denominados “El Sauz y La Escondida” se localizan en el estado de Tamaulipas[Ver Tabla7.1], el cual se encuentra contenido en la provincia fisiográfica denominada Llanura Costera del Golfo Norte, correspondiendo el primero a la presa derivadora y el segundo a la presa de almacenamiento, estos sitios se encuentran en el Municipio de Hidalgo de dicho estado, en la subprovincia fisiográfica de llanuras y lomeríos y colinda con la subprovincia fisiográfica denominada Gran Sierra Plegada que pertenece a la Sierra Madre Oriental (estado de San Luis Potosí). Ambos se localizan en la región hidrológica “San Fernando Soto la Marina” (R. H. No.25), la influencia en el clima por parte del Golfo de México se manifiesta al evaporarse el agua de mar con el calor, la atmósfera se satura de humedad y se forman abundantes nubes que los vientos tropicales arrastran hacia las montañas. Las coordenadas geográficas de estos sitios son: [Ver MAPA 7.1.1].

Coordenadas geográficas	Latitud Norte	Longitud oeste	Altitud promedio s.n.m.
El Sauz	24° 09' 20”	99° 07' 21”	100 m
La Escondida	24° 10' 44”	99° 14' 49”	180 m

Tabla 7.1 Ubicación de los sitios “El Sauz y La Escondida”



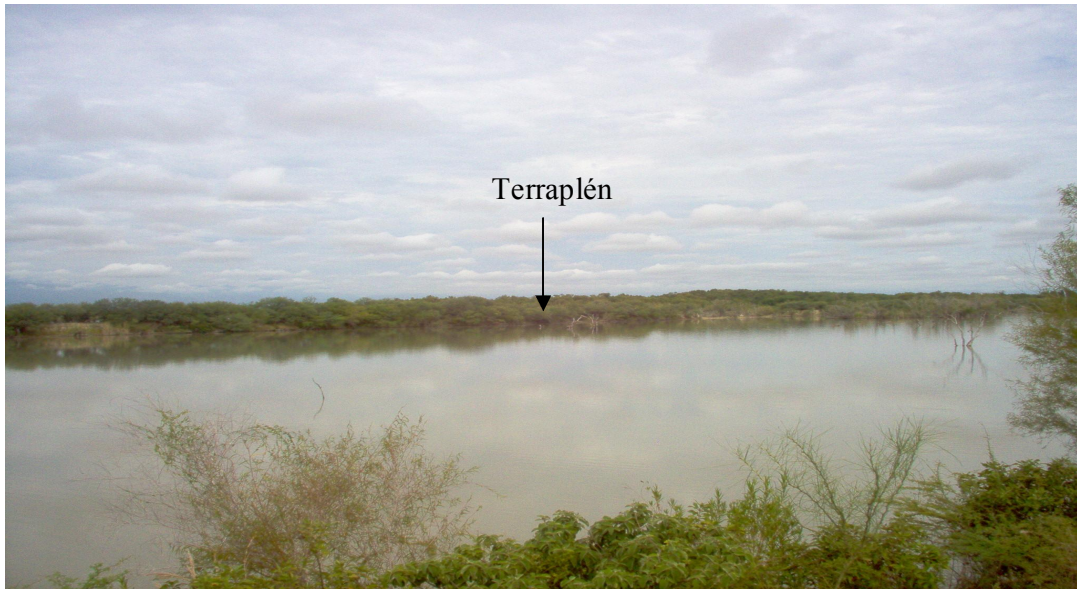
ARCILLAS DISPERSIVAS



MAPA 7.1.1. Localización topográfica de los sitios “El Sauz y La Escondida”. S/E. Fuente INEGI.



Sitio denominado “El Sauz”:



Fotografía 7.1.1. Se muestra en la parte central (al fondo) el terraplén construido en 1972 del sitio denominado “El Sauz”, correspondiente a la presa derivadora.



Fotografía 7.1.2. Acercamiento en donde se muestra vista hacia aguas abajo, de algunas de las tubificaciones producidas en la cortina de la presa en el sitio El Sauz. Fuente: CFE.



Sitio denominado “**La Escondida**”:



Fotografía 7.1.3. Se muestra el embalse de la presa de almacenamiento denominada “La Escondida”.

7.1.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La mayor parte de los terrenos del estado de Tamaulipas están constituidos por rocas sedimentarias, cuyas edades cubren un rango geocronológico del Paleozoico al Cuaternario; son de origen marino o continental con predominancia de las primeras. Sin embargo, también se encuentran, aunque en áreas mucho menores, rocas ígneas cenozoicas, rocas metamórficas, precámbricas y paleozoicas, así como depósitos no consolidados del Cuaternario. Los suelos se encuentran distribuidos en el estado como relleno de valles, siendo notorios los gruesos espesores que alcanzan en la porción oriental que corresponde a la Llanura Costera del Golfo. [Ver Mapa 7.1.2].



ARCILLAS DISPERSIVAS

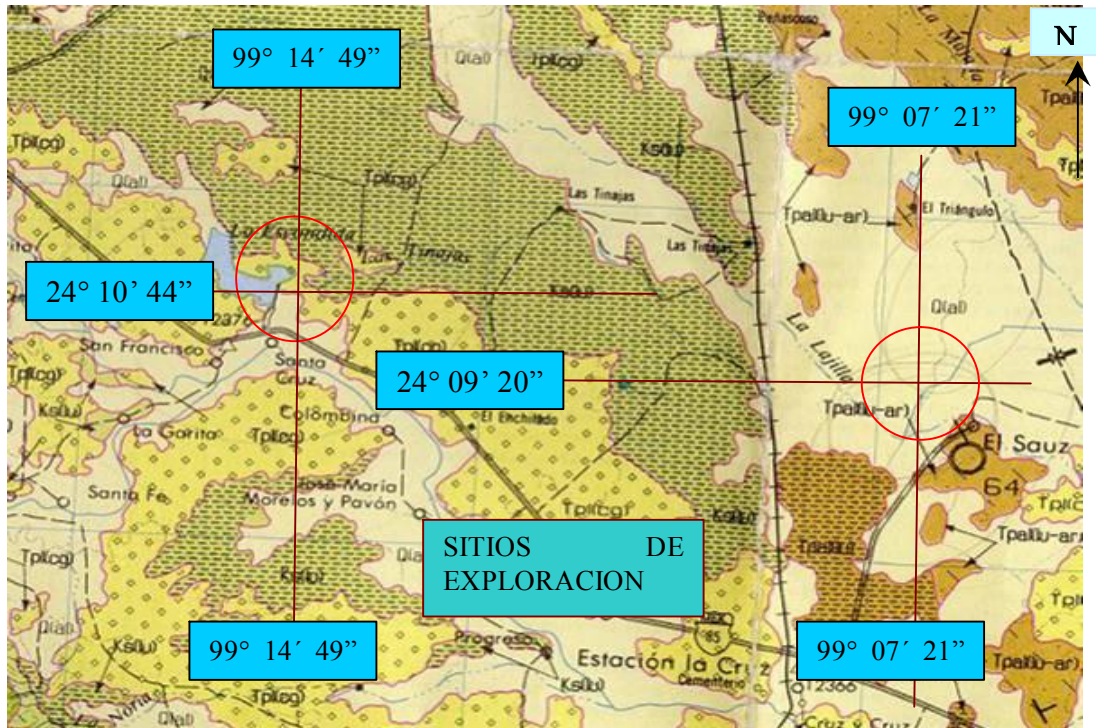


Mapa 7.1.2. Presenta la Geología regional del estado de Tamaulipas. Fuente INEGI. Información geográfica.



7.1.2 GEOLOGÍA LOCAL

A continuación se muestra la ubicación en el mapa siguiente los materiales que fueron encontrados y corroborados en la exploración de campo realizada:



Mapa 7.1.2.1 Presenta la Geología local de los sitios "El Sauz y La Escondida". S/E.

1. La simbología Qal presentada en el mapa pertenece a la formación geológica que corresponde a material Aluvial.
2. La simbología Tpl (Cg) presentada en el mapa pertenece a la formación geológica Reynosa que corresponde a material Conglomerado.
3. La simbología Ks (Lu) presentada en el mapa pertenece a la formación geológica Méndez que corresponde a material Lutita.
4. La simbología Kl (Lu) presentada en el mapa pertenece a la formación geológica San Felipe que corresponde a material Lutita.
5. La simbología Tpal (Lu) presentada en el mapa pertenece a la formación geológica Velasco que corresponde a material Lutita.



ARCILLAS DISPERSIVAS



a) LITOLOGÍA

La litología de esta zona es:

Aluvión, Conglomerado, Lutita fragmentada que pertenece a la formación geológica Méndez y cuya intemperización forma el suelo denominado Choy.

Sitio “El Sauz”:

1. **Aluvión.**- Material formado por material erosionado de las rocas preexistentes, el cual se deposita en las partes bajas como relleno de llanuras y en los deltas de los ríos. Depósitos de espesor variable, de origen aluvial, constituido por material arcilloso.



Fotografía 7.1.4. Material arcilloso de origen aluvial, el cual muestra salitre en su superficie, su color es café claro, de espesor variable y se localizó frente al terraplén de la presa de tierra.

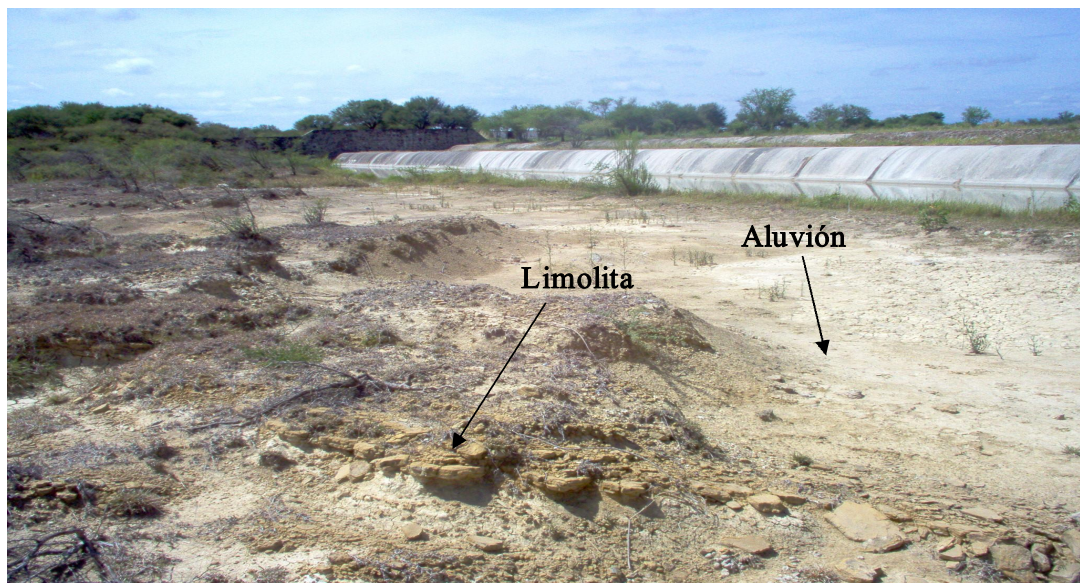


ARCILLAS DISPERSIVAS

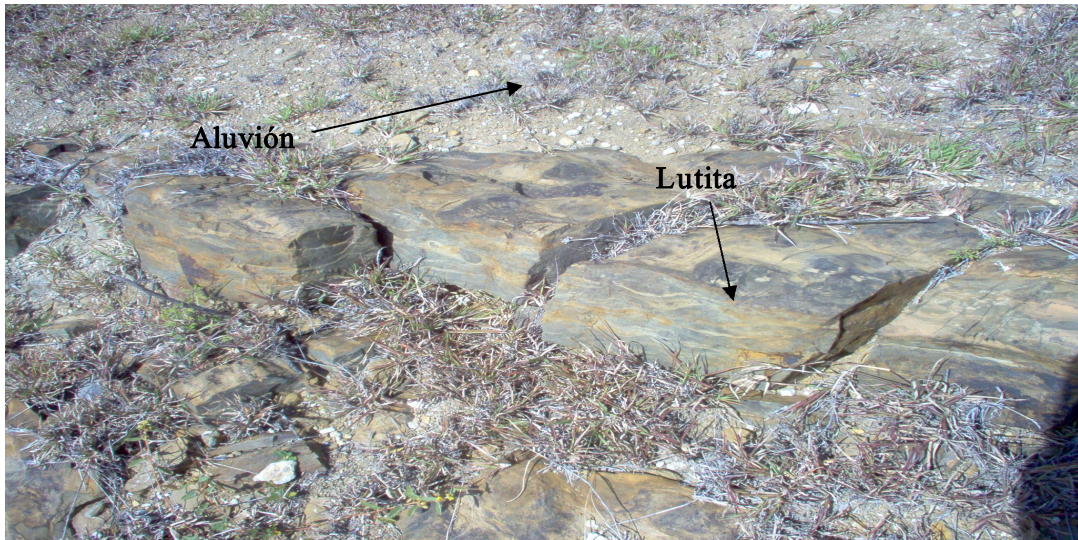


Fotografía 7.1.5. Se muestra material intemperizado (lutita, limonita y calcita) que da origen a los suelos arcillosos, a estos rasgos estructurales se le denomina formación “Monjes”, su color es café y se localiza enfrente del vertedor aguas abajo aproximadamente a 50.0m de distancia.

2. **Limolita.**- Su espesor varia de 9-12cm, su color es café claro y se localiza en forma de estrato sobreyaciendo a la lutita.



Fotografía 7.1.6. Se muestra la limolita por debajo del material aluvial, en la fotografía el material muestra un color café más oscuro que el material aluvial.



Fotografía 7.1.7. Se muestran estratos de lutita, por debajo del material aluvial.

Sitio “La Escondida”:

- 1) **Aluvión.**
- 2) **Conglomerado.-** Secuencia de depósitos aluviales conglomeráticos constituidos por diferentes clastos de calizas, pedernal y arenisca, estos clastos son de forma subredondeada.



Fotografía 7.1.8. Se muestra el material conglomerático, localizado en la margen izquierda de la presa “La Escondida”.



Fotografía 7.1.9. Se muestra el conglomerado, localizado en la margen derecha de la presa “La Escondida”.



Fotografía 7.1.10. Se muestra el material conglomerado, localizado en la margen derecha de la presa “La Escondida”.



ARCILLAS DISPERSIVAS



3) **Lutita**. Material intemperizado, color gris.



Fotografía 7.1.11. Se muestra el material denominado lutita, localizado en el camino hacia la presa “La Escondida”, a este material se le llama Choy, y también muestra una estratificación, así como la presencia de un anticlinal.

b) ESTRATIGRAFÍA

Sitio el Sauz:

Al
Lm
Lu

Al Aluvión
Lm Limolita
Lu Lutita

Sitio La Escondida:

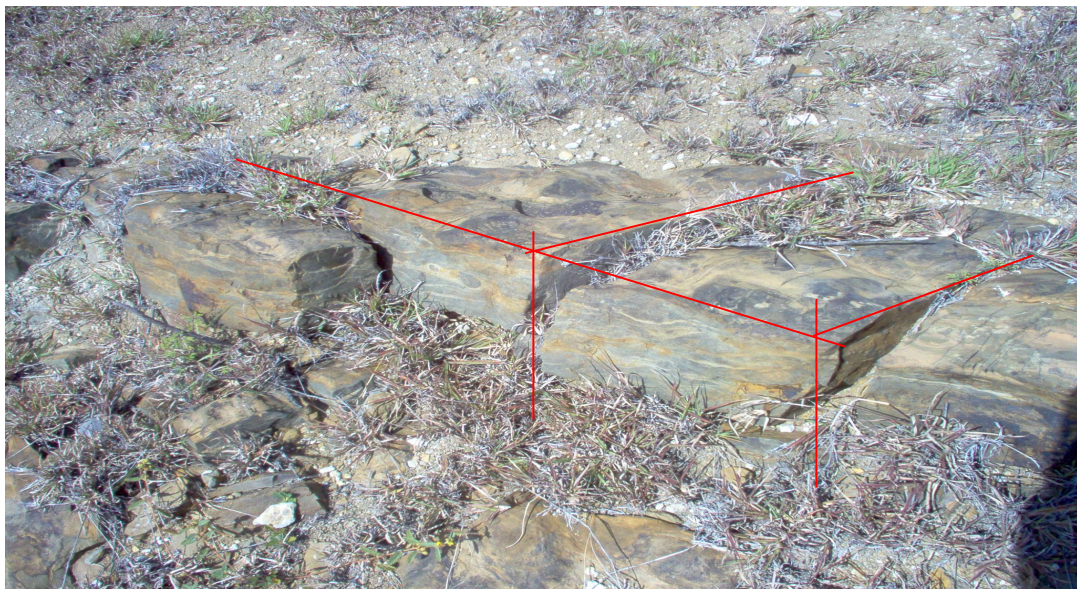
Al
Cg
Lu

Al Aluvión
Cg Conglomerado
Lu Lutita



c) ESTRUCTURA

Se presume que existe un anticlinal y un sinclinal, ya que la lutita presenta rumbo y echado, no fue posible medir en campo estos datos. Pero mediante una fotografía se hace esta referencia.



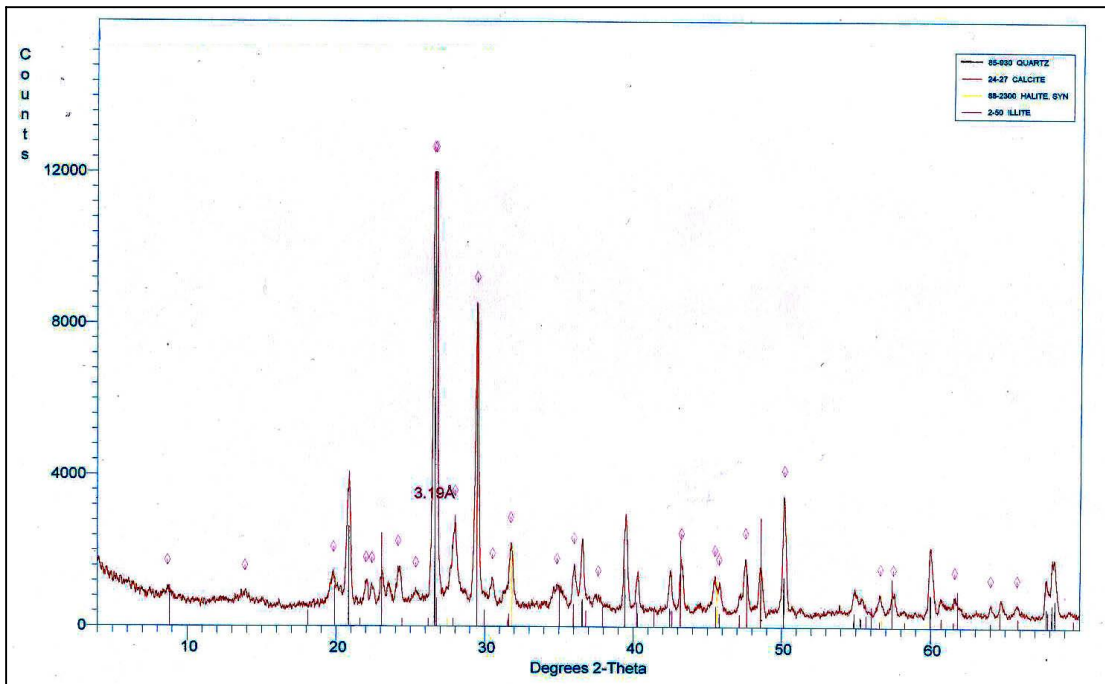
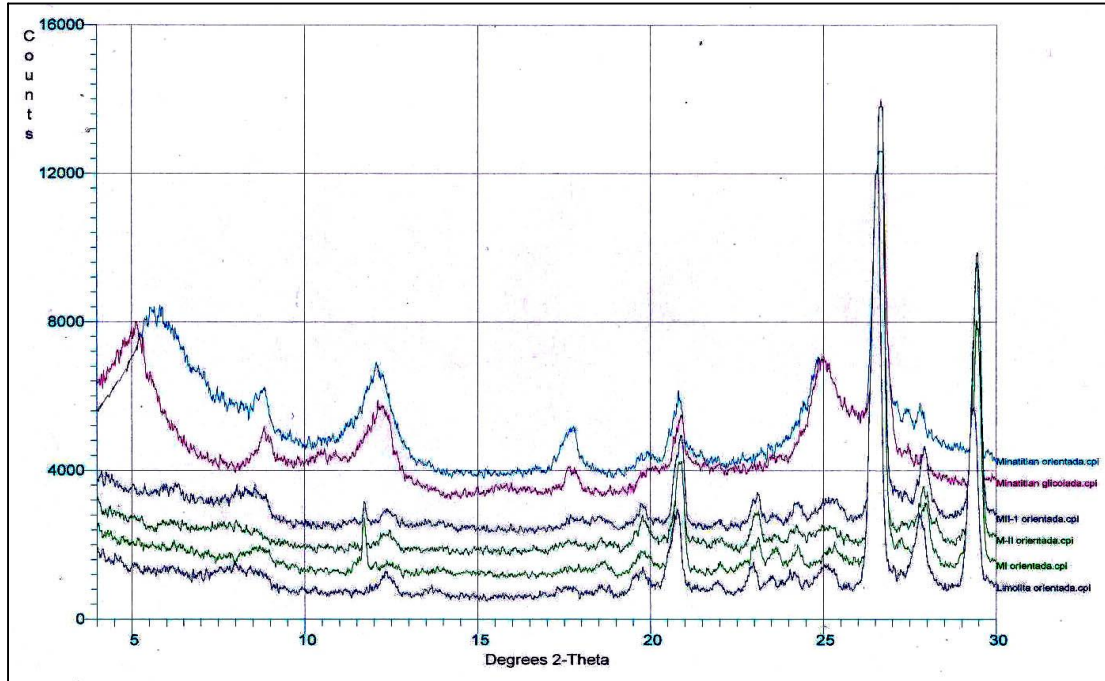
Fotografía 7.1.12. Se muestra el material estratificado, con cierta inclinación que nos permite saber la existencia de un plegamiento.

7.1.3 ENSAYES DE LABORATORIO

Con la finalidad de saber y comprobar que materiales se recolectaron en la exploración de campo realizada en los sitios “La Escondida” y “El Sauz”, se hizo el planteamiento de realizar pruebas, una por el método de difracción de rayos x [Ver Figuras 7.1.3.1 y 7.1.3.2] y otra por el método de doble Hidrómetro (Comentada en el capítulo 3.3.2)..



ARCILLAS DISPERSIVAS



Figuras 7.1.3.1 y 7.1.3.2 Difractogramas de los especímenes ensayados por el método de difracción de rayos x. En la primera figura se observan todos los especímenes y en la segunda se observa el difractograma de la muestra M-I



ARCILLAS DISPERSIVAS



Por medio del método de difracción de rayos x se obtuvieron qué minerales componen las muestras de suelos recolectadas en la exploración, los resultados fueron los siguientes:

REPORTE DE MINERALES IDENTIFICADOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
Muestra	Minerales identificados
M-I	Cuarzo, calcita, halita, illita
M-II	Calcita, cuarzo,halloysita-7a, halita, illita?
M-II-1	Cuarzo, calcita, halloysita-7a, illita?, halita?
LIMOLITA	Cuarzo, calcita, albita, halloysita, illita?
	En las primeras 3 muestras, los minerales cuarzo y calcita son los mas abundantes, encontrando al resto en concentraciones menores a 5-10%
	En todas las muestras parece haber al menos traza de feldespatos, excepto en la limolita, donde la concentración es suficiente para ser identificados sin duda
	La halita disminuye al pasar de MI a MII a MII-1

Estos datos se obtuvieron en el laboratorio de geoquímica del Departamento de Geoquímica del Instituto de Geología de la UNAM.

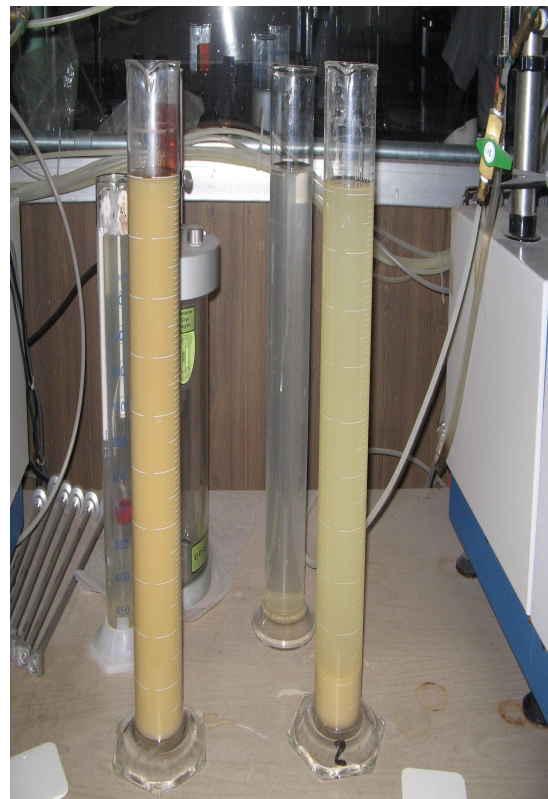
De acuerdo a los ensayos de las muestras de suelo los minerales de arcilla que componen los suelos son la illita, la halloysita-7^a, un mineral corresponde al grupo de las illitas y el otro corresponde al grupo de las caolinitas (descritos en el capítulo 2.5.3), el mineral halita corresponde al grupo de sales, la halita y los minerales de arcilla mencionados antes son los minerales que pueden dar origen a las arcillas dispersivas.



ARCILLAS DISPERSIVAS



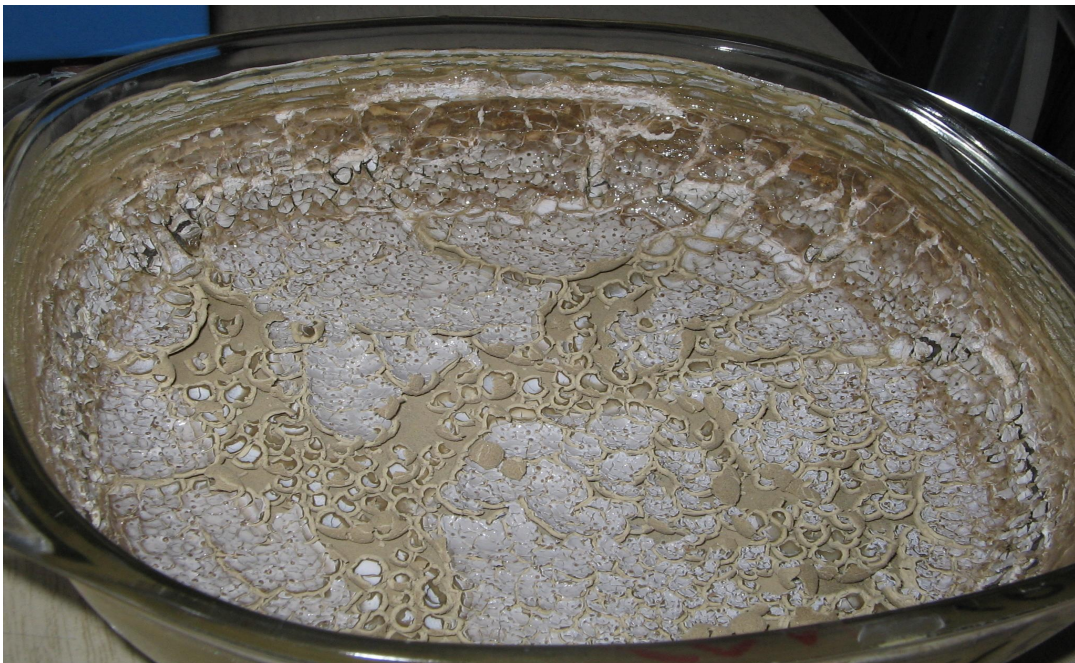
Por medio de método de doble hidrómetro se obtuvo la dispersividad de las muestras de suelo ensayadas, la cual está en función de la cantidad de sal que contienen dichas muestras, también se obtuvo la granulometría de estos materiales, para la realización de estos ensayos se consideraron algunos criterios de la norma ASTM D4211-83,1986, estos ensayos se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Suelos de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.



Fotografías 7.1.13. y 7.1.14 Se muestran dos ensayos del material realizados en el laboratorio empleando el método de doble hidrómetro.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Fotografías 7.1.15. y 7.1.16. Se muestran dos materiales que fueron ensayados en laboratorio por medio del método de doble hidrómetro y en la superficie de éstos se observa cómo se formó una capa de sal en la superficie. Su dureza también aumentó con la depositación del material sobre los recipientes.

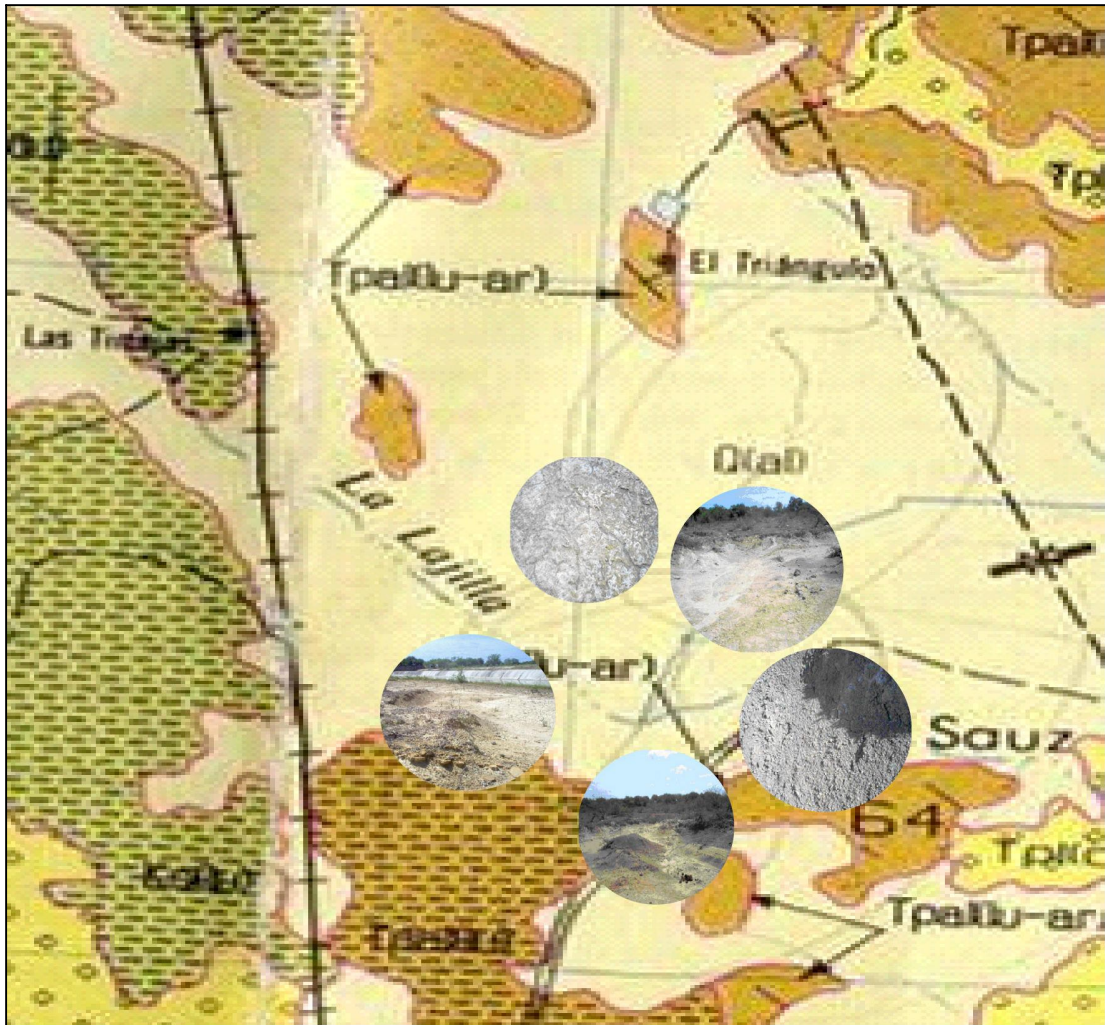


Figura 7.1.16 Se muestran los sitios de donde se recolectaron los materiales que fueron ensayados en el laboratorio.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Las siguientes tablas muestran los resultados de los cálculos realizados según procedimientos para obtener: el porcentaje de dispersividad y la cantidad de sal de las muestras ensayadas que fueron recolectadas en el Estado de Tamaulipas.

	LECTURAS	
	CON DEFLOCULANTE	EN mm SIN DEFLOCULANTE
MUESTRA I AGUAS DE ABAJO DE TERRAPLÉN	20.31	74
MUESTRA II	45.47	20
MUESTRA II-I	57.62	17
MUESTRA III - LIMOLITA	60.63	30

	DISPERSIÓN (%)
MUESTRA I AGUAS DE ABAJO DE TERRAPLÉN	364.35
MUESTRA II	43.99
MUESTRA II-I	29.50
MUESTRA III - LIMOLITA	49.48

Según fórmula

	PESO DE SAL (GR)
MUESTRA I AGUAS DE ABAJO DE TERRAPLÉN	41.64
MUESTRA II	16.80
MUESTRA II-I	15.334
MUESTRA III - LIMOLITA	22.95

Tablas 7.1.3. Lecturas de las graficas que describen la granulometría de finos de las muestras ensayadas, también se muestra la dispersividad de los suelos en porciento así como la cantidad de sal que se encontró en las muestras de suelo ensayadas.



7.2 MINATITLÁN, ESTADO DE VERACRUZ

A lo largo del Golfo de México, en una franja costera de 745 kilómetros de longitud, el territorio veracruzano se conforma por grandes montañas, bosques serranos, bosques mesófilos, selvas tropicales, fértiles llanuras, caudalosos ríos, cascadas, lagunas y costas. Su privilegiada posición geográfica hace de Veracruz un espacio de gran potencial para el desarrollo nacional.

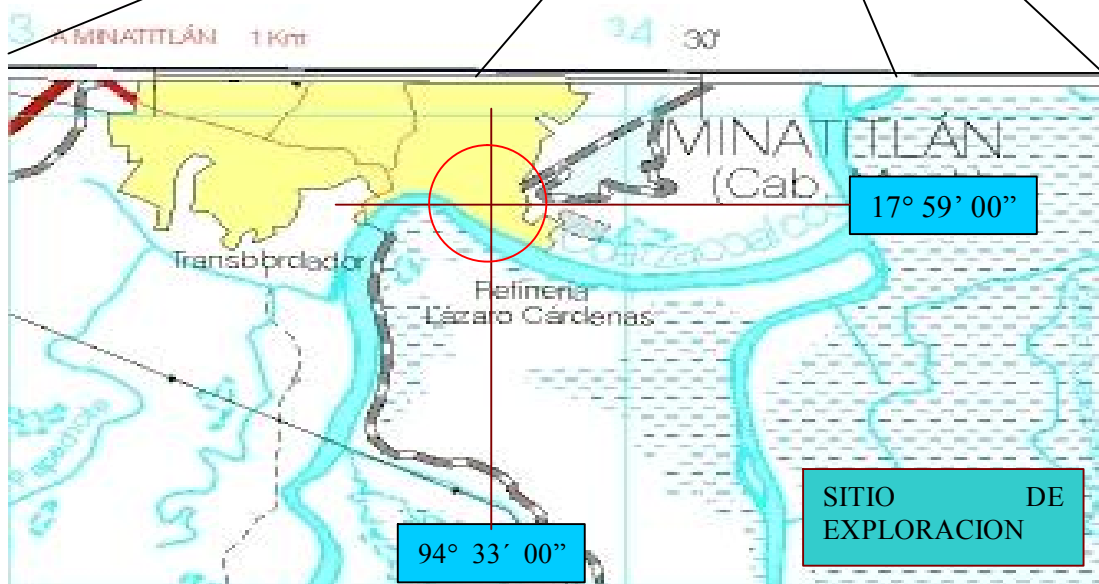
Veracruz colinda con los Estados de: Tamaulipas al norte; San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla al oeste; Chiapas y Oaxaca al sur, y Tabasco al sureste. Comparte la cuenca del Golfo de México con los estados de Tamaulipas, Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán. El territorio es bajo y llano en la zona costera, y se eleva hacia el interior en la Sierra Madre Oriental, hasta llegar a los elevados cordones volcánicos que culminan en Orizaba, a unos 3 mil metros sobre el nivel del mar.

7.2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL SITIO EXPLORADO

Minatitlán está ubicada en 17° 59' latitud norte y 94° 33' longitud oeste, con una altitud promedio de 20 m sobre el nivel del mar. Tiene una superficie de 4,123.91 km² que ocupa un 0.054% del total del estado. Limita al norte con la ciudad costera de Coatzacoalcos y Cosoleacaque, al sur con el estado de Oaxaca, al oriente con Ixhuatlán del Sureste, Moloacán y Las Choapas y al poniente con Hidalgotitlán y Cosoleacaque. [Ver Mapa 7.2.1].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Mapa 7.2.1. Localización topográfica del sitio “REFINERÍA LÁZARO CÁRDENAS”. S/E. Fuente INEGI.



7.2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

El estado ha quedado comprendido dentro de siete provincias geológicas, que son: Llanura Costera del Golfo Norte, Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Cordillera Centroamericana y Sierras de Chiapas y Guatemala; cada una de ellas con características litológicas, estructurales y geomorfológicas propias y definidas. Las rocas que afloran en la provincia cubren un lapso geocronológico que va del Jurásico Superior al Cuaternario (Reciente).

Esta provincia está constituida en su mayor parte por depósitos recientes formados de suelos que cubren gran parte de la secuencia sedimentaria depositada en cuencas marinas del Terciario.

Los afloramientos de rocas volcánicas se distribuyen en el área de Los Tuxtlas, donde su expresión morfológica de volcanes y prominencias topográficas contrastan con la llanura costera.

Del Cretácico Inferior aflora una secuencia de calizas negras que contienen lentes y bandas de pedernal.

El Cretácico Superior está representado por la unidad de calizas de color gris claro y negro depositadas en mares profundos. En los valles de Orizaba y Córdoba se han depositado potentes espesores de suelos aluviales del Cuaternario provenientes de la erosión de rocas volcánicas y calcáreas. [Ver Mapa 7.2.2].



ARCILLAS DISPERSIVAS



Mapa 7.2.2. Muestra la geología regional del estado de Veracruz. S/E



7.2.3 GEOLOGÍA LOCAL

A continuación, se describen los materiales que fueron encontrados y corroborados en la exploración de campo realizada:

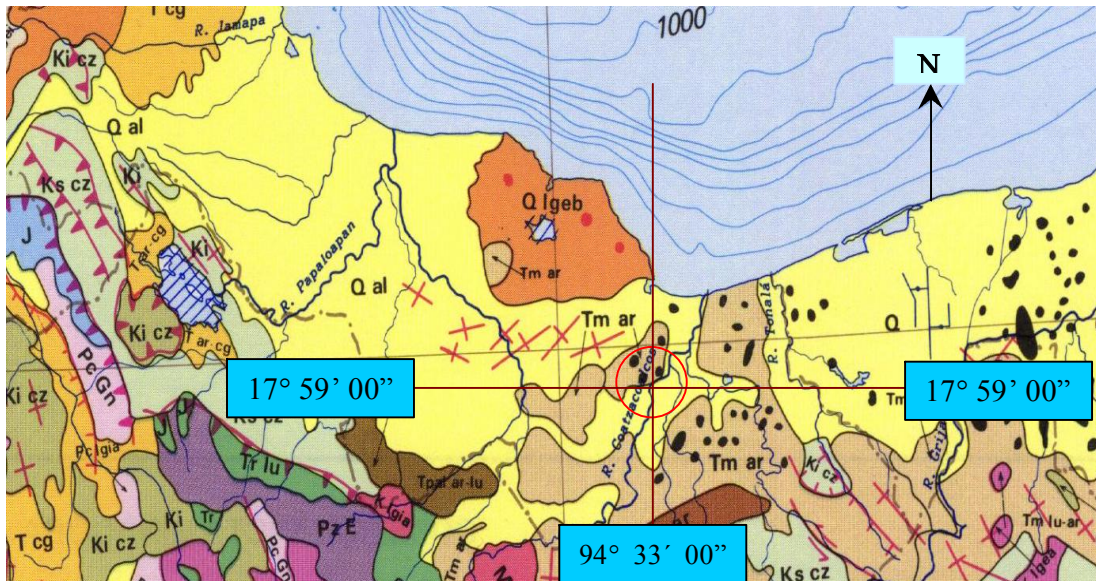
a) LITOLOGÍA

Los materiales encontrados en Minatitlán y en la “REFINERÍA LÁZARO CÁRDENAS” son:

1. **Suelo.**- Este material se localizó a la entrada del municipio de Minatitlán, que es la parte más alta del municipio. Se formó debido al intemperismo de limolita. Su color es rojizo.
2. **Aluvión.**- Material formado por material erosionado de las rocas preexistentes, el cual se deposita en las partes bajas como relleno del valle y en los deltas de los ríos. Principalmente es arena con gravilla.
3. **Arcillas y limos.** Material formado por material erosionado de las rocas preexistentes, el cual se deposita en las partes bajas como relleno del valle y en los deltas de los ríos. En la “Refinería Lázaro Cárdenas” se encontraron arcillas y limos con materia orgánica, ya que esta zona es la denominada zona pantanosa de la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Sur.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Mapa 7.2.3. Presenta la geología regional del sitio “Refinería Lázaro Cárdenas”. S/E.

- 1) La simbología Qal presentada en el mapa pertenece a la litología geológica de Aluvión.



Fotografía 7.2.1. Se muestra la zona pantanosa y junto a ella una torre eléctrica a la cual le han colocado suelo de relleno en su base, este suelo es un material areno-arcilloso, muy inestable. Esta fotografía fue tomada en la “Refinería Lázaro Cárdenas”.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Fotografía 7.2.2. Se muestra el relleno que han colocado sobre el material con materia orgánica formado, el cual presenta intercalaciones de arena y arcilla. Refinería Lázaro Cárdenas.



Fotografía 7.2.3. Esta fotografía muestra al suelo con materia orgánica.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Fotografía 7.2.4. Esta fotografía muestra el suelo arcilloso encontrado en la Refinería Lázaro Cárdenas en Minatitlán, Veracruz.

Según perforaciones realizadas para la construcción de pilas, personal técnico encontró arcilla de color café claro con alguna combinación de otros materiales producto de la desintegración de suelos y/o rocas superficiales. Esta arcilla fue depositada sobre los lechos del cauce del Río Coatzacoalcos.

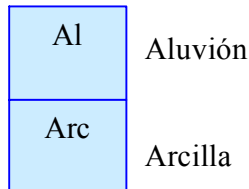


Fotografía 7.2.5. Esta fotografía muestra el suelo arcilloso que fue ensayado para saber el tipo de minerales de arcilla y el contenido de sales.



b) ESTRATIGRAFÍA

El acomodo que presentan las unidades litológicas son:



c) ESTRUCTURA

Localmente y superficialmente no se observó ninguna estructura geológica debido a la vegetación y las zonas pantanosas en la “Refinería Lázaro Cárdenas”; sin embargo con estudios del Dr. Salvador Marín Córdova, se han definido varias fallas con corrimiento lateral NE-SW denominadas: falla transcurrente Coatzacoalcos y falla transcurrente Comalcalco, para esta zona de estudio. [Ref. 37].

A la falla transcurrente Coatzacoalcos corresponde el cauce alto del Río San Juan (Río La Lana), con intenso fracturamiento NE-SW en las rocas que cruza. [Ref. 37].

En algunos tramos de la falla transcurrente Comalcalco fluyen los Ríos Uspanapa y Coatzacoalcos; encontrándose también el área inestable de Guevea de Humboldt. [Ref. 37].

Además existen domos salinos ubicados en los alrededores de las ciudades de Minatitlán y Coatzacoalcos. Algunos domos son empleados tanto para extraer sal, como para almacenar hidrocarburos, como en el caso del Tuzandepetl. [Ref. 37].



7.2.4 ENSAYES DE LABORATORIO

Con la finalidad de saber y comprobar que materiales se recolectaron en la exploración de campo realizada en la Refinería Lázaro Cárdenas también se hizo el planteamiento según caso anterior.

Por medio del método de difracción de rayos x se obtuvieron los minerales que componen la muestra de suelo recolectada en la exploración, los resultados fueron los siguientes:

REPORTE DE MINERALES IDENTIFICADOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
Muestra	Minerales Identificados
MINATITLAN	Cuarzo, nontronita-15Å, halloysita-7Å, illita

En el caso de la muestra Minatitlán esta fue glicolada y calentada a 550°C para la caracterización de la esmectita. Estos datos se obtuvieron en el laboratorio de geoquímica del Departamento de Geoquímica del Instituto de Geología de la UNAM.

De acuerdo al ensaye de la muestra de suelo los minerales de arcilla que lo componen son: la nontronita-15Å que corresponde al grupo de las esmectitas, la halloysita-7Å corresponde al grupo de las caolinitas y el mineral illita corresponde al grupo de illitas.

Por medio de método de doble hidrómetro se obtuvo que en este material no existía cantidad de sal, también se consideraron algunos criterios de la norma ASTM D4211-83,1986 para la realización de estos ensayos, los cuales se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Suelos de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.



ARCILLAS DISPERSIVAS



Fotografías 7.2.6. Y 7.2.7. Se muestra el material ensayado en laboratorio por medio del método de doble hidrómetro.



CONCLUSIONES

1. Dados los efectos negativos que tienen las arcillas dispersivas en el funcionamiento de diversas obras de ingeniería, es recomendable que se cuente con el conocimiento de los sitios en los que existen, para poder así orientar las pruebas de laboratorio adecuadas para su identificación.
2. Con esto, se podrá prever con oportunidad, la no utilización de ellas en las obras proyectadas; evitando así el fracaso de las mismas y los costos que esto representa, como ocurrió en la presa del proyecto denominado “La Escondida”, en el estado de Tamaulipas.
3. La identificación de las regiones deberá tener un componente fundamental de carácter geológico en el que se incluyan:
 - a) Tipo de roca
 - b) Presencia de acuíferos salinos
 - c) Existencia de estratos y domos salinos
 - d) Antecedentes de manantiales salinos
4. El origen geológico de las arcillas dispersivas localizadas en el sitio denominado “El Sauz, Tamps.”, fue probablemente debido a que cuando se formó la Sierra Madre Oriental y al ser plegada, quedaron al descubierto algunos estratos de rocas sedimentarias de origen marino asociadas a rocas alcalinas, estratos de sal y/o a domos salinos.



ARCILLAS DISPERSIVAS



5. Haciendo un análisis comparativo de la presencia de arcillas dispersivas en la Llanura Costera del Golfo de México, tomando la subdivisión de la misma se puede enunciar lo siguiente:
 - a) En la llanura del golfo norte, es evidente la existencia de arcillas dispersivas en la subprovincia de llanuras y lomeríos, ya que es el área donde se ubica el sitio denominado “El Sauz” donde se construyó la presa de derivación del proyecto que denominaron “La Escondida”.
 - b) En las subprovincias de la sierras de San Carlos y Tamaulipas y llanura costera Tamaulipeca es posible la existencia de arcillas dispersivas, ya que en la sierra de Tamaulipas existen rocas ígneas del Cuaternario abundantes en sales, y según carta edafológica (INEGI) de este sitio, muestra suelos con contenido alto de sodio, en cuanto a la llanura costera Tamaulipeca también es posible encontrar arcillas dispersivas porque existen suelos arcillo-arenosos marinos recientes con contenido de sal.
 - c) En la llanura del Golfo Sur, las pocas muestras que se colectaron no manifiestan la presencia de arcillas dispersivas. Sin embargo dado que en esta provincia se ubica la denominada Cuenca Salina, con abundancia de formaciones ricas en sales, con la existencia de domos salinos, se considera con grandes posibilidades de encontrar arcillas dispersivas.



BIBLIOGRAFÍA

- 1) ARCHIVO PDF. SUÁREZ DÍAZ JAIME. DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES. CAPITULO 7 LLUVIAS, PRESION DE POROS Y SUS EFECTOS. METODOLOGIA DE ANALISIS. JULIO DE 2002.
- 2) ARELLANO G. VÍCTOR M.. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA EL SECTOR PETROLERO EN LA GERENCIA DE GEOTÉRMIA. BOLETÍN IIE, JULIO-AGOSTO DEL 2001
- 3) CAMARGO ZANOQUERA ANTONIO Y QUEZADA MUÑETON JUAN MANUEL. ANÁLISIS GEOLÓGICO-ECONOMICO DE LAS ÁREAS DEL GOLFO DE MÉXICO CON POSIBILIDADES PETROLERAS. PETROLEOS MEXICANOS, COORDINACIÓN DE EXPLORACIÓN. BOLETIN DE LA ASOCIACIÓN MEXICANA DE GEOLOGOS PETROLEROS VOLUMEN XLI, NUM.2 JULIO-DICIEMBRE DE 1991.
- 4) CEPEDA DOVELA JUAN MANUEL. QUÍMICA DE LOS SUELOS. EDITORIAL TRILLAS-MEXICO-UAAA1991. SEGUNDA EDICION, ENERO DE 1991.
- 5) COMISIÓN NACIONAL DE IMPRESIÓN DE LIBROS GRATUITOS. ATLAS DE MÉXICO. SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA.1992.
- 6) COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. COMPENDIO BÁSICO DEL AGUA EN MÉXICO. GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. SUBGERENCIA DE EVALUACIÓN Y MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA. MÉXICO, D.F., 2002
- 7) COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO TULA BUSTAMANTE ESTADO DE TAMAULIPAS SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA. GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. SUBGERENCIA DE EVALUACIÓN Y MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA. MÉXICO, D.F., 30 DE ABRIL DE 2002
- 8) F. G. H. BLYTH Y M. H. DE FREITAS. GEOLOGÍA PARA INGENIEROS. C.E.C.S.A. 1989.
- 9) FERNANDEZ ROMERO JOSE FRANCISCO. ESTUDIO DE SUELOS DISPERSIVOS. TESIS DE MAESTRÍA. UNAM.1990.
- 10) GARAY PORTEROS HILDA Y ALVA HURTADO JORGE E.. IDENTIFICACIÓN Y ENSAYOS EN SUELOS DISPERSIVOS. PONENCIA PRESENTADA EN EL XII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, 16 AL 20 DE NOVIEMBRE DE 1999, HUÁNUCO.
- 11) GARCÍA ROMERO EMILIA: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE (MADRID). SUÁREZ BARRIOS MERCEDES: UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS. [HTTP://WWW.UCLM.ES/USERS/HIGUERAS/YYMM/YM6.HTML](http://www.uclm.es/users/higueras/yyymm/ym6.html)



ARCILLAS DISPERSIVAS



- 12) GARCÍA ROMERO MARISA. BENTONITAS. [HTTP://WWW.UCM.ES/INFO/CRISMINE/MARISAWEB.HTML](http://www.ucm.es/info/crismine/marisaweb.html).
- 13) HERNÁNDEZ MENDOZA CHRISTIAN EDUARDO. DISPOSICIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS EN CAVIDADES GEOLOGICAMENTE ESTABLES. TESIS DE MAESTRÍA. UNAM. 2007.
- 14) IGLESIAS R. EDUARDO, ARELLANO G. I. VICTOR, TORES R. RODOLFO JOAQUIN. INFORME ESTIMACION Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE LA GEOTERMIA EN MÉXICO. GERENCIA DE GEOTERMIA. INFORME IIE/11/3753/I01/P MARZO 2005.
- 15) INEGI. SINTESIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN.
- 16) INEGI. SINTESIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE CHIAPAS.
- 17) INEGI. SINTESIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE OAXACA.
- 18) INEGI. SINTESIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ.
- 19) INEGI. SINTESIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE TAMAULIPAS.
- 20) INEGI. SINTESIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE VERACRUZ.
- 21) LOPEZ RAMOS ERNESTO. GEOLOGÍA DE MÉXICO TOMO II 2ª EDICIÓN. 1980. IMPRESO EN TESIS RESENDIZ S.A. GOROSTIZA 57 MÉXICO 2, D. F.
- 22) LOPEZ RAMOS ERNESTO. GEOLOGÍA DE MÉXICO TOMO III 2ª EDICIÓN. 1980. IMPRESO EN TESIS RESENDIZ S.A. GOROSTIZA 57 MÉXICO 2, D. F.
- 23) LOVELL C.W. Y L. WILSHIRE RICHARD. ENGINEERING ASPECTS OF SOIL EROSION, DISPERSIVE CLAYS AND LOESS. DENVER COLORADO, GEOTECHNICAL SPECIAL PUBLICATION No. 10.
- 24) MADEREY RASCON LAURA ELENA. ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN MÉXICO. INSTITUTO DE GEOGRAFÍA. UNAM 1967.
- 25) PHILPS W. J., PHILIPS N. FUNDAMENTOS DE MINERALOGIA PARA LOS GEOLOGOS. 1986. EDITORIAL LIMUSA.
- 26) SECRETARIA DE MINAS, MINAS E INDUSTRIAS PARAESTATALES. MONOGRAFÍA GEOLÓGICO MINERA. ESTADO SAN LUI POTOSI. SUBDIRECCION DE MINAS 1993.
- 27) SECRETARIA DE MINAS, MINAS E INDUSTRIAS PARAESTATALES. MONOGRAFÍA GEOLÓGICO MINERA. ESTADO NUEVO LEÓN. SUBDIRECCIÓN DE MINAS 1993.



ARCILLAS DISPERSIVAS



- 28) SECRETARIA DE MINAS, MINAS E INDUSTRIAS PARAESTATALES. MONOGRAFÍA GEOLÓGICO MINERA. ESTADO TAMAULIPAS. SUBDIRECCIÓN DE MINAS 1993.
- 29) SECRETARIA DE MINAS, MINAS E INDUSTRIAS PARAESTATALES. MONOGRAFÍA GEOLÓGICO MINERA. ESTADO VERACRUZ. SUBDIRECCIÓN DE MINAS 1993.
- 30) SECRETARIA DE MINAS, MINAS E INDUSTRIAS PARAESTATALES. MONOGRAFÍA GEOLÓGICO MINERA. ESTADO TABASCO. SUBDIRECCIÓN DE MINAS 1993.
- 31) SECRETARIA DE MINAS, MINAS E INDUSTRIAS PARAESTATALES. MONOGRAFÍA GEOLÓGICO MINERA. ESTADO CHIAPAS. SUBDIRECCIÓN DE MINAS 1993.
- 32) SECRETARIA DE RECURSOS HIDRÁULICOS. PRIMERA EXPERIENCIA EN MÉXICO CON ARCILLAS DISPERSIVAS, PLAN NACIONAL DE OBRAS DE RIEGO PARA EL DESARROLLO RURAL.
- 33) SHERARD, J.L., AND DECKAR, R.S. 1977. SUMMARY—AN EVALUATION OF SYMPOSIUM ON DISPERSIVE CLAYS. IN DISPERSIVE CLAYS, RELATED PIPING AND EROSION IN GEOTECHNICAL PROJECTS. EDITED BY J.L. SHERARD AND R.S. DECKER. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, SPECIAL TECHNICAL PUBLICATION STP 623, PP. 467–480.
- 34) SRONDON JAN. J. MORGAN DAVID. V. ESLINGER ERIC. D. EBERL DENISS Y R. KARLINGER MICHAEL. CHEMESTRY OF ILLITES/ESMECTITE AN END-MEMBER ILLITE. CLAYS AND CLAY MINERALS. VOL 34. NO.4 368-378.19876.
- 35) SUÁREZ GARCÍA OFELIA GABRIELA TESIS DE MAESTRÍA. SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LADERAS EN LA SIERRA MADRE. UNAM. 2006.
- 36) TARBUCK EDWARD J. AND LUTGENS FREDERICK K..CIENCIAS DE LA TIERRA UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA FÍSICA. SEXTA EDICIÓN. PRENTICE HALL. MADRID, 1999.
- 37) MARÍN CÓRDOVA SALVADOR Y RODRIGUEZ CORREA ARTURO. ESTUDIO GEOLÓGICO AMBIENTAL PARA LA LOCALIZACIÓN DE UN CONFINAMIENTO PARA DESECHOS INDUSTRIALES DEL AREA DE COATZACOALCOS, EDO. DE VERACRUZ. INEDITO. NOVIEMBRE 1990.