



U. N. A. M.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

GEOLOGIA DE LOS DEPOSITOS DE
CARBONATO DE SODIO EN EL
LAGO SALINO DE PALOMAS,
MPIO. DE ASCENSION CHIH.

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A
ELIAS OJEDA DIAZ

MEXICO, D. F. MAYO DE 1983



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

C O N T E N I D O

PAGINA

RESUMEN

CAPITULO	I.- INTRODUCCION - - - - -	1
CAPITULO	II.- GENERALIDADES	
	II.1.- Objetivo del Estudio - - - - -	4
	II.2.- Método de trabajo - - - - -	4
	II.2.a).- Exploración Regional - - - - -	4
	II.2.b).- Geología de Semidetalle - - - - -	7
	II.3.- Trabajos Previos - - - - -	9
	II.4.- Aspecto Legal - - - - -	10
	II.5.- Aspectos Generales de las Evas-	
	poritas Continentales - - - - -	11
	II.5.a).- Definición de Lago Salino - - - - -	12
	II.5.b).- Condiciones para la Forma-	
	ción de un Lago Salino - - - - -	14
	II.5.c).- Geoquímica - - - - -	18
	II.6.- Aspectos Generales del Carbona-	
	to de Sodio - - - - -	24
	II.6.a).- Definición y Mineralogía - - - - -	24
	II.6.b).- Origen y Ocurrencia - - - - -	26
	II.6.c).- Minerales Asociados - - - - -	26
	II.6.d).- Usos - - - - -	27
CAPITULO	III.- GEOGRAFIA	
	III.1.- Localización Geográfica - - - - -	29
	III.2.- Vías de Comunicación - - - - -	29
	III.3.- Población y Cultura - - - - -	30
	III.4.- Clima - - - - -	31
	III.5.- Flora y Fauna - - - - -	32
CAPITULO	IV.- FISIOGRAFIA	
	IV.1.- Localización Fisiográfica - - - - -	34
	IV.2.- Fisiografía y Geomorfología - - - - -	34
	IV.3.- Hidrografía - - - - -	37
CAPITULO	V.- GEOLOGIA	
	V.1.- Estratigrafía Regional - - - - -	40
	V.1.a).- Paleozoico - - - - -	40
	V.1.b).- Mesozoico - - - - -	50
	Jurásico - - - - -	50
	Cretácico - - - - -	53
	V.1.c).- Cenozoico - - - - -	64
	Terciario - - - - -	65
	Cuaternario - - - - -	68

	PAGINA
V.2.- Estratiografía local - - - - -	71
V.2.a).- Cretácico - - - - -	72
V.2.b).- Terciario - - - - -	74
Riolitas y Tobas Riolíti--	
cas - - - - -	75
Rocas de composición Basál	
tica - - - - -	77
V.2.c).- Cuaternario - - - - -	81
Abanicos Aluviales - - - - -	82
Depósitos Lacustres - - - - -	84
Depósitos Eólicos - - - - -	86
V.3.- Geología Histórica - - - - -	87
V.3.a).- Evolución Geológica de las	
rocas del Basamento. - - - - -	87
V.3.b).- Evolución del Lago Salino	
de Palomas. - - - - -	90
V.4.- Lagos Salinos del Mesozoico -	99
V.5.- Tectónica - - - - -	106

CAPITULO VI.- DESCRIPCION DEL LAGO SALINO DE PA--
LOMAS.

VI.1.- Hidrología - - - - -	109
VI.2.- Sedimentología - - - - -	112
VI.2.a).- Abanicos Aluviales - - - - -	113
Abanico Aluvial 1 - - - - -	113
Abanico Aluvial 2 - - - - -	116
Abanico Aluvial 3 - - - - -	118
VI.2.b).- Planicie de Arenas - - - - -	119
VI.2.c).- Planicie de Arcillas Sali	
nas. - - - - -	121
VI.2.d).- Dunas. - - - - -	127
VI.3.- Geoquímica - - - - -	130
VI.3.a).- Modo de Ocurrencia y Com-	
posición Química de las -	
Anomalías Salinas. - - - - -	131
VI.3.b).- Adquisición de Solutos -	135
Cationes - - - - -	136
Aniones - - - - -	140
VI.3.c).- Clasificación Química de	
la Salmuera - - - - -	143
VI.3.d).- Evolución Química de la -	
Salmuera. - - - - -	146
VI.3.e).- Mineralogía - - - - -	151
VI.3.f).- Cambios Químicos Post-De-	
positacionales - - - - -	161

PAGINA

VI.4.- Génesis - - - - -	163
VI.4.a).- Clasificación del Yaci- miento. - - - - -	164
 CAPITULO VII.- IMPORTANCIA ECONOMICA	
VII.1.- Estimación Preliminar de Reserva	165
VII.2.- Análisis del Mercado. - - - - -	175
VII.2.a).- Especificaciones. - - - - -	175
VII.2.b).- Análisis de la Demanda. - - -	176
VII.2.c).- Análisis de la Oferta. - - -	182
VII.2.d).- Análisis de la Demanda Futura Déficit e Importaciones. - -	187
VII.3.- Consideraciones Económicas del - Yacimiento. - - - - -	191
 CAPITULO VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
VIII.1.- Conclusiones - - - - -	192
VIII.2.- Recomendaciones - - - - -	196
 BIBLIOGRAFIA - - - - -	198
 ANEXO DE DIAGRAMAS DE DIFRACCION DE RAYOS X.	

F I G U R A S

No.	ENTRE PAGINA
1.- Distribución de los climas áridos y semi-áridos en el mundo. - - - - -	31 y 32
2.- Columna estratigráfica del Paleozoico en la Sierra de Palomas. - - - - -	41 y 42
3.- Columna estratigráfica del Mesozoico en la Sierra de Juárez. - - - - -	53 y 54
4.- Columna estratigráfica del área de estudio. -	71 y 72
5.- Croquis del Lago Cabeza de Vaca en el Pleistoceno inferior. - - - - -	94 y 95
6.- Subambientes de depósito en un Lago Salino. -	112 y 113
7.- Isométrico de los subambientes de depósito en el Lago Salino de Palomas. - - - - -	113 y 114
8.- Diagrama ternario de la clasificación química de la salmuera, aniones. - - - - -	145 y 146
9.- Diagrama ternario de la clasificación química de la salmuera, cationes. - - - - -	145 y 146
10.- Diagrama esquemático de la evolución química de la salmuera. - - - - -	147 y 148

T A B L A S

No.	PAGINA
1.- Tipos de aguas. - - - - -	13
2.- Principales minerales que contienen Carbonato de Sodio. - - - - -	25
3.- Distribución del consumo de Carbonato de Sodio en México. - - - - -	28
4.- Principales fuentes de los iones localizados en el Lago Salino de Palomas. - - - - -	144
5.- Esquema de la clasificación química de una salmuera. - - - - -	145
6.- Principales minerales determinados en el Lago Salino de Palomas por el método de Difracción de Rayos X. - - - - -	153 y 154
7.- Cálculo del volumen Va. - - - - -	169
8.- Cálculo del volumen Vb. - - - - -	170
9.- Concentraciones salinas en la salmuera y sedimentos. - - - - -	al final
10.- Cálculo del tonelaje de sales obtenible de la salmuera. - - - - -	172
11.- Cálculo del tonelaje de sales obtenible de los sedimentos. - - - - -	173
12.- Especificaciones del Carbonato de Sodio. -	177
13.- Producción e Importación de Carbonato de Sodio para 1975 - 1980. - - - - -	183
14.- Demanda estimada y déficit para 1982 - 1993.	188

R E S U M E N

Como resultado de una etapa de Exploración Regional efectuada por Carbonato de Sodio en Evaporitas Continentales en la zona Norte del Estado de Chihuahua, se determinó, entre otros, el Lago de Palomas como una zona con concentraciones anómalas de este compuesto.

Posteriormente a esta etapa se realizó un estudio geológico a semidetalle en el que se determinó el comportamiento y distribución de las manifestaciones salinas; la sedimentología y geoquímica del depósito; así como también se efectuó una estimación preliminar del potencial de Carbonato de Sodio.

El Lago de Palomas se localiza geográficamente en el extremo NW del Estado de Chihuahua ($31^{\circ} 47' - 31^{\circ} 41' N$ y $107^{\circ} 34' - 107^{\circ} 38' W$) y fisiográficamente en la Provincia de Sierras y Cuencas.

Consiste en una cuenca endorreica mal definida y de forma irregular y se encuentra circundada por rocas sedimentarias marinas de edad cretácica (pertenecientes - posiblemente a la Formación Porvenir), rocas volcánicas terciarias de composición riolítica y basáltica y depósitos aluviales, lacustres y eólicos que varían en edad del

inicio del cuaternario al reciente.

La historia geológica del lago se inicia en la etapa de fallamiento del tipo normal ocurrida en el terciario medio y posterior a la Orogenia Laramídica; y el cual pudo originarse en la etapa tafrogénica asociada a la formación de la Provincia de Sierras y Cuencas e incrementada durante la etapa de distensión asociada a la apertura del Rift del Río Grande. Este fallamiento normal, -- traducido en estructuras horst y graben, sirvió de base -- para que en el inicio del Pleistoceno inferior se definiera la cuenca del ancestral Lago Cabeza de Vaca; la cual -- fue destruida en el Pleistoceno medio, dando origen a una serie de cuencas aisladas, una de las cuales fue el Lago de Palomas.

En este lago, se identificaron varios subambientes de depósito interrelacionados, mismos que se dividieron de acuerdo a sus características químicas, físicas y fisiográficas en: Abanicos Aluviales, Planicie de Arenas, Planicie de Arcillas y Dunas.

Las evidencias de salinidad observadas consistieron en abundantes eflorescencias, salmueras y minerales salinos en el sedimento.

Se realizaron análisis químicos cuantitativos de la salmuera, eflorescencias y sedimentos, los cuales reportan concentraciones anómalas de Sodio, Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros y Sulfatos. Estos iones se han originado por el intemperismo químico de las rocas volcánicas y sedimentarias que circundan a la cuenca, por emanaciones volcánicas y por la descomposición de la materia orgánica presente en los sedimentos del Lago.

Se realizó el estudio de las especies mineralógicas por el método de difracción de rayos X en varias muestras de eflorescencias y sedimentos encontrando como minerales autigénicos: Trona, Calcita, Gaylussita, Halita, Fluorita, Analcima y posiblemente Montmorillonita. Al analizar por el mismo método una muestra consistente en sales originadas a partir de la evaporación (solar) de una salmuera se obtuvo: Thermnatrita, Natron, Burkeita y Halita.

Estos datos mineralógicos y químicos nos indican la existencia de un ambiente evaporítico que ha generado salmueras ricas en Carbonato de Sodio (alcalinas), eflorescencias y minerales salinos en el sedimento; de aquí que se ha clasificado al yacimiento como un Lago Salino.

CAPITULO I

INTRODUCCION

El gran uso que tiene el Carbonato de Sodio -- por las industrias de nuestro país ha provocado un déficit en la producción interna de este álcali.

En el presente año la demanda interna será de 703,000 toneladas de Carbonato de Sodio; de las cuales el déficit existente será de 263,000 toneladas; para el año - de 1993 la demanda estimada será de 1'519,000 toneladas -- con un déficit de 1'079,000 toneladas (considerando una -- tasa promedio de crecimiento de 7.66% para los años 1982 - 1986 y de 7.11% para los años 1986 - 1993).

Actualmente existen únicamente dos productores de Carbonato de Sodio en el país: Industrias del Alkali, - S. A. y Sosa Texcoco, S. A., el primero lo obtiene por el proceso Solvay y el segundo de las salmueras naturales del Lago de Texcoco; y producen en sus plantas un promedio de 440,000 toneladas anuales; las cuales sin embargo, no son suficientes para satisfacer la demanda interna, misma que se cubre con importaciones.

En el caso de que se amplie la producción de -

una o ambas compañías, la situación deficitaria a la que se enfrenta el país no se modificaría sensiblemente; ya que la producción únicamente se ampliaría en 100,000 toneladas anuales por cada planta, sin embargo, estas ampliaciones en la producción se encuentran muy limitadas; en el caso de Sosa Texcoco problemas de abatimiento de los suelos del yacimiento le impiden ampliar su producción y para Industrias del Alkali la ampliación en la producción está limitada por los problemas de contaminación ambiental causados por los efluentes de su planta.

Debido a la necesidad de incrementar la producción interna de Carbonato de Sodio que satisfaga la demanda futura de las Industrias del país, el Fideicomiso de Minerales No Metálicos Mexicanos, creó el Programa Nacional de Evaporitas con el fin de detectar depósitos evaporíticos continentales en toda la república que sean susceptibles de ser explotados por este álcali.

Como primer paso dentro de este Programa se escogió la zona Norte del Edo. de Chihuahua por presentar las condiciones necesarias para la formación de depósitos evaporíticos continentales, consistentes principalmente en la existencia de clima árido y cuencas endorreicas, efectuándose una etapa de Exploración Regional en la cual

se prospectaron varias cuencas, encontrándose en algunas de ellas concentraciones interesantes de Carbonato de Sodio. Una de estas cuencas corresponde a la Laguna de Palomas en la cual se efectuó posteriormente un estudio geológico a semidetalle con el fin de precisar más las condiciones geológicas del yacimiento. La presente Tesis corresponde a los estudios geológicos realizados en la cuenca antes mencionada.

Aunque en la región se le conoce como Laguna de Palomas, en este estudio se ha optado por denominarla Lago Salino de Palomas atendiendo a sus características genéticas, mismas que serán indicadas en el desarrollo del trabajo.

CAPITULO II

GENERALIDADES

II.1.- Objetivo del Estudio.- El objetivo del presente trabajo consistió en efectuar el estudio geológico del Lago Salino de Palomas; con atención especial al comportamiento y distribución de las manifestaciones salinas, sedimentología y geoquímica del depósito; así como también efectuar una estimación preliminar del potencial de Carbonato de Sodio contenido en el mismo.

II.2.- Método de Trabajo.- El método utilizado consistió principalmente en dos etapas: Exploración Regional y Geología de Semidetalle.

II.2.a).- Exploración Regional.- Como primer paso dentro de esta etapa se recopiló toda la información disponible acerca de los depósitos evaporíticos continentales, tanto a nivel mundial, como a nivel nacional.

Un segundo paso consistió; apoyados en datos obtenidos en la recopilación bibliográfica, en la determinación de la zona Norte del estado de Chihuahua como una zona favorable para la formación de estos depósitos.

El tercer paso fue, y ya determinada esta zona, en delimitar la totalidad de las cuencas endorreicas localizadas en la región; para esto se utilizó el apoyo de 11 cartas topográficas DETENAL, escala 1:50,000, cuyos nombres y claves son: Gral. Rodrigo M. Quevedo (H-13-A-22), Guadalupe Victoria (H-13-A-21), Benito Juárez --- (H-13-A-32), Guzmán (H-13-A-42), Ascensión --- (H-13-A-41), El Barreal (H-13-A-33), El Sancho (H-13-A-44), La Colorada (H-13-A-54), Ojos de Santamaría (H-13-A-43), Nuevo Cuauhtémoc ----- (H-13-A-23) y la Candelaria (H-13-A-45).

El cuarto paso consistió en el reconocimiento geológico superficial de las cuencas, así como la identificación de las rocas circundantes a ellas, con el fin de determinar los posibles reacciones que entran en solución a través de reacciones de intemperismo químico. En forma simultánea al reconocimiento geológico se efectuó el muestreo de todas las manifestaciones salinas consistentes en eflorescencias y sedimentos, así como salmueras superficiales y subterráneas. A estas muestras se les practicó en el campo un análisis químico cualitativo por

vía húmeda por iones solubles en agua (Ca, Na, K, CO₃, Cl y SO₄), con el fin de obtener una mayor visión de las anomalías salinas en el campo, así como de reducir el número de muestras enviadas al laboratorio.

El quinto paso consistió en practicar a las muestras un análisis químico cuantitativo por los siguientes iones solubles en agua (Ca, Mg, Na, K, CO₃, HCO₃, Cl y SO₄).

Por último, se interpretaron los datos de campo así como los resultados de análisis, determinándose las cuencas con concentraciones anómalas de salinidad, principalmente en Carbonato de Sodio, para ser posteriormente efectuadas en ellas estudios geológicos a semidetalle y finalmente evaluativos.

Debido a los intereses particulares del Fideicomiso de Minerales No Metálicos Mexicanos, organismo bajo el cual se realizó este trabajo; se iniciaron los estudios geológicos a semidetalle en el Lago Salino de Palomas, dejándose las demás cuencas para estudios posteriores; sin

embargo en el subcapítulo de estratigrafía regional se harán algunas consideraciones de carácter geológico respecto a éstas.

II.2.b).- Geología de Semidetalle.- En esta etapa se realizó una retícula de perforación de 31 pozos - distantes entre sí 500 y 1000 m, distribuidos en una cuadrícula cuyos ejes se encuentran --- orientados N-S y E-W. Los pozos se realizaron a pico y pala, con una profundidad máxima de - 7 m y de 1.0 m y 1.5 m de sección horizontal. La ubicación de los pozos se efectuó con brújula y cinta.

El muestreo de los sedimentos en los pozos se realizó a través de muestras de canal, dependiendo la longitud de las características físicas del sedimento, tales como: salinidad, color y textura.

La salmuera fue colectada al estabilizarse el nivel de la misma, obteniéndose la densidad relativa y pH, para lo cual se utilizó un densímetro para líquidos más pesados que el agua y papel hidrión respectivamente.

Las muestras, al igual que las colectadas durante la etapa de exploración regional, fueron analizadas cuantitativamente por los siguientes iones solubles en agua: Ca, Mg, Na, K, CO_3 , HCO_3 , Cl y SO_4 . Estos análisis fueron realizados en los Laboratorios Regionales de Agronomía de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos localizados en la ciudad de Chihuahua.

Con los datos obtenidos de estos análisis se realizaron cálculos estequiométricos para obtener las concentraciones de Na_2CO_3 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 y NaCl.

Debido al objetivo principal del estudio, consistente en la exploración por Carbonato de Sodio, aunado a las limitaciones técnicas de los laboratorios mencionados anteriormente, así como a la carencia de otros que realicen este tipo de análisis a bajo costo, se prescindió de la identificación y cuantificación de determinados iones de importancia geológica y económica, tales como el SiO_2 , B y Li entre otros; de aquí que aunque no se reporten en este trabajo, no se puede descartar la presencia de ellos en el

yacimiento.

Se analizaron varias muestras por el método de difracción de rayos X en los laboratorios del Depto. de Geoquímica del Instituto de Geología de la U.N.A.M., con el fin de determinar las especies mineralógicas presentes en el lago.

II.3.- Trabajos Previos.- El área de trabajo ha sido relativamente poco estudiada. Se cuenta únicamente con tres trabajos geológicos realizados por diferentes instituciones:

El primero (inédito) realizado en 1966 por el Ing. D.A. Córdoba para el Instituto de Geología de la U.N.A.M., se titula "Informe Geológico de la Hoja Palomas (A-3) localizada al Norte del Estado de Chihuahua" trata del Estudio geológico del área.

El segundo realizado en 1969 por C.C. Reeves, Jr, para la Sociedad Geológica de Nuevo México, E.U.A., se titula "Pluvial Lake Palomas, North Western Chihuahua, Mexico" publicado en "Guide Book of the border region" trata del estudio de un lago de edad pleistocénica distribuido a nivel regional en la zona Norte del estado de

Chihuahua, México, SE de Nuevo México y SE de Texas, ---
E.U.A. y del cual formó parte el Lago Salino de Palomas.

El tercero (inédito), realizado en 1981 por --
Thomas J. Frantes, para obtener el grado de Maestro en --
Ciencias Geológicas en la Universidad de Texas en el Paso
E.U.A., se titula "The Geology of the Palomas Volcanic --
Field Luna County, New Mexico and Chihuahua, Mexico" tra-
ta del estudio petrológico de un campo volcánico terciaria--
rio de composición basáltica, localizado inmediatamente -
al NW y W del área de estudio.

Sin embargo no existen estudios relacionados
directamente a los depósitos evaporíticos localizados en
el Lago Salino de Palomas; ni en la región; por lo que se
considera a este trabajo como el primer estudio formal so
bre el tema.

II.4.- Aspecto Legal.- El área de estudio fue denun--
ciada por el Fideicomiso de Minerales No Metálicos Mexican
nos y se encuentra amparada por una concesión vigente por
exploración ante la agencia de Minería en Chihuahua.

II.5.- Aspectos Generales de las Evaporitas Continentales.- Para muchos, las evaporitas se restringen únicamente a aquellas formadas en un ambiente marino y que se encuentran distribuidas en gran parte de las rocas sedimentarias de la columna geológica. A éstas dedican años de estudio para conocer las condiciones bajo las cuales se han formado.

En contraste, son poco conocidas las evaporitas formadas en un ambiente continental; no obstante, existen numerosos lagos salinos distribuidos en casi todos los continentes y en los cuales es susceptible de estudiar actualmente los procesos físico-químicos que actúan en ellos.

Los lagos salinos usualmente son efímeros y restringidos en área; y son pocos los que han sido aprovechados económicamente; sin embargo éstos presentan aspectos hidrológicos, tectónicos, sedimentológicos, geoquímicos y mineralógicos de gran interés para su estudio, enseñando bastante sobre los procesos que han modificado la superficie terrestre a través del tiempo geológico.

Para poder comprender y aprovechar los lagos salinos es necesario obtener un mayor conocimiento de los

agentes y procesos que han intervenido en su formación; por esto, en el presente trabajo se tratará de aportar -- algunos datos sobre las características geológicas que -- controlan este tipo de depósito.

II.5.a).- Definición de Lago Salino.- Un lago salino puede definirse como un cuerpo de salmuera perenne o efímero alojado en una cuenca de tipo endorreico. Procesos constantes de gran evaporación - concentración pueden producir sales sólidas principalmente en forma de eflorescencias, capas y en desarrollo intra-sedimentario.

El límite inferior de la concentración a partir de la cual se puede considerar una salmuera ha sido ampliamente discutido por varios autores: Davis y Weist (1966) consideran más de 100,000 ppm de sales disueltas como concentración mínima (tabla 1); por otro lado H.P. Eugster y L.A. Hardie (1978 p.240) mencionan salmueras con contenidos desde 5,510 ppm de sales disueltas.

TABLA 1

TIPOS DE AGUAS

NOMBRE	TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS (ppm)
Agua Fresca	0 - 1000
Agua Salobre	1000 - 10,000
Agua Salada	10,000 - 100,000
Salmuera	más de 100,000

Tomada de Davis y Weist p.188, (1966).

El límite inferior más aceptado para definir una salmuera, y de ahí un lago salino es el -- propuesto por Beadle (1974), consistente en -- una concentración de 5,000 ppm de sales disueltas, que es el máximo de salinidad que toleran la mayoría de los organismos de "agua dulce".

El límite superior está determinado por la solubilidad de los minerales más solubles en --- equilibrio con la salmuera residual (H.P. Eugster y L.A. Hardie, op, cit).

II.5,b).- Condiciones para la formación de un Lago Salino.- Muchos lagos alrededor del mundo presentan una concentración de solutos que no excede por mucho el límite de 5,000 ppm para considerarse salino; en circunstancias especiales esta concentración se incrementa y entonces el lago se torna salino; cumpliéndose así con un conjunto de características hidrológicas y climáticas bien definidas.

Para que un lago salino se forme y persista debe cumplirse.

- 1.- Que la cuenca sea hidrológicamente cerrada (endorreica).
- 2.- Que exista la suficiente cantidad de iones en solución aportados a las cuencas.

La primer condición lleva implícito un factor climático que establece que la evaporación debe exceder al flujo de entrada a la cuenca; -- con lo cual el flujo de salida es nulo, cum---pliéndose así el carácter endorreico de la misma. Las regiones en las cuales se presenta que la evaporación exceda al flujo de entrada a -- una cuenca son aquellas dominadas por los --

climas áridos y semiáridos (desértico y semi-desértico); en apoyo a lo anteriormente expresado Leet y Judson, p.244, (1968) mencionan al referirse a las cuencas endorreicas ubicadas en las zonas desérticas, "...las cuencas persisten porque la lluvia es insuficiente para establecer corrientes y valles que conduzcan al mar". Las regiones desérticas se encuentran distribuidas en el mundo de acuerdo principalmente a la circulación de los vientos y a la latitud; W.D. Thornbury (1969) y Leet y Judson op, cit; distinguen tres tipos de regiones desérticas, a saber: Polares, desiertos topográficos o de latitud media y desiertos tropicales o de baja latitud.

Los desiertos polares se encuentran en los polos e incluyen áreas de alta presión debidas al asentamiento del aire por las bajas temperaturas; toda el agua disponible se encuentra congelada por lo que es una zona de gran aridez (H.P. Eugster, 1980).

Los desiertos topográficos deben su existencia ya sea a que se encuentran ubicados en las zo-

nas céntricas de los continentes lejos de la -
influencia de los océanos o porque la presen--
cia de altas montañas impide que los vientos -
productores de lluvia lleguen a esa región.

Los desiertos tropicales se encuentran ubica--
dos entre los 5° y 30° de latitud Norte y Sur
del Ecuador y pueden ser explicados a través
de la circulación general de la atmósfera de
la tierra.

L.A. Hardie, et, al, (1978), considera una re-
gión más, consistente en los desiertos y este--
pas orográficos (rain-shadow), independientes
de la latitud.

La segunda condición establece que debe exis--
tir el aporte suficiente de iones solubles a
la cuenca con el fin de que exista la suficiente
cantidad de sales para poder formar depósi-
tos salinos; estos iones son transportados en
solución a través de corrientes superficiales
y subterráneas. Se ha reconocido que el flujo
de entrada a los lagos salinos puede realizar-
ce de las siguientes formas : (L.A. Hardie, --

et, al, ibidem) ; por corrientes perennes que -
descargan directamente en el lago; por corrientes
efímeras, las cuales fluyen sólo ocasionalmente
durante las lluvias o quizás esporádicamente
a partir de aguas producidas por el des-
hielo en las montañas cercanas; durante aveni-
das torrenciales; manantiales perennes o efímeros
localizados en las margenes del lago, y a -
través de un flujo subterráneo perenne o efí-
mero.

Finalmente, este tipo de cuencas pueden tener
varios orígenes; siendo algunos de los más co-
munes (L.A. Hardie, et, al, ibidem, apud Hut-
chison, 1978): cuencas de origen tectónico par-
ticularmente a aquellas formadas por fallamiento
en bloques y valles "rift", cavidades produ-
cidas por deflación; depresiones interdunales
ubicadas en una región de dunas; cráter y cuer-
pos volcánicos asociados; valles cerrados por
flujos de lava o deslizamientos de tierra; an-
tiguos meandros y cuencas aisladas por barre-
ras de inundación.

Autores como L.A. Hardie, J.P. Smoot y H.P. Eugster (p.9 ibidem) consideran que las condiciones más favorables para el desarrollo de un lago salino se reúnen en las cuencas de origen tectónico (debidas a fallamiento en bloques), dominadas por los desiertos orográficos, en las cuales se combina el carácter endorreico de la cuenca, aridez del clima y aporte de iones en solución. "...En estas cuencas las montañas circundantes (horsts) actúan como una trampa efectiva para la precipitación enviándola hacia las partes bajas y áridas de la cuenca (graben), y al mismo tiempo proviendo del suficiente flujo de entrada para una significativa acumulación de iones en el lago." (ver figura 9).

II.5.c) .- Geoquímica.- Los depósitos evaporíticos continentales se han formado principalmente a partir del intemperismo químico de las rocas circundantes a la cuenca; las que liberan determinados iones en solución que entran a través de un flujo superficial o subterráneo, posteriormente estos iones son concentrados en las partes más bajas de la cuenca a través de

constantes procesos de evaporación. Otra fuente de iones lo consisten la descomposición de la materia orgánica. Las emanaciones volcánicas y manantiales termales también son aportadores -- eventuales de iones.

De lo anterior se deduce que el carácter químico de las rocas circundantes a la cuenca es un factor importante que influye en la composición final de estos depósitos.

Las aguas circulantes de carácter ácido son los principales agentes de intemperismo químico de las rocas de la cuenca. Se distinguen los siguientes tipos principales de aguas ácidas ---- (H.P. Eugster y L.A. Hardie, p.241, op. cit):

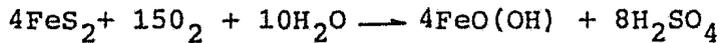
- i.- Aguas de lluvia cargadas de bióxido de -- Carbono.
- ii.- Aguas percolantes en suelos (Soil Waters).
- iii.- Aguas ácidas producidas por la oxidación de sulfuros.
- iv.- Aguas termales.

i.- El agua de lluvia se encuentra cargada de CO_2 atmosférico, el cual al ponerse en -- contacto con ésta, puede producir ácido carbónico ($\text{H}_2 \text{CO}_3$) ó el ion bicarbonato (HCO_3^-), siendo el primero un agente muy poderoso de intemperismo químico. En adición a las especies de bióxido de carbono disuelto mencionadas anteriormente, el -- agua de lluvia puede contener cantidades significativas de otros iones, siendo los cationes principales el Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , y los aniones (en adición al HCO_3^-) el Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- (H.P. Eugster y L.A. -- Hardie, ibidem).

ii.- Las aguas percolantes en suelos son aquellas en las cuales el agua de lluvia, ya cargada de CO_2 , se filtra en los huecos y poros de los suelos y rocas superficiales, con absorción adicional de CO_2 producido por descomposición de materia orgánica.

iii.- Las aguas del tercer tipo, derivan su acidez de la oxidación de sulfuros a sulfa--

tos en conjunto con la precipitación de --
óxidos metálicos o hidróxidos a través de
la siguiente reacción (A.A. Levison, p.77,
op, cit).



iv.- Los manantiales termales usualmente son de
carácter muy ácido (con pH de 3 ó menos) -
debido a la presencia de HCl y H₂SO₄ vulca
nogénico. Aunque extremadamente potente co
mo agente de intemperismo, estas aguas son
únicamente de importancia local.

Las reacciones de intemperismo más impor--
tantes son aquellas debido a interacciones
de las aguas percolantes (Soil Waters) con
las rocas que se encuentran tanto superfi-
cialmente (rocas y suelos) como en el sub-
suelo.

Considerando las reacciones de intemperis-
mo antes mencionadas efectuadas entre las
aguas de carácter ácido y las rocas circun-
dantes, es posible indicar las posibles --
fuentes de los iones más comunmente encon-

trados en las salmueras de la mayoría de los yacimientos del mundo; y que son: ----
 SiO_2 , Ca, Mg, Na, K, HCO_3 , CO_3 , SO_4 y Cl -
(L.A. Hardie, et, al, op, cit).

Sílice.- Se deriva principalmente del in--
temperismo de silicatos y en menor propor--
ción del cuarzo. La liberación de los io--
nes sílice es mayor cuando se presenta un
ambiente cuyo pH es mayor a 9 (Davis y ---
Weist, op, cit).

Calcio.- Es originado a partir de la diso--
lución de minerales como el yeso, anhidri--
ta, calcita, dolomita; y de la hidrólisis
de silicatos como las plagioclasas y piro--
xenos cálcicos.

Magnesio.- Es producido a partir del intem--
perismo de la dolomita y silicatos de mag--
nesio, encontrados en rocas ígneas y meta--
mórficas (Olivino, biotita, diópsido, tre--
molita, etc).

Sodio.- La principal fuente de este ión --

lo constituyen las plagioclasas sódicas, - y en menor proporción lo constituyen la disolución de Halita (sólo de importancia local) y de silicatos sódicos como la nefelilina, sodalita, jadeita, etc.

Potasio.- Se deriva principalmente del in-temperismo de feldespatos potásicos y mi--cas.

Carbonatos y Bicarbonatos.- La presencia - de estos iones es debida principalmente al bióxido de carbono atmosférico derivado de actividad volcánica, transpiración de organismos y descomposición de materia orgánica (B. Mason, 1966; Davis y Weist, op, ---cit). Otra fuente se obtiene de la disolución de rocas carbonatadas.

Sulfatos.- Se deriva principalmente de la disolución de yeso y anhidrita, así como - de la oxidación de sulfuros. Es un constituyente importante del agua de lluvia.

Cloruros.- Se pueden originar a partir de la disolución de minerales salinos como la halita y silvita, del agua connata en los sedimentos (inclusiones fluidas) y de la nieve y agua de lluvia de la cual es constituyente (H.P. Eugster y L.A. Hardie op, cit).

Otros iones que eventualmente están presentes en estos depósitos aunque en concentraciones nulas o poco significativas son el hierro, el boro, el litio y el flúor; deben su presencia principalmente a la disolución de minerales y rocas en los cuales se presentan como elementos constituyentes así como también a la actividad volcánica.

II.6.- Aspectos Generales del Carbonato de Sodio.

II.6.a).- Definición y Mineralogía.- El Carbonato de Sodio es un álcali que no se presenta libre en la naturaleza en su forma anhidra; se encuentra únicamente hidratado y formando compuestos más complejos con otras sales.

Los principales minerales que contienen Carbonato de Sodio son: (L.E. Mannion, 1975; p.1063, ver tabla 2).

TABLA 2

PRINCIPALES MINERALES QUE CONTIENEN CARBONATO DE SODIO*

<u>MINERAL</u>	<u>COMPOSICION</u>	<u>% DE Na₂CO₃</u>
Thermonatrita	Na ₂ CO ₃ ·H ₂ O	85.5
Trona	Na ₂ CO ₃ ·NaHCO ₃ ·2H ₂ O	70.4
Nahcolita	NaHCO ₃	63.1
Pirssonita	Na ₂ CO ₃ ·CaCO ₃ ·2H ₂ O	43.8
Northupita	Na ₂ CO ₃ ·NaCl·MgCO ₃	42.6
Naatrón	Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	37.1
Gaylusita	Na ₂ CO ₃ ·CaCO ₃ ·5H ₂ O	35.8
Dawsonita	NaAlCO ₃ (OH) ₂	35.7
Shortita	Na ₂ CO ₃ ·2CaCO ₃	34.6
Burkeita	Na ₂ CO ₃ ·2Na ₂ SO ₄	27.2
Hanksita	2Na ₂ CO ₃ ·9Na ₂ SO ₄ ·KCl	13.5

* Incluye Bicarbonato convertible a Carbonato.

De los minerales mencionados anteriormente, - los que más se han empleado como fuente económicamente explotable de Carbonato de Sodio han

sido la Trona, la Thermonatrita y el Natrón.

II.6.b).- Origen y Ocurrencia.- El Carbonato de Sodio hi
dratado es una sal de origen evaporítico contin
ental, formada por precipitación química a --
partir de la evaporación de salmueras alcali--
nas.

Se presenta en lagos salinos alcalinos forman-
do depósitos evaporíticos; en los cuales se en
cuentra en dos formas:

- i.- En solución (ionizado) en la salmuera.
- ii.- En forma sólida; como eflorescencias, mi-
nerales autigénicos aislados, sales en dede
sarrollo intrasedimentario a partir de la
salmuera intersticial y en capas monominene
ráticas o mezclado con otras sales.

II.6.c).- Minerales Asociados.- Frecuentemente el Carbo-
nato de Sodio se encuentra asociado a otras sasa
les también de origen evaporítico, entre las -
principales se encuentran la Mirabilita, -----
($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), la Thenardita (Na_2SO_4), el ---
Yeso ($\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), la Anhidrita (Ca_2SO_4) y la

Glauberita ($\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$). También se presentan otros minerales del grupo de las Zeolitas, Feldespatos, Fluorita, Celestita, Dawsonita -- (principalmente autigénicos; H.P. Eugster, --- 1980), minerales del Grupo de las Arcillas --- principalmente Montmorillonita; así como Cuarzo, Calcita, Dolomita, Aragonita y Sílice.

En algunos lagos salinos como el de Green River, Wyoming E.U.A., se ha encontrado Azufre, sulfuros como la Pirita, Marcasita y Pirrotita, hidrocarburos del tipo de la Gilsonita y - Ozokerita, así como silicatos ricos en Boro y Zirconio como la Searlesita ($\text{NaBSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$); la Reedmergnerita (NaBSi_3O_8), la Garrelsitita ----- ($\text{Ba,Ca,Mg} \text{ B}_2\text{SiO}_6(\text{OH})_3$ la Leucosfanita ($\text{Ca, Ba Na}_3\text{BTi}_3\text{Si}_9\text{O}_{29}$) y la Elpidita ($\text{H}_6\text{Na}_2\text{ZrSi}_6\text{O}_{18}$), (Bradley y H.P. Eugster, 1969).

II.6.d).- Uso.- El uso del Carbonato de Sodio o "Soda -- ash" se remonta a los tiempos del antiguo Egipto en donde era utilizado para la manufactura del vidrio.

Es un compuesto ampliamente utilizado en la actualidad por la mayoría de las industrias. Más del 50% de la producción mundial lo consume la Industria del Vidrio. La Industria Química inorgánica consume aproximadamente el 30%, y lo restante se destina a la elaboración de jabones y detergentes, sosa cáustica, productos químicos orgánicos, papel y en la metalurgia.

A continuación se presenta la distribución del consumo de Carbonato de Sodio por las distintas industrias en México (Anuario Estadístico de -- Comercio Exterior, 1982; ver tabla 3).

TABLA No. 3

DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE CARBONATO DE SODIO EN MEXICO

<u>DESTINO</u>	<u>% DEL TOTAL DE CARBONATO DE SODIO*</u>
Industria del Vidrio	56.3
Industria Química	4.4.
Elaboración de tripolifosfato de Sodio.	15.2
Elaboración de jabones y de-- detergentes.	4.1
Elaboración de silicatos di-- versos.	6.7
Otros	13.3

* Comprende producción interna más importaciones.

CAPITULO III

GEOGRAFIA

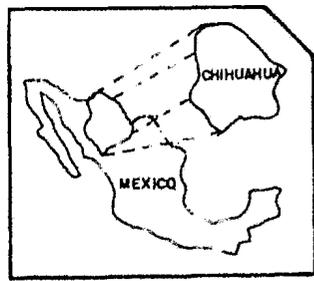
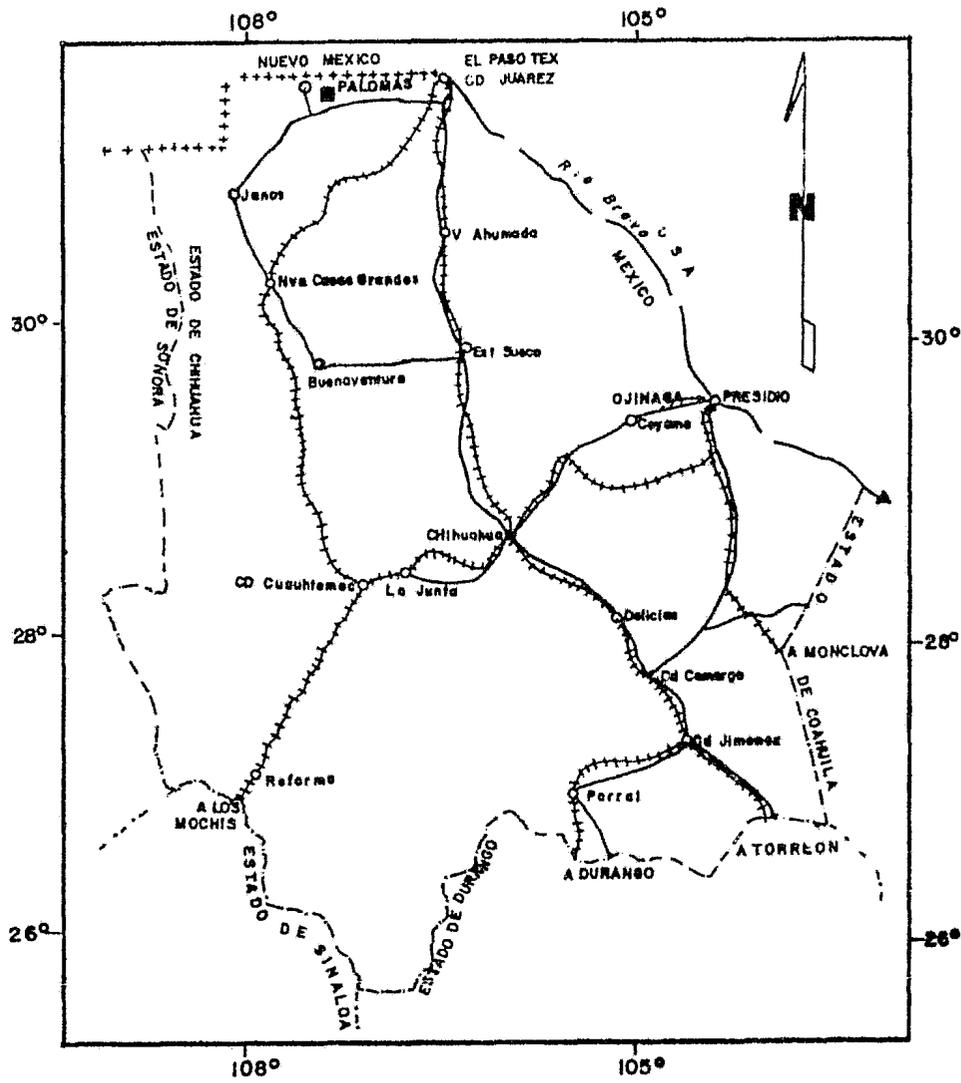
III.1.- Localización Geográfica.- El Lago "Salino de Palomas" se encuentra localizado en el extremo NW del Estado de Chihuahua, aproximadamente a 115 kms al W de Cd. Juárez y a 6 ó 7 kms al SE del poblado de Gral. Rodrigo M. - Quevedo (antes Palomas), colindante con el estado de Nuevo México en Estados Unidos. Se encuentra en terrenos del -- Mpio. de Ascensión y de los ejidos de Nuevo Horizonte, Pa lomas y Constitución de 1917, (ver planos 1 y 2).

Se limita geográficamente por las siguientes - coordenadas:

31° 47' y 31° 41' Latitud Norte

107° 38' y 107° 34' Longitud Oeste

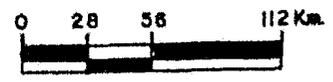
III.2.- Vías de Comunicación.- La principal vía de --- acceso al área, la constituye la carretera Federal No. 2, que comunica la población de Cd. Juárez con Casas Grandes, la cual entronca aproximadamente en el km 120 con la ca-- rretera Federal No. 23 en la que se recorren hacia el --- Norte 30 kms (8 kms antes de llegar al poblado de Gral. - Rodrigo M. Quevedo) hasta localizar un camino de terrace-- ría en el que se transitan 3 kms hacia el Este para lle-- gar al área de estudio.



