

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

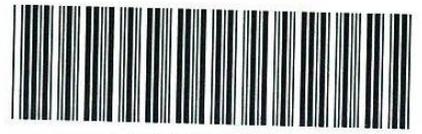


**GEOHIDROLOGIA DEL MARGEN ORIENTAL DE LA  
SIERRA MADRE ORIENTAL**

**TESIS DE MAESTRIA EN CIENCIAS  
EN HIDROLOGIA SUBTERRANEA**

**VICTOR M. AGUILERA REYES**





1020091201



DIRECCION GENERAL DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



GEOHIDROLOGIA DEL MARGEN ORIENTAL DE LA  
SIERRA MADRE ORIENTAL

TESIS DE MAESTRIA EN CIENCIAS  
EN HIDROLOGIA SUBTERRANEA

VICTOR M. AGUILERA REYES



FONDO TITULO

TM  
26834  
.CS  
FIC  
S.A.  
A3



FONDO TESIS

63056

## AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este trabajo ha sido posible gracias a la valiosa , fundamental e inestimable colaboración de mi amigo el Dr. Brooks D. Anderson II. Los Ingenieros Benito Muñoz H. y Ricardo Salgado G. revisaron y ayudaron con sus comentarios para darle fundamento y estilo. Estoy tambien muy agradecido con el Ing. David Fernández Camargo , quien como director de nuestra Facultad me dió facilidades para cursar la maestría y me ha apoyado en todo momento; así mismo lo ha hecho el Ing. Anastacio Vásquez , director de la División de Estudios Superiores.

Tambien a Milena por su ayuda para analizar las muestras y mecanografiar el manuscrito; a Jorge Cabriales , por su colaboración en el aspecto gráfico y a Ernesto Guerra por su espontánea colaboración en la elaboración del escrito.

A todas las personas que de una manera u otra colaboraron con el desarrollo del mismo.

GRACIAS.

INDICE

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Resumen -----	1
Objetivo -----	2
Introducción -----	3
Localización -----	5
Fisiografía -----	6
Suelos -----	9
Climatología -----	10
Hidrología -----	12
Geología Histórica -----	17
Estratigrafía -----	22
Tectónica -----	29
Geología del Margen de la Sierra -----	31
Descripción del Model Geohidrológico -----	34
Aplicación del Modelo en la ULUANL -----	37
Exploración Local -----	37
Aforos -----	42
Calidad Química -----	44
Experimento de Trazado -----	45
Conclusiones -----	58
Recomendaciones -----	60
Bibliografía -----	63

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
1.- Plano de Localización General -----	4
2.- Plano de Provincias Fisiográficas -----	7
3.- Registros de las Estaciones	
Meteorológicas de la Zona -----	11
4.- Plano de Regiones Hidrológicas -----	13
5.- Mapa de Geología Estructural -----	15
6.- Plano Geológico -----	18
7.- Secciones Esquemáticas de la	
Sierra Madre Oriental -----	19
8.- Columnas Estratigráficas -----	23
9.- Planos Geológicos y Topográficos SPP	
Escala 1:50,000 usados como base	
para el estudio -----	33
10.- Modelo Geohidrológico del Margen	
Oriental de la Sierra Madre Oriental -----	36
11.- Geología de los Terrenos de la ULUANL -----	38
12.- Localización de Pozos en la ULUANL -----	41
13.- Pozos utilizados en el experimento	
de trazado -----	49
14.- Espectro de Emisión Fluorescente -----	50

<b>15.- Gráficas Tiempo- Concentración</b>	
<b>para los pozos 19A y 18A -----</b>	<b>54</b>
<b>16.- Gráficas Tiempo- Concentración</b>	
<b>para los pozos 14A y 17A -----</b>	<b>55</b>
<b>17.- Diagrama Vectorial de Velocidades-----</b>	<b>57</b>
<b>18.- Indicaciones para el uso del Método</b>	
<b>en el Campo -----</b>	<b>62</b>

## RESUMEN

Frente a la Sierra Madre Oriental, entre las ciudades de Monterrey N. L. y Victoria, Tamps., se encuentra una región semiárida y cálida (con temperaturas hasta 48° C) cubriendo una superficie de aproximadamente 10,000 km<sup>2</sup>, que prácticamente no contiene ríos permanentes y se haya infrayacida por lutitas Cretácicas impremeables. Con el fin de encontrar agua subterránea, se desarrolló un modelo conceptual acerca de la evolución geológica de la región. La Sierra Madre es una estructura de deslizamiento por gravedad gigantesca, el cual ocurrió durante la fase Terciaria Temprana de la Orogenia Laramídica. La estructura deslizada cabalgó y empujó pliegues isoclinales relativamente cerrados y limitados por fallas de compresión (con ángulos mayores de 45°) o "fallas de empuje". Estas últimas se extienden hasta 40 km fuera de la zona marginal de cabalgamiento y se encuentran interconectadas entre sí por un sistema secundario de fallas perpendiculares. La zona de recarga se encuentra en la Sierra Madre y el agua viaja con dirección preferentemente al Este. Para comprobar ésto último se realizó un experimento de trazado de las aguas subterráneas.

Las aplicaciones prácticas de éste modelo comprobaron que de cada cuatro pozos perforados, tres encontraron la falla esperada, produciendo en promedio ocho litros por segundo. Estos resultados representan una mejoría respecto a los métodos usados en la región, en donde sólo uno de cada seis pozos perforados es productivo, dando un promedio de menos de un litro por segundo.

### **OBJETIVO**

**El objetivo de éste trabajo es desarrollar un método para encontrar agua subterránea en las lutitas impermeables del Margen Oriental de la Sierra Madre Oriental.**

## INTRODUCCION

Existe la necesidad urgente de encontrar agua subterránea en el caliente y semiárido margen geográfico oriente de la Sierra Madre Oriental (fig. 1). Esta región se está desarrollando rápidamente y está situada entre Cd. Victoria, que es la capital del estado de Tamaulipas y Monterrey, la segunda ciudad industrial y la tercera en población del país. No hay grandes ríos verdaderos y solamente existen unas cuantas corrientes intermitentes. La mayor parte de la agricultura se limita a valles fluviales y áreas cercanas, alimentadas por pequeños canales de irrigación. El agua subterránea podría aportar una porción considerable de las necesidades de la región. El problema es que en el Margen de la Sierra infrayacen lutitas impermeables Cretácicas de la Formación Méndez.

# PLANO DE LOCALIZACION GENERAL

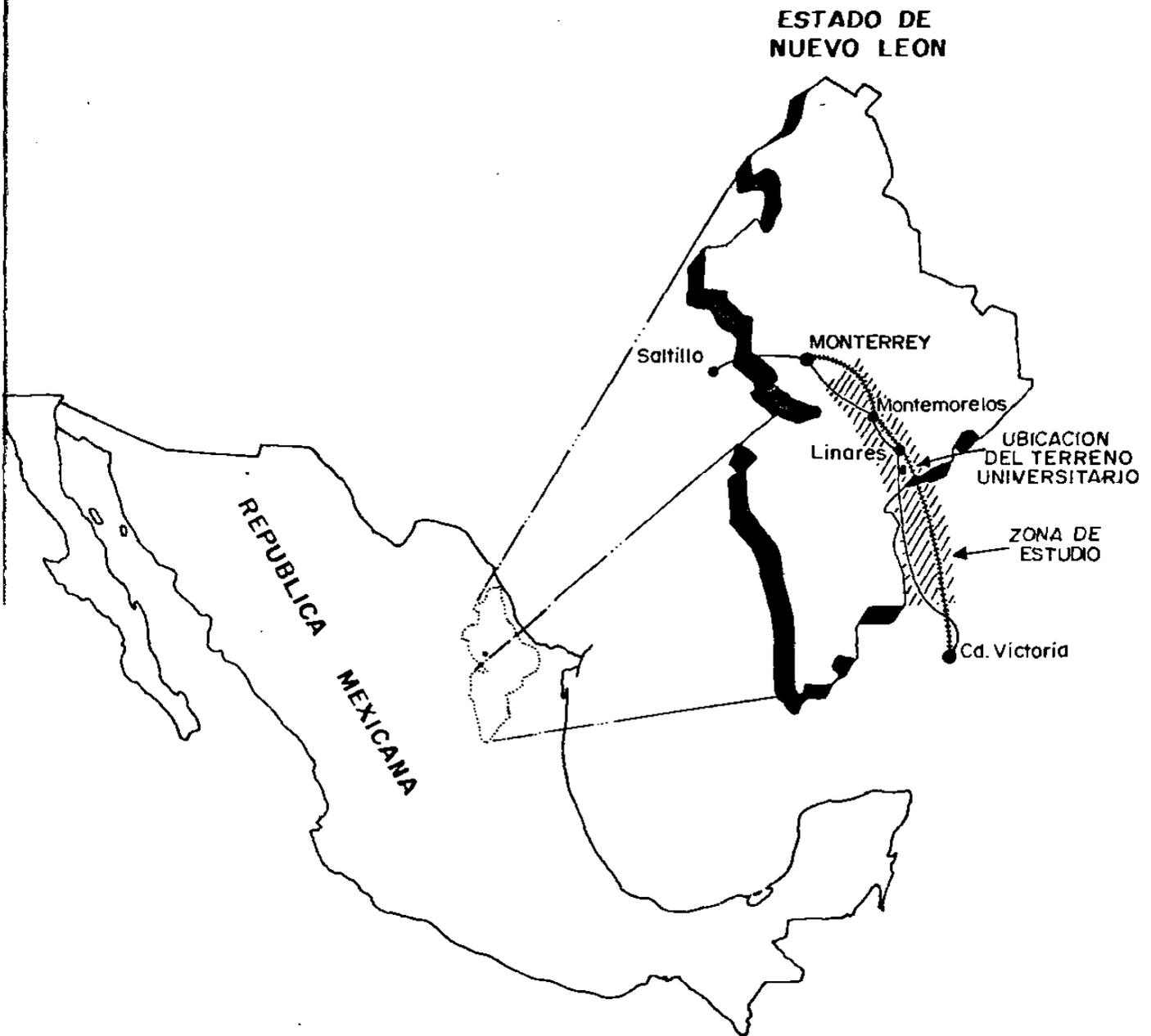


Fig. 1

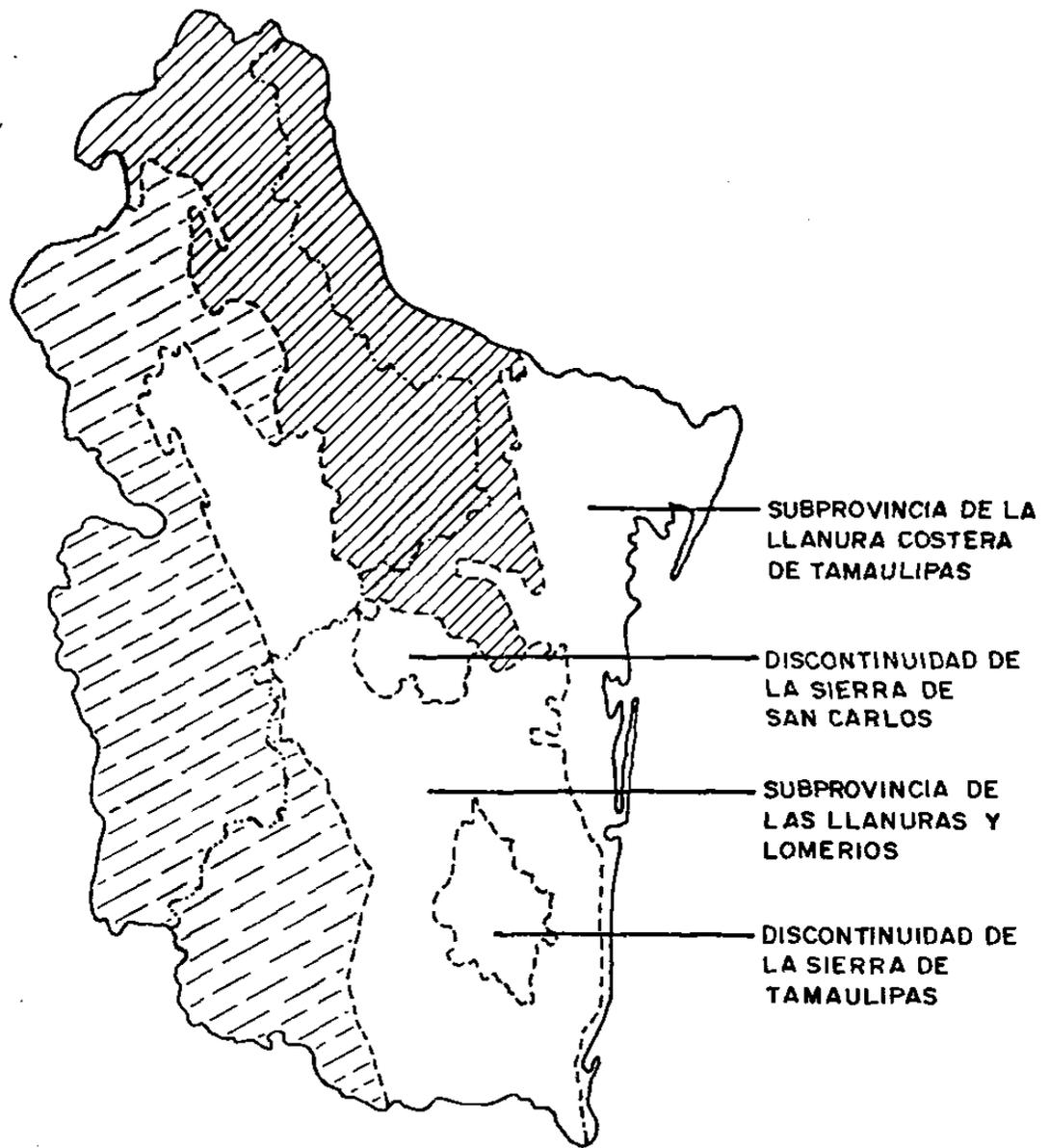
## LOCALIZACION

La zona estudiada (ver fig 1) se localiza en una franja de unos 40 km de ancho, paralela a la Sierra Madre Oriental con una dirección que varía de Norte-Sur en la parte Sur a Noroeste-Sureste en la parte Norte, cubriendo una superficie limitada por las coordenadas geográficas  $24^{\circ}30'$  a  $26^{\circ}50'$  de Latitud Norte y  $99^{\circ}20'$  a  $100^{\circ}30'$  de Longitud Oeste, con una área de aproximadamente  $10,000 \text{ km}^2$ .

## FISIOGRAFIA

La región se encuentra localizada dentro de la subprovincia Llanuras y Lomeríos de la provincia fisiográfica llamada Llanura Costera del Golfo Norte (fig. 2). Esta provincia se extiende sobre la costa del Golfo de México y dentro del territorio de nuestro país, está limitada al Noroeste por la provincia Gran Llanura de Norteamérica, al Sur por la provincia del Eje Neovolcánico, al Este por el Golfo de México y al Oeste por la provincia Sierra Madre Oriental, abarcando parte de los estados de Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo y Veracruz, continuando en el territorio de los Estados Unidos de América por Texas, Louisiana, Península de Florida y al Norte extendiéndose paralelamente a la costa del Océano Pacífico hasta Nueva Inglaterra. En nuestro país, alcanza una altura máxima en Monterrey con 538 msnm.

A diferencia de la Llanura Costera del Golfo Sur, integra claramente una costa de emersión (una costa en proceso de avance) tal como lo indican los siguientes rasgos: i) Entre los materiales aflorantes dominan los sedimentos marinos no consolidados (arcilla, arena y conglomerados) cuya edad aumenta en función a la distancia a la costa (desde Cuaternarios, pasando por Plioceno, Oligoceno y Eoceno del Terciario hasta Cretácicos en la proximidad de la Sierra



-  PROVINCIA GRAN LLANURA DE NORTE AMERICA
-  PROVINCIA SIERRA MADRE ORIENTAL
-  PROVINCIA DE LA LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE

**PROVINCIAS FISIOGRAFICAS**

Fig. 2

Madre Oriental; ii) Salinidad en las zonas costeras, principalmente en la parte Norte; iii) Los ríos que desembocan en la costa (Bravo, Soto La Marina, Tamesí, Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla y otros no depositan aluvión en su territorio; iv) Las extensas barreras que encierran las lagunas (Madre, Tamiahua, Tempamochoco, etc.).

La suprovincia Llanuras y Lomeríos, está constituida, como su nombre lo indica, por lomeríos suaves y llanuras de extensión considerable. Los materiales dominantes en la región son: Sedimentos antiguos arcillosos y arenosos de edades que decrecen hacia la costa. Existen también importantes afloramientos de rocas basálticas, algunas con bastante extensión al Norte de Tampico que tienen morfología general de mesetas y otros pequeños y dispersos al Sureste de Cd. Victoria. No obstante, el paisaje de ésta subprovincia se caracteriza por sus extensas llanuras, las cuales son interrumpidas por lomeríos.

## SUELOS

Son dominantes los suelos residuales (derivados de las rocas sobre las que descansan); aunque son relativamente comunes los suelos poco profundos, gravosos o pedregosos y alternados con afloramientos rocosos.

Las Redzimas, derivados de rocas calizas o de lutitas muy calcáreas se presentan en muchos lomeríos y mesetas sobre todo al Norte de la subprovincia, son de color pardo oscuro o negro, la textura es de migajón arcilloso en general y estructura migajosa o en forma de pequeños bloques. Son bastante fértiles, a pesar de su pequeño espesor (en promedio de 30 a 40 centímetros). Se utilizan para pastizales.

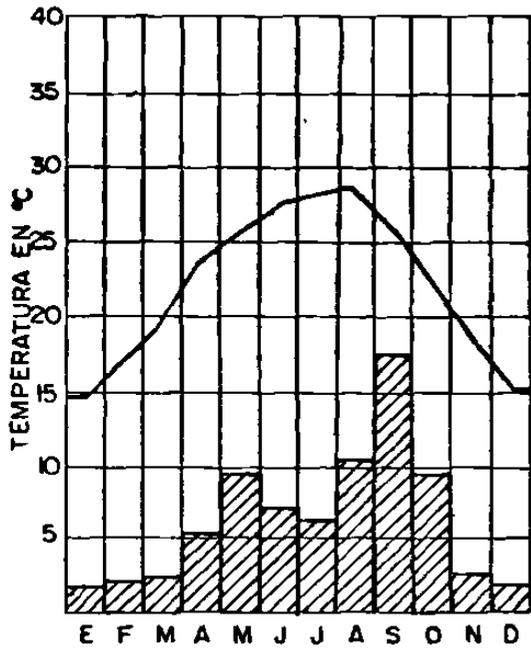
Otros suelos de lomeríos y mesetas son los Regosoles calcáreos de diversas texturas, poco desarrolladas y en general gravosas. En algunas lomas (al Norte de Mante, por ejemplo), se encuentran suelos derivados de rocas no calcáreas que se clasifican como Feozem poco profundas, son de textura media y de color pardo oscuro, su fertilidad es moderada y son bastante susceptibles a erosionarse por efecto del pastoreo o desmonte.

La vegetación que domina ésta subprovincia es el del tipo Matorral Submontano (anacahuita, chaparro prieto, mezquite, huizache, ébano, uña de gato....).

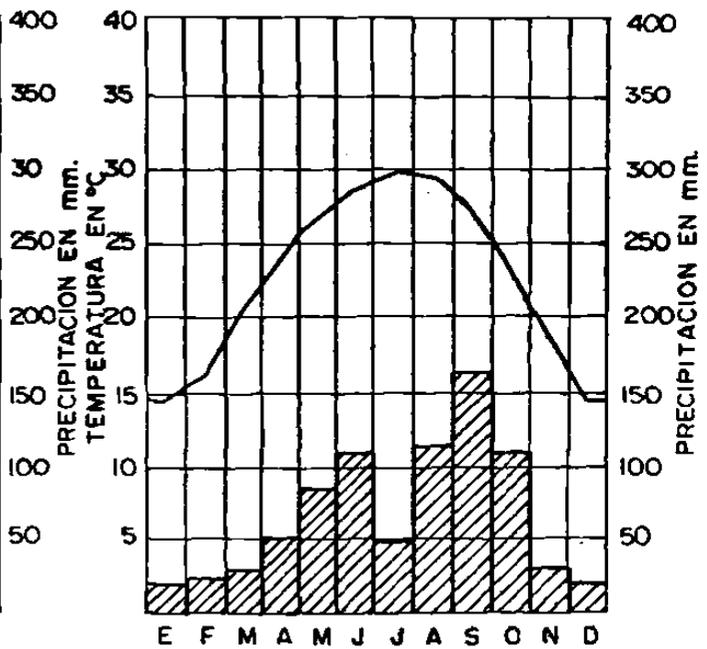
Otro tipo común es el matorral Espino Tamaulipeco conformado por arbustos altos de tallo claro que normalmente se presentan distribuidos con una alta densidad. Tiene zonas de pastizal y áreas desmontadas que se utilizan para cultivo.

#### CLIMATOLOGIA

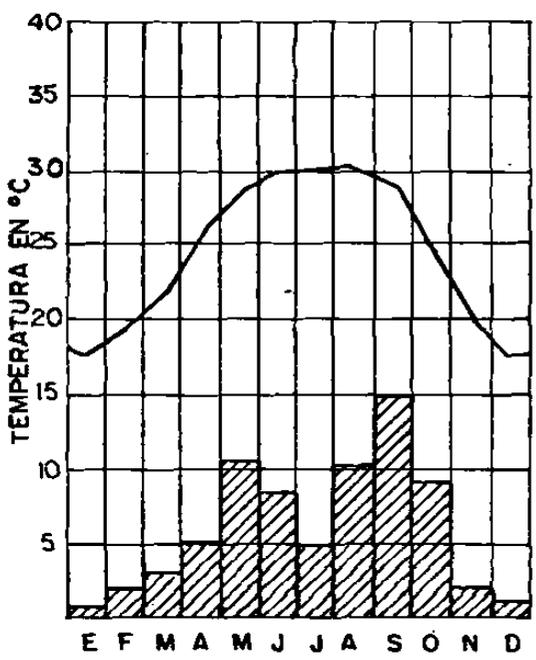
El clima dominante de la región es, según la escala de climas de Köppen, modificado por García, (A)C(Wo), es del grupo de climas semicálidos (A)C (con temperaturas media anual mayor de 18° centígrados) por ser la media anual de 22° C, del tipo semicálido subhúmedo con lluvias en verano (agrupa a los subtipos más húmedos de los semicálidos subhúmedos, con precipitación del mes más seco de menos de 40 mm), con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2. La precipitación total anual oscila entre 600 y 1000 mm, la temperatura máxima extrema es de 48° C, la mínima extrema de -9° C, la insolación media anual de 2,200 horas, la humedad media anual de 50% y la evaporación potencial media anual del 1,700 mm.



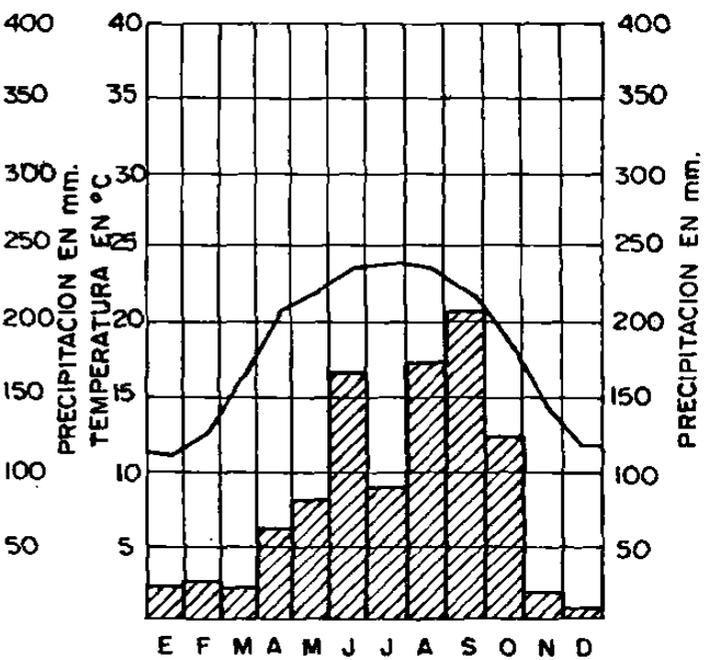
ESTACION LINARES



ESTACION MONTEMORELOS



ESTACION EL BARRETAL



ESTACION VILLA MAINERO

REGISTROS DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS DE LA ZONA

Fig. 3

## HIDROLOGIA

De acuerdo con la división hidrológica hecha de nuestro País por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (fig. 4), la zona se encuentra entre subregiones de dos regiones hidrológicas, ambas de la vertiente del Golfo de México, la XXIV, "Río Bravo" y la XXV "Golfo Norte". La primera de ellas, en la cual la zona tiene un 33% de su área es la cuenca XXIV-B "Río Bravo-San Juan", que pertenece a la parte Oriente de la Región Río Bravo.

El Río San Juan es la corriente más importante de ésta cuenca, es el segundo en importancia por su caudal en la margen derecha del Río Bravo.

El Río San Juan nace en el arroyo La Chueca de la Sierra de la Cebolla a 3,033 msnm en la Sierra Madre Oriental y toma un rumbo dominante hacia el Noreste, recibe aportaciones de los Ríos Santa Catarina, Ramos, Pílon, Salinas y Pesquería que es el mayor de sus afluentes.

Los principales aprovechamientos son la Presa Rodrigo Gómez (La Boca) la cual sirve para dotar a la ciudad de Monterrey de agua potable y la presa Marte R. Gómez (El Azúcar) que es de las más importantes del País y beneficia a una gran superficie del distrito de riego número 26 "Bajo Río San Juan". Descarga sus aguas en el Río Bravo, a unos kilómetros de Cd. Camargo. Por su ubicación, se expone a perturbaciones ciclónicas frecuentes, las cuales causan

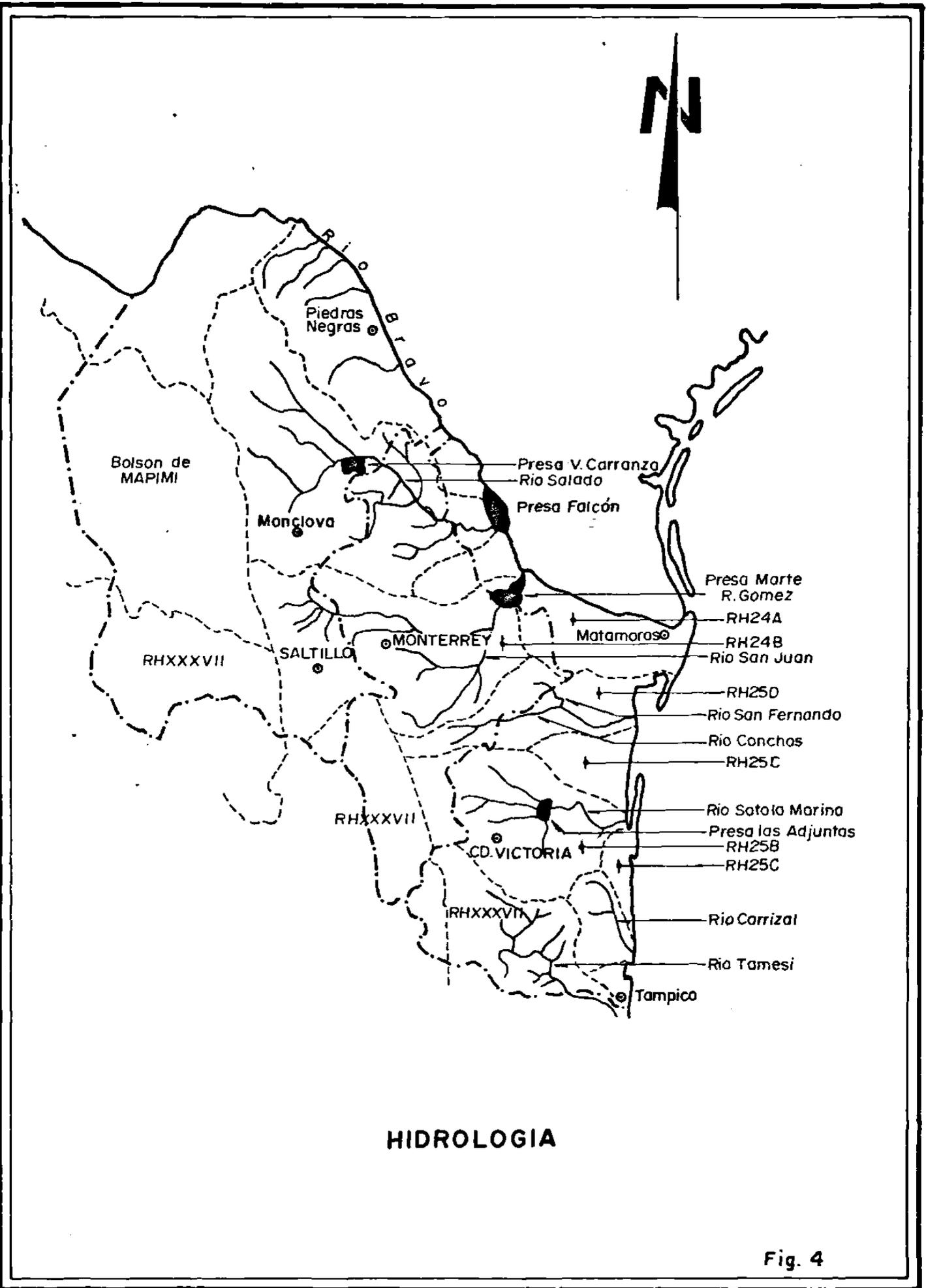


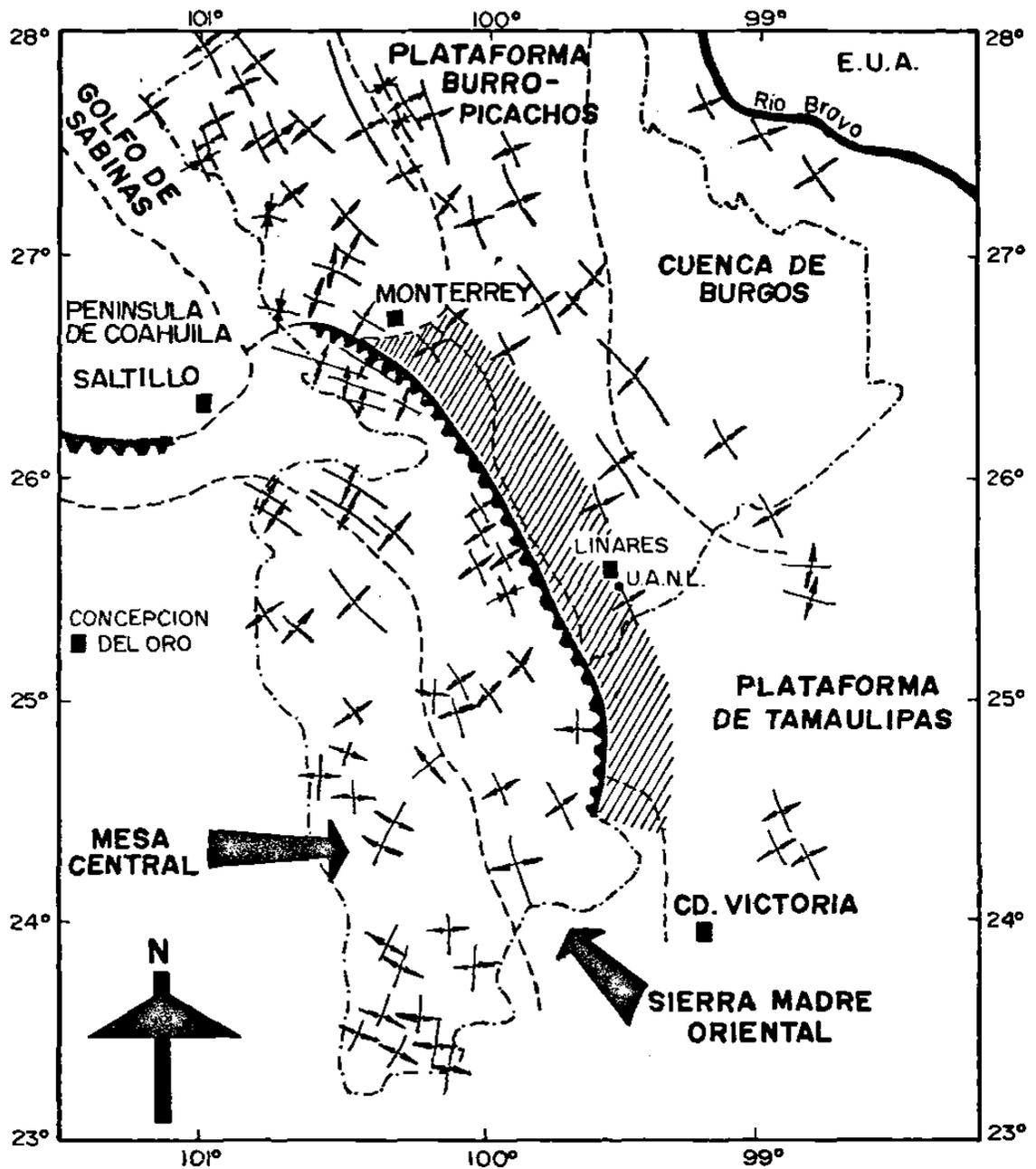
Fig. 4

crecientes de consideración. Los escurrimientos superficiales de la cuenca son del orden de 20 a 50 mm anuales, calculados según la precipitación, permeabilidad y topografía.

La Región Hidrológica XXV, "Golfo Norte" es conocida también como "San Fernando-Soto La Marina" y corresponde a todas las corrientes que desembocan al Golfo de México entre las cuencas de los Ríos Bravo y Pánuco. De sus cuatro divisiones, la zona estudiada cae en dos: la XXV D "Río San Fernando" y la XXV B "Río Soto La Marina".

El 36% de la zona está en la subregión Río San Fernando; Esta cuenca nace en el Río Potosí en el Cerro del Potosí a 3,713 msnm al poniente de Galeana, toma rumbo Sureste y cambia al Noreste para unirse al Río Pablillo, el cual a su vez nace en los cerros Pablillo (3,169 msnm) e Infiernillo a unos 60 km de Linares y corre en dirección Noreste pasando por Linares y se une al Río Camarones, el Arroyo Los Abnegados, el Arroyo Santa Rosa y el Río Camacho. En las proximidades a la población San Fernando cambia su nombre por "San Fernando" y desemboca en la albufera Laguna Madre. Su principal aprovechamiento es la Presa Cerro Prieto, la cual abastece de agua potable al área metropolitana de Monterrey.

La subregión XXV B "Río Soto La Marina" es en la que está el 31% restante de la superficie de la zona. La cuenca del Río Soto La Marina nace en la Sierra Agua de Afuera a 3000



-  ANTICLINALES
-  SINCLINALES
-  LIMITE DE UNIDAD TECTONICA
-  CABALGADURA

0 50 100 Km.  
ESCALA

MAPA GEOLOGICO ESTRUCTURAL DE LA REGION  EN LA CUAL PUEDEN ENCONTRARSE "FALLAS DE EMPUJE" CONTENIENDO AGUA (MODIFICADO DE LOPEZ-RAMOS, 1980).

Fig. 5

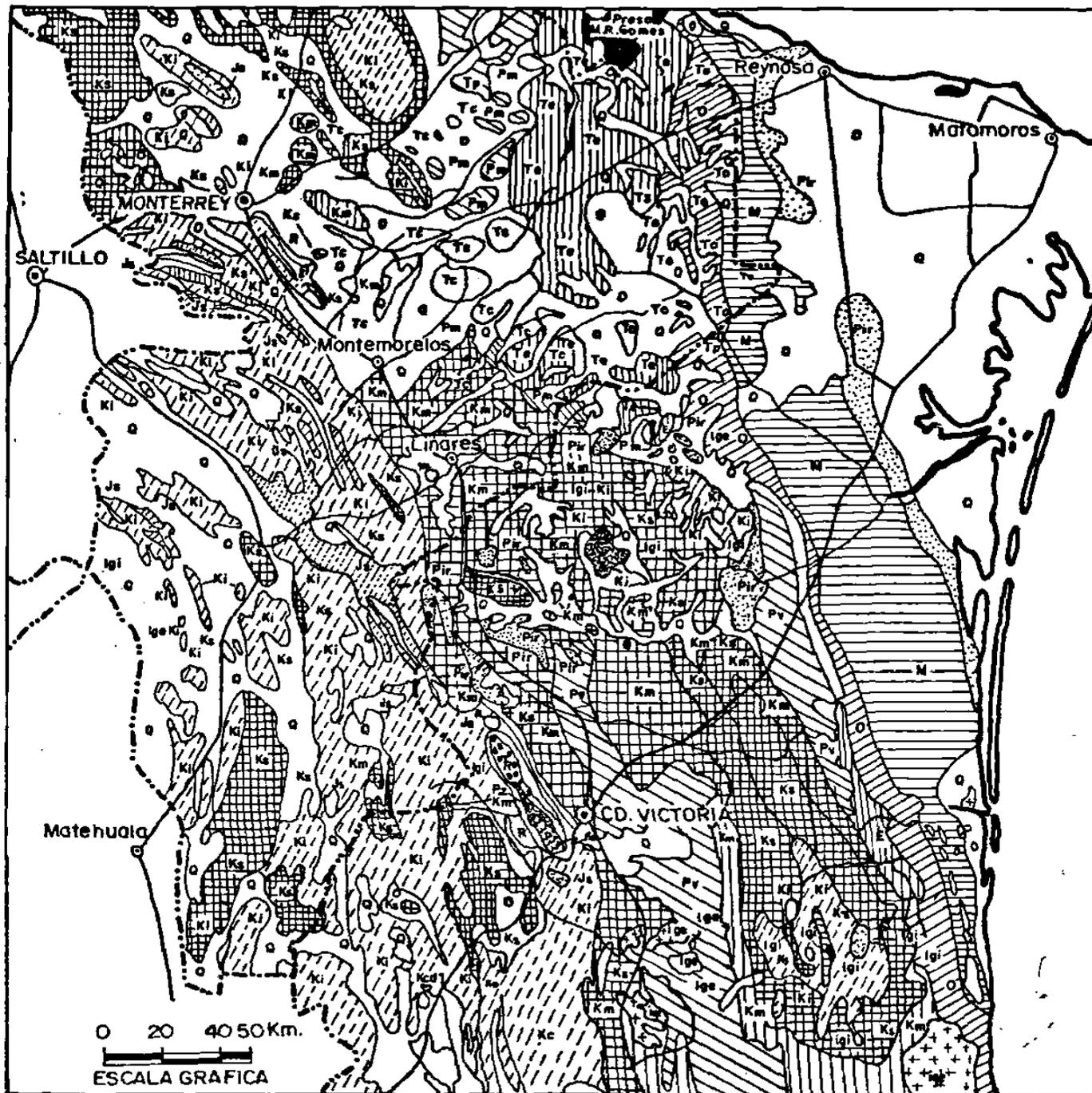
msnm y se denomina Río Purificación. La hidrología de ésta cuenca es complicada, por la irregular topografía de la región, en la que las cordilleras dan lugar a la formación de afluentes y subafluentes de curso complejo, llegando en ocasiones a tener sentidos opuestos a los cauces principales. Los afluentes que lo forman son los Ríos Milpillas, Blanco, Pilon, Corona y Palmas . Su principal aprovechamiento es la presa Vicente Guerrero (Las Adjuntas) .

## GEOLOGIA HISTORICA

El Noreste de México está cubierto por una secuencia de 1.5 a 2.5 km de espesor de rocas Mesozoicas y Cenozoicas. El basamento Pre-Mesozoico aflora en el núcleo de algunos anticlinales de la Sierra Madre Oriental.

Rocas Precámbricas afloran en el Cañón de la Peregriña, cerca de Cd. Victoria, Tamaulipas. Estas rocas consisten de gneisses, esquistos y granitos. Sobre éste basamento hay una sección Paleozoica disminuida (800 m) de cuarcita, conglomerado, arenisca, lutita y limolita de edad Cámbrica a Pensilvánica. Una secuencia gruesa (mayor de 1,000 m) de areniscas y lutitas (flysch) de la Formación Guacamaya, de edad Pérmica, sobreyace discordantemente las rocas más antiguas. Algunas de las rocas han sufrido metamorfismo regional de bajo grado (filítico). Se infiere que éste último resultó de una Orogenia Pérmica Tardía-Triásica Temprana. Rocas similares en composición, posición stratigráfica y relaciones tectónicas se extienden desde el Noreste de Estados Unidos a Big Bend, Texas, en la frontera Mexicana. Rocas sedimentarias similares, pero todavía no correlacionadas, se encuentran en Las Delicias, Chihuahua.

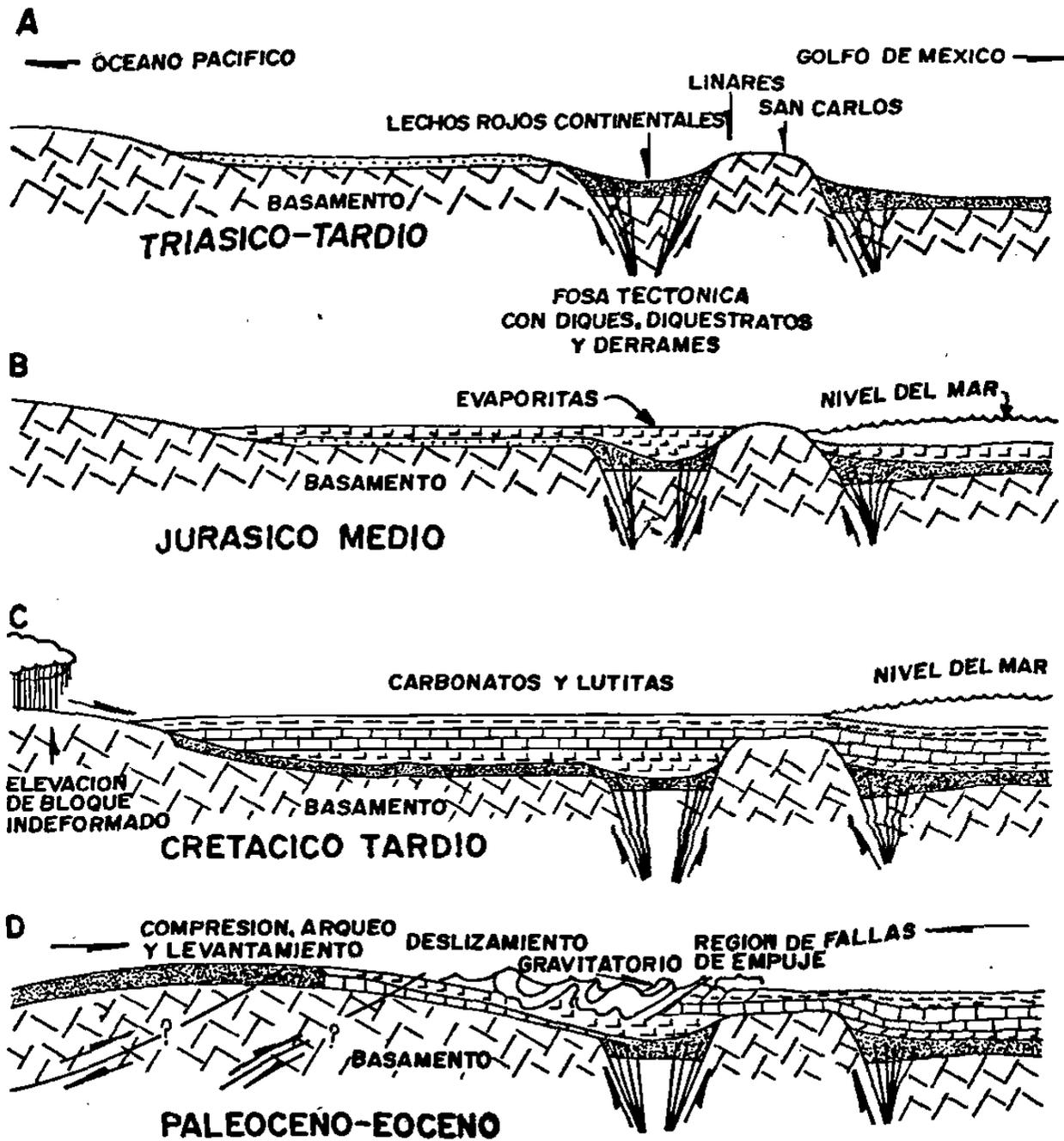
Luego de la Orogenia Permo-Triásica y posiblemente iniciada por ella, hubo un ciclo de Wilson clásico de desgarramiento continental, fallamiento de bloques y sedimentación continental - marina restringida (fig. 7A).



<b>Q</b> CUATERNARIO	<b>O</b> OLIGOCENO (To)	<b>Ks</b> CRETACICO SUP. (aguarneval)	<b>Pz</b> PALEOZOICO
<b>Tc</b> TERC. CONTINENTAL	<b>E</b> EOCENO (Te)	<b>Ki</b> CRETACICO INF. (Ka, Kf)	<b>Pc</b> PRECAMBRICO
<b>Pli</b> PLIOCENO	<b>Pal</b> PALEOCENO (Tp, Py, Pm)	<b>J</b> JURASICO SUP.	<b>Ige</b> IGNEO EXTRUSIVO
<b>M</b> MIOCENO (marino)	<b>Ks</b> CRETACICO SUP. (Km, Kaf)	<b>T</b> TRIASICO	<b>Igi</b> IGNEO INTRUSIVO

## PLANO GEOLOGICO

Fig. 6



SECCIONES ESQUEMATICAS QUE ILUSTRAN LA EVOLUCION DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL. A) SEPARACION TEMPRANA DE PANGEA CON FALLAS DE BLOQUE. B) FASE DE CIRCULACION RESTRINGIDA DE NUEVO MAR ABIERTO. C) DEPOSITACION NORMAL EPIRICA MARINA DE OROGENIA LARAMIDE CAUSADA POR SUBDUCCION DEBAJO DEL MARGEN OCCIDENTAL, ARQUEAMIENTO Y DESPRENDIMIENTO HACIA EL ORIENTE.

La fase inicial de desgarre está representada por capas rojas clásticas continentales asignadas al Grupo Huizachal. Limolitas, areniscas y conglomerados multicolores a rojos fueron depositados por corrientes trenzadas en depresiones angostas (Tardy 1977). A éstas rocas, con pobre contenido fosilífero se les ha asignado una edad Post-Triásica Temprana a Pre-Oxfordiano Tardío, con base a su posición estratigráfica (López-Ramos, 1990).

Durante el jurásico tardío, gruesas secuencias de conglomerado y arenisca basales (Formación La Gloria) se sedimentaron en la costa y plataforma del nuevo mar abierto (fig. 7B). Halita y anhidrita (Formación Minas Viejas), anhidrita (Formación Metate) y limolita, argilita, caliza clástica y yeso (Formación Olvido) rellenaron las fosas tectónicas.

Las evaporitas están cubiertas por caliza dolomítica de la Formación Zuloaga escasamente fosilífera y estimada por Padilla y Sanchez (1982) como de edad Oxfordiano Tardío a Kimeridgiano Temprano por su posición estratigráfica. Sin embargo, la Formación Zuloaga es probablemente un depósito transgresivo en el tiempo que marca invasión marina epiórica casi normal a la apertura del Golfo Jurásico entre México, Sudamérica y África.

