

21  
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOLOGIA DEL SUBSUELO Y PERSPECTIVA DE  
EXPLOTACION DE LOS YACIMIENTOS DE AZUFRE  
DEL DOMO DE JALTIPAN, VERACRUZ

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O      G E O L O G O**

P R E S E N T A :

**CESAR AUGUSTO RICARDEZ OVANDO**



MEXICO, D. F.

1991

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-040

SR. CESAR AUGUSTO RICARDEZ OVANDO  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Carlos Garza González-Vález, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

**GEOLOGIA DEL SUBSUELO Y PERSPECTIVA DE EXPLOTACION DE LOS  
YACIMIENTOS DE AZUFRE DEL DOMO DE JALTIPAN, VERACRUZ**

- INTRODUCCION
- I GENERALIDADES
- II FISIOGRAFIA
- III GEOLOGIA
- IV YACIMIENTOS MINERALES
- V GENERALIDADES SOBRE EL AZUFRE
- VI PERSPECTIVAS DE EXPLOTACION
- VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA
- APENDICES
- PLANOS E ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 15 de marzo de 1990  
EL DIRECTOR

  
DANIEL RESENDIZ NUÑEZ



## DEDICATORIA

**GEOLOGIA DEL SUBSUELO Y PERSPECTIVA DE EXPLOTACION DE LOS  
YACIMIENTOS DE AZUFRE DEL DOMO DE JALTIPAN, VERACRUZ**

	Pág.
<b>INTRODUCCION.</b>	1
<b>I.- GENERALIDADES.</b>	
I.1.- Objetivo.	3
I.2.- Localización del área de estudio.	3
I.3.- Vías de Comunicación.	3
I.4.- Población y Cultura.	4
I.5.- Clima y Vegetación.	4
I.6.- Antecedentes Historicos.	5
<b>II.- FISIOGRAFIA.</b>	
II.1.- Provincia Fisiográfica.	10
II.2.- Geomorfología.	11
II.3.- Hidrografia.	11
<b>III.- GEOLOGIA.</b>	
III.1.- Estratigrafía del Area.	
III.1.1.- Depósito Salino.	14
III.1.2.- Formación Caliza Chinameca.	16
III.1.3.- Formación Caliza Sierra Madre.	17
III.1.4.- Formación Méndez.	18
III.1.5.- Conglomerado Uzpanapa.	19
III.1.6.- Lutitas Nanchital.	20
III.1.7.- Formación La Laja.	21
III.1.8.- Formación Depósito.	22
III.1.9.- Formación Encanto.	23
III.1.10.- Formación Concepción Inferior.	25
III.1.11.- Formación Concepción Superior.	26
III.1.12.- Formación Filisola.	27
III.1.13.- Formación Paraje Solo.	28
III.1.14.- Formación Agueguexquite.	29
III.1.15.- Formación Cedral.	31
III.1.16.- Serie Acalapa.	31
III.1.17.- Depósitos Recientes	32
III.2.- Geología Estructural.	33
III.3.- Geología Histórica.	36
III.4.- Tectónica.	39
<b>IV.- YACIMIENTOS MINERALES</b>	
IV.1.- Clasificación General de los Yacimientos de Azufre.	42
IV.2.- Factores Goequímico que controlan la Acumulación de las Sales.	43

IV.3.- Factores que rigen el movimiento de la Sal.	45
IV.4.- Discusión Genética.	50
<b>V.- GENERALIDADES SOBRE EL AZUFRE.</b>	
V.1.- Generalidades sobre el Azufre.	55
V.2.- Métodos de Exploración.	56
V.3.- Método de Explotación.	58
V.4.- Usops del Azufre.	61
<b>VI.- PERSPECTIVAS DE EXPLOTACION.</b>	
Perspectivas de Explotación.	64
<b>VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	
Conclusiones.	67
Recomendaciones	67
Bibliografía.	69
Apéndice A (Sección esquemática AA')	

## INTRODUCCION

La industria azufrera en México ha jugado una parte vital en el desarrollo industrial del país. El alto crecimiento demográfico ha motivado que la producción de alimentos deba aumentarse considerablemente. Como todos sabemos el mayor porcentaje de la producción alimenticia se obtiene del campo y, además, para hacer más productivo el campo es necesario el uso de fertilizantes, industria en la cual el azufre juega un papel importante, como insumo básico en la generación de tales productos. Es esta una de las grandes razones por la que se considera de suma importancia conocer lo mejor posible, las condiciones geológicas de emplazamiento de este tipo de depósitos.

Este trabajo pretende con base en el análisis de los reportes geológicos de las perforaciones realizadas en la parte SE del domo de Jáltipan, Ver., establecer las características geológicas que presenta el yacimiento en general y las zonas con mayor mineralización en particular. Así también, de acuerdo con estas características geológicas, formular una opinión sobre las posibilidades de una recuperación secundaria del mineral en el área.

Además de una manera complementaria se enuncian los procesos de exploración y explotación de un yacimiento de azufre, a manera de que también pueda tomarse como referencia para las personas no relacionadas con este tipo de yacimiento y que tengan interés en ellos.

## I. - GENERALIDADES



### I.1.- Objetivo.

Con el desarrollo del tema "Geología del Subsuelo y Perspectivas de Explotación de los yacimientos de Azufre en Jáltipan, Ver.", se pretende presentar una idea general de las características geológicas y de la técnica de explotación de este metalóide. Así como también formular una opinión sobre las posibilidades de una recuperación secundaria en las áreas ya explotadas.

### I.2.- Localización del área de estudio.

El distrito azufrero de Jáltipan se localiza en la parte sur del estado de Veracruz entre los municipios de Jáltipan y Chinameca. Geográficamente se encuentra aproximadamente entre las siguientes coordenadas:

17° 55' y 17° 45' Latitud Norte y,  
94° 10' y 94° 20' Longitud Oeste de Greenwich.

(Fig. 1)

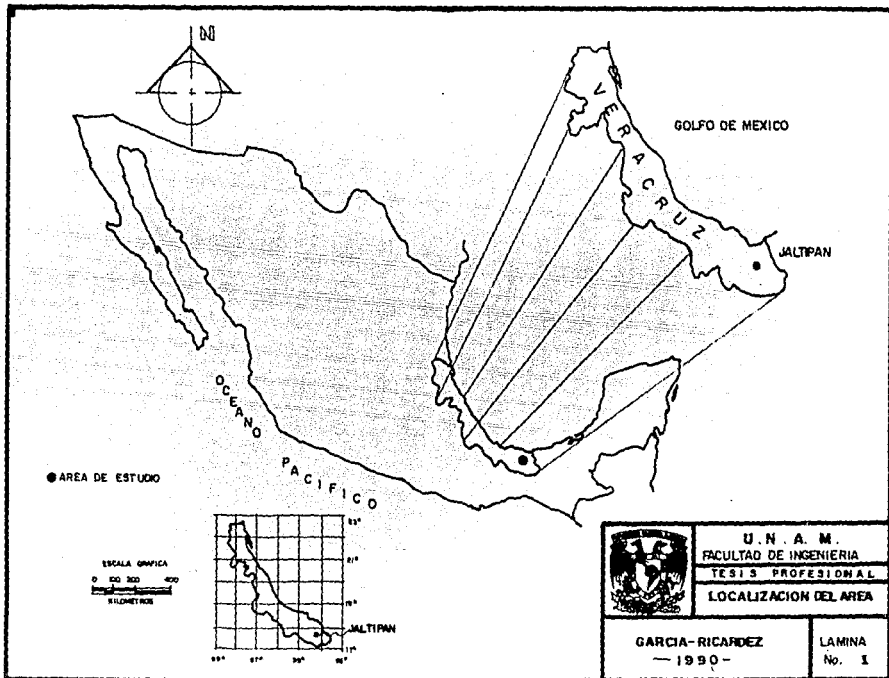
### I.3.- Vías de comunicación.

El área de estudio se encuentra bien comunicada y es accesible todo el año, tanto por los caminos de terracería como por las principales carreteras federales, como son las de Coatzacoalcos-Veracruz y Coatzacoalcos-Salina Cruz (carretera transistmica).

En lo que a transporte aéreo se refiere, a escasos 30 Kilómetros se localiza el aeropuerto de "Cantitas" Minatitlán, con vuelos diarios a la Ciudad de México y Veracruz, en aeronaves de la Compañía Mexicana de Aviación.

El área cuenta además, con estaciones de Ferrocarriles Nacionales de México.

Como puede constatarse las condiciones de las vías de comunicación para el transporte y la exportación de azufre son muy favorables.



#### I.4.- Población y Cultura.

En Jáltipan y sus alrededores, el índice de población se ha incrementado en los últimos años; tiene una población de 85,000 habitantes, cuenta con escuelas primarias, secundarias y preparatorias.

Una de las actividades más importantes que se desarrolla en la zona es la industrial, la cual ha tenido gran auge. Las principales empresas que se encuentran emplazadas en el área son: Azufrera Panamericana, S. A., Harinera de Veracruz, S. A. y Electrometalurgia S. A.

A menor escala se llevan a cabo también actividades agrícolas y ganaderas.

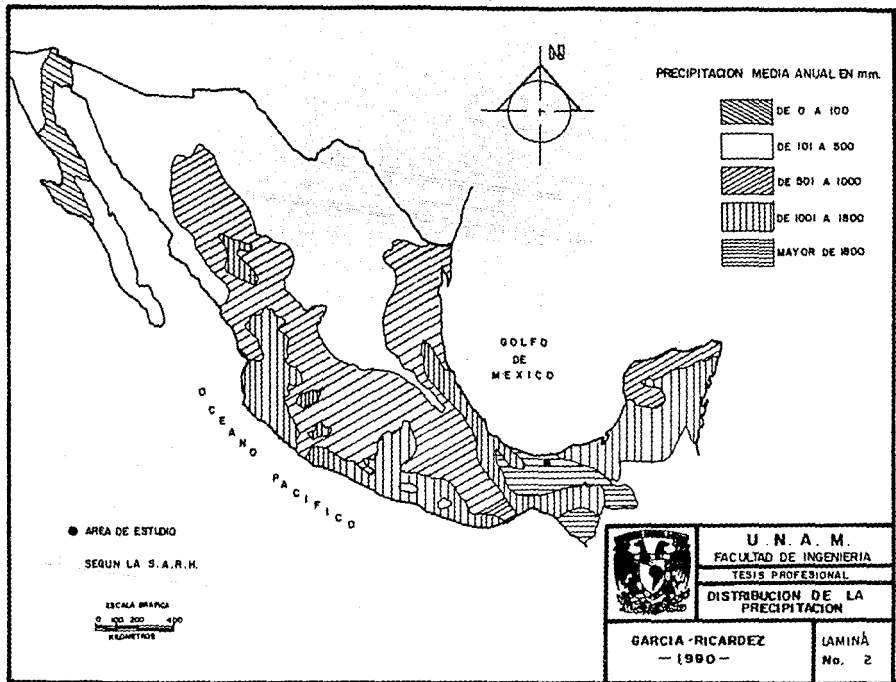
#### I.5.- Clima y Vegetación.

Las grandes precipitaciones que prevalecen en la región, así como el alto grado de humedad y las variaciones de temperatura, determinan un clima de tipo tropical húmedo, con precipitaciones que oscilan entre 1800 y 2500 mm., anuales (Fig. 2). Los vientos dominantes son del norte; las temperaturas son variables, registrándose temperaturas de 15°C como mínima y 44°C como máxima, siendo los meses de abril a junio los más calurosos.

La zona presenta dos temporadas de lluvias, una con precipitaciones menores que dura aproximadamente cuatro meses, de febrero a mayo y la de lluvias que dura los meses restantes de junio a enero.

Durante el invierno, masas de aire frío, provenientes del norte, generan fuertes vientos con precipitación abundante, conocidos como "nortes". Por el contrario, en la época de estiaje predominan los vientos del sureste.

De acuerdo con el clima de tipo tropical, esta zona presenta un tipo de vegetación exuberante, notándose la diferenciación en lo



que respecta a las áreas de terreno sólido y a las áreas pantanosas bajas. En las escasas prominencias topográficas se pueden encontrar algunas variedades de maderas preciosas y en las partes bajas y pantanosas numerosas plantas herbáceas.

Actualmente y por desgracia gran parte de la vegetación ha sido talada.

#### I.6.- Antecedentes Históricos.

El azufre fue conocido por los antiguos pobladores de la India y de China. La propiedad del azufre de quemarse tan fácilmente y despedir un olor muy peculiar, hizo que los antiguos moradores de la región lo usaran en vez de incienso. Dos mil años antes de esta era los egipcios lo utilizaron para decolorar telas; cuatro siglos después lo emplearon para fabricar diversos pigmentos.

Siglos más tarde, los romanos lo consideraron como sustancia farmacéutica, por lo que comenzaron a investigar sus propiedades; siendo utilizado con posterioridad para fines bélicos.

A fines del siglo X, Sicilia producía el 95% de azufre, pero por el alto precio y la producción limitada de este monopolio, se tuvo la necesidad de buscar nuevas fuentes.

En tiempos de la dominación española, el azufre tiene un uso industrial en la fabricación de pólvora con fines bélicos; este azufre era obtenido de las solfataras del volcán Popocatepetl.

En 1823 se dieron las mejores producciones de azufre, siendo los depósitos más importantes los de San Antonio Huaxcamá, S.L.P.; Mapimí, Durango; Tajimara, Michoacán y el de Nieves, Zacatecas.

En 1891 el alemán Herman Frasch, da a conocer un sistema de extracción del azufre, el cual viene a cambiar completamente la situación de la industria azufrera, ya que con este método el

azufre se obtiene en mayores cantidades y a más bajo precio.

A principios del siglo, XX, en México, se explora la zona del Istmo de Tehuantepec con el propósito de localizar yacimientos de hidrocarburos; a partir de esta fecha la Cuenca Salina ha sido objeto de diversos trabajos de exploración, tales como geología superficial, gravimetría, sismología de refracción y reflexión y perforación de pozos.

En 1923 se iniciaron en la Cuenca Salina del Istmo las exploraciones gravimétricas; continuando con exploraciones sismológicas que iniciaron en 1928, comprobándose que el método era adecuado para la investigación de las acumulaciones de sal.

El 15 de Junio de 1942 se entregaron concesiones de 100 Has. en los domos salinos de Jáltipan, Teterete, Potrerillos, San Cristóbal y Soledad. En aquella época la Comisión de Fomento Minero dependía de la entonces Secretaría de Patrimonio Nacional, y tal como sucede actualmente, es una dependencia semi-oficial cuya autonomía es limitada; sólo le permite firmar convenios con empresas particulares, para la explotación minera en el área de reservas nacionales asignadas a su patrimonio.

El 23 de Julio de 1949 se estableció un reglamento sobre concesiones especiales para la exploración y explotación del azufre en formaciones asociadas a domos salinos, en el cual se establecían las siguientes condiciones:

- a).- Un año para exploración geológica y geofísica.
- b).- Dos años para efectuar perforaciones, un pozo cada 10 Has.
- c).- En caso de encontrar azufre, tres años para construir las instalaciones para llevar a cabo la explotación.

Las condiciones b y c se consideraron imposibles de cumplir ya que

requerían una gran inversión. Sin embargo la Comisión de Fomento Minero hizo modificaciones y dió las concesiones para explorar y explotar a cinco compañías, las cuales se mencionan a continuación:

- Azufrera Panamericana, S.A. de C.V.
- Compañía Azufrera de Veracruz, S.A.
- Compañía Exploradora del Istmo, S.A.
- Central Minera, S.A. de C.V.
- Azufera de México, S.R.L. y C.V.

El 24 de Diciembre de 1965 la Comisión de Fomento Minero publicó en su boletín que, dadas las nuevas disposiciones gubernamentales y el alto precio del azufre en el mercado internacional, permitiría negociaciones para llevar a cabo la obtención de nuevas concesiones ante la Secretaría del Patrimonio Nacional; diez compañías obtuvieron la concesión correspondiente:

- Azufrera Olmeca, S.A. de C.V.
- Azufrera Tehuana, S.A. de C.V.
- Azufrera Industrial, S.A. de C.V.
- Azufrera del Sureste, S.A. de C.V.
- Azufrera de Tehuantepec, S.A. de C.V.
- Azufrera Intercontinental, S.A. de C.V.
- Compañía San Noé, S.A. de C.V.
- Minera de Sotavento, S.A. de C.V.
- Unión Minera del Sur, S.A. de C.V.
- Minerales Mexicanos Mayoqui, S.A. de C.V.

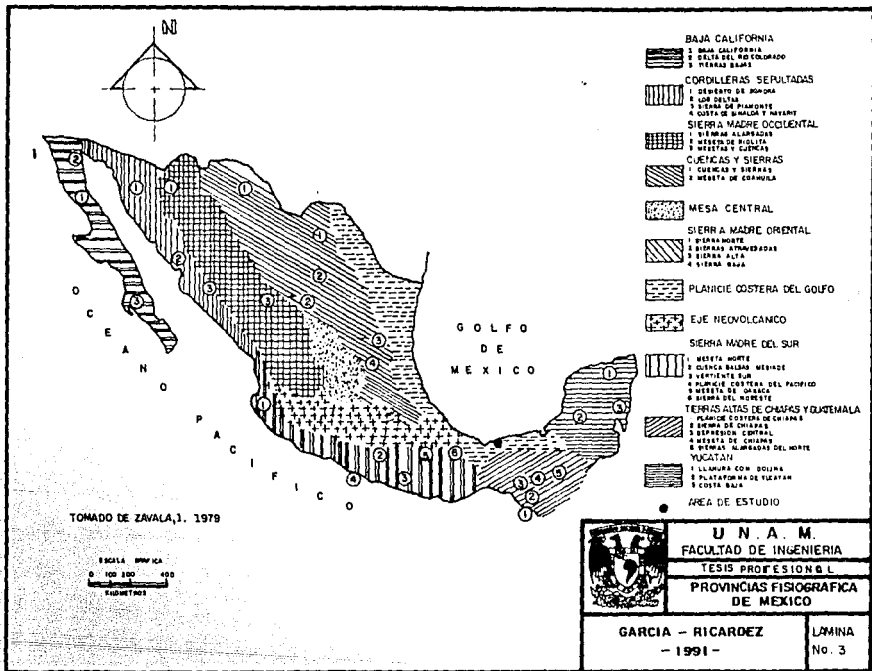
De estas compañías se eliminaron la mayoría por problemas económicos y técnicos, quedando actualmente en operación las siguientes dos compañías:

- A.P.S.A. con unidades localizadas en Jáltipan, Potrerillos, Coahuila y Petapa.

**C.E.D.I. con su única unidad en Texistepec.**



## II. - FISIOGRAFIA.



## II.1.- Provincia Fisiográfica.

El domo Jáltipan se encuentra dentro de la "Cuenca Salina del Istmo", la cual ocupa la parte sur del estado de Veracruz. Los límites fisiográficos de dicha cuenca son: al norte el Golfo de México; el límite sur de la cuenca está representado por la Sierra Madre del Sur y de Chiapas; el límite oriental por la Plataforma de Yucatán; al este por los aparatos volcánicos y derrames basálticos que forman el Macizo de San Andrés (Fig. 3).

De acuerdo con estos límites, la Cuenca Salina del Istmo está situada en su mayor parte dentro de la provincia fisiográfica de la Planicie Costera del Golfo de México (Fig. 4); ésta se extiende desde la margen del río Bravo, donde comienza, hasta la península de Yucatán, se ha dividido en tres grandes subprovincias, tomando en cuenta las diferencias fisiográficas características de cada una de estas regiones:

- Subprovincia del río Bravo.
- Subprovincia de la Huasteca Tampico.
- Subprovincia del Istmo de Tehuantepec.

La cuenca salina forma parte y toma su nombre, por estar enclavada en la parte más extrema al norte de la subprovincia denominada Istmo de Tehuantepec. Esta subprovincia en general, es plana hacia el norte y con algunos lomeríos pequeños; al sur, la costa es baja, como toda la del Golfo. Algunos geólogos opinan que la anchura excepcional de esta costa puede explicarse por la acción de las olas provocadas por los vientos alisios, que soplando directamente dentro de esta curvatura continental, facilitaron la formación de grandes barras y grandes lagunas naturales, donde se verificó posteriormente una amplia sedimentación, ayudada por los deltas de los grandes ríos que ahí desaguaban. Razón por la que esta área es llana y pantanosa.

## II.2. - Geomorfología.

Dentro del área de estudio, no hay existencia de formas topográficas importantes, sólo existen una serie de lomeríos de poca altura dispuestos irregularmente. Las alturas medias son de 40 metros sobre el nivel del mar.

Las elevaciones mayores en la cuenca, se localizan en su parte sur, estando entre las principales: el cerro Pelón, el cerro de Salinas y el cerro Jimbal con una elevación de 600 metros sobre el nivel del mar, mientras que los anteriores no pasan de una elevación mayor a los 150 metros sobre el nivel del mar.

Puede considerarse que la zona de la Cuenca Salina se encuentra actualmente en estado de rejuvenecimiento ya que los domos se encuentran en crecimiento.

## II.3 Hidrografía.

La red hidrográfica en la parte norte de la Cuenca Salina pertenece a la vertiente del Golfo de México. Los principales ríos que la drenan son: el río Tonalá y el río Coatzacoalcos, siendo éste el más importante y caudaloso; ambos desembocan en el Golfo de México (Fig. 4). Por lo regular los ríos y los arroyos mayores son de poca pendiente y fluyen muy lentamente. En la época de lluvias aumentan su caudal llegando inclusive a desbordarse, formando pantanos y lagunas. Los principales afluentes del río Coatzacoalcos son captados en su margen izquierda, desde aguas arriba hacia aguas abajo, el río Jumuapa y el río Mixtlán. En la margen derecha, sus afluentes son el río Uzpanapa y el río

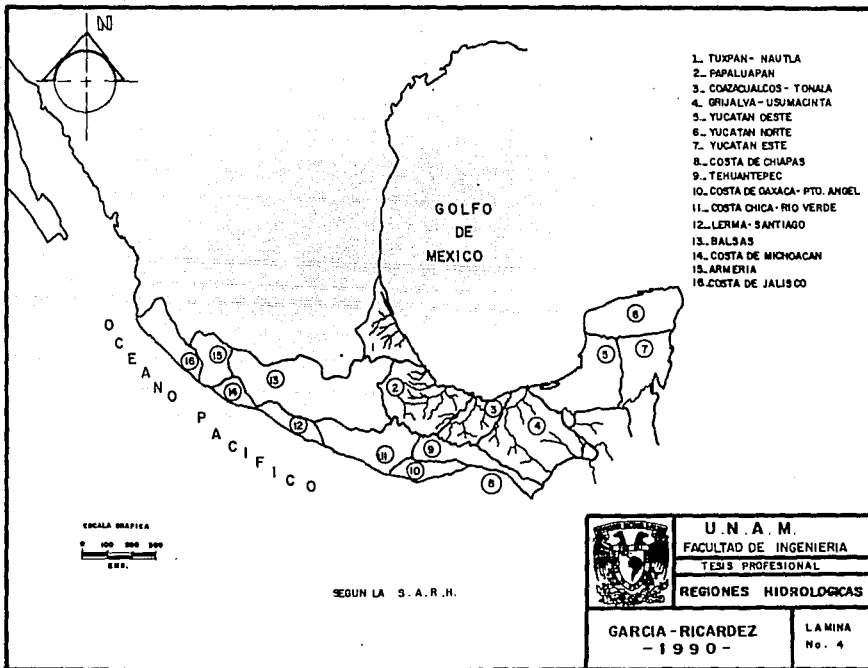
El Distrito de Jáltipan forma parte de la Cuenca Hidrográfica del río Coatzacoalcos, siendo el arroyo más importante el de Usoleapan, que aguas abajo recibe el nombre de Chacalapa el cual es la fuente de abastecimiento de agua de la Azufrera Panamericana, S.A. y junto con el arroyo San Pedro Soteapan se

unen con el arroyo Huazuntlán que desemboca en el río Calzadas; estas corrientes son de régimen permanente y navegables durante todo el año por embarcaciones de poco calado.

Por otra parte en algunos domos se han formado fallas y fracturas por colapso de sus bordes, las cuales han sido aprovechadas por algunas corrientes de agua, originando así algunos arroyos permanentes.

El patrón de drenaje generalmente es dendrítico, no obstante debe considerarse que el drenaje se encuentra controlado por las estructuras salinas.

Cabe hacer notar que algunos de los domos parecen haber sido desgastados por corrientes antecedentes durante su levantamiento.



### III. - GEOLOGIA.

### III.1.-ESTRATIGRAFIA DEL AREA.

Dentro de la Cuenca Salina del Sureste de México han sido reportadas formaciones que varían en edad desde el Jurásico hasta el Terciario, algunas han sido reportadas aflorando mientras otras se han conocido por las perforaciones petroleras realizadas dentro de la Cuenca Salina. A continuación se hace una descripción de las unidades litológicas reportadas en el área de Jáltipan, basada en estudios estratigráficos anteriores. Se anexa además una tabla de correlación estratigráfica entre la parte oeste y este de la cuenca.

#### FORMACIONES NO AFLORANTES.

#### TRIASICO-JURASICO

##### III.1.1.- DEPOSITO SALINO.

Juega un papel muy importante en la Cuenca Salina de México, como principal generador de las estructuras geológicas reportadas y, como indicador de posibles yacimientos de azufre, además de su importancia como causante de entrapamientos de aceite o gas en la zona de estudio y circunvecinas.

Este depósito está representado por una gran masa salina la cual se presenta en forma de manto con proyecciones de apófisis, de sección horizontal ovalada, constituida en su mayor parte por el mineral halita, el cual, presenta una coloración blanca y transparente. En su parte superior se han reportado una serie de residuos insolubles, a los que se les ha asignado un porcentaje correspondiente al 10%, del cual el 9% corresponde a  $\text{CaSO}_4$  (anhidrita), y el restante 1% , lo forman  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrSO}_4$ ,  $\text{MnS}$ ,  $\text{CaCO}_3$  o pirita. En algunas partes ha sido reportada también una brecha roja constituida del mineral carnalita a la cual Enciso de la Vega refiere como brecha carnalítica.

En algunas estructuras suele presentar en su parte superior un



casquete rocoso cuya zonificación se compone, de la parte inferior hacia la parte superior de anhídrita o yeso y caliza, casquete que se considera como creado por procesos bioquímicos a partir de la anhídrita. De este casquete las calizas son las rocas con mayor importancia económica por su estrecha relación con los yacimientos de azufre.

Dentro del cuerpo salino PEMEX ha reportado en Hidalgotitlán, Amexquite y Nopalapa, cuerpos de arcilla dentro de la estructura salina y fracturas rellenas de arcilla; Salas (1967) considera que estas arcillas se depositaron simultáneamente con la sal.

**Distribución y espesor:** El depósito salino se encuentra distribuido en toda la Cuenca Salina, hacia la parte este en el estado de Yucatán los pozos petroleros evidencian un estrangulamiento pasando a un horizonte de anhídrita de menor espesor

De acuerdo a los datos obtenidos de las perforaciones petroleras, en el poblado de La Lajilla cerca de la ribera del río Chiquito, se le considera un espesor conocido de 3500 metros.

**Edad:** Ha habido serias dificultades para asignarle edad a este depósito y sólo se ha llegado a establecer con base en relaciones estratigráficas observadas dentro de la cuenca. La sal se ha encontrado interrelacionada con los lechos rojos de la Formación Todos Santos. En la región de Chinameca Ver., en el domo del mismo nombre se encuentra a la sal subyaciendo a una caliza con ammonitas perteneciente a la Formación Chinameca del Jurásico Superior. En la parte superior de río Playas en el estado de Veracruz los depósitos de lechos rojos asociados al depósito salino se encuentran subyaciendo a la Caliza Chinameca (Benavides 1956).

Con estas razones Deher (1926) le asigna una edad Divesiano-Oxfordiano.

## JURASICO SUPERIOR-CRETACICO INFERIOR.

### III.1.2.- FORMACION CALIZA CHINAMECA.

Fue descrita por Burchkorf en 1930, refiriéndose a unas calizas de color crema que afloran a un kilómetro al este del poblado de Chinameca, Ver., en las localidades de cerro de la Grava y cerro de Cal.

**Litología:** La parte inferior está formada por lechos gruesos, potentes y compactos de una caliza gris oscura a gris crema generalmente, presentando a veces capas lenticulares y bandas delgadas de pedernal negro, material bituminoso y arenos.

Las calizas de la parte superior se presentan generalmente en lechos compactos delgados, bien estratificados, de color gris a gris negruzco. Muchas veces el fracturamiento y la formación de brechas ocasionan variaciones en el aspecto que presentan.

**Distribución y espesor:** Aflora en el cerro de Chinameca y en el río Playas (cerro Felón). También se reportó en los pozos Pedregal, perforados por PEMEX situadas en la parte sur-oriental de la Cuenca Salina.

Su espesor medio se ha considerado entre 300 y 400 metros.

**Relaciones estratigráficas:** Generalmente se le ha encontrado descansando sobre formaciones jurásicas y, algunas otras, debajo de la Formación Méndez del Cretácico Superior, como ocurre en el río Playas.

**Edad:** El Dr. Burchkorf le asigna una edad con base en la fauna reportada, entre Kimmeridgiano y Barremiano. En la actualidad se considera a la parte inferior de la Caliza Chinameca como

perteneciente al Jurásico Superior o a una zona de transición entre Jurásico y Cretácico. Litológicamente es imposible separar las edades y paleontológicamente aún no ha podido hacerse.

Entre los fósiles reportados se pueden mencionar los siguientes: Idioceras, Waagenia, Halobia, Berriasella, Neocomites neocomensis, Crioceras, Caprinas y Asterias.

## CRETACICO.

### III.3.- FORMACION CALIZA SIERRA MADRE.

Bosse (1905) le asignó el rango de formación y toma su nombre del sitio en que afloran en la vertiente del golfo de la Sierra Madre.

**Litología:** Está constituida por calizas cristalinas de color gris y blanco, con abundantes rudistas. Es una caliza bastante compacta, con vetillas de calcita y estratos potentes que en ocasiones sobrepasan a un metro.

**Distribución y espesor:** Esta formación no existe dentro de la Cuenca Salina, posiblemente por falta de depósito, prueba de ello es la discordancia que aparece en las inmediaciones de Cerro Pelón, Veracruz, donde superyaciendo a la Caliza Chinameca se encuentran las lutitas de la Formación Méndez, únicamente se ha reportado en la vertiente norte de la Sierra Madre y en algunas partes de la margen sur y sureste de la cuenca, cerca de la sierra.

El espesor de la Caliza Sierra Madre es difícil de estimar, pero se le ha considerado variando entre 800 y 1500 metros.

**Edad:** Los fósiles encontrados en esta formación, los cuales ayudaron a determinar su edad, son rudistas especialmente radiolites. Razón por la que se le asignó una edad del Cretácico Medio.

#### III.1.4.- FORMACION MENDEZ.

Fue definida por Jeffreys (1912), ubicando su localidad tipo a 300 metros al este de la estación Méndez, sobre la vía del ferrocarril San Luis Potosí- Tampico.

**Litología:** Está formada principalmente por lutitas y areniscas. Las lutitas son de color gris oscuro, quebradizas y bien estratificadas y están alternadas con lechos de areniscas de grano fino, de color gris a pardo.

**Distribución y espesor:** Se encuentra aflorando en las márgenes sur y sureste de la Cuenca Salina; ha sido observada solamente en el área de cerro Pelón, descansando en discordancia erosional sobre la Caliza Chinameca, encontrándose separadas ambas unidades en forma local por una zona de brechas calcáreas de 15 a 20 metros de espesor.

Su espesor ha sido calculado entre los 600 y 900 metros.

**Relaciones estratigráficas:** La Formación Méndez descansa discordantemente sobre la Caliza Chinameca en el área de la cuenca y, subyace en forma concordante al Conglomerado Uzpanapa.

**Edad:** Se la considera una edad de Cretácico Superior debido a su contenido faunístico, donde las principales especies reportadas son:

- Globotruncana arca (Cushman).
- Globotruncana calcarata (Cushman).
- Globotruncana rosetta (Carsey).
- Globotruncana canaliculata (Reuss).
- Globotruncana conica (White).

## TERCIARIO.

### III.1.5.- CONGLOMERADO UZPANAPA.

Gibson (1936) la define por primera vez en la región de Ixtlán (al sur de la Cuenca Salina del Istmo). Más tarde fue redefinida por Benavides (1956), asignándole su localidad tipo en el río Uzpanapa, localizada aproximadamente a 76 Kilómetros al SE de Coatzacoalcos Ver.

**Litología:** Se encuentra constituido por clastos de rocas ígneas de la Sierra Madre y areniscas rojas. Ocasionalmente se presentan calizas. En partes, está formado por un conglomerado compacto con lentes de arenisca, alternando con capas de lutitas y areniscas.

**Distribución y espesor:** Es una formación local, se encuentra en las áreas cercanas al río Uzpanapa y Chalchijapa al sur de la cuenca, también ha sido reportada en Ranchoapan Ver., al poniente de Hidalgotitlán y en la región de Tigres-Changos, al noreste de Carro Pelón.

Su espesor es relativamente delgado, aproximadamente entre 180 y 200 metros.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace en forma concordante a la Formación Méndez y subyace a las lutitas Nanchital.

**Edad:** Por su contenido faunístico de foraminíferos del Eoceno Inferior se le asignó esta misma edad. Sus fósiles típicos son los siguientes.

- Globorotalia aff. lehneri (Cushman y Jarvis).
- Hantkenina mexicana (Cushman)
- Hantkenina mexicana Var. aragonensis (Cushman)
- Globigerina pseudobulloides (Plummer).

### III.6.- LUTITAS NANCHITAL.

Castillo Tejero (1955) las define en el cerro de Nanchital y comenta que sus características litológicas y contenido faunístico permiten diferenciarla de las formaciones supra o subyacentes.

**Litología:** En su mayor parte está formada de lutitas poco arenosas, alternadas en su parte inferior con bandas de areniscas de grano fino. Su color varía de pardo a gris verdoso y generalmente son plásticas. Los colores son más oscuros en la parte superior y la dureza es mayor, presentando bandas de arenisca bastante espaciadas.

La parte inferior contiene areniscas arcóscicas en bandas que varían entre 10 y 30 cms. de espesor. Los conglomerados son conocidos únicamente como material suelto (remanentes de erosión). En las arenas se han encontrado concreciones calcáreas y en las lutitas restos de plantas fósiles.

**Distribución y espesor:** Se encuentra aflorando en el río Playas en el área comprendida entre el arroyo del Cedro y el río Nanchital.

También ha sido reportada aflorando en el cerro Nanchital y en cerro Pelón.

El espesor es muy variable, ha sido considerado entre 300 a 1000 metros.

**Relaciones estratigráficas:** Las lutitas Nanchital sobreyacen concordantemente a el Conglomerado Uzpanapa y subyacen también en forma concordante a la Formación La Laja.

**Edad:** La microfauna de esta formación es abundante, las formas típicas reportadas son:

- Hantkenina brevispina (Cushman).
- Hantkenina alabamensis (Cushman).

- *Bulimina jacksonensis* (Cushman).
- *Goloboratalia cerroazulensis* (Cole).
- *Anomalina dorri* (Cole).

Razón por la cual Castillo Tejero le asigna una edad del Eoceno Superior.

#### OLIGOCENO.

##### III.1.7.- FORMACION LA LAJA.

Gibson (1936) la describe por primera vez en la región de la Cuenca Salina y la divide en dos series: La Laja y Depósito. Castillo Tejero (1955) la eleva a rango de formación y la divide en la Laja Inferior y Superior, asignándole su localidad tipo sobre el río Uzpanapa, a unos 60 Kilómetros al SSE de Coatzacoalcos, Ver.

**Litología:** Consta esencialmente de lutitas grises, azulosas, verdosas y negruscas, generalmente duras, quebradizas y muy bien estratificadas, alternando con capas de areniscas no consolidadas y areniscas duras calcáreas. En ocasiones, contiene tobas en lechos junto con areniscas, así como lentes y bloques de calizas coralinas.

La Laja Superior consta principalmente de areniscas y tobas. El mejor criterio para la determinación de La Laja Superior es la ausencia completa de fauna del Depósito y la aparición de fauna no característica de La Laja Inferior.

**Distribución y espesor:** Tiene amplia distribución geográfica, se extiende desde el norte de la cuenca de Veracruz (oriente de Jalapa) hasta la región del Istmo (SE de Veracruz). Su espesor aproximado es de 1400 metros.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace concordantemente a las

Lutitas Nanchital y subyace a la Formación Depósito, se correlaciona hacia el este de la cuenca, en el estado de Tabasco, con las Lutitas Misopa.

Edad: Se le ha asignado una edad de Oligoceno Inferior a Medio, determinada por su contenido faunístico, los fósiles reportados son:

- *Ammodiscus incertus* (d'Orbigny).
- *Nodosarella subnodosa* (Guppy).
- *Nodosaria schlichti* (Reuss).
- *Globigerina bulloides* (d'Orbigny).
- *Alveolophagmoides aff. subglobosum* (Sars).
- *Pleurostomella alternans* (Schwager).

#### FORMACIONES AFLORANTES.

##### III.1.8.- FORMACION DEPOSITO.

Fue descrita por Benavides en 1956, y su localidad tipo se localiza en el río Uzpanapa a unos 60 kilómetros, al SE de Coatzacoalcos, Ver.

**Litología:** Esta formación se encuentra representada por lutitas de color gris a gris azulado, ligeramente arenosa, con buena estratificación y con intercalaciones de ceniza volcánica, cuyos espesores varían entre 30 cm. a 5 m.

**Distribución y espesor:** La Formación Depósito ha sido reconocida como la formación más antigua aflorante en el área de Jáltipan, Ver., se ha reportado también en las regiones de Acayucan y Achotal, Ver., y en las perforaciones petroleras realizadas en el distrito de Agua Dulce, Ver.

Se le considera un espesor máximo de 1000 metros, aunque en realidad su espesor es variable, ya que en los flancos de los domos algunas perforaciones han reportado espesores de 100 a 200



metros y en la parte central de la cuenca se reduce considerablemente.

**Relaciones estratigráficas:** Se encuentra sobreyaciendo concordantemente a la Formación La Laja con la que presenta demasiada semejanza litológica y, subyace, a la Formación Encanto.

Hacia el este de la Cuenca Salina la Formación Depósito sufre un cambio de facies, correlacionandose con la Caliza Macuspana.

**Edad:** Benavides (op. cit.) le asigna una edad del Oligoceno Superior con base en los fósiles reportados, los cuales son mencionados a continuación:

- Rectuvigerina aff. striata (Schwager).
- Rectuvigerina aff. basispinata (Cushman y Jarvis)
- Gyroidina cf. leavis (d'Orbigny).
- Siphonina aff. tenuicarinata (Cushman).
- Cibicides pseudogerianus (Cushman).

## MIOCENO.

### III.1.9.- FORMACION ENCANTO.

Fue descrita por primera vez en 1936 por Gibson B. Juan y su localidad tipo se localiza a 20 kilómetros al sureste de la Cd. de Minatitlán, Ver., en la cima del anticlinal Encanto.

**Litología:** Está constituida 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 encuentran dentro de esta formación algunos conglomerados. En otras se presenta como una serie de estratos constituidos por arena de grano grueso a fino parcialmente cementada, ligeramente arcillosa de color gris azulado a gris claro que con frecuencia contiene granos y cristales de ortoclasa, además de los de cuarzo. Cuando la cementación es completa se

encuentran capas de arenisca compacta de color gris azulado cuando están húmedas, que varían en espesor entre 10 cm y 1 m. Estas areniscas están interestratificadas con capas arcillosas duras, de fractura concoidea, de 5 a 30 cm., de espesor.

**Relaciones estratigráficas:** La Formación Encanto sobryace concordantemente a la Formación Depósito y subyace también de manera concordante a la Formación Concepción Inferior. La Formación Encanto es de gran importancia económica en la parte oeste de la cuenca, como roca almacenadora de hidrocarburos.

**Distribución y espesor:** Tiene una amplia distribución geográfica hacia la parte oeste de la cuenca, pero hacia la parte este aparecen una serie de lutitas con menor contenido de arenas conocidas como Formación Amate Inferior.

Aflora también en la porción media de la Cuenca Salina del Istmo, al oriente de Romero Rubio, Soledad, parte media del río Coachapa, Moloacán, Minatitlán, Sayula y San Andrés Tuxtla Ver.

Su espesor varía según la localidad donde se mida y puede estimarse entre 500 y 800 m, en promedio. En alguno de los pozos perforados sobre los domos salinos se han reportado espesores reducidos, lo cual queda explicado al efecto intrusivo de la sal.

**Edad:** Debido a la microfauna reportada dentro de esta formación, se le ha asignado una edad del Mioceno Inferior. Entre sus fósiles más característicos se encuentran:

- Hopkinsina notaipsida (Finlay).
- Muigerina canariensis Var.
- Encantonesis-Hopkinsina (Finlay).
- Boliviana marginata (Cushman).
- Boliviana cuadrilátera (Schwagwer).

### III.1.10.- FORMACION CONCEPCION INFERIOR.

Fue descrita por vez primera por Gibson B. Juan (1936), en el área no muy accesible de Concepción (localidad tipo), de donde toma su nombre, sobre el margen derecho del río Uzpanapa, sobre el arroyo Bolanco en el cruce de la carretera Nanchital-Moloacán.

**Litología:** Se encuentra constituida principalmente por lutitas bien consolidadas, de color gris, azul claro y azul oscuro, micáceas, generalmente muy fosilíferas, dentro de las cuales, los géneros más abundantes son gasterópodos y pelecípodos, asociados con una gran variedad de foraminíferos. Su parte superior es arenosa y semejante a la Concepción Superior basal, pero su contenido de arena disminuye desde la parte de este contacto hacia la base, donde las lutitas son casi puras y muy micáceas. En algunas partes presenta fracturas rellenas de yeso y en otras partes se encuentra intemperizada.

**Distribución y espesor:** Tiene amplia distribución en la parte este y sureste de la cuenca, ha sido reportada en las áreas de Jáltipan, Filisola, Minatitlán, Chinameca, Coachapa, Ixhuatlán, Juile, Moralar y Sayula.

Su espesor es variable, en afloramientos superficiales entre 200 y 400 m., según la localidad que se considere.

**Relaciones estratigráficas:** En cuanto a sus relaciones estratigráficas su contacto inferior y superior se encuentran bien definidos tanto por su contenido faunístico como por su litología; son concordantes con las Formaciones Encanto y Concepción Superior respectivamente. Es correlacionable hacia la parte oriental de la cuenca con la parte basal de la Formación Amate Superior.

**Edad:** Debido a su contenido faunístico se le ha asignado una edad del Mioceno Inferior. Entre sus formas típicas se encuentran las siguientes:

- Marginulina marginulinoide (Gees).
- Cibidis Floridanus (Cushman).
- Boliviana noviles (Hantken).
- Boliviana plicatella (Cushman).

### III.1.11.- FORMACION CONCEPCION SUPERIOR.

Gibson B. Juan (1936) la describe por primera vez, asignándole la misma localidad tipo que la asignada a la Concepción Inferior.

**Litología:** Se encuentra constituida principalmente de lutitas arenosas de color azul grisáceo, compactas, en las cuales los planos de estratificación no existen o están muy mal definidos; presenta en ocasiones concreciones de arenisca de color pardo y amarillento, cementadas con material calcáreo. En ocasiones presenta bancos de arenas arcillosas bien consolidadas, mal estratificadas y con concreciones tabulares o lenticulares de arenisca azul.

**Distribución y espesor:** Geográficamente tiene amplia distribución, ha sido reportada en las regiones de Jáltipan, Filisola, Minatitlán, Chinameca, Achotal, Soconusco, Acayucan y Romero Rubio.