EXPLICACION

- Carretera Federal
- Via de Ferrocarril
- Límite Estatal
- Límite Internacional
- Capital del Estado
- Población
- Area de Estudio

ESCALA GRAFICA



UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
 CIENCIAS DE LA TIERRA
 PLANO DE LOCALIZACION

TESIS PROFESIONAL		FLIAS OJEDA DIAZ	
ESC 1:25 000	ACOT EN Km	PLANO No 1	MAYO /1988

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

ESTADOS UNIDOS DE MEXICO

107° 35'

31° 45'

GENERAL RODRIGO M QUEVEDO
(Puerto de Palomas)

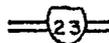
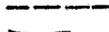
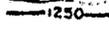
Tres Ojos

Palomas Vieja

A Casas Grandes -
CD Juárez

LAGO DE PALOMAS

EXPLICACION

- | | | | |
|---|-------------------|---|-----------------|
|  | Carretera Federal |  | Area de Estudio |
|  | Terraceria |  | Poblado |
|  | Brecha |  | Cementerio |
|  | Curvas de Nivel | | |
|  | Arroyo | | |

ESCALA GRAFICA

0 0.5 1.0 2.5 Km



Equidistancia entre curvas de nivel 10 m

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
CIENCIAS DE LA TIERRA

UBICACION DEL
LAGO DE PALOMAS

TESIS PROFESIONAL

ELIAS OJEDA DIAZ

ESC150000

ACOT EN Km

PLANO No 2

MAYO /1983

III.3.- Población y Cultura.- Debido a las condiciones extremosas de clima, aunadas a la falta de medios de subsistencia; los centros de asentamientos humanos en la región son escasos. La población más grande y activa económicamente lo constituye la de Gral. Rodrigo M. Quevedo; - que consta de una población fluctuante de 2,500 habitantes, escuela primaria, secundaria, servicio médico, energía eléctrica, radiocomunicación, servicio telefónico y resguardo aduanal. La economía de la población se encuentra ligada a las actividades de Estados Unidos, ya que -- gran parte de los habitantes laboran legal o ilegalmente en ese país, otra parte trabaja en pequeñas actividades - ganaderas y comerciales (estas últimas están asociadas en forma principal al turismo), así como en factorías transnacionales maquiladoras de productos extranjeros; un buen porcentaje de esta última parte se encuentra subempleada o sin empleo.

En conjunto con este poblado, se encuentran -- distribuidos en toda la región pequeños ranchos y rancharías agrícolas y ganaderas como el de Tres Ojos, Nuevo -- Horizonte, Constitución 1917, Josefa Ortiz de Domínguez, Colonia Benito Juárez, etc, con poblaciones que fluctúan - entre 20 y 500 habitantes.

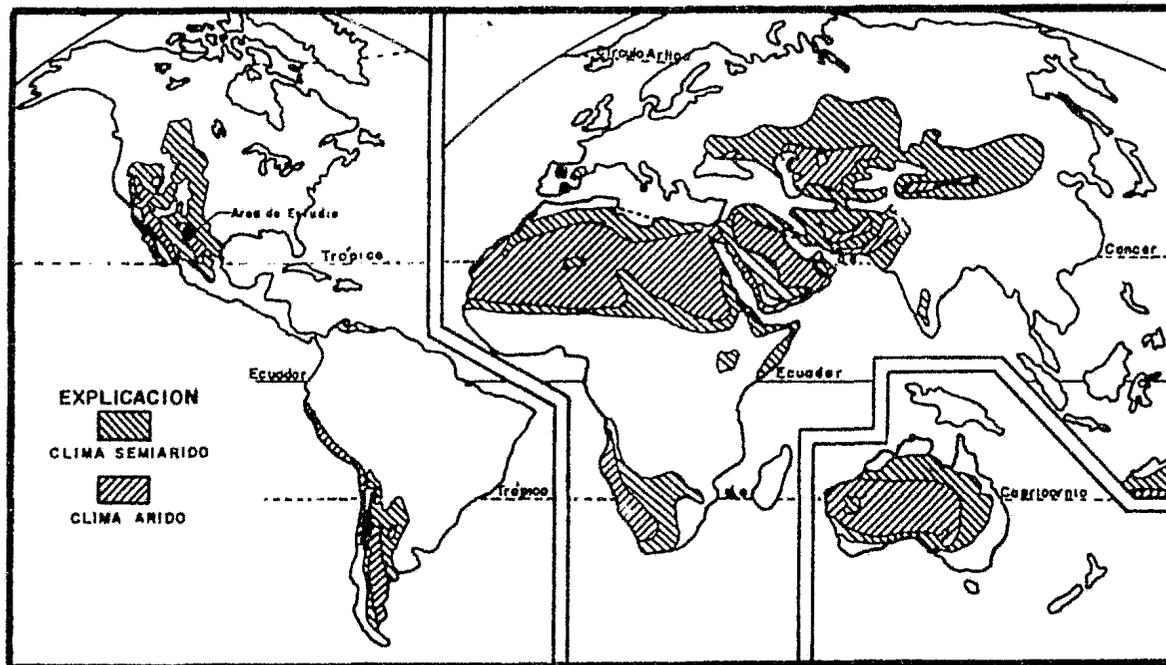
III.4.- Clima.- El clima, como ya se ha mencionado, es un factor muy importante en la formación de depósitos evaporíticos continentales, ya que sólo en las regiones con clima árido y semiárido se produce la concentración de -- sales en las cuencas.

El clima del área de estudio es extremoso, árido, seco, caluroso en primavera y verano, y frío en otoño e invierno, con escasas lluvias en verano.

Aunque la temperatura media anual es de 18°C, dista mucho de ser la real, ya que en primavera y verano las temperaturas máximas llegan hasta los 44°C; así como en otoño e invierno llegan a bajar hasta los -20°C (S.R.H. 1976).

La precipitación anual es de 200 mm; con una - evaporación-transpiración anual de 300 mm; la relación de estos dos índices, nos marcan la presencia de un clima -- árido, caracterizado por el mayor valor del índice de --- evaporación-transpiración con respecto a la precipitación (ver fig. 1).

Al aplicar el sistema de W. Koeppen, el clima de la región se clasifica como sigue (Tamayo, 1962):



DISTRIBUCION DE LOS CLIMAS ARIDOS Y SEMIARIDOS EN EL MUNDO

FIG. No. 1

Bw Kw

de donde:

- B., Clima seco
- Bw., Clima de desierto, vegetación xerófito o -
sin vegetación
- K., Clima frío, con media anual del mes más --
frío inferior a 18°C, y con media anual --
del mes más caluroso superior a 18°C.
- Kw., Lluvias en verano.

III.5.- Flora y Fauna.- La flora y fauna son caracte--
rísticas de climas desérticos y semidesérticos.

A continuación se indica la principal flora --
existente:

<u>NOMBRE COMUN</u>	<u>NOMBRE CIENTIFICO</u>
Matorral rosetófilo	<u>Agave</u> sp., <u>Yuca</u> sp.
Lechugilla	<u>Agave funkiana</u>
Gobernadora	<u>Larrea divaricata</u>
Biznaga	<u>Echino cactus</u>
Uña de Gato	<u>Acacia greggy</u>
Mezquite	<u>Prosopis juliflora</u>
Huizache	<u>Acacia mimosa</u>
Ocotillo, Gardenche	<u>Fouqueira splendens</u>

La fauna principal que habita en el medio es:

<u>NOMBRE COMUN</u>	<u>NOMBRE CIENTIFICO</u>
Aguila Real	<u>Chrysaetos sp.</u>
Ardilla Roja Americana	<u>Tamiasciurus hudsonicus</u>
Conejo Americano	<u>Sylvilagus sp.</u>
Coyote	<u>Canis latrans</u>
Serpiente de Cascabel	<u>Crotalus cerastes</u>
Cuervo	<u>Corvus corax</u>
Gato Montés	<u>Felix sylvestris</u>
Gávilan	<u>Accipiter nisus</u>
Escorpión	<u>Scorpio sp.</u>
Codorniz	<u>Coturnix coturnix</u>
Lagartija Común	<u>Lacerta hispanica</u>

CAPITULO IV

FISIOGRAFIA

IV.1.- Localización Fisiográfica.- El área de estudio se encuentra ubicada en la parte Norte de la Provincia -- Fisiográfica de Sierras y Cuencas (Basin and Range; Raisz 1964; ver plano 3).

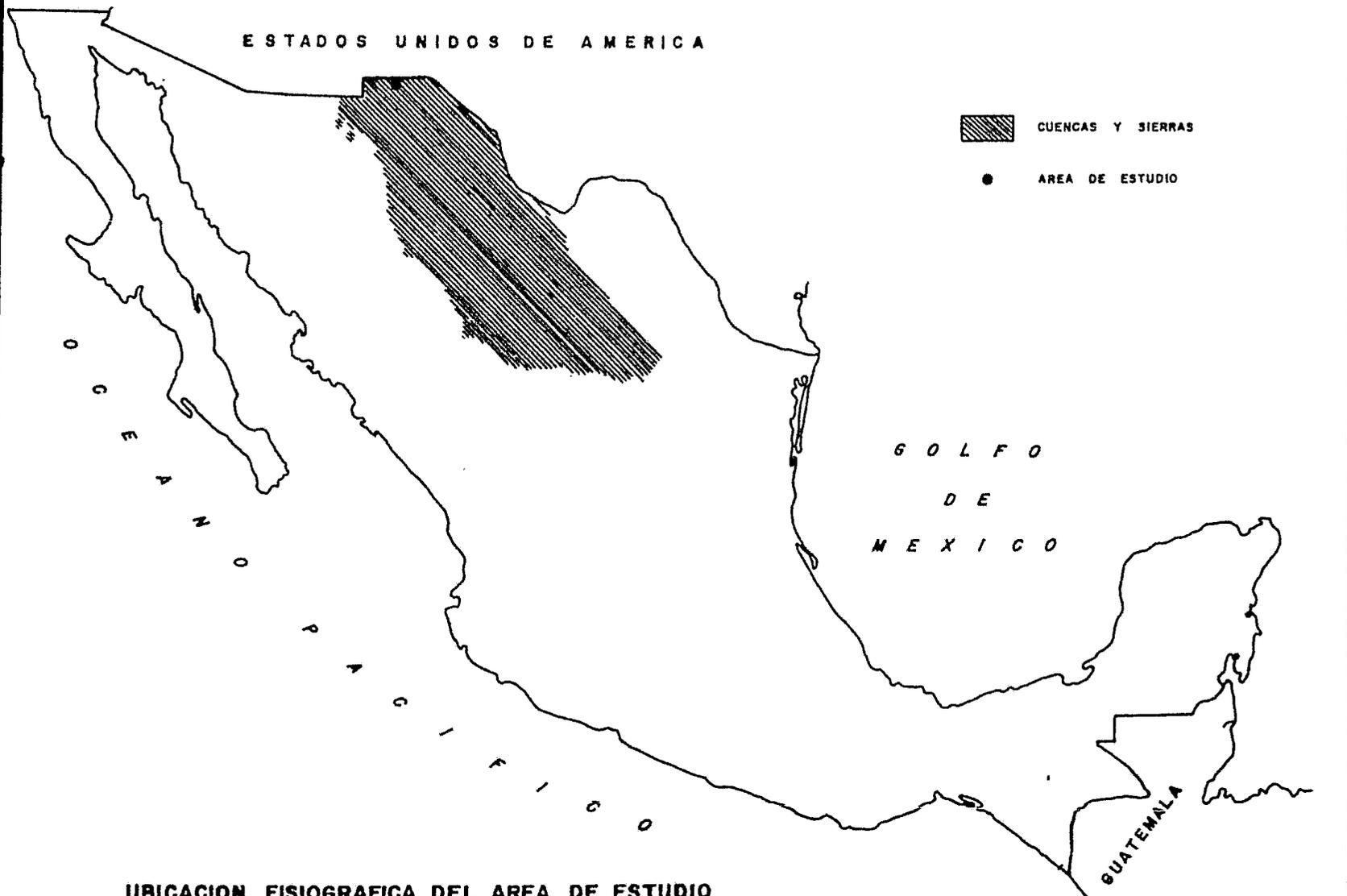
Se encuentra formada por sierras sedimentarias aisladas y alargadas en dirección NW - SE, con grandes -- cuencas endorreicas rellenas de detritus (bolsones) entre ellas. En ocasiones sobre los bolsones emergen sierras -- dómicas que representan cuerpos intrusivos de edad post--cretácica, las cuales al igual que las sierras sedimentarias presentan extensos abanicos aluviales en las partes bajas.

En algunas zonas, distribuidas principalmente - al NW del estado, las sierras y cuencas se observan cu---biertas por derrames y productos piroclásticos de composición riolítica y basáltica, como ocurre en el caso específico de la región de Palomas.

IV.2.- Fisiografía y Geomorfología.- Localmente predominan las sierras de origen volcánico sobre las sierras - alargadas de origen sedimentario. Los abanicos aluviales

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

 CUENCAS Y SIERRAS
 AREA DE ESTUDIO



UBICACION FISIOGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO

PLANO No. 3

ESCALA GRAFICA
0 50 100 200 400
KILOMETROS

y planicies acumulativas se presentan con gran extensión abarcando la mayor parte de la superficie del terreno.

La sierra de mayor relieve lo constituye el Cerro de la Rosina, el cual es de forma ligeramente alargada en dirección N - S, presenta una topografía abrupta y pendientes fuertes; el desnivel sobre la superficie del terreno es de 270 m, con una altura máxima de 1450 m.s.n.m; se encuentra constituida por derrames y productos piroclásticos de composición riolítica.

Hacia el W se presenta un conjunto de cerros y lomas de poco relieve, constituidas por estrato-volcánes y derrames lávicos de composición basáltica; el desnivel máximo es de 110 m, con una altura de 1320 m.s.n.m. Las pendientes de los aparatos volcánicos varían entre 30° y 45°, disminuyendo hacia las márgenes hasta llegar entre 0° y 5° en los lugares en donde se extendieron los flujos de lava.

Hacia el sur del Cerro de la Rosina se encuentran varios cerros formados por rocas sedimentarias marinas de poco relieve y topografía suave, los cuales se encuentran ligeramente alargados en dirección NNW-SSE, con un desnivel de 70 m y altura máxima de 1290 m.s.n.m.

Dentro de las formas originadas por la acumulación de los productos de la erosión, se encuentran los abanicos aluviales, las playas o planicies de inundación y los depósitos eólicos. Los primeros se encuentran distribuidos en las partes bajas y marginales de las sierras de origen volcánico, por lo que se encuentran formadas por detritus de estas rocas, se distribuyen ampliamente hacia el centro de la cuenca, con una pendiente menor a 15°. Algunos autores como Dunbar y Rodgers (1963), las han denominado también con los términos de bajada, pie de monte y pedimento.

Hacia las partes frontales de los abanicos y centrales de las cuencas, decrece la pendiente hasta formar planicies, las que están compuestas por sedimentos de grano fino, principalmente limos y arcillas. Son éstas el punto final de las corrientes intermitentes por lo que se les ha llamado planicie de inundación. Otros nombres también usados en forma común son el de playa y planicie alcalina (alkali Flat) cuando están cubiertas de sales precipitadas a partir de lagos efímeros (W.D. Thornbury, 1969). Un término usado en forma común para designar a los abanicos aluviales y a las planicies de inundación o playas, conjuntamente, ha sido el de Bolsón.

Distribuidos en su mayoría al N, W y NE del --
área estudiada se presentan gran cantidad de lomeríos de
bajo relieve (no exceden los 5 m) y topografía suave; for-
mados por depósitos eólicos, en los que se distinguen al-
gunos barjanes, crestas y montículos arenosos.

Considerando los criterios enunciados por M. -
Derruau y P. Macar (citados por Felipe Guerra, 1980) las
formas de relieve se encuentran dentro del ciclo de ero--
sión en una etapa de juventud tardía y madurez temprana.

IV.3.- Hidrografía.- El Lago Salino de Palomas se en-
cuentra ubicado en la cuenca hidrológica de Casas Grandes
(Blásquez, 1959) la cual es una de las tres cuencas más -
importantes de las denominadas Cuencas Internas (González
Reyna, 1956).

La cuenca del Río Casas Grandes se extiende --
desde San José Bavícora, hasta el extremo norte del pobla-
do de Palomas, comprendiendo los municipios de Casas Gran-
des, Janos y Ascensión. Capta las corrientes de los Ríos
Casas Grandes, Janos, San Pedro, Carretas y Piedras Ne---
gras, descargándolas en la Laguna de Guzmán. Esta cuenca
se subdivide a su vez en varias subcuencas, una de las cua-
les corresponde a la de Palomas (nombre informal utiliza-

do en este estudio) y que se localiza al extremo Norte, -
colindando con la cuenca del Alto Río Bravo en los Esta--
dos Unidos.

Los bajos índices de precipitación (200 mm ----
anuales), característicos de los climas áridos como el que
predomina en la región, trae como consecuencia la carencia
de ríos y corrientes permanentes, impidiendo la evolución
de una red hidrográfica.

El drenaje de la región está constituido por --
corrientes y arroyos intermitentes que modelan el paisaje
de acuerdo al tipo de rocas atravezadas, determinando la -
presencia de 3 tipos de él.

El primero es de tipo dendrítico y se aprecia -
en los cerros volcánicos de composición basáltica localiza
dos al W del área; los arroyos son del tipo consecuente, -
entre los que se cuentan el de Las Peñitas, Los Chinos, --
Quebrada Honda y Don Trini; y en parte drenan directamente
en la margen Oeste de la cuenca.

El segundo tipo de drenaje es de tipo radial --
centrífugo, el cual se aprecia en la Sierra volcánica de -
la Rosina; los arroyos son en su mayoría consecuentes y --

drenan hacia la periferia de la sierra sin ninguna dirección preferencial.

El tercer tipo de drenaje es paralelo y está asociado a los abanicos aluviales que se distribuyen al pie de la Sierra de la Rosina y de los cerros volcánicos de composición basáltica; las corrientes son consecuentes y drenan en gran parte hacia el centro de la cuenca.

CAPITULO V

GEOLOGIA

V.1.- Estratigrafía Regional.- Desde un punto de vista regional se presentan a continuación las principales Formaciones que afloran en la zona Norte del Estado de Chihuahua y las cuales se encuentran constituidas por rocas sedimentarias marinas del Paleozoico y Mezozoico, rocas ígneas extrusivas e intrusivas del Terciario y depósitos continentales (eólicos, aluviales y lacustres) principalmente de edad Cuaternaria (ver plano No. 4).

Debido a lo complejo de la nomenclatura existente en las Formaciones del Norte de Chihuahua, en la que una misma unidad litológica puede estar definida por dos o más nombres, se han adoptado en este trabajo aquellos que son usados en forma más común.

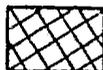
V.1.a).- Paleozoico.- Las rocas más antiguas de la región se han identificado en las Sierras de Palomas, Boca Grande (o Chinos) y de Enmedio (o Santa Rita); localizadas al Oeste y Suroeste del poblado de Gral. Rodrigo M. Quevedo (antes Palomas); con una edad que varía del Misisípico al Pérmico.

S. Charleston en 1962, al estudiar la Sierra -- de Palomas (en la que se encuentra representada toda la columna del Paleozoico de la región) -- identificó 7 unidades, a las que debido a su si militud litológica, ubicación estratigráfica y contenido faunístico, correlacionó con las Formaciones que afloran en las Montañas Big Hat--- chet, localizadas en el estado de Arizona a 20 km al Oeste de la Sierra de Palomas; por otro lado, Díaz y Navarro (1964) definieron otra uni dad que descansa concordantemente sobre las anteriores. Estas Formaciones, que serán descri-- tas a continuación, han sido definidas por Ze-- ller en 1958 en las Montañas antes mencionadas, y son, de la más antigua a la más joven: F. Escabrosa (o Hachita-Keating), F. Paradise, F. -- Horquillas, F. Earp, Caliza Concha, F. Epitaph, F. Scherrer y Caliza Colina (Ver Fig. 2).

F. Escabrosa.- En las Montañas Big Hatchet esta Formación se presenta como calizas de color --- gris claro con calcarenitas de grano grueso y - abundantes crinoides y nódulos de pedernal.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL PALEOZOICO EN LA SIERRA DE PALOMAS

ERA	SISTEMA	SERIE	SIERRA DE PALOMAS, CHIH.
PALEOZOICO	PERMICO	OCHOA	?
		GUADA-LUPE	?
		LEONARD	Form. Concha
		WOLF-CAMP	Form. Scherrer
		WOLF-CAMP	Form. Epitaph
		WOLF-CAMP	Ciz. Colina
		WOLF-CAMP	Form. Earp.
	PENSILVANICO	VIRGIL	Form Horquilla.
		MISOURI	
		DES MOINES	
		MORROW	
	MISSISIPICO	CHESTER	Form Paradise
		MERANIC	Form. Escabrosa?
		MERANIC	Form. Escabrosa?



NO EXPUESTA

DE S CHARLESTON, 1962
Y DIAZ Y NAVARRO, 1961

FIG. No. 2

En la Sierra de Palomas se presenta con un espesor de 90 m. Charleston, op, cit, ha identificado dos miembros; el superior está caracterizado -- por capas de caliza de color gris oscuro y claro, de textura microcristalina, algunas con aspecto sacaroides posiblemente debido a la presencia de dolomita; el miembro inferior está constituido por calizas de color gris claro, en estratos que varían de 0.40 m a 0.60 m y que contienen escasos nódulos de pedernal, con abundantes tallos de crinoides y corales (Zaphrentis - sp) del Misisípico, los cuales en ocasiones llegan a formar verdaderas coquinas. El contacto superior es gradual.

Debido a los fósiles colectados, así como a la situación stratigráfica de esta Formación con respecto a las que la sobreyacen, se le ha asignado una edad del Misisípico inferior al final del Misisípico medio (Charleston, ibidem).

Formación Paradise.- Se presenta en la Sierra de Palomas con un espesor de 145 m.

La parte inferior se encuentra formada por estratos delgados de areniscas y lutitas de color pardo claro así como de calizas oolíticas de color gris. A estos estratos le siguen lutitas de color gris oscuro, con Arquimides sp. interesstratificadas con areniscas y calizas de color gris oscuro con Inflatia sp. y Spirifer sp. del Misisípico (Charleston, ibidem). A estos estratos sobreyacen calizas de color negro, con un espesor que varía de 0.20 m a 0.40 m con abundantes corales y braquiópodos (Linoproductus sp.)

El contacto con la Formación superior es gradual y se encuentra marcado por la presencia de fusulínidos de edad Darriana, lo que indica el contacto con el Pensilvánico Superior (Díaz y Navarro, 1964).

De acuerdo a los fósiles colectados, a esta Formación se le asigna una edad del Misisípico Superior (Charleston, op, cit).

Formación Horquilla.- Se encuentra al Norte del valle erosional que está aproximadamente a 7 -- km al Noroeste del Rancho de Boca Grande, en -- donde se presenta con un espesor aproximado de 1045 m y está formada esencialmente de calizas bien estratificadas, aunque en ciertas partes -- se hacen masivas. Son calizas oolíticas de color gris claro con estratos de 0.40 m a 0.60 m de espesor, con nódulos de pedernal y fósiles -- de braquiópodos, corales, crinoides y algunos -- fusulínidos de los generos Profusulinella, ---- Millerela, Coschubertella y Stafella de la Serie Morrow de principios del Pensilvánico y -- otros de las Series Desmoinesiano, Misuririano y Virgiliano también del Pensilvánico (Charleston, ibidem). El contacto superior es gradual.

De acuerdo al contenido faunístico se le ha -- asignado a esta Formación una edad de inicios del Pensilvánico a inicios del Pérmico (Charleston, ibidem).

Formación Earp.- Consiste en 215 m de Calizas y Dolomías de color gris, con escasas y delga-

das intercalaciones de lutitas de color gris -- claro y ligeramente pardo, así como una zona -- errática y lenticular de yeso, la cual a su vez tiene interestratificaciones de lutitas y dolomías silíceas (Díaz y Navarro, op, cit). El con tacto con la Formación superior es gradual.

Se colectaron algunos fusulínidos de los géne-- ros Linoproductus sp., Heritschoides sp., ----- Omphalotrochus sp., y Schawagerina sp.

Charleston, op, cit, al correlacionar esta Formación con las que afloran en las Montañas Big Hatchet le asigna una edad del Wolfcamp infe--- rior.

Formación Colina.- Se encuentra formada aproximadamente por 185 m de calizas que intemperizan en colores gris oscuro a negro y rodean la parte Sur y Sureste de la Sierra. Ocasionalmente - presentan intercalaciones de lutitas de color - pardo, así como areniscas pardo claro y grises, ligeramente amarillentas e intemperizando en -- color ocre (Díaz y Navarro, op cit). El contac to con la Formación superior es gradual.

La fauna que se ha identificado consiste en --
los gasterópodos del género Straparollus -----
(Euomphalos) cornudanus (Shumard) (Charleston,
op, cit).

La presencia de los fósiles antes citados le -
asigna una edad que varía del Wolfcamp al Leo-
nard, sin embargo Charleston, (ibidem), por la -
situación estratigráfica que guarda esta Forma-
ción con las que afloran en las Montañas Big -
Hatchet le asigna una edad de finales del ---
Wolfcamp inferior al Wolfcamp medio.

Formación Epitaph.- Presenta un espesor aproxi-
mado de 475 m, correspondiendo los 100 m infe-
riores a lutitas de color verde y pardo, con -
capas interestratificadas de dolomías y arenis-
cas de grano fino de color gris oscuro y amari-
llo respectivamente, y de 0.40 a 0.60 m de
espesor. Arriba de estos sedimentos se encuen-
tran unos conglomerados con intercalaciones --
irregulares de lutitas y limolitas así como --
areniscas de color rojizo de estratificación -
laminar. Estas se encuentran cubiertas por ---
unas dolomías de color gris claro en estratos

que varían de 0,10 a 0.80 m de espesor.

En la parte superior de esta Formación se encuentran unas areniscas de grano fino cementadas por CaCO_3 y con interestratificaciones de lutitas y calcarenitas de color pardo amarillento.

Aunque no se han colectado fósiles determinativos, la relación estratigráfica que guarda esta Formación con las que afloran en las Montañas Big Hatchet le asignan una edad del medio a casi finales del Wolfcamp (Charleston, ibidem).

Formación Scherrer.- Se presenta con un espesor de 116 m; de los cuales, los 50 m inferiores están formados por calizas de color gris claro en estratos gruesos de 0.80 a 2.0 m de espesor y con bandas de pedernal de color pardo rojizo.

Los 66 m restantes superiores están formados por dolomías de color gris claro, de textura criptocristalina, en estratos de 0.10 a 0.30 m, con nódulos de pedernal de color pardo rojizo y abundantes braquiópodos.

El contacto superior de esta Formación no ha sido observado, sin embargo Díaz y Navarro, (op, - cit,) consideran que ocurre en la base de un intervalo de 3.0 m, el cual, salvo sus 50 cm superiores, está totalmente cubierto.

Charleston, op, cit, en una sección medida en la parte inferior de esta Formación encontró fusulínidos del género Schwagerina sp. y braquiópodos característicos de la Serie Leonard del Sistema Pérmico, este mismo autor, al relacionarla estratigráficamente con las Formaciones que afloran en las Montañas Big Hatchet, la restringe en edad del final del Wolfcamp al Leonard medio.

Formación Concha.- Se cree que los sedimentos de esta Formación son los más jóvenes del Pérmico que afloran en la Sierra de Palomas.

Díaz y Navarro (op, cit) han distinguido dos miembros.

El miembro inferior consta de 90m; y están formados por calizas de color gris y gris claro, -

en ocasiones con tonalidades en color rosa. ---
Tienen una potencia de 0.10 a 1.0 m y presen--
tan una textura criptocristalina a finamente --
cristalina, aunque también se observan algunos
estratos de grano grueso. En la base de este --
miembro se han colectado braquiópodos de edad -
Leonardiana y el fusulínido Schwagerina sp. ---
(Díaz y Navarro, ibidem).

El miembro superior mide 140 m y está constituí
do por dolomías de color gris a gris medio y --
pardo verdoso en diferentes horizontes de estra
tificación delgada. La textura es litográfica a
grano fino con intercalaciones limosas, silí---
ceas y calcáreas.

El contacto superior se encuentra marcado por -
una discordancia con rocas de edad cretácica --
pertenecientes a la Formación Las Vigas (Char--
leston, op, cit).

Aunque no se han colectado fósiles que determi-
nen la edad de esta Formación, Díaz y Navarro,
ibidem, por relaciones estratigráficas con las
rocas que afloran en las Montañas Big Hatchet

en Arizona, le asignan una edad del medio al --
final del Leonard.

- .1.b).- Mesozoico.- Se desconocen afloramientos de ro--
cas Triásicas en la zona Norte del Edo. de ---
Chihuahua; tal vez debido a que en ese tiempo -
la región se encontraba emergida (?).

Las rocas que representan al Mesozoico consis--
ten en afloramientos de edad Jurásica y Cretáci--
ca, distribuidos principalmente en las Sierras
de: Aguilaś, Juárez, Muleros, Montañas Franklin
Banco de Lucero, Sapelio, etc.

Jurásico.- Como rocas de edad Jurásica se cono--
cen únicamente algunos afloramientos localiza--
dos en la Sierra de Aguilas, ubicada a 28 km al
S-SE de Palomas y al Norte de la Colonia Vera--
cruz.

Esta unidad ha sido estudiada y descrita por el
Ing. D.A. Córdoba para el Instituto de Geología
de la U.N.A.M. en 1966, y consiste en calizas -
detríticas, limolitas, areniscas y conglomera--
dos, los cuales se encuentran subyaciendo a la

Formación Las Vigas del Cretácico Inferior. El contacto entre estas Formaciones parece estar - marcado por una discordancia, la cual, sin embargo no se ha observado ya que se encuentra cu-- bierta. D. A. Córdoba, (ibidem), considera que de bido a que ambas unidades muestran un pequeño - cambio estructural, el contacto es a través de una falla.

La base de la unidad no aflora, pero se encuen- tran expuestos 409 m de ella. Las rocas están - bastante fracturadas e intemperizadas. La parte superior está constituida por calizas gruesas, masivas, de grano medio, de color gris oscuro a negro, con interestratos de limolita de color - rosado a rojizo. Además de estos interestratos se encuentran cantidades subordinadas de arenisca calcárea y un conglomerado que incluye gui-- jones de pedernal, calizas y areniscas.

En la parte inferior se presenta también una -- caliza masiva de color gris oscuro a negro, de grano grueso, que contiene interestratos de are nisca calcárea gris oscuro. En la parte basal - aflora un arrecife coralino de 200 m de largo y

de un espesor de 20 m, debajo del cual se encuentra un cuerpo de areniscas calcáreas con un interestrato de lutita de color verde olivo, la parte calcárea de esta unidad presenta fósiles entre los que abundan los corales que le asignan una edad del Jurásico Superior (D.A. Córdoba, ibidem).

Los fósiles identificados fueron: Actinastrea crasso - ramosa, Actinastrea tenuisepta, thamnasteria M'Coyi, Thamnasteria lamousouxi, Cladophyllia dichotoma, Monstratea cyclops y Pladophyllia chihuahuensis, (B.E. Buitrón, 1974,) de los cuales, los primeros corresponden a especies Europeas ya conocidas y el último es una especie nueva.

Asociada a esta fauna se encontró la especie de erizo de mar Caenocidares cf. C. cucumífera (Agassiz) (Echinoidea Cidaraidea). (B.E. Buitrón, ibidem).

Otras rocas que eran consideradas de edad Jurásica y aún paleozoica dentro de la zona Norte del Edo. de Chihuahua, se encuentran representa

das en la Sierra de Samalayuca, sin embargo diversos estudios indican que son de edad Neocomiana (Donald S. Webb, 1969).

Cretácico.- Los afloramientos cretácicos de la región muestran rocas que van del Neocomiano inferior al Turoniano, distribuidos en diversas localidades. La secuencia completa se representa entre la Sierra de Juárez y la Sierra de las Águilas por lo que las Formaciones se describirán de acuerdo a las rocas de estas dos Sierras.

La Sierra de Juárez se encuentra ubicada inmediatamente al W de Cd. Juárez, y en ella afloran rocas de las Formaciones Cuchillo, Benigno Lágrima y Finlay (estas tres últimas del Grupo Chihuahua) y las Formaciones Arroyo Colorado, Juárez y la Mina (del Grupo Ojinaga) con edades que varían de finales del Neocomiano al Turoniano (ver fig. 3).

Formación Cuchillo.- Toma su nombre de la localidad Cuchillo Parado, en la Sierra del mismo -

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA SIERRA DE JUAREZ

SISTEMA	SERIE	PISOS EUROPEOS		SIERRA DE JUAREZ
C R E T A C I O	SUPERIOR	MAESTRITCHIANO		
		CENO- NIANO	CAMPANIANO	
			SANTONIANO	
			CONTACIANO	
		TURONIANO		
	CENOMANIANO		GRUPO OJINAGA	
	INFERIOR	ALBIANO	SUPERIOR	FM. BENEVIDES
			MEDIO	FM. FINLAY
			INFERIOR	FM. LAGRIMA
		APTIANO	GARGASIANO	FM. BENIGNO
			BEDOULIANO	FM. CUCHILLO
		NEOCOMIANO	BARREMIANO	
			HAUTERIVIANO	
	VALANGINIANO			
	BERRISIANO			



NO EXPUESTA



NO APARECE

(POR CORDOBA, RODRIGUEZ T, GUERRERO G, 1970
Y CORDOBA, 1969 b)

FIG. No. 3

nombre. Burrows (1910) describe a la localidad - tipo como sedimentos en facies lagunar, supraya ciendo a los lechos Rojos de la Formación Las Vigas en el camino que conduce a la Mina La --- Aurora, con una sección de 610 m de espesor, -- caracterizada por la presencia de gruesos espe- sores de Yeso.

Esta formación en la Sierra de Juárez está cons- tituida por calizas de color amarillento con -- abundantes fragmentos de conchas. Se encuentran separadas por calcilutitas laminares de color - rojizo y verdoso que en la mayoría de los casos se encuentran reemplazadas por gruesas capas de Yeso.

Aunque Burrows no definió edad para esta Forma- ción, Burckhardt (1930) en base a la presencia de Dufrenoya y Douvillicerias le asigna una edad del Neocomiano Superior al Albiano inferior -- (López Ramos, 1982). Otros fósiles que se han - identificado son Exogyra quitmanensis (Cragin), Trigonia wendlevy (Whitney) y Dufrenoya justinae.

Formación Benigno.- Esta Formación fue establecida por Nichols en 1958 en el área de la Sierra de los Fresnos con un espesor de 823 m (López Ramos; ibidem). En el área del Cuervo consiste de calizas masivas a estratificación media de 0.60 m de espesor medio, son color gris oscuro y de tipo platafórmico (López Ramos, ibidem), su espesor es de 206 m. En la región de San Ignacio, la misma caliza masiva contiene -- Orbitolina sp. cerca de la cima. En la porción media se ven capas de limolita calcárea y caliza nodular con Toucasia, sp.

El miembro inferior es una alternancia de calizas con limolitas que contienen amonitas (Schloenbachia, sp.) con un espesor de 320 m (López Ramos, ibidem).

D.A. Córdoba en el área de Juárez (1969 a) midió 206 m de caliza gris oscuro en estratos -- gruesos de 2 y 3 m de espesor, formados por limolitas calcáreas de color gris y lutitas negras, así como gruesos horizontes arrecifales -- con rudistas. En la Sierra de Alcaparra situada al Sur de Cd. Juárez afloran 327 m similares a

a los de las rocas de la Sierra de Juárez,

En el flanco SW de la Sierra de la Boquilla presenta 550 m de limolitas calcáreas a wackestones grises con miliólidos, caprínidos y toucasias del género y especie Dicyclina schlumbergieri, Orbitolina texana, algas y equinodermos, los que también indican un ambiente de depósito de Nerítico a cuenca (López Ramos, 1982).

La parte estratigráficamente más baja de esta Formación es correlacionable con la Formación Lucero la cual se encuentra distribuida en la Sierra de Banco de Lucero, situada a 15 km al NW de Villa Ahumada.

Debido a su contenido faunístico, la edad de esta Formación es de finales del Albiano inferior y se correlaciona con la parte basal de la Formación Aurora y a la Formación Glen Rose de Texas (López Ramos, ibidem).

Formación Lágrima.- Este nombre ha sido usado por Córdoba desde 1968 en la Sierra de Juárez -

y está basado en una sección hecha por Haenggi en 1966 en el área del Cuervo. Esta unidad se encuentra estratigráficamente arriba de la Formación Benigno y está más ampliamente distribuida en el NE de Chihuahua.

La litología consiste de calizas de color gris claro, densas, nodulares, microcristalinas, de capas delgadas y gruesas; se presentan abundantes Orbitolina texana y Caprinuloidea sp. en el miembro inferior (D.A. Córdoba, 1969 a).

Esta Formación cambia gradualmente hacia el Sur a la parte inferior de la Formación Ahumada en la Sierra de Banco de Lucero.

Debido a su situación estratigráfica con respecto a las Formaciones que la subyacen y sobreyacen que son del Albiano, D. A. Córdoba, (ibidem), considera que la edad de esta Formación es del Albiano Medio.

Formación Finlay.- Esta Formación fue inicialmente propuesta desde 1904 para 100 m de espesor de una secuencia de calizas masivas con in-

terestratos de areniscas localizados en las Montañas Finlay. Una nueva localidad tipo ha sido propuesta por Brunson en 1957 en el Cañón Flat al NE de las Montañas mencionadas.

En la Sierra de Juárez se presenta con un espesor de 130 m y contiene abundantes fósiles de - Dictyconus wallnutensis (Carsey) en los 40 m superiores así como Toucasia sp y Caprinuloidea sp en la parte inferior. D.A. Córdoba (1969 a), -- menciona la presencia de Exogyra sp, Ostrea sp, Gryphaea mucronata, Lunatica sp y Pecten sp en las capas más inferiores de la Sierra de Juárez.

Debido a que esta Formación se encuentra entre rocas del Albiano, D. A. Córdoba, ibidem, le -- asigna una edad de finales del Albiano medio.

Las tres últimas formaciones (Benigno, Lágrima y Finlay) han sido incluidas en un Grupo denominado Chihuahua (D. A. Córdoba, 1969 a) con una edad del Albiano inferior al medio.

Formación Benevides.- Esta Formación fue propuesta por Amsbury en 1957 para una sección de

50 m de lutitas de color gris y negro y para -
unas calcarenitas de color gris amarillento en
las cercanías del Rancho Benevides en el área
del Cañón Prieto en Presidio County, Texas. En
la Sierra de Banco de Lucero está representada
por la parte superior de la Formación Ahumada.

Está constituida básicamente de lutitas con --
intercalaciones de mudstone arcilloso, wackes-
tone y packstone de color gris oscuro a gris -
claro en estratos delgados a medios, contiene
gran variedad de fósiles entre los que desta--
can amonitas, gasterópodos, equinodermos, pele-
cípodos, exogyras y caprínidos; así como bio--
clastos de moluscos y fragmentos de corales, -
contiene además nódulos de pedernal (López Ra-
mos, 1982).

Las amonitas colectadas le asignan una edad --
del inicio del Albiano Superior (D.A. Córdoba,
1969 a.)

Grupo Ojinaga,- Burrows en 1909 designó con el nombre de Formación Ojinaga a las lutitas y -- areniscas con estratos subordinados de caliza, dolomía y limolita, conteniendo concreciones - calcáreas, amonitas e Inoceramus sp, con un es- pesor de 650 m, siendo su localidad tipo el -- área de Ojinaga (López Ramos, 1982).

Esta Formación sólo se encuentra en la porción Norte y NE del área y está constituida por are- niscas, lutitas y limolitas arcillosas de co-- lor gris oscuro a negro, con abundantes amoni- tas e Inoceramus sp, y con esporádicas estruc- turas laminares en las limolitas, con estrati- ficación delgada a gruesa, y potentes cuerpos de lutitas de más de 40 m de espesor.

La fauna contenida es Peroniceras aff. Subtri- carinatum y Proplacenticeras del Santoniano -- (López Ramos, ibidem).

D.A. Córdoba (1969 b.) al estudiar la Sierra de Juárez propone el cambio de Formación Ojinaga a Grupo Ojinaga correlacionándolo con la Forma- ción Loma de Plata de la Sierra de Banco de --

Lucero. A su vez lo subdividió en tres Formaciones, a saber:

F. Arroyo Colorado.- Consistente en areniscas - calcáreas de color pardo rojizo, interestratificadas con lutitas de color gris olivo y calizas limolíticas gris oscuro.

F. Juárez.- Consisten en calizas grises de grano fino, nodulares y con estratificación ondulante; interestratificadas con lutitas pardas y areniscas rojas.

F. La Mina.- Son lutitas de color gris a negro, con interestratos de areniscas calcáreas de color gris.

D. A. Córdoba, (ibidem,) le ha asignado una edad del Cenomaniano - Turoniano.

Sierra de Las Aguilas.- Esta Sierra se encuentra localizada a 28 km al S - SE del poblado de Palomas y al Norte del poblado de Veracruz. -- En ella se presentan calizas de la Formación - Las Vigas descansando sobre rocas de edad ----

Jurásica (ya descritas) posiblemente a través de un contacto por falla (D.A. Córdoba, 1966).

D. A. Córdoba, (ibidem,) la ha estudiado ampliamente; describiéndola de la siguiente forma:

Esta Formación se encuentra en contacto tectónico con calizas del Jurásico Superior, y está cubierta por rocas volcánicas terciarias. Su contacto (superior) con la Formación Porvenir (correlacionable con la Formación Cuchillo) no aflora por estar cubierta por rocas volcánicas ácidas.

La Formación consiste en una arenisca de cuarzo de color pardo claro, de grano fino a medio en estratos de espesor medio y con interestratos de limolita, lutita y caliza. En la parte media de la unidad, las capas de areniscas cambian lateralmente a lentes de conglomerado formado por guijones de arenisca y caliza. Algunos de estos estratos de caliza contienen abundantes moluscos pequeños, así como lamelibranquios hasta de 8 cm de largo (Cardium sp) formando coquinas. La parte inferior de la unidad

está constituida principalmente por areniscas - de cuarzo, de color gris azulado y de grano medio, con interestratos de limolita arcillosa y algunos bancos de caliza negra.

El espesor de esta Formación es de 674 m y no es el completo pues la base de la unidad está probablemente fallada y la cima está cubierta por rocas volcánicas de composición ácida (D.A. Córdoba, ibidem).

El espesor de la Formación Las Vigas en otras áreas es de 1,200 m en la Sierra de los Lamentos, de 1,333 en las Montañas Quitman y de 930 en la parte Norte de la Sierra de La Ventana.

El depósito de esta Formación en esta parte del Estado de Chihuahua representa una facies cercana a la costa, del tipo de Barra, en los límites de la cuenca de depósito (López Ramos, ---- 1981).

Aunque la edad de esta Formación no está bien definida por la ausencia de fósiles indicadores D.A. Córdoba (1966) la sitúa en un intervalo de tiempo del Neocomiano inferior a la par

te superior del Neocomiano medio (Berrisiano -- Hauteriviano). Por otra parte, E. López Ramos -- (1982) le infiere una edad del Neocomiano a ini cios del Aptiano inferior.

Otra localidad en donde aflora esta Formación -- es la Sierra de Boca Grande, ocupando la parte más alta estratigráficamente al descansar discordantemente sobre las calizas Pérmicas de la Formación La Concha.