A la etapa temprana de Formación del Golfo siguió un período largo de sedimentación relativamente tranquila de carbonatos y arcillas sobre la plataforma continental de México, la cual se extiende al Cretácico ( fig 7C ).

Aproximadamente 1.5 km de sedimentos se acumularon sobre la plataforma y hasta 2.5 km en las fosas profundas.

Hacia el fin del Cretácico, subducción de la Placa Pacífica levantó el Margen Occidental de México, causando regreso del Mar Epírico hacia el Oriente. Mientras, había desagüe hacia el Golfo de México. Sedimento clástico, erosionado de la parte occidental levantada, relleno el Golfo de Sabinas hacia el Noroeste con areniscas y lutitas deltaicas del Grupo Difunta y la Lutita Parras del delta frontal. Hacia el Golfo, se depositó la Lutita Méndez sobre el margen continental. La sedimentación fué continua hasta el Terciario en la cuenca de Sabinas donde pantanos costeros formaron carbón.

## ESTRATIGRAFIA

Las características litológicas de las formaciones que se encuentran en la región son las siguientes (ver fig. 8):

### PRE-CAMBRICO-PALEOZOICO SUPERIOR

La única localidad de afloramientos de éste tipo conocida en Nuevo León, es la presentada por F. K. Mulleried al Norte y Noroeste de Aramberri y son descritas como rocas metamórfica consistente de gneiss, micropizarra y esquistos en general.

### ERA MESOZOICA

Serie: TRIASICO SUPERIOR

Pisos: Carniano-Noriano-Retiano

Capas Rojas-Grupo Huizachal

Espesor: 0-800 m

El Grupo Huizachal son conglomerados, areniscas y lutitas rojas con cantos rodados y gravas de rocas metamórficas e ígneas. Yacen en discordancia angular sobre esquistos o rocas Pre-Cámbricas al Sur de Galeana, Nuevo León. En la región de Aramberri, se encuentran grandes espesores de Capas Rojas, sobreyaciendo en discordancia angular sobre los esquistos, probablemente correlacionables con las del Grupo Huizachal.

# COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

ERA	PERIODO	EPOCA	E D A D	AREA GENERAL DE NUEVO LEON	AREA DE PEREGRINA - HUIZACHAL	AREA DE LINARES - SALEANA	AREA DE MONTEMORELOS - RAYONES	TIEMPO x 10 <sup>6</sup> AÑOS			
<b>CENOZOICO</b>	<b>TERCIARIO</b>	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	LISSIE Y ALUVIONES				0.5-2			
			PLIOCENO	GOLIAD				13±1			
			MIOCENO	PONTIANO	FLEMING				25±1		
				BURDIGALIANO	OAKVILLE						
				AQUITANIANO							
			OLIGOCENO	CHATTIANO	ANAHUAC				36±1		
					FRIO	CONGL. NORMA	CATAHOULA				
			EOCENO	RUPELIANO	VICKSBURG				58±2		
					JACKSON						
					PRIABONIANO	YEGUA					
		LUTECIANO			COOK-MOUNTAIN						
		PALEOCENO	YPRESIANO	WILCOX - INDIO				63±2			
				MONTIANO	MIDWAY	VELASCO					
				DANIANO							
	<b>MESOZOICO</b>	<b>CRETACICO</b>	SUPERIOR	MAESTRICHTIANO	DIFUNTA	MENDEZ	LUTITA MENDEZ 500m+	LUTITA MENDES 500m+	LUTITA MENDEZ	135±5	
					CAMPANIANO						
					SANTONIANO	PARRAS	SAN FELIPE	FORMACION SAN FELIPE 250m	FORMACION SAN FELIPE		FORMACION SAN FELIPE
					CONIACIANO						
					TURONIANO	INDIDURA	AGUA NUEVA	FORMACION AGUA NUEVA 170m	FORMACION AGUA NUEVA 103m		FORMACION AGUA NUEVA 142 a 160m
				INFERIOR	NEOCOMIANO	CENOMANIANO	CUESTA DEL CURA				
			ALBIANO			AURORA	TAMPS. SUP.	CURA 120m	CURA 110m	CURA 105m	
			APTIANO			LA PEÑA	OTATES	AURORA 300m	AURORA 130m	AURORA 154 a 300m	
			BARREMIANO			CUPIDO	TAMPS. INF.	LA PEÑA 25m	LA PEÑA 120m	LA PEÑA 50 a 90m	
			HAUTERIVIANO					FORMACION CUPIDO 400 a 500m	FORMACION CUPIDO 553m	FORMACION CUPIDO	
		SUPERIOR (MALM.)	NEOCOMIANO	VALANGINIANO	TARAISES						
				BERRIASIANO	TAMPS. INF.						
				TITONIANO	LA CASITA	PIMIENTA	FORMACION TARAISES	FM. TARAISES LENGUA SALEANA	TARAISES LENGUA SALEANA		
				BONONIANO	OLVIDO	TAMAN	FORMACION TARAISES 130 a 320m	160m			
				HAVRIANO			GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA		
	MEDIO (DOGGER)	DOGGER	SEQUANIANO								
			ARGOVIANO	ZULOAGA		GRUPO LA CASITA 6 a 35m	OLVIDO 300m	CALIZA ZULOAGA			
			DIVESIANO			OLVIDO 20 a 300m	C. ZULOAGA 50 a 200m	C. ZULOAGA 304m			
			CALOVIANO	LA JOYA (CAPAS ROJAS)	MINAS VIEJAS			YESO MINAS VIEJAS 616m+	YESO MINAS VIEJAS		
			BATONIANO								
	INFERIOR	LIAZICO	BAJOCIANO								
	TRIASICO			CAPAS ROJAS (HUIZACHAL ?)	HUIZACHAL 50 a 500m+	HUIZACHAL	HUIZACHAL	180±5			
PZ				ESQUISTOS Y ROCAS VERDES (Reg. Aramberri)				230±10			
PC				GNEISSES ?				600±30			

**OROGENIA LARAMIDE**

Fig. 8

**Serie: JURASICO SUPERIOR**

**Pisos: Calloviano-Oxfordiano**

**Yeso Minas Viejas**

**Espesor: 300-700 m**

La Formación Minas Viejas está constituida por una secuencia de yesos con intercalaciones de calizas que tienen de 10 a 30 centímetros de espesor. Son principalmente de color gris claro y gris pardo, de grano fino, microcristalinas, siendo en ocasiones ligeramente arcillosas o arenosas, presentan algunos moldes de pelecípodos.

**Serie: JURASICO SUPERIOR**

**Piso: Oxfordiano**

**Calizas Zuloaga**

**Espesor: 548 m.**

Estas calizas son de color gris a gris claro, de grano fino a litográficas, de estratificación mediana con capas de 1.5 m con horizontes de calizas oolíticas y ocasionalmente calcarenitas, así como intercalaciones de lutitas ligeramente arenosas.

**Serie: JURASICO SUPERIOR**

**Pisos: Kimmeridgiano inferior-Oxfordiano superior**

**Formación Olvido**

**Espesor: +300 m.**

La Formación Olvido es una secuencia estratigráfica representada por anhidritas, yeso, caliza y lutitas de colores claros.

**Serie: JURASICO SUPERIOR**

**Piso: Titoniano**

**Grupo La Casita**

**Espesor: 200-1,300 m.**

Con éste nombre se conoce a los sedimentos depositados en aguas someras durante el Titoniano y se compone de dos cuerpos principales: El Inferior, formado por calizas sublitográficas densas, color gris y el Superior, constituido por calizas arcillosas y lutitas calcáreas, también de color gris.

**SISTEMA CRETACICO**

**Serie: CRETACICO SUPERIOR**

**Pisos: Berriasiano-Valanginiano-Hauteriviano  
Inferior.**

**Formación Taraises**

**Espesor: 350 m.**

La Formación Taraises consta de dos cuerpos: el superior que consta de calizas grises en capas delgadas, en parte arcillosas y nodulares, bastante fosilíferas en su base; en el inferior se encuentran calizas grises, en capas gruesas con amonitas en la cima.

**Serie: CRETACICO SUPERIOR**

**Pisos: Hauteriviano Superior, Barremiano-Aptiano  
Inferior.**

**Formación Cupido**

**Espesor: 200 a 845 m.**

La Formación Cupido consta de calizas de color gris a gris oscuro, litográficas, de estratificación mediana, predominando las calizas en capas más o menos gruesas, que se depositaron en condiciones neríticas.

**Serie: CRETACICO SUPERIOR**

**Piso: Aptiano Superior**

**Formación La Peña**

**Espesor: 120 m.**

La Formación La Peña es un cuerpo constituido por dos miembros: El Inferior, formado por calizas y el Superior por calizas y lutitas intercaladas. En ocasiones predomina la lutita sobre la caliza.

**Serie: CRETACICO SUPERIOR**

**Piso: Albiano Medio e Inferior**

**Formación Aurora**

**Espesor: 95 a 600 m**

La formación Aurora está constituida por calizas densas, de color gris, en capas delgadas a medias, con estilolitas y ocasionalmente con pedernal negro.

**Series: CRETACICO INFERIOR-SUPERIOR**

**Piso: Albiano-Cenomaniano**

**Formación Cuesta del Cura**

**Espesor: 50 a 140 m.**

Consta de un cuerpo de caliza densa de estratificación delgada y con pedernal oscuro .

**SISTEMA: CRETACICO SUPERIOR**

**Piso: Turoniano**

**Formaciones Agua Nueva e Indiduro**

**Espesor: 117 a 600 m.**

La litografía consiste de calizas laminares de color gris oscuro a negro y lutitas carbonosas, a veces muy bituminosas.

**SISTEMA: CRETACICO SUPERIOR**

**Pisos: Coniaciano Superior-Santoniano**

**Formación San Felipe-Lutita Parras**

**Espesor: 100 a 1,370 m.**

Está formada por una serie de calizas arcillo-margosas compactas, delgadas, en parte con buena estratificación. Los colores son gris claro, verde o pardo por intemperismo. En la parte superior presenta frecuentes intercalaciones de bentonita verde.

**SISTEMA: CRETACICO SUPERIOR**

**Piso: Campaniano-Maestrichtiano**

**Formación Méndez-Formación Difunta**

**Espesor: 300-2,000 m.**

La lutita de la Formación Méndez está ampliamente distribuida en la porción central y sur del estado, especialmente en el frente de la Sierra Madre Oriental. En la Sierra de la Silla pueden verse unos 300 metros de calizas margas, y lutitas de ésta formación, la cual se hace más arcillosa hacia el Noreste del estado, rumbo al Golfo de Sabinas, para dar lugar a la Formación Difunta, constituida por depósitos de cuenca que alcanzan espesores del orden de 2,000 metros.

**SISTEMA: TERCIARIO PLIOCENO**

**Formación Goliad**

**Espesor: 5 a 35 m.**

Es equivalente a la Formación Reynosa. Está constituida por sedimentos de origen continental como gravas, arenas y arcillas con trazas de material yesífero y algunos pedernales negros que probablemente fueron depositados por ríos y arroyos caudalosos, en forma de grandes abanicos aluviales. El caliche Goliad es un depósito calcáreo de color blanco, formado in situ por la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ , debido a la evaporación del agua del subsuelo.

## TECTÓNICA

La Orogenia Laramide, de varias fases, empezó en el Occidente de México en el Cretácico Tardío y se movió al Oriente en el Paleoceno y Eoceno. Un gran levantamiento, compresión y arqueamiento de la masa continental Mexicana fueron generados por la subductiva Placa Pacífica y resistencia ( y subducción parcial) de la Placa del Golfo de México. Rocas mesozoicas sedimentarias encima del relativamente plástico yeso jurásico, empezaron a deslizarse hacia el Noreste y hacia abajo (aproximadamente 1,500 metros más abajo que en el presente) de la Meseta Alta Mexicana y afuera sobre la topográficamente más baja, pero estratigráficamente más alta, Lutita Méndez. Masas sobrecorridas relativamente independientes ("cobijaduras") se movieron al Noreste y fueron "dirigidas" (prácticamente "inyectadas") entre los bloques más estables de las paleoislas de Coahuila y San Carlos (Padilla y Sanchez, 1983, p.142), (fig. 7-D). La edad de ésta deformación es incierta. En un estudio regional Tardy (1977) asignó una edad Paleocénica al plegamiento de la Sierra Madre. Padilla y Sanchez (1982) cree que el sobrecorrimiento fué entre el Paleoceno Tardío y Eoceno Temprano. Cerca de Viesca, Coahuila, un conglomerado molásico está atrapado entre pliegues de la sección de Cordilleras Cruzadas del Cinturón Plegado del Noreste y los echados son hasta de 40°, indicando movimientos después del depósito. Estos últimos

han sido correlacionados con base en vertebrados fósiles (Fries et al., 1955), sugiriendo que algo de deslizamiento continuó al menos hasta el fin del Eoceno.

## GEOLOGIA DEL MARGEN DE LA SIERRA

Reconocimientos geológicos indican que las rocas de las Formaciones San Felipe y Méndez son las que principalmente se encuentran debajo del margen de la Sierra entre Monterrey y Cd. Victoria.

La Formación San Felipe es una limolita con porcelanita y bentonita de color verde claro a blanco; tiene aproximadamente 200 metros de espesor y es transicional hacia abajo en la Formación de Agua Nueva y hacia arriba con la Lutita Méndez. Su edad es Coniaciana-Santoniana (López-Ramos, 1980). La Formación San Felipe forma una serie de colinas enfrente de la Sierra Madre, donde fué empujada por el deslizamiento en una serie de pliegues.

La Formación Mendez predomina en el Margen Oriental de la Sierra y consiste de lutita calcárea gris con bandas bentoníticas y capas de arenisca calcárea. La lutita está pobremente estratificada y contiene nódulos duros de limonita. Forma "cuñas" grandes de lutita y se vuelve amarilla verdosa con el intemperismo. La Formación tiene aproximadamente 500 metros de espesor, aunque mucha lutita se ha erosionado en la superficie. Su edad es Campaniana-Maestrichtiana (López-Ramos, 1980).

La lutita está cortada por fallas empinadas de rumbo subparalelo a, y echado hacia, la Sierra Madre. Hay calcita blanca, siderita café y ortocuarcita Post-Tectónica depositadas por aguas subterráneas en juntas y fallas de las rocas del margen montañoso.

Sobre la lutita, descansa discordantemente el Conglomerado Goliad (Reynosa), formando las partes altas de las actuales lomas del Márgen. Es de origen continental y de época Plioceno, su espesor varía de 5 a 35 metros.

Para efectuar estos reconocimientos se utilizaron como base los planos geológicos y topográficos de SPP escala 1:50,000.

				25°45'
100°20'	100°00'	99°40'	99°20'	99°00'
GI4C26 Monterrey	GI4C27 San Juan			25°30'
GI4C36 Allende	GI4C37 Gral. Teran			25°15'
GI4C46 Rayones	GI4C47 Montemorelos	GI4C48 San José de las Flores		25°00'
	GI4C57 Hualahuises	GI4C58 Linares	GI4C59 El Porvenir	24°45'
		GI4C68 Garza Valdéz	GI4C69 San Lázaro	24°30'
		GI4C78 Villagrán	GI4C79 Carrizos	24°15'
		GI4C88 Villa Hidalgo	GI4C89 Ursulo Galván	24°00'
		FI4A18 Casas Reales	FI4A19 Güemes	23°45'
			FI4A29 Cd. Victoria	23°30'

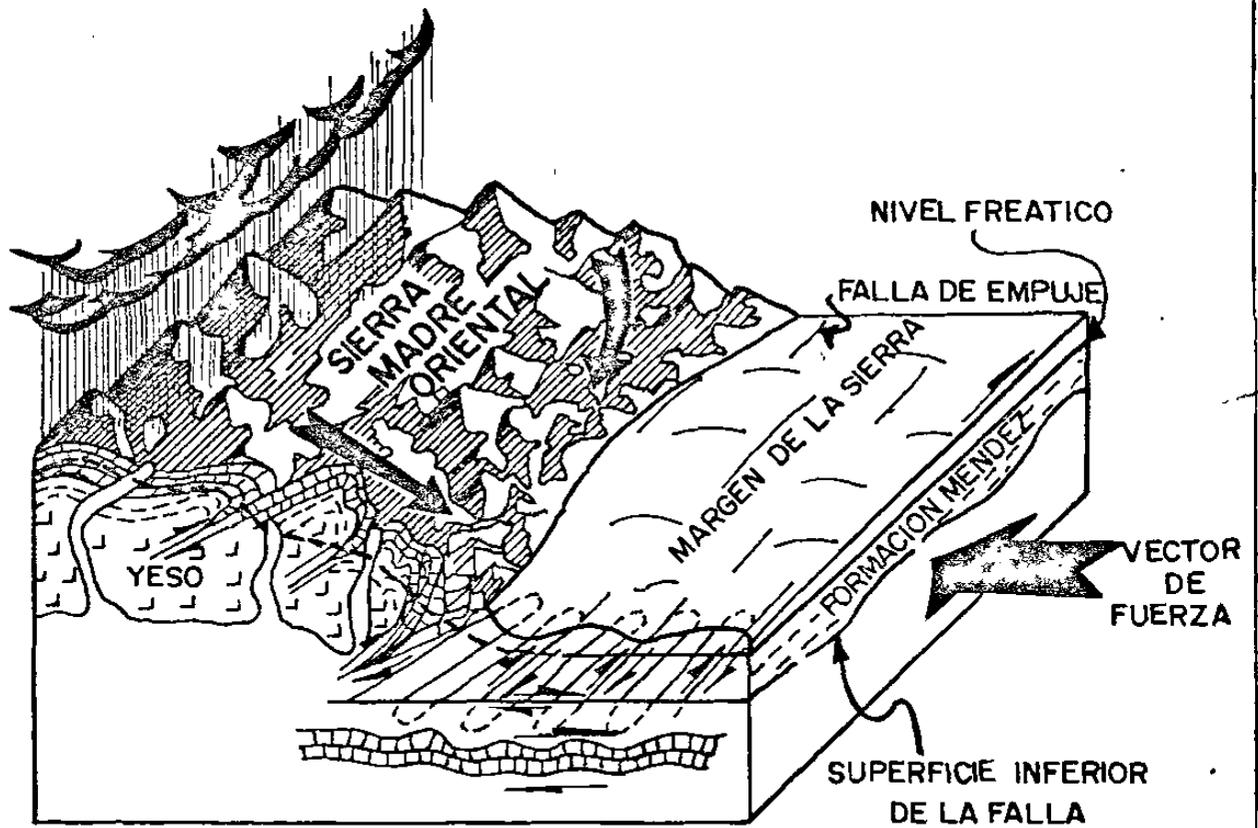
PLANOS GEOLOGICOS Y TOPOGRAFICOS DE SPP ESCALA  
1:50,000 USADOS COMO BASE DE ESTE ESTUDIO

Fig. 9

## DESCRIPCION DEL MODELO

La subducción de la Placa del Pacífico durante la fase tardía de la Orogenia Laramídica, levantó, comprimió y arqueó a México. Una gigantesca masa de carbonatos deslizó por gravedad hacia el Noreste sobre las evaporitas y hacia abajo de la Sierra. Algunos juegos de fallas sobre la Sierra que están escalonadas y tienen rumbos paralelo a ella, sugieren movimientos rotatorios en la masa deslizada. Además, el Margen de la Sierra, compuesto principalmente de lutitas, fué comprimido, originando una serie de plegamientos isoclinales estrechos. La masa deslizante sujetó al Margen de la Sierra a un esfuerzo cortante, combinado con esfuerzos de compresión. Estas fuerzas dieron a la porción superior de las lutitas un empuje tipo acordeón que produjo un sistema de compresión de rumbo paralelo a la Sierra y echados hacia ella. Los afloramientos de éste sistema principal de fallas, indican que al menos la porción superior de ellas es relativamente plana. Suponemos que éstas fallas continúan hacia abajo con poca curvatura, excepto por arrasre basal, hasta llegar a una superficie basal de falla. Además de éste sistema principal de fallas de empuje, hay otro sistema perpendicular, formado por el arqueo de la Sierra, y existen también algunas fallas inversas, interconectándose entre sí los diferentes sistemas.

La lluvia en la Sierra Madre se percola a través de juntas, fallas, planos de estratificación y canales de disolución hasta llegar a las rocas del Margen de la Sierra. Esta agua, cargada con los minerales disueltos, los precipita cerca de la superficie durante períodos de flujo alto y evaporación. Algunos minerales secundarios, como la calcita, siderita y ortocuarcita marcan los afloramientos de fallas y planos de estratificación en el Margen de la Sierra. En las excavaciones, se observa que la mineralización decrece hacia abajo al cortar las fracturas, indicando que éste es un fenómeno que se desarrolla cerca de la superficie.



MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA FALLA DE EMPUJE  
 HIDROGEOLOGICO DEL MARGEN ORIENTAL DE LA SIERRA  
 MADRE ORIENTAL.

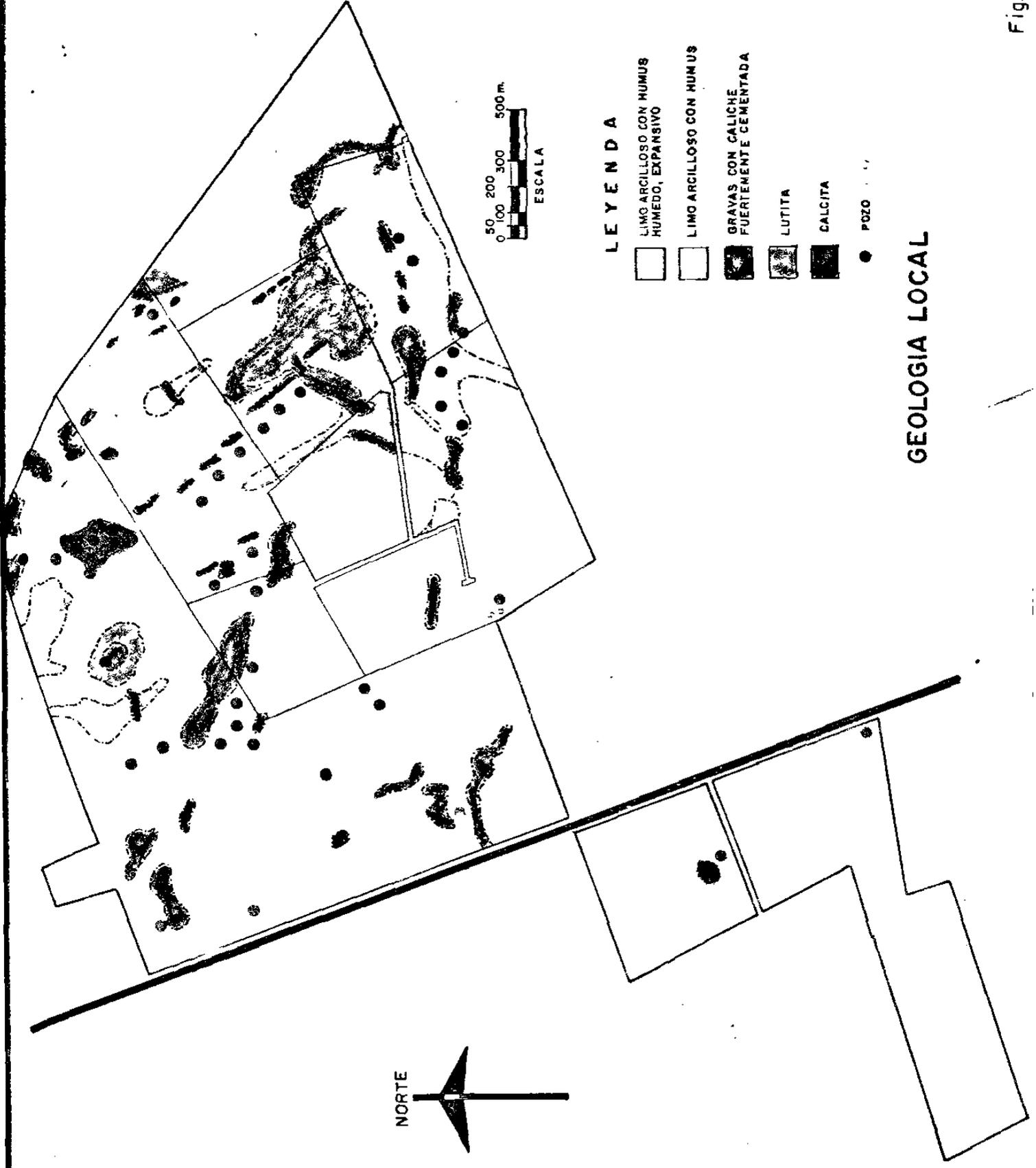
## APLICACION DEL MODELO

La Universidad Autónoma de Nuevo León está construyendo las instalaciones del nuevo Campus de su Unidad Linares y haciendo un desarrollo agropecuario en los terrenos de la Universidad a 8 km al Sur de la ciudad de Linares, N. L., a ambos lados de la carretera federal No. 85 rumbo a Cd. Victoria en el Margen de la Sierra Madre Oriental y que abarcan un área de cerca de 300 hectáreas, por lo que hay una necesidad de más de 200 litros por segundo de agua para abastecer la Universidad y los sistemas de riego.

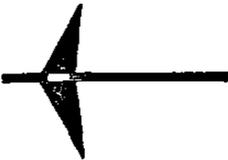
## EXPLORACION LOCAL

El terreno de la Ciudad Universitaria de la Unidad Linares se mapeó usando los métodos tradicionales de geología de campo. Los datos de campo fueron pasados a un plano base desarrollado con cinta de medir y brújula Brunton. Se determinó que el terreno está sobre lutitas del Cretácico, conglomerado fluvial Terciario y Cuaternario, algunas áreas con fragmentos de calcita y escasos afloramientos de la calcita (fig. 11). El terreno consiste básicamente en tres ambientes geológico-morfológicos:

- Los Cerros
- Las Lomitas y arroyos y
- Los Terrenos de suelos residuales



NORTE



ESCALA

LEYENDA

-  LIMO ARCILLOSO CON HUMUS HUNEDO, EXPANSIVO
-  LIMO ARCILLOSO CON HUMUS
-  GRAVAS CON CALICHE FUERTEMENTE CEMENTADA
-  LUTITA
-  CALCITA
-  POZO

GEOLOGIA LOCAL

Fig. II

Los cerros son de unos 30 m de altura, están compuestos de lutitas carbonatadas con una capa de grava variablemente cementada con caliche. Estos aglomerados-conglomerados son depósitos viejos de gravas aportadas por ríos y arroyos que drenaban la Sierra Madre y ahora están aislados sobre las lomas por erosión.

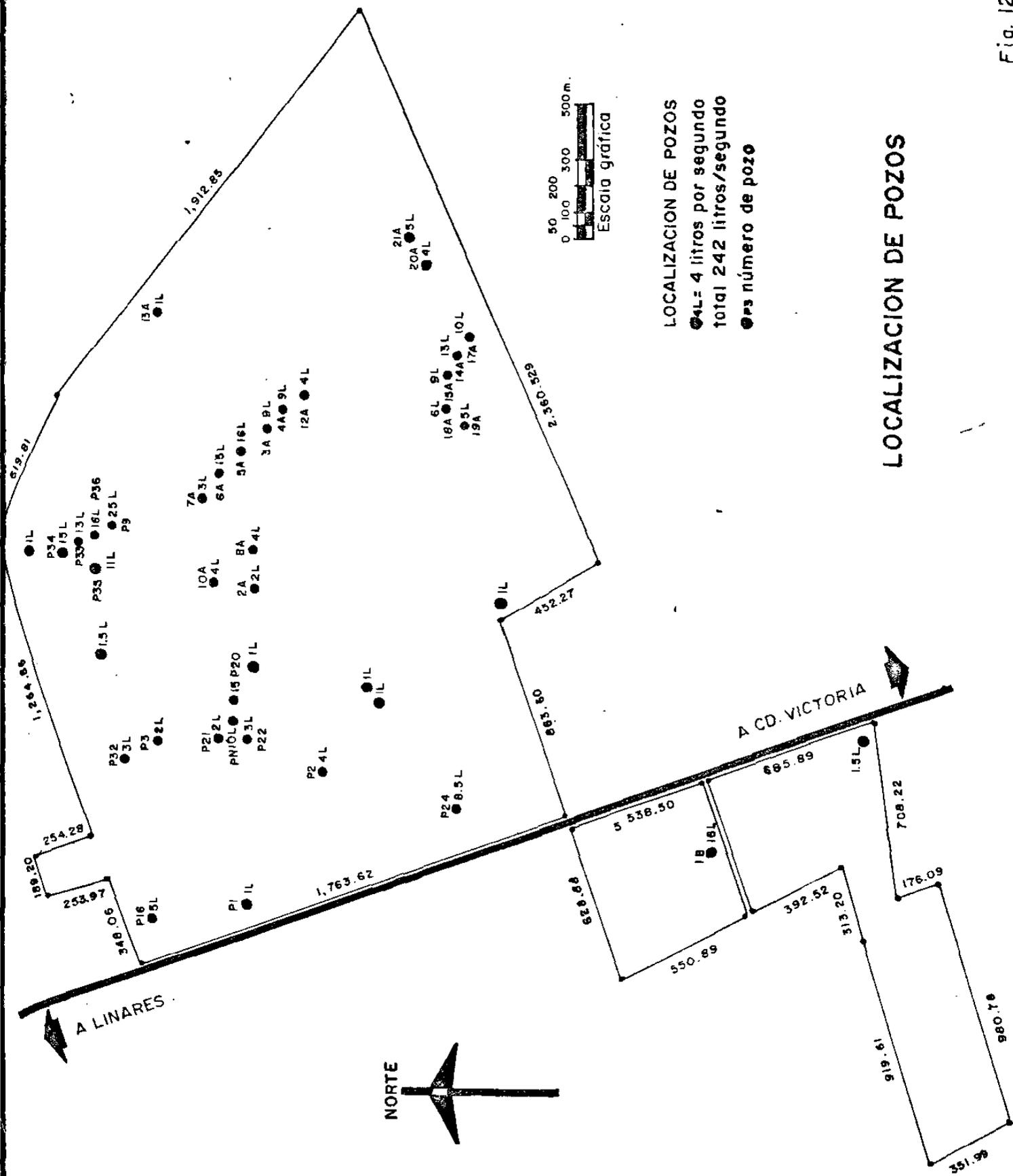
Las lomitas bajas y arroyos consisten en terreno ondulado de unos 5 m de relieve. Ocupan los terrenos utilizados ahora principalmente para pastos y áreas de matorral. Están subyacidos por aglomerados en general.

Los terrenos de suelos residuales son las áreas ahora utilizadas principalmente para siembra. Consisten, en general, de terrenos suavemente ondulados con pendientes menores de 10°. Los suelos, que son limos y arcillas limosas, fueron formados por meteorización (y formación de humus in situ por las plantas) en las lutitas y limolitas de la Formación Méndez que subyacen éstas áreas. Bajo la superficie está la lutita Méndez del Cretácico, conglomerado y calcita del Terciario-Cuaternario en afloramientos aislados y material suelto. Suelo residual limo-arcilloso y arcilla-limosa de espesor variable ( hasta 2 m) derivado de la lutita cubre gran parte del área.

La exploración en áreas adyacentes indicó que el agua subterránea estaba asociada con fracturas rellenas de calcita. Los dos primeros pozos que se perforaron en el

terreno se situaron sobre afloramientos de calcita. Ambos fueron de 100 m de profundidad y resultaron secos. El problema inmediato fué que a menos que se determinara la naturaleza y orientación de las fracturas, no sería posible predecir la localización correcta de los pozos y la proporción de pozos secos a productores permanecería alta y la perforación sería económicamente poco costeable.

Después de perforar estos dos pozos que resultaron secos ( 1A y 2A ), se aplicó el modelo conceptual de fallas de empuje inclinadas hacia la Sierra para perforar el 3A. Ya que el echado de la falla no era visible en la superficie, se asumió que el echado era de  $45^\circ$  hacia la Sierra. El equipo de perforación fué corrido 45 m hacia el Oeste del afloramiento de calcita con objeto de intersectar la falla a unos 45 m de profundidad. La falla principal fué atravesada a los 50 m, e inicialmente produjo entre 5 y 6 litros por segundo. Se perforó una segunda falla a los 57 m, la cual dió tres litros por segundo más. Otros pozos se señalan en la fig. 12.



LOCALIZACION DE POZOS  
 ●4L= 4 litros por segundo  
 total 242 litros/segundo  
 ●P3 número de pozo

LOCALIZACION DE POZOS

Fig. 12

### AFOROS

Los pozos productivos fueron aforados durante períodos de 4 horas (pozos pequeños destinados para papalotes) hasta 313 horas en un campo grande de pozos destinados para uso con bombas eléctricas sumergibles. El promedio fué de 40 horas, mientras que lo normal en la región es de menos de 12 horas. Se presentan los resultados en la tabla 1. El caudal de los pozos varía desde menos de un litro por segundo hasta 18 litros por segundo con un promedio de 8 litros por segundo. La comparación de éstos resultados con el promedio regional de menos de un litro por segundo, favorece grandemente al método.

TABLA 1

RESULTADOS DE LOS AFOROS

Pozo No.	Litros por Segundo	Profen. del Pozo	Nivel Falla Metros	Nivel Estático Metros	Nivel Dinámico Metros
3A	9	80	50,57	25.00	55.00
4A	9	75	53	23.70	48.20
5A	16	100	39,79	26.00	45.70
6A	18	110	72,82	23.40	44.69
7A	3	110	75,60,90	?	?
8A	4	110	45	23.00	69.50
10A	4	110	?	27.00	67.50
12A	4	100	?	22.00	43.23
13A	0.6	100	45	30.40	50.00
14A	13	100	35	15.90	28.50
15A	9	80	25	?	?
17A	11	50	?	14.57	25.10
18A	6	50	30	19.40	30.50
19A	8	60	43	15.50	17.10
20A	4	50	25	14.40	18.70
21A	5	50	?	18.05	25.20

### CALIDAD QUIMICA

Se analizó el agua de los pozos siguiendo los métodos químicos de vía húmeda standar y la variación de un pozo a otro no es significativa. Un análisis representativo está mostrado en la tabla 2

TABLA 2  
ANALISIS QUIMICO DEL AGUA

Temperatura	25.5° C
PH (aprox.)	8
Alcalinidad como $\text{HCO}_3$	443 ppm
Conductividad (sólidos disueltos )	900 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Cloruros	65 ppm
Dureza total (Ca + Mg como $\text{CaCO}_3$ )	383 ppm
Dureza en grados (°d)	21.7° d
Dureza parcial (Ca como $\text{CaCO}_3$ )	224 ppm
Fe (colorimétrico)	0.07 ppm
Nitratos (colorimétrico)	0.012 ppm
$\text{P}_2\text{O}_5$ (colorimétrico)	1 ppm

Los resultados de los análisis indican que el agua cumple con las Normas Mexicanas de calidad de agua (1953) con la excepción de la dureza total, la cual excede la norma de 300 ppm. Pensamos que el alto contenido de carbonato apoya la conclusión de que el agua ha circulado a través de las calizas de la Sierra Madre Oriental.

## EXPERIMENTO DE TRAZADO

La dirección de flujo que supone el modelo es de la Sierra Madre Oriental al Este, para comprobar ésto y aprovechando las pruebas de bombeo, se realizó un experimento de trazado de aguas. Llamamos trazador, a cualquier producto que, incorporado a la masa de una sustancia, permite conocer el comportamiento de ésta durante un proceso determinado, ya sea químico o físico.

Un trazador ideal para usos hidrológicos debe cumplir con las siguientes condiciones (Kaufmann-Orlob 1956):

- i.- El comportamiento del trazador en el proceso que se estudia debe ser igual al del agua. Esto exige a su vez:
  - 1.- El trazador no debe tener reacciones químicas con el agua que puedan interferir con su identificación posterior.
  - 2.- No debe reaccionar químicamente con los materiales del medio.
  - 3.- No debe ser absorbido por los materiales sólidos del medio.
  - 4.- Si el trazador es iónico, no debe producirse fenómenos de intercambio con los átomos del mismo tipo existentes en el medio.
  - 5.- El trazador no debe modificar densidad, viscosidad o temperatura para no alterar el flujo natural.

- 6.- Los fenómenos de dispersión y difusión del trazador deben de ser iguales a los correspondientes de las moléculas de agua.
- ii.- Si se trata de un trazador que deba ser adicionado al agua, ésta no debe de contener del mismo.
- iii.- Debe ser fácilmente soluble en el agua.
- iv.- Permitir factores de dilución muy elevados.
- v.- No contaminar el medio por largos períodos de tiempo.
- vi.- Debe ser de bajo costo, de fácil manipulación e inocuo para los seres vivos.

Teniendo en mente lo anterior, se eligió como sustancia trazadora la uranina ( $C_{20}H_{10}O_5Na_2$ ), que es un tinte con propiedades fluorescentes y se acerca a ser un trazador ideal. La idea es inyectar ésta sustancia en el agua en algún punto, recoger muestras de agua en otro y medir las concentraciones del trazador; la forma en que viaja nos puede dar una idea de como se mueve el agua en el subsuelo. Este tipo de experimentos son recomendables cuando los conductos por los que se infiltra el agua no estan distribuídos uniformemente y las teorías clásicas no son aplicables.

La fluorescencia se produce en una molécula cuando ésta es excitada al llegarle una radiación electromagnética, absorbiéndola y cambiando su estado fundamental ( que es el

de energía más baja asequible, siguiendo el principio de mínima acción) a otro estado de energía más alta, ya sea en la energía electrónica, en la de rotación, en la de vibración o en la cinética. Los tres primeros cambios de energía son específicos y están cuantizados, pudiendo medirse la radiación absorbida en términos de longitud de onda; la energía cinética no está cuantizada. El retorno a su estado normal se efectúa por etapas, en cada una de ellas, la partícula pierde una parte del exceso de energía en forma de radiación con una longitud de onda mayor que las de las radiaciones incidentes.

La intensidad de la radiación fluorescente emitida cuando una radiación pasa una concentración con material fluorescente, está dada por la Ley de Lambert-Beer :

$$I_f = KI_0(1-10^{-cde})$$

donde :

$I_f$ = Intensidad de la radiación fluorescente

$I_0$ = Intensidad de la radiación excitante

$c$ = Concentración molar

$d$ = Espesor a través del cual viaja la radiación

$e$ = Coeficiente de absorción molar

$K$ = Constante de proporcionalidad.

El coeficiente de absorción molar depende de la sustancia analizada, si ésta no cambia y se mantiene fijo  $I_0$  y  $d$ , entonces la intensidad de radiación fluorescente será función sólo de la concentración; esto es, si conocemos la curva concentración - intensidad de radiación fluorescente y medimos la radiación fluorescente, podemos conocer entonces la concentración de la sustancia en el agua.

En el campo (ver fig. 13), se inyectaron 150 gramos de uranina disueltos en un litro de agua en el pozo 18A al mismo tiempo que se inició el bombeo en el pozo 19A, el cual duró 107 horas, posteriormente se inyectó en el 17A y se bombeó en el 14A durante 207 horas; se inyectó en el 19A y se bombeó en el 18A durante 301 horas y finalmente se inyectó en el 14A y se bombeó en el 17A durante 313 horas con un gasto promedio de 8.01 l.p.s.

En cada uno de los cuatro pozos se recogieron muestras durante el bombeo a intervalos de cada 15 minutos primero y después cada media hora, en frascos de PVC de doble tapa para analizar su concentración en el laboratorio, usando un equipo de espectrofluorimetría Karl Zeiss.

Para elegir la longitud de onda de máxima emisión se revisó la literatura, resultando el siguiente cuadro para la uranina.

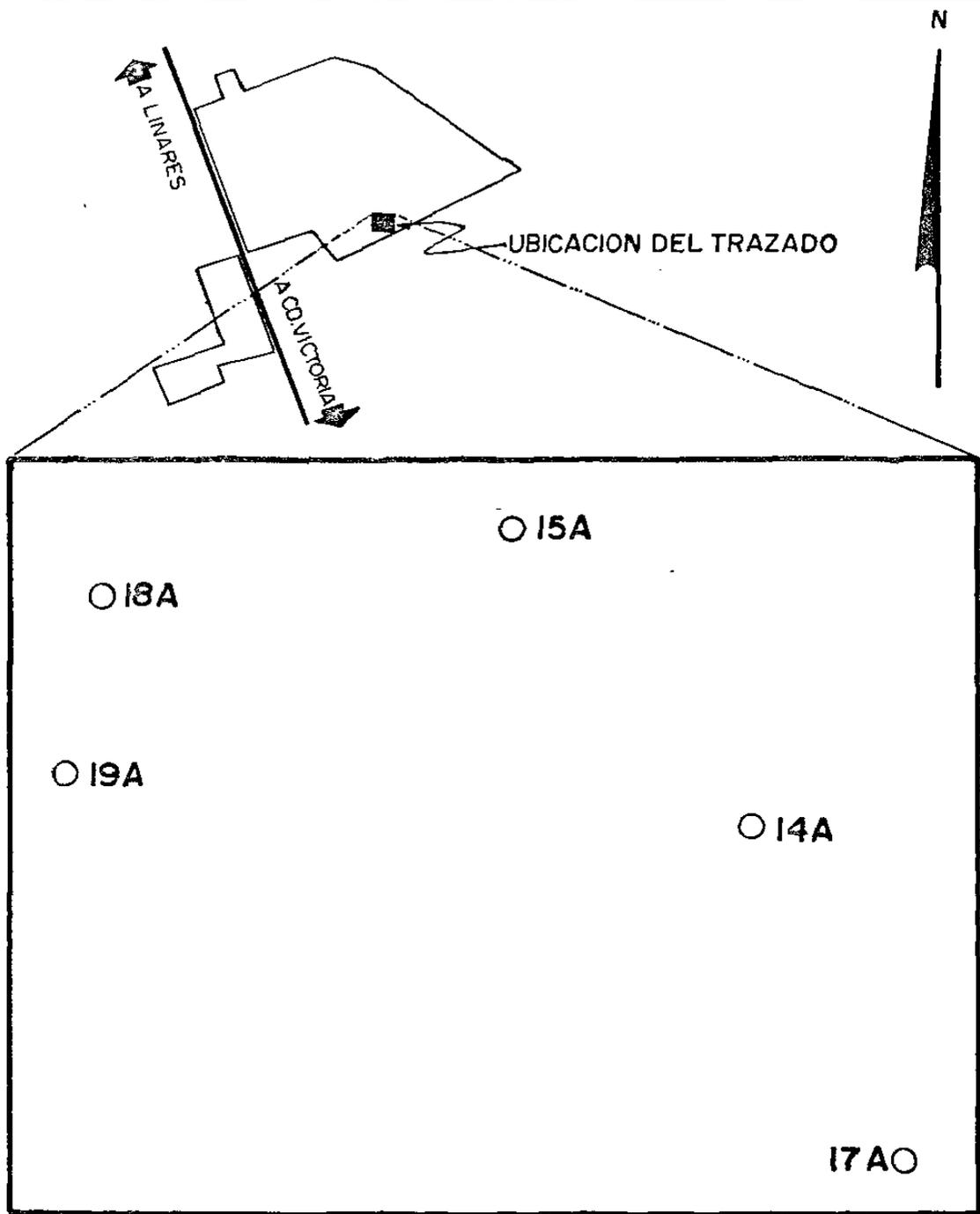


Fig. 13 POZOS UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO DE TRAZADO

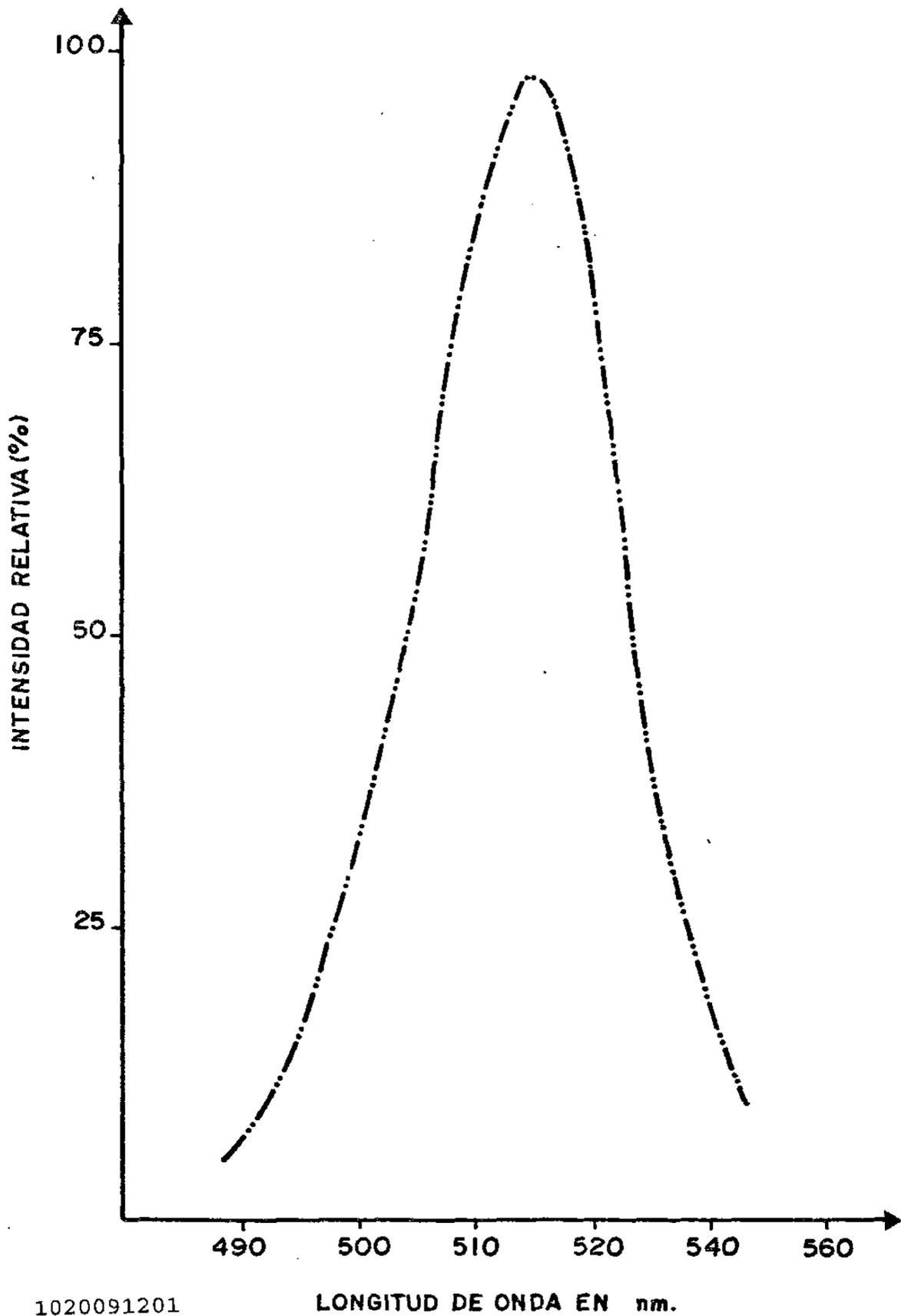
Fluorescencia de		
<u>Autor</u>	<u>Excitación (nm)</u>	<u>Emisión</u>
Käss(1967)	491	514
Behrns(1970)	487	512
Bauer(1972)	484	515
Brouillard(1974)	482	514
Behrens,Zupan(1976)	492	515
Leibundgut(1981)	491	516
Käss(1981)	492.5	512.5
Käss(1982)	491	512.5
Behrens(1982)	493	513
Netz(1984)	489	514

El proceso puede cambiar por :

-Efectos del solvente: La polarización por moléculas del solvente causa un cambio en la longitud de onda de emisión o se puede mitigar la misma .

-Efectos de temperatura : Al incrementarse la temperatura las moléculas excitadas producen más energía rotacional y vibratoria, la cual se convierte en calor y la fluorescencia decrece .

-Efectos de decaimiento: Este efecto aumenta al oxidarse las substancias tales como cloro libre u ozono, las cuales pueden destruir el trazador.



1020091201

LONGITUD DE ONDA EN nm.

ESPECTRO DE EMISION FLUORESCENTE

Fig. 14

-Efectos de PH: Normalmente aumenta la intensidad de la emisión al aumentar el PH y la longitud de onda cambia.

-Efectos de fotodescomposición : Principalmente la radiación ultravioleta induce una descomposición fotoquímica.

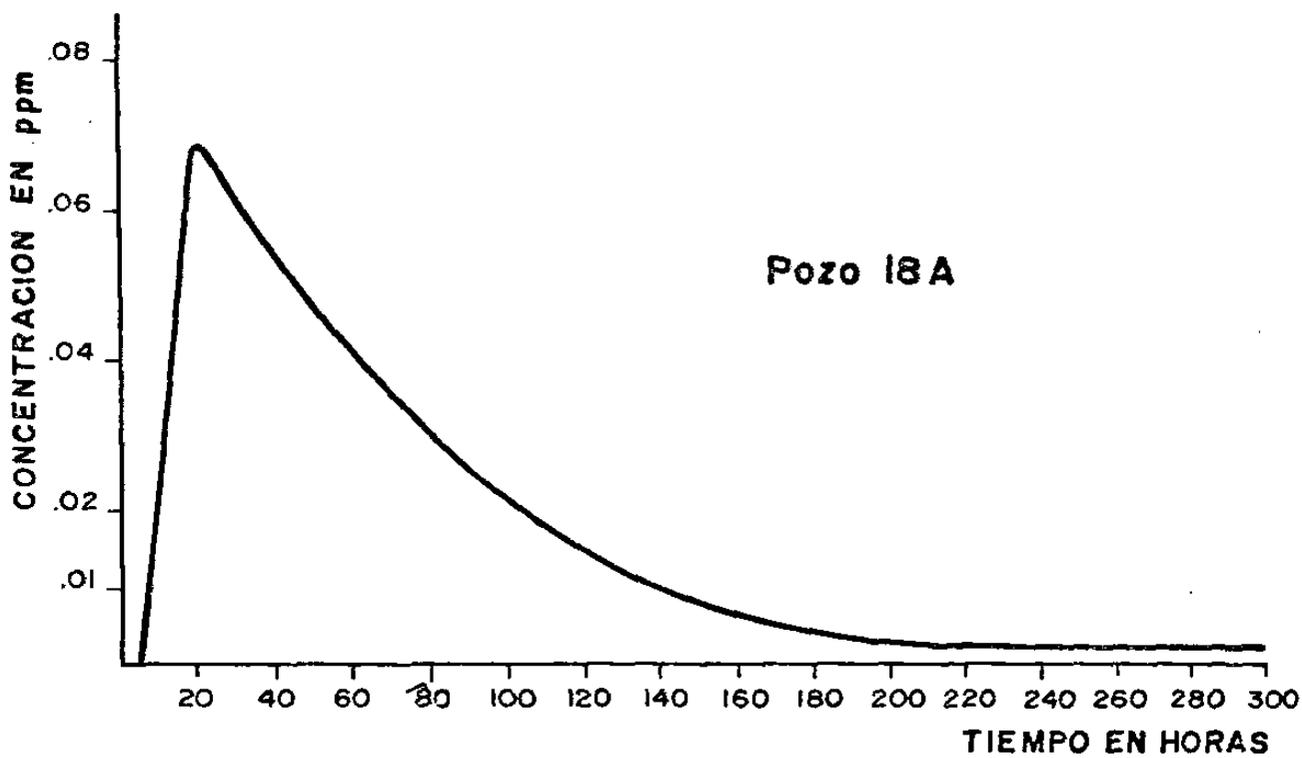
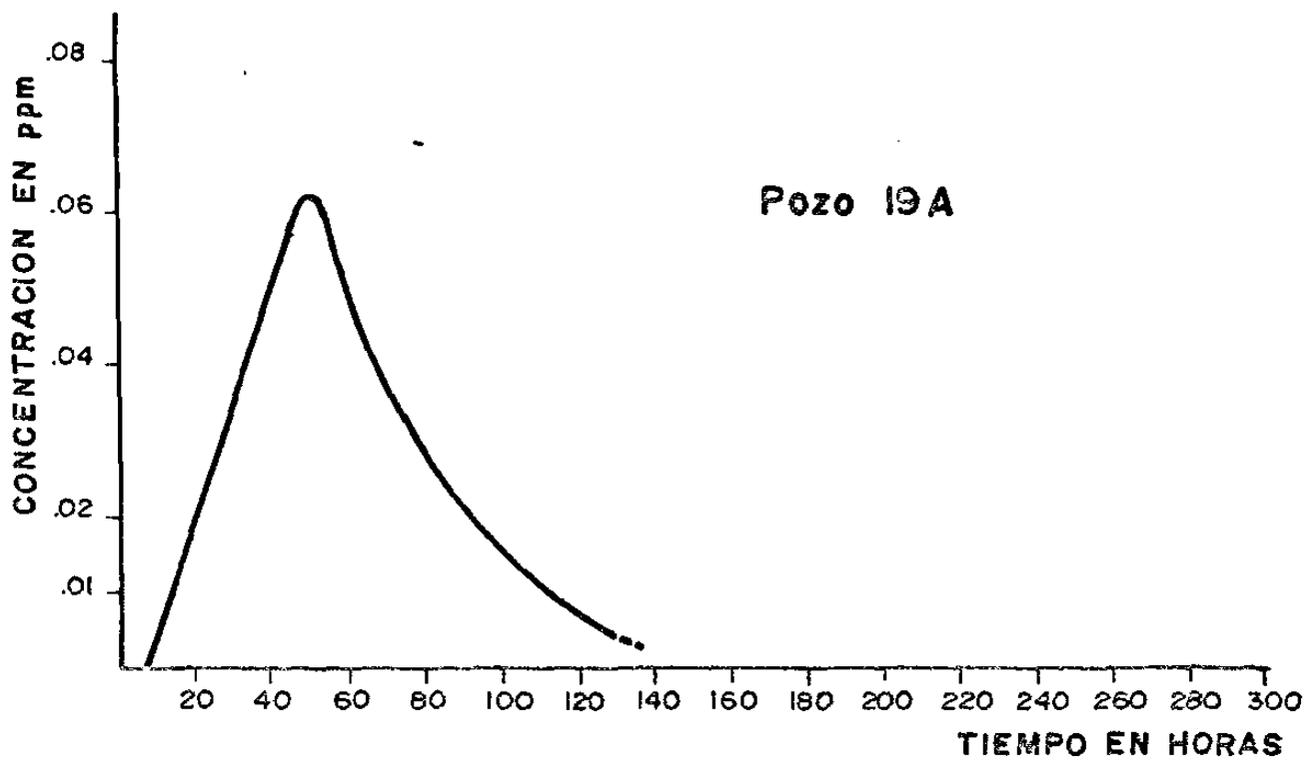
Los efectos anteriores pueden analizarse teóricamente , sin embargo, el proceso es complicado , por lo que se optó por hacer la elección de la longitud de onda de emisión de manera empírica, colocando muestras de campo en el espectrofluorímetro y con diferentes aberturas de rejilla, barrer el espectro y elegir la longitud de onda que nos diera la máxima lectura de intensidad relativa, como se puede ver , en la figura 14, se seleccionó una abertura de rejilla de 0.73 mm con una longitud de onda de 515 nm. Se escogió una lámpara de Xenón de alta precisión para la emisión ya que tiene un amplio rango continuo de 250 a 650 nm de longitud de onda y gran intensidad de radiación .

Para conocer las concentraciones, se usaron muestras estándar de 0.0, 0.1 y 0.01 ppm pesando 10mg de uranina, disolviendo en un frasco volumétrico con 1000 ml de agua y diluyendo sucesivamente las soluciones . En el espectrofluorímetro se midieron las intensidades de fluorescencia y se graficó intensidad relativa (100% para 0.1ppm ) contra la concentración, después se midió la

intensidad  $I_f$  de cada una de las muestras y se comparó con la curva patrón para leer las concentraciones respectivas. Las concentraciones fueron graficadas contra el tiempo de muestreo, (fig. 15 y 16). El tiempo de máxima concentración fué tomado como el tiempo promedio de viaje del agua del pozo de inyección al de bombeo, se calcularon las velocidades, según la siguiente tabla:

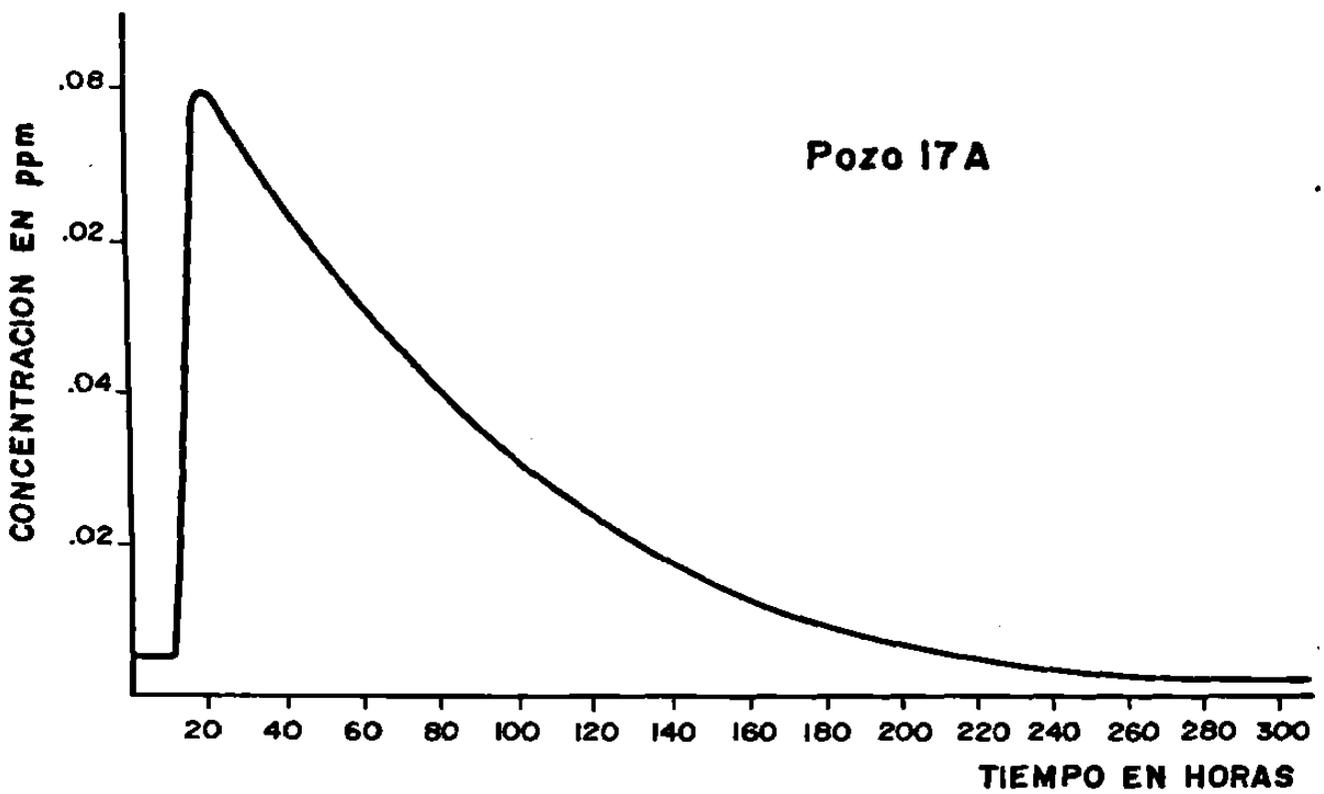
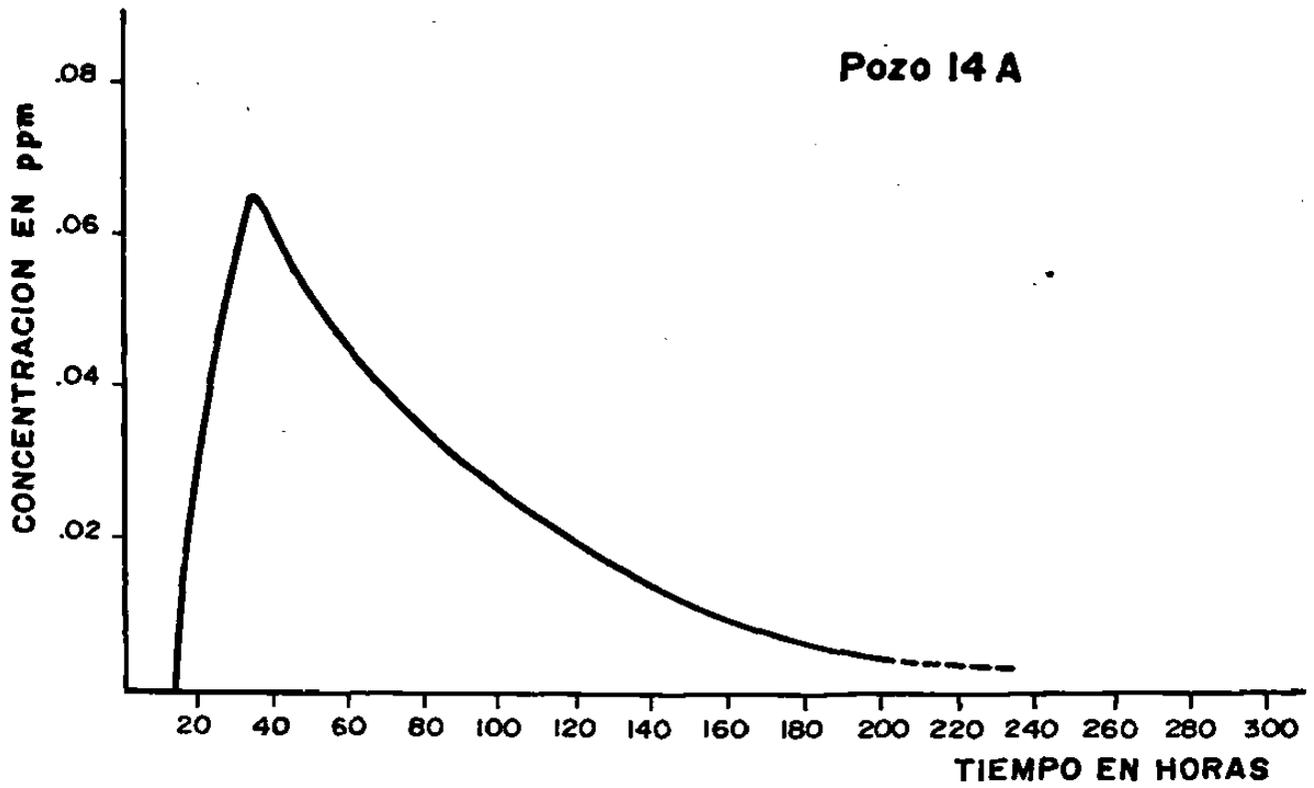
Pozo	Tiempo	Distancia	Velocidad
Bombasdo	(horas)	(metros)	(m/h)
18A	20.01	100	5.00
19A	53.80	100	1.86
14A	34.03	180	5.29
17A	19.76	180	9.11

Con la diferencia entre los pozos 18A y 19A se calculó una componente de la velocidad natural de 1.57 m/h y siguiendo la dirección entre ellos, que es de N 10° E, posteriormente se hizo lo mismo entre los 14A y 17A, dando como resultado una velocidad de 1.91 m/hora en dirección S 25° E.



**GRAFICAS TIEMPO-CONCENTRACION**

Fig. 15



**GRAFICAS TIEMPO-CONCENTRACION**

Fig. 16

Trabajando vectorialmente ambas componentes (fig.17), se calculó una velocidad natural del agua de 1.12 m/h con una dirección de S 81° E , esto es , perpendicular a la Sierra Madre, lo que confirma lo predicho por el modelo, en el sentido de que el agua viaja de la Sierra Madre en dirección al Este.

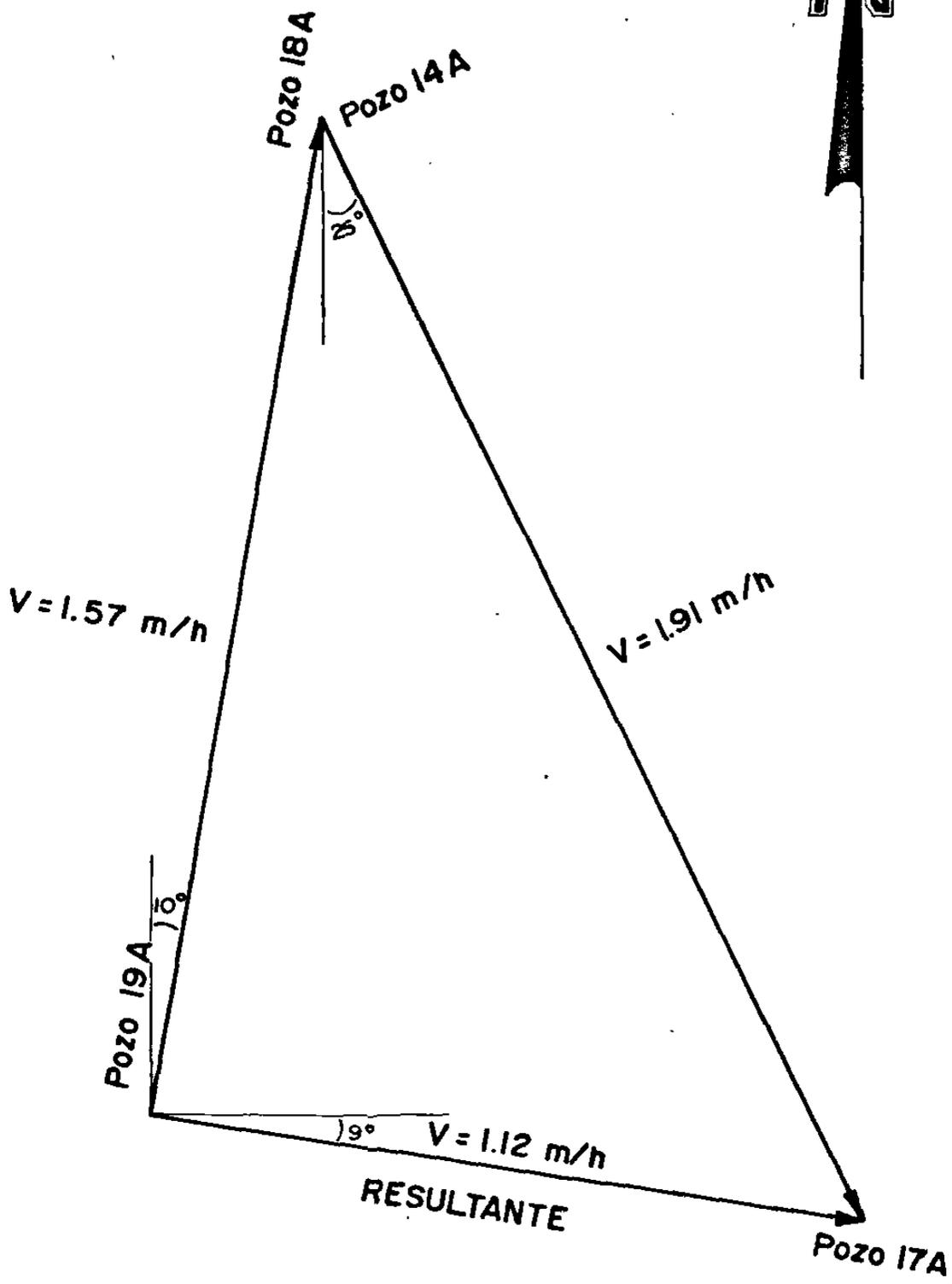


DIAGRAMA VECTORIAL DE VELOCIDADES

## CONCLUSIONES

Un modelo conceptual de fallas de empuje empinadas se probó en el terreno de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Unidad Linares. Tres de cuatro pozos perforados usando éste modelo dieron agua con una producción media de aproximadamente 8 litros por segundo. Las ocasiones fallidas se atribuyeron a inexactitudes al calcular el ángulo de las fallas (penetración sólo de lutitas con los pozos correspondientes), corte de parte de una falla rellena con calcita (calcita abundante pero poca agua) y corte de una porción cerrada de la falla (algo de calcita, lutita fracturada, pero poca agua). Los resultados obtenidos se comparan favorablemente con un promedio regional de 6 pozos perforados por uno productivo produciendo menos de un litro por segundo. Se concluye que el modelo es válido para el terreno universitario.

El mapeo de reconocimiento geológico del Margen de la Sierra entre Monterrey y Ciudad Victoria indica que hay condiciones litológicas y estructurales similares. El modelo fué aplicado con éxito para encontrar agua en un rancho cerca de la Petaca y en varios lugares se han localizado puntos para perforar. Se ha observado asimismo, pozos productivos perforados en diferentes localidades del Margen de la Sierra que tienen la misma relación con las

fracturas con calcita, como en el modelo, aunque la perforación se halla hecho sin tomarlo en cuenta. Se concluye que el modelo de fallas de empuje refleja adecuadamente las condiciones del subsuelo en el Margen Oriental de la Sierra Madre Oriental.

## RECOMENDACIONES

Aunque el modelo ha sido válido para perforaciones en la región de Linares-La Petaca, Nuevo León y es derivado de reconocimientos de campo entre Monterrey y Ciudad Victoria, se recomienda que dicho modelo sea refinado con mapeo y barrenaciones continuas en el Margen de la Sierra .

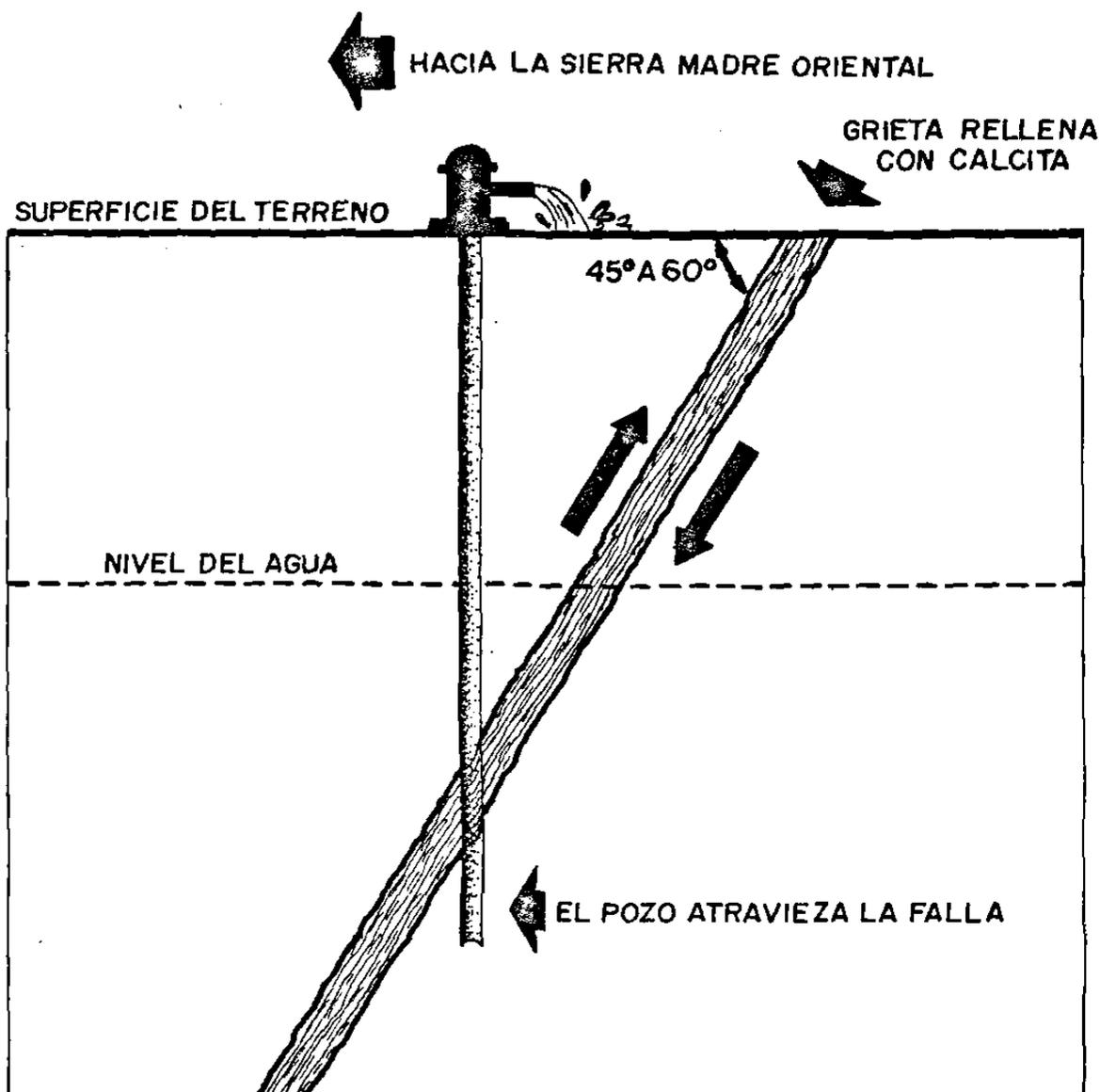
Se recomienda la difusión de la técnica , ya que gran parte de los 10,000 Km<sup>2</sup> del Margen de la Sierra es semidesértico, exepctuando las corrientes de los valles . En el terreno universitario se ha encontrado más de 250 lps y con ello se ha instalado un sistema de irrigación en más de 300 hectáreas para cultivar sorgo, frijol y maíz; resultados similares pueden obtenerse en otros lugares de la región.

Para efectos prácticos se puede seguir el siguiente método:

- 1.- Cartografiar los afloramientos de Calcita .
- 2.- Asumir que los afloramientos son depósitos formados por evaporación superficial de agua en las grietas y que éstas no están rellenas con la calcita a profundidad.

- 3.- Medir los echados si es posible , si nó, suponer que las grietas son fallas de empuje inclinadas unos  $45^{\circ}$ - $60^{\circ}$  hacia la Sierra , siguiendo un rumbo segun los afloramientos de la calcita.
- 4.-Desplazarse hacia la Sierra Madre para perforar.

El objetivo es encontrar las fallas por debajo del nivel freático, que localmente se encontró entre 15 m y 28 m, por debajo de la superficie en los pozos perforados en el terreno universitario.



PARA ENCONTRAR EL AGUA SE LOCALIZA LA FALLA, SE CAMINA HACIA LA SIERRA UNOS 60 A 100 METROS Y SE PERFORA EN ESE LUGAR. AL LLEGAR EL POZO A LA FALLA, EL AGUA SUBE A SU NIVEL.

INDICACIONES PARA EL USO DEL METODO EN EL CAMPO

Fig. 18

## BIBLIOGRAFIA

**Anderson II, B.D. y Aguilera Reyes, V.M., (1984): Informe de la exploración hidrogeológica de los terrenos de la ULUANL. Documento Interno.**

**Anderson II, B.D. & Aguilera Reyes, V.M., (1986): Push Faults. A Conceptual Model for Groundwater Exproation in the Sierra Madre Oriental Foreland, México-zbl. Geol. Paläont. Teil I, 1985: 1149-1160; Stuttgart.**

**Aguilera Reyes, V.M., Muñoz Hernández, B. y Salgado Gutierrez, R., (1985): Correlación Fisico-Química entre los Acuíferos Calizo y Granular de Bustamante, N.L., FIC-UANL.**

**Barrow, G.M., (1967): Estructura de las Moléculas (Introducción a la espectroscopía molecular). Ed. Reverté.**

**Bates, R.L. y Jackson, J.A., (1980): Glossary of Geology. American Geological Institute, Falls Church, Virginia.**

**Benischke, R., (1983): Fluorescences Dyes as Means of Water Tracing. Research Centre, Graz, 72p.**

**Browillard,C.F.,(1979): Les Aplications de la Spectrofluorimétrie al'hydrologie.Actes du 5<sup>e</sup> Congrès National de Spéléologie(Spelunca,Supp.9),72-78, Neuchatel.**

**García ,Enriqueta,(1973): Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen.Ed.U.N.A.M.**

**Fries Jr.,C.;Hibbard,C.W. y Dunkle,D.H.,(1955):Early Cenozoic Vertebrates in the Red Conglomerate at Guanajuato, México. Smithsonian Misc. Collections,123,7: 25pp.**

**Imlay,R.,(1936): Geology of the Westwern Part of the Sierra de Parras, Coahuila,México. Geol. Soc. Am. Bull., 47:1091-1152.**

**Kaufmann ,W.J. & Orlab,G.T.,(1956): An evolution of Groundwater Traces ,Trans.Am. Geophysics Union,37, 297-306.**

**Kellum,L.,Imlay,R.y Kane,W.(1936): Evolution of the Coahuila Peninsula, México. Relation of Structure, Stratigraphy and igneus Activity to Early Continental Margir. Geol. Soc. Am. Bull.,47,2: 969-1008.**

- Leibundgut,Chr.,(1981): Fluoreaszenztracer-Abrißder-  
Methodik (In): Leibundguet,Chr.u.Harum,T.(Schriftl.):  
Tracerhydrologische Untersuchungen im Langetental  
(Schweiz).-Steir.Beitr.Hydrogeol.-56-58,Graz.**
- López-Ramos,E.(1980): Geología de México, Tomo II,  
3a. Ed.,Publicación Privada, México,D.F.**
- Meehan,E.J.,(1964): Optical Methods of Analysis,  
Interscience Publishers.**
- Meiburg,P., Aguilera Reyes,V.M. and Muñoz Hernández,B.,  
(1982): Halotectonics and Subrosion in the Northern  
Sierra Madre Oriental, México. Geowissen-Schaftliches  
Lateinamerika Kolloquium, Göttingen,P. 64.**
- Normas Mexicanas de Calidad para Agua Potable (1953):  
Diario Oficial (2 de Julio),Secretaría de Salubridad y  
Asistencia, Gobierno Federal Mexicano, México,D.F.**
- Padilla y Sanchez ,R.(1982): Geologic Evolution of the  
Sierra Madre Oriental between Linares , Concepción  
del Oro, Saltillo and Monterrey, México. Unpublished  
Doctoral Dissertation, The Univ. of Texas, Austin.  
217 pp.**

**Pérez, A.M., (1975): Métodos Físico-Químicos de Análisis.**

**URMD,S.A**

**Secretaría de Programación y Presupuesto,(1981): Síntesis Geográfica de Nuevo León. SPP.**

**Secretaría de Programación y Presupuesto ,(1981): Síntesis Geográfica de Tamaulipas .SPP.**

**Secretaría de Programación y Presupuesto: Cartas Geográficas y Topográficas , escala 1:50,000.**

**Secretaría de Recursos Hidráulicos (1976): Atlas del Agua de la República Mexicana.**

**Tardy,M.(1977): Essai Sur la Reconstitution de L'évolution Paléogéographique et. Structurale de la Partie Septentrionale du Mexique au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque. Bull. Soc. Geol. France,7, T XIX N° 6:1297-1308.**