La potencia de la formación es variable, siendo su promedio de espesor 250 metros.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace concordantemente a la Formación Concepción Inferior y subyace también en forma concordante a la Formación Filisola, es correlacionable con la Formación Amate Superior, la cual se presenta en la parte oriente de la cuenca y son considerados de gran importancia económica como almacenadoras de hidrocarburos.

**Edad:** Los fósiles característicos observados en esta formación son los siguientes:

- *Robulus rotalatus* (Lamarck).
- *Cibicidid filisolaensis* (Nuttal).
- *Boliviana subaenariensis* var. *Mexicana* (Cushman)

Con los cuales se le ha asignado una edad del Mioceno inferior.

Cabe agregar que un criterio micropaleontológico para identificar esta formación y diferenciarla de la Filisola es la abundancia relativa de fragmentos micáceos que existen en la Formación Filisola.

### III.1.12.- FORMACION FILISOLA.

Fue definida por primera vez por Gibson Juan B. en 1936, en la región de Filisola, publicándola con el nombre de series.

Benavides en 1956 la elevó a rango de formación, y la describe en el área de Cabritos-Tecuanapa (región del río Uzpanapa) donde hace diferente a la Formación Filisola de la Formación Concepción Superior.

**Litología:** Su parte superior consta de arcillas arenosas de color rojo, que cuando intemperizan se vuelven rojizas o de color ladrillo. Debajo de estos lechos se encuentran arenas cuarcíferas de matriz azul grisácea a café con cuarzo lechoso abundante y fragmentos fosilíferos alternados con lechos de areniscas blandas de grano medio, ligeramente micáceos de color gris a café, que no contienen microfósiles.

Debajo de estos lechos se encuentran otros de areniscas de grano medio, duras a suaves micáceas, que varían en color de café en la superficie a gris azulado en la parte inferior.

El fondo de la formación está formado por lechos compactos de color gris, alternando con lechos arcillosos café grisáceos, con algo de mica y lechos de arenisca. En su parte inferior es común encontrar concreciones lenticulares, las cuales marcan la

transición entre esta formación y la Concepción Superior.

**Distribución y espesor:** Geográficamente se encuentra distribuida en la porción central y sur de la Cuenca Salina del Istmo. Y se ha reportado aflorando al oriente de Romero Rubio, Coupacan, Cabritos-Tecuanapa e Ixhuatlán al SE de Coatzacoalcos Ver.

**Relaciones estratigráficas:** Se encuentra sobreyaciendo concordantemente a la Formación Concepción Superior y, en el Domo de Jáltipan subyace discordantemente a los depósitos recientes. Hacia la parte este de la cuenca se correlaciona con las Formaciones Encajonada y Zarzagal.

**Edad:** Debido a su contenido faunístico se le ha asignado una edad de Mioceno Medio; sus fósiles característicos son: *Ustrea* sp., *Mactra*, *Solarium*, *Pleurotomia*.

### III.1.13.- FORMACION PARAJE SOLO.

Definida por primera ocasión por S.W. Lesnial en la región de Paraje Solo, municipio de Moloacan, Ver., de donde toma su nombre.

**Litología:** En la localidad de donde toma su nombre, pueden distinguirse dos partes, una superior formada por areniscas de grano grueso a fino, de color gris a gris parduzco, interestratificadas con arcillas de color gris azulado más o menos carbonáceas. Aquí se encuentran lechos de lignita de más de 50 centímetros de espesor en ocasiones y conteniendo hojas fósiles y restos de vegetales carbonizados. A esta parte superior se le llamó "Series Ligníticas" de Paraje Solo.

En la parte inferior de la Serie Lignítica existen lechos fosilíferos con gasterópodos y pelécipodos y gran cantidad de ceniza volcánica.

La parte inferior del Paraje Solo la constituyen areniscas

compactas de grano grueso, grises y gris parduzcas, interestratificadas con arcillas. Enseguida un lecho fosilífero y después areniscas de grano grueso, laminadas con arcilla y material lignítico.

**Distribución y espesor:** Está abundantemente distribuida en la parte norte de la Cuenca Salina del Istmo y aflora en la parte oriente del río Coatzacoalcos en la región de Paraje Solo, Acapulapa, Moloacan, Ixhuatlán, Gavilán, Punta Gorda y otros lugares de la zona costera. La potencia de la formación es variable; su promedio es de 800 metros.

**Relaciones estratigráficas:** Se le encuentra generalmente descansando sobre las series del Filisola o, del Concepción Superior. Sobrepuesta a ella y discordante en partes, se encuentra la formación Agueguexquite.

**Edad:** Debido a su fauna reportada se le considera como perteneciente a la parte superior del Mioceno Medio y de aguas someras. Los fósiles reportados son los siguientes:

- Ostrea, Andara Arca, Corbula, Pecten.
- Melania, Turritella, Drilla, Nerita, Anachis.

#### III.1.14.- FORMACION AGUEGUEXQUITE.

Gibson (1935) la estudia por primera vez aunque no hace una descripción de ella, asociandola con la Formación Paraje Solo. Castillo Tejero (1955) la describe ampliamente aunque su localidad tipo no queda totalmente definida, la refiere junto con la Formación Paraje Solo.

**Litología:** Consiste en su parte alta de arcillas ligníticas, de color azul grisáceo, algunas veces tobáceas, con moldes de fósiles. Descansan sobre lechos de arcillas arenosas con areniscas blandas fosilíferas, tobáceas y con lechos ligníticos delgados en

cantidades subordinadas a las arcillas.

En la parte media consiste de areniscas compactas de grano fino a medio, de color gris parduzco a gris azulado, ligeramente fosilíferas y en ocasiones con concreciones calcáreas. Algunas veces se presentan arenas y arcillas interestratificadas.

La parte inferior está formada de areniscas fosilíferas, suaves, de color café, arcillas muy arenosas bien laminadas y arenas amarillentas con bandas de arcillas arenosas. Algunas ocasiones, en la parte inferior, se encuentra un conglomerado con abundancia de macrofósiles.

Distribución y espesor: Su distribución es restringida, aflora en una franja de unos 28 Kilómetros de largo por 18 de ancho en la porción más amplia en la parte norte de la Cuenca Salina en la región de Coatzacoalcos, Ver.

La potencia de esta formación es variable, entre 400 y 500 metros.

Relaciones estratigráficas: Algunas veces se localiza en discontinuidad con la Formación Paraje Solo y algunas otras descansando concordantemente. El contacto con la Formación Cedral es concordante.

Edad: Debido a la presencia de *Anadara Strebla* (Gardner) considerada como especie índice se le asigna una edad de Mioceno Superior. Además se han reportado los siguientes foraminíferos:

- *Planulina depressa* (d'Orbigny).
- *Pavonina flabelliformis* (d'Orbigny).
- *Cassidulina Subglubosa* var *subcalifornica* Duroger.
- *Discorbis floridensis* (Cushman).
- *Siphogenerina raphanus* (Parker y Jones).



### III.1.15.- FORMACION CEDRAL.

Fue estudiada inicialmente por Gibson Juan B. en 1936, aunque no hace una descripción de ella si la marca en la tabla estratigráfica de su informe fijándole una edad de Mioceno Superior. Castillo Tejero (1955) la describe ampliamente sin asignarle localidad tipo.

**Litología:** Consiste de arenas, arcillas y conglomerados. Su parte superior está constituida por cuerpos arcillosos alternados con arenas, que algunas veces presenta lechos de gravas de color gris y verde azulado con lechos de arcillas y lignita de color café. Su parte inferior está formada de una serie de arenas con lechos de gravas de estratificación pobre.

**Distribución y espesor:** Su distribución es restringida, aflora únicamente al SE de Coatzacoalcos, Ver. Se ha reportado también en la parte central norte de la Cuenca Salina del Istmo, entre los campos petroleros Acalapa y el Plan Ver.

Su espesor es considerado variable, entre 400 y 500 metros.

**Edad:** Debido a los fósiles reportados y a su posición estratigráfica se le ha asignado una edad de Mioceno Superior.

Entre los fósiles reportados se encuentran: *Rotalia*, *Becarrri Linne*, *Elphidium sp.*

## PLIOCENO

### III.1.16.- SERIE ACALAPA.

Se encuentra aflorando en la región de Acalapa, a 25 Km., al sureste de Coatzacoalcos, Ver., de donde toma su nombre y en donde forma algunas prominencias como son los cerros de Acalapa, Agata y Xoteapa.

**Litología:** Está representada por areniscas, arenas y arcillas de color gris a verde azulado con restos de plantas y lignitas y por un cuerpo de conglomerado que es el miembro estratigráfico más notable. El conglomerado está constituido por fragmentos de roca granítica que recibe el nombre local de serie conglomerado Acalapa.

Su espesor conocido es de 150 metros.

**Edad:** Se le ha supuesto una edad del Plioceno por encontrarse sobreyaciendo a la Formación Cedral.

### III.1.17. - DEPOSITOS RECIENTES.

Estos depósitos fueron definidos por Castillo Tejero en 1951, como sedimentos variables, los cuales se constituyen de clásticos de grano fino hasta gravas con aspecto estratificado. En ocasiones se presentan como arcillas de color gris azulado, las cuales presentan a veces bolsas de arena dentro de los cuerpos arcillosos, otras veces se presentan como arenas de grano grueso mezclados con grava.

Los depósitos recientes cubren una gran parte del territorio norte y suroeste de la Cuenca Salina del Istmo, presentando un espesor variable, el cual en ocasiones es mayor a los 200 metros.

En el área de estudio estos depósitos son reconocidos como arenas de grano grueso o gravas de color amarillento o rojizo, los cuales tienen un espesor que varía entre 2 a 40 metros.

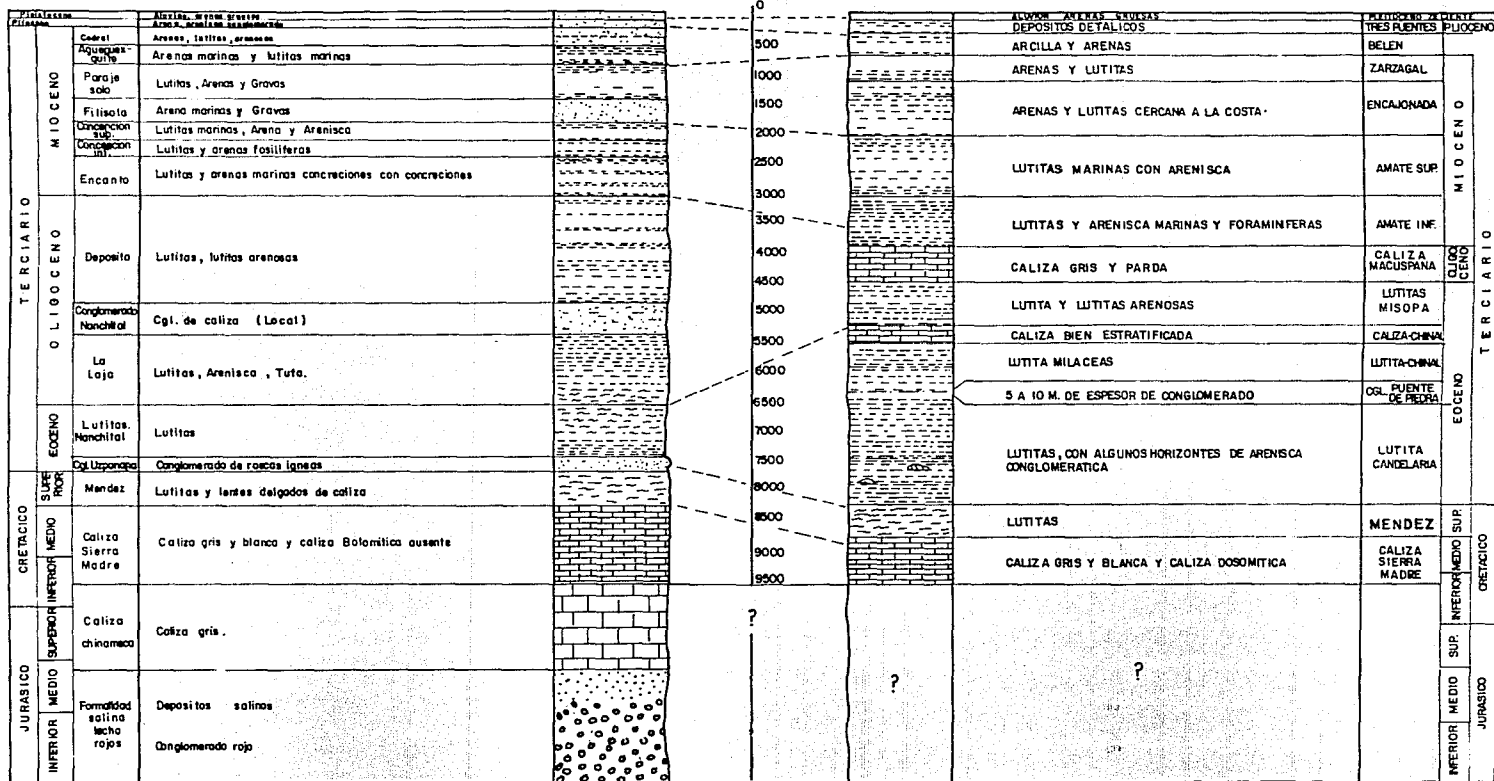
En general estos depósitos no presentan estratificación concordante con los sedimentos más antiguos.

# TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA SALINA

SALAS 1979

PORCION W DE LA CUENCA SALINA (ISTMO)

PORCION E DE LA CUENCA SALINA (TABASCO)



### III.2.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Aunque toda el área de la Cuenca Salina del Istmo ha sido cubierta en detalle por estudios geológicos y geofísicos que incluyan gravimetría, magnetometría, sismología de refracción y reflexión y más de 2000 perforaciones, no ha sido suficiente para tener un buen conocimiento de ella. Sin embargo, estos trabajos han servido para conocer en detalle algunas estructuras, además de mostrar ciertas relaciones estructurales de gran importancia.

Estos estudios demostraron que la sal se presenta a menor profundidad hacia la parte oeste y suroeste de la Cuenca Salina en el estado de Veracruz y a mayor profundidad hacia su parte norte y noroeste en Tabasco.

Hacia la parte oeste de la Cuenca Salina en Veracruz se ha observado que las estructuras salinas muestran una alineación rítmica en la dirección NE-SW con espaciamientos de 10 a 12 Kilómetros (Salas 1967). Estas alineaciones se encuentran representados por las estructuras: Chinameca-Jáltipan-Almagres; la Cienega-Tancamichapa-Encantada, otra alineación se forma desde Pajaritos hasta Tuzandepetl, con las estructuras: Soledad-San Cristóbal-Manatí (ver. PLANO APSA2).

Han sido reportadas también en la Cuenca Salina, estructuras con una dirección NW-SE y estructuras con dirección intermedia (Contreras 1958). Haciendo la aclaración que estas estructuras se reportan hacia el borde este de la cuenca.

El desarrollo de estas alineamientos en las estructuras salinas está asociado a la revolución Laramide de principios del Terciario la cual provoca plegamientos y fallas transversales dentro y fuera de la Cuenca Salina, los esfuerzos de este evento fueron transmitidos a los sedimentos anteriores al terciario y posteriores al depósito salino que sirvió como base lubricante para las rocas

suprayacentes.

La sal pudo migrar posteriormente hacia las zonas anticlinales formando las alineaciones NE-SW y hacia las fallas transversales formando las alineaciones NW-SE y N-S reportados en la región.

En las estructuras salinas de esta área se encontraron diferencias en las características del patrón de fallamiento; en algunas se observan fallamiento radial y transversal muy similar a los domos de Texas y Louisiana, otros muestran una tendencia paralela al eje de las estructuras salinas NE-SW. Estos fallamientos sólo han sido reconocidos en el subsuelo por medio milonitas y relices planchados en los núcleos obtenidos de las perforaciones realizadas dentro del casquete. Aunque han querido ser interpretados de la mejor manera posible los saltos de estas fallas, los resultados no son confiables dado que el casquete no presenta características litológicas uniformes, por tal motivo sólo se realizó un plano que muestra la localización de los pozos en los cuales se reportaron relices planchados y milonitas dentro del Domo de Jáltipan, en el cual es posible observar los alineamientos en dirección NE-SW de estas fallas (PLANU APSA 1).

Se considera que la presencia de los fallamientos en los bordes de los domos se debe a las razones siguientes.

1).- Disminución del volumen de la sal al disolverse, por la acción de las aguas que se infiltran hacia el domo, mismas que provocaron concentración de los residuos insolubles. Esto provocó colapsos locales en la cubierta sedimentaria.

2).- El diapirismo de la sal que, aunque aprovecha zonas de debilidad de las rocas suprayacentes, genera en su borde inferior una zona de adelgazamiento (surco periférico) del manto salino, provocando que los bordes suprayacentes a esta zona se colapsen hacia ella formando de esta manera el fallamiento. Además la

fuerza de empuje producida por el movimiento ascendente de sal que comprime a las capas sedimentarias suprayacentes llegando inclusive en ocasiones a fracturarlas.

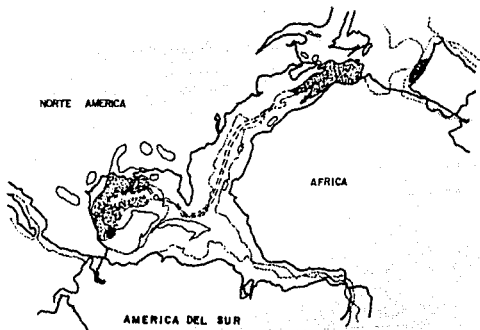
### III.3.- GEOLOGIA HISTORICA.

La reconstrucción de los eventos geológicos ocurridos en la Cuenca Salina del Istmo, comprende una parte esencial de este trabajo. Es importante subrayar que cuando se hacen reconstrucciones paleogeográficas en lugares donde la información fue obtenida por estudios geofísicos y muestras de canal, quedan muchas dudas por resolver. Sin embargo, se tratará de estructurar una interpretación clara y sencilla a la evolución geológica de esta zona, aclarando que esta interpretación se hizo con base en trabajos anteriores.

El Golfo de México es considerado originado por medio de un rift en el Jurásico. Durante la parte inferior del Jurásico Superior la sal es depositada en un rift central, esto se demuestra con los estudios realizados sobre las costas de Texas-Louisiana, E.E.U.U. y Campeche, Mex., en las cuales se localizaron depósitos salinos con características estratigráficas similares, lo cual sugiere que estos fueron depositados en una misma cuenca cerrada y posteriormente separados por la generación de nueva corteza oceánica en la parte central del Golfo.

Imlay (1943) señala que a principios del Jurásico Temprano las aguas marinas penetran en la región de Veracruz. En este episodio la región de la Cuenca Salina, que se encontraba como tierra alta, comienza a ser transgredida por el mar; debido a la existencia de alguna barra o macizo que no permitía la comunicación directa de la cuenca en proceso de formación con el mar abierto y, además, el clima intensamente árido, con pocas precipitaciones, hizo posible la depositación de grandes cantidades de sales en un rift central, semejante al actual Mar Rojo (Humphris 1979) (Fig. 6).

Para finales de Jurásico desaparece la barra o macizo que controlaba el flujo de agua salada hacia la cuenca, el mar avanza más hacia el sur hasta alcanzar la margen norte del actual Macizo



NORTE AMERICA

AFRICA

AMERICA DEL SUR

**CROQUIS**

JURASICO MEDIO A TARDIO

● AREA DE ESTUDIO



AREAS DE DISPAROS DE SAL (Excepción del escorpe de SIO SBEE)



**U. N. A. M.**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL

ZONA DE DIAPIROS

GARCIA - RICARDEZ  
-1990-

LAMNA  
No 6



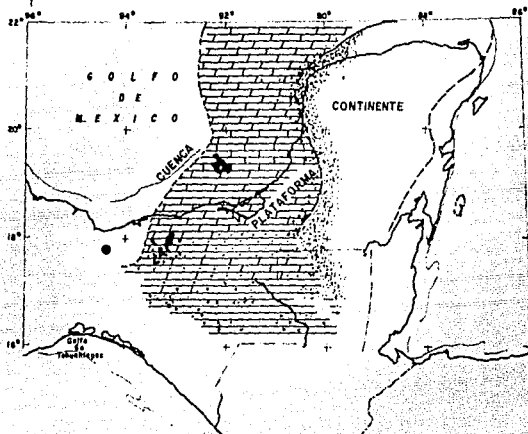
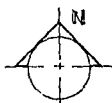
de Chiapas (Benavides 1956), depositando sedimentos de plataforma somera de la Formación Chinameca (Fig. 7), persistiendo estas condiciones hasta el Cretácico Temprano.

Benavides (1956) considera que el área que actualmente ocupa la Cuenca Salina estuvo emergida durante el Cretácico Medio, basándose en que la Caliza Sierra Madre no ha sido reportada en la Cuenca Salina, además en cerro Pelón, Veracruz, se ha encontrado sobroyaciendo a la Caliza Chinameca (Jur. Sup.-Cret. Inf.), a las lutitas de la Formación Méndez (Cret. Sup.), discordancia que se encuentra marcada por una brecha calcárea basal

Durante el Cretácico Tardío principios del Terciario la región que ocupa la Cuenca Salina sufre un hundimiento general con un rejuvenecimiento de las tierras hacia el sur (Macizo de Chiapas), que permite el acarreo hacia la cuenca de abundantes materiales clásticos. Se depositan lutitas y areniscas; la sal continúa expandiéndose por la formación de nueva corteza oceánica; la carga de los sedimentos pudo provocar los primeros movimientos en la sal pero sin generar diapiros (Humphris 1979). Al finalizar el cretácico se había establecido en la zona una cuenca bien definida (Fig. 8 y 9) y un geosinclinal en todo el frente de la sierra, por lo que hoy es la parte media de la llanura costera de Veracruz, la parte sur del estado de Tabasco y toda la parte media de Chiapas, extendiéndose hacia Guatemala y Belice.

A principios del Terciario por la influencia de la Orogénia Laramídica, se produce el movimiento sinistral del Macizo de Chiapas hacia el norte, además del plegamiento de las rocas anteriores al Terciario Inferior, pero sin alterar en gran medida el desarrollo de las estructuras salinas, ya que sus esfuerzos tangenciales fueron transmitidos a la masa salina a través de sedimentos incompetentes posteriores a ella.

Los mares terciarios debieron ser más profundos, acumulándose en



Bosquejo Paleogeográfico y de litofacies del Jurásico Kimmeridgiense.

MENESES 1981



DEPOSITOS DE PLATAFORMA



DEPOSITOS LITORALES



AREA DE ESTUDIO

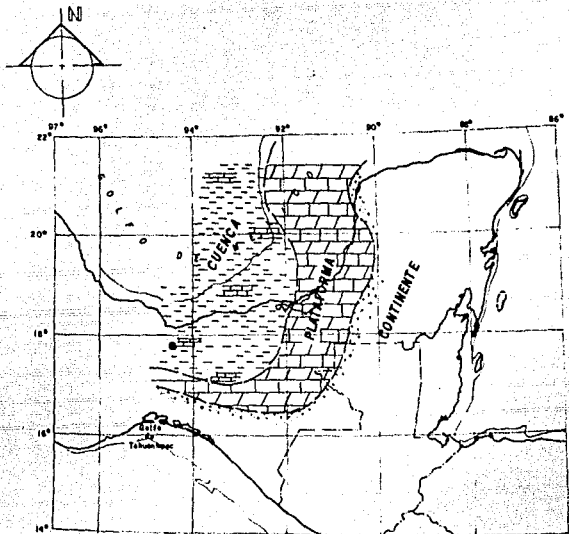
0 20 40 60 80 100  
Kilómetros







U. N. A. M.  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL  
PALEOGEOGRAFIA DEL  
SURESTE DE MEXICO

GARCÍA - RICARDEZ  
-1990-

LAMINA  
No 7



Bosquejo Paleogeográfico y de litofacies del Jurásico Tithoniano.

-  SEDIMENTOS DE CUENCA
-  SEDIMENTOS DE PLATAFORMA
-  SEDIMENTOS LITORALES
-  AREA DE ESTUDIO

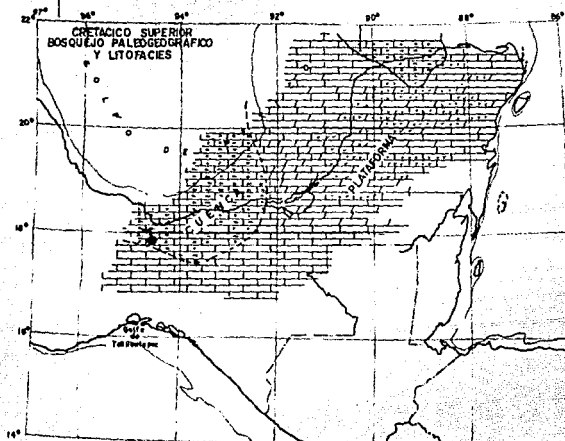
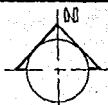
0 200  
KMS



**U. N. A. M.**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
 TESIS PROFESIONAL  
**PALEOGEOGRAFIA DEL**  
**SURESTE DE MEXICO**

GARCIA - RICARDEZ  
 -1990-

LAMINA  
 No 8



Bosquejo Paleogeografico y litofacies del Cretacico Superior



SEDIMENTOS DE CUENCA



SEDIMENTOS DE PLATAFORMA.



AREA DE ESTUDIO

0 20 40 60 80 100  
Kilometros



U. N. A. M.  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL  
PALEOGEOGRAFIA DEL  
SURESTE DE MEXICO

GARCIA-RICARDEZ  
- 1990 -

LAMINA  
No. 9

ellos grandes cantidades de sedimentos, provocando que el aumento de la carga que esta acumulación representa, reactive el movimiento de la sal. La cual se movió hacia las zonas de anticlinales y fallas transversales para así formar las alineaciones de estructuras salinas reportadas en el área.

El mar del Eoceno debió haber sido más extenso pues cubre parcialmente las calizas del Cretácico por encima del macizo de Chiapas, depositándose casi sin discontinuidad las series del Paleoceno y Eoceno.

El Conglomerado Uzpanapa (de carácter local) puede ser considerado como resultado de levantamientos locales de origen ígneo en las partes marginales de la cuenca.

Para el Oligoceno las condiciones que prevalecen en la cuenca son de sumersión, depositándose la Formación La Laja; continuando el movimiento ascendente de los domos. Aunque también hubo movimientos de ascenso descenso de la cuenca los cuales se comprueban por la presencia de horizontes de arenisca y conglomerados, aunque estos levantamientos pudieron ser de carácter local en ocasiones.

A finales del Oligoceno, principios del Mioceno se inicia la inclinación de la cuenca hacia el mar, haciendo que los depósitos miocénicos formaran una cufia que se hace más marina hacia el norte.

Para finales del Mioceno se produce un movimiento orogénico de grandes proporciones denominado orogenia cascadiana, el cual se manifiesta claramente por una discordancia en la base de la Formación Concepción Inferior, además del paso de areniscas marinas de la Formación Filisola (Mioceno Medio), a depósitos de aguas salobres de la Formación Paraje Solo (Mioceno Superior).

Posteriormente se produjo un periodo de sumersión al sureste de Coatzacoalcos, finalizando así el primer ciclo de sedimentación y dando principio al segundo con el depósito de las lutitas de la Formación Agueguexquite del Mioceno Superior, a las que cubrieron sedimentos marinos de la misma formación y finalizando con el depósito de la Formación Cedral del Mioceno Superior.

Se conocen exclusiyamente depósitos de tipo continental tanto del Plioceno como del Pleistoceno, lo que demuestra que desde entonces hasta nuestros días la cuenca está en condiciones de emersión.

#### III.4. - TECTONICA.

Dentro de los eventos tectónicos considerados como importantes en el área de estudio se tienen los siguientes.

- La Orogenia Laramídica.
- El evento intrusivo que afectó al Macizo de San Andrés y las zonas adyacentes.
- La tectónica salina.

Los elementos tectónicos involucrados en esta zona son, entre otros:

- El Macizo de Chiapas y Oaxaca, en el Sur.
- El Macizo de San Andrés Tuxtla, en el NW.
- Un supuesto macizo o barra que se encontraba en el NE y controlaba el flujo de agua hacia la cuenca.
- El Macizo de Jalpa hacia el oriente.

Salas (1967) considera que el movimiento ascendente de la sal debió haber iniciado a finales del Cretácico Superior en pequeña escala, sin llegar a formar estructuras salinas de gran tamaño.

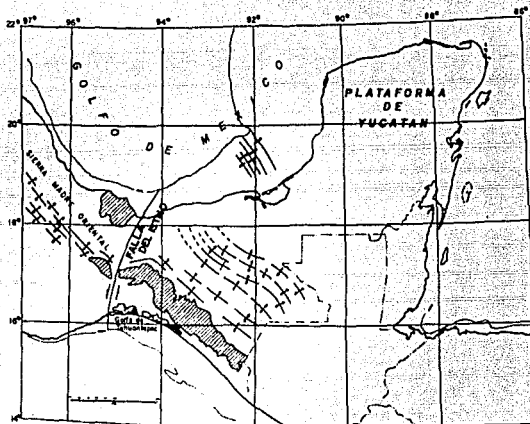
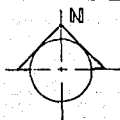
En el Terciario Inferior durante la Orogenia Laramídica que da inicio al movimiento hacia el norte del Macizo de Chiapas a través

de la falla que Meneses (1981, PEMEX) denomina falla del Istmo (Fig. 10), debe haber afectado en pequeña escala el desarrollo de las estructuras salinas. Considerando que en esta etapa se plegaron rocas de edad inferior al Terciario Inferior actuando la sal como lubricante durante los plegamientos. Posteriormente la sal migró hacia las zonas anticlinales formadas por este movimiento orogénico.

Se considera que la Revolución Laramídica no afectó en gran medida a las estructuras salinas, porque los domos no estaban totalmente formados, lo cual queda demostrado por la ausencia total en los domos de fallas inversas y pliegues abiertos.

Durante el Mioceno, cuando se producen los emplazamientos plutónicos en el Macizo de San Andrés, se genera un esfuerzo de dirección SE, el cual Salas (1967) considera como responsable de las alineaciones NE-SW de las estructuras salinas, ayudadas también por la gran cantidad de sedimentos que la cuenca recibió por su profundización desde el inicio del Terciario. No obstante, debe considerarse que las estructuras salinas se encuentran hasta la fecha en movimiento ascendente.

Salas (1967) observó que dentro de la cuenca algunos domos presentan fallamiento radial muy similar a los domos de Texas y Louisiana, otros muestran una tendencia a ser paralelos al eje de la estructura salina NE-SW, esto es una muestra de que los mecanismos del levantamiento salino actuaron de distinta manera, dependiendo de la posición del domo dentro de la cuenca. Esto tiene también como punto a favor el que los domos tengan distinta forma y tamaño dentro de la Cuenca Salina.



Ejes Estructurales de la Sierra Madre Oriental



ELEMENTOS PRE-JURASICOS



FALLA DEL ISTMO.



**U. N. A. M.**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL  
PORCION SUR DE LA  
S. MADRE ORIENTAL

GARCIA - RICARDEZ  
-1990-

LAMINA  
No 10



#### **IV.- YACIMIENTOS MINERALES.**

#### IV.1.- CLASIFICACION GENERAL DE LOS YACIMIENTOS DE AZUFRE.

Según Ruckmeck (1979), los depósitos de azufre nativo están distribuidos en todo el mundo y corresponden a dos tipos de ambientes geológicos:

- Cuencas que contienen hidrocarburos y
- Zonas de vulcanismo.

Con base en lo anterior, se clasifican en:

a).- Bioepigenético.

a.1.- Asociados a domos salinos (cap-rock; tipo Jáltipan).

a.2.- Asociados a depósitos evaporíticos estratificados.

b).- Biosingénético: Son depósitos sedimentarios producto de la reducción bacteriológica de  $SO_4$  a  $H_2S$  y oxidación del  $H_2S$  a azufre nativo por aguas superficiales oxigenadas en lagunas o cualquier otro ambiente lacustre, marítimo o evaporítico restringido. Los depósitos de México, E.U. , Alemania, Rusia, Irán, son de este tipo.

#### Depósitos volcánicos.

Este tipo de azufre está asociado a fenómenos volcánicos, donde el ácido sulfhídrico proveniente del magma, al ponerse en contacto con la atmósfera, se oxida y deposita azufre nativo. En Japón, Nueva Zelanda, Alaska, Islandia y México, existen yacimientos de este tipo.

#### Depósitos en la zona de oxidación.

Se encuentran exclusivamente en zonas de fracturamiento y alta porosidad en muchos tipo de roca, y no existe evidencia de reemplazamiento biogénico asociado a ellos.

#### Acumulaciones termogénicas.

Son producidos por la oxidación del ácido sulfhídrico, derivado de reacciones directas entre los hidrocarburos y anhídrita a altas temperaturas y presiones, condiciones generalmente propias de las grandes profundidades.

#### IV.2.- FACTORES GEOQUÍMICOS QUE CONTROLAN LA ACUMULACION DE LAS SALES.

En general los depósitos evaporíticos e originan por la precipitación de sales que viajan en el agua natural como soluciones iónicas, y pueden formarse por diversos procesos.

- Cristalización de sales a partir del agua de mar.
- Depositación continental en lagos interiores debido a la cristalización de sales a partir de aguas termales cargadas de éstas.
- Cristalización de sales a partir de aguas subterráneas en regiones áridas y semiáridas.

Cada uno de estos depósitos tiene su grado de importancia, pero los depósitos que guardan más interés son los que se formaron por la evaporación de cuencas marinas o adyacentes, las cuales han almacenado grandes volúmenes de sales, siendo ésta una de las razones por la cual muchos investigadores han tratado de explicar los fenómenos geoquímicos llevados a cabo durante las etapas de acumulación de los depósitos salinos.

Cuando el agua de mar comienza a evaporarse y se tiende a precipitar un número complejo de compuestos, estos compuestos siguen un orden definido de depósito. A este fenómeno numerosos investigadores han enfocado su atención (Usiglio 1849, Rankama y Sahama 1954), los cuales experimentaron precipitando agua de mar con diferentes densidades, llegando a la conclusión que al evaporarse el agua de mar, la precipitación funciona en orden inverso a la solubilidad de los compuestos, esto es, los compuestos más solubles son los que

precipitan al final de la evaporación.

Experimentalmente se demostró que los compuestos seguían un orden de depósito salvo en algunas ocasiones en que se ven alterados por la variación de las condiciones fisicoquímicas de depósito:

- 1.- Lo primero en precipitar son los carbonatos y el óxido férrico.
- 2.- Carbonato de calcio junto con sulfato de calcio; este último predominantemente en la parte superior.
- 3.- Sulfato de calcio en la parte superior y cloruro de sodio como principal evaporado.
- 4.- Cloruro de sodio más o menos coincidiendo con la precipitación del sulfato de magnesio y bromuro de sodio.
- 5.- Finalmente la precipitación de boratos, nitratos y sales de potasio.

Tomando como referencia este orden de depositación es posible reconocer en un depósito salino los ciclos completos de evaporación a que estuvo sujeto. Para numerosos investigadores la presencia de bandas de sales de potasio representan la finalización de un ciclo completo de evaporación del agua de mar; también es posible reconocer estos ciclos observando las características de la anhidrita. Taylor (1938) señala que cuando la anhidrita comienza a depositarse lo hace en cristales diminutos. Contrariamente a lo que sucede cuando la anhidrita finaliza su etapa de depósito, ya que entonces el cloruro de sodio es el principal precipitado y el crecimiento de los cristales de anhidrita se desarrolla más lentamente, dando como resultado en esta etapa cristales grandes y mejor formados de anhidrita.

Enciso de la Vega (1963) en su estudio petrográfico de algunos de los domos salinos del Istmo de Tehuantepec reconoció algunas de las facies mineralógicas mencionadas anteriormente, las cuales son descritas a continuación:

- Zona de silvita, conteniendo silvita en trazas.- Consta de rocas salinas, generalmente de grano grueso sin bandas concéntricas claramente desarrolladas; la silvita está distribuida en forma irregular y errática a manera de inclusiones.

- Zona de potasio.- Está formada por una brecha salina que Van Tyjn (1924) denominó brecha carnalítica por el predominio de este mineral. Los fragmentos subredondeados y angulosos de rocas salinas, se encuentran empotrados en una matriz que posee varias especies mineralógicas, imposibles de reconocer por encontrarse demasiado alteradas.

- Zona de roca salina blanca con bandas concéntricas de anhídrita blanca en cristales euedrales y subedrales bien desarrollados como inclusiones en los cristales de halita.

- Zona de roca salina gris con bandas concéntricas de anhídrita negra, reconociéndose en las láminas delgadas abundantes cristales de anhídrita muy pequeños.

En conclusión a su estudio, Enciso de la Vega reconoce cuando menos un ciclo completo de evaporación de agua de mar y al mismo tiempo aclara que sus resultados son poco confiables debido a que de los núcleos obtenidos de las perforaciones se recuperaron pequeños porcentajes de las muestras, debido al carácter higroscópico y delicuescente de la sal, además de que las perforaciones dentro de el cuerpo salino son raras y demasiado costosos los muestreos dentro del mismo.

#### IV.3.- FACTORES QUE RIGEN EL MOVIMIENTO DE LA SAL.

El termino "diapiro" (penetración a través), fue propuesto por primera vez por el geólogo Rumano L. Mrazec en 1910 y se aplica al desarrollo de una intrusión a partir de una formación geológica de baja densidad. Los diapiros de sal suelen denominarse de manera

convencional "domos de sal" haciendo referencia a la forma que toman los estratos suprayacentes; pero estos domos llegan a ser columnas de 2 kilómetros o más de diámetro, por lo que también se les llama tapones o columnas de sal (salt plugs o salt stocks); estas últimas características no se han reportado en las estructuras de la Cuenca Salina del Istmo, por lo que se les ha asignado el nombre de estructuras salinas.

En un principio la fuerza motriz necesaria para el desarrollo de domos salinos, se adscribió a la compresión que había plegado a las rocas adyacentes. El plegamiento de estas rocas es debido a la fuerza ascendente de las estructuras salinas, lo que significa que existen circunstancias en las cuales se desarrollan diapiros de sal sin la ayuda de más fuerzas tectónicas que la gravitación.

Para dar explicación a la formación de estructuras del tipo dómico-diapírico, se han formulado tres teorías.

- I.- Teoría del crecimiento descendente.
- II.- Teoría del crecimiento ascendente o intrusivo.
- III.- Teoría del flujo lateral de la sal.

La primera teoría fue propuesta en 1933 por Donald C. Barton, sugiere que la sal fue depositada inicialmente de manera horizontal, pero dentro de esta horizontalidad presentaba irregularidades en su superficie, generadas ya sea por la topografía de la cuenca de depósito, o bien por un evento erosivo; estas irregularidades dieron origen a pequeñas elevaciones, las cuales sirvieron como punto de partida para la formación de los domos. Para esto la cuenca continuaría hundiéndose, al mismo tiempo que estaría recibiendo más sedimentos, dichos sedimentos se concentrarían en mayores cantidades en los flancos de las elevaciones iniciales; al ir aumentando el peso de los sedimentos, propiciaría que la pequeña elevación continuara su movimiento ascendente tratando de equilibrar las fuerzas actuantes, además de

que los bordes continuarían su hundimiento más aprisa, aumentando con esto el cercamiento del domo (Fig. IV.3a).

Esta teoría considera que el crecimiento del domo se realiza de arriba hacia abajo a diferencia de la segunda teoría en donde se considera que el crecimiento del domo se realiza de abajo hacia arriba. Además la primera teoría presenta la ventaja de que la sal requiere de un menor esfuerzo para vencer la fricción entre ella y los sedimentos.

La segunda teoría fue propuesta por L.L. Nettleton en 1934; en ésta se considera la fuerza motriz para el movimiento de la sal, como generada por las diferencias de densidades entre la sal y los sedimentos suprayacentes, sugiere que el depósito salino fue originalmente horizontal, presentando irregularidades en su superficie que pudieron haberse generado desde el principio de la sedimentación o en algún estadio de la cubierta sedimentaria, posteriormente este depósito salino quedó cubierto por sedimentos más jóvenes que al ir aumentando su espesor y al ir compactándose, fueron adquiriendo una densidad mayor que la de la sal. Como la superficie salina era irregular se generaron zonas de mayor presión que otras, tratando de equilibrar estas diferencias de presión, la sal comenzó a moverse hacia las zonas de menor presión y hacia la superficie aprovechando estas zonas y las zonas de debilidad de las rocas suprayacentes, produciendo con estos movimientos las estructuras salinas conocidas actualmente (domos, tapones, columnas de sal, epófisis, etc.), (Fig. IV.3b).

Para demostrar la validez de esta teoría T.J. Parker y A.N. McDowell, realizaron una serie de experimentos con los cuales llegaron a demostrar que los materiales implicados en los movimientos diapíricos llegan a comportarse en ocasiones como líquidos, siguiendo los principios de la mecánica de fluidos, tal como lo haría una capa de aceite cubierta por una capa de agua con la única diferencia que lo haría más lentamente.

Por otra parte, al ir avanzando la columna salina hacia la superficie, la zona circundante a la columna sufre un adelgazamiento. Esto es si B crece como un tapón éste quedará circundado por una depresión anular, que técnicamente se denomina surco periférico y su volumen en un momento dado, es igual al volumen del tapón de sal desarrollado; esto permite que los sedimentos suprayacentes a la zona donde se origina el surco se colapsen hacia él, dando como resultado la serie de fallas normales, las cuales muchos autores llaman fallas de cubetas, además de generar estructuras sinclinales de borde.

La evidencia experimental sugiere que el volumen del material implicado en el movimiento diapírico no varía, lo que ocurre es un cambio de posición en los materiales; se ha comprobado además que al ir ascendiendo el cuerpo salino puede acarrear en su avanzada a materiales más densos de su cobertura y, en ocasiones semejando el movimiento de una celda de convección puede colocar una secuencia en forma invertida.

La columna de sal avanza por las zonas de debilidad de las rocas suprayacentes, pero aunque la presión sea tal que le permita llegar a la superficie no necesariamente lo hará, a veces le es más fácil avanzar por los planos de estratificación, extendiéndose así la sal formando apósis salinos y sal interestratificada. La penetración de la sal hasta emerger a superficie sólo ocurre cuando la diferencia de presión no se equilibra y entonces la fuerza de flotación es tal que le permite a la columna salina desbordarse en la superficie, como ocurre actualmente en la región de domos de sal del sudeste de Irán, de Omán y del golfo Pérsico.

La tercer teoría es propuesta en 1979 por C.C. Humphris, Jr. y surge con la necesidad de dar una explicación geológica a la presencia del Escarpe de Sigsbee en la plataforma continental del noreste del Golfo de México. Humphris propone que la sal que actualmente se encuentra en el subsuelo de casi toda la plataforma



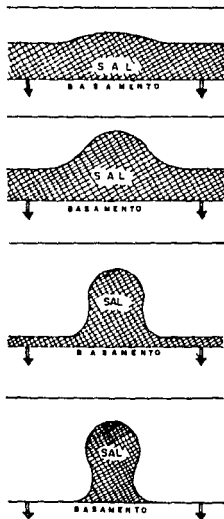
de Texas-Louisiana, en el momento de su depósito sólo cubría la plataforma superior y lo que actualmente es el borde continental, posteriormente la sal es cubierta por sedimentos más jóvenes que al alcanzar un espesor considerable comienzan a ejercer una carga sobre la sal, además de esta carga la inclinación que sufre la plataforma continental permite el movimiento lateral de la sal hacia la cuenca. Este movimiento es semejante al flujo de extrusión de hielo en un glaciar, el flujo lateral de la sal va provocando que se formen pequeñas elevaciones en el manto salino, que sirven como punto de inicio para la formación de los domos salinos, la fuerza que completa el desarrollo total de estas estructuras salinas se produce por las diferencias de densidades entre la sal y los sedimentos suprayacentes, además del peso que ejerce la columna de agua sobre los mismos. Es importante señalar que para que las diferencias de densidades actúen es necesario que exista primeramente el flujo lateral de la sal, ya que el espesor de los sedimentos en esta zona no es suficiente para producir el desarrollo de los domos por el solo contraste de densidades (Fig. IV.3c).

Esta teoría es el resultado de una serie de estudios sísmicos realizados en la plataforma Texas-Louisiana y sólo ha sido utilizada para la explicación del desarrollo de los domos de esta zona.

En conclusión, es posible afirmar de manera general que las fuerzas que actúan en el movimiento salino se encuentran representadas por:

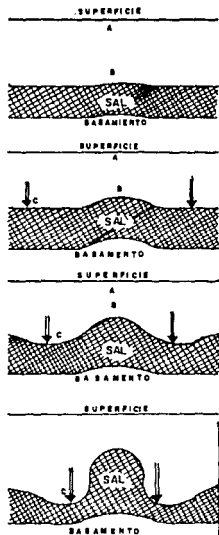
- La fricción interna de la sal.
- Fricción entre la sal y la cobertura.
- La resistencia que ofrece la cobertura a curvarse, fracturarse y deslizarse según planos de estratificación.
- La fuerza de gravedad.

CRECIMIENTO  
DESCENDENTE



A) - BARTON 1933

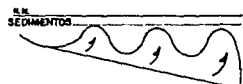
CRECIMIENTO  
ASCENDENTE



B) - NETTEETON 1943



MOVIMIENTO LATERAL



MOVIMIENTO LATERAL Y MOVIMIENTO POR CONTRASTE DE DENSIDAD

C) - HUMPHRIS 1979



U. N. A. M.  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

TEORIA DE FORMACION DE  
DOMOS SALINOS

GARCIA - RICARDEZ  
-1990-

FIG.  
103

Como último aspecto, cabe indicar que las relaciones fricción-fuerza son mayores en los domos pequeños y menores en los domos grandes, por lo tanto es posible concluir que de las tres teorías expuestas anteriormente, la primera y la tercera se asocian a la formación de domos pequeños, mientras que la segunda teoría sería aplicable a la formación de domos mayores.

#### IV.4. - DISCUSION GENETICA.

Para describir el yacimiento de azufre emplazado en el casquete (Cap-Rock) del domo salino de Jáltipan, Ver., es necesario tratar de entender el proceso formativo de dicho casquete, para después, establecer una descripción más comprensible y una explicación más lógica a las características geológicas presentes en el yacimiento.

Para la explicación del origen del azufre en los domos salinos se han formulado varias teorías, las cuales se agrupan de la siguiente manera.

##### I.- Teorías fisicoquímicas.

##### II.- Teorías bioquímicas y fisicoquímicas combinadas.

Las teorías del origen fisicoquímico a su vez se dividen en dos teorías diferentes. A continuación se hace un breve comentario a ellas.

a).- Brown (1931) sugiere que el azufre es singenético con el casquete de anhídrita, y que se encuentra dentro de la anhídrita en forma diseminada, un depósito comercialmente explotable se genera a partir de una concentración del azufre que originalmente estaba diseminado.

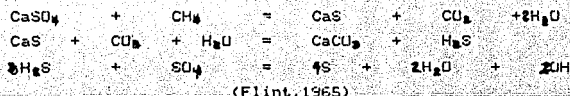
b).- Taylor (1937) opina que el azufre proviene de la reducción del sulfato de calcio (anhídrita) por medio de hidrocarburos circulantes que actuaron como catalizadores, y dice que es posible

esta reducción fisicoquímica del sulfato de calcio en ambientes saturados con hidrógeno sulfurado.

Con apoyo a estas teorías existe bastante coherencia para pensar en el origen del azufre a partir de una reducción del sulfato de calcio por medio de diferentes agentes fisicoquímicos. La teoría del origen singenético del azufre ya ha sido descartada desde hace mucho tiempo, y sólo se menciona para completar el cuadro de las teorías del origen fisicoquímico del azufre.

En cuanto a la teoría del origen bioquímico y fisicoquímico combinado, considerada como la más reciente y más aceptable, fué propuesta por Feely y Kuip en 1957 y trata de demostrar que la reducción del sulfato de calcio es llevado a cabo, en primera instancia, por un conjunto de bacterias, obteniendo como primer producto el hidrógeno sulfurado, pero que al continuar este proceso, se llega a crear un ambiente saturado de hidrógeno sulfurado, el cual reducirá en una alta proporción la acción bacteriana, llegando incluso a la aniquilación de las bacterias reductoras; pero aún así, en este ambiente, es posible que la reducción haya continuado tomando como agente reductor al hidrógeno sulfurado, que al reaccionar con más iones de sulfato genera azufre elemental.

Una reacción semejante a la descrita anteriormente podría ser:



Este proceso se encuentra beneficiado por la presencia e infiltración de petróleo en las partes marginales del domo en su movimiento ascendente, durante el cual ha atravesado formaciones que contienen hidrocarburos.

Debe señalarse que la formación de azufre está asimismo beneficiada por la infiltración de las aguas percolantes y por la liberación del hidrógeno sulfurado cuando el ambiente se ha cargado demasiado de él; esta liberación se produce a través de fallas que se generan por los colapsos o por la fuerza intrusiva del domo en ascenso. Con base en el análisis de los porcentajes de azufre, obtenidos en los lotes localizados en la parte SE del domo de Jáltipan, se pueden observar mayores porcentajes de azufre en las zonas de fallamiento.

El casquete en el domo salino de Jáltipan, ha sido localizado en las perforaciones a una profundidad de 400 metros en la parte central y 650 metros en los bordes.

De manera general, el casquete del domo de Jáltipan ha sido dividido litológicamente en dos zonas importantes.

a).- Zona de anhidrita:- Constituye la parte inferior del casquete y está formada casi totalmente por anhidrita; hacia su parte inferior se encuentra saturada de halita y agua salada y se considera que el contacto con la sal es plano y bien definido (Enciso de la Vega, 1963), el contacto con la zona que le sobreyace es de superficie totalmente irregular y en ocasiones es transicional, presentándose en su parte superior azufre nativo en porcentajes poco importantes o zonas yesificadas en alta proporción.

b).- Zona de caliza:- Se encuentra sobre la zona de anhidrita, y es considerada como la zona mejor conocida en el Istmo, debido a que en ella se localiza la mineralización de azufre en cantidades comerciales.

Esta zona presenta características litológicas que varían tanto en sentido vertical como en sentido horizontal (ver. APENDICE A). Se observa en las secciones que en esta zona los porcentajes de

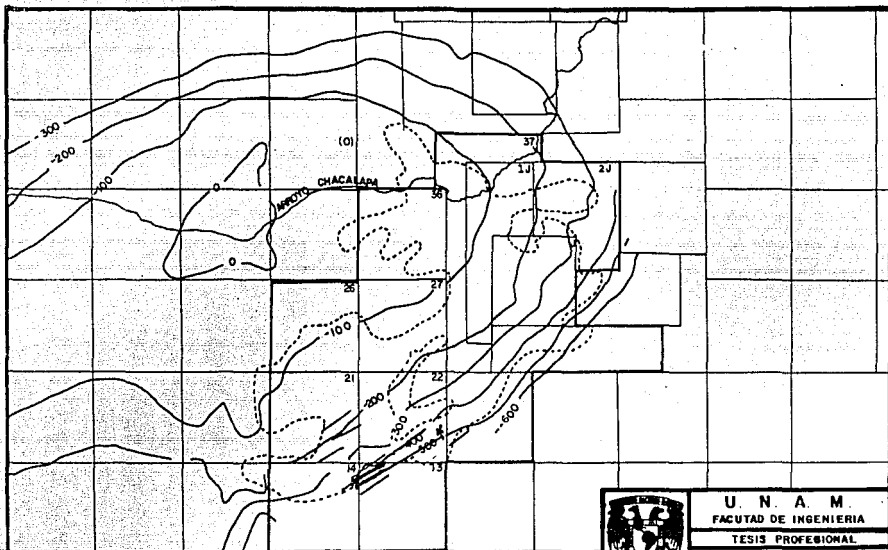
azufre varían y que en ocasiones no existe mineralización, además se presentan lentes de lutita carbosa que alteran la porosidad y permeabilidad del yacimiento.

Pueden observarse dentro de esta zona las siguientes variantes litológicas, consideradas como las más importantes:

- Capas alternantes, generalmente horizontales y altamente porosas de azufre en cristales bien desarrollados y caliza.
- Caliza cavernosa y permeable con los intersticios ocupados por azufre y aceite.
- Caliza brechosa con vetillas de calcita, con muy poco azufre en forma diseminada, estas características se observan en sus partes altas.
- Caliza muy fracturada con las zonas de fractura cementadas por caliza y azufre.
- Caliza brechosa, con fragmentos de azufre empotrados en una matriz de asfalto y caliza, con el azufre en cristales amarillos bien desarrollados.

Con la realización del plano APSA 1 en el cual se localizan las zonas de la parte SE del domo de Jáltipan que han sido reportadas con mayores porcentajes de azufre, se llegó a definir que estas zonas están estrechamente asociadas a las zonas de fallamiento. Esto puede ser explicado debido a que por medio de estas fallas las aguas superficiales pudieron haber llegado a la sal y haber acumulado en su proceso de disolución diferencial una cantidad mayor de anhídrita, que posteriormente por procesos bioquímicos formaría mayores cantidades de azufre.

El casquete rocoso del domo de Jáltipan y de los domos circunvecinos se consideran cubiertos por una serie de lutitas grises y azulosas que son consideradas de edad miocénicas y oligocénicas.



ESCALA GRAFICA  
1: 40,000



————— FALLA  
A ————— A' SECCION ESQUEMATICA



U. N. A. M.  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

DOMO DE JALTIPAN CIMA  
ANHIDRITA

BARCIA - RICARDEZ  
-1990-

PLANO  
APBA 1

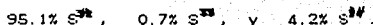
## V.- GENERALIDADES SOBRE EL AZUFRE.



### V.1.- Características generales del azufre.

El azufre es abundante en la naturaleza, se considera que constituye el 0.64% aproximadamente, del planeta tierra, o sea el octavo elemento en abundancia. Se presenta generalmente combinado en forma de sulfuros, siendo los más importantes los de: Plomo (galena), Zinc (esfalerita) y el Hierro (pirita); también en forma de sulfatos, como el de calcio (yeso y anhidrita) o el de estroncio. También se encuentra disuelto en aguas termales o en los hidrocarburos en forma de ácido sulfhídrico. En estado nativo se ha encontrado en terrenos de origen volcánico o en los casquetes de los domos salinos.

El azufre es un metaloide sólido a la temperatura ordinaria, presentándose en forma de cristales, macizo, terroso o talactítico. Cristaliza en el sistema ortorrómbico o monoclinico, tiene un peso específico de 2.05 en estado sólido y de 1.76 (a 135° C) en estado líquido; su peso atómico es 32.06, aunque químicamente se considera una mezcla de isótopos estables, con la distribución siguiente.



Exhibe valencias de -2, +4 y +6, ya sea como oxidante o reductor. Se funde entre los 112° C y 119° C, dependiendo de su estado de cristalización; su punto de ebullición es 444° C; punto de ignición 248° C. Es mal conductor del calor y la electricidad; tiene color que va de amarillo a gris en varias tonalidades; tiene lustre resinoso y fractura concoidal; posee una dureza de 1.5 a 2.5 en la escala de Mohs; es algo soluble en los ácidos e insoluble en el agua; soluble en bisulfuro y tetracloruro de carbono.

La viscosidad del azufre líquido también varía con la temperatura, teniéndose la mayor fluidez en el intervalo de 116-158° C, en donde su viscosidad no es mayor de 10 centipoises. Si la

temperatura se eleva más allá de los 160° C, el azufre se vuelve más viscoso, hasta llegar a 188° C, en donde tiene viscosidad superior a los 900 poises, disminuyendo a temperaturas mayores.

El calor específico del azufre está en función de la temperatura y su valor aproximado se obtiene por las fórmulas:

$$\begin{array}{ll} \text{Para S (ortorrómbico)} & CP= 3.58+6.24 \times 10^{-5} T. \\ \text{Para S (monoclínico)} & CP= 3.56+6.96 \times 10^{-5} T. \end{array}$$

En donde CP= calor específico en calorías-gramo, y T= Kelvin.

Es muy común que el azufre explotado en los domos salinos se encuentre contaminado con hidrocarburos, lo que motiva cambios en la coloración, la densidad y la viscosidad principalmente, de acuerdo con el grado de contaminación, que en muy raras ocasiones es superior al 1%. Esta es una de las ventajas que presenta el método Frasch.

## V.2.- Métodos de exploración.

El reconocimiento del azufre en los domos salinos del sureste de México, hizo que en el año de 1944 se empezara a explorar con el fin de comercializarlo. A partir de entonces se empezaron a realizar trabajos de tipo exploratorio, de tal manera que en la actualidad se cuenta con un acervo importante de información de los distritos, como fotografías aéreas, geología superficial, estudios geofísicos y datos de perforaciones.

a).- Métodos indirectos: Estos estudios se utilizan, sobre todo cuando es muy difícil de realizar estudios de geología superficial. La geofísica debe apoyarse en toda la información geológica con que se cuente y todo resultado geofísico deberá ser transformado a datos geológicos, para complementar los resultados y hacerlos más eficientes.

a.1).- Método gravimétrico: Este método es útil en la exploración de los domos salinos ya que se basa en la propiedad física de la diferencia de densidad de las rocas; así se cuenta con un contraste evidente de densidades, éste producirá una serie de anomalías cuya interpretación indicará si existen o no estructuras salinas, las cuales están asociadas con los yacimientos de azufre. Sin embargo, este método debe apoyarse en algún otro estudio, ya que presenta una infinidad de variables que hace difícil su interpretación.

Las condiciones generales que se observan para la utilización de este método son:

- 1.- Cuando en la zona de interés no existan afloramientos para realizar trabajos de geología superficial.
- 2.- Cuando se infiere el posible contraste de densidades.
- 3.- Que no existan factores que enmascaren o provoquen datos erróneos en el estudio de las anomalías.

a.2).- Método sismológico: Se utiliza principalmente el método de refracción sísmica. Las ondas explosivas recorren grandes distancias horizontales, proporcionando datos de la velocidad en las capas refractantes, lo que permite identificar en forma aproximada la litología y definir estructuras.

El método es valioso para el reconocimiento en áreas cuya estructura tiene gran relieve y donde haya, por lo menos, una capa de referencia de alta velocidad recubierta por formaciones de baja velocidad.

Las velocidades aproximadas de las rocas del casquete o cap-rock son:

caliza	2300-2600	m/seg.
anhidrita y lutita	2500-2700	m/seg.
anhidrita	3000-4500	m/seg.

La sismología de refracción es el método adecuado para determinar estructuras salinas someras, pudiendo determinarse las profundidades a las que se encuentran.

El método que es actualmente utilizado por las compañías azufreras dadas las características de los yacimientos de azufre en esta área, (en la cual no es posible asegurar las zonas donde se localizará la mineralización), es el método directo de perforación de pozos, con el cual se puede cuantificar el porcentaje de azufre en la zona y si éste es comercialmente explotable.

### V.3.- Método de explotación.

**Método de Herman Frasch:** Este método fue inventado en 1891 por el alemán Herman Frasch, se utiliza por primera vez en los domos de las costas del golfo de los E.U. y es el método que ha sido utilizado en México para la extracción del azufre en los domos de la Cuenca Salina.

Con la aparición de este método se terminaron los problemas técnicos y económicos que implicaba la explotación del azufre, disminuyendo con esto el precio de extracción del metaloide.

Frasch basó su método en las siguientes propiedades físicas del azufre:

- 1.- Bajo punto de fusión: entre 112 y 119° C.
- 2.- Densidad, aproximadamente dos veces la del agua.
- 3.- Insoluble en el agua.
- 4.- Mal conductor del calor.

Todos los depósitos de azufre, explotados hasta ahora por el método Frasch, están localizados en el casquete calcáreo de los domos salinos.

Para la extracción del azufre, se perforan pozos hasta atravesar la formación que contiene azufre, utilizando los mismos pozos para inyectar agua caliente (160° C) y extraer el azufre fundido.

El equipo subterráneo del pozo consiste de tubería de diferentes diámetros colocados concéntricamente, que van desde la superficie hasta más abajo del depósito. Este equipo consiste de tubería de 6 5/8" que se prolonga hasta la cima del casquete calcáreo que contiene azufre. Dentro de esta tubería se introduce otra de 6" 5/8" de diámetro, la cual es introducida hasta más abajo que la anterior, pasando por la zona con azufre y descansa bajo el límite inferior de la misma. La tercera tubería de 3", se encuentra instalada dentro de la segunda tubería, prolongándose hasta casi el fondo de la formación productora y descansa sobre un anillo interior que cierra el espacio anular entre ambas (6 5/8" y 3"); finalmente la tubería de 1" se utiliza para inyectar aire, y ésta se encuentra dentro de la tubería de 3", y se extiende hasta una profundidad ligeramente arriba del anillo antes mencionado. El tubo de 6 5/8" que llega más abajo de los demás, está adecuadamente perforado en dos niveles diferentes siendo dichas perforaciones separadas por el anillo interior; las perforaciones superiores permiten el escape de agua caliente al subsuelo, y las inferiores se utilizan para que el azufre entre en forma líquida a la tubería de 3"

En el calentamiento de un pozo, el agua a una temperatura de 160° C, baja dentro del espacio anular por el tubo de 6 5/8" y es descargada en la formación porosa, cerca de la base del pozo, por medio de las perforaciones superiores de este tubo, la parte por donde circula esta agua en la formación, es calentada a una temperatura mayor al punto de fusión del azufre (120° C). El azufre líquido siendo más pesado que el agua, se va hacia el fondo alrededor de la base del pozo y, después de entrar por las perforaciones inferiores se eleva por el tubo de 3" como resultado de su peso específico y de la presión en el sistema establecido

por la presión de operación. El aire comprimido que sale desde el extremo inferior del tubo central de 1", asciende mezclándose con la columna de azufre cuyo peso es reducido por la aereación, con lo cual se hace posible obtenerlo en superficie. El agua caliente que se continúa inyectando al pozo por la tubería de 6 5/8", compensa el enfriamiento que provoca la inyección de aire frío en el interior del pozo, con lo que se obtiene el azufre en estado líquido.

#### V.4. - USOS DEL AZUFRE.

A continuación se presenta un diagrama que muestra objetivamente los principales usos del azufre y que fue editado por Engineering And Mining Journal (Mayo de 1968):

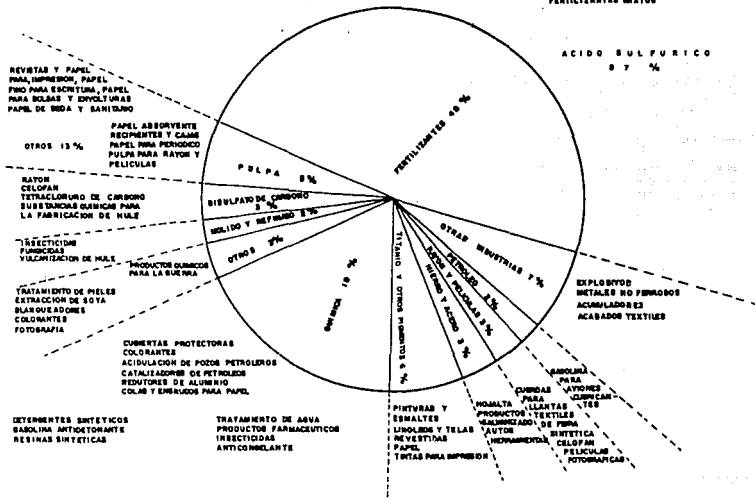


# PRINCIPALES USOS DEL AZUFRE

LA MAYOR PARTE DEL AZUFRE SE EMPLEA EN LA FABRICACION DE BODIO SULFURICO. EL RESTO SE USA EN SU FORMA ELEMENTAL O EN DIVERSOS COMPUESTOS QUIMICOS, PERO OBTANTE QUE EL AZUFRE ES ESENCIAL EN CASI TODAS LAS RAMAS DE LA INDUSTRIA, SE USA SOLAMENTE COMO AGENTE EN EL PROCESO Y MUY POCAS VECES APARECE EN EL PRODUCTO FINAL.

SUPERFOSFOS  
POFOSOS DE AMONIO  
SULFATOS DE AMONIO  
FERTILIZANTES MIXTOS

ACIDO SULFURICO  
87 %



## **VI.- PERSPECTIVAS DE EXPLOTACION.**

## VI.- Perspectivas de explotación.

Dentro de la Cuenca Salina se ha observado que los domos salinos se localizan a mayor profundidad hacia la parte norte y noreste, mientras que hacia la parte sur y suroeste han sido localizados a profundidades más someras. Se puede establecer una relación entre la profundidad a la que se localiza el casquete y las posibilidades de que presente azufre.

Esto puede ser comprobado en la cuenca, ya que los domos que hasta la fecha se han reportado con presencia de mineralización de azufre, se localizan a profundidades menores a los 900 metros y, por lógica en las partes sur y suroeste de la cuenca, mientras que los domos perforados a mayores profundidades y hacia el norte y noreste no han reportado mineralización.

Este detalle posiblemente puede estar relacionado con el tiempo al que un domo salino ha estado en movimiento; movimiento que además permitió el desarrollo de fallas y trampas en donde los hidrocarburos pudieron migrar hacia la parte superior del domo, para tomar parte en el proceso formativo del azufre.

Lo cierto es que teniendo el conocimiento de esta relación es posible restringir en gran manera el área en la cual puede ser posible localizar yacimientos de azufre; para este caso particular, es posible considerar que la zona con altas perspectivas de localizar yacimientos de azufre, corresponde a las partes sur y suroeste de la Cuenca Salina del Istmo.

En lo referente al yacimiento de azufre de Jáltipan, considerado actualmente como un yacimiento en su etapa final de explotación, se ha empezado a especular sobre una posible recuperación secundaria de azufre en los lotes hasta el momento explotados. Se considera que las características litológicas del yacimiento son totalmente favorables para la aplicación de una recuperación secundaria del mineral, la cual estaría basada en una serie de

perforaciones ubicadas en las partes intermedias de los pozos utilizados anteriormente para explotación.

La razones a favor de la realización de un programa de recuperación secundaria en la zona son las siguientes:

- La variación litológica de la caliza del casquete en la cual se encuentra la mineralización, lo que se traduce en una variación de la porosidad y permeabilidad. Esta variación de permeabilidad no permite un flujo normal de agua caliente, por lo que la recuperación del azufre no es total.

- Meneses (comunicación personal) considera que en la mayoría de los pozos perforados en el domo, la recuperación no ha alcanzado el porcentaje calculado, debido a que el área de drenaje se reduce considerablemente en algunas zonas.

- Carlos Lazo (Tesis Profesional 1989) menciona con apoyo a los puntos anteriores que las reservas calculadas y recuperadas en el lote 1 y 22 son las siguientes:

Lote	Calculado	Recuperado
1	3'796,439 T.M.	2'149,789 T.M.
22	10'550,676 T.M.	4'243,932 T.M.

Con estos datos se puede comprobar la gran cantidad de azufre residual en el yacimiento y que puede ser recuperado teniendo un mejor control del mismo, para poder verificar las zonas donde el calentamiento no alcanza a llegar por falta de flujo del agua caliente.

Entre las desventajas que presenta la recuperación secundaria, es la de utilizar una mayor cantidad de agua para la recuperación del mineral, sin embargo parece ser que las pruebas realizadas al respecto han dado resultados alentadores y es factible que la

técnica de recuperación secundaria del azufre en los casquetes azufreros de este sector dará muy buenos resultados tomando en consideración los puntos anteriormente mencionados.

Cabe agregar que estos programas de recuperación secundaria deben ser establecidos en los lotes que actualmente se encuentran en proceso de explotación y que cuentan con las instalaciones necesarias para este fin, con lo cual se evitarán los aumentos en los costos de producción.

## VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### CONCLUSIONES.

- La sal de la cuenca salina fue depositada en una cuenca cerrada en un rift central. Lo cual se comprueba por la similitud en las características petrográficas y estratigráficas de los depósitos de sal de Texas-Louisiana, comprobándose la existencia de sal desde la costa de Texas hasta el escarpe de Sigsbee y desde Campeche hasta el escarpe.

- Se considera el yacimiento de azufre de Jáltipan, Ver., y lugares circunvecinos como generados por procesos bioquímicos y fisicoquímicos combinados.

- Los domos que presentan mineralización de azufre son los más someros (menos de 900 metros de profundidad) y se localizan en la parte sur y suroeste de la cuenca en el estado de Veracruz.

- Las mayores cantidades de azufre se encuentran asociadas a los bordes fallados del domo.

- El contacto inferior de la zona de caliza es irregular, y es utilizado para programar las futuras localizaciones de pozos de desfogue y producción, criterio que deja mucho que desear ya que no se utilizan parámetros de porosidad y permeabilidad ni conteos estadísticos.

### RECOMENDACIONES.

- Se considera necesario llevar un control más estricto del agua de mina en los pozos de producción y desfogue para tratar de localizar la profundidad del espejo de agua, para definir con esto las zonas donde el calentamiento del azufre no ocurre al 100%.

- Es necesario hacer un conteo lo más eficiente posible para saber qué porcentaje de azufre del calculado no ha sido recuperado y en que zonas se localizan. Debiendo aprovechar para esto las instalaciones que se tienen para iniciar una recuperación, en este caso en el lote 1 que es el que se encuentra actualmente en producción.

- Siguiendo el patrón de fallamiento hacia el SW del lote 13, debe considerarse el área en la actualmente se localiza la planta de fuerza como un excelente prospecto para almacenar grandes cantidades de azufre.

- Las características morfológicas y litológicas del yacimiento hacen pensar que una recuperación secundaria bien programada dará muy buenos resultados.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## BIBLIOGRAFIA



## B I B L I O G R A F I A

- |                      |      |   |
|----------------------|------|---|
| ANDRACA SANCHEZ E.   | 1987 | GEOLOGIA Y GENESIS DEL AZUFRE EN LAS AREAS DE JALTI--PAN, PETAPA Y TEXISTEPEX, -VER.<br>TESIS PROFESIONAL UNAM.                             |
| CASTILLO TEJERO C.   | 1955 | BOSQUEJO ESTRATIGRAFICO DE LA CUENCA SALINA DEL ISTMO-DE TEHUANTEPEC.<br>BOLETIN AM.G.P. VOL. VII.  |
| DOMINGUEZ P. GABRIEL | 1973 | ORIGEN Y EDAD DE LA CUENCA-SALINA DEL ISTMO A.P.S.A., -RESUMEN INEDITO.   |
| ENCISO DE LA VEGA    | 1963 | ESTUDIO MINERALOGICO Y PE--TROGRAFICO DE ALGUNOS DOMOS SALINOS DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC.<br>BOLETIN # 65, INSTITUTO DE GEOLOGIA.            |
| FRANCO MARTINEZ J.A. | 1987 | ORIGEN, EXPLORACION Y METO-TODO DE EXPLOTACION DEL - -AZUFRE EN EL DOMO SALINO DE CHOACHAPA, ESTADO DE VER.<br>TESIS PROFESIONAL U.A.S.L.P. |
| GIBSON B. JUAN       | 1958 | PROCESO MECANICO DE LA ACU-MULACION DE SAL GEMA Y SU -RELACION CON LAS SALES POTASICAS Y LOS CRIADEROS DE --AZUFRE.<br>BOLETIN A.M.G.P.     |
| HUMPHRIS C.C. JR.    | 1979 | MOVIMIENTOS DE LA SAL EN LA PLATAFORMA TEXAS-LOUISIANA.<br>BOLETIN A.A.P.G.   |
| HUNGSBERG, ULRICH    | 1960 | ORIGEN DEL AZUFRE EN CASQUE TE DE LOS DOMOS SALINOS - -CUENCA SALINA DEL ISTMO DE-TEHUANTEPEC.<br>BOLETIN No. 51 C.R.N.N.R.                 |
| LAZO CARLOS          | 1989 | ESTUDIO GEOLOGICO PARA EX--TRACCION SECUNDARIA DE AZUFRE DEL DOMO DE JACTIPAN, -EDO. DE VERACRUZ.<br>TESIS PROFESIONAL UNAM                 |

LOPEZ RAMOS E.	1969	GEOLOGIA DE MEXICO. 2a. EDICION ESCOLAR. TOMO III
MENESES DE GYVES	1981	BOSQUEJO GEOLOGICO DE LA - SONDA DE CAMPECHE. PEMEX BOLETIN INFORMATIVO.
SALAS p.6	1957	GEOLOGIA ECONOMICA DEL AZU- FRE EN EL ISTMO DE TEHUANTE PEC, MEXICO. Mem. DE LA 2a. CONVENCION ASOC. INGS. MINAS METALURG. PETROL. GEOL. MEXICO.
SALAS p.6	1967	PETROLEUM AND SULPHUR FROM SOUTHEAST, MEXICO BOLETIN DEL INSTITUTO DE GEOLOGIA.
TIJERINA GARCIA N.	1950	BOSQUEJO GEOLOGICO DEL IST- MO DE TEHUANTEPEC. BOLETIN DE LA A.M.G.P. VOL. II.

**APENDICE A**  
**(secciones)**