Las rocas que afloran en la Sierra de Juárez y Sierra del Aguila cubren entre sí las Formaciones presentes del Cretácico en la zona Norte -- del Estado de Chihuahua (Neocomiano - Turonia-- no) cambiando lateralmente a otras Formaciones presentes en la Sierra de Banco de Lucero, Samalayuca, etc.

V.1.c).- Cenozoico.- Las rocas correspondientes al Cenozoico se encuentran representadas por Rocas Igneas Intrusivas y Extrusivas de edad terciaria y Depósitos continentales de edad Cuaternaria. De éstas, las que se encuentran más ampliamente distribuidas en la superficie son las del -

cuaternario.

Terciario.- Cuerpos ígneos intrusivos de composición intermedia y ácida, así como productos - piroclásticos de composición andesítica, riolítica y basáltica, son las rocas predominantes - en la región en este intervalo de tiempo.

Rocas Igneas Intrusivas.- Se conocen dos zonas importantes en la que afloran rocas intrusivas, una se encuentra en la Sierra de Muleros al Norte del Estado de Chihuahua, y la otra en las -- Sierras de Candelaria y Ranchería en las cercanías de la población de Villa Ahumada.

En la Sierra de Muleros afloran "Sienitas" de - edad Eoceno - Oligoceno, afectando y deformando rocas marinas de edad cretácica; las cuales sin embargo han sido clasificadas por Lovejoy en - 1972 como mantos y lacolitos andesíticos post--orogénicos, mismas que han afectado esta Sierra al igual que la de Juárez con fallas de rumbo - Norte - Sur, sugiriendo que el fallamiento de - la Fosa de la cuenca del Río Grande (o Río Bravo) es de tipo Sierras y Cuencas; el cual se -

inició en el Eoceno medio (López Ramos, 1982).

En las Sierras de Candelaria y Ranchería (o del Kilo) se presentan Troncos (Stocks), Apófisis - Graníticas-Granodioríticas, cuerpos intrusivos de composición Sienítica y diques Andesíticos - que se encuentran intrusionando a una secuencia sedimentaria marina de edad cretácica (M. Royo, 1982). La edad de estas rocas es del Oligoce--no ? (López Ramos; 1982).

Rocas Igneas Extrusivas.- Las rocas extrusivas comprenden derrames y productos piroclásticos - de composición andesítica, riolítica y basáltica, y se encuentran distribuidas en diversas localidades de la región.

Andesitas y Riolitas.- En un intervalo de tiempo que comprende del Eoceno al Oligoceno se desarrolla un vulcanismo en el Norte de Chihuahua y Sur de Nuevo México, E.U.A., del tipo calco--alcalino y de zona de subducción, representado por la extravasación de rocas andesíticas y riolíticas (Seager y Morgan, 1979). Estas rocas se distribuyen en las Sierras de la Rosina, de --

Borregos, de Ojos Altos, Cerro del Venado, del Tásate, Cerros Bayos, Sierra de La Nariz, etc en el Edo. de Chihuahua y Sierra de las Tres -- Hermanas en E.U.A.

Basaltos.- En un período de vulcanismo de dis-- tención asociado a la formación de la Provincia de Sierras y Cuencas (Basin and Ranges) o al -- del Rift del Río Grande, se generaron rocas volcánicas de composición básica, entre las cuales predomina el Basalto de Olivino (T.J. Frantes, 1982). Estas rocas se encuentran distribuidas - en el Campo Volcánico de Palomas, las Montañas West Potrillo (J.M. Hoffer, 1969), Sierra de la Nariz, Cerro al Norte y Sur de la Estación Guzmán, Sierra de Fresnal, Sierra el Mal País, etc.

La parte inferior de este vulcanismo está repre-- sentada por basaltos andesíticos que marcan el cambio entre las riolitas y andesitas de composición calco-alcalina y los basaltos alcalinos; y están asociados a la subducción de la placa - Farallón (M. Royo, 1982) y a la formación del - Rift del Río Grande o Sierra y Cuencas (T.J. -- Frantes, op, cit) respectivamente.

La edad del vulcanismo básico es de finales del Plioceno hasta inicios del Pleistoceno (Seager y Morgan, op, cit).

Cuaternario.- Las rocas de esta edad se han originado en un ambiente continental; y se encuentran representadas por depósitos aluviales, sedimentos lacustres y depósitos eólicos.

Los depósitos aluviales y lacustres se empezaron a originar en el terciario medio inmediatamente posterior a la formación de la Provincia de Sierras y Cuencas, sin embargo, se tratarán en este inciso debido a que presentan su mayor desarrollo en el Pleistoceno, al igual que diversos Lagos de Norteamérica.

Depósitos Aluviales.- Se han originado por la erosión de las rocas presentes en la región. Forman amplios abanicos aluviales a partir de las laderas de las sierras sedimentarias e ígneas anteriormente mencionadas. Consisten en acumulaciones de pie de monte compuestas por

fragmentos de roca de distintos tamaños, cuya composición depende de la fuente de la cual se han originado.

Depósitos Lacustres.- Estos sedimentos, en conjunto con los aluviales, son los que se encuentran más ampliamente distribuidos en la superficie de la región y representan gran importancia ya que en ellos han actuado los procesos formadores de evaporitas, y consisten esencialmente en arenas, limos y arcillas, los que en ocasiones se presentan bien diferenciados. Se observan en antiguas cuencas o "Bolsones", en donde siguen una secuencia de depositación característica, que consiste en la presencia de arenas hacia las márgenes de las cuencas y limos y arcillas en los centros. Abarcan una gran extensión ya que se observan desde el poblado de Las Cruces (Nuevo México), Cd. Juárez y El Paso ----- (Chihuahua-Texas), Palomas, Rancho Ojos de Santa María, El Fresnal, hasta Villa Ahumada.

Estos depósitos y parte de los aluviales, se depositaron en una antigua cuenca de gran extensión la cual ha sido denominada como Lago Cabe-

za de Vaca (W.S. Strain, 1969), el cual tuvo su mayor desarrollo del Pleistoceno inferior al medio y abarcó el Bolsón de los Muertos, el Bolsón de la Mesilla y el Bolsón del Hueco (ver -- fig. 5).

Los depósitos de estos bolsones han sido denominados por varios autores. En el Bolsón del Hueco se han definido dos Formaciones, la Fort Hancock y la Camp Rice (W.S. Strain ibidem), y en el de la Mesilla el Grupo Santa Fe. Estos dos bolsones abarcan el Norte y la porción Central de la antigua cuenca del Lago Cabeza de Vaca -- hasta las Montañas West Potrillo y Good sight -- (C.C. Reeves, 1969; p.146 apud Elston y Netelbeeck). A los sedimentos lacustres localizados al Oeste de dichas montañas C.C. Reeves en 1969 les ha dado el nombre informal de "Camel Mountain Group", denominando Formación "Palomas" a los sedimentos que comprenden la parte superior del Grupo y que consisten en capas interestratificadas de arenas, limos y arcillas, con algunas capas de "Caliche"; el limo y la arcilla -- tiende a ser bentonítica y es de color pardo y verde. Esta Formación es correlacionable con el

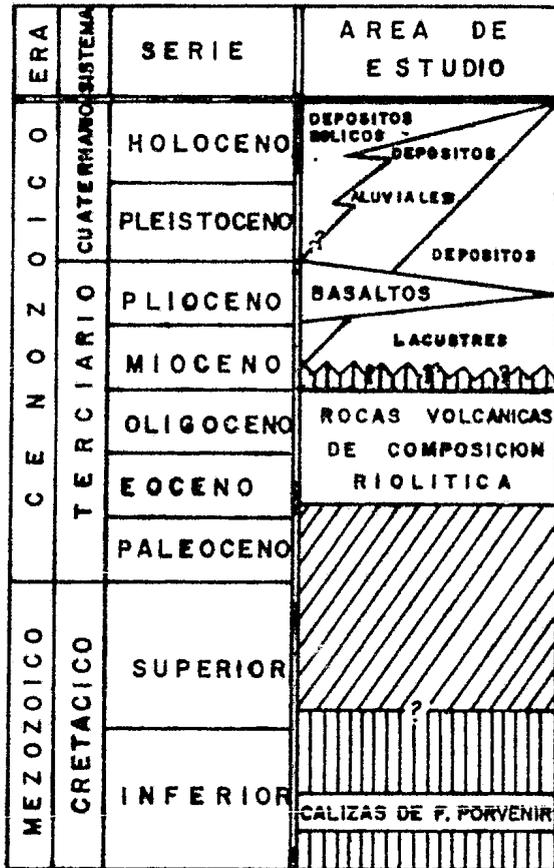
Grupo Santa Fe.

Depósitos Eólicos.- Estos depósitos se han originado a partir de la deflación de las rocas de la región, así como de los depósitos aluviales y sedimentos lacustres de las cuencas ya existentes; consisten principalmente en montículos arenosos y barjanes y están constituidos por granos redondeados de cuarzo, feldespatos y plagioclasas. Se distribuyen ampliamente en toda la región cubriendo antiguos depósitos lacustres como sucede con la Formación Camp Rice en la Mesa del Río Grande. Las dunas de Samalayuca pudieron haberse formado desde inicios del Pleistoceno (C.C. Reeves, op, cit, p.153).

V.2.- Estratigrafía Local.- En el área de estudio afloran rocas que van del Cretácico inferior al reciente, y consisten en Rocas Sedimentarias Marinas de edad Cretácica, Rocas Volcánicas Terciarias y Depósitos Continentales de edad Cuaternaria (ver fig. No. 4 y plano No. 5).

Las rocas de mayor interés para los fines de este trabajo lo constituyen los sedimentos continentales del Pleistoceno, ya que en éstos se encuentran los depósi-

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL AREA
DE ESTUDIO



NO DEPOSITO



NO EXPUESTA

tos de Carbonato de Sodio que posteriormente serán descritos.

V.2.a).- Cretácico, (Ki),.- Como rocas de posible edad Cretácica se tienen dos afloramientos al Sur del Cerro de la Rosina (EO-81-17 y EO-82-1). - En el primero se observan calcarenitas de color gris verdoso y amarillo rojizo al intemperismo; el color al fracturamiento fresco es gris oscuro. Son rocas de estratificación gruesa a masiva, con superficies corrugadas debido a la disolución de la roca por el intemperismo químico. Se observan vetillas de cuarzo así como zonas de recristalización; los fósiles observados consisten en pelecípodos y gasterópodos reemplazados la mayor parte por calcita, entre los cuales se distinguen algunos turrilites. Los estratos se encuentran buzando hacia el NE con un echado promedio de 22°.

En el segundo afloramiento, la parte superior está constituida por calizas de color gris verdoso, la estratificación es masiva, la parte inferior está constituida por calizas de color amarillo rojizo, de estratificación gruesa. La

inclinación de las capas (lo mismo que en el otro afloramiento) es hacia el NE con un echa-do promedio de 17° (datos medidos en el miembro inferior).

El contacto superior e inferior de esta unidad se encuentra cubierto discordantemente por derrames riolíticos de edad terciaria.

El autor no identificó fauna que delimitara esta unidad a una edad determinada; sin embargo, D.A. Córdoba en un trabajo realizado en 1966, la relaciona a rocas que afloran más al Sureste y que presentan Dufrenoya sp y Parahoplites sp, colocándola en un intervalo de tiempo que va del Aptiano superior al Albiano inferior; este mismo autor la considera como perteneciente a la Formación Porvenir que aflora en las áreas de la Sierra de la Amargosa, Los Frailes, El Consuelo, Los Lamentos, La Alcaparra, Del Hueso y del Pino. La localidad tipo de esta Formación se encuentra en la Sierra del Cuervo en la región de San Ignacio al NE de Chihuahua en donde aflora con un espesor de 590 m. Fue definida por Haenggi y Caire en el año de 1966

dividiéndola en dos miembros, el inferior consiste de arenisca de color gris verdoso con capas de lutita y limolita calcárea de color gris claro, ocasionalmente con yeso, la cima del mismo miembro contiene una alternancia de areniscas, calizas arenosas y lutitas. El miembro superior está formado por caliza arrecifal masiva de color gris. La fauna que encontraron en el miembro inferior es la siguiente: Exogira quitmanensis, Exogira texana y Dayhayesites sp. Estos autores le asignan una edad del Aptiano superior al Albiano inferior.

V.2.b) .- Terciario (Tr y Tb) .- Las rocas que representan al Terciario consisten principalmente en rocas volcánicas de composición riolítica y basáltica.

Como ya se ha indicado en la estratigrafía regional, es muy posible que los Depósitos Aluviales y Lacustres también se hayan originado desde el Terciario medio o superior; posteriormente a la formación de las Sierras y Cuencas, pero debido a que presentan mayor desarrollo y definición en el Pleistoceno, se tratarán en el subca

pítulo correspondiente al Cuaternario.

Riolitas y Tobas Riolíticas.- En esta unidad -- se presentan derrames y productos piroclásticos de composición riolítica.

Los derrames son de color gris rosado, con una textura porfídica en la cual se distinguen frecuentemente rasgos de fluidez. Los minerales observables son cuarzo, feldespatos, biotita y minerales ferromagnesianos (hornblenda). La ma---triz es afanítica y está constituida posiblemente por cuarzo y feldespatos.

Los productos piroclásticos son del mismo color que los derrames, presentan textura piroclástica, aunque en algunas partes la presencia de -- fragmentos de roca ligeramente aplanados indi--can una textura eutaxítica característica de rocas ignimbríticas. La matriz es criptocristalina, la cual, al igual que los derrames, posiblemente esté formada por cuarzo y feldespato. Se observan esquirlas ("Shards") producto de la -- desvitrificación de la matriz.

En conjunto, estas rocas son compactas y muy ---
fracturadas; son generalmente masivas aunque --
es posible observar pseudoestratificación. D.A.
Córdoba (1966), menciona la intercalación de to
bas riolíticas depositadas en un ambiente acuoso
(lacustre) en la Sierra de La Rosina.

Estas rocas han sido sometidas a una gran ero--
sión, prueba de esto es la presencia de remanentes
de abanicos aluviales constituidos por fragmen
tos de rocas de composición riolítica (Qal 1)
así como abanicos aluviales recientes (Qal 3) -
distribuidos ampliamente en las faldas de la --
Sierra de la Rosina.

Esta unidad descansa discordantemente sobre ---
las calizas del Cretácico inferior de la Forma-
ción Porvenir, estando también marcado el con--
tacto superior por una discordancia con rocas
de composición basáltica. Estas discordancias
son observables en el Cerro de la Rosina (con-
tacto inferior) así como en el extremo Sur del
área (al Oeste de la carretera) en varios aflor
amientos no cartografiables (contacto supe---
rior).

Seager y Morgan (1979) mencionan la presencia de vulcanismo calco alcalino (riolítico) de edad Eoceno - Oligoceno en el NE del estado de Chihuahua asociado a una zona de subducción y del cual formarían parte las rocas descritas; por otro lado la historia geológica regional menciona evidencias de actividad volcánica de tipo ácido en la etapa de basculamiento post-laramídico ocurrida en el terciario inferior medio (C. Gries y T. Haenggi, 1970, y de Cserna 1980).

Rocas de Composición Basáltica.- Consisten en derrames y productos piroclásticos de composición básica, los que han sido denominados por T.J. Frantes (1981) como "Campo Volcánico de Palomas".

Los derrames consisten principalmente en basaltos de olivino. Son de color negro al intemperismo y fractura, presentan abundantes amígdalas y vesículas originadas por el escape de gases durante el enfriamiento. Son compactos y ligeramente fracturados. Se presentan en pseudoestratos horizontales de 20 cm hasta 10 m de --

espesor, algunos de los cuales se encuentran -- inclinados en la dirección del flujo.

La textura observada en la muestra de mano es - porfirítica con una matriz criptocristalina, -- los fenocristales observados consisten en olivíno (en ocasiones iddingsitizado), piroxenos y - plagioclasas.

Análisis petrográficos realizados por T.J. Frantes (ibidem) en un estudio del campo volcánico de Palomas indican la presencia de plagioclasas de composición intermedia y cálcica (andesina a bytownita: An₄₅ An₇₄), clinopiroxenos (augita) y olivino como minerales esenciales; analcima, vidrio (taquilita y sideromelano), biotita y -- lamprobolita como minerales accesorios y clorita, cuarzo y calcita como secundarios. Este mismo autor las clasifica como picritas, basaltos de olivino, traquibasaltos, hawaitas, mugeritas y tristanitas.

Los productos piroclásticos son de color pardo rojizo y negro al intemperismo y fractura res-- pectivamente y están formados por pseudoestra--

tos muy compactos de escorias volcánicas, bombas, lapilli y cenizas volcánicas.

Tanto los productos piroclásticos, como los derrames lávicos se encuentran intercalados entre sí, lo que se aprecia bien en las cercanías de los aparatos volcánicos.

En el Cerro de Fusiles (10 km al Sur del área de estudio) estas rocas presentan estructuras disyuntivas en forma circular similares a las observadas cerca de Tenerife en las Islas Canarias (V. Araña Saavedra, p.91, 1974) y que nos indican la existencia de un medio acuoso al momento de ser emitidos los productos volcánicos, lo que es comprobado al observar que en ese mismo lugar descansan sobre depósitos lacustres; por otro lado, trabajos recientes de barrenación realizados para Banrural en el área de estudio reportan 40 m de depósito lacustre subyaciendo a 120 m de basaltos, continuando posteriormente los depósitos lacustres (Ing. Jaime Castro; comunicación personal, 1982).

Los productos piroclásticos, lo mismo que los derrames lávicos fueron emitidos alternadamente por diversos estrato-volcanes localizados al -- Oeste de la cuenca del "Lago Salino de Palomas" entre los que se encuentran los del Cerro del - Cascajo, del Gato, de la Montura, etc. Algunos de estos conos se observan colapsados en uno de sus bordes, tal vez debido a que el aparato fue excedido en su capacidad, lo que produjo el derrame y el colapso.

Aunque la edad de estas rocas siempre había sido considerada como pleistocénica, estudios recientes indican edades más antiguas. J.W. Hawley (citado en T.J. Frantes; (op, cit.) basado - en análisis de potasio-argón aplicados a tres - muestras y que reportan edades de 2.96 a 5.17 - m.a, las considera del terciario superior. Por otra parte Hoffer (comunicación personal, 1982) les infiere una edad del Plioceno.

Autores como Seager y Morgan, (op, cit.) consideran que los basaltos se han generado en una -- etapa de distensión asociada al Rift del Río - Grande. Por otro lado J.T. Frantes, (op, cit.)

p.52; considera, en adición a esta génesis, que también pudieron originarse en la etapa de fallamiento de la Provincia de Sierras y Cuencas (Basin and Ranges).

En este trabajo se considera que los basaltos fueron emitidos durante la etapa de distensión del Rift del Río Grande; debido a que el fallamiento de la Provincia de Sierras y Cuencas es más antiguo que el Plioceno.

V.2.c).- Cuaternario (Qal, Qdl y Qeo).- El cuaternario se encuentra representado por depósitos continentales consistentes en abanicos aluviales, - sedimentos lacustres y depósitos eólicos.

Debido a que estas rocas se encuentran relacionadas a los depósitos de Carbonato de Sodio objetivo de este estudio, serán descritas con mayor detalle en la parte correspondiente a Sedimentología del capítulo VI (Descripción del Lago Salino de Palomas); por lo que en este subcapítulo serán tratadas en forma somera.

Abanicos Aluviales (Qal).- Son depósitos de pie de monte originados a partir del intemperismo y erosión de las rocas circundantes a la cuenca son compactos a semicompactos y se encuentran formados principalmente por fragmentos del tamaño de gravas y guijarros subredondeados y subangulosos de rocas volcánicas y en menor proporción de rocas calcáreas; la matriz es arcillo-arenosa y se presenta semicompacta.

En función de su distribución en el campo, se ha subdividido esta unidad en:

Abanico Aluvial 1 (Qal 1)

Abanico Aluvial 2 (Qal 2)

Abanico Aluvial 3 (Qal 3)

Abanico Aluvial 1 (Qal 1).- Consiste en fragmentos bien redondeados y ligeramente tabulares -- del tamaño de gravas gruesas, formado por rocas de composición riolítica y en menor proporción de rocas calcáreas; la matriz es esencialmente arenosa con pequeños contenidos de arcillas y limos; se observan granos de cuarzo, feldespatos y plagioclasas.

Este abanico se encuentra como remanente de un antiguo abanico aluvial; cuya fuente de origen fueron posiblemente las rocas de composición ríolítica que se observan distribuidas en la región (Tr), y de las cuales ya no se encuentra relacionado en la actualidad.

Abanico Aluvial 2 (Qal 2).- Consiste en fragmentos de roca del tamaño de gravas gruesas y guijarros subangulosos y subredondeados de rocas basálticas; presenta una matriz arcillo-arenosa poco compacta, en la que se observan algunos fragmentos de plagioclasas.

Se ha formado a partir de la erosión de las rocas basálticas de edad pliocénica distribuidas al W del área de estudio, y descansa discordantemente sobre los sedimentos lacustres tanto en el área de estudio como al Sur de ella en distintos cortes de la carretera.

Abanico Aluvial 3 (Qal 3).- Está formado por gravas y guijarros subangulosos y subredondeados de rocas ríolíticas; es semicompaeto, y presenta una matriz areno-limosa formada prin-

cipalmente por granos de cuarzo, feldespatos y plagioclasas.

Se ha originado en épocas recientes a partir de las rocas de composición riolítica de los cerros de la Rosina y del Aguila; las cuales posiblemente también formaron en tiempos anteriores parte del Abanico Aluvial 1.

Depósitos Lacustres (Qd1)..- En términos generales consisten en sedimentos arenosos y arcillosos, bien diferenciados, cuyo contacto es una zona de interdigitación.

El sedimento arenoso es de color pardo y amarillo claro, está formado por capas de arena de grano fino a grueso. Se observan también pequeños lentes intercalados de gravas finas de composición riolítica, así como pequeñas capas de limos y arcillas de color pardo claro, los cuales aumentan ligeramente en proporción a medida que se acercan al centro de la cuenca. Las estructuras que se observaron consisten en estratificación cruzada, laminar, gradada y masiva.

Es posible que estos sedimentos arenosos hayan formado la parte frontal de un abanico aluvial, el cual actualmente ya se encuentra erosionado o cubierto por derrames volcánicos. .

El segundo cuerpo está formado por arcillas y limos de color pardo, verde y azul oscuro a negro, éste último debido a la presencia de materia orgánica en descomposición; se observa estructura laminar en los sedimentos de color pardo y masiva en los de color verde, azul oscuro y negro.

En este cuerpo es donde se observan las máximas concentraciones de Carbonato de Sodio, las cuales se presentan en forma de salmuera; arcillas salinas y eflorescencias.

Existen conchas de moluscos en los dos cuerpos, entre los que se han identificado algunos pelecípodos similares a los del género Unio sp, y que son de un ambiente de "agua dulce" (Gloria Alencaster, comunicación personal, 1983).

Estos sedimentos empezaron a depositarse desde inicios del pleistoceno en la cuenca del Lago Cabeza de Vaca (W.S. Strain, 1969) de la cual - formó parte el Lago de Palomas; por lo que éstos podrían corresponder en parte a la F. Palomas, de edad pleistocénica definida por C.C. -- Reeves en 1969 (ver V.1.c.), aunque bien la parte superficial de estos pudieron ser formados - en tiempos posteriores, cuando la cuenca del Lago de Palomas fue aislada.

Depósitos Eólicos (Qeo).- Son depósitos eólicos formados a partir de la deflación, transporte y acumulación de las rocas, abanicos aluviales y sedimentos lacustres existentes en la región. Están formados por granos redondeados y subre-- dondeados de cuarzo, feldespatos y plagiocla--- sas.

Se presentan al Norte y Noreste del "Lago Salino de Palomas" en forma de dunas y barjanas, observándose algunos barjanas perennes antiguos indicando que la dirección del viento hace años fue N 60° E (C. Reeves, 1969, p.153).

La edad de estos depósitos varía del inicio -- del holoceno al presente, aunque es posible -- que algunos se hayan empezado a formar desde -- el inicio del Pleistoceno (C. Reeves, ibidem, p.153).

V.3.- Geología Histórica.- La historia geológica del yacimiento comprende desde el Jurásico superior al reciente, y se puede dividir en dos etapas bien definidas. La primera es la evolución de las rocas circundantes a la -- cuenca y que comprenden el posible basamento de ella; y -- la segunda es la evolución del lago propiamente dicho.

V.3.a).- Evolución Geológica de las Rocas de Basamento.- En el Jurásico superior se desarrolla el Geosinclinal Mexicano, tal vez a partir del antiguo Geosinclinal Paleozoico; sirviendo de cuenca para toda la columna sedimentaria del Cretácico (E. López Ramos, 1981).

Los mares del Geosinclinal Mexicano se extienden en el Jurásico hacia la porción central -- del Estado de Chihuahua. Se depositan sedimentos en un ambiente restringido formando evaporitas de la Formación Loma Blanca del Oxfordia

no; los cuales posteriormente cambian a una facies de plataforma de la Formación Aleja del -- Tithoniano-Kimmerigdiano en la Sierra de Alcaparra (D.A. Córdoba, et, al, 1970). Hacia el Este se presenta la Isla o Península ? de Coahuila y el Golfo de Sabinas.

En el Neocomiano los mares inician una transgresión depositando los sedimentos correspondientes a las Formaciones Las Vigas, Navarrete, Alcaparra y Porvenir (F. Jiménez G., 1978). Existe la posibilidad de una comunicación entre los mares del antiguo Golfo de Sabinas en la parte -- Norte del Miogeosinclinal de Chihuahua. La distribución de las rocas indica una posible Isla en la porción Sur del Estado, limitada al N y S por rocas de plataforma (E. López Ramos, 1981).

En el Aptiano continua la transgresion de los mares; se depositan en el Norte del Estado sedimentos correspondientes a la Formación Cuchillo en un ambiente somero (Sierra de Presidio y de San Ignacio) y hacia el Sur sedimentos de plataforma profunda de la Formación Mosqueteros ---- (D.A. Córdoba; et, al, op, cit).

En el Albiano se presenta la máxima transgre---
sión marina predominando los sedimentos calcá--
reos. Se depositan en el Norte Las Formaciones
del Grupo Chihuahua (Benigno, Lágrima y Finlay)
así como la Formación Benevides en un ambiente
arrecifal (Sierra de las Amargosas y Mosquete--
ros), y de mar abierto en el Sur (Sierra de Banco
de Lucero). Hacia el Este se presentan fa---
cies lagunares y arrecifales de la caliza Auro--
ra (Z. de Cserna, 1970).

En el Cenomaniano - Turoniano se inicia la re--
gresión de los mares. Se depositan los sedimen--
tos clásticos del Grupo Ojinaga (Formaciones --
Arroyo Colorado, Juárez y la Mina; presentes en
la Sierra de Juárez y Ojinaga) en un ambiente -
cercano a costa, y con gran abundancia de clástico
s derivados de las nuevas áreas emergidas. --
(D.A. Córdoba, et, al, op, cit).

Para el Turoniano - Maestritchiano la regresión
continua, el área de Juárez es tierra emergida.
Hacia el Este se continúan los depósitos carbo--
natados en el Geosinclinal Mexicano; aunque ya
con mayor abundancia de clásticos. Se define la

Cuenca Carbonífera de Sabinas (en el Maestritichiano). Hacia el Oeste comienzan las emanaciones volcánicas (andesitas).

En el Terciario inferior todas las rocas descritas anteriormente son plegadas y afalladas (fallas inversas) por la Orogenia Laramídica, la cual origina una serie de anticlinales y sinclinales elongados y paralelos con una orientación del eje hacia al de NW-SE.

.3.b).- Evolución del "Lago Salino de Palomas".- La historia geológica del lago se inicia posteriormente a la etapa de fallamiento normal post-orogénico; en el cual las rocas Paleozoicas y Mesozoicas ya plegadas a inicios del Terciario por la Orogenia Laramídica fueron afectadas en el terciario medio (Eoceno-Oligoceno) por un fenómeno de fallamiento normal, que originó la formación de Montañas en bloques (Horst) y cuencas o bolsones entre ellas (Graben).

Este evento tectónico fue acompañado de vulcanismo calco alcalino originado por una zona de subducción (Seager y Morgan, 1979), debida tal

vez al hundimiento de la placa Farallón debajo del continente Americano (M. Royo, 1982); generando derrames y productos volcánicos de composición andesítica y riolítica principalmente. Algunos autores como Seager y Morgan (op, cit) sugieren que la formación de Sierras y Cuencas en el Norte del Estado de Chihuahua estuvo controlada, más que por el fenómeno clásico de basculamiento; por el fenómeno de distensión o expansión asociados a la apertura del Rift del Río Grande ocurrida en el Oligoceno superior y que está marcada por la emisión de basaltos andesíticos (cambio de vulcanismo calco-alcalino a alcalino).

En este estudio se considera que el origen de la Provincia de Sierras y Cuencas en la zona Norte de Chihuahua estuvo relacionado inicialmente a un fenómeno de basculamiento asociado a la contracción por enfriamiento de la cámara magmática que generó la actividad ígnea del Eoceno-Oligoceno; siendo posteriormente incrementada esta actividad al iniciarse la actividad del Rift del Río Grande en el Oligoceno superior; lo que ha provocado que las cuencas ---

de la zona Norte sean más profundas que las del Sur (Las primeras tienen una profundidad de más de 2000 m, y las segundas, no exceden de 1000m). Autores como Seager y Morgan, ibidem, consideran que la actividad del Rift pudo llegar hasta las cercanías de Villa Ahumada,

Esta sucesión de eventos formó una serie de --- grandes cuencas que se extendieron desde el --- área de estudio hacia el Sur al interior del Es tado de Chihuahua y hacia el Norte en los estados de Nuevo México y Colorado en Estados Uni-- dos.

Estas cuencas fueron rellenadas desde el Terciari o medio en parte por sedimentos transportados por el Río Grande "Superior" (Río Bravo) provenientes de territorios localizados en Nuevo México y Colorado (W.S. Strain, 1970, p.167 y Hawley, 1970, p.131).

En tiempos de excesivas lluvias, lagos efímeros fueron formados en las partes más bajas de las cuencas; debido a la fluctuación de los niveles de estos lagos, arcillas y limos se interdigitau

ron con partículas de sedimentos más gruesos al rededor de las cuencas, resultando cambios de facies característicos desde los bordes al centro. En algunas de ellas se observan evaporitas interestratificadas con sedimentos finos, lo -- que indica una casi o completa desecación de -- tiempo en tiempo (W.S. Strain, 1970, p.167), como se observa en los lagos de Guzmán, La Noria y de los Muertos.

A finales de Plioceno se sucede un vulcanismo alcalino de composición básica; el cual generó los basaltos de olivino que se distribuyen en el área (Campo volcánico de Palomas, Montañas West Potrillo, etc), los cuales en ocasiones se presentan derramando sobre los depósitos lacustres ya formados, como se aprecia en el Cerro de Fusiles y en los Lagos de la Noria y de Ojos de Santamaría. Este vulcanismo se asocia a un adelgazamiento de la Corteza terrestre durante el desarrollo del Rift del Río Grande (Seager y Morgan, op, cit).

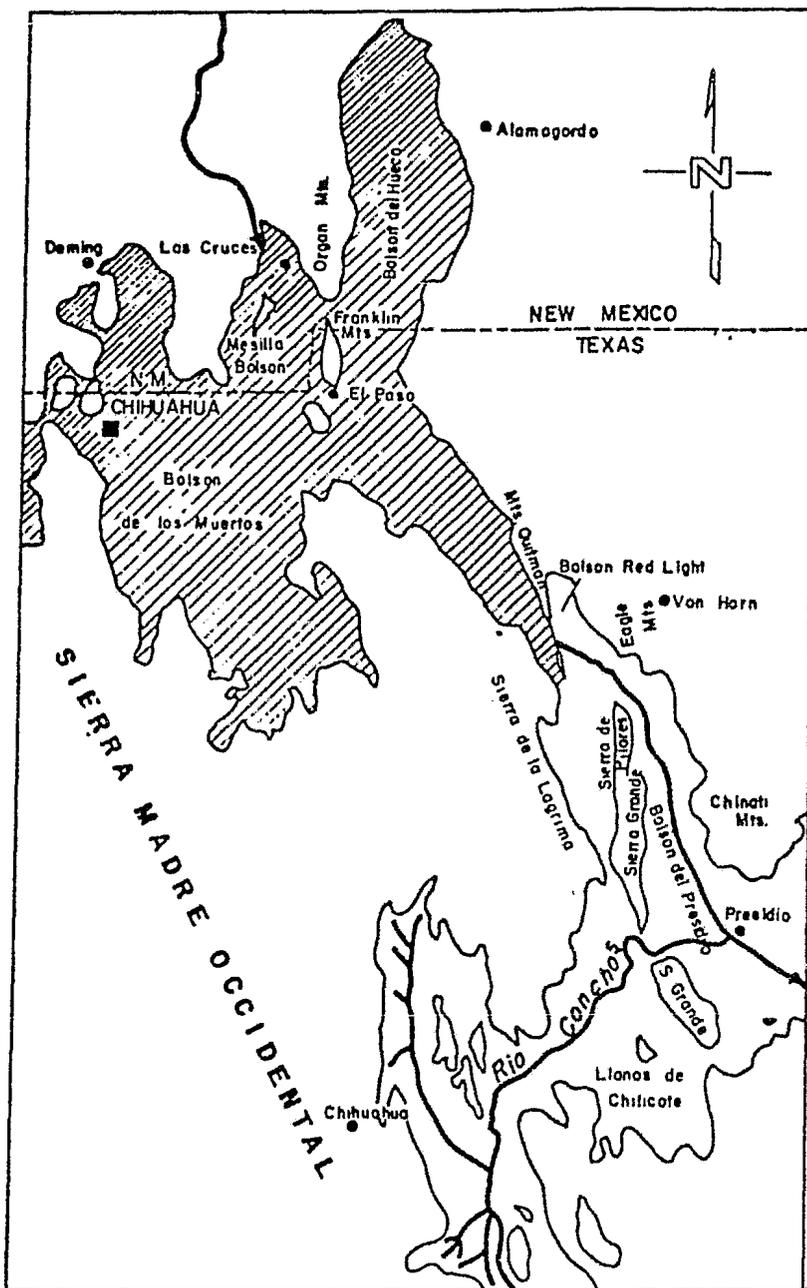
Estos eventos volcánicos de fines del terciario fueron de gran importancia en el desarrollo pos

terior del Lago de Palomas, ya que es muy posible que en sus emisiones abastecieran de determinados iones a la cuenca (ver tabla 4) siendo unos de gran importancia (aparte de los detectados) como el Boro, Litio, etc.

Del Plioceno al Pleistoceno medio, el ancestral Río Grande (Río Bravo) fluyó a través del cañón de El Paso hacia Chihuahua terminando en un gigantesco Lago (C.C. Reeves, 1969, p.145).

En el inicio del Pleistoceno y durante los grandes deshielos de la etapa post-glacial, el agua transportada por el Río Grande "Superior", fue captada y represada en los bolsones de la Mesilla, del Hueco y Bolsón de los Muertos, para formar el Lago Cabeza de Vaca (W.S. Strain, 1970, p.169; ver fig. 5). En esta etapa post-glacial también se originan los grandes Lagos Pleistocénicos de Norteamérica (Lago Huron, Michigan, Boneville, etc).

El área del antiguo Lago Cabeza de Vaca, consistente en cerca de 16,500 millas cuadradas, ha sido comparada en tamaño como en tres cuartas -



EXPLICACION

--- LIMITE INTERNACIONAL

— RIO

● CIUDAD

■ AREA DE ESTUDIO



AREA CUBIERTA POR EL ANCESTRAL
LAGO CABEZA DE VACA EN EL PLEISTO-
CENO INFERIOR

NOTA TOMADO DE W. S. STRAIN, 1970 MODIFICADO EN ESTE
TRABAJO.

U
N
A
M

FACULTAD DE INGENIERIA

CIENCIAS DE LA TIERRA

CROQUIS DEL LAGO
CABEZA DE VACA
EN EL PLEISTOCENO INF

TESIS PROFESIONAL

ELIAS OJEDA DIAZ

FIG 6

MAYO/1983

partes del Lago Pleistocénico Boneville, y en épocas de máxima inundación con el Lago Superior, el cual tiene una área de 31,820 millas cuadradas (W.S. Strain, 1970).

Los tres bolsones mencionados con anterioridad captaron el volumen total del Río Grande, sirviendo como una cuenca de evaporación, excepto en tiempos de extrema inundación (W.S. Strain, ibidem, apud, Kottlowsky).

Desde el inicio del Pleistoceno hasta el Pleistoceno medio, los bolsones rellenos por sedimentos originados por el intemperismo y erosión de las rocas circundantes a ellos, así como por los transportados por el ancestral Río Grande, dan origen a las Formaciones Camp Rice, Fort Hancock (W.S. Strain, 1969), El Grupo Santa Fe (C.C. Reeves, 1969, p.146; apud; - Elston y Netelbeeck), así como el Grupo Camel Mountain (nombre informal propuesto por C.C. Reeves en 1969); las cuales afloran en la zona Norte de Chihuahua, y en el Sureste y Suroeste de los Estados de Nuevo México y Texas, respectivamente.

A finales del Pleistoceno medio, en la época - Kansaniana y debido a la acumulación de sedi-- mentos en los bolsones, se redujo la capacidad de éstos, lo que aunado al levantamiento de -- montañas y a un fenómeno de fallamiento, marca el inicio de la transgresión de las aguas del lago hacia el Sureste en el Bolsón del Hueco y de ahí al Golfo de México integrándose el Río Grande al Sistema del Río Conchos, adoptando - así su posición actual (W.S. Strain, 1970 y -- C.C. Reeves 1969).

Debido a estos eventos, el Lago Cabeza de Vaca fue destruido, dando origen en los inicios del Pleistoceno Superior (post-Kansas), a una se-- rie de lagos aislados que fueron inundados en épocas de intensa actividad pluvial, pero los cuales nunca fueron rellenados para integrar - un gran lago en el Holoceno; estos lagos son - los que actualmente se conocen como Lago de -- Palomas, de Santamaría, de Guzmán, el Fresnal, la Noria, la Virgen, y el Barreal. C.C. Reeves (1969, p.147) denomina Lago Pluvial de Palomas a la cuenca que almacenó estos lagos y que ---

inundó aproximadamente 3,000 millas cuadradas; uniendo al Lago de Palomas y el Barreal en un gran bolsón, al cual denominó Bolsón de los -- Muertos. Estas cuencas han sido abastecidas -- por cuatro ríos existentes: Casas Grandes, San tamaría, Carmen y Mimbres (J.W. Hawley, 1970, p.139 y C.C. Reeves, op, cit, p.153).

Al parecer la cuenca del Ancestral Lago Cabeza de Vaca fue afectada por la evaporación desde su inicio, debido esto a la presencia de fósiles vertebrados pertenecientes a roedores y tortugas de clima árido en los sedimentos de la Formación Hancock, los cuales sugieren la existencia de este tipo de clima en el Pleistocono inferior y medio (épocas Nebraskiana y Af toniana); lo que también se comprueba por la presencia de minerales evaporíticos interestratificados en los sedimentos de este lago (W.S. Strain, 1970, p.171) los que se aprecian principalmente como cristales de yeso, algunos de gran magnitud en las margenes Norte y Este del Lago de Guzmán y en el Bolsón de los Muertos.

Sin embargo, parece ser que el carácter endorreico no se presentó totalmente en el Lago Cabeza de Vaca, ya que estudios realizados en los sedimentos del Grupo Santa Fe, depositados en el Bolsón de la Mesilla indican ambientes de depósito que incluyen el de cuenca cerrada y abierta (J.W. Hawley, 1970, p.140). Lo que es comprobado, cuando menos, en el Lago de Palomas, por la presencia de pelecípodos y Gasterópodos de "agua dulce" en los sedimentos de dicho lago y que podrían corresponder a la parte superior de la Formación del mismo nombre.

No es sino hasta la destrucción del Lago Cabeza de Vaca en el Pleistoceno medio y al aislarse las cuencas, que se verifica el carácter endorreico de ellas, debido a esto, los procesos evaporíticos se incrementan, concentrando los iones de las aguas de las cuencas, dando origen a lagos salinos.

Finalmente, en el Holoceno la cuenca del Lago Pluvial de Palomas fue sujeta a una constante deflación, presentando únicamente inundaciones intermitentes y someras (C.C. Reeves, op, cit,

p.153), lo que creó las extensas áreas de dunas que se observan en la región y que cubren parte de la cuenca.

Las dunas observadas al E y NE del Lago Salino de Palomas, posiblemente se empezaron a formar desde el Pleistoceno inferior, sugiriendo que la dirección del viento en ese tiempo fue con un rumbo N 60° E (C.C. Reeves, 1969, p.153).

4.- Lagos Salinos del Cenozoico.- En el Pleistoceno inferior se define el Lago Cabeza de Vaca, el cual se destruye en el Pleistoceno medio (W.S. Strain, 1969) debido a procesos de fallamiento, levantamiento (C.C. Reeves, 1969) y relleno de la cuenca por sedimentos (W.S. Strain, idem); dando origen a una serie de pequeñas cuencas endoélicas aisladas en las cuales se ha incrementado el proceso de evaporación, formando así una serie de lagos salinos, entre los que se encuentran los de Palomas, Ojos de Santa María, La Virgen, La Noria, Fresnal, Guzmán, Coyame, Laguna Seca (conocida en la región con el nombre de Lagunas) y el Bolsón de los Muertos (ver plano No. 6). Estos lagos son efímeros y forman una gran cuenca intermitente a la cual nunca se ha llenado; y a la cual C.C. Reeves (1969) denominó Lago Pluvial de Palomas.

Al ser aisladas estas cuencas, el proceso de evaporación se incrementó dando origen a la concentración de los iones de sus aguas, contenidas tanto en la superficie como en el subsuelo, generando así eflorescencias y -- salmueras alcalinas y en el caso de algunas de ellas, también minerales evaporíticos en el sedimento.

Además del Lago de Palomas, que se estudia en el presente trabajo; los demás lagos también presentan -- características que indican un ambiente evaporítico en su formación; consistentes éstas en la presencia de las anomalías salinas ya indicadas. Debido a lo anterior estos lagos se han nombrado en este trabajo también como Lagos Salinos.

A continuación se mencionarán en forma resumida algunas de las principales características geológicas de estos Lagos Salinos, mismos que fueron reconocidos por el autor durante la etapa de exploración regional realizada para prospectar evaporitas continentales.

Lago Salino de Ojos de Santa María. -- Es una cuenca bien definida rodeada por Sierras volcánicas terciarias de gran relieve (Mal País y Borregos). Presenta una planicie de inundación bien delimitada y muy extensa

E A P L I C A C I O N

SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

++++	FERROCARRIL		CIUDAD
■	POBLADO	---	LIMITE INTERNACIONAL
	MONTAÑA	>>	ARROYO
+	COORDENADAS		

LAGOS SALINOS DEL CENOZOICO

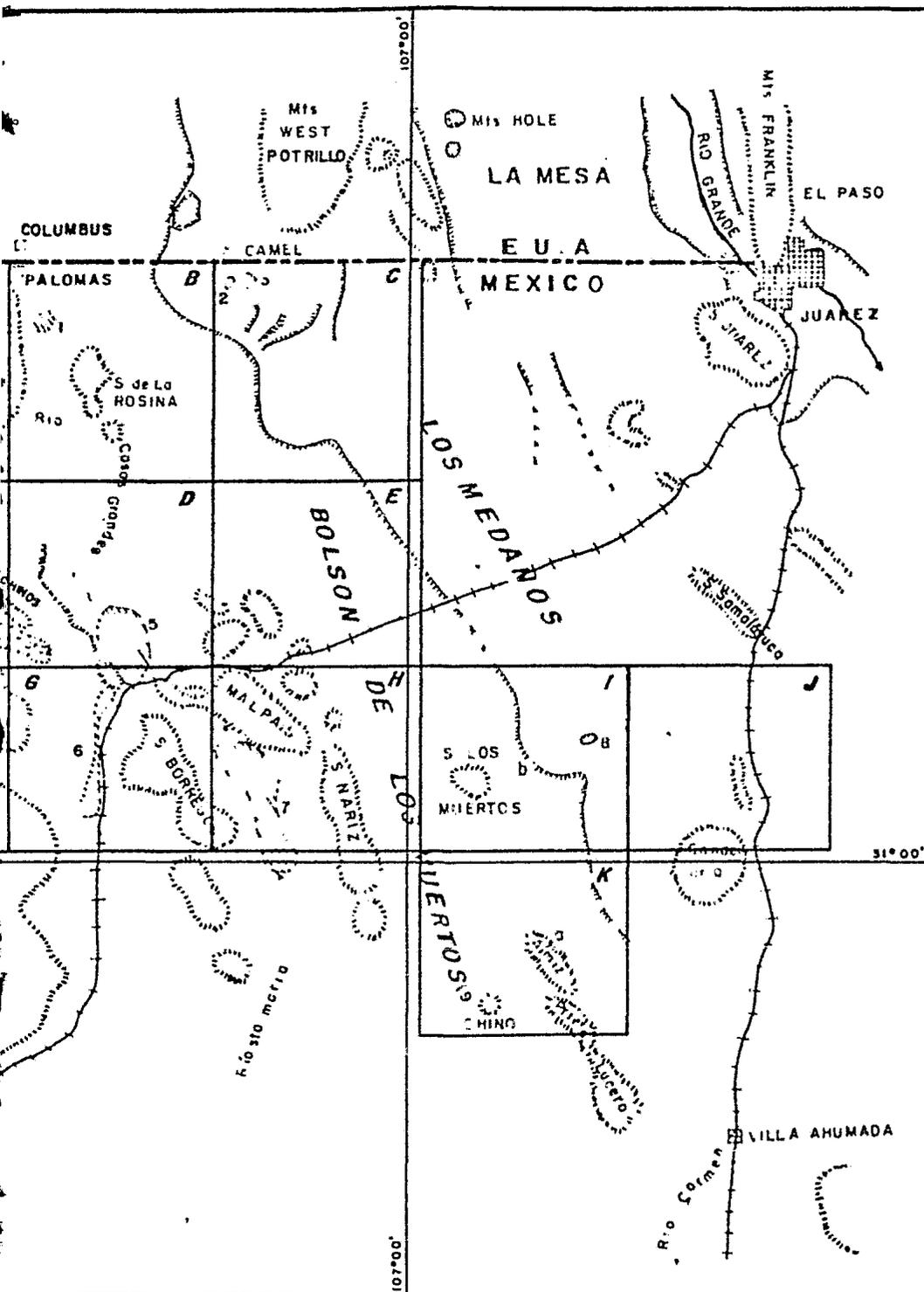
A AREA ESTUDIADA EN LA ETAPA EXPLORACION REGIONAL

- A** GUADALUPE VICTORIA (H-13-A-21)
- B** GENERAL RODRIGOM QUEVEDO (H-13-A-22)
- C** NUEVO CUAUHEMOC (H-13-A-33)
- D** BENITO JUAREZ (H-13-A-32)
- E** EL BARREAL (H-13-A-33)
- F** ASCENSION (H-13-A-41)
- G** GUZMAN (H-13-A-42)
- H** OJOS DE SANTAMARIA (H-13-A-43)
- I** EL SANCHO (H-13-A-44)
- J** CANDELARIA (H-13-A-45)
- K** LA COLORADA (H-13-A-54)

ESCARPE DE LOS SEDIMENTOS DEL LAGO CABEZA DE VACA
 LAGOS SALINOS

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 PALOMAS | 2 LA VIRGEN |
| 3 LA NORIA | 4 ASCENSION O LAGUNA SECA |
| 5 GUZMAN | 6 FRESNAL |
| 7 O DE SANTAMARIA | 8 COYAMES |
| 9 BOLSON DE LOS MUERTOS | |
| a SALINAS DE LA UNION | |
| b EL SANCHO | |

ESCALA GRAFICA



**U
N
A
M**

FACULTAD DE INGENIERIA
 CIENCIAS DE LA TIERRA
 LAGO SALINOS DEL CENOZOICO
 EN LA ZONA NORTE DEL
 ESTADO DE CHIHUAHUA

TESIS PROFESIONAL ELIAS OJEDA DIAZ
 ESC: 800,777 AGOT EN KM PLANO No 6 MAYO/1983

(43 km² aproximadamente) consistente en arcillas y limos de color pardo rojizo en el centro y arenas en las margenes. Los abanicos aluviales se extienden ampliamente desde las Sierras volcánicas hacia el centro de la cuenca.

Las anomalías observadas consistieron en salmueras, eflorescencias y minerales salinos en desarrollo intrasedimentario (constatados por el sabor salado-amargo de los sedimentos). La primera fue determinada en el subsuelo a profundidades someras en pozos realizados por el autor, y en los cuales presentó un pH y densidad relativa promedio de 10.5 y 1.04 respectivamente.

Lago Salino de Ascensión ("Laguna Seca").- Es una cuenca de forma ligeramente circular en la que las rocas que la rodean no presentan un relieve contrastante ya que se encuentran formadas superficialmente de depósitos eólicos de poca altura.

En el centro se encuentra bien representada la planicie de inundación la cual presenta salmuera superficial (poco concentrada) en todas las épocas del año, excepto cuando hay fuerte sequía.

Las anomalías salinas observadas consistieron en salmuera, minerales salinos en desarrollo intrasedimentario -(constatados por el sabor salado amargo de los sedimentos) y abundantes eflorescencias. La salmuera se presenta superficialmente y además fue determinada en el subsuelo a profundidades someras en pozos realizados por el autor y en los cuales presenta un pH y densidad relativa promedio de 10.5 y 1.012 respectivamente.

Se colectó (en uno de los pozos antes mencionados) una muestra de un mineral que obedece a todas las características macroscópicas de la Magadita (del Lago Salino de Magadi en Kenya, Africa); está formada por sílice (similar al Pedernal) y es de color blanco en la superficie y negro en el centro, es de textura áspera y dureza a cercana al 7. Se ha formado en forma autigénica - a partir de un gel síliceo que ha sido aportado a la cuenca a través de la disolución (en un medio alcalino) de silicatos y cuarzo, así como de manantiales termales.

Lago Salino de Guzmán.- Consiste en una cuenca bastante extensa; rodeada de amplios abanicos aluviales originados de las sierras sedimentarias marinas que las circundan (S. de Enmedio y S. de Chinos). La planicie de inundación, bien definida, consiste principalmente

de material fino con un predominio de arcillas y limos.

En la margen Norte (cerca del Rancho 6 de Enero) se observan abundantes cristales de yeso (de 30 a 50 cms) interestratificados en el sedimento.

Sobre la margen Oeste y Sur, se presentan pequeñas terrazas erosionadas formadas por calizas y areniscas lacustres, distinguiéndose en las últimas pequeñas -- cristales de yeso (de 1 a 2 cms). Estos cristales de yeso en conjunto con las abundantes eflorescencias que se observan, principalmente en la margen Sur; son pruebas de la existencia de un ambiente evaporítico.

Lago Salino de Coyame. - Es una cuenca mal definida, y de poco relieve debido a la presencia de extensos depósitos eólicos que la han cubierto en su mayor parte.

Las anomalías salinas observadas consistieron en salmuera y eflorescencias. La primera de ellas se observó en el subsuelo a profundidades someras en un pozo - realizado por la gente de la región con el fin de obtener agua para ganado, pero el cual fue abandonado por su alta salinidad; esta salmuera presentó un pH de 10 y una densidad

dad relativa de 1.02.

- Lago Salino de La Noria.- Es una cuenca bien - definida y de poco relieve; se encuentra circundada por - depósitos eólicos recientes y productos volcánicos terciarios de composición basáltica. La planicie de inundación esta bien delimitada y consiste en material fino con predominio de arcillas y limos.

Las anomalías salinas observadas consistieron en salmuera, minerales salinos en desarrollo intrasedimentario (constatados por el sabor salado-amargo de los sedimentos) y abundantes eflorescencias. La salmuera se observó en el subsuelo a profundidades someras en un pozo realizado por el autor y en el cual presentó su pH de 10 y densidad relativa de 1.09.

Lago Salino de La Virgen.- Es una cuenca muy similar a la de la Noria; se presenta circundada casi totalmente por terrazas y depósitos eólicos. Las terrazas (10-15 m de altura) están compuestas por calizas y areniscas (?) lacustres, presentándose en las ultimas pequeños cristales de Yeso. La planicie de inundación está bien delimitada y consiste en materiales finos con predominio de arcillas y limos.

Las anomalías salinas consistieron en abundantes eflorescencias y minerales salinos en desarrollo intrasedimentario; las que aunadas a la presencia de cristales de Yeso, nos indican la existencia de un ambiente evaporítico.

Lago Salino de Fresnal.- Consiste en una cuenca bien definida, circundada por rocas sedimentarias marinas de edad cretácica y rocas volcánicas terciarias de composición basáltica, la planicie de inundación está constituida por materiales finos con predominio de los limos y arcillas.

Las anomalías salinas observadas consistieron en salmuera, minerales salinos en desarrollo intrasedimentario (constatados por el sabor salado-amargo de los sedimentos) y abundantes eflorescencias. La salmuera se determinó en el subsuelo a profundidades someras en varios pozos realizados por el autor, en los cuales presentó un pH y densidad relativa media de 10 y 1.08 respectivamente.

El Lago Salino de Los Muertos.- (Bolsón de Los Muertos). Consiste en una cuenca bastante extensa a nivel regional también denominada "Bolsón".

Se reconocieron dos zonas anómalas de salinidad dentro del bolsón: Una es la Salinera de la Unión, la cual en un tiempo fue explotada comercialmente y ahora en la actualidad se encuentra casi abandonada; en ella se apreciaron salmueras ricas en Cloruro de Sodio (con un pH de 6) - y abundantes cristales de Yeso de gran tamaño (Rosas del - Desierto). La otra se encuentra en las cercanías del rancho el Sancho y se colectó una salmuera en un pozo realizado por el autor, la cual presentó un pH de 10 y una densidad relativa de 1.08. Además de estas anomalías se observaron eflorescencias aisladas en casi toda la superficie del bolsón.

V.5.- Tectónica.- Aunque es factible que la franja -- estructural del Sistema Ouchita se haya prolongado en ---- Chihuahua afectando las rocas paleozoicas ya formadas, es principalmente el Sistema Apalachiano el que las pliega -- y levanta. El Geosinclinal Paleozoico actúa desde el Pérmico sirviendo como base al Gran Geosinclinal Mexicano que se desarrolló hasta el Cretácico Superior (E. López Ramos, 1981).

A principios del terciario, toda la columna paleozoica y mezozoica es nuevamente plegada y afallada ---- (principalmente por fallas inversas) por la Orogenia Laramídica, la que actúa originando una serie de anticlinales y

sinclinales elongados y paralelos con una orientación del eje axial de NW-SE.

En el terciario medio se desarrolla una etapa de fallamiento normal, la que aunada a un levantamiento regional y vulcanismo alcalino; origina las estructuras en bloques (Horst y Grabens) características de la Provincia de Sierras y Cuencas; el fallamiento normal pudo deberse a un proceso inicial de basculamiento, incrementado posteriormente por fenómenos de distensión asociados al inicio de la actividad del Rift del Río Grande.

A partir de este fallamiento se origina la cuenca del Ancestral Lago Cabeza de Vaca; iniciándose el relleno de ella por materiales procedentes de las áreas circundantes.

En el Pleistoceno medio (post-Kansas) se desarrolla un fallamiento en "cajones" (Boxed in, C.C. Reeves 1969, p.147); en el cual la cuenca del Lago Cabeza de Vaca es destruida, formándose una serie de pequeñas cuencas endorreicas y aisladas distribuidas en gran parte del área de la antigua cuenca, comunicándose éstas sólo esporádicamente en períodos de gran afluencia (ver inciso V.1. d.) Debido también a este evento tectónico, el Río Grande

(Río Bravo) toma su actual curso drenando hacia el Golfo de México. La evidencia de este evento tectónico se observa -- en la Mesa del Río Grande en donde las Formaciones Camp -- Rice y Palomas han sido afectadas por el fallamiento men-- cionado, formando el escarpe de las Montañas Camel, el --- cual ha sido remarcado por el oleaje en tiempos postero-- res (C.C. Reeves, 1969, p.150).

A finales del Cuaternario existe otro evento -- tectónico traducido en fallamiento que corta abanicos alu-- viales de 0.4 m.a. y hasta 4000 años (Seager y Morgan, op, cit).

CAPITULO VI

DESCRIPCION DEL LAGO SALINO DE PALOMAS

En este capítulo se describirá el Lago Salino de Palomas, atendiendo a sus características hidrológicas, sedimentológicas y geoquímicas.

Se ha denominado "Lago Salino de Palomas" a la cuenca que contiene a los depósitos de evaporitas continentales localizados en esta área; debido a que éstos se han formado por procesos de evaporación que han concentrado - los solutos de sus aguas hasta en 100,000 ppm; generando - salmueras alcalinas y formando minerales salinos en desarrollo intrasedimentario.

VI.1.- Hidrología.- Como se mencionó al describir la - hidrografía del área de estudio en el capítulo IV, el Lago Salino de Palomas se ubica en la "subcuenca de Palomas" -- (nombre informal); la cual es de forma irregular y no se encuentra bien definida ya que no existe un relieve contrastante entre la parte más baja y más alta de ella que - establezca un parteaguas definido, debido esto a la ausencia de altas montañas que la circunden totalmente. Sólo en las margenes Oeste y Sureste se encuentran cuerpos rocosos de fuerte y medio desnivel representados por sierras volcánicas de composición basáltica (Cerro el Gato, El Casca-

jo, etc), y riolítica (Cerro La Rosina y Las Aguilas) ---
respectivamente; las cuales drenan en parte hacia la ----
cuenca.

En las margenes Norte, Sur y Este, se carece -
de rocas que presenten un desnivel marcado y que drenen -
directamente a la cuenca; las rocas existentes consisten
en depósitos continentales y eólicos de poco relieve ----
(1-5 m). Las montañas más cercanas las constituyen las --
Sierras de La Florida y de las Tres Hermanas al Norte (en
territorios de E.U.A.) y la Sierra de Venancio al Este; -
las cuales es posible que drenen en parte hacia la cuenca.

Estos factores, aunados a la carencia de ríos
y manantiales que aporten un flujo suficiente y constante
de agua; producen que la afluencia a la cuenca sea muy --
restringida, lo que determina el carácter efímero del la-
go, el cual unicamente presenta agua superficial (general-
mente salmuera muy diluida, ya que disuelve eflorescen---
cias y minerales salinos) durante la época de lluvias y -
tormentas esporádicas en otras estaciones del año (inclu-
yendo nevadas); persistiendo solamente algunos días; ya -
que la evaporación actua rápidamente sobre ella.

Sin embargo, se ha detectado la presencia de un cuerpo estacionario de salmuera en el subsuelo, con profundidades del nivel freático que varían de 1 a 4 m; el cual se mantiene en forma permanente debido a la baja evaporación existente en esa zona (Ver plano No. 7).

La presencia de un cuerpo permanente de salmuera en el subsuelo puede indicar la existencia de un flujo de entrada subterránea a la cuenca, sin embargo, solo la realización de estudios geohidrológicos detallados verificarán la existencia de este flujo, así como su comportamiento.

Es posible que existiera un cuerpo permanente de "agua dulce" en el lago, constatado por la presencia de conchas de moluscos de ambiente lacustre y que están ampliamente distribuidos en los sedimentos (entre ellos algunos pelecípodos del género Unio sp), lo que indica -- que debió existir una afluencia suficiente para mantener un cuerpo permanente de agua. Esta se comprueba en parte ya que existen sobre la margen Oeste, Noroeste y Norte de la cuenca y ubicados en los bordes de los abanicos aluviales, vestigios de antiguos manantiales que descargaban a la cuenca; algunos de gran extensión (manantiales de Palomas Viejo, Tres Ojos, etc). Por otro lado, auto--

res como C.C. Reeves (1969) mencionan la existencia de un río (Mimbres o Casas Grandes) que drenaba al lago en el pleistoceno superior.

VI.2.- Sedimentología.- Los sedimentos de la cuenca del Lago de Palomas se depositaron en un medio acuoso y transicional característico de un ambiente lacustre, actuando posteriormente en este último, procesos de evaporación (los que han concentrado los solutos de sus aguas), creando un lago salino.

Los lagos salinos se encuentran rodeados de varios subambientes de depósito genéticamente interrelacionados, por lo que desde un punto de vista sedimentológico un lago salino corresponde únicamente a una parte de un complejo sistema de subambientes (ver fig. No. 6).

Por subambiente de depósito en un lago salino se entiende a un conjunto característico de procesos químicos, físicos y biológicos los cuales están representados por una fisiografía característica (L.A. Hardie, et al, p.14, 1978). Las expresiones litológicas de estos subambientes, corresponden a subfacies (M.E. Tucker, 1981).

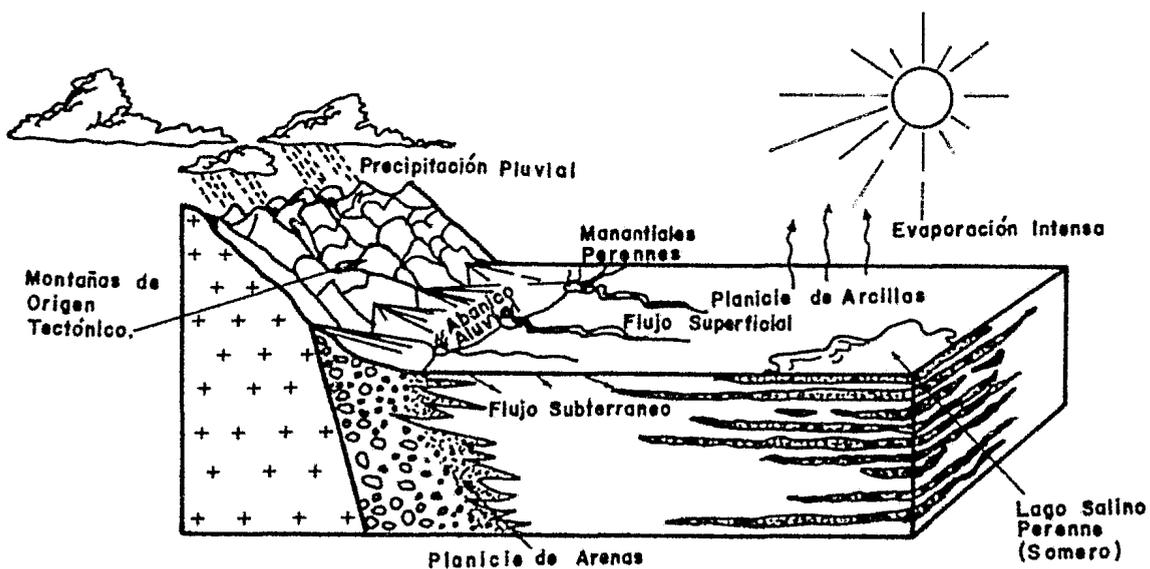


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LOS AMBIENTES
 DE DEPOSITO EN UN LAGO SALINO
 (SEGUN: H. P. EUGSTER Y L. A. HARDIE , 1978)

FIG. No. 6

Considerando lo antes mencionado, la cuenca del "Lago Salino de Palomas" se ha dividido en varios subambientes (ver fig. No. 7 y los planos 8 y 9), los cuales se presentan a continuación:

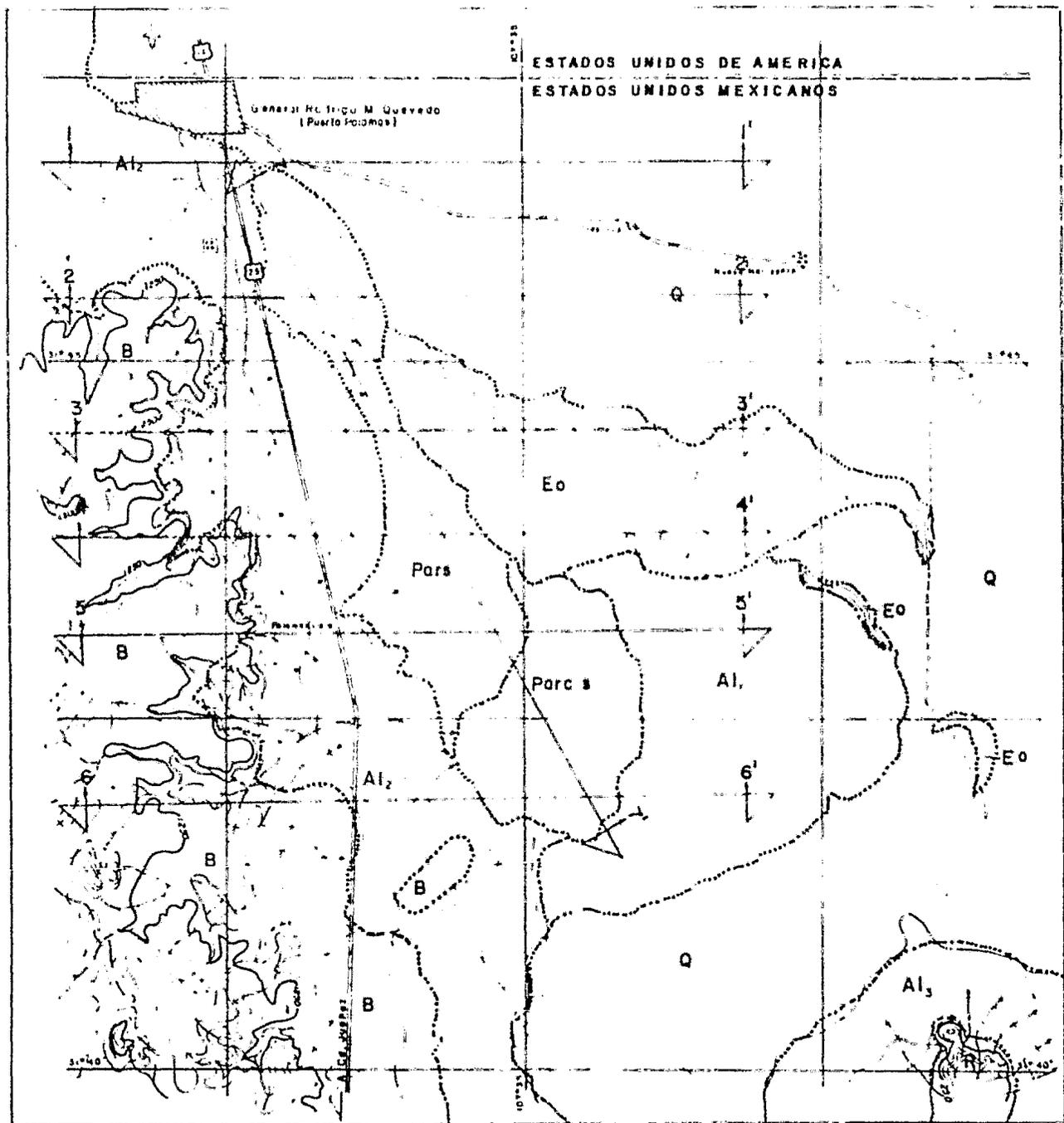
- Abanicos Aluviales
- Planicie de Arenas
- Planicie de Arcillas Salinas
- Dunas

VI.2.a).- Abanicos Aluviales.- En función de su distribución en el campo, composición litológica y edades relativas, se distinguen tres subdivisiones en este subambiente:

- Abanico Aluvial 1
- Abanico Aluvial 2
- Abanico Aluvial 3

Abanico Aluvial 1 (Al 1).- Consiste en gravas de tamaño medio a fino bien redondeadas, ligeramente tabulares, de composición riolítica con fragmentos de calizas (provenientes de rocas cretácicas) y calcedonia como constituyentes menores; la matriz, se encuentra presente aproxi-

SUBAM



- Al₁ | Al₂ |
- Pars PLANICIE DE
- Parcs PLANICIE DE
- Eo CAMPO DE D
- B | R BA
- CONTACTO E
-  POBLACION
-  LIMITE INT
-  CARRETERA F
-  YERRACERIA
-  BRECHA
-  PISTA DE TIE
-  CEMENTERIO
-  CURVA DE NI
-  CORRIENTE
-  LINEA DE SEC

Equi

EXPLICACION

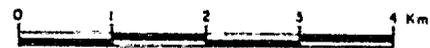
SUBAMBIENTES DE DEPOSITO

- | | | | | | |
|--|-----------------------------|----------------------------------|--------------------|---|--------------------|
| Al_1 | Al_2 | Al_3 | ABANICOS ALUVIALES | Q | SUELOS Y ELUVIONES |
| Parcs | PLANICE DE ARENAS | | | | |
| Parcs | PLANICE DE ARCILLAS SALINAS | | | | |
| Eo | CAMPO DE DUNAS | | | | |
| B | R | BASAMENTO VOLCANICO DE LA CUENCA | | | |
| ----- CONTACTO ENTRE AMBIENTES DE DEPOSITO | | | | | |

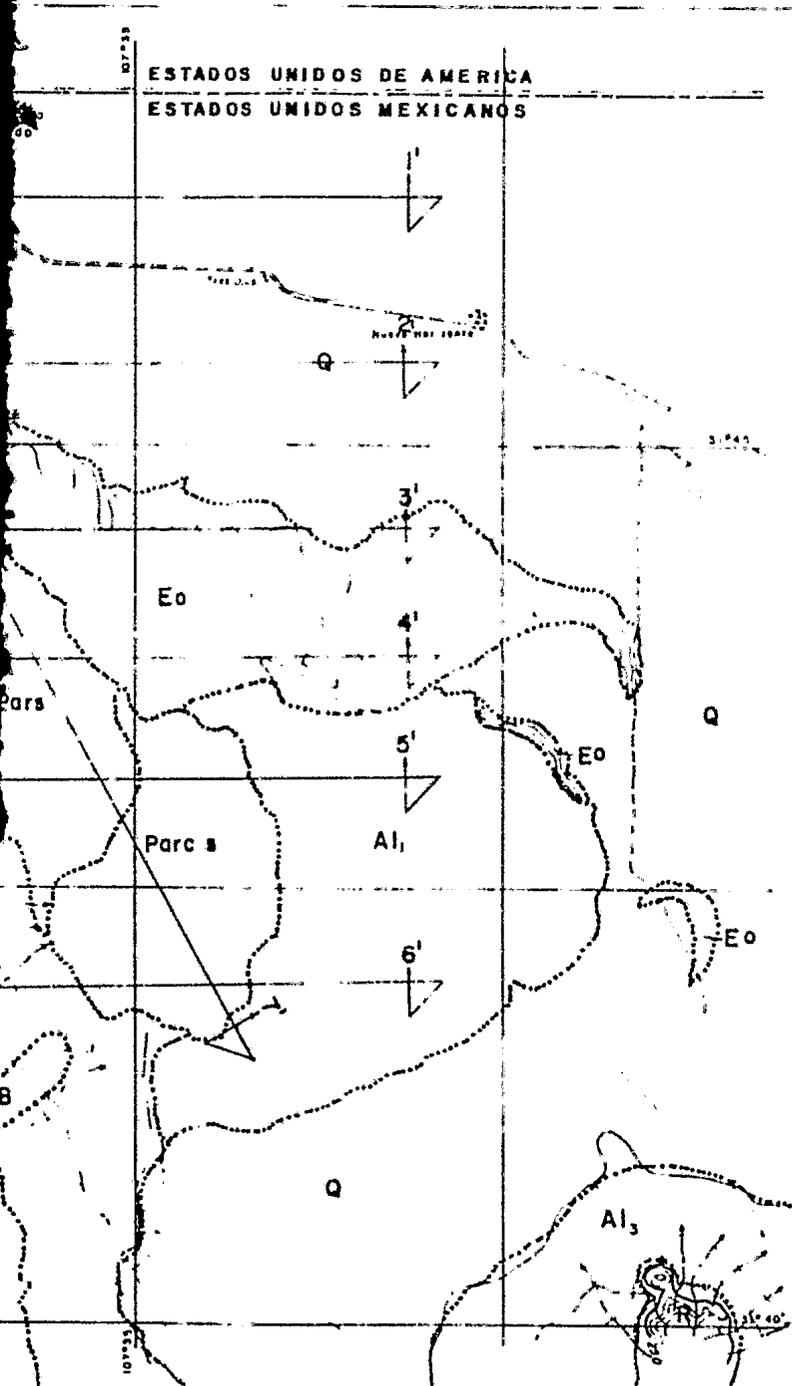
SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

- | | |
|---|---------------------------------------|
|  | POBLACION |
| ----- | LIMITE INTERNACIONAL |
|  | CARRETERA FEDERAL |
| ===== | TERRACERIA TRANSITABLE TODO EL TIEMPO |
| ----- | BRECHA |
|  | PISTA DE TIERRA |
|  | CEMENTERIO |
|  | CURVA DE NIVEL |
|  | CORRIENTE INTERMITENTE |
|  | LINEA DE SECCION |

ESCALA GRAFICA



Equidistancia entre curvas de nivel: 10 metros



U
N
A
M

FACULTAD DE INGENIERIA
CIENCIAS DE LA TIERRA

SUBAMBIENTES DE DEPOSITO EN EL
LAGO SALINO DE PALOMAS.

INGENIERO PROFESIONAL

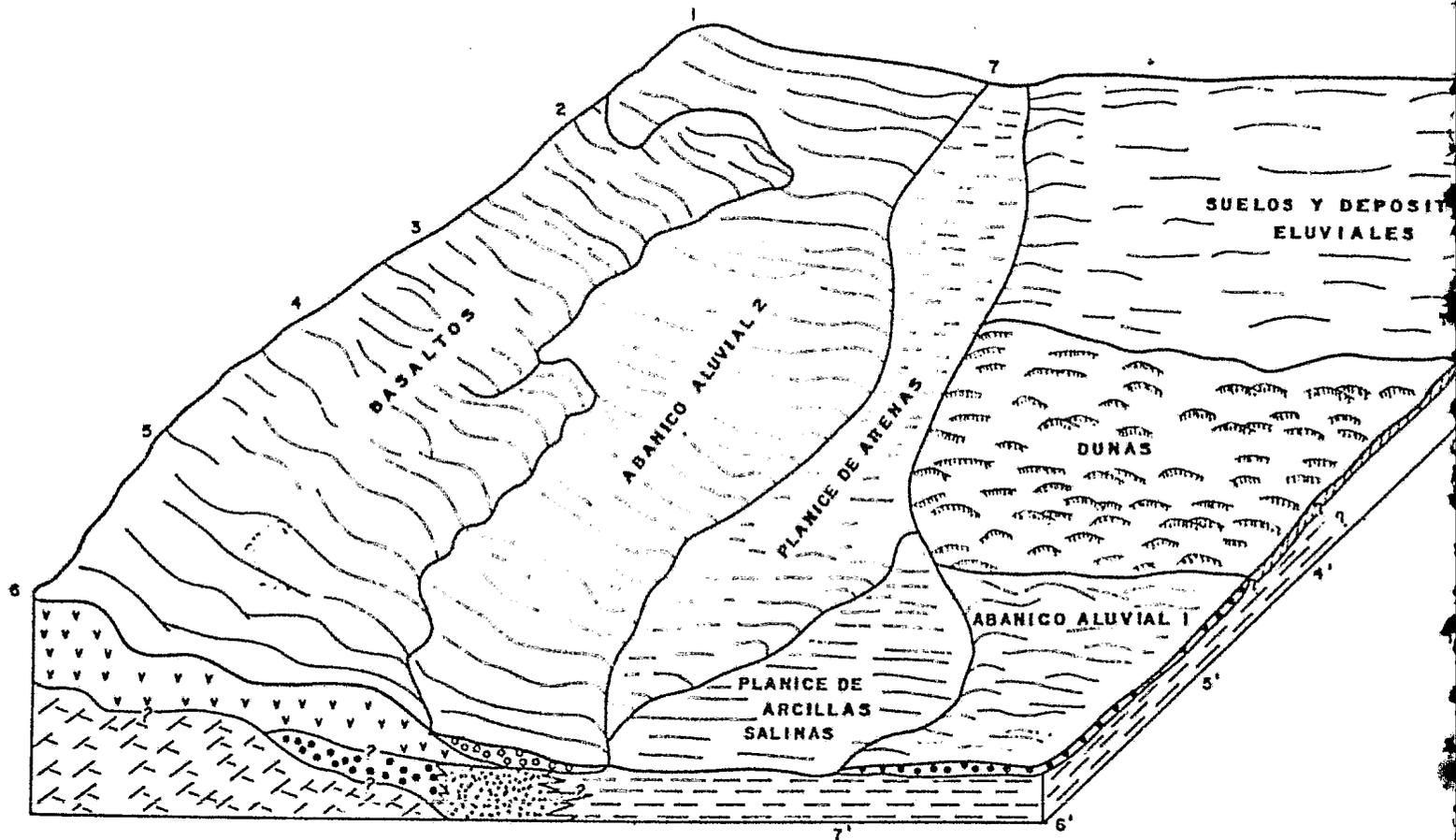
ELIAS OJEDA DIAZ

Escala 1:50000

Aerot EN Km

PLANO No. 8

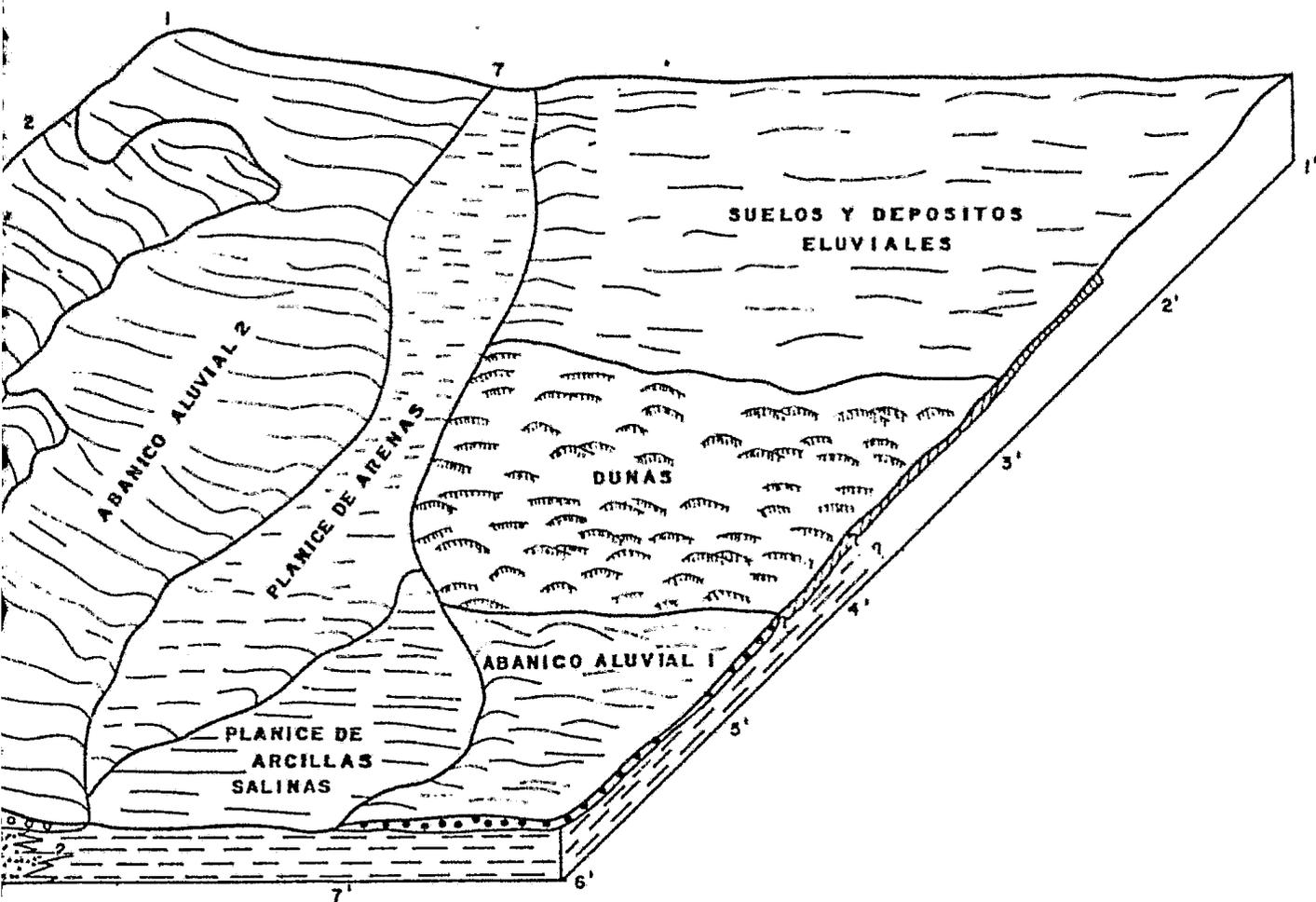
MAYO/1983



**U
N
A
M**

FAC
CI
ISOM
LAE

TESIS PROFES
ESC. — ACOT E



U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	ISOMETRICO DE LOS SUBAMBIENTES DE DEPOSITO EN EL LAGO SALINO DE PALOMAS	
TESIS PROFESIONAL		ELIAS OJEDA DIAZ
ESC. ———	ACOT EN ———	FIG. No. 7 MAYO/1983

madamente de un 0 al 60% en el sedimento y está formada principalmente por arenas de tamaño grueso a fino con contenidos bajos en arcillas. Generalmente el sedimento se presenta muy compacto excepto donde está ausente la matriz.

Se identificaron en el sedimento, dos tipos principales de depósito; los cuales son: Depósitos de arroyos entre cruzados y depósitos clasificados.

Los depósitos de arroyos entrecruzados se observan en la superficie como bancos de gravas y arenas separados por un sistema entrelazado de arroyos poco profundos, y en sección vertical como lentes de gravas y arenas; los lentes de grava son de tamaño grueso a fino con 10 cms de espesor promedio, en ocasiones imbricados, y moderadamente clasificados; los lentes de arenas están formados por arenas de tamaño grueso a fino, moderadamente clasificados de 1 a 1.5 m de espesor, con una estratificación gradada en ocasiones bien definida; generalmente las arenas también se encuentran rellenando los huecos existentes entre los lentes de grava. A medida que el flujo decrece, las gravas finas y arenas son depositadas en un régimen de flujo superior, formando estructuras planares (plane beds) y antidunas -

en los canales.

Los depósitos clasificados consisten en bancos de gravas moderadamente clasificadas e imbricadas debido a que el flujo ha acarreado los materiales finos y ha dejado los gruesos en la superficie. A causa de la casi ausencia de matriz, estos depósitos no se encuentran consolidados.

El cementante se encuentra en forma de Carbonato de Calcio y se presenta principalmente relleno de los huecos e intersticios entre las arenas de la matriz.

La parte superficial está caracterizada por una cubierta de fragmentos de riolitas (del tamaño de gravas) muy unidos, y ha sido formada por la remoción de las partículas finas (arcillas, limos y arenas) por el viento (deflación) dejando los fragmentos más gruesos (gravas y guijarros). A medida que continúa la deflación los fragmentos gruesos se van acumulando en la superficie, llegando al extremo que forman una cubierta o coraza que a partir

de ese momento protege al sedimento de la deflación. Esta cubierta ha sido denominada como pavimento del desierto o coraza protectora de la deflación y es característica de la mayoría de los desiertos del mundo (J.E. Sanders, 1981). En las gravas que forman esta cubierta, se observan algunos ventifactos con dos o más caras (facetas) originadas por la deflación.

Este Abanico Aluvial 1 se distribuye al Este de la planicie de inundación, en donde se ha observado que descansa discordantemente sobre un cuerpo arcilloso de color verde que forma parte de la planicie de arcillas, la cual será descrita posteriormente. Se presenta como remanente de un antiguo abanico aluvial el cual ha sido erosionado.

Abanico Aluvial 2 (Al 2).- Consiste en gravas y guijarros subredondeados de composición basáltica, con una matriz arcillo - arenosa en la que las arenas son de tamaño medio a fino. Se presentan semiconsolidados a no consolidados.

Se encuentra disectado por un patrón radial -- de arroyos; algunos de ellos entrelazados; los cuales, se hacen más profundos hacia la parte final del abanico; dando origen a tres tipos - principales de depósitos: de arroyos entrecruzados, de relleno de antiguos lechos y depósitos clasificados.

Los depósitos entrecruzados están constituidos por bancos de gravas, guijarros y arenas, son moderadamente clasificados y se encuentran --- aislados por un sistema de canales entrecruzados poco profundos.

Los depósitos de relleno de antiguos lechos -- son depósitos pobremente clasificados consistentes en gravas, guijarros y arenas. Son de mayor espesor que los depósitos de lechos entrelazados y se encuentran relleno de lechos - sinuosos producidos anteriormente durante las tormentas. Estos depósitos pueden observarse - en los cortes de la carretera que une al poblado de Gral. Rodrigo M. Quevedo con Cd. Juárez y Casas Grandes.

Los depósitos clasificados consisten en bancos de gravas bien clasificados que se han formado debido a las corrientes que acarrear el material fino dejando el grueso en la superficie.

Este depósito aluvial se ha formado a partir de la erosión e intemperismo de las rocas basálticas (Tb) distribuidas al Oeste de la cuenca y se encuentra sobreyaciendo discordantemente a la planicie de arenas y a la de arcillas salinas.

En la región en donde sobreyacen discordantemente estos depósitos a la Planicie de Arcillas Salinas, se observan acreciones de Carbonato de Calcio formadas a partir de un fragmento (grava o guijarro) de basalto, mismas que han sido originadas por la precipitación de este mineral a partir de la salmuera.

Abanico Aluvial 3 (Al 3)..- Está constituido por gravas y guijarros subangulosos y subredondeados de composición riolítica; producto de la erosión e intemperismo de las riolitas y tobas riolíticas (Tr) localizadas en el Cerro de

la Rosina y de las Aguilas, presenta una ma---
triz arcillo - arenosa, en la que predominan -
las arenas de tamaño grueso a fino. Se presen-
ta semiconsolidado a no consolidado.

Al igual que el abanico aluvial 2, se encuen--
tra disectado por abundantes arroyos entrelazao
dos que obedecen un patrón radial bien defini-
do, los que dan origen a dos tipos de depósi--
tos: de arroyos entrecruzados y depósitos cla-
sificados.

Los depósitos de arroyos entrecruzados consis-
ten en bancos de gravas, guijarros y arenas, -
son moderadamente clasificados y se encuentran
aislados por un sistema de canales entrelaza--
dos poco profundos.

Los depósitos clasificados consisten en bancos
de gravas bien clasificadas formados debido al
flujo de corrientes que acarrear el material -
fino dejando el grueso en la superficie.

VI.2.b).- Planicie de Arenas.- Consisten en arenas semi-
consolidadas de tamaño grueso a fino, son anguo

losas y subangulosas, de ligera a moderadamente seleccionadas, están formadas por granos de cuarzo, feldespatos, plagioclasas y fragmentos de rocas riolíticas. Se observan pequeños lentes intercalados de gravas finas de composición riolítica así como pequeñas capas y lentes de limos y arcillas de color pardo claro, las que se presentan en ocasiones mezcladas -- con arenas de tamaño muy fino. La proporción -- de limos y arcillas aumenta con la cercanía -- al centro de la cuenca. Se observan conchas de pelecípodos y gasterópodos que aún conservan -- su materia original en la concha; estando el -- interior ocupado por el sedimento arenoso.

Las estructuras que se observan en los sedimentos consisten en masiva, graduada, laminar, y estratificación cruzada. Esta última en algunos afloramientos parece ser ocasionada por la acumulación de depósitos eólicos en un ambiente acuoso (Tipo Sabkha).

La composición de los granos de las arenas sugieren que la fuente de origen fueron las rocas de composición riolítica distribuidas en la re-

gión (entre las que están las del Cerro de La Rosina, El Aguila, Venancio, Las Tres Hermanas y La Florida, algunas de las cuales se encuentran cubiertas discordantemente por derrames de basalto); sin embargo, no fue posible observar esta relación.

La presencia de conchas de moluscos, entre los que se encuentran pelecípodos similares a los del género Unio sp. (Gloria Alencaster, comunicación personal, 1983), indican la existencia de un medio acuoso constante de "agua dulce" el cual está ausente en la actualidad.

Hacia el Sureste, los sedimentos de esta facies cambian a través de interdigitaciones a una facies arcillosa la cual constituye el subambiente de la planicie de arcillas salinas.

VI.2.c) .- Planicie de Arcillas Salinas.- El subambiente que será descrito a continuación reviste gran importancia ya que en él se presentan las anomalías salinas de interés para este estudio. -- Por otra parte éste también ha sido denominado como Lago Salino efímero (L.A. Hardie, et, al,

1978), el cual consiste en un cuerpo efímero - y somero de agua, generalmente salmuera, que se mantiene en forma alternada con períodos de sequía, dejando en ocasiones sobre la parte central sales precipitadas a partir de la evaporación de la salmuera. Este subambiente también es conocido como Salina, Lago alcalino y lago-playa cuando tienen salmuera en la superficie, y playa, lago seco, planicie alcalina, planicie salina, cuenca salina, planicie de inundación y sabkha continental cuando está seco.

La superficie de los sedimentos está constituida por una capa de limos y arcillas muy deleznable de color pardo rojizo de 30 cms de espesor aproximado, caracterizada por la presencia de polígonos de desecación y eflorescencias de minerales salinos. Los polígonos son de 5 y 6 lados y de 10 a 15 cms de diámetro; con una profundidad de 1 a 3 cms, aunque en algunos lugares las grietas pueden profundizarse más.- Las eflorescencias son de color blanco y pardo claro, de textura porosa y pulverulenta.

Abajo de esta capa superficial se presentan -- arcillas y limos de color verde a azul verdo-- so, con pequeños porcentajes de arenas de tama ño muy fino; tienen sabor salado amargo debido a las sales que se encuentran mezcladas en el sedimento. No se observan estructuras prima--- rias, tal vez debido a que la salinidad las ha destruido; como estructuras secundarias se observan grietas y veneros; algunos de los cua-- les están rellenos de arcillas de color pardo rojizo provenientes de la superficie. Son de textura semicompacta y muy plástica. Villase-- ñor, et, al (1983) reporta en un análisis granulométrico realizado a 10 muestras pertene--- cientes a estos sedimentos un contenido medio del 60% de arcilla, 25% de limo y 5% de arena.

Se observan, al igual que en la planicie de -- arenas, conchas de pelecípodos y gasterópodos las cuales se encuentran reemplazadas en el - interior por el sedimento arcilloso conservando aún en el exterior el material original de la concha.

La depositación de estos sedimentos toma lugar cuando la competencia del flujo (en el cual -- son transportadas en suspensión) decrece al -- llegar a la cuenca, depositándolos en capas -- delgadas de arcillas y limos; el espesor de -- estas capas depende de la concentración de los sedimentos en suspensión y de la profundidad del agua.

Dentro del sedimento arcilloso de color verde se observa en algunas zonas un cambio gradual en la coloración que va de verde a azul claro, azul oscuro y negro. En forma conjunta a este cambio se aprecia un olor fétido, sabor desagradable y textura muy "grasosa"; característi-- cas que se incrementan a partir de las arci--- llas de color azul claro y tienen su mayor ex-- presión en las de color negro. Esto indica la presencia de materia orgánica en descomposi--- ción (del tipo algáceo principalmente, aunque también puede haber esporas, plantas y macro - esporas), misma que ha sido degradada biológic-- camente en un ambiente anaeróbico y reductor, generando Kerógeno (y en ocasiones bitúmenes) - a partir de materia y ácidos grasos, acompa --

ñado del desprendimiento de gases como H_2S y CO_2 . (Este último es importante en la formación del Carbonato). Estas arcillas, conocidas como arcillas bituminosas o "aceitosas" (oil shale) se han formado en cuerpos estratificados de -- agua en los cuales las superficies oxigenadas permiten el crecimiento de plankton en contraste con el fondo anóxico que permite la preservación de la materia orgánica (M.E. Tucker, op, - cit), siendo su origen similar a las localizadas en los lagos Eocénicos Uinta y Gosiute de los estados de Colorado, Utah y Wyoming (Formación Green River) en E.U.A., el Lago Cadell del Este de Londres y los lagos de Nueva Brunswick en Canadá (J.T. Greensmith, 1978).

La presencia de salmuera, ya sea en forma efímera en la superficie o permanentemente en el subsuelo ocupando los intersticios de los sedimentos, es una característica de este subambiente. La salinidad influye, como ya se ha indicado, - en los sedimentos principalmente al destruir las estructuras presentes en ellos.

Esta salmuera se presenta a profundidades someras que varían de 1 a 4 m, (ver plano No. 7) -- con concentraciones hasta de 100,000 ppm (10%). Debido a la cercanía con la superficie, la parte superior del cuerpo de salmuera es afectado por la evaporación lo que produce el intercrecimiento de cristales entre el sedimento.

Los sedimentos de este subambiente se encuentran distribuidos en la playa o planicie de inundación de la cuenca; además de presentarse al N y E. Al Norte se presenta interdigitada con sedimentos en facies más arenosas de la planicie de arenas y al Este subyaciendo discordantemente al abanico aluvial 1.

En el subsuelo de la margen Oeste se presenta a través de una interdigitación y a 6 m de profundidad un cuerpo de arcillas con pocos contenidos en minerales salinos, marcando un cambio decreciente en la salinidad; son arcillas de color pardo, muy compactas, de sabor ligeramente salado y casi sin salmuera en los intersticios. A diferencia de las arcillas salinas se observan estructuras primarias como es princi--

palmente la estratificación laminar.

VI.2.d) .- Dunas.- Son depósitos eólicos constituidos principalmente por granos redondeados de cuarzo, --feldespatos y plagioclasas, en los cuales se --distinguen dos tipos de depósitos; uno representado por antiguos barjanes y el otro por depósitos actuales.

Los barjanes son cúmulos arenosos muy compactos en forma de media luna; sus características distintas ya no son muy notorias, ya que han sido sometidos a una intensa deflación en tiempos posteriores a su formación, no obstante es posible apreciar una estratificación cruzada muy --bien definida. Estos cuerpos barjánicos posiblemente se formaron hace algunos cientos de años, indicando que en esos tiempos el viento dominante tenía una dirección N 60° E. (C.C. Reeves, - p.153, 1969).

Los depósitos actuales consisten en cúmulos arenosos irregulares y montículos arenosos. Los --primeros consisten en arenas depositadas en cúmulos agrupados de 2 y 3 m de altura, son de --

forma irregular y están fijos por la vegetación. Los segundos son acumulaciones de arena en obstáculos aislados, generalmente se presentan con una altura de 1 a 2 m junto a pequeños arbustos.

Se distribuyen en los margenes Norte, Noroeste y Noreste de la planicie de inundación. En la zona de contacto de estos dos subambientes, se presentan algunas estructuras formadas por la acción conjunta de procesos de deflación y sedimentación mejor conocidas como Sabkhas (Friedman y Sanders; p.213, 1978). Estas se han originado por la acción inicial del viento, el cual ha excavado pequeñas cavidades en el sedimento de la planicie, las cuales posteriormente son rellenadas por nuevos materiales en procesos posteriores de sedimentación.

Por otro lado, los Abanicos Aluviales, la Planicie de Arenas y la Planicie de Arcillas son sometidas a intensa erosión y acumulación eólica, de este modo los depósitos originados están acompañados en ocasiones de fragmentos y eflorescencias de minerales evaporíticos (Yeso Halita, Trona, etc).

Se ha incluido el subambiente de dunas ya que si bien no están relacionadas directamente en la formación de los depósitos evaporíticos, los procesos que han formado estos depósitos eólicos si están muy relacionados con los que originan los lagos salinos. Estos procesos -- son (Yakushova y Gorshkov; p.110, 1977):

- 1.- Cambios bruscos de temperatura que intensifican los procesos de meteorización.
- 2.- Precipitación atmosférica escasa.
- 3.- Predominio de la evaporación sobre la pre cipitación.
- 4.- Cubierta vegetal escasa o totalmente au-- sente.
- 5.- Vientos fuertes y frecuentes.
- 6.- Existencia de materiales susceptibles de ser transportados.

Algunos de estos procesos son comunes en la - formación de depósitos evaporíticos continentales y eólicos, verificándose principalmente en las zonas desérticas y semidesérticas del mundo.

Por último, se observan suelos y depósitos -

aluviales (Q) consistentes en arenas, limos y arcillas; circundando a los subambientes antes descritos.

VI.3.- Geoquímica.- Las sales contenidas en el "Lago Salino de Palomas" provienen principalmente de los iones aportados durante el intemperismo químico de las rocas -- volcánicas y sedimentarias que circundan a la cuenca, así como en las emanaciones volcánicas y en la descomposición de la materia orgánica contenida en los sedimentos.

El intemperismo químico de las rocas circundantes a la cuenca ha liberado determinados iones en solución, los cuales son transportados a las partes más bajas de ellas a través de un flujo superficial y subterráneo, siendo concentrados posteriormente, y en conjunto con los iones generados en las emanaciones volcánicas y durante la descomposición de la materia orgánica, por procesos -- constantes de evaporación generando de este modo anomalías salinas.

En este subcapítulo se tratará sobre la distribución de las anomalías salinas, como se han generado así como su composición química y mineralógica.

VI.3.a).- Modo de Ocurrencia y Composición Química de las Anomalías Salinas.- Las anomalías salinas se encuentran presentes en el depósito en forma de eflorescencias, minerales salinos en el sedimento y salmueras.

Las eflorescencias son de color blanco y pardo claro, deleznales y de textura pulverulenta y porosa, con un tamaño medio que no sobrepasa a 1 mm; tienen sabor salado-amargo y olor irritante debido a la presencia de Carbonato de Sodio en forma de Trona, el cual también es acompañado por otros minerales salinos como la Halita y la Mirabilita ?. Se distribuyen en casi toda la superficie de los sedimentos lacustres así como en las zonas de los depósitos aluviales más cercanas al centro de la cuenca; siendo en la margen Este y Norte de la Planicie de inundación en donde se observan en mayor cantidad. Se han originado por un proceso de evaporación-capilaridad a partir de la salmuera intersticial presente en los sedimentos del subsuelo.

Análisis químicos cuantitativos reportan concentraciones medias de 14.41% de Sulfatos, 13.34% de Sodio, 10.50% de Carbonato, 1.40% de Bicarbonato, 1.24% de Cloruros y 0.086% de Potasio. -- (Ver tabla No. 9).

Los minerales salinos en el sedimento se presentan en dos formas: en desarrollo intrasedimentario y como intercrecimiento de ellos en el sedimento; los cuales a continuación se describirán.

Los minerales salinos en desarrollo intrasedimentario no son observables a simple vista y se encuentran mezclados con los minerales propios de los sedimentos, lo que le imparte características especiales a este último, traducidas en un sabor salado-amargo y destrucción de las estructuras primarias. Consisten en Trona y Halita, aunque también puede haber Mirabilita. Se han originado a partir de la salmuera intersticial y se distribuyen en la totalidad de los sedimentos arcillosos de la planicie de inundación.

Las concentraciones medias de los iones son de 2.56% de Sodio, 1.65% de Carbonato, 0.073% de - Potasio, 0.72% de Bicarbonato, 0.80% de Cloru-- ros y 1.20% de Sulfatos. Cálculos estequiométricos realizados a partir de estos datos reportan 2.92% de Carbonato de Sodio, 0.998% de Bicarbonato de Sodio, 1.78% de Sulfato de Sodio y --- 1.13% de Cloruro de Sodio (ver tabla No. 9).

Los minerales salinos en intercrecimiento en el sedimento consisten principalmente en cristales aislados, euhedrales y subhedrales de Gaylussita, (y probablemente otros que no han sido identificados) los cuales se han originado a partir de la cercanía de la salmuera con la superficie, precipitando dentro del sedimento debido a la - evaporación existente en esa zona del subsuelo. Se distribuyen ampliamente en el sedimento arcilloso de la planicie de inundación.

La salmuera contiene iones en solución en con-- centraciones hasta de 100,000 ppm, y se presenta en el subsuelo a profundidades someras ocupando los intersticios de los sedimentos corres

pondientes a la planicie de inundación y a la planicie de arenas, así como en parte del Abanico Aluvial 1. En tiempos de lluvias y avenidas torrenciales se presenta un cuerpo de salmuera superficial (5 a 10 cms de espesor) originada por la disolución de eflorescencias y minerales salinos de la superficie. En general es de color pardo rojizo y sabor salado-amargo y presenta un pH medido en el campo de 9 a 11 y una densidad relativa de 1.070 a 1.164. (ver tabla No. 9).

Las concentraciones medias de los iones son de (en gr/lt) 37.13 de Sodio, 25.83 de Carbonato 0.324 de Potasio, 4.57 de Bicarbonato, 17.50 de Cloruros y 20.17 de Sulfatos. Cálculos estequiométricos realizados a partir de estas concentraciones indican (en gr/lt) 44.84 de Carbonato de Sodio, 6.29 de Bicarbonato de Sodio, 29.83 de Sulfato de Sodio y 15.98 de Cloruro de Sodio. (Ver tabla No. 9).

De todas las anomalías salinas mencionadas anteriormente, la salmuera es la que reviste mayor importancia por ser factible de ser apro-

vechada económicamente.

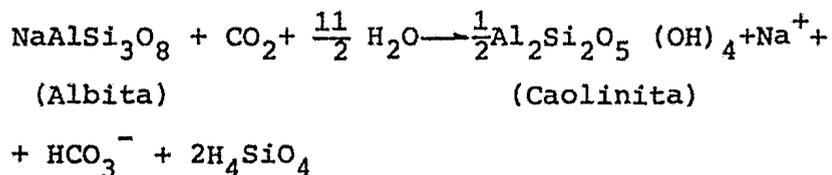
Las especies mineralógicas contenidas en las eflorescencias y sedimentos serán indicadas -- con mayor detalle en la parte correspondiente a mineralogía.

VI.3.b).- Adquisición de Solutos.- Considerando las reacciones de intemperismo químico descritas en la parte correspondiente a geoquímica en el capítulo dos, se puede inferir la posible fuente - de origen de los iones localizados en el depósito, y que son, en orden de importancia: ---- $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} ; de los cuales predomina el Carbonato y Cloruro en los aniones y el Sodio en los cationes. Se consideran, además del intemperismo de las rocas circundantes a la cuenca, otras fuentes de iones como son las emanaciones volcánicas y la - descomposición de la materia orgánica contenida en los sedimentos.

Las principales fuentes de los iones serán descritas por Cationes y Aniones (en orden de importancia).

CATIONES:

Sodio.- El Sodio que existe en forma abundante en la salmuera y sedimento del yacimiento, se ha derivado preferentemente del intemperismo - de las Plagioclasas Sódicas de las rocas volcánicas de composición riolítica (Tr) que afloraron en la región (Cerro La Rosina, Tres Hermanas, etc). La liberación del ión sodio obedece en forma general la siguiente reacción, según H.P. Eugster, (1980):



Otra fuente de sodio, lo pudo haber sido la disolución de minerales salinos como la Halita y Mirabilita que pueden estar presentes en antiguas evaporitas (del Paleozoico Superior y Jurásico) localizadas en las Sierras de Palomas, Boca Grande, Chinos, Enmedio y Las Aguilas, -- ocupando la margen Oeste del Lago Salino de Palomas.

El agua de sedimentación que pudo existir atrapada (connata) en las rocas sedimentarias marinas, pudo aportar Sodio (en forma de Cloruro - de Sodio).

Potasio.- Se ha derivado a partir del intemperismo de los Feldespatos Potásicos y Micas --- (Biotita) que se encuentran presentes en las - rocas de composición riolítica de la región -- (ya mencionadas). Así como de la disolución de minerales como la Silvita que puede estar presente en antiguas evaporitas.

Aunque el Potasio se encuentra en la naturaleza en proporciones similares al Sodio, en el yacimiento se presenta en concentraciones considerablemente menores, lo que puede explicarse por uno o varios de los siguientes puntos, según Davis y Weist, (1966).

- 1.- El Feldespato Potásico presenta mayor resistencia al intemperismo químico que las plagioclasas Sódicas.
- 2.- Cuando el Potasio es liberado por el intemperismo químico, se introduce en la estructura

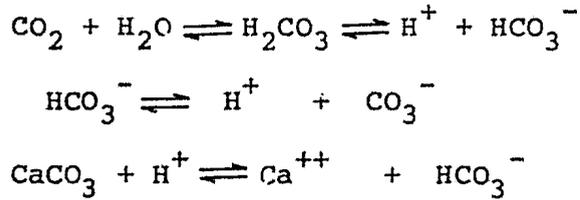
tura de algunas arcillas.

3.- La vegetación fija Potasio en mayor grado que el Sodio.

Calcio.- Se ha originado principalmente del intemperismo químico de minerales como los Anfíboles, Piroxenos y Plagioclasas Cálcidas, presentes en los basaltos (Tb) localizados al W de la cuenca (Cerro El Gato, El Cascajo, etc).

Otra fuente de origen lo pudo consistir la disolución de minerales como la Calcita, Dolomita, Yeso, Anhidrita; así como las calizas presentes en formaciones calcáreas y evaporíticas del Paleozoico y Mesozoico de la región (Sierra de Palomas o Boca Grande, Sierra de Las Aguilas, etc).

El Carbonato de Calcio se disuelve fácilmente en aguas con abundantes iones H^+ , producidos por la disociación del ácido carbónico. Las reacciones que se verifican según Davis y Weist, ibidem, son:



El Calcio se encuentra presente en concentraciones muy bajas en la salmuera y nulas o casi nulas en el sedimento, lo que puede ser explicado debido a que el ión Calcio en presencia de iones Carbonato, precipita tempranamente en forma de Carbonato de Calcio, dejando una salmuera residual carente en él. (Ver el inciso VI.3.d).

Magnesio.- La principal fuente de Magnesio lo constituyen las dolomitas o calizas con bajos contenidos en Magnesio de las rocas sedimentarias calcáreas de la región. Otra fuente de origen en menor grado son minerales como el Olivino, Biotita, Anfíboles y Piroxenos Magnésicos presentes en las rocas volcánicas.

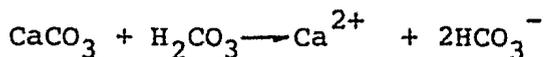
La baja concentración del Magnesio en los sedimentos y salmueras se debe a la mayor resistencia de las dolomías y calizas magnésicas al intemperismo; y a que al igual que el Calcio pre-

cipita en presencia de iones Carbonato como -- Carbonato de Magnesio o Protodolomita, dejando una salmuera residual carente de él. (Ver inciso VI.3.d).

ANIONES:

Carbonatos y Bicarbonatos.- La presencia de estos iones se debe en forma principal al CO₂ generado durante la descomposición de la mate--ria orgánica contenida en los sedimentos, la - que da origen al mismo tiempo a las arcillas - bituminosas o aceitosas "(oil shale)" ya des--critas en la sedimentología del yacimiento. -- Otro aporte muy importante de estos iones lo - constituye el CO₂ liberado en las emanaciones volcánicas, así como también, aunque en menor grado el liberado por la transpiración de los seres vivos.

El Bicarbonato generado en la disolución de rocas calcáreas por las aguas ácidas también --- contribuye. La reacción que obedece es la si--guiente; según Davis y Weist, ibidem:



Cloruros.- Los Cloruros encontrados en el lago salino de Palomas pudieron haberse formado a partir de:

- 1.- En emanaciones volcánicas en forma de HCl.
- 2.- En el agua de sedimentación en rocas sedimentarias marinas.
- 3.- Por disolución de Halita.

Las emanaciones que acompañaron la formación de las rocas volcánicas probablemente aportaron abundantes cantidades de HCl en forma gaseosa en conjunto con H_2S , CO_2 , HF y SO_2 , (M.B. Masson, 1966) a partir del cual se liberó el cloruro.

En las rocas sedimentarias marinas pudo haber existido agua de sedimentación atrapada (con_{na}ta) con abundantes cantidades de cloruros (de sodio) las que al momento de liberarse drenarón a la cuenca.

La disolución de minerales salinos como la -- Halita y en menor parte la Silvita que pudieron estar contenidas en antiguas evaporitas es

posible que aportaran cantidades significativas de cloruros.

Sulfatos.- El ión sulfato se ha generado principalmente por la disolución del yeso y anhidrita contenidos en antiguas evaporitas, así como de la oxidación de sulfuros metálicos, ácido sulfhídrico y bióxido de azufre.

Los sulfuros metálicos se encuentran presentes tanto en las rocas ígneas (Pirita) como en las sedimentarias (Marcasita y Pirita) que afloran en el área.

El ácido sulfhídrico (H_2S) proviene de las emanaciones volcánicas y descomposición de materia orgánica, y se oxida, entre otras causas por la acción bacteriana en la que sulfobacterias como la *T. Denitrificans*, *Novellus*, *Coproliticus*, *Thioparus* y *Thiooxidans* generan Sulfato (C.C. Reeves, Jr, 1978).

El bióxido de azufre (SO_2) se ha generado únicamente durante las emanaciones volcánicas.

En la tabla 4 se resumen las principales fuentes que generaron los distintos iones contenidos en el "Lago Salino de Palomas".

VI.3.c).- Clasificación Química de la Salmuera.- Basados en las concentraciones de los iones (en % mol) contenidos en 17 muestras de salmueras, las -- cuales se indican en los diagramas ternarios - de Aniones y Cationes ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$, Cl , SO_4 y $\text{Na} + \text{K}$, Ca , Mg respectivamente), utilizados en el Sistema de Clasificación propuesto por H.P. Eugster y L.A. Hardie en 1978, (ver tabla No. 5) se clasifica a la salmuera del "Lago Salino de Palomas" dentro del tipo $\text{Na} - \text{Cl} - \text{CO}_3 - - (\text{SO}_4)$ en su mayoría y $\text{Na} - \text{CO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Cl}$ en menor proporción (ver figs. 8 y 9).

En el Diagrama Ternario de Clasificación de Ca tiones predomina el Sodio más Potasio (el primero está presente de un 95% a 99%) sobre el - Calcio y Magnesio, ubicando a la salmuera to-- talmente en el campo No. 1.

En el Diagrama Ternario de la Clasificación de Aniones predominan los Carbonatos más Bicarbonatos y Cloruros sobre los Sulfatos, colocando

TABLA No. 4

PRINCIPALES FUENTES DE LOS IONES LOCALIZADOS EN EL LAGO SALINO DE PALOMAS

<u>FUENTE DE ORIGEN</u>	<u>GENERADORES DIRECTOS DE IONES</u>	<u>PRINCIPALES IONES FORMADOS</u>
Rocas Calcáreas Paleozoicas y Mezozoicas.	Por intemperismo de Calizas, - Dolomita, Pirita y Marcasita.	Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} y SO_4^{2-} .
	A partir del agua de sedimentación.	Cl^- .
Rocas volcánicas Terciarias - de composición riolítica (Tr)	Intemperismo de Feldespato potásico, Plagioclasas sódicas, Biotita, Pirita y Marcasita.	Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y SO_4^{2-} .
Rocas volcánicas terciarias - de composición basáltica (Tb)	Intemperismo de Olivino, Piroxenos y Plagioclasas cálcicas.	Ca^{2+} y Mg^{2+} .
Reactivación de antiguas Evaporitas (principalmente del - Paleozoico Superior y Jurásico).	Disolución de Halita, Silvita, Anhidrita y Yeso.	Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} y Cl^- .
Emanaciones volcánicas	H_2S , HCl , CO_2 , SO_2 (HF)	SO_4^{2-} , Cl^- y CO_3^{2-} (F+)
Manantiales termales de origen volcánico.	HCl	Cl^- .
Descomposición de materia orgánica.	Materia orgánica (desprendimiento de H_2S y CO_2 en forma gaseosa.)	CO_3^{2-} y SO_4^{2-}
Transpiración de los seres vivos.	CO_2	CO_3^{2-}
Acción Bacteriana	Oxidación de H_2S	SO_4^{2-}
Sulfuros metálicos.	Oxidación de Pirita y Marcasita.	SO_4^{2-}

Se menciona HF y al ión F+, ya que, si bien no se presenta en solución en la salmuera, si ha contribuido para formar Fluorita. Se excluyen de esta tabla fuentes eventuales de iones como son la lluvia y la Nieve que pueden tener concentraciones bajas de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} (H.P. Eugster y --

TÁBLA No. 5

ESQUEMA DE LA CLASIFICACION QUIMICA DE UNA SALMUERA (TOMADA DE H.P. EUGSTER Y L.A. HARDIE, 1978).

<u>A N I O N E S :</u>	<u>C A T I O N E S :</u>
1.- Cl	1.- Na
2.- Cl - (SO ₄)	2.- Na - (Ca)
3.- Cl-(SO ₄) - (CO ₃)	3.- Na - (Ca) - (Mg)
4.- Cl - (CO ₃)	4.- Na - (Mg)
5.- Cl - SO ₄	5.- Na - Ca
6.- Cl - SO ₄ (CO ₃)	6.- Na - Ca - (Mg)
7.- Cl - CO ₃ - (SO ₄)	7.- Na - Mg - (Ca)
8.- Cl - CO ₃	8.- Na - Mg
9.- Cl - SO ₄ - CO ₃	9.- Na - Ca - Mg
10.- SO ₄ - (Cl)	10.- Ca - (Na)
11.- SO ₄ - (CO ₃) - (Cl)	11.- Ca - (Mg) - (Na)
12.- SO ₄ - CO ₃ - (Cl)	12.- Ca - Mg - (Na)
13.- CO ₃ - (SO ₄) - (Cl)	13.- Mg - (Ca) - (Na)
14.- CO ₃ - (Cl)	14.- Mg - (Na)
15.- SO ₄	15.- Ca
16.- SO ₄ - (CO ₃)	16.- Ca - (Mg)
17.- SO ₄ - CO ₃	17.- Ca - Mg
18.- CO ₃ - (SO ₄)	18.- Mg - (Ca)
19.- CO ₃	19.- Mg

Este sistema de clasificación se basa en las concentraciones en % molar de los principales iones presentes en la salmuera. Se utilizan -- diagramas ternarios por separado de aniones y cationes en los cuales se distinguen varios campos de influencia. (Ver la fig. 8 y 9).

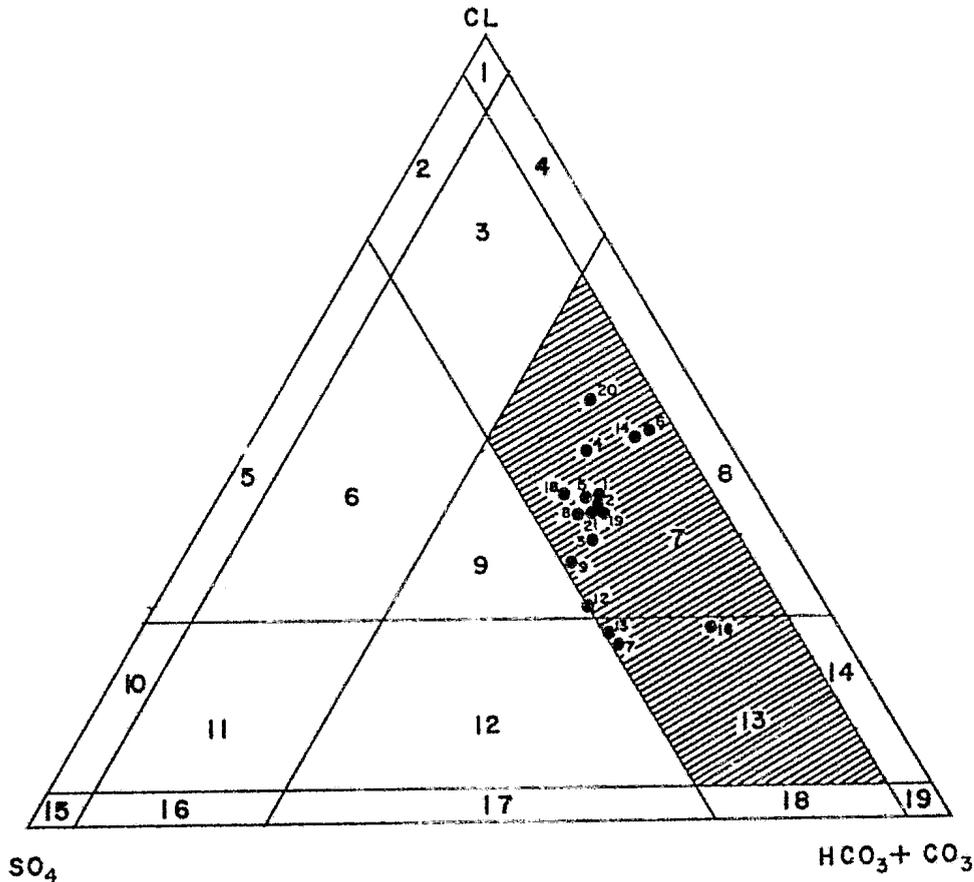
Para nombrar estos campos se hicieron las siguientes consideraciones:

Los iones presentes en menos de 5% molar no se usan en la clasificación química.

Los iones presentes entre 5% y 25% molar se muestran en paréntesis.

Los iones presentes en más del 25% molar se muestran en orden de abundancia.

La clasificación química completa se forma nombrando primero el campo de los cationes y luego el de los aniones.



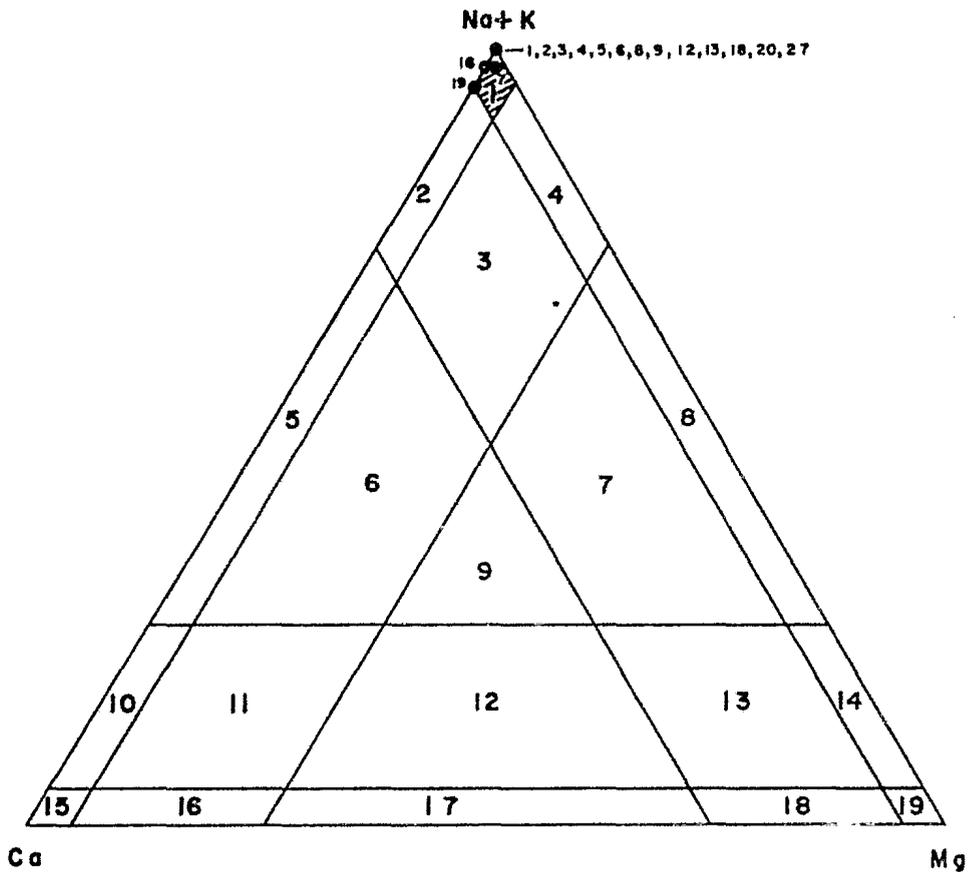
 UBICACION DE LA SALMUERA DEL LAGO SALINO DE PALOMAS.

CAMPO DE ANIONES (7-13)
 CL — CO₃ — (SO₄) — CO₃ — SO₄ — CL

(SISTEMA DE CLASIFICACION PROPUESTO POR H.P. EUGSTER Y L.A. HARDIE, 1978)

DIAGRAMA TERNARIO DE CLASIFICACION QUIMICA DE LA SALMUERA, ANIONES

FIG. No. 8



LA SALMUERA QUEDA CLASIFICADA EN SU TOTALIDAD EN EL CAMPO 1,
EN EL CUAL PREDOMINA EL SODIO (DATOS EN % MOL)

UBICACION DE LA SALMUERA DEL LAGO SALINO DE PALOMAS.

(SISTEMA DE CLASIFICACION PROPUESTO POR H P. EUGSTER Y L A HARDIE, 1978)

DIAGRAMA TERNARIO DE CLASIFICACION QUIMICA DE LA SALMUERA, CATIONES

FIG. No. 9

a la salmuera en su mayoría en el campo 7 ----
(con 14 muestras) consistente en $\text{Cl} - \text{CO}_3 -$ -
 (SO_4) ; y en segundo término en el campo 13 ---
(con 3 muestras) caracterizado por $\text{CO}_3 - \text{SO}_4 -$
 (Cl) .

Conjuntando los resultados obtenidos en los --
diagramas ternarios anteriores, se llega a la
clasificación de la salmuera indicada al prin-
cipio de este inciso, y que es del tipo $\text{Na} - -$
 $\text{Cl} - \text{CO}_3 - (\text{SO}_4)$ y $\text{Na} - \text{CO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Cl}$.

VI.3.d).- Evolución Química de la Salmuera.- Consideran-
do la composición química de una salmuera, la
cual está en función de la concentración y ti-
po de iones aportados a la cuenca, precipitan
los minerales menos solubles (por efecto de la
evaporación), modificando la composición quími-
ca de la salmuera original y dando origen a --
una salmuera residual carente de ellos.

La precipitación y tipo de minerales precipitados, está en función del carácter químico y concentración de los iones presentes, así como del grado de solubilidad de los compuestos que pueden formar, generando posteriormente una salmuera residual carente de ellos; de aquí que la composición química y concentración inicial de los iones contenidos en la cuenca determine la especie mineralógica precipitada, así como el carácter químico de la salmuera residual.

Al observar el diagrama generalizado de la Evolución Química de la Salmuera idealizado por H.P. Eugster y L.A. Hardie en 1978, que se representa en la figura No. 10 y en el cual se ha ubicado la salmuera del Lago Salino de Palomas, se puede inferir el camino seguido por éste en su evolución hasta llegar a formar la salmuera (residual) de los tipos Na - Cl - CO₃ - (SO₄) y Na - CO₃ - SO₄ - Cl el cual a continuación se describirá.

El primer paso consiste en la precipitación de los minerales menos solubles, con la modificación química de la salmuera original; lo que -

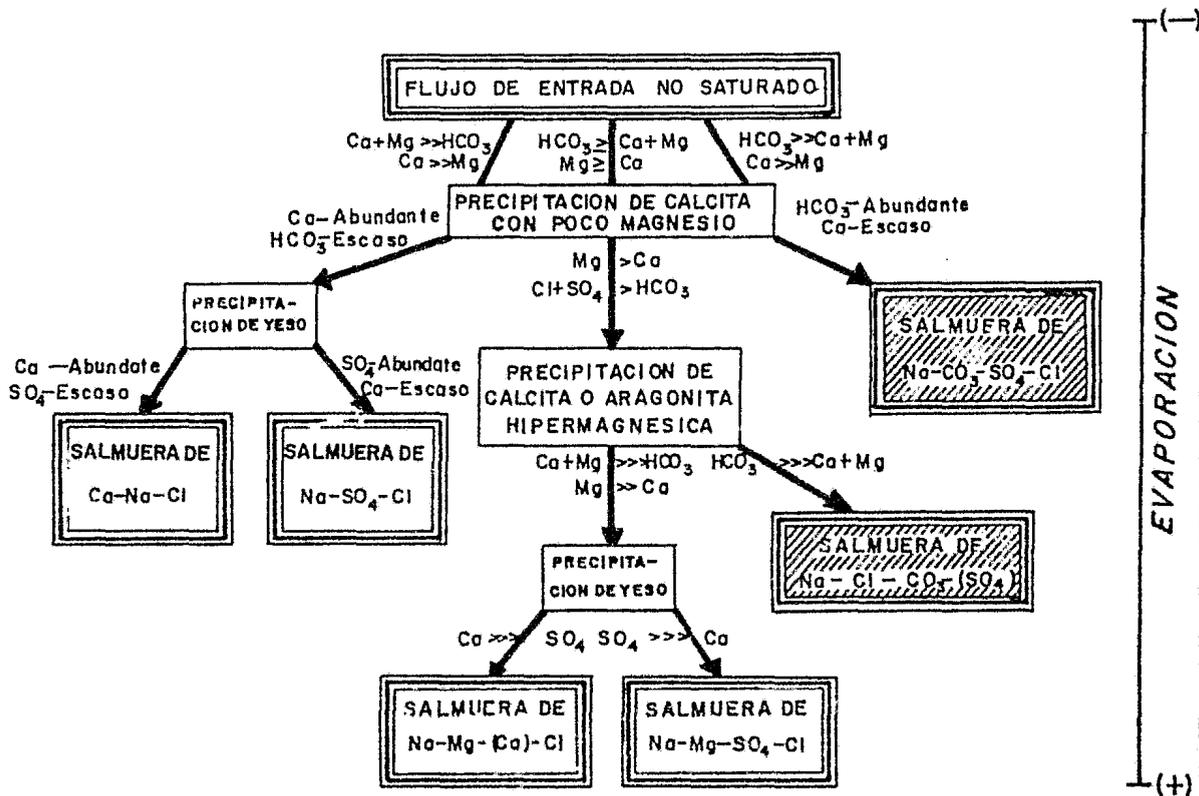


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA EVOLUCION QUIMICA DE LA SALMUERA

(TOMADO DE HARDIE, SMOOT, EUGSTER, 1978)



UBICACION DE LA SALMUERA DEL LAGO SALINO DE PALOMAS.

FIG. No. 10

se verifica, de acuerdo a H.P. Eugster y L.A.

Hardie, ibidem:

- Precipitación inicial de Carbonatos (comúnmente en este orden: Aragonita, Calcita con bajos contenidos en Magnesio, Calcita hipermagnésica, Protodolomita, Hidromagnesita y Magnesita), relativamente insolubles.

Esto se comprueba en parte al observar Carbonato de Calcio (el cual posiblemente contenga algo de Magnesio) como cementante en la matriz -- del Abanico Aluvial 1 y como crecimiento (acreciones) a partir de los fragmentos de basalto -- que forman el Abanico Aluvial 2. El Carbonato -- de Calcio ha sido precipitado de la salmuera -- presente en forma intersticial en el Abanico -- Aluvial 1 y en forma superficial en el Abanico Aluvial 2, dejando una salmuera residual carente de Calcio y Magnesio.

Por otra parte, y como se indicará posteriormente, en los sedimentos de la Planicie de arcillas salinas se presenta Calcita como mineral -- autigénico, la cual también fue precipitada a --

partir de la salmuera contenida en forma intersticial en los sedimentos.

- Modificación de la composición química de la salmuera original dejando una salmuera residual, de los tipos Na - Cl - CO₃ - (SO₄) y Na CO₃- SO₄ - Cl, a partir de la cual pueden precipitar por evaporación los minerales más solubles (Halita, Trona, Mirabilita y/o Thenardita, etc.)

Para llegar a este último punto, la salmuera -- del Lago Salino de Palomas, tuvo que seguir el camino que a continuación se describe (en función de los tipos en que se clasificó a la salmuera) en forma detallada.

Para el tipo Na - Cl - CO₃ - (SO₄) y que comprende a la mayor parte de la salmuera, los iones aportados debieron tener en conjunto una relación molar intermedia de HCO₃/Ca+Mg, precipitando inicialmente Calcita con bajos contenidos en Magnesio, por lo que la relación Mg/Ca en la salmuera se incrementa; posteriormente el Mg -- precipitado aumenta, formando Calcita hipermag-

nésica, Protodolomita y aun Magnesita; a este punto el Bicarbonato continua predominando sobre el Calcio y Magnesio generándose la salmuera indicada.

Para el tipo $\text{Na} - \text{CO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Cl}$, existe una variación ya que la relación molar de $\text{HCO}_3^- / \text{Ca} + \text{Mg}$ es muy alta, predominando el Calcio sobre el Magnesio, al igual que el tipo anterior precipita inicialmente Calcita con bajos contenidos en Magnesio; el enriquecimiento de Magnesio en la salmuera residual no es suficiente para producir Carbonatos de Magnesio; a este punto el HCO_3^- predomina sobre el Calcio el cual puede ser casi nulo; generando la salmuera indicada.

Esto explica ciertas incompatibilidades observadas en la salmuera, como son: altas concentraciones de Carbonatos y Bicarbonato están asociadas a contenidos bajos o trazas de Calcio y Magnesio, y altas concentraciones de Sulfato con valores bajos de Calcio; esto es debido a que el Calcio y Magnesio en presencia de Carbonato precipita tempranamente como Carbona

tos de Calcio y Magnesio, así como el Calcio en presencia de Sulfato precipita como Yeso -- y/o Anhidrita.

La variación de un tipo a otro en que fue clasificada la salmuera y que está en función del contenido de HCO_3 , es debido posiblemente a -- que en unas zonas del lago la generación de -- CO_2 a partir de la descomposición de la mate-- ria orgánica fue mayor que en otras.

VI.3.e).- Mineralogía.- Los minerales contenidos en el - depósito presentan características especiales derivadas del medio salino-alcalino en que se han originado. Se han formado por dos procesos básicos: Precipitación de los minerales salin-- nos a partir de la salmuera, dando origen a -- las eflorescencias y a los minerales salinos - en desarrollo intrasedimentario (ver inciso -- VI.3.a) y por interacción de la salmuera in--- tersticial con los sedimentos, originando mine-- rales salinos aislados en el sedimento (VI.3.a) así como algunos silicatos autigénicos.

Acompañando a éstos se encuentran algunos minerales alóctonos, los cuales han sido constituyentes de las rocas circundantes a la cuenca y que debido a la erosión han sido transportados a los sedimentos de la misma.

Para definir las especies mineralógicas presentes en el depósito se analizaron 3 tipos de muestras por el método de Difracción de Rayos X; correspondiendo éstas a eflorcencias, sedimentos arcillosos y cristales aislados en el sedimento. Se analizaron también unas sales precipitadas a partir de la evaporación total (por acción solar) de una salmuera.

Los análisis fueron realizados por la M. en C. Guadalupe Villaseñor C., Jefe del Depto. de Geoquímica del Instituto de Geología de la U.N.A.M con ayuda del Químico Rufino Lozano Santacruz, del mismo Instituto; utilizando un Difractómetro Philips PW 1420; irradiando con un tubo de cobre en las siguientes condiciones:

Voltaje: 30 kv
Corriente: 20 m.a.
Sensibilidad: 1×10^3 y 2×10^3
Cte. de tiempo: 1
Velocidad del Goniómetro: 2° /min.

Las especies mineralógicas se indican en la ta
bla No. 6 y algunos difractogramas se muestran
en el Anexo.

En las eflorescencias se identificó la trona y
halita como minerales formadores de ellas; así
como cuarzo y albita como minerales constitu-
yentes del sedimento del que se tomó la mues--
tra.

En los sedimentos se detectó la presencia de -
Trona, Calcita, Analcima y Fluorita como mine-
rales autigénicos y Cuarzo, Albita y Montmori-
llonita como minerales alóctonos.

Los cristales aislados en el sedimento son au
tigénicos y están compuestos de gaylussita.

TABLA No. 6

PRINCIPALES MINERALES DETERMINADOS EN EL LAGO SALINO DE PALOMAS
POR EL METODO DE DIFRACCION DE RAYOS X.

AUTIGENICOS
=====

CARBONATOS

<u>MINERAL</u>	<u>FORMULA QUIMICA</u>	<u>SE PRESENTA EN:</u>
Trona	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Eflorescencias y en desarrollo intrasedimentario.
Calcita ¹	CaCO_3	En desarrollo intrasedimentario.
Gaylussita	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Cristales euhedrales aislados en el sedimento.

HALUROS

Halita	NaCl	En eflorescencias
--------	---------------	-------------------

FLUORUROS

Fluorita	CaF_2	En desarrollo intrasedimentario.
----------	----------------	----------------------------------

SILICATOS

Analcima	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	" "
Montmorillonita ¹	$\text{Si}_8(\text{Al}_{3.34}\text{Mg}_{0.66})\text{OH}_4\text{O}_{20}$	" "

ALOCTONOS
=====

OXIDOS

Cuarzo	SiO_2	Como mineral detrítico en los sedimentos.
--------	----------------	---

SILICATOS

Montmorillonita ¹	$\text{Si}_8(\text{Al}_{3.34}\text{Mg}_{0.66})\text{OH}_4\text{O}_{20}$	" "
Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	" "

CARBONATOS

Calcita ¹	CaCO_3	" "
----------------------	-----------------	-----

NOTA: Se excluyen de esta tabla la Thermonatrita ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), la Burkeita ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$) y el Natrón ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), ya que si bien fueron identificados en unas sales originadas a partir de la evaporación de una salmuera del yacimiento, la precipitación de ellas fue inducida en laboratorio; no obstante, como ésta fue realizada en condiciones naturales (por evaporación solar) simulando a las que podrían ocurrir en el depósito, es posible que estos minerales se encuentren en el Lago en forma autigénica.

(1) Estos minerales pueden ser Aloctonos y Autigénicos.

Las sales originadas por la evaporación de la salmuera están compuestas por Thermonatrita, Natrón, Burkeita y Halita.

La presencia de Fluorita en el sedimento indica la existencia de iones Fldor que entraron a la cuenca, los cuales pudieron haberse originado a partir de las emanaciones volcánicas en forma de HF gaseoso (Ver la tabla No. 4).

La Calcita y la Montmorillonita, pudieron haber sido formadas en la cuenca o ser acarreadas a partir de las rocas circundantes, por lo que su origen sería autigénico o alóctono respectivamente.

En el caso de la Analcima, es posible que también pudiera ser acarreada de las rocas basálticas que se encuentran inmediatamente al Oeste, y en las cuales se le ha detectado como mineral accesorio; sin embargo, debido a que es un mineral muy inestable y poco resistente a la erosión, es más factible que su origen en la cuenca sea autigénico.

Para la Calcita esta pudo haberse precipitado inicialmente de salmueras saturadas con respecto al Carbonato de Calcio (ver la fig. No. 10) así como también ser constituyente de las rocas cálcneas que circundan a la cuenca, y de las cuales sería transportada.

En el caso de la Montmorillonita, ésta se origina por la alteración de cenizas y productos piroclásticos depositados tanto en la cuenca -- como en los alrededores de ella, por lo que -- puede ser un mineral autigénico o alóctono respectivamente.

A continuación se mencionarán en forma resumida algunas de las características principales de los minerales salinos más solubles identificados, como son la Gaylussita, la Trona, la -- Thermonatrita, el Natrón, la Burkeita y la Halita. También se considera a la Analcima ya -- que si bien es un silicato, se ha formado debido a la influencia del ambiente alcalino.

Gaylussita.- Mineral nombrado en honor al Químico francés L. Joseph Gay-Lussac (1778-1850). Su fórmula química es $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Cristaliza en el Sistema Monoclínico formando cristales elongados, ligeramente tabulares con extremos agudos, es de fractura concoidal y -- lustre vítreo. Incoloro a blanco amarillento, blanco y gris claro. (Salisbury Dana 1949). -- Dureza de 2 a 3 y peso específico entre 1.93 - y 1.95, efervesce con HCl.

En el yacimiento se encuentra como cristales autigénicos y aislados en el sedimento, y son de forma euhedral con 1 mm promedio de tamaño.

Trona.- Su nombre es una forma abreviada de -- "Natrum" palabra del idioma arábigo utilizada para el Carbonato de Sodio.

Su fórmula química es $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Cristaliza en el Sistema Monoclínico, es de hábito alargado y tabular, fibroso a masivo, con fractura irregular y subconcoidal, es de color -- gris y blanco amarillento, translúcido, de sabor

alcalino, lustre vítreo brillante; su peso específico varía entre 2.13 y 2.14, dureza de -- 2.5 a 3. A este mineral también se le conoce -- como Sexqui Carbonato de Sodio (Salisbury Dana ibidem). Es soluble en agua. En el yacimiento ocurre como eflorescencias y en desarrollo intrasedimentario; en este último no es observable a simple vista.

Thermonatrita.- Su nombre proviene del griego "Termos" que significa calor y de la palabra - "Natrón" asociada al Carbonato de Sodio, alu-- diendo a que este mineral es el resultado del secamiento del Natrón, con el aumento de la -- temperatura.

Su fórmula química es $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Cristaliza en el sistema Ortoclínico, formando cristales tabulares. Usualmente se presenta en costras - y eflorescencias. Su peso específico es de --- 2.25 y su dureza de 1. a 1.5. Es incoloro, --- blanco, blanco amarillento y gris (E. Schmi--- tter y R. del Campo, 1980).

Se determinó al evaporar una salmuera colectada en el yacimiento. La evaporación se realizó por acción solar.

Natrón.- Nombre proveniente de "Natrum" del árabe que significa Carbonato de Sodio.

La fórmula química es $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Cristaliza en el Sistema Monoclínico formando minerales tabulares. Se presenta en forma natural únicamente en solución dentro de las salmueras, de la cual se obtiene por precipitación; o mezclado con otros Carbonatos de Sodio. Peso específico de 1.46 a 1.478. Color blanco, gris o amarillento, sabor alcalino picante, lustre vítreo; se presenta como eflorescencias y costras en conjunto con otros minerales salinos (Salisbury -- Dana, op, cit). Es soluble en agua.

Se determinó al evaporar una salmuera colectada en el yacimiento. La evaporación se realizó por acción solar.

Burkeita.- Denominada en honor del Ing. Químico

W.E. Burke, Director de las Investigaciones -
en el American and Chemical Corporation, descu-
bridor de la sal artificial.

Su fórmula química es $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$. Cristali-
za en el Sistema Ortoclínico, es de hábito ta-
bular y se presenta en agregados reticulares,
así como en pequeños nódulos. Es transparente y
soluble en agua (E. Schmitter y R. del Campo; -
op, cit).

Se determinó al evaporar una salmuera colecta-
da en el yacimiento. La evaporación se realizó
por acción solar.

Halita.- Su fórmula química es NaCl. Cristali-
za en el Sistema Cúbico o Isométrico; se pre--
senta masiva, granular y compacta, y en menor
proporción columnar. El clivaje es cúbico per-
fecto, fractura concoidal, dureza 2.5, peso --
específico 2.1 a 2.6; lustre vítreo. Color ---
blanco, amarillento, rojizo y azul claro, ----
transparente y translúcido (Salisbury Dana; --
op, cit). Es soluble en agua.

Se presenta en el yacimiento en forma de eflorescencias y en el sedimento salino.

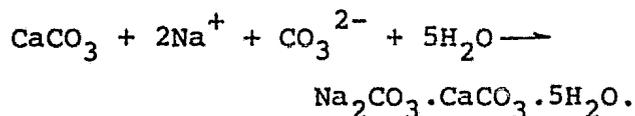
Analcima.- Nombre derivado del griego "Anal---cus" que significa débil, aludiendo a su débil poder eléctrico cuando es calentado o frotado.

Su fórmula química es $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Es un mineral perteneciente al Grupo de las Zeolitas. Cristaliza en el Sistema Cúbico o Isométrico, usualmente en trapezoedros y cubos; en grupos compuestos alrededor de un cristal como núcleo, también masivo granular y compacto, con estructura concéntrica, peso específico 2.22 y 2.29, dureza de 5 a 5.5, fractura subconcoïdal, incoloro a blanco, ocasionalmente grisáceo, verdoso, amarillento y blanco rojizo, lustre vítreo (Salisbury Dana; ibidem).

En el yacimiento se presenta en forma autigénica en desarrollo intrasedimentario por alteración del vidrio volcánico en un medio alcalino.

VI.3.f) .- Cambios Químicos Post-Depositacionales.- Debido a la gran solubilidad de los minerales salinos del depósito así como a su gran porosidad primaria y a la presencia de salmuera intersticial, éstos son muy susceptibles a sufrir cambios post-depositacionales o diagenéticos; entre los que se encuentran la formación de nuevos minerales salinos como la Gaylussita y la de silicatos como la Analcima.

La Gaylussita ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) se ha formado por la interacción de salmueras ricas en Carbonato de Sodio con el Carbonato de Calcio presente en el sedimento; de acuerdo a la siguiente reacción (H.P. Eugster y L.A. Hardie, op, cit):



Otro posible origen aunque de menor importancia puede atribuirse a la mezcla del agua que se filtra en los sedimentos, que comúnmente contiene Ca y HCO_3 , con la salmuera rica en Carbonato de Sodio (H.P. Eugster y L.A. Hardie,

p.152, ibidem).

La Analcima es un mineral del Grupo de las -- Zeolitas formado por la reacción del vidrio - volcánico con la salmuera intersticial. En presencia de salmueras alcalinas como las del ya-cimiento; la Analcima puede cristalizar poste-riormente como Feldespato Potásico.

La secuencia de la alteración de vidrio volcá-nico a Analcima y posteriormente a Feldespato Potásico es la siguiente (H.P. Eugster y L.A. Hardie, ibidem).

Vidrio volcánico → Zeolita Alcalina → Analcima →
Feldespato Potásico.

La presencia de Gaylussita y Analcima como mi-nerales autigénicos en los sedimentos del Lago Salino de Palomas indican la existencia de un medio altamente salino y alcalino, representa-do por la presencia de salmueras ricas en Car-bonato de Sodio.

VI.4.- Génesis.- Como ya se ha indicado, los depósitos del "Lago Salino de Palomas" se han originado por la concentración de los iones solubles que se presentan en la cuenca y que han llegado a ella a través del intemperismo químico de las rocas circundantes, así como también por las emanaciones volcánicas y descomposición de la materia orgánica contenida en los sedimentos.

En la formación del depósito la evaporación -- juega un papel importante ya que a través de ella se concentran los iones solubles generando anomalías salinas -- consistentes en eflorescencias, minerales salinos y salmueras.

Debido a la presencia de Conchas de Moluscos de "Agua Dulce" en los sedimentos del "Lago Salino de Palomas" y que podrían pertenecer a la parte superior de la Formación Palomas; del Pleistoceno medio o en su defecto ser más jóvenes; se considera que las condiciones necesarias para la formación de Evaporitas Continentales han -- actuado, incrementando la salinidad de las aguas del Lago, a partir del Pleistoceno medio.

VI.4.a).- Clasificación del Yacimiento.- De acuerdo a --
las características anteriormente indicadas, -
el yacimiento se clasifica como un Depósito --
Evaporítico Continental (no marino) o Lago ---
Salino.

CAPITULO VII

IMPORTANCIA ECONOMICA

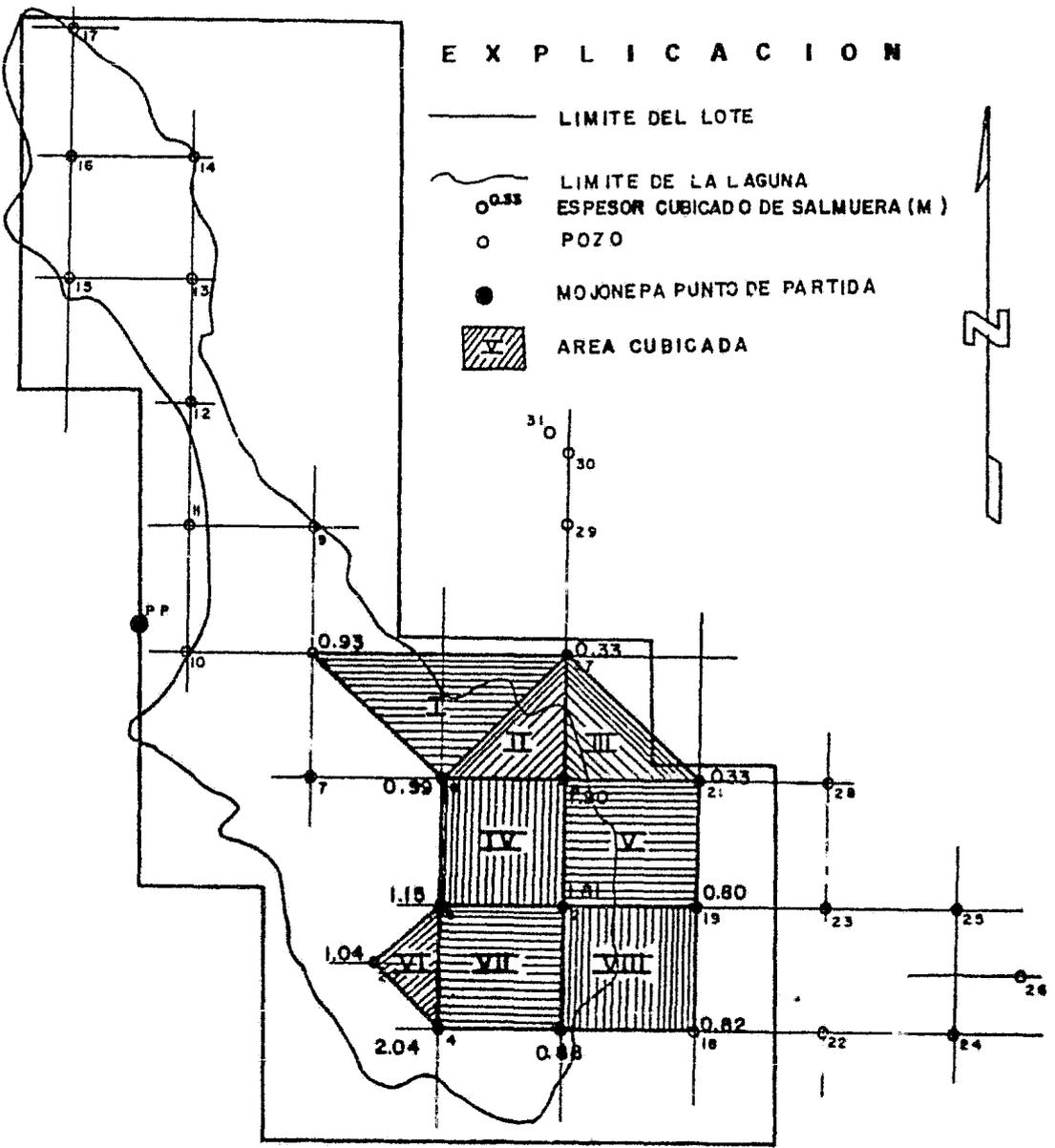
VII.1.- . Estimación Preliminar de Reservas.- Aunque el objetivo principal del estudio geológico a semidetalle -- no era el de efectuar una evaluación definitiva del Carbonato de Sodio contenido en la salmuera y sedimentos del - Lago; se realizó un cálculo preliminar de reservas con el fin de tener una estimación del potencial del yacimiento. Por esta razón el método aplicado para calcularlas, y que a continuación se describe fue somero.

Para determinar la salinidad de la salmuera y del sedimento, se realizó una cuadrícula de 31 pozos con una profundidad máxima de 7 m. A partir de las concentraciones salinas reportadas en las muestras colectadas en - los pozos, se delimitó superficialmente y en forma inde-- pendiente (para la salmuera y para el sedimento) el área que presentó una mayor concentración de Carbonato de So-- dio en el subsuelo (Ver los planos No. 10 y 11).

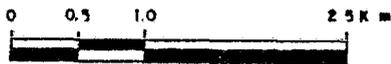
Debido a que la salmuera se encuentra incluida en los intersticios del sedimento, y que éste a su vez -- presenta también vacíos (arriba del nivel freático), los volúmenes obtenidos al aplicar el espesor medio de la --

EXPLICACION

- LIMITE DEL LOTE
- LIMITE DE LA LAGUNA
- 0.33 ESPESOR CUBICADO DE SALMUERA (M)
- POZO
- MOJONEPA PUNTO DE PARTIDA
- ▨ AREA CUBICADA

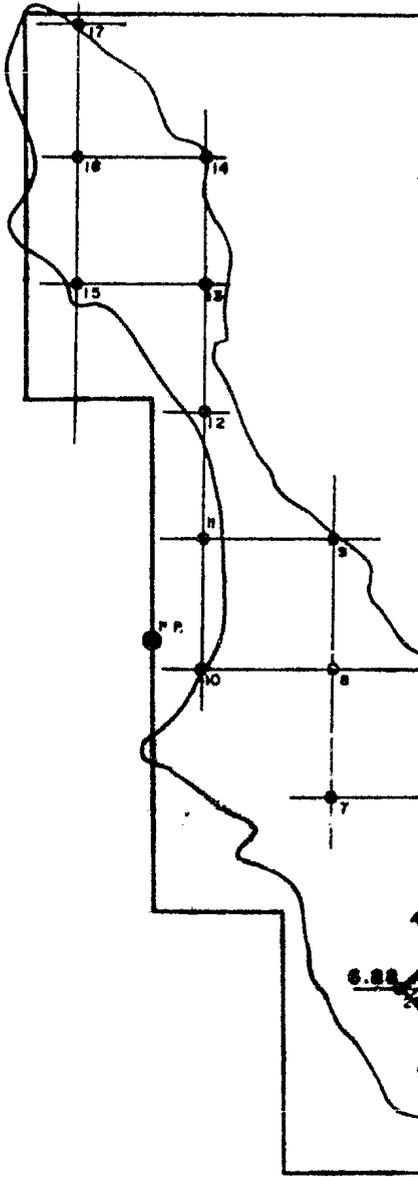


ESCALA GRAFICA



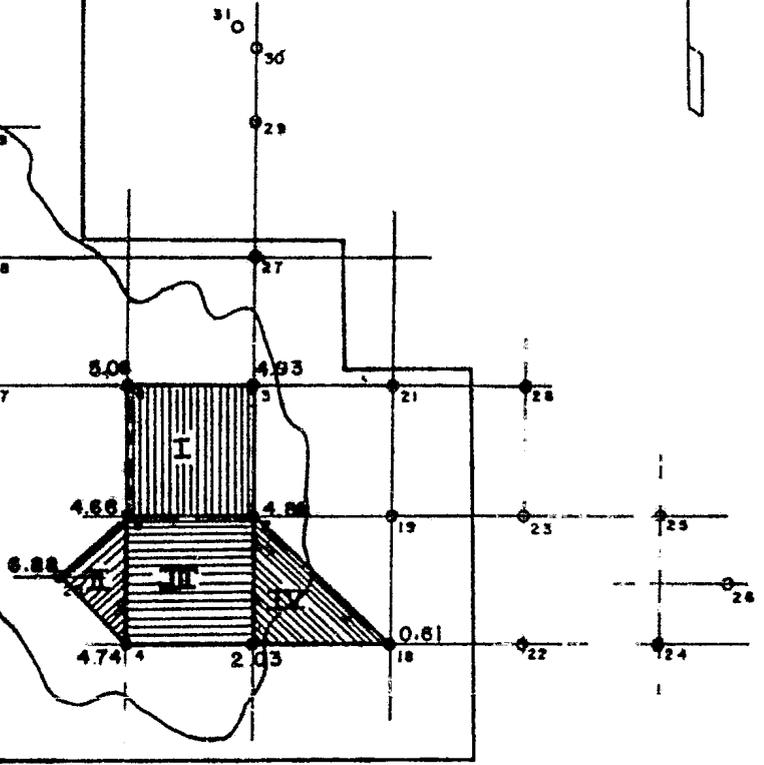
U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	AREA DE SALMUERA	
	CUBICADA	

TESIS PROFESIONAL		ELIAS GJEDA DIAZ	
ESC 1:50000	ACOT. EN Km	PLANO N.º 10	MAYO/1988

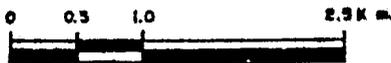


E X P L I C A C I O N

- LIMITE DEL LOTE
- ~ LIMITE DE LA LAGUNA
- 0.04
ESPESOR CUBICADO DE SEDIMENTOS (M)
- POZO
- MOJONERA PUNTO DE PARTIDA
- ▨ AREA CUBICADA



ESCALA GRAFICA



**U
N
A
M**

FACULTAD DE INGENIERIA

CIENCIAS DE LA TIERRA

AREA DE SEDIMENTOS.

CUBICADOS

TESIS PROFESIONAL

EL AS OJEDA DIAZ

ESC L50000 ACOT EN Km

PLANO N° II

MAYO /1983

salmuera (Va) y del sedimento (Vb) a sus respectivas --- áreas, comprenderán, en el caso del volumen Va, el sedimento más la salmuera incluida en él; y para el volumen Vb, el sedimento más la salmuera y vacíos contenidos en él.

Para determinar el volumen real de salmuera - (Vra) y de sedimento (Vrb) aprovechables, es necesario - considerar la porosidad efectiva del último, misma que - en este caso se infirió de un 3% (teórica).

Ya calculados los volúmenes reales de salmuera (Vra) y de sedimentos (Vrb), se procedió a calcular - el tonelaje de Carbonato de Sodio, en conjunto con las - demás sales asociadas, y que son el Bicarbonato de So--- dio, Sulfato de Sodio y Cloruro de Sodio; para lo cual - se realizaron cálculos estequiométricos a partir de las concentraciones de los iones Na^+ , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$ y Cl.

A continuación se describe el desarrollo del cálculo:

Con el fin de simplificar los cálculos, las - áreas que presentaron la mayor concentración de Carbonato de Sodio fueron divididas en figuras regulares -----

(bloques), dividiendo en 8 a la de la salmuera y en 4 a la del sedimento (ver los planos No. 10 y 11).

Para efectuar el cálculo de las áreas y volúmenes (Va y Vb) se aplicaron las siguientes fórmulas geométricas (los cálculos se realizaron por separado para la salmuera y para los sedimentos).

AREAS

Para triángulos regulares

$$A = \frac{b \times h}{2}$$

Para cuadrados

$$A = L \times L$$

de donde,

A = área

b = base del triángulo

h = altura del triángulo

L = lado del cuadrado

VOLUMENES

$$V = A \times Em$$

de donde,

V = volumen

A = área

ESPESOR MEDIO.

Para cuadrados

$$Em = \frac{a+c+d+e}{4}$$

Para triángulos

$$Em = \frac{a + c + d}{3}$$

y

de donde,

Em = Espesor medio

a, c, d, e = Espesor de salmuera y sedimento.
en cada pozo.

Al aplicar estas fórmulas se obtienen los siguientes datos:

Para el volumen Va (Tabla No. 7), se obtienen 7,284,500 m³ de salmuera y sedimentos (en los cuales está incluida).

Para el volumen Vb (Tabla No. 8), se obtienen 11,569,950 m³ de sedimentos más la salmuera y vacíos incluidos en ellos.

TABLA No. 7

CALCULO DEL VOLUMEN Va

BLOQUE	b (m)	h (m)	a (m)	c (m)	d (m)	Em (m)	A (m ²)	V (m ³)
I	2000	1000	0.93	0.33	0.99	0.75	1,000,000	750,000
II	1000	1000	0.38	1.90	0.99	1.073	500,000	536,500
III	1000	1000	0.33	1.90	0.33	0.850	500,000	426,500
VI	1000	500	1.04	1.15	2.04	1.41	250,000	352,500
BLOQUE	L (m)	a (m)	c (m)	d (m)	e (m)	Em (m)	A (m ²)	V (m ³)
IV	1000	0.99	1.90	1.31	1.15	1.462	1,000,000	1,462,000
V	1000	1.90	0.33	0.80	1.61	1.25	1,000,000	1,210,000
VII	1000	1.15	1.81	0.88	2.04	1.47	1,000,000	1,478,000
VIII	1000	1.31	1.80	1.83	1.82	1.077	1,000,000	1,077,000
TOTALES:							6,250,000	7,284,500

TABLA No. 8

CALCULO DEL VOLUMEN Vb

BLOQUE	L (m)	a (m)	c (m)	d (m)	e (m)	Em (m)	A (m ²)	V (m ³)
I	1000	5.06	4.93	4.56	4.88	4.8825	1,000,000	4,882,500
III	1000	4.66	4.88	4.74	2.03	4.0775	1,000,000	4,077,500
BLOQUE	b (m)	h (m)	a (m)	c (m)	d (m)	Em (m)	A (m ²)	V (m ³)
II	1000	500	6.88	4.66	4.74	5.4266	250,000	1,358,650
IV	1000	1000	4.88	2.03	0.61	2.5066	500,000	1,253,300
TOTALES:							2,750,000	11,569,950

Para determinar el volumen real de salmuera y sedimentos (Vra y Vrb, respectivamente) se infirió una porosidad efectiva del sedimento del 3%

El volumen real de la salmuera (Vra) se obtiene aplicando:

$$Vra = Va \times 3\%$$

y para el volumen del sedimento (Vrb)

$$Vrb = Vb - 3\%$$

o bien:

$$Vrb = Vb \times 97\%$$

Al aplicar estas formulas, los volúmenes reales calculados fueron:

$$Vra = 218,535.0 \text{ m}^3 \text{ de salmuera}$$

$$Vrb = 11,222,851.0 \text{ m}^3 \text{ de sedimentos}$$

En base a estos volúmenes reales, se determinaron los tonelajes de sales contenidas en la salmuera y en los sedimentos, tanto en forma de iones (Na, K, CO_3 , HCO_3 , Cl y SO_4) como de compuestos (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 y NaCl). Para obtener las concentraciones de estos últimos se realizaron cálculos estequiométricos a partir de las concentraciones medias de los iones (ver tabla No. 9).

TABLA No. 10

CALCULO DEL TONELAJE DE SALES OBTENIBLE DE LA SALMUERA

PARA IONES

<u>ION</u>	<u>CONCENTRACION en gr/lt</u>	<u>CONCENTRACION en ton/m³</u>	<u>TONELAJE</u>
Na	37.13	0.03713	8,114.2
K	0.324	0.003245	709.146
CO ₃	25.83	0.02583	5546.48
HCO ₃	4.574	0.004574	999.579
Cl	17.50	0.017505	3825.455
SO ₄	20.17	0.02017	4407.85
Ca	0.0034	0.0000034	0.7430
Mg	0.0028	0.0000028	0.6118
		TOTAL:	22,965.77 *

PARA COMPUESTOS

<u>ION</u>	<u>CONCENTRACION en gr/lt</u>	<u>CONCENTRACION en ton/m³</u>	<u>TONELAJE</u>
Na ₂ CO ₃	44.8424	0.04484	9799.109
NaHCO ₃	6.2993	0.066299	1376.551
Na ₂ SO ₄	29.8390	0.029839	6518.89
NaCl	15.9885	0.015988	3492.189
Sales sobrantes	7.8096	0.007809	1706.539
		TOTAL	22893.278 *

* La diferencia entre los tonelajes totales de iones y compuestos es debida a diferencias acumuladas en el desarrollo de los cálculos.

TABLA No. 11

CALCULO DEL TONELAJE DE SALES OBTENIBLE DE LOS SEDIMENTOS

PARA IONES

<u>ION</u>	<u>CONCENTRADOS EN %</u>	<u>TONELAJE</u>
Na	2.5663	576,024.05
K	0.07391	16,589.618
CO ₃	1.6543	371,319.24
HCO ₃	0.7261	162,978.24
Cl	0.8095	181,697.95
SO ₄	1.2097	271,525.65
	TOTAL:	<u>1'580,134.6 *</u>

PARA COMPUESTOS

<u>COMPUESTO</u>	<u>CONCENTRACION EN %</u>	<u>TONELAJE</u>
Na ₂ CO ₃	2.9225	655,975.64
NaHCO ₃	0.9998	224,412.12
Na ₂ SO ₄	1.7815	399,870.18
NaCl	1.1376	255,324.3
	TOTAL:	<u>1'535,600.34 *</u>

* La diferencia entre los tonelajes totales de iones y compuestos es debida a diferencias acumuladas en el desarrollo de los cálculos.

El tonelaje (Ta) de sales obtenibles de la salmuera fue calculado aplicando la concentración C (en --- ton/m³) al volumen real Vra (en m³), de acuerdo a la fórmula siguiente (ver tabla No. 10).

$$Ta = Vra \times C$$

De este modo se obtienen de la salmuera ----- 22,893.278 toneladas de sales totales; de las cuales ---- 9,799.109 corresponden a Na₂CO₃, 1,376.551 a NaHCO₃, ---- 6,518.89 a Na₂SO₄ y 3,492.189 a NaCl. La diferencia de -- 1,706.539 toneladas consiste en sales no utilizadas en el cálculo estequiométrico.

El tonelaje para los sedimentos (Tb) fue calculado aplicando la concentración C (en %) al volumen real Vb (en m³) y a la densidad media de las sales (D), la --- cual fue inferida en 2 ton/m³. La fórmula aplicada fue la siguiente (Ver tabla No. 11).

$$Tb = Vrb \times C \times D$$

De este modo se obtuvieron 1,535,600.2 toneladas de sales totales, de las cuales 655,975.64 son de Na_2CO_3 , 224,412.12 de NaHCO_3 , 399,870.18 de Na_2SO_4 y 255,324.3 de NaCl .

Conjuntando los tonelajes de los compuestos contenidos en la salmuera como en el sedimento, se obtienen en total 1,558,493.518 toneladas de sales, de los cuales 665,774.749 corresponden a Na_2CO_3 , 225,788.671 son de NaHCO_3 , 406,389.07 son de Na_2SO_4 y 258,816.489 de NaCl (más 1,706,539 toneladas de sales sobrantes no incluidas en los cálculos estequiométricos).

Conviene volver a indicar que los volúmenes y tonelajes anteriormente citados fueron calculados con el fin único de obtener una estimación inicial del potencial del yacimiento, por lo que éstos deben ser considerados de carácter preliminar.

VII.2.- Análisis de Mercado.- El Carbonato de Sodio es un compuesto ampliamente usado como materia prima en gran número de empresas del Sector Industrial. Esta gran demanda, que va en aumento, aunada al déficit en la producción nacional de este álcali, traen como consecuencia el incremento en el monto de las importaciones, con el subsecuente perjuicio en la economía del país.

En el desarrollo de este subcapítulo se analizará someramente la demanda, oferta, déficit e importaciones de este producto.

VII.2.a).- Especificaciones.- El Carbonato de Sodio utilizado Industrialmente se clasifica en dos tipos (norma DGN-K-36 1972);

Tipo I.- Denso

Tipo II.- Ligero

El tipo I debe tener una densidad aparente - de 900 gr por litro y el tipo II de 520 a -- 650 gr por litro y una pureza de 98.8 y --- 99.3% de Na_2CO_3 respectivamente. -

A su vez el tipo I se clasifica en dos subtipos, denominados: IA y IB, de acuerdo a su - granulometría.

Otras especificaciones comprenden contenidos mínimos de Bicarbonatos, Cloruros y Sulfatos de Sodio, Hierro, Calcio, Magnesio y Materiales Insolubles (ver tabla No. 12).

La mayoría de las Industrias usan los dos tipos de Carbonato de Sodio (Denso y Ligero), a excepción de la del Vidrio que prefiere el Denso.

VII.2.b).- Análisis de la Demanda.- Las principales In- dustrias que consumen Carbonato de Sodio en el país son (datos referentes al año de 1978; según Bartos P.J. y Mendoza S, 1979):

TABLA No. 12

ESPECIFICACIONES DEL CARBONATO DE SODIO

<u>ESPECIFICACIONES</u>	<u>TIPO I (DENSO)</u>		<u>TIPO II (LIGERO)</u>
	<u>SUBTIPO A</u>	<u>SUBTIPO B</u>	
Carbonatos como (Na ₂ CO ₃) % en peso mínimo.	98.8	98.8	99.3
Bicarbonatos como (NaHCO ₃) % en peso máximo.	0.005	0.005	0.005
Cloruros como --- (NaCl) % en peso máximo.	0.6	0.6	0.004
Hierro como (Fe) % en peso máximo	0.006	0.006	0.005
Sulfatos como --- (Na ₂ SO ₄) % en peso máximo.	0.2	0.2	0.021
Material insoluble % en peso máximo.	0.1	0.1	0.12
Calcio y Magnesio como (MgO) % en peso máximo.	----	----	0.024
Densidad aparente en g/l	900	900	520 - 659

GRANULOMETRIA

POR CIENTO RETENIDO MAXIMO

<u>MALLA D.G.N.</u>	<u>TIPO I (DENSO)</u>		<u>TIPO II (LIGERO)</u>
	<u>SUBTIPO A</u>	<u>SUBTIPO B</u>	
6.5 M	1.0	0.5	0.5
40 M	84.0	6.5	6.5
80 M	13.0	52.9	52.9
Fondo	2.0	40.1	40.1

Industria Vidriera

Industria Química

Industria de Papel y Celulosa

Industria Petrolera

Industria de Detergentes, Limpiadores y Jabones.

Por otra parte, también se consideran consumidoras (auto consumo) de este producto, a las empresas que producen sosa caústica --- (Sosa Texcoco, S. A.) y Bicarbonato de Sodio (Industrias del Alkali, S. A.) ya que en la elaboración de éstos utilizan Carbonato de Sodio.

Industria Vidriera.- Es la principal consumidora de Carbonato de Sodio en el país; lo -- utiliza como materia prima en la elaboración de vidrio en proporciones que varían del 12 al 17%, dependiendo del tipo de vidrio que se fabrique. Los productos que se elaboran son el vidrio plano, botellas, envases, etc.

El consumo anual de Carbonato de Sodio por -

esta industria es de 299,000 toneladas.

Industria Química.- En esta Industria, el -- Carbonato de Sodio es empleado en la producción de diversos polisfosfatos, como son las resinas y pegamentos, entre otros; y silicatos de sodio que son producidos en forma líquida y en polvo y son usados como aditivos para el moldeo de piezas fundidas por el sistema CO₂.

El consumo anual de esta industria es de --- 83,000 toneladas.

Industria del Papel y la Celulosa.- Se utiliza el Carbonato de Sodio en la elaboración de la pulpa de madera por el Proceso Kraft para producir el papel del mismo nombre, el cual se emplea en la confección de bolsas y sacos para empaques, envolturas, liner, cartón corrugado, cartoncillo gris y duplex recubierto y sin recubrir.

Anteriormente esta pulpa se empleaba solamente para este tipo de papel debido a su color; pero debido a los nuevos procesos de --

blanqueo, una parte importante se está empleando en la elaboración de otros papeles diferentes, sin embargo, la mayor parte aún continúa utilizándose para la fabricación de papel ---- Kraft.

El proceso Kraft utiliza Carbonato de Sodio -- en una proporción de aproximadamente un 13%; - o sea que 130 kg de Carbonato de Sodio, se utilizan para producir 1,000 kg de pulpa seca.

El consumo anual de este producto es de -----
50,700 toneladas.

Industria Petrolera.- Este producto es utili-- zado como uno de los aditivos industriales empleados en los lodos de perforación, ya que -- reduce la contaminación de cemento.

Se consumen 4350 toneladas anuales.

Industria de Detergentes, Limpiadores y Jabones.- Se emplea el Carbonato de Sodio en la preparación de sosa caústica, la cual se utiliza en la elaboración de productos para la limpieza, como son los detergentes, pastas dentales, jabones, etc.

Consumen un total de 13,900 toneladas anuales.

Aunado al tonelaje consumido por las industrias citadas anteriormente, existe un cierto tonelaje de Carbonato de Sodio que es destinado al auto consumo; esto es debido a que las compañías que producen este álcali, y que posteriormente se indicarán; también producen Sosa Caústica y Bicarbonato de Sodio; para lo cual utilizan Carbonato de Sodio en su elaboración.

El Bicarbonato de Sodio elaborado de este modo se destina principalmente en la Industria Farmacéutica, Alimenticia, en la fabricación de extinguidores contra incendio y en las embotelladoras de refrescos.

La Sosa Caústica sustituye al Carbonato de Sodio, principalmente en la elaboración de jabón, celulosa y papel; y se estudia la factibilidad de sustituirlo en la Industria Vidriera.

El auto consumo de estas dos compañías asciende aproximadamente a 90,050 toneladas, con lo cual el consumo aparente total para el año de 1978 fue de 541,000 toneladas (ver la tabla No. 13).

VII.2.c).- Análisis de la Oferta.- Como ya se ha mencionado en la introducción de este subcapítulo, en la República Mexicana existen solamente dos compañías productoras de Carbonato de Sodio, las cuales son: Sosa Texcoco, S. A. e Industrias del Alkali, S. A.

Estas dos compañías producen Carbonato de Sodio a partir de salmueras; una de origen natural (Sosa Texcoco) y la otra originada durante el proceso Solvay (Industrias del Alkali).

TABLA No. 13
PRODUCCION E IMPORTACION DE CARBONATO DE SODIO
1975 - 1980
SOSA TEXCOCO, S. A.
(en toneladas)

	<u>1975</u>	<u>1976</u>	<u>1977</u>	<u>1978</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>
PRODUCCION	406,800	390,300	413,100	435,500	412,200	394,932
IMPORTACION	63,400	25,900	91,000	105,000	131,000	198,700
EXPORTACION	-	-	-	-	-	-
CONSUMO APARENTE (1)	470,200	416,200	503,700	541,000	543,000	593,632

(1) Incluye el Carbonato de Sodio usado en auto-consumo (aproximadamente el 20%).

Sosa Texcoco, S. A.- Es una empresa de participación estatal situada en el D. F., tiene una capacidad instalada de 220,000 toneladas de Carbonato de Sodio por año en su planta, misma que se encuentra trabajando a toda su capacidad. Esta producción no puede ser aumentada debido a que su yacimiento (las salmueras del Lago de Texcoco) no pueden producir más ya que existe el peligro del abatimiento de los sedimentos del lago.

El producto obtenido por esta empresa es el llamado Carbonato de Sodio Denso; o sea que tiene un peso específico que varía de 0.900 a 1.05 kg por decímetro cúbico; con un porcentaje de pureza de 99.3% y es obtenido a partir de una salmuera rica en Carbonato de Sodio.

Aparte del Carbonato de Sodio, también se produce Sosa Caústica (Hidróxido de Sodio con 40% de concentración) y Cloruro de Sodio, con una producción anual de:

220,000 ton. de Carbonato de Sodio

60,000 ton. de Sosa Caústica

30,000 ton. de Cloruro de Sodio

Industrias del Alkali, S. A. - Es una empresa privada localizada en Monterrey, Nuevo León, con una capacidad instalada de 220,000 toneladas anuales. El producto es de dos tipos:

Carbonato denso, similar al producido por Sosa Texcoco, S. A.

Carbonato ligero; con un peso específico que varía de 0.512 a 0.624 kg por decímetro cúbico.

La pureza de los dos productos es del 99.3% - de Carbonato de Sodio

Aparte de este producto, esta misma empresa - produce Bicarbonato de Sodio, Sal refinada -- para uso industrial y salmueras, con la siguiente producción anual:

195,000 ton. de Carbonato de Sodio

18,000 ton. de Bicarbonato de Sodio

31,200 ton. de Sal refinada para uso industrial.

8,400 ton. de Salmueras

El proceso utilizado para la obtención de Carbonato de Sodio es el Solvay, el cual consiste en la saturación de la salmuera de Cloruro de Sodio purificada con gas amoniacado y carbonatada con gas carbónico; para precipitar Bicarbonato de Sodio, el cual es posteriormente calentado para obtener Carbonato de Sodio.

Hasta la fecha no hay planes de esta empresa para ampliar su capacidad de producción debido a los altos costos de las materias primas y energéticos, en combinación con las restricciones impuestas por las leyes contra la contaminación del ambiente. Esto último es debido a que las salmueras de desecho son ricas en Cloruro de Calcio, el cual es altamente contaminante. Debido a que no puede eliminarse en la superficie, ni ser precipitado por evaporación de la salmuera (por los grandes volúmenes de desecho), es inyectado al subsuelo en el Potrero de García, N.L., buscando la

Formación Zuloaga como roca almacenadora; correspondiendo a las Formaciones Minas Viejas y la Casita ser las rocas encajonantes debido a su alta impermeabilidad, sin embargo, - lo fracturado del terreno principalmente en los afloramientos de la roca almacenadora, - no asegura un total aislamiento de los con--taminantes, ya que pueden salir a la superficie a través de dichas fracturas (González - Treviño y Ruiz Ocampo, 1981).

VII.2.d).- Análisis de la Demanda Futura, Déficit e Im--portaciones.- El consumo de Carbonato de So--dio ha sufrido un incremento en los últimos años. En 1975 el consumo aparente fue de --- 470,200 toneladas (Ver tabla No. 13) y en el año de 1982 la demanda fue de 703,000 toneladas (ver tabla No. 14), o sea que hubo un incremento en la demanda de 232,800 toneladas en ocho años.

Para el futuro se prevé que continúe el in--cremento en la demanda, principalmente en la Industria Vidriera, Química, de Celulosa y Papel y la Petrólera, en lo que concierne a

TABLA No. 14

DEMANDA ESTIMADA Y DEFICIT 1982 - 1993 SOSA TEXCOCO, S. A. (en toneladas)		
<u>AÑO</u>	<u>DEMANDA</u>	<u>DEFICIT</u>
1982	703,000	263,000
1983	759,000	319,000
1984	820,000	380,000
1985	878,000	438,000
1986	939,000	499,000
1987	1'006,000	566,000
1988	1'077,999	637,000
1989	1'153,000	713,000
1990	1'235,000	795,000
1991	1'323,000	883,000
1992	1'417,000	977,000
1993	1'519,000	1'079,000

Tasa de crecimiento medio:

Para 1982 - 1986: 7.66%

Para 1986 - 1993: 7.11%

Carbonato de Sodio y la Industria Farmácea, alimenticia y fabricantes de extinguidores contra incendio para el Bicarbonato de Sodio.

Para la Industria Vidriera se prevé un incremento en el consumo del 9% anual.

Para la Industria Química la tasa de crecimiento prevista será del 12% anual.

Para la Industria de Celulosa y Papel el crecimiento será del 7.1% anual.

En la Industria del Jabón, Detergentes y Limpiadores se prevé un incremento del 8% en la fabricación de jabón para lavandería y del 1% para el jabón de tocador.

Para la Industria Petrolera se prevé un incremento del 15% anual en su consumo.

La Industria Farmacéutica prevé un incremento del 3% anual, o sea aproximadamente 14,000 toneladas al año.

En la Industria Alimenticia consideran un incremento del 3% anual.

Por último, los fabricantes de extinguidores contra incendio preven un incremento del 7% anual.

Este incremento general en el consumo aparente de Carbonato de Sodio; aunado a la producción fija anual de 440 toneladas de los productores, trae como respuesta que exista un déficit, el cual se irá incrementando con el transcurso de los años.

En el año de 1975 el déficit existente fue de 63,400 toneladas; para 1980 fue de ----- 198,700 (ver tabla No. 14); mismas que fueron cubiertas con importaciones.

Para el año 1982, el déficit fue de 263,000 toneladas, para 1983 se espera que este sea de 319,000 toneladas y de no existir un sustituto que reemplace el uso de Carbonato de Sodio o que se descubra un yacimiento explotable que cubra parte o toda la demanda; para 1993 el déficit ascenderá a 1,079,000 toneladas (ver tabla No. 14) la cual deberá cubrirse totalmente con importaciones.

VII.3.- Consideraciones Económicas del Yacimiento.-

Aunque las reservas de Carbonato de Sodio calculadas para el Lago Salino de Palomas, son de carácter preliminar y se desconocen las características de la explotación, beneficio y especificaciones industriales del Mineral; deben de considerarse éstas como una base para futuros estudios evaluativos definitivos.

De continuar el comportamiento seguido hasta ahora por el yacimiento en la evaluación definitiva y de no presentar problemas en su explotación y beneficio, se tendrá una fuente importante de Carbonato de Sodio que -- servirá para contrarrestar el déficit existente.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VIII.1.- CONCLUSIONES

- 1.- De acuerdo a la historia geológica de la región en la que el clima y los eventos tectónicos han sido fundamentales para la formación de depósitos evaporíticos continentales, traducidos en la presencia de minerales evaporíticos interestratificados en los sedimentos del ancestral -- Lago Cabeza de Vaca y en la verificación del carácter endorreico de las cuencas; existen, desde el inicio del Pleistoceno, o cuando menos, desde el Pleistoceno medio, las condiciones necesarias para la formación de estos depósitos en las cuencas de la zona Norte del Estado de Chihuahua.

- 2.- En el caso especial de la cuenca del Lago de -- Palomas, la presencia de conchas de moluscos de "agua dulce" en los sedimentos, mismos que po--drían ser correlacionados con la Formación Palomas, o en su defecto ser más jóvenes, indican que las condiciones necesarias para la forma---ción de depósitos evaporíticos en este Lago han

actuado a partir del Pleistoceno medio (Post-Kansas).

- 3.- De acuerdo a sus características litológicas, sedimentológicas, fisiográficas y químicas se definieron varios subambientes de depósito en el Lago Salino de Palomas interrelacionados y estrechamente asociados a la formación de los depósitos evaporíticos continentales y son:

Abanicos Aluviales (1, 2 y 3)

Planicie de Arenas

Planicie de Arcillas Salinas

Dunas

- 4.- De acuerdo a los iones (Na, K, Ca, Mg, CO₃, HCO₃, Cl y SO₄) presentes en el Lago Salino de Palomas, algunos de ellos en concentraciones anómalas, se han distinguido sus principales fuentes de origen en función de reacciones de intemperismo, actividad volcánica y procesos diagenéticos, y son:

a).- Por el intemperismo químico de las rocas circundantes a la cuenca.

b).- Por emanaciones volcánicas

c).- Por descomposición de materia orgánica.

- 5.- De acuerdo a la composición química de la salmuera, se clasifica a ésta dentro del tipo Na - Cl - CO₃ - (SO₄) en forma principal y Na - CO₃ - SO₄ - Cl en menor proporción.
- 6.- La presencia de anomalías salinas, consisten---tes en eflorescencias, salmuera y minerales salinos en desarrollo intrasedimentario, indican - la existencia de un ambiente evaporítico continental actuando en el desarrollo del Lago.
- 7.- La presencia de Analcima y Gaylussita como minerales autigénicos indican un ambiente alcalino representado por salmueras ricas en Carbonato - de Sodio.
- 8.- Debido a las anomalías y características sali---nas antes mencionadas, se ha clasificado a este yacimiento como un Depósito Evaporítico Conti---nental o Lago Salino.
- 9.- Se considera que la salmuera y aun los sedimen---tos son susceptibles de ser explotados; de aquí

que la estimación preliminar del potencial de Carbonato de Sodio está en función de éstos.

10.- Se calculó un volumen de 7,284,500.0 m³ de salmuera y 11,569,950.0 m³ de sedimentos.

11.- De los volúmenes calculados anteriormente y a partir de cálculos estequiométricos, se obtuvo el siguiente tonelaje de sales.

En la salmuera:

9,799.209 toneladas de Na₂CO₃
1,376.551 toneladas de NaHCO₃
6,518.890 toneladas de Na₂SO₄
3,492.189 toneladas de NaCl

En los sedimentos:

655,975.64 toneladas de Na₂CO₃
224,412.12 toneladas de NaHCO₃
399,870.18 toneladas de Na₂SO₄
255,342.30 toneladas de NaCl

VIII.2.- RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda efectuar el estudio geológico a detalle y evaluación del yacimiento, con el fin de precisar más el comportamiento y distribución de las anomalías salinas, así como evaluar en forma definitiva el potencial de Carbonato de Sodio contenido en el Lago.
- 2.- Para efectuar estos estudios es recomendable, como primer paso, efectuar estudios geofísicos superficiales (sondeos); los que determinarían el espesor y profundidades del o los cuerpos de salmuera y sedimentos salinos presentes en el lago.
- 3.- Posteriormente se deben realizar pozos profundos para muestrear las salmueras y sedimentos; efectuando pruebas de bombeo para determinar la permeabilidad, recarga, niveles dinámicos, niveles estáticos y cambios de la salinidad en función del tiempo de bombeo.
- 4.- Para la posible explotación del depósito se debe de considerar, por económico y sencillo, el

método de evaporación solar para la obtención de sales a partir de la salmuera (por precipitación). Consiste en el bombeo de ella a través de pozos o zanjas, descargándola en plantillas amplias en donde se deja evaporar por la acción solar.

5.- Las sales contenidas en los sedimentos pueden ser factibles de aprovecharse al inyectar agua a través de pozos diseñados para este fin. Proceso por el cual es posible recuperarlas en forma disuelta (como salmuera).

6.- Para tener un mejor control del orden de precipitación y tipo de minerales precipitados, es necesario efectuar pruebas piloto de la crystalización de los minerales salinos a partir de la salmuera, en condiciones similares a las -- del yacimiento.

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

ARAÑA SAAVEDRA, Vicente y José López RUIZ, Volcanismo, Dinámico y Petrología de sus productos, Madrid, Ediciones Istmo, 1974, 477 p., ils. (Colección Colegio Universitario, 4).

ATLAS DEL AGUA DE LA REPUBLICA MEXICANA, México Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1976.

BARTOS p. Joseph, y Serafín MENDOZA, Análisis del Mercado Actual y Futuro de la Trona en la República Mexicana, - México 1979, 52 p., (informe inédito en la Asesoría Técnica Industrial, División de Estudios Técnicos Económicos).

BEADLE, L.C., The Inland Waters of Tropical Africa, London, Long man, 1974, 365 p., ils.

BLASQUEZ, Luis L., "Hidrogeología de las Regiones desérticas de México", en Anales del Instituto de Geología, -- T.XV., México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1959, 172 p., ils.

BRADLEY, W.H., y H.P. EUGSTER, "Geochemistry and Paleolimnology of the Trona Deposits and Associated Authigenic Minerals of the Green River Formation of Wyoming", en Geological Survey Professional Paper 496-B, Washington, United States Government Printing Office, 1969, - 71 p., ils.

BUITRON, Blanca Estela, "Caenocidaris CF. C. Cucumífera - (Agassiz) equinoide del Jurásico Superior de Chihuahua" en Paleontología Mexicana, No. 40, México, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1974 p. 43-53, ils.

BURROWS, R.H., "Geology of Northern Mexico", en Boletín -- de la Sociedad Geológica Mexicana, México, V. 7, 1910, p.85-103, ils.

CHARLESTON AVILES, Santiago, Reconocimiento Geológico del área de Palomas, Estado de Chihuahua, México, Tesis, -- Instituto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 1962, 37 p., ils.

CORDOBA, Diego A., Informe Geológico de la Hoja Palomas -- (A-3) localizada en el Norte del Estado de Chihuahua, - México, 1966, 30 p., (informe inédito en el Instituto - de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de Mé-- xico).

"Mesozoic Stratigraphy of Northeastern -- Chihuahua, Mexico", en Guidebook of the Border Region. (New Mexico Geological Society, 1969 a, p. 91-96, ils.

Hoja Ciudad Juárez (13 R-a (3)), con Resú-- men de la Geología de la Hoja Ciudad Juárez, Chihuahua; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de - Geología, Carta Geológica de México, Serie 1:100,000 -- 1969 b.

et, al., "Mesozoic Stratigraphy of the -- Northen Portion of the Chihuahua Trough", en Geological Framework of Chihuahua, Symposium in honor of Professor Ronald K. DeFord, Midland, Texas, Geological Society -- West Texas, 1970, p. 83-97, ils.

CSERNA, Zoltan de, "The Alpine Basin and Range Province" - of North Central Chihuahua", en Guidebook of the Border Region. (New Mexico Geological Society, Twentieth Field Conference, 1969), New Mexico, Geological Society 1969, p. 66-67, ils.

DAVIS Stanley, N., y Roger J.M. DE WEIST, Hidrogeology, -
New York, John Wiley and Sons, 1966, 463 p., ils.

DEFORD, Ronald K., "Some Keys to the Geology of Northern -
Chihuahua", en Guidebook of the Border Region. (New Me-
xico Geological Society, Twentieth Field Conference, -
1969), New Mexico, Geological Society, 1969, p. 61-65,
ils.

DEFORD, Ronald K., y Walter T. HAENGGI, "Stratigraphic --
Nomenclature of Cretaceous Rocks in Northeastern -----
Chihuahua" en Geological Framework of Chihuahua, Sympo-
sium in honor of Professor Ronald DeFord, Midland, Te-
xas, Geological Society West Texas, 1970, p. 175-196, -
ils.

DIAZ, G.F., y A.G. NAVARRO, "Litología y Correlación es--
tratigráfica del Paleozoico Superior en la Región de -
Palomas, Chihuahua, México", en Boletín de la Asocia--
ción Mexicana de Geólogos y Petroleros, México, V. 16,
1964, p. 107-120.

DIRECCION GENERAL DE NORMAS, Norma DGN-K-36-1972, México, Secretaría de Industria y Comercio, publicada en el -- Diario Oficial de la Federación con fecha del 5 de Septiembre de 1972.

DUNBAR, Carl O., y John RODGERS, Principios de Estratigrafía, México, Editorial Continental, 1979, 422, ils.

EUGSTER H.P., Hans, "Geochemistry of Evaporitic Lacustrine", en Annual Review, Baltimore, Earth Planet Scienc, 1980, p. 35-63, ils.

EUGSTER, H.P., y L.A. HARDIE, "Saline Lakes", en Lakes: - Chemistry, Geology, Physics, New York, editado por --- Abraham Lerman, Springer-Verlag, 1978, p. 237-289, ils.

FRANTES, B.S. Thomas J., The Geology of the Palomas Volcanic Field Luna County, New Mexico, and Chihuahua, Mex. Texas, Tesis de la Universidad de Texas y el Paso, --- 1981, 90 p., ils.

FRIEDMAN M., Geral, y John E. SANDERS, Principles of Sedimentology, New York, John Wiley y Sons, 1978, 792 p., ils.

GONZALEZ, R.J., Memoria Geológico-Minera del Estado de -- Chihuahua. (Minerales Metálicos), XX Congreso Geológico Internacional, 1956, 280 p.

GONZALEZ TREVIÑO, José Ma., y Julio RUIZ OCAMPO, "Disposición de desechos líquidos de una planta de carbonato de sodio, en Memoria de la XIV Convención Nacional de la Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y Geólogos de México, México, AIMMGM, 1981, p. 833-860, ils.

GREENSMITH, J.T., Petrology of the Sedimentary Rocks, 6a. edición, London, George Allen Unwin, 1979, 241 p., -- ils. (Textbook of Petrology Volumen: 1).

GRIES, John C., y Walter T. HAENGGI, "Structural Evolution of the Eastern Chihuahua Tectonic Belt", en Geological framework of Chihuahua., Symposium in honor of Professor Ronald K. DeFord Midland, Texas, Geological Society West Texas, 1970, p. 119-137 ils.

GUERRA PEÑA, Felipe, Fotogeología, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, --- 1980, 337 p., ils.

HARDIE, L.A., et, al; "Saline Lakes and their deposits: a sedimentological approach", en Modern and Ancient Lake Sediments, London, editado por Albert Matter y Maurice E. Tucker, Black Well Scientific Publications, 1978, - p. 7-41, ils., (Special Publication number 2 of the International Association of Sedimentologists).

HAWLEY, John W., "Notes on the Geomorphology and Late --- Cenozoic Geology of Northwestern Chihuahua", en Guidebook of the Border Region. (New Mexico Geological Society, Twentieth Field Conference, 1969), New Mexico - Geological Society, 1969, p. 131-142, ils.

HOFFER, Jerry M., "Volcanic History of the Black Mountain Santo Tomas Basalts, Potrillo Volcanics, Doña Ana County, New Mexico", en Guidebook of the Border Region. --- (New Mexico Geological Society, Twentieth Field Conference, 1969), New Mexico, Geological Society, 1969, p. 108-114, ils.

JIMENEZ GONZALEZ, Fernando, Estudio Geológico-Geofísico - del área comprendida entre las Sierras Banco de Lucero Candelaria y Ranchería Municipio de Villa Ahumada, Edo. de Chihuahua, México, Tesis Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, 1978, 61 p., ils.

LETT, Don L., y Sheldon JUDSON, Fundamentos de Geología - Física, México, Editorial Limusa, 1980, 450 p., ils.

LEVINSON, A.A., Introduction to Exploration Geochemistry, 2a. ed, Wilmette, Illinois, Applied Publishing Ltd., 1980, 924, ils.

LOPEZ RAMOS, E., Geología de México, 3a. edición, T. II, México, Edición del autor, 1982, 454 p., maps.

LOPEZ RAMOS, E., Geología de México 2a. edición, T. III, México, Edición del autor, 1981, 446 p., ils.

MANNION, L.E. "Sodium Carbonate Deposits", en Industrial Minerals and Rocks, 4a. edición, New York, American -- Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., 1975, p. 1061-1080, ils.

MASON, Brian, Principales of Geochemistry, New York, John Wiley and Sons, 1966, 329 p., ils.

RAISZ, E., Landforms of Mexico (Carta de Provincias Fisiográficas). 2a. edición, editado por The Geographic --- Branch of the Office of Naval Research, Cambridge, --- Mass, 1964.

REEVES, C.C., Jr., "Pluvial Lake Palomas, Northwestern -- Chihuahua, Mexico" en Guide book of the Border Region. (New Mexico Geological Society, Twentieth Field Conference, 1969), New Mexico, Geological Society, 1969, p. 143-154, ils.

REEVES, C.C., Jr., "Economic significance of playa lake deposits", en Modern and Ancient Lake Sediments, London, editado por Albert Matter y Maurice E. Tucker, -- Black Well Scientific Publications, 1978, p. 279-290, ils., (Special Publication number 2 of the International Association of Sedimentologists).

ROYO OCHOA, Miguel, Geología de la Sierra de Candelaria, Municipio de Villa Ahumada, Estado de Chihuahua, México, Tesis de la Facultad de Ingeniería, Universidad -- Nacional Autónoma de México, 1982, 99 p., ils.

SALISBURY DANA, Edward, A Textbook of Mineralogy, 4a. ed. de la 2a. edición revisada y ampliada por William E. Ford, New York, John Wiley and Sons, Inc., 1949, 851 p., ils.

SANDERS, John, E., Principles of Physical Geology, New -- York, John Wiley and Sons, 1981, 624 p., ils.

SCHMITTER VILLADA, Eduardo, y Rebeca MARTIN DEL CAMPO ----

SCHMITTER, Glosario de Especies Minerales, con sus datos etimológicos, composición y algunas de sus propiedades importantes, México, Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Geología, 1980, 70 p.

SEAGER, W.R., y P., MORGAN, "Rio Grande Rift in Southern New Mexico, West Texas, and Northern Chihuahua", en --- Rio Grande Rift: Tectonics and Magmatism, Washington, Robert E. Riecker, Editor, American Geophysical Union, 1979, p. 87-106, ils.

STANLEY J. Lefond, y H. JACOBY, Charles; "Salt" en Industrial Minerals and Rocks, 4a. edición, New York, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum -- Engineers, Inc., 1975, p. 995-1027, ils.

STRAIN, William S., "Late Cenozoic Strata of the El Paso-Juarez Area", en Guidebook of the Border Region. (New Mexico Geological Society, Twentieth Field Conference, 1969), New Mexico, Geological Society, 1969, p. 155-157.

STRAIN, William S., "Late Cenozoic Bolson Integration in the Chihuahua Tectonic Belt", en Geological Framework of Chihuahua, Symposium in honor of Professor Ronald K. DeFord, Midland, Texas, Geological Society West -- Texas, 1970, p. 167-173, ils.

TAMAYO, Jorge L., Atlas Geográfico General de México, con cartas físicas, biológicas, demográficas, Sociales, -- económicas y cartogramas. 2a. edición. Editada por el Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas, México, D. F., 1962, p. 24, ils. y maps.

THORNBURY, William D., Principles of Geomorphology, 2a. -- edición, New York, John Wiley and Sons, 1969, 594, ils.

TUCKER, M.E., Sedimentary Petrology an Introduction, London, blackwell Scientific Publications, 1981, 252 p., ils. (Geoscience Texts Volumen 3).

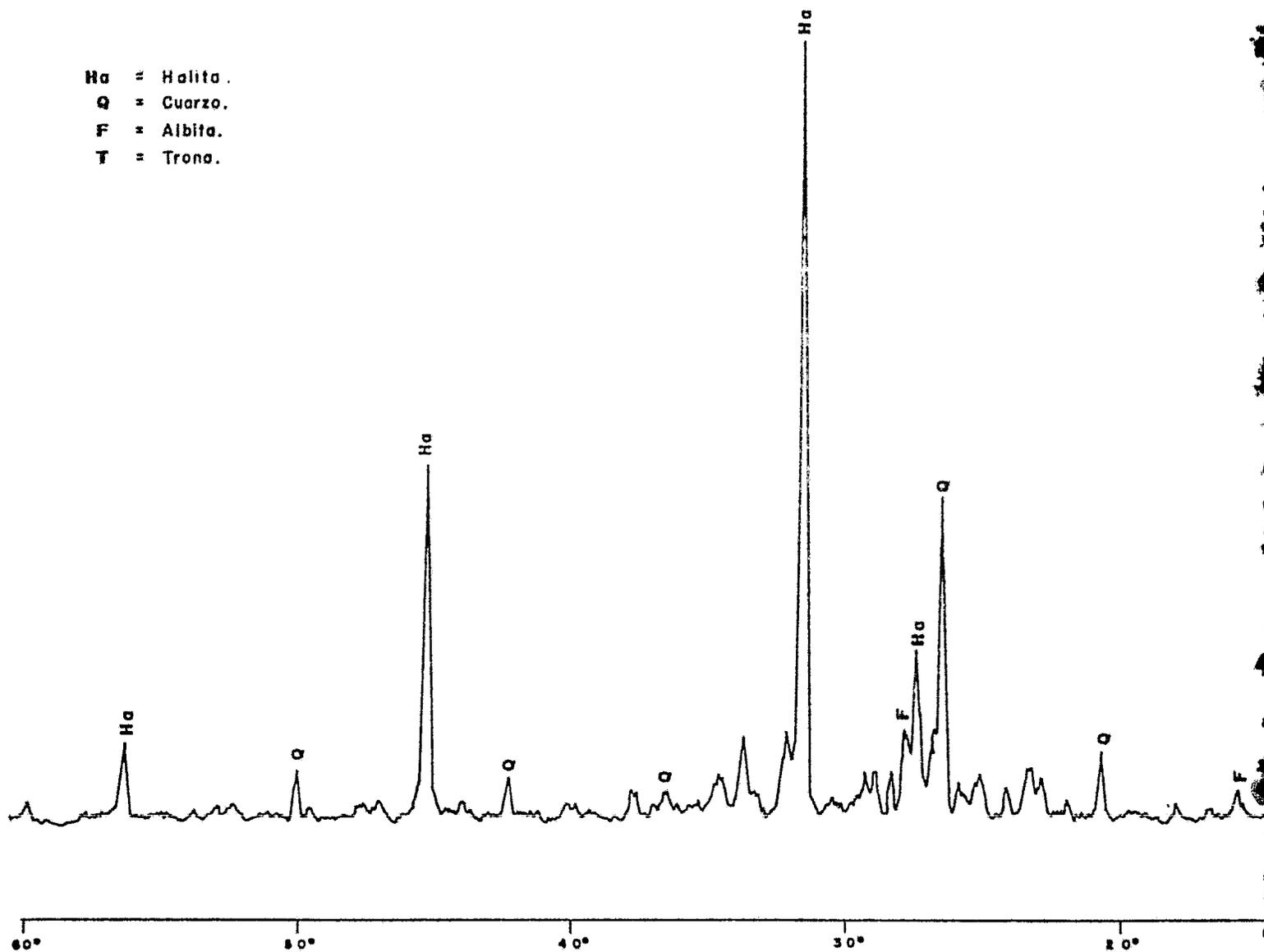
VILLASEÑOR, M.G. CABRAL, et, al; Gaylussita en los sedi-- mentos de la Laguna de Palomas, Chihuahua, en Revista del Instituto de Geología, México, U.N.A.M., 1980 ---- (1982), p. 188-189.

WEBB, Donald S., "A propósito de la edad de las rocas de las colinas de Samalayuca, Noreste de Chihuahua", en Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, México, -- Sociedad Geológica Mexicana, 1969, p. 155-157.

YAKUSHOVA A., y G. GORSHKOV, Geología General, 2a. edición, Moscú, Editorial Mir, 1977, 574 p., ils.

ANEXO DE DIAGRAMAS DE DIFRACCION DE RAYOS X

Ha = Halita.
Q = Cuarzo.
F = Albita.
T = Trona.



Profesional, U.N.A.M., 1983

MUESTRA DE EFLORESCENCIAS

CONDICIONES DEL DIFRACTOMETRO

Tubo: Cobre.

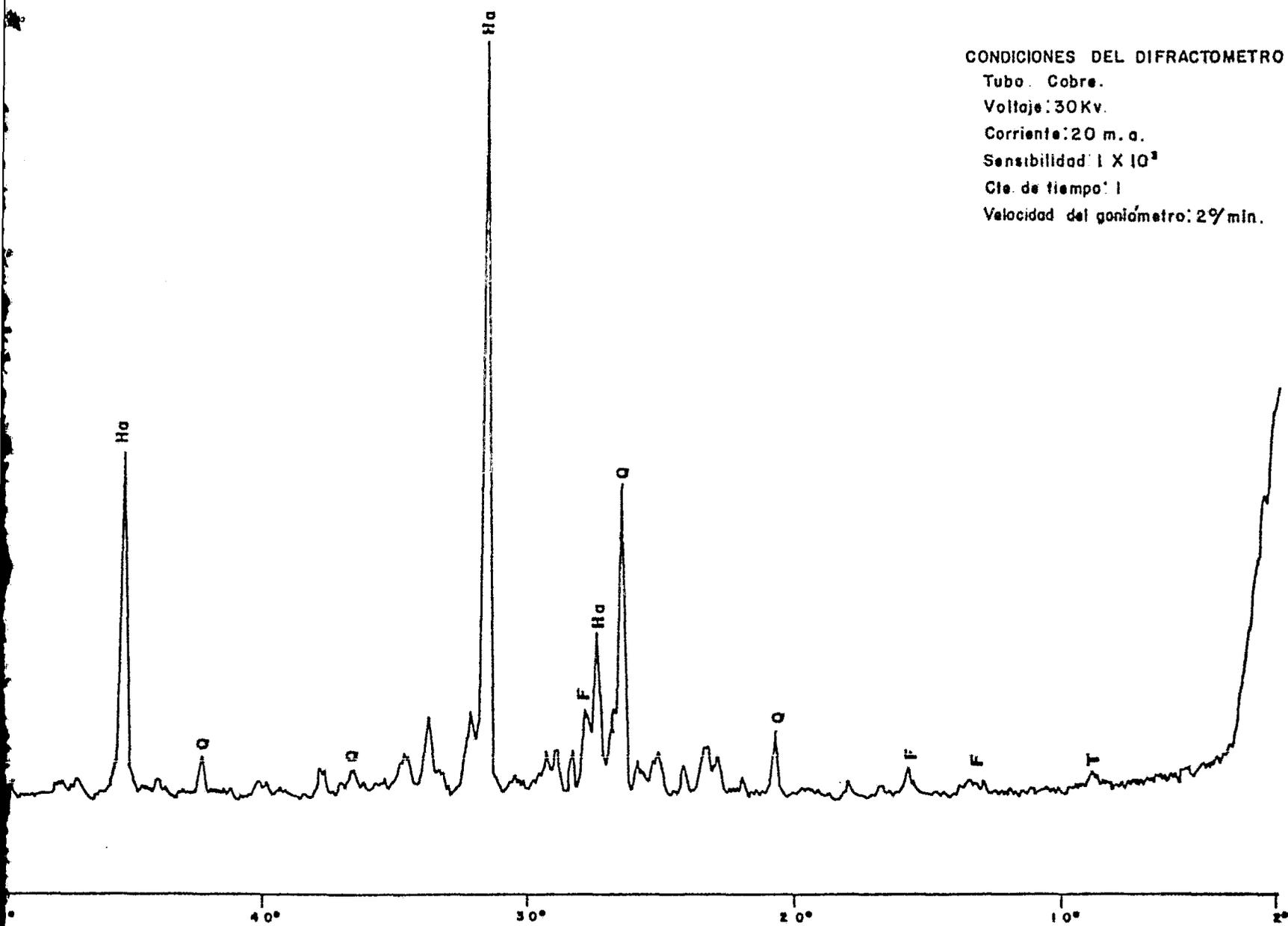
Voltaje: 30 Kv.

Corriente: 20 m. a.

Sensibilidad: 1×10^3

Cie. de tiempo: 1

Velocidad del goniómetro: 2°/min.

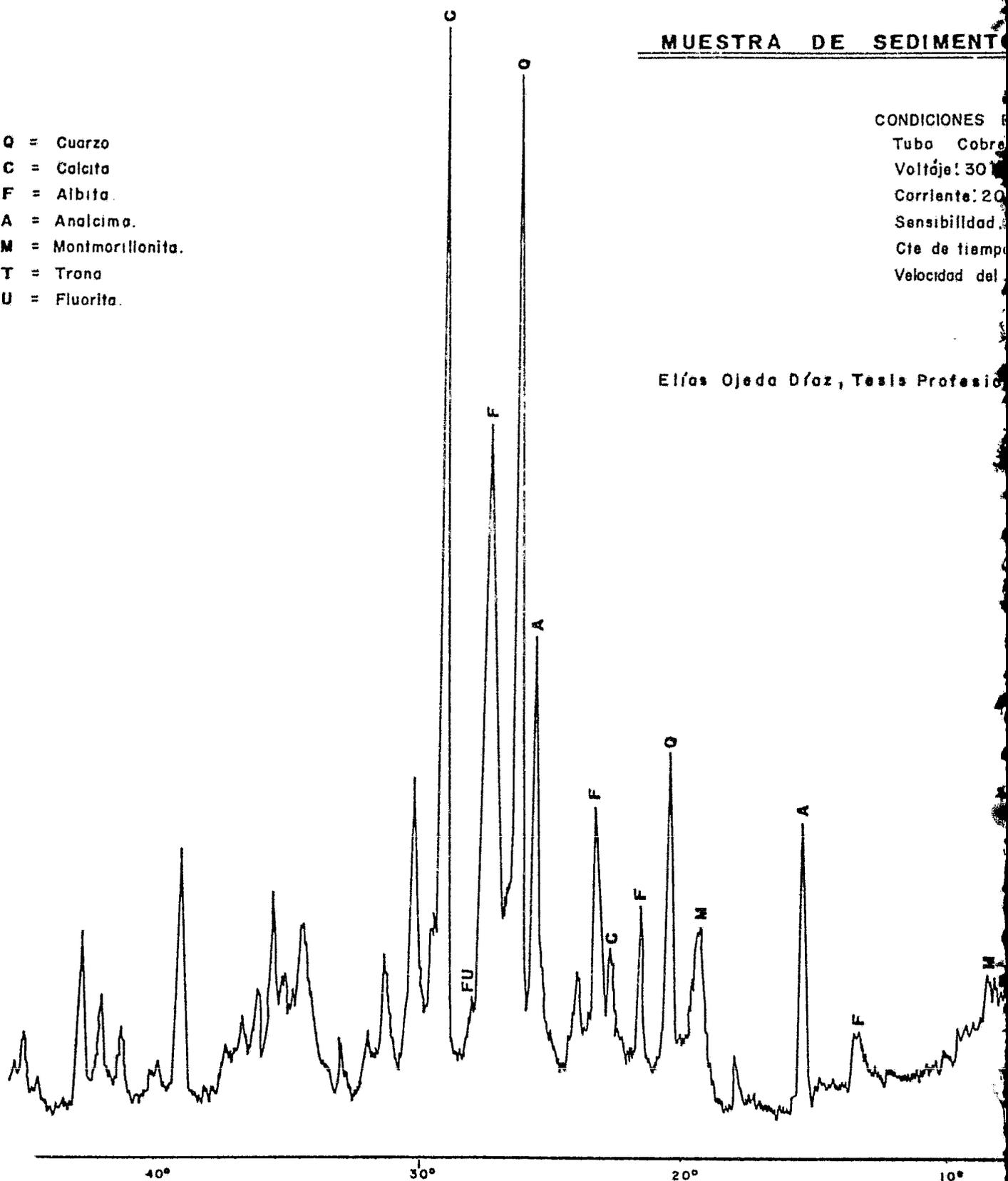


MUESTRA DE SEDIMENTOS

Q = Cuarzo
C = Calcita
F = Albita
A = Analcima
M = Montmorillonita
T = Trona
FU = Fluorita

CONDICIONES
Tubo Cobre
Voltaje: 30
Corriente: 20
Sensibilidad
Cte de tiempo
Velocidad del

Elías Ojeda Díaz, Tesis Profesio



MUESTRA DE SEDIMENTOS

CONDICIONES DEL DIFRACTOMETRO

Tubo Cobre

Voltaje: 30 Kv

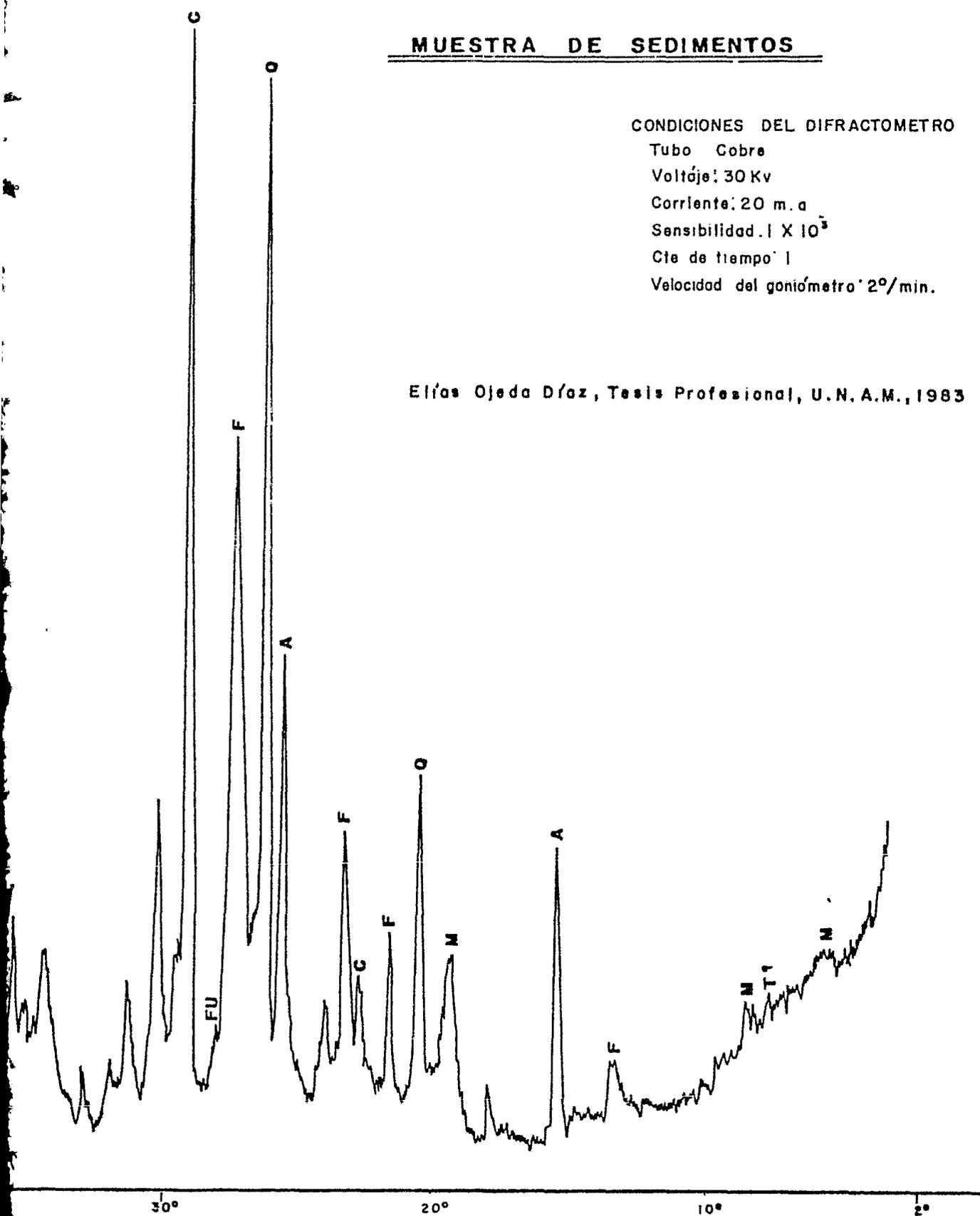
Corriente: 20 m.a

Sensibilidad: 1×10^3

Cte de tiempo: 1

Velocidad del goniómetro: $2^\circ/\text{min}$.

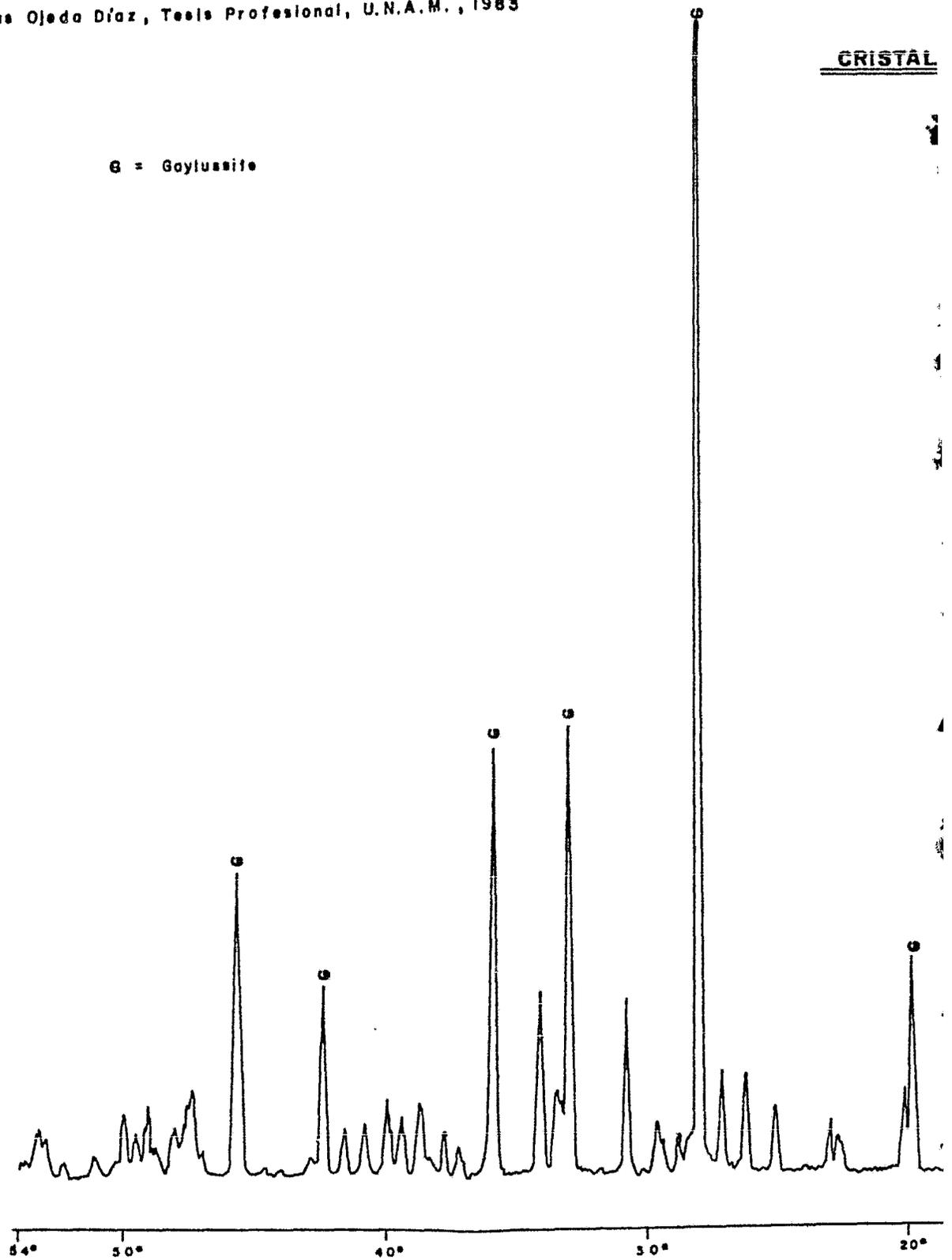
Elías Ojeda Díaz, Tesis Profesional, U.N.A.M., 1983



Elías Ojeda Díaz, Tesis Profesional, U.N.A.M., 1983

CRISTAL

G = Goylussite



Profesional, U.N.A.M., 1983

CRISTALES AISLADOS EN EL SEDIMENTO

CONDICIONES DEL DIFRACTOMETRO

Tubo: Cobre.

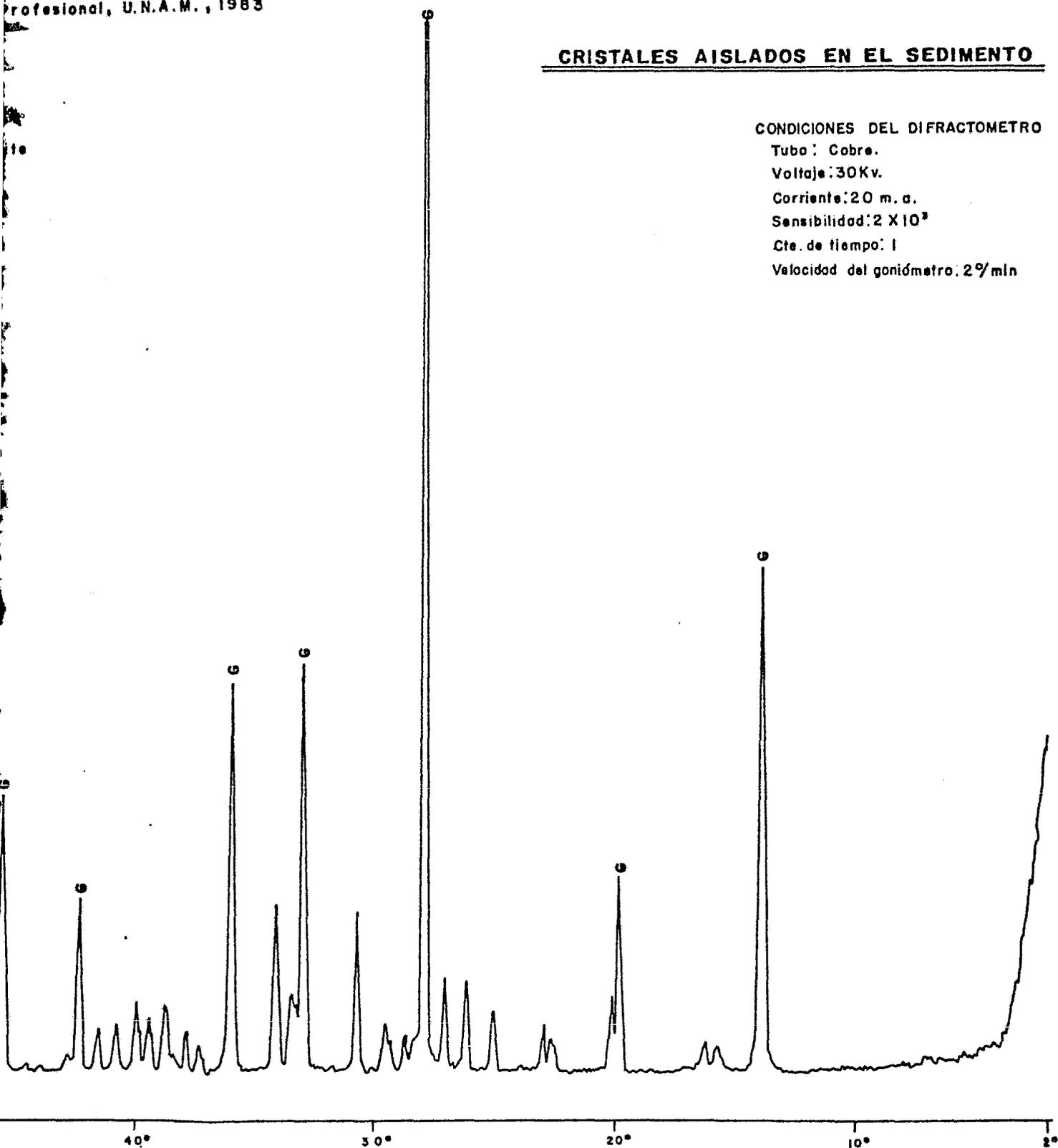
Voltaje: 30Kv.

Corriente: 20 m. a.

Sensibilidad: 2×10^3

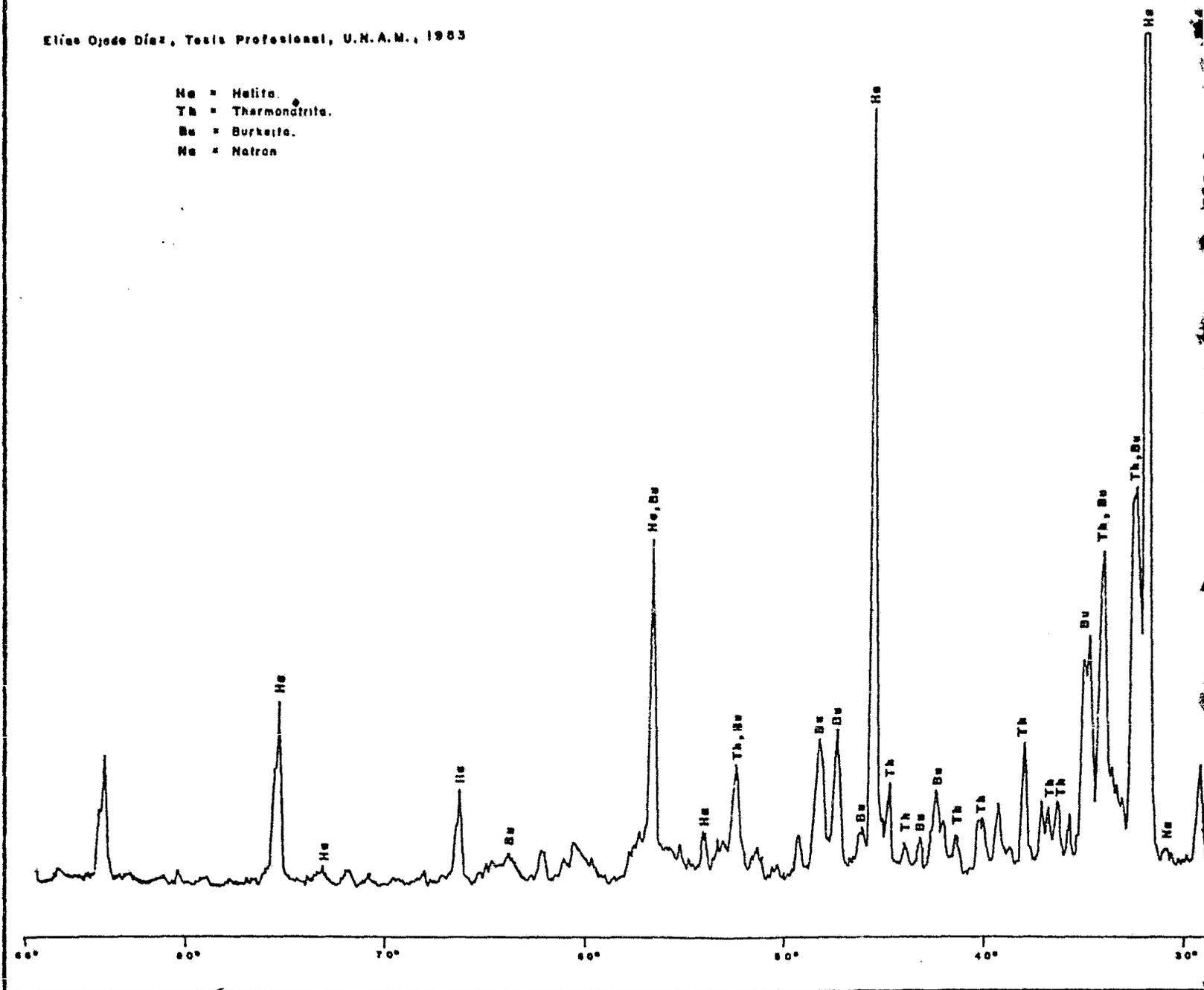
Cte. de tiempo: 1

Velocidad del goniómetro: $2^\circ/\text{min}$



Elías Ojeda Díaz, Tesis Profesional, U.N.A.M., 1983

He = Helita.
Th = Thermonatrita.
Bu = Burkeita.
Na = Natron



SALES ORIGINADAS POR EVAPORACION

CONDICIONES DEL DIFRACTOMETRO

Tubo: Cobre

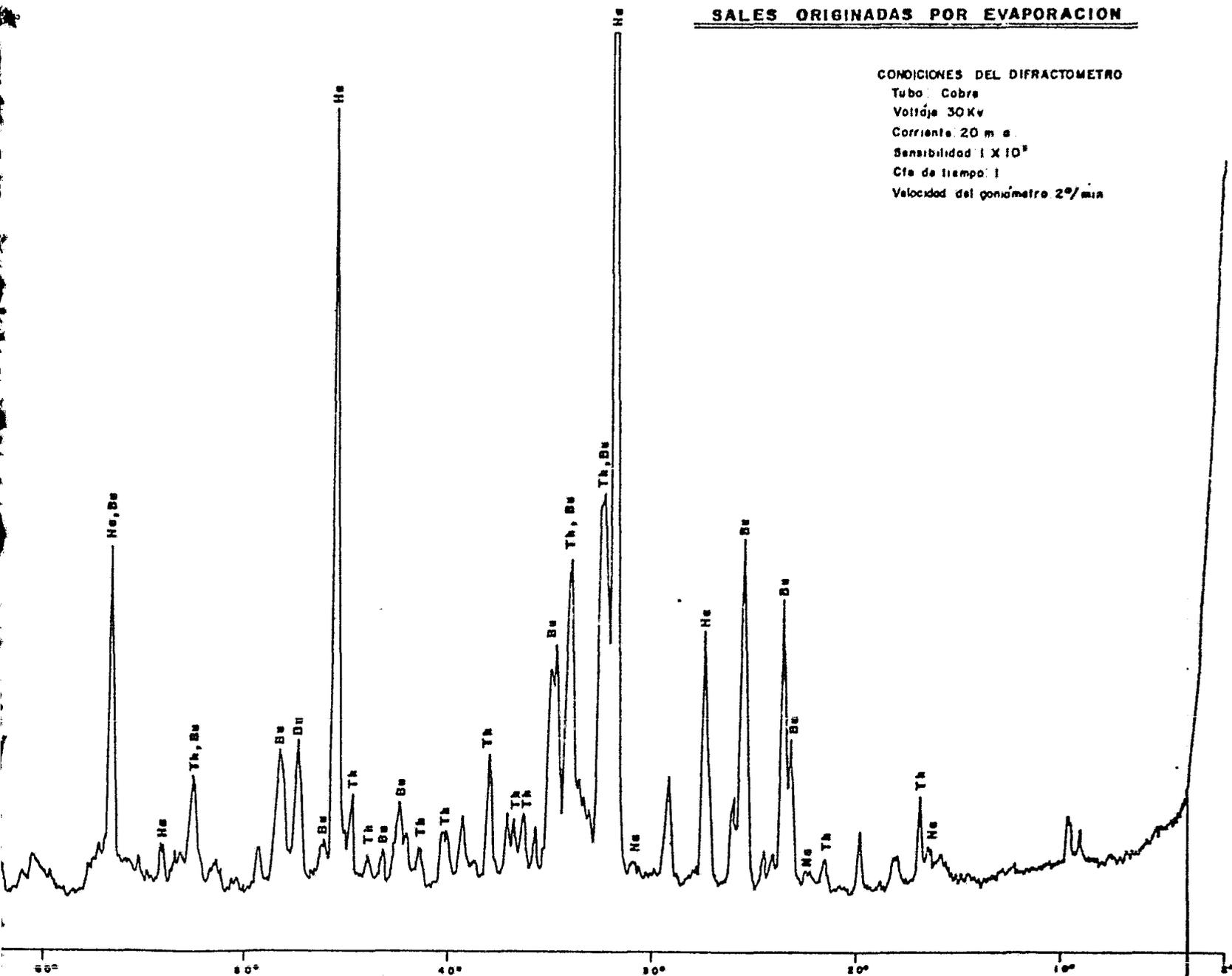
Voltaje 30Kv

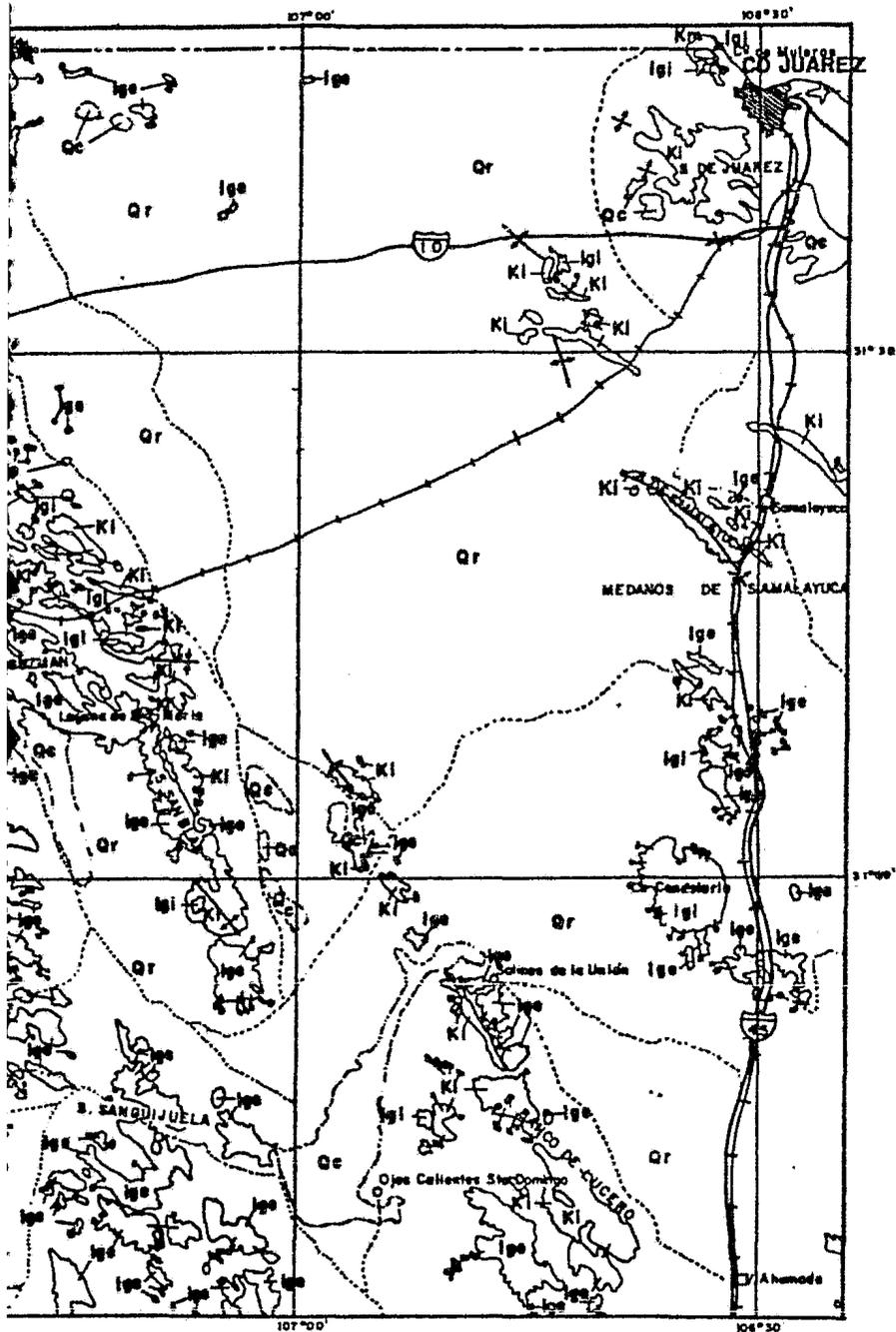
Corriente 20 m a.

Sensibilidad 1×10^3

Cte de tiempo: 1

Velocidad del goniómetro $2^\circ/\text{min}$



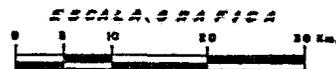


E S T R A T I G R A F I A

CENOSOICO	Qr	Sedimentos residuales, aluviales, eólicos y depósitos eólicos (Pleistoceno-Presente)	
	Qc	Cuaternario Continental: Depósitos lacustres y de relleno de cuencas (balsas) formados por arenas, gravas y arcillas de edad pleistocénica que pudieron formarse desde el oceno-oligoceno. Existe actividad volcánica básica de poca magnitud en los Montes de Juárez.	
TERCIARIO CUATERNARIO	Tbi	Terciario Volcánico-Tobos y derrames, en ocasiones intercalados; de composición basáltica, rhyolítica y andesítica (Eoceno-Plioceno)	Igi
	Igi	Terciario Igneo Intrusivo: Troncos y apófisis graníticas, pórfidos rhyolíticos, andesitas y sienitas en el Cerro de Juárez (Eoceno-Oligoceno).	
MEZOSOICO	Km	Cretácico Medio: Calizas, areniscas y lutitas de las Formaciones Arroyo Colorado, Juárez y La Mesa, pertenecientes al Grupo Ojuela (Cenomaniano-Turoniano).	
	Ki	Cretácico Inferior: Calizas arrecifales, plataformas y lutitas, areniscas con yesos interdigitadas; pertenecientes a las Formaciones Las Vigas, Cuchillo, Benigno, Lágrimas, Finlay y Benavides en los Sierritos de Las Águilas y Juárez con sus Formaciones correlacionables en otras áreas (Neocomiano-Albiano).	
	Js	Jurásico Superior: Calizas detríticas, limolitas y areniscas, con fósiles marinos; pueden pertenecer al Grupo Coahuila.	
	Pzs	Paleozoico Superior: Calizas, dolomías, areniscas y lutitas pertenecientes a las Formaciones Escobrosa, Paradiis, Morquillo, Carp, Colina, Epitaph, Scherrer y Concha (Misisípico-Pérmico).	

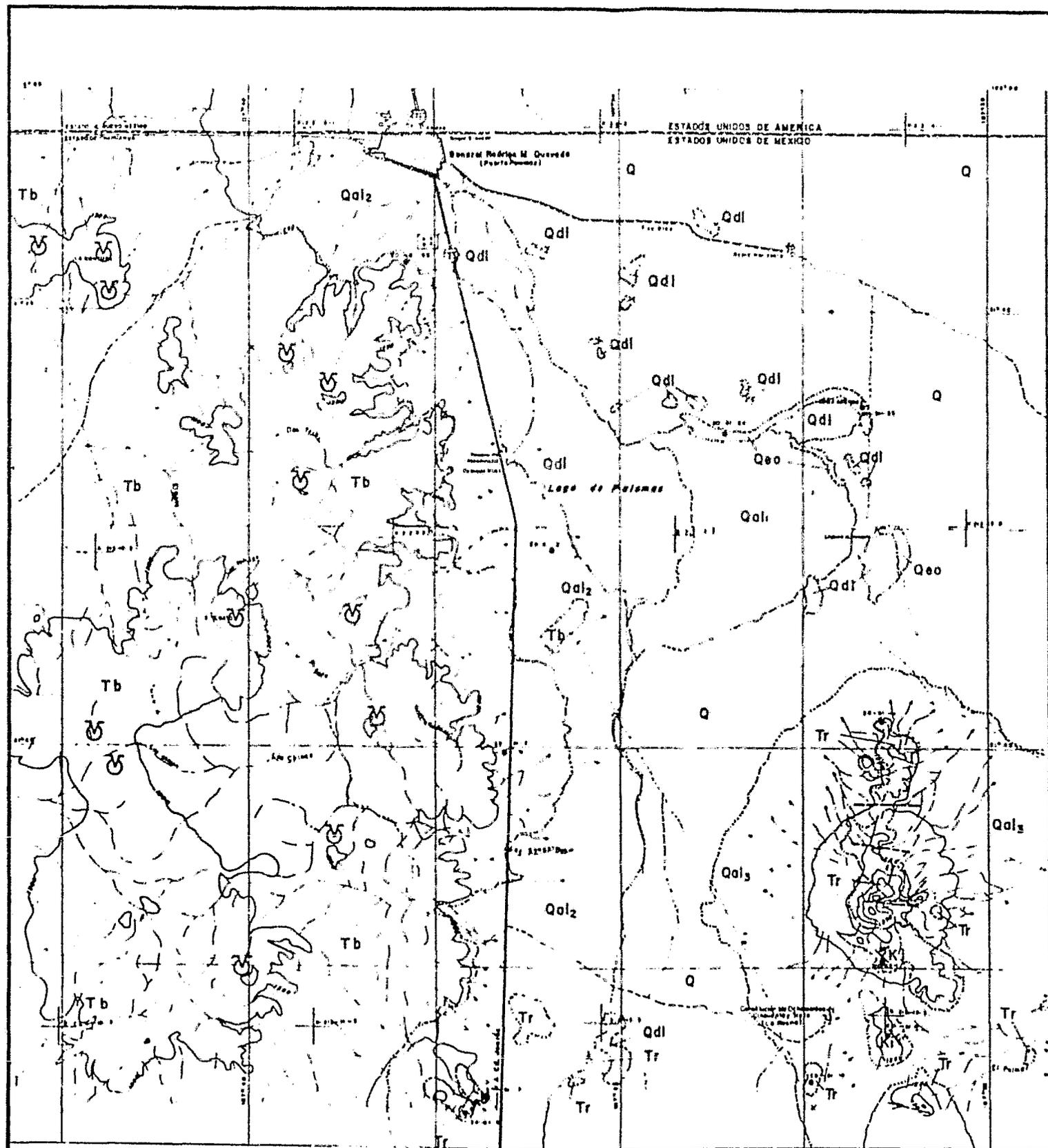
S I M B O L O S

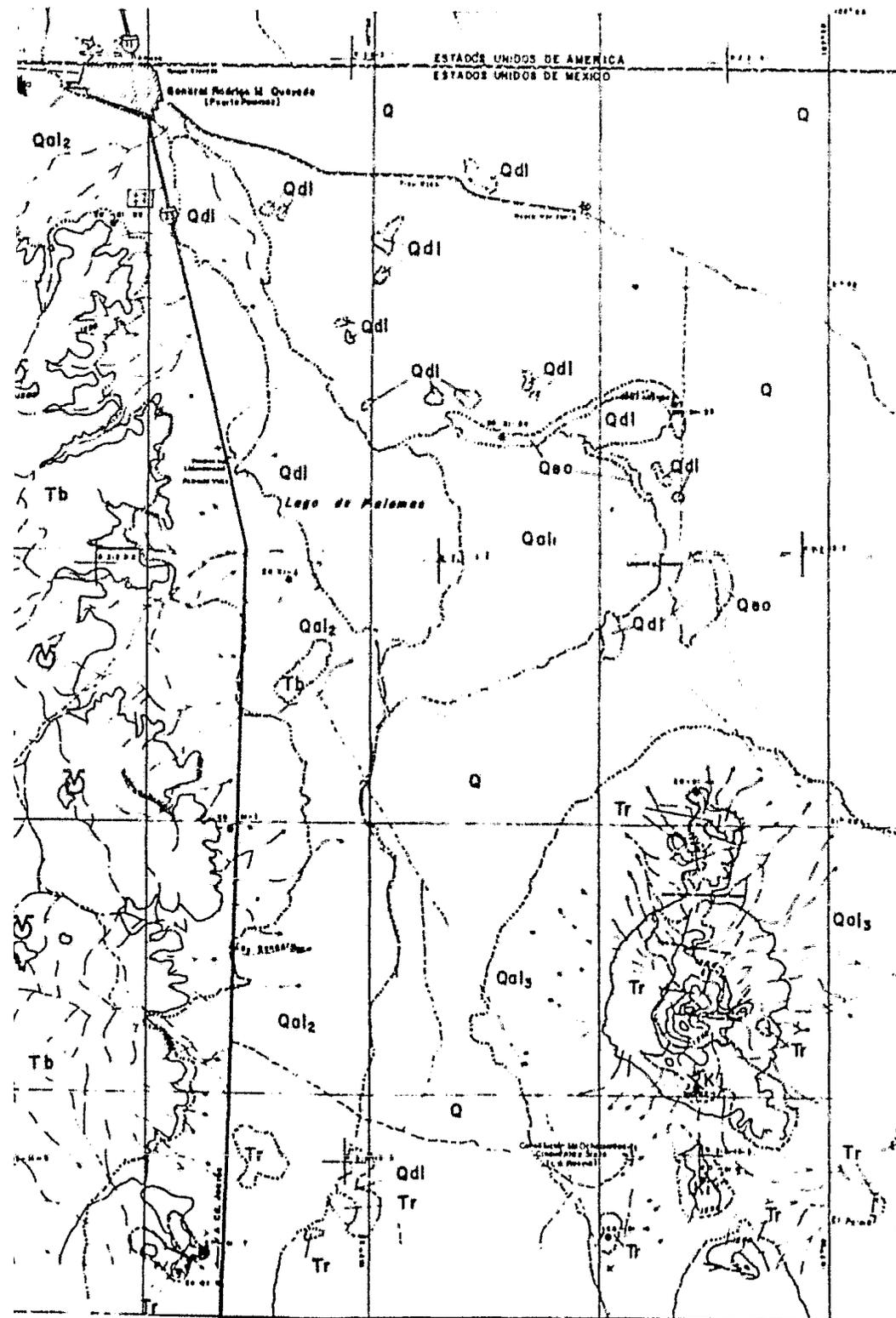
GEOLÓGICOS	TOPOGRÁFICOS
ANTICLINAL	LIMITE INTERNACIONAL
SINCLINAL	CIUDAD
ANTICLINAL RECENTEMENTE	POBLADO
CONTACTO GEOLÓGICO	RANCHERIA
CUENCA	CARRETERA FEDERAL
	TERRACERIA



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PLANO GEOLOGICO REGIONAL

TESIS PROFESIONAL	ELIAS OJEDA DIAZ
ESC 1:500,000	ACOT EN: Km
PLANO No 4	MAYO/1983





EXPLICACION

Q	SUELOS RESIDUALES Y ALUVIALES	Qeo	DEPOSITOS EOLICOS
Qal₂	DEPOSITOS ALUVIALES FORMADOS POR FRAGMENTOS DE ROCAS SA SALTICAS	Qal₃	DEPOSITOS ALUVIALES POR MACRO PIRA FRAGMENTOS DE ROCAS RIOLITICAS
Qal₁	DEPOSITOS ALUVIALES FORMADOS POR FRAGMENTOS TABULARES DE ROCAS RIOLITICAS	Qdl	DEPOSITOS ALUVIALES CON SISTEMAS EN TIEMPOS ARE NO, QUE LOS TIEMPOS DE RENOVACION
Tb	DERRAMES Y PRODUCTOS PIROCLASTICOS DE COMPOSICION BASALTICA		
Tr	DERRAMES Y PRODUCTOS PIROCLASTICOS DE COMPOSICION RIOLITICA		

KI	CALIZAS DE ESTRATIFICACION MEDIANA A GROSERA, COMPACTAS, PRESENTE SUPERFICIES DE ESCALACION Y PORVENIR
-----------	--

SIMBOLOS GEOLOGICOS

.....	CONTACTO RECTOR CO	▲	NUMERO Y FECHA DE LAS CAPAS
---	FRACTURA		
♁	VOLCAN		
●	PUNTO DE VERIFICACION		

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

▲	PIRAMIDE
---	LIMITE INTERNACIONAL
⊕	CARACTER FEDERAL
---	SENERCERIA TRANSMISABLE TIPO EL TIEMPO
---	SENERCERIA
□	PISTA DE TIERRA
⊙	CEMENTERIO
---	CURVA DE NIVEL
---	CORRIENTE INTERMITENTE
▲	CENTRO DE FOTOGRAFIA AEREA

ESCALA GRAFICA



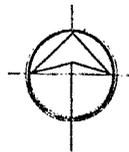
Equidistante entre curvas de nivel 50 metros

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
CIENCIAS DE LA TIERRA

PLANO GEOLOGICO DEL
LAGO DE PALOMAS,
MPIO DE ASCENSION, CHIH.

TESIS PROFESIONAL	ELIAS OJEDA DIAZ
ESC: 50000	ACOT EN N° PLANO N° 8 MAYO/1983

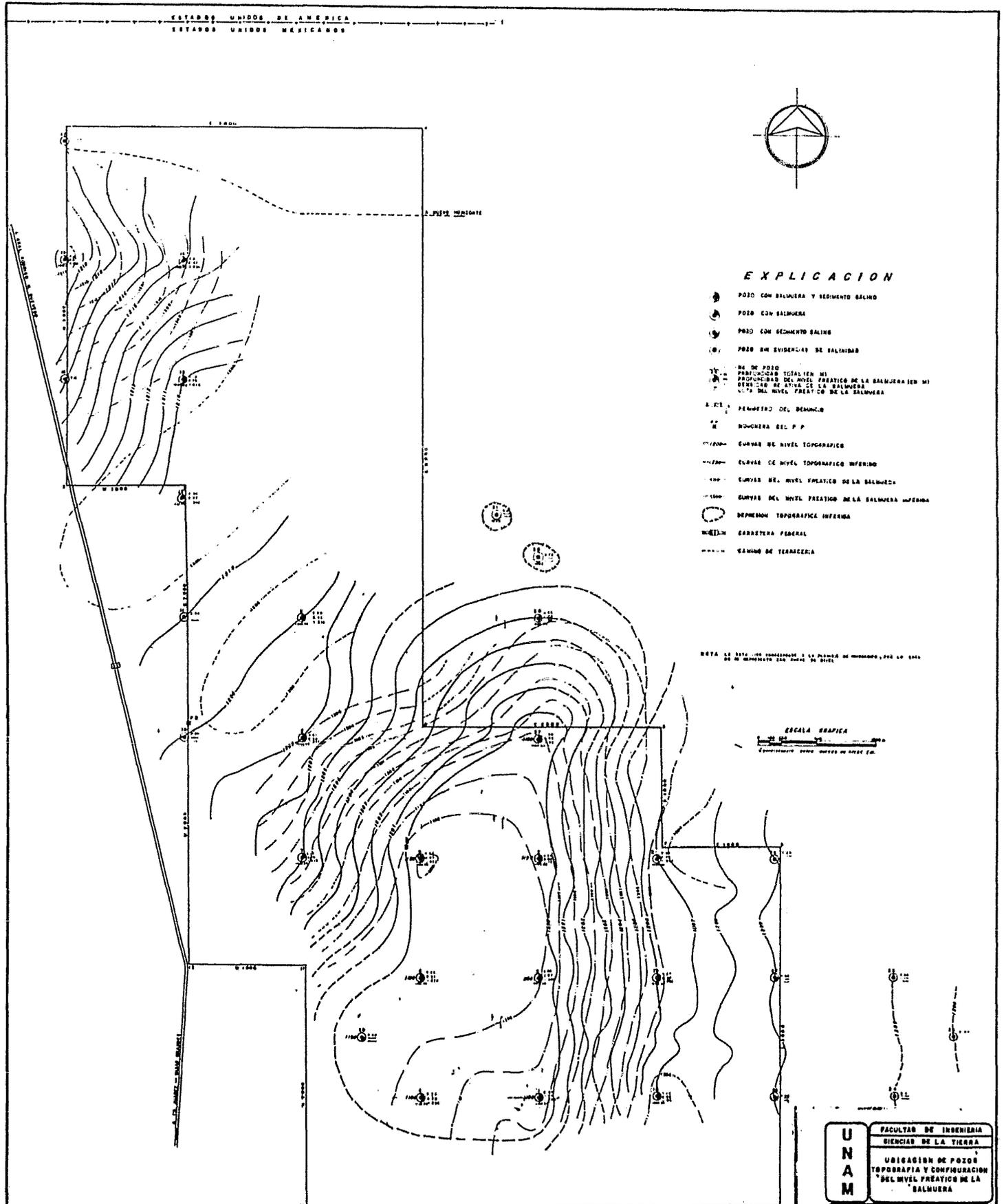
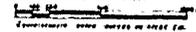


EXPLICACION

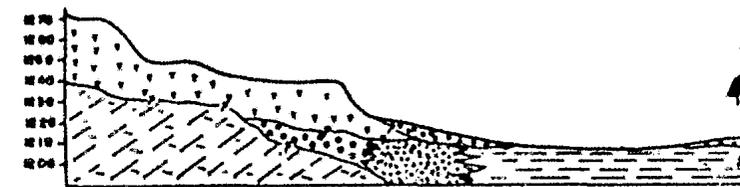
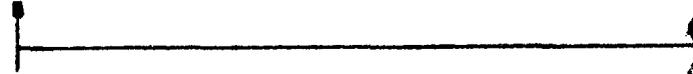
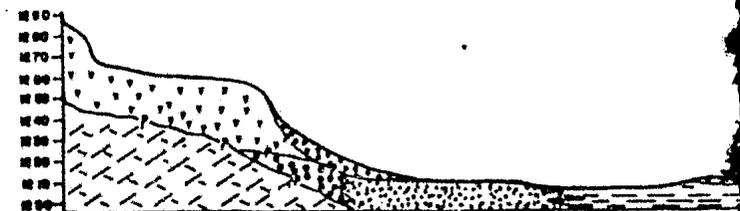
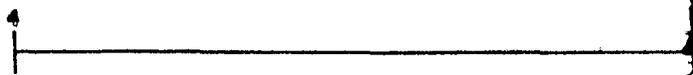
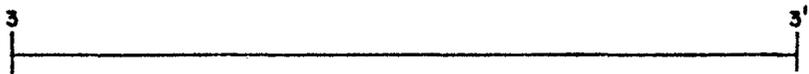
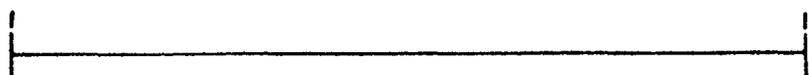
- POZO CON BALBUERA Y SEDIMENTO SALINO
- POZO CON BALBUERA
- POZO CON SEDIMENTO SALINO
- POZO SIN EVIDENCIAS DE SALINIDAD
- DE DE POZO
- PROFUNDIDAD TOTAL EN M
- PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO DE LA BALBUERA EN M
- DEPENDIENDO DE LA ALTURA DE LA BALBUERA
- ALTA DEL NIVEL FREATICO DE LA BALBUERA
- A. C. S. : PERIMETRO DEL DEMONIO
- BOMBONERA DEL P. P.
- CURVAS DE NIVEL TOPOGRAFICO
- CURVAS DE NIVEL TOPOGRAFICO INFERIOR
- CURVAS DEL NIVEL FREATICO DE LA BALBUERA
- CURVAS DEL NIVEL FREATICO DE LA BALBUERA INFERIOR
- DEPRESION TOPOGRAFICA INFERIOR
- CARRETERA FEDERAL
- CAMINO DE TERCIEROS

NOTA: SE ESTABLECE CORRELACION ENTRE LA LINEA DE MARCHEO, POR UN VALOR DE 100 METROS EN CADA UNO DE LOS PUNTOS.

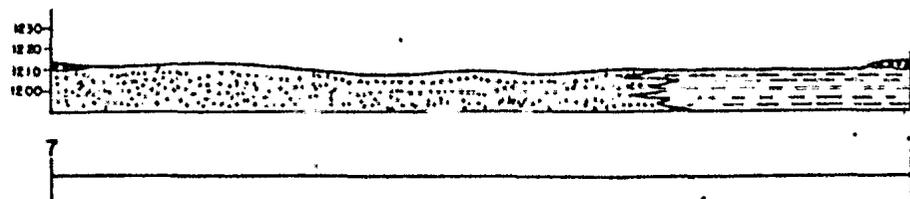
ESCALA GRAFICA



U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA CIENCIA DE LA TIERRA
	UBICACION DE POZOS TOPOGRAFIA Y CONFIGURACION DEL NIVEL FREATICO DE LA BALBUERA
	BOGOTA COLOMBIA 1964



SECCIONES VIENDO AL NORTE



SECCION VIENDO AL N 20° E

EXPLICACION

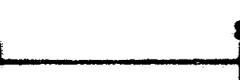
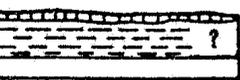
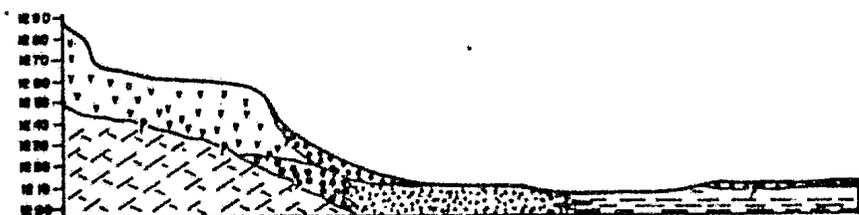
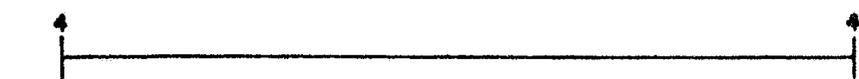
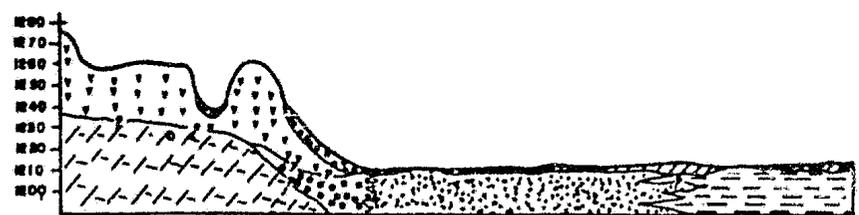
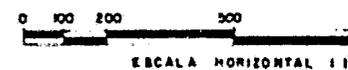
SIMBOLOS GEOLOGICOS

-  SUELOS Y ELUVIONES
-  DEPOSITOS EOLICOS
-  ABANICO ALUVIAL 1
-  ABANICO ALUVIAL 2
-  ARENAS
-  ARCILLAS SALINAS
-  BASALTOS
-  RIOLITAS
-  CONTACTO GEOLOGICO INFERIDO

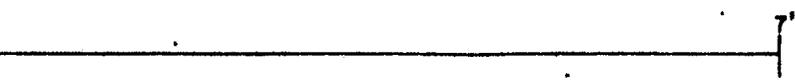
SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

-  LINEA DE SECCION

ESCALA GRAFICA



SECCIONES VIENDO AL NORTE



SECCION VIENDO AL N 28° E

U N A M	FACULTAD DE I CIENCIAS DE LA	
	SECCION GEOLOGICAS - TO	
TESIS PROFESIONAL		ELIAB
ESC	ACOT EN M	PLANO No 8

P O Z O			SEDIMENTOS SALINOS		S A L M U E R A S					RESULTADOS DE SEDIMENTOS SALINOS EN %						RESULTADO	
Nº	Prof Total (M)	Nº de Muestras	Espeor (M)	Nº de Muestras	PH	Densidad Relativa	Espeor (M)	Prof (M)	Nº de Muestras	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Na	K
1	2 03	1	2 03		10 5	1 08	0 88	1 15	1	2 0069	0 07266	1 9103	0 7218	0 6449	1 2742	38 81	0 4
2	4 88	9	4 88	8	10 5	1 06	1 81	3 07	1	2 4153	0 06437	1 61	0 6110	0 7947	1 2118	38 08	0 391
3	4 93	6	4 93	5	10 0	1 64	1 90	3 03	1	3 3344	0 0199	2 782	0 8821	0 9332	1 6537	73 71	0 808
4	4 74	6	4 74	5	11 0	1 98	2 04	2 70	1	3 802	0 051	2 211	1 00	1 088	1 377	42 77	0 34
5	4 86	7	4 86	6		1 70	1 15	3 51	1	2 158	0 0305	1 4808	0 8871	0 7120	1 1601	31 05	0 313
6	5 04	5	5 04	4	10 5	1 62	0 99	4 07	1	1 9818	0 236	1 271	0 8772	0 7389	0 979	52 49	0 528
8	5 91	1			9 0	1 08	0 93	2 98	1							24 44	0 078
18	5 46	3	0 61	2	10 0	1 04	0 82	2 84		0 8544	0 0788	0 3754	0 8049	0 3314	0 3896	17 25	0 059
19	4 27	1			11 0	1 04	0 80	3 47	1							21 39	0 078
20	6 88	7	6 88	6	10 0	1 09	1 04	5 84		2 1424	0 1212	1 4396	0 4622	0 6882	1208	14 66	0 20
21	5 98	1			10 0	1 094	0 75	5 85	1							44 72	0 17
27	5 40	1			10 0	1 08	0 75	1 15	1							14 07	0 04
TOTALES			40 30	46	15 79	26			12	2 568397	0 1757	1 63434	0 724111	0 808811	1 209403	35 3338	0 30879
																37 1389	0 32483

RESULTADOS ESTEQUIOMETRICOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA CONCENTRACION MEDIA DE LA SALMUERA.

COMPUESTO	gr/lit	% PESO
Na ₂ CO ₃	44 8424	42 7872
NaHCO ₃	6 7993	6 0199
Na ₂ SO ₄	29 8197	28 4780
NaCl	5 9685	5 8592
iones sobrantes no incluidos en la reacción Cl, S, Ca, Mg	7 4098	7 4534

RESULTADOS ESTEQUIOMETRICOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA CONCENTRACION MEDIA DE LOS IONES SOLUBLES EN EL SEDIMENTO.

COMPUESTO	gr/lit	% PESO
Na ₂ CO ₃	2 9225	41 8150
NaHCO ₃	0 9980	14 1770
Na ₂ SO ₄	1 7816	25 3070
NaCl	1 1378	16 1600
iones sobrantes no incluidos en la reacción Cl, S, Ca, Mg	0 1999	2 8398

NOTA * DATOS OBTENIDOS EN EL

$$\% \text{ PESO} = \frac{\text{gr de ion}}{\text{gr Totales de iones}}$$

R A S		RESULTADOS DE SEDIMENTOS SALINOS EN %						RESULTADOS DE SALMUERAS EN gr/lit							
Prof (M)	Nº de Muestras	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Mg	Ca
1.15	1	3.0089	0.05766	1.9105	0.7218	0.8449	1.2742	78.81	0.4	31.92	5.25	21.08	26.00	0	0
3.07	1	2.4153	0.06435	1.61	0.8110	0.7547	1.2115	38.09	0.391	31.80	3.68	19.58	24.58	0	0
3.03	1	3.3544	0.0599	2.0782	0.8821	0.9552	1.6537	73.51	0.468	49.34	8.79	27.68	42.00	0	0
2.70	1	3.602	0.051	2.211	1.00	1.088	1.37	42.77	0.34	24.70	2.75	31.63	19.70	0.019	0
3.51	1	2.158	0.0505	1.4809	0.8471	0.7320	1.1801	31.05	0.313	18.48	3.98	14.18	18.84	0	0
4.07	1	1.9818	0.258	1.271	0.6722	0.7389	0.879	32.49	0.328	19.70	6.10	16.92	8.98	0	0
2.98	1							24.44	0.078	17.40	1.68	11.73	15.75	0	0.014
2.84	1	0.6544	0.0788	0.3754	0.8049	0.5314	0.1995	15.23	0.039	8.70	3.84	7.90	10.47	0.004	0
3.47	1							21.39	0.078	16.88	4.01	11.82	14.90	0	0
5.84	1	2.1424	0.2212	1.4398	0.4922	0.6982	1.1208	14.68	0.20	8.28	1.59	8.88	9.13	0	0
3.65	1							46.72	0.17	23.40	3.38	18.97	21.70	0	0
1.15	1							14.07	0.04	4.22	3.50	8.50	9.00	0	0.1
37.28	12	2.588397	0.07391	1.65434	0.724137	0.808811	1.209403	33.3536	0.30879	24.15	4.5573	16.657	19.1814	0.002600	0.00910
								37.1389	1.92435	25.1925	4.5745	17.5038	20.1124	0.028148	0.029448

CONCENTRACION MEDIA
% PESO
gr/lit

RESULTADOS ESTEQUIOMETRICOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA CONCENTRACION MEDIA DE LOS IONES SOLUBLES EN EL SEDIMENTO.

COMPUESTO	gr/lit	% PESO
Na ₂ CO ₃	2.9225	41.6150
NaHCO ₃	0.9980	14.1770
Na ₂ SO ₄	1.7815	25.3070
NaCl	1.1376	16.1600
iones sobrantes no incluidos en la reacción. K, Ca, Mg	0.1999	2.8398

NOTA * DATOS OBTENIDOS EN EL CAMPO

$$\% \text{ PESO} = \frac{\text{gr de Ion}}{\text{gr. Totales de iones}} \times 100$$

U
N
A
M

FACULTAD DE INGENIERIA
CIENCIAS DE LA TIERRA

CONCENTRACIONES SALINAS EN LA
SALMUERA Y SEDIMENTOS.

TESIS PROFESIONAL

ELIAS OJEDA DIAZ

ESC

AÑO EN

TABLA No 3

FECHA MAYO/1983