

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**ESTUDIO GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO DE LA REGIÓN  
CITRÍCOLA MONTEMORELOS-GENERAL TERÁN,  
NUEVO LEÓN, NE MÉXICO**

**TESIS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTA  
SERGIO GONZÁLEZ FLORES**

**LINARES, NUEVO LEÓN**

**2001**

**SURGICO GONVYBŲ REIKIAUSIAUSIAI**

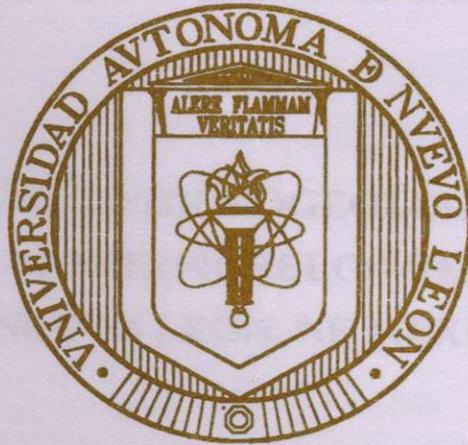
**CHOROIKOCHIA**

**TL  
GB712  
.M6  
G66  
2001  
c.1**



1080124509

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**ESTUDIO GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO DE LA REGIÓN  
CITRÍCOLA MONTEMORELOS-GENERAL TERÁN,  
NUEVO LEÓN, NE MÉXICO**

**TESIS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTA  
SERGIO GONZÁLEZ FLORES**

**LINARES, NUEVO LEÓN**

OCTUBRE DE 2001

**2001**

BURSA REINTEGRACION  
UNIVERSIDAD  
FLUJO  
TESIS LICENCIATURA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**ESTUDIO GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO DE LA REGIÓN  
CITRÍCOLA MONTEMORELOS-GENERAL TERÁN,  
NUEVO LEÓN, NE MÉXICO**

**TESIS PRESENTADA  
COMO ASPIRANTE AL GRADO DE INGENIERO GEÓLOGO**

**POR  
SERGIO GONZÁLEZ FLORES**

**Vo.Bo. DEL ASESOR DE TESIS**



---

**Dr. Héctor de León Gómez**

**LINARES, N.L.**

**OCTUBRE DE 2001**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

HDA. DE GUADALUPE CARR. A CERRO PRIETO KM. 8. A.P. 104  
67700 LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO  
TELS. (821) 2 43 02 Y 2 20 13, FAX (821) 2 43 02



ESTUDIO GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO DE LA REGIÓN  
CITRÍCOLA MONTEMORELOS-GENERAL TERÁN,  
NUEVO LEÓN, NE MÉXICO

TESIS PRESENTADA  
COMO ASPIRANTE AL GRADO DE INGENIERO GEÓLOGO

POR  
SERGIO GONZÁLEZ FLORES

Vo.Bo. COMISIÓN DE REVISIÓN

Dr. Francisco Medina Barrera

Dr. Dirk Masuch Oesterreich

Dr. Héctor de León Gómez

*No debo temer soñar, ni hacer grandes planes  
pues hoy sé con certeza, que de mi y  
solo de mi, depende lograr que los sueños  
se hagan realidad, la grandeza puedo  
lograrla si tengo valor y entereza,  
pues Dios me da fuerza y fortaleza.*

*Hoy he logrado una respuesta que esperaba,  
mañana puedo obtener más de lo que  
logré ayer, pues de **mi** y solo de **mi** depende  
que así sea, por eso mi compromiso es vivir  
con honradez y decoro.*

***Profr. Donaciano Zarate Peñaloza***

*El Valor y la Perseverancia poseen un  
talismán mágico ante el cual las dificultades  
desaparecen y los obstáculos se desvanecen  
en el aire.*

***Jhon Quincy A.***

---

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a mi asesor, el **Dr. Héctor de León Gómez**, por su paciencia y confianza para la asesoría y corrección de este trabajo.

Además agradezco a la Comisión de Revisión, **Dr. Francisco Medina Barrera** y **Dr. Dirk Masuch** por su dedicación y consejos para que este trabajo estuviera finalizado.

A los Ingenieros **Benito Muñoz Hernández, Alvaro Vita Garza, Raúl Conde Rivera** y al **Arq. Luis Benito Muñoz Flores**, por su valiosa colaboración y apoyo para la finalización de esta tesis.

A los Ingenieros **José Luis Rivera García** y **Carlos Torres Castillo** por su apoyo y aportación de datos e información en este trabajo.

A mi compañero en la etapa de campo durante el desarrollo del presente trabajo **Salvador I. de la Garza González**, así como a **José Luis Rivera Mexía** y **Horacio**.

A los integrantes del Laboratorio de Geoquímica de la Facultad de Ciencias de la Tierra, **Ing. Geol. Mineral. Federico Viera Decida** y a la **TLQ Ana María Garza**, por su gran ayuda en la elaboración de los análisis físico-químicos.

A la **Sra. Araceli Issasi** por su gran ayuda con respecto a los trámites correspondientes y en general durante el transcurso de toda la carrera. Así como a todas aquellas personas que de alguna u otra manera mostraron interés y motivación para la finalización del trabajo.

Finalmente te agradezco a ti por leer este trabajo de tesis, esperando que sea de utilidad y puedas encontrar lo que buscas.

## DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado especialmente a mis padres **Eusebio González Torres y Margarita Flores Castillo**, quienes me han sabido guiar por el buen camino y mostrado todo su apoyo para poder llegar hasta aquí. Muchas gracias por ello.

Para alguien muy especial, **Micaela Hernández Arévalo**, quien ha sido mi compañera en los últimos años, así como a mis hijos **Sergio González Hernández y Mónica Guadalupe González Hernández**, quienes son todo en mi vida. Gracias por quererme y apoyarme y los quiero mucho. También especialmente para mi hija **Laritzza Guadalupe González Hernández (†)** a quien no tengo la dicha de tener pero te quiero mucho.

A cada uno de mis hermanos **Eusebio, Víctor Javier y Ángel Mario**, así como a mi cuñada **Yadira**. A mis suegros **Alfonso Hernández y Angelita Arévalo** así como mis cuñados **Alonso, Poncho, Chelo, Flor y Maty**, quienes de alguna manera me han apoyado y ayudado para llegar hasta aquí.

Para mis grandes amigos y compañeros de generación **Rodolfo y Salvador**, así como **Katia, Andrea, Carla, Rafa, Pedro y Gilberto**, con quienes compartí muchos momentos agradables durante el transcurso de la carrera.

Para mis compañeros del Laboratorio de Preparación **Adalberto, Andrés, Pedro, Gustavo y Víctor**, así como mis compañeros del Laboratorio de Geoquímica **Federico y Any**. También para todos los futuros geólogos, mineralogistas y geofísicos de la Facultad de Ciencias de la Tierra de Linares.

A mi asesor el **Dr. Héctor de León Gómez**, quien mostró interés de dirigirme como tesista y puso todo su empeño y confianza así como su gran amistad en mí... gracias.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**ESTUDIO GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO DE LA REGIÓN  
CITRÍCOLA MONTEMORELOS-GENERAL TERÁN,  
NUEVO LEÓN, NE MÉXICO**

**TESIS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTA**

**SERGIO GONZÁLEZ FLORES**

# Estudio Geológico/Hidrogeológico de la Región Citrícola Montemorelos-General Terán, Nuevo León, NE México.

## CONTENIDO

SIGLAS, SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS Y ANEXOS.....	v
RESÚMEN.....	viii
1. GENERALIDADES	
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Objetivos.....	2
1.1.2 Trabajos previos.....	3
1.2 Problemática.....	5
2. FISIOGRAFIA	
2.1 Localización.....	7
2.2 Vías de acceso.....	7
2.3 Clima y Vegetación.....	10
2.4 Hidrología.....	12
3. GEOLOGÍA	
3.1 Metodología Geológica.....	14
3.2 Geomorfología.....	15
3.3 Geología Regional.....	15
3.3.1 La Sierra Madre Oriental.....	16
3.4 Geología del área de estudio.....	17
3.4.1 Estratigrafía.....	19
3.4.1.1 Formación Zuloaga.....	21
3.4.1.2 Formación La Casita.....	22
3.4.1.3 Formación Taraises.....	23
3.4.1.4 Formación Cupido.....	25

3.4.1.5 Formación La Peña.....	27
3.4.1.6 Formación Aurora.....	28
3.4.1.7 Formación Cuesta del Cura.....	29
3.4.1.8 Formación Agua Nueva.....	31
3.4.1.9 Formación San Felipe.....	32
3.4.1.10 Formación Méndez.....	34
3.4.1.11 Conglomerado (Terciario).....	36
3.4.1.12 Conglomerado (Cuaternario).....	38
3.4.1.13 Aluvión.....	39
3.4.2 Geología Estructural.....	40
3.4.2.1 Diaclasamiento.....	43

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

4.1 Metodología Hidrogeológica.....	47
4.1.1 Instrumentos de Medición.....	48
4.2 Acuíferos.....	48
4.2.1 Acuífero de Gravas.....	50
4.2.2 Acuífero de Grietas.....	51
4.2.3 Acuífero Kárstico.....	52
4.3 Censo de Captaciones Subterráneas.....	54
4.4 Piezometría.....	56
4.5 Calidad del Agua.....	60
4.5.1 Parámetros de contaminación en las aguas subterráneas.....	62
4.5.2 Resultados de los parámetros de contaminación.....	68
4.5.3 Familias de Aguas.....	72
4.6 Propiedades Hidráulicas.....	74
4.6.1 Porosidad.....	74
4.6.2 Permeabilidad.....	75
4.6.3 Transmisividad.....	77
4.6.4 Coeficiente de Almacenamiento.....	77
4.7 Pruebas de Bombeo.....	78
4.7.1 Metodología.....	79
4.7.2 Elección del Sitio de Prueba.....	79

4.7.3 Evaluación.....	80
4.7.3.1 Método de la Línea Recta.....	80
4.7.4 Resultados.....	82
4.8 Sitios de explotación del agua subterránea.....	86
4.9 Contaminación Ambiental .....	88
4.9.1 Fuentes de Contaminación.....	91
5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	98
6. RECOMENDACIONES.....	101
7. BIBLIOGRAFÍA.....	102

## SIGLAS, SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

<b>SIGLAS</b>	<b>Descripción</b>
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
CNA	Comisión Nacional del Agua.
CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
DETENAL	Dirección de Estudios del Territorio Nacional.
FCT	Facultad de Ciencias de la Tierra.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
INTERNET	International Network.
PEMEX	Petróleos Mexicanos.
RH24	Región Hidrológica 24.
SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SEDUE	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
SIREYES	Sistema de Investigación Alfonso Reyes.
SPP	Secretaría de Programación y Presupuesto.
SSA	Secretaría de Salubridad y Asistencia.
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León.
UASLP	Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

**Abreviaturas comunes**

**Descripción**

Aprox.	Aproximadamente.
Asoc.	Asociación.
CVM	Cinturón Volcánico Mexicano.
Etc.	Etcétera.
FFCC	Ferrocarril.
Fig.	Figura.
Fm.	Formación geológica.
GPS	Geoposisionador.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
Mty.	Monterrey.
NE	Noreste.
NL	Nuevo León.
NNW	Nor-noroeste.
No.	Número.
NW	Noroeste.
SE	Sureste.
SLP	San Luis Potosí.
SMO	Sierra Madre Oriental.
SSE	Sur-sureste.
SW	Suroeste.
Tamps.	Tamaulipas.
Ver.	Veracruz.

**Abreviaturas geológicas**

**Descripción**

Al	Aluvión.
Km	Formación Méndez.
Sk	Diaclasamiento.
Ss	Estratificación.
m.a.	Millones de años.

**Abreviaturas hidrogeológicas**

**Descripción**

B	Ancho del flujo del agua subterránea (m).
H	Altura o espesor del acuífero (m).
i	Gradiente hidráulico (sin dimensiones).
K	Coefficiente de permeabilidad (m/s).
K	Conductividad hidráulica.
NE	Nivel estático (m).
ND	Nivel dinámico (m).
NP	Nivel piezométrico (m).
p	Porosidad (%).
Q	Caudal (l/s , m <sup>3</sup> /s).
S	Coefficiente de almacenamiento (sin dim.).
T	Transmisividad (m <sup>2</sup> /s).
VA	Volúmen de agua (m <sup>3</sup> ).
VR	Volúmen total de la roca (m <sup>3</sup> ).

**Abreviaturas geoquímicas**

**Descripción**

Ca	Calcio.
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de calcio.
CE	Conductividad eléctrica (mmhos/cm).
Cl	Cloruros (mg/l).
H	Hidrógeno.
K	Potasio.
Mg	Magnesio.
Na	Sodio.
NO <sub>3</sub>	Nitratos (mg/l).
OH	Hidróxido.
pH	Potencial de hidrógeno ().
SO <sub>4</sub>	Sulfatos (mg/l).
STD	Sólidos totales disueltos (mg/l).

**Símbolos y claves**

**Descripción**

°C	Grados centígrados.
%	Porcentaje.
≈	Aproximado.
>>	Mucho mayor.
G14C47	Clave utilizada para las cartas geológicas y topográficas editadas por el INEGI, en este caso la carta Montemorelos.
O <sub>1</sub>	Clave del pozo censado.
Δ <sub>1</sub>	Clave de la noria censada.
O <sub>A</sub>	Clave del pozo con prueba de aforo realizada por la SARH.

# ÍNDICE DE FIGURAS, FOTOS, TABLAS Y ANEXOS

## FIGURAS

<b>Nº Fig.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Página</b>
1	Plano esquemático de localización del área de estudio.	9
2	Esquema que muestra las vías de acceso al área de estudio.	10
3	Figura que muestra la Precipitación y Temperatura de la estación meteorológica de Montemorelos, modificado de INEGI, 1986.	11
4	Sección geológica esquemática del frente de la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera del Golfo.	17
5	Columna estratigráfica de la Sierra Madre Oriental (Modificada de Michalzik, 1988).	20
6	Representación gráfica del fracturamiento a nivel regional, tomado de acuerdo a la interpretación de fotografías aéreas.	43
7	Figura que muestra los dos tipos de diaclasas ( <i>ac</i> y <i>bc</i> ) con respecto al eje de un pliegue.	44
8	Tipos de acuíferos según su litología. a) Acuífero de gravas, b) Acuífero de grietas y c) Acuífero kárstico (Modificados de Werner, 1996).	53
9	Diagrama múltiple lineal, para la clasificación del agua según Piper. Muestras analizadas en la Facultad de Ciencias de la Tierra (1999).	73
10	Representación gráfica de los datos obtenidos en el descenso durante la prueba de bombeo.	84
11	Representación gráfica de los datos obtenidos en la fase de recuperación durante la prueba de bombeo.	85

# FOTOS

<b>Nº Foto</b>	<b>Nombre</b>	<b>Página</b>
1	Calizas gruesas fracturadas y karstificadas de la Formación Zuloaga.	22
2	Lutitas color rosado de la Formación La Casita.	24
3	Calizas arcillosas, areniscas y lutitas carbonosas intercaladas de la Formación Taraises.	26
4	Bancos de calizas medianas a masivas de la Formación Aurora.	29
5	Calizas medianas a delgadas plegadas intercaladas con lutitas y bandas de pedernal de la Formación Cuesta del Cura.	30
6	Calizas arcillosas alteradas con lutitas laminares de color gris de la Formación Agua Nueva.	32
7	Intercalación de calizas arcillosas con calizas arenosas o silicificadas, lutitas y horizontes bentoníticos de la Formación San Felipe.	33
8	Lutitas o margas laminares de la Formación Méndez.	36
9	Contacto discordante entre la Formación Méndez (Km), con la Formación Reynosa (?).	37
10	Falla de cabalgamiento, la cual pone en contacto rocas del Jurásico Superior (Formación Zuloaga ) con rocas del Cretácico Superior (Formación Méndez).	41
11	Relleno Sanitario de Montemorelos, N.L.	95
12	Lagunas producto del desecho en la Planta de Tratamiento en las márgenes del Río Pilon, aproximadamente a 200 metros de su cauce principal.	97

# TABLAS

<b>Nº Tabla</b>	<b>Nombre</b>	<b>Página</b>
1	Tabla de porcentajes de los tipos de diaclasas encontrados en los puntos visitados.	46
2	Resultados de pruebas de aforo realizadas en el área de estudio por la SARH, entre 1979 y 1984.	58
3	Tabla sobre los criterios ecológicos de Calidad del Agua (SEDUE, 1989).	69
4	Límites permisibles de calidad del agua de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana.	69
5	Resultados de los análisis físico-químicos, realizados a cuatro muestras de agua localizados en distintos puntos del área de estudio (2000).	70
6	Resultados de la Prueba de Bombeo.	83

# ANEXOS

1. Carta Geológica

2. Secciones Geológicas

3. Carta Estructural

4. Registro de aprovechamientos hidráulicos

5. Carta Piezométrica y documentación de aprovechamientos hidráulicos.

## RESÚMEN

En el Noreste de la República Mexicana uno de los principales problemas prioritarios es el abastecimiento de agua potable a las ciudades en desarrollo, debido a esto, se desarrolla el proyecto “**Límites del Abastecimiento de Agua Potable en el Noreste de México SIREYES/95-053**”, del cual se elaboró el presente trabajo: **Estudio Geológico/Hidrogeológico de la Región Citrícola Montemorelos-General Terán, Nuevo León, NE de México.**

Ante la creciente demanda, necesaria para apoyar el desarrollo y producción del país, se han programado una serie de acciones encaminadas a definir las zonas susceptibles de explotación de agua subterránea, incrementar y definir la explotación óptima de los acuíferos sobreexplotados, ya que uno de los principales problemas en la actualidad es la falta de agua potable a ciudades grandes o en vía de desarrollo. Ejemplo de esto es la ciudad de Monterrey, donde existe una gran demanda de agua y ya no es posible realizar grandes obras de infraestructura como fuentes superficiales (presas).

Dentro de las medidas implementadas para mejorar la actual oferta de agua de buena calidad, se encuentra la de conocer el estado actual de los acuíferos, así como su comportamiento y distribución.

El presente trabajo muestra los resultados de la cartografía geológica, análisis estructural y piezometría tanto de las unidades geológicas como de los pozos de abastecimiento existentes en el área comprendida entre los municipios de Montemorelos y General Terán, Nuevo León, la cual cubre una superficie de 961 km<sup>2</sup>.

Dentro de la cartografía geológica se determinaron unidades que van desde el Jurásico Superior, notándose potentes espesores de rocas calcáreas, hasta el Cretácico Superior donde aparecen paquetes de rocas arcillosas, así como también sedimentos alóctonos de edad Cenozoica.

Los principales acuíferos encontrados en estos tipos de rocas son el de grietas, el acuífero de gravas y el cárstico. El acuífero de grietas se localiza en los sedimentos del Cretácico Superior (Formación Méndez), el acuífero de gravas está localizado entre los

sedimentos conglomeráticos o aluviales del Terciario y Cuaternario, mientras que el cárstico se localiza en rocas del Cretácico (Formaciones Aurora y Cupido).

El comportamiento estructural de las rocas existentes en el área de estudio, es el resultado de los esfuerzos a que fueron sometidas durante la Orogenia Laramídica la cual plegó el paquete de rocas mesozoicas, por lo que el fracturamiento es de tipo distensional (ac y bc), predominando el de tipo ac, mientras que las estructuras mayores presentan, como consecuencia de los esfuerzos en dirección NE, un plegamiento general NW-SE, observándose hacia la zona de estudio un sistema de plegamientos recumbentes dentro de la Formación Méndez con un buzamiento hacia el Suroeste (SW).

El análisis piezométrico de los niveles estáticos nos define un acuífero sobreexplotado, con niveles de un acuífero somero de hasta 32 metros de profundidad en algunos puntos y niveles de hasta 3 metros en otros lugares, y la recarga proviene principalmente de la Sierra Madre Oriental, con dirección al Este y Noreste.

El comportamiento de las isocintas hacia la parte Sur y SE del área, nos indica suelos impermeables debido a la corta distancia entre ellas y hacia la parte Norte del área se presentan suelos muy permeables debido al distanciamiento entre las isocintas.

El conocimiento de todos estos factores así como una conciencia racional al explotar los acuíferos, nos permitirá reducir de cierta manera el déficit en el abastecimiento de agua potable para las ciudades en vía de desarrollo, así como también a la ciudad de Monterrey y su zona conurbada.

## **CAPITULO 1**

# **GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

En el marco del proyecto **“Límites del Abastecimiento de Agua Potable en el Noreste de México, SIREYES/95-053”**, se realizaron dos trabajos de tesis de licenciatura, las cuales fueron asesoradas por el Dr. Héctor de León Gómez, catedrático de la Facultad de Ciencias de la Tierra, donde el presente trabajo es llamado: **“Estudio geológico/hidrogeológico de la región citrícola Montemorelos-General Terán, Nuevo León, NE de México.**

El abastecimiento de agua para las grandes ciudades ha resultado ser uno de los problemas más graves a resolver en los tiempos actuales, motivado por el acelerado crecimiento poblacional y el manejo inadecuado de los recursos hidráulicos. En la región Noreste de México este problema es más agudo aún, como consecuencia del clima semiárido extremo que predomina en esta zona, con períodos de lluvia cortos seguido de un período seco relativamente largo. Por tal motivo los recursos hidrológicos se ven grandemente influenciados por estos fenómenos meteorológicos, ya que estos períodos determinan en gran medida la recarga de los acuíferos tanto someros como profundos en toda la región (Alva, 1997).

La zona que comprende los municipios de Montemorelos y General Terán, se encuentra dentro de lo anteriormente descrito donde se tiene un gran crecimiento de su población, es necesario un estudio actual de los acuíferos, así como una evaluación de los mismos para continuar con su explotación.

Otro punto importante es el de suministrar agua potable a la ciudad de Monterrey y su área conurbada, ya que se considera que para el año 2000 tenga una población de 5,1 millones de habitantes, por lo que se requerirán aprox. 22 m<sup>3</sup>/s de agua para necesidades de la población, demandando actualmente un suministro de aprox. 17 m<sup>3</sup>/s (De León, 1993, De León *et al.*, 1994).

Los aprovechamientos hidráulicos encontrados en el área de estudio tienen dos usos principales, uno de ellos es el abastecimiento de agua potable, principalmente a ciudades grandes como son Montemorelos que durante el censo de 1990 contaba con una población de 35,508 habitantes y General Terán con 6,139 habitantes, así como el de riego de tipo agrícola.

El presente trabajo está enfocado a analizar y evaluar los acuíferos existentes en la región que comprende los municipios de Montemorelos y General Terán, direcciones de flujo, estimación de recarga, así como las condiciones de explotación de agua en los recursos hidráulicos disponibles, con la meta de encontrar una fuente alterna subterránea de suministro para la ciudad industrial de Monterrey y su área metropolitana.

### **1.1.1 Objetivos**

Con el fin de optimizar los resultados del presente estudio, será necesario enfocar la exploración a los acuíferos contenidos en los rellenos aluviales y depósitos recientes, así como en las rocas sedimentarias marinas que se encuentran en el área, estudiando también su comportamiento hidrogeológico y teniendo en cuenta los siguientes objetivos:

El principal objetivo del presente trabajo es el de encontrar fuentes subterráneas explotables, así como también el de saber de donde proviene la recarga a estas fuentes y la conexión que existe entre ellas. Para llegar a todo esto se propusieron las siguientes metas:

→ Elaboración de una carta geológica, a escala 1:50,000 de un área de aproximadamente 961 km<sup>2</sup>, reportando las diferentes formaciones geológicas, y contando con algunas secciones transversales tomadas a la misma escala.

- Elaborar una carta estructural a escala 1:50,000 que cuente con las mediciones necesarias para determinar los patrones y grados de fracturamiento, así como estructuras generales.
- Elaboración de una carta piezométrica, a escala 1:50,000 con isolíneas y direcciones de flujo.
- Elaboración de una carta de documentación hidrogeológica, la cual deberá contener todas las mediciones de los diferentes pozos, contando con el nivel estático y dinámico, tipo de aprovechamiento, geoposición y alturas de brocal.
- Determinación de los tipos de acuíferos presentes en el área de estudio.
- Determinar sitios posibles de explotación del agua subterránea, tomando como base principalmente los aspectos geológicos, tectónicos e hidrogeológicos de la zona en estudio.

### **1.1.2 Trabajos previos**

Los trabajos anteriores a este han sido muy pocos en esta región, ya que se contaba con otras fuentes de abastecimiento para cubrir las necesidades de agua a la ciudad de Monterrey, pero debido al gran crecimiento poblacional se tienen que explorar nuevos sitios para cubrir estas necesidades.

Alva Niño (1995) y Hernández Padilla (1995) elaboraron conjuntamente investigaciones ingeniero-geológicas, geológicas e hidrogeológicas del área metropolitana de Monterrey.

De León Gómez (1993), desarrolló estudios geológico-hidrogeológicos de la presa José López Portillo/Cerro Prieto cerca de la ciudad de Linares, Nuevo León (Die Unterläufigkeit der Talsperre José López Portillo/Cerro Prieto auf einer Kalkstein-Mergelstein-Wechselfolge bei Linares, Nuevo León/México), esto como una parte de las alternativas de abastecimiento de agua para la ciudad de Monterrey.

Drescher (1995), realizó investigaciones geológicas e hidrogeológicas cerca de Linares (Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Raum Linares, Nuevo Leon, Mexiko).

Lamy (1994), realizó estudios geológicos (estratigrafía, microfacies y tectónica) en la zona frontal de la Sierra Madre Oriental, en el Noroeste de Linares, N.L., México. "Geologie (Stratigraphie, Mikrofazies, Tektonik) der Frontalketten der Sierra Madre Oriental nordwestlich von Linares, N.L; Mexiko".

Navarro Galindo (1959), realizó un reconocimiento geológico del área de Montemorelos, Linares, General Terán, Nuevo León.

Rangel Rodríguez (1989), realizó un estudio hidrogeológico del campus Linares de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares/México.

Riecke (1995), desarrolló investigaciones geológicas e hidrogeológicas entre Hualahuises y Linares, Nuevo León, NE-México (Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Raum Hualahuises/Linares, Nuevo Leon, NE-Mexiko).

Como se puede observar, todos los trabajos realizados en la zona o cerca de ella, van encaminados a la búsqueda de fuentes de abastecimiento para agua potable, pero en el presente trabajo se realiza una relación entre la geología y geología estructural del área, con los acuíferos existentes así como sus interacciones, para la búsqueda de sitios factibles de explotación del agua subterránea.

## **1.2 Problemática**

Ciudades como Montemorelos, General Terán, o bien la misma ciudad de Monterrey, las cuales cada día van en constante incremento en su población, carecen cada vez más de agua potable. Para tratar de resolver de alguna manera este problema se han realizado estudios en el área metropolitana de Monterrey, pero el presente trabajo se enfoca a la búsqueda de fuentes subterráneas alternas fuera de esa zona.

La Ciudad de Monterrey, N.L. y su área metropolitana son actualmente abastecidos de diversas fuentes de suministro como son: El Campo de pozos Mina, Sistema Santa Catarina (Campo de pozos Buenos Aires y galería La Huasteca), Sistema Santiago I (galería Cola de Caballo y San Francisco), Campo de pozos Monterrey-Topo Chico, Sistema Santiago II (presa La Boca), Sistema Regional Linares-Monterrey (presa Cerro Prieto) y Sistema China-Monterrey (presa El Cuchillo). De estas fuentes de suministro se tienen aportaciones que logran una oferta total de  $9.32 \text{ m}^3/\text{s}$ . (de León, 1994).

En las sociedades modernas el número de litros por persona de consumo medio al día es de 40 a 50 litros, para usos doméstico e higiénico, hasta 500 litros si se cuentan los usos doméstico e industriales (Thema, 1998). Por otra parte, para el Noreste de México, se ha estimado una dotación diaria media per cápita de 370 litros que incluyen el uso doméstico y municipal (220 litros) e industrial (150 litros)(CAPDM en de León, 1998).

En base al último censo poblacional realizado en 1995 por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática/INEGI, que reporta 3,022,268 habitantes en la ciudad de Monterrey, si esto lo relacionamos con  $0.370 \text{ m}^3$  per cápita de agua, la demanda es de  $14.73 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que significa un déficit de  $5.41 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El problema de la escasez de agua se debe a la prolongada sequía de varios años y al clima extremoso que posee la región. Para tratar de resolverlo es necesario conocer primeramente la situación geológica e hidrogeológica de la zona en estudio, para así poder realizar una evaluación de los acuíferos que existan.

Otro problema muy importante debido a esta prolongada sequía, es la situación ganadera y agrícola, ya que al no tener precipitaciones pluviales las cosechas son casi nulas y el ganado en sus diferentes tipos sufre grandes pérdidas.

Un aspecto de gran importancia es la contaminación que se emite a través de la planta de tratamiento de aguas residuales, basurero municipal y desechos clandestinos de basura, actividad urbana y utilización de fertilizantes en los cultivos, ya que todos los desechos se infiltran en las rocas debido al fracturamiento llegando a contaminar el Río Pílon, así como el extenso acuífero de gravas localizado hacia la parte Noreste del área estudiada entre Montemorelos y General Terán.

## **CAPITULO 2**

# **FISIOGRAFÍA**

### **2.1 Localización**

En el Noreste de México, el área de estudio queda comprendida dentro de los paralelos 25°20'00" y 24°55'80" de latitud Norte y 99°59'90" y 99°34'60" de longitud Oeste, contando con un área aproximada de 961 km<sup>2</sup>, quedando ubicadas dentro de ella, las poblaciones de Montemorelos y General Terán, pertenecientes al Estado de Nuevo León (Fig. 1).

Los límites del área de estudio son al Noroeste con Congregación Calles y el arroyo Garrapatas, al Sur con el río Potosí-Cabezones, al Este con la continuación del valle en las localidades de Santa Rosa, Loma Alta, Los Viveros, etc., y al Oeste lo forma el frente de la Sierra Madre Oriental, la cual tiene una orientación de Noroeste-Sureste.

### **2.2 Vías de Acceso**

Esta zona cuenta con un buen sistema de vías de acceso o de comunicación, siendo el eje principal la Carretera Federal 85 (México-Nuevo Laredo), la cual cruza el Estado de Norte a Sureste, comunicando desde Nuevo Laredo con el Sureste del Estado y de ahí con Tamaulipas y el Golfo de México.

Entroncando a esta carretera, se tiene la Carretera Estatal 48 (Montemorelos-China), la cual corre de Suroeste a Noreste, y que a su vez se conecta con la autopista Monterrey-Reynosa.

Existe también la carretera que comunica a la población de Rayones, N.L., con la localidad de La Palma, en el entronque con la Carretera Federal 85.

El área de estudio, es atravesada por la vía férrea que comunica las ciudades de Monterrey, N.L., con Tampico en dirección Noroeste-Sureste y en la ciudad de Montemorelos cambia de dirección hacia el Noreste.

Desde la Carretera Federal 85, hay una gran cantidad de caminos vecinales y brechas que intercomunican a gran cantidad de ejidos y la región (Fig. 2), estos caminos son transitables durante casi todo el año y solamente se interrumpe el tránsito cuando hay fuertes y prolongadas lluvias.

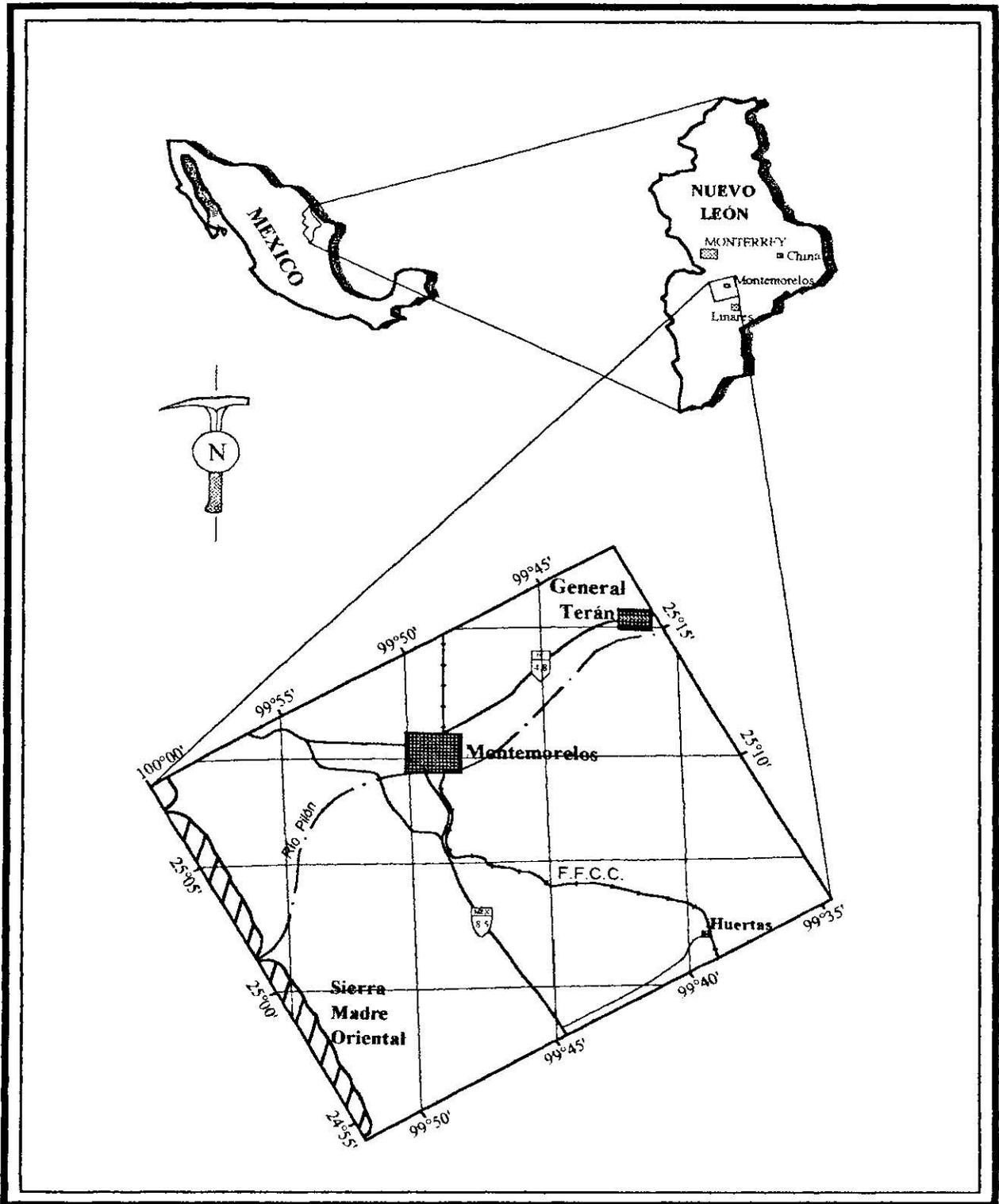


Fig. 1 Plano esquemático de localización del área de estudio.

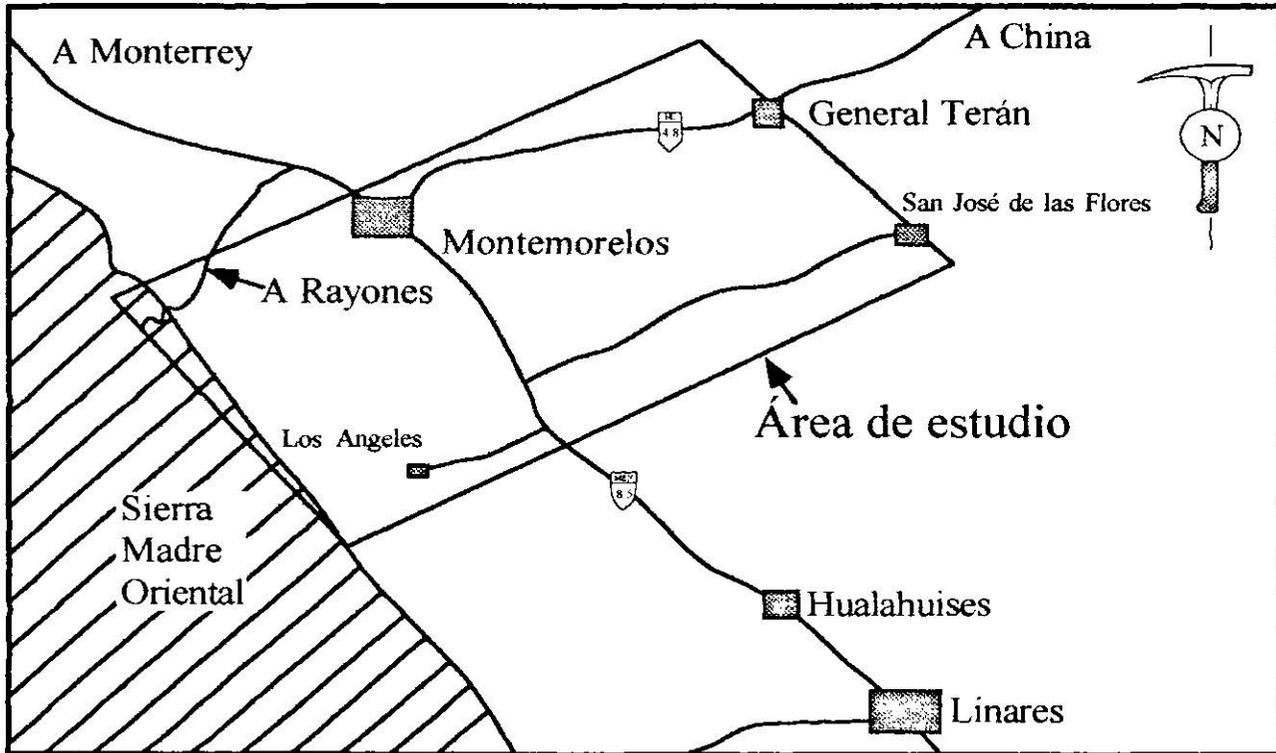


Fig. 2 Esquema que muestra las vías de acceso al área de estudio.

### 2.3 Clima y Vegetación

De acuerdo con la Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León (1986), en el área de estudio se tiene un clima semiseco muy cálido con lluvia en verano, donde la precipitación media anual es de 500-700 mm, y los rangos térmicos medios tienen un valor mayor de 22°C (Fig. 3).

La mayor cantidad de precipitaciones es de 160-170 mm, y se registra en el mes de Septiembre, mientras que la menor cantidad de precipitaciones es de 10-15 mm, y se registra en el mes de Marzo.

Los meses más cálidos son Junio, Julio y Agosto, con una temperatura media mensual que oscila entre 27-28°C; y el mes más frío es Enero, con una temperatura media menor a 15°C.

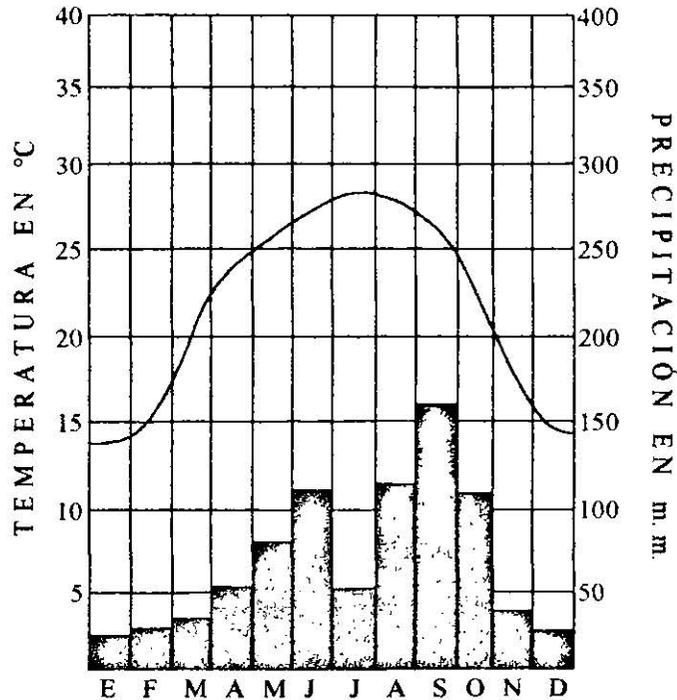


Fig. 3 Figura que muestra la Precipitación y Temperatura de la estación meteorológica de Montemorelos, modificado de INEGI, 1986.

En lo que se refiere a agricultura, en el área de estudio se produce maíz, trigo, sorgo, frijol, cebada, tomate, chile, repollo, zanahoria, lechuga, pera, así como algunas variedades de cítricos que son la principal cosecha para esta zona como son naranja, toronja y mandarina principalmente.

El tipo de vegetación que domina es el matorral submontano. Otro tipo de vegetación común es el matorral espinoso, conformado por arbustos altos de tallo claro que, frecuentemente presentan índices elevados de densidad en su distribución (INEGI, 1986).

Algunos tipos de vegetación presentes en el área son los pertenecientes a las leguminosas como Huizaches (*Acacia sp*), Mezquite (*Prosopis glandulosa*), Retama (*Cassia*), Uña de Gato (*Prosopis*), etc. Otras son las pertenecientes a las cactáceas como Nopales (*Opuntia sp*), Órganos (*Cereus*), Biznagas (*Echinocactus*), etc.

Es de mencionarse que los anteriores géneros son más abundantes en la planicie, ya que en la Sierra Madre Oriental existen otras variedades de vegetación como Pinos (*Pinus*), Sabinos (*Taxodium*), Álamo (*Populus sp*), Encino (*Quercus*), Laurel (*Litsea*), Sauce (*Salix*), Palma (*Yucca*), Maguey (*Agave*), Lechuguilla (*Agave lecheguilla*), etc. (Navarro, 1959).

En las partes bajas e inicio de los valles donde se interdigitan sedimentos aluviales con rocas arcillosas muy alteradas y fracturadas, se ubica una vegetación de gran desarrollo de matorrales y arbustos de hoja pequeña (gobernadora, uña de gato, huizache, yerbaniz, etc.) que indican suelos con baja permeabilidad y evapotranspiración en porcentajes elevados.

En las partes media o alta de la Sierra en donde se tienen rocas calizas fracturadas, con permeabilidad alta, existen bosques de encino-pino, con otros arbustos, formando una comunidad vegetal densamente poblada, comprobándose una disminución en la temperatura media y un aumento en la lluvia hasta de 900 mm/año aproximadamente, con estos parámetros se estima que el incremento en las precipitaciones coincide con afloramientos de rocas permeables y vegetación densa, factores que reducen el escurrimiento y se propicia la recarga acuífera.

En el curso de las corrientes permanentes se origina un bosque que sigue sus márgenes, predominando álamos, sauces y mezquites, con arbustos desarrollados.

## **2.4 Hidrología**

Desde el punto de vista hidrológico, el área estudiada queda comprendida dentro de la región hidrológica (RH24), la cual pertenece a la cuenca del río Bravo-San Juan (CNA, 1991).

Los ríos que se encuentran en el área de estudio, generalmente nacen en la Sierra Madre Oriental y drenan con dirección SE-NE, lo cual origina corrientes de tipo consecuente debido a que el rumbo tectónico regional tiene una dirección NW-SE.

El río principal en el área de estudio es el río Pílon, el cual conserva suficiente caudal durante todas las estaciones del año, interrumpiéndose solamente cuando existen prolongados períodos de estiaje, y sus principales afluentes son el arroyo El Encadenado y el arroyo Mohinos. Este río desemboca en la Presa El Cuchillo y finalmente en el Golfo de México.

El tipo de red fluvial en el área es de tipo *dendrítico*, característico en zonas donde no hay rasgos estructurales dominantes; también se presenta el tipo de red fluvial *rectangular*, debido al sistema de diaclasas tan marcado dentro de la Fm. Méndez, con una dirección predominante de NE-SW.

## **CAPITULO 3**

# **GEOLOGÍA**

### **3.1 Metodología Geológica**

Para tener una base de la situación geológica y tectónica del área, se observaron fotografías aéreas a escala 1:50,000 recabando información de la geología del área, del fracturamiento regional (fotolineaciones) y de la tectónica regional que se tiene en la zona.

Se realizó una cartografía geológica 1:50,000 para revelar la situación geológica del área, medir y registrar los contactos litológicos existentes del Jurásico Medio y Superior, Cretácico, así como del Terciario y Cuaternario.

La elaboración de perfiles geológicos nos permite tener una visión más amplia del área de estudio pero a la profundidad, conociendo el espesor real de los sedimentos y el comportamiento estructural de las diferentes unidades litológicas.

Elaboración de una carta estructural a escala 1:50,000, donde se colocan todas las estructuras localizadas, así como sus discontinuidades geológicas (fallas y fracturas) las cuales son muy importantes para contemplar el comportamiento del agua subterránea, colocando también rumbos y buzamientos así como pliegues.

Para la realización de todos los elementos estructurales se utilizó la brújula Breithaupt, haciendo levantamientos con un distanciamiento de aproximadamente tres kilómetros, esto debido a que el área de estudio es muy extensa y el trabajo es de manera regional.

En cada punto visitado, se tomaron aproximadamente 100 mediciones del fracturamiento, y 10 mediciones de estratificación, esto para ver de manera regional o por zonas, el comportamiento de los acuíferos de acuerdo al de fracturamiento y al tipo de roca predominante en dichas zonas, así como también a las estructuras tectónicas.

### **3.2 Geomorfología**

Geomorfológicamente el área de estudio se encuentra ubicado dentro de dos zonas muy bien definidas dentro de la subprovincia de la Sierra Madre Oriental. La primera de ellas está constituida por sierras altas y plegadas, por lo tanto la segunda se caracteriza por lomeríos suaves los cuales tienen pendientes no mayores a los 50° y extensos valles, teniendo elevaciones desde 400 hasta 600 m.s.n.m.

La segunda zona es la de mayor predominancia en el área de estudio, en donde no se sobrepasan los 200 metros de alturas en su topografía, teniendo dos unidades principales. La unidad constituida por lomeríos suaves, los cuales están formados por rocas arcillosas del Cretácico Superior (Fm. Méndez), en donde descansan discordantemente materiales conglomeráticos del Terciario, por lo cual presenta un aspecto de mesetas por la alta resistencia a la erosión de estos. Otra unidad constituida por las partes mas bajas y planas que forman los valles y las planicies, la cual está compuesta principalmente por material transportado (Aluviones).

En los lomeríos suaves con llanuras que forman la mayor parte del área de estudio, existen asociaciones de suelos dominadas por rendzinas y por xerosoles háplicos, cálcicos y lúvicos, profundos y de color claro.

### **3.3 Geología Regional**

Geológicamente el área de estudio se encuentra localizada dentro del NE de México por la subprovincia de la Sierra Madre Oriental.

### **3.3.1 Sierra Madre Oriental**

La Sierra Madre Oriental está constituida principalmente por rocas sedimentarias del Mesozoico, que descansan sobre un basamento Precámbrico y Paleozoico (Morán-Zenteno, 1984).

Los sedimentos de la Sierra Madre Oriental fueron plegados y cabalgados por los esfuerzos de la Orogenia Laramide durante el Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano (Padilla y Sánchez, 1985).

Con el nombre de Sierra Madre Oriental se designa a una cadena montañosa de origen estructural, formada por una serie de plegamientos alargados, orientados al NNW-SSE, que se extienden desde el SW de Monterrey, Nuevo León, hasta Teziutlán, Puebla, donde son interrumpidos en la superficie por derrames ígneos del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM). La longitud de la Sierra Madre Oriental es de aproximadamente 600 kilómetros, con una amplitud promedio de 80 kilómetros. Se encuentra limitada al Este por la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo; al Sur por el Cinturón Volcánico Mexicano; y al Oeste por el Altiplano Mexicano. La Sierra Madre Oriental es una provincia geomorfológicamente muy bien definida, con altitudes de hasta 3000 metros, aunque el promedio de altitud es de 2000 m.s.n.m., que consiste de plegamientos de rocas sedimentarias marinas, cuya edad va desde el Paleozoico al Eoceno superior (López Ramos, 1982).

También se considera dentro de esta subprovincia la zona que comprende los lomeríos suaves en el frente de la Sierra Madre Oriental, con afloramientos de roca que pertenecen al Cretácico Superior y consisten de lutitas y areniscas de las formaciones Méndez y San Felipe, las cuales están sobreyacidas en forma discordante por el Conglomerado Reynosa del período Terciario y potentes espesores de rocas areniscas de las formaciones de este período. Los depósitos mas recientes, corresponden al Cuaternario y están constituidos por materiales de aluvión, que cubren los valles y llanuras en un amplia zona del área. Las estructuras que se detectan son numerosos pliegues de pequeñas dimensiones y abundante fracturamiento.

### 3.4 Geología del área de estudio

El área de estudio queda comprendida entre extensos valles con lomeríos suaves, en los cuales se encuentran aflorando rocas del Cretácico Superior (Fm. Méndez) y sedimentos conglomeráticos y aluviales del Terciario y Cuaternario en su mayor parte en la subprovincia de la Sierra Madre Oriental y hacia el Este afloramientos de rocas Jurásicas y Cretácicas, pertenecientes a esta misma subprovincia.

El rumbo preferencial de las capas es principalmente NW-SE, teniendo en casi toda el área una sucesión de pliegues recumbentes con un buzamiento hacia el SW (Fig. 4).

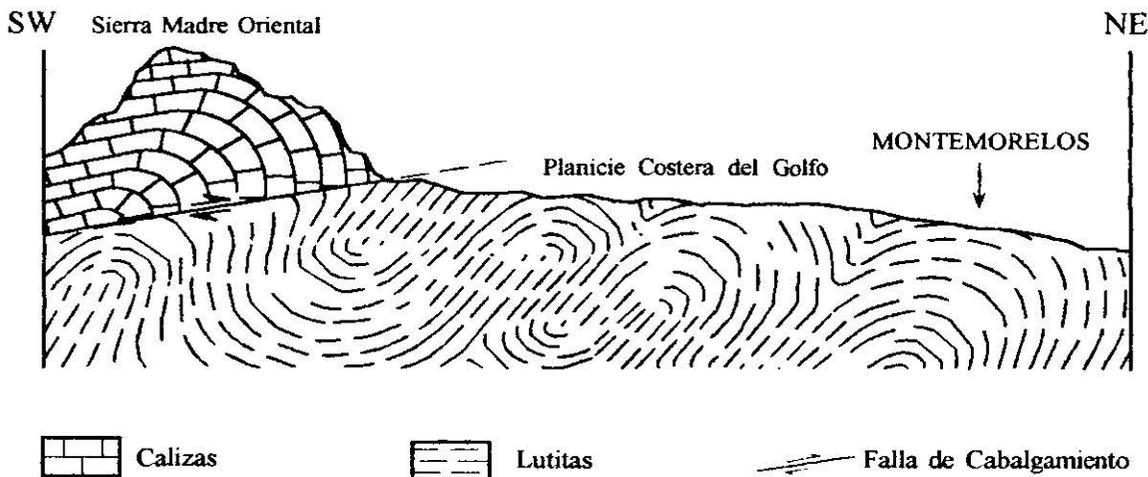


Fig. 4 Sección geológica esquemática de la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera del Golfo. Se puede observar una serie de plegamientos con buzamiento hacia el SW y falla de cabalgamiento, producto de los esfuerzos durante la Orogenia Laramídica.

Un rasgo muy significativo en el área de estudio es el cabalgamiento encontrado en la zona frontal de la Sierra Madre Oriental, observándose en la carretera que corta la Sierra Madre con dirección hacia Rayones, N.L., donde se localiza el contacto de rocas del Jurásico Superior (Fm. Zuloaga) y rocas del Cretácico Superior (Fm. Méndez).

El basamento para el área de estudio está compuesto de intrusiones ígneas de composición granítica a granodiorítica, de acuerdo a información recopilada de los pozos Terán # 1, Trincheras # 1 y Linares # 1, realizados por Petróleos Mexicanos (PEMEX) entre los años 1962 a 1976 durante su proceso de exploración.

El Pozo Terán # 1, localizado al Este del centro de población de General Terán, N.L., tiene una profundidad total de 1443.0 metros, localizándose este cuerpo de composición granodiorítica a una profundidad de 1395.0 metros.

Correlacionando esta información el Pozo Trincheras # 1 localizado a un costado de la Presa Cerro Prieto en Linares, N.L., presenta este mismo cuerpo de intrusiones ígneas, pero en este caso de composición granítica, localizado a una profundidad de 1162.0 metros con un total perforado de 1190.0 metros.

Como en los pozos anteriores, el Pozo Linares # 1 localizado entre los límites estatales entre Nuevo León y Tamaulipas, presenta también este mismo cuerpo intrusivo de composición granítica a una profundidad de 2612 metros, con un total de perforación de 2670 metros.

En el pozo Trincheras # 1 el intrusivo compuesto de granito de biotita, se encuentra mas cercano a la superficie que los pozos Terán # 1 y Linares # 1, debido a la existencia de un levantamiento, prueba de ello es que se encuentran expuestas las rocas de la Fm. San Felipe, con un potente espesor de rocas arcillosas de la Fm. Méndez erosionado.

Madrid Solís A. (1976), consideró realizar algunos análisis radiométricos en algunas rocas de estos cuerpos ígneos, obteniendo para el Pozo Linares # 1 edades de  $234 \pm 8$  m. a. y para el Pozo Terán # 1 edades de  $184 \pm 14$  m. a.

De acuerdo a las características litológicas del complejo basal, se puede establecer que la mayoría de estas rocas corresponden a una facie orogénica, en donde los sedimentos de edad Pre-Mesozoica fueron afectados por movimientos tectogenéticos durante el Pérmico tardío y posteriormente por acomodo de bloques que formaron pilares y fosas en los tiempos Triásico Tardío-Jurásico Temprano (Madrid Solís, 1976).

### **3.4.1 Estratigrafía**

La secuencia estratigráfica en el área de Montemorelos y General Terán, se encuentra representada por rocas del Jurásico Medio y Superior (Fm. Zuloaga y Fm. La Casita), rocas del Cretácico (Fm. Taraises hasta Fm. Méndez), y rocas Terciarias y Cuaternarias (Conglomerados y Aluviones)(Fig. 5).

Estas formaciones presentan una distribución que tiene una relación directa con la morfología del área y con sus características litológicas, ya que las partes topográficamente altas corresponden a unidades resistentes a la erosión, mientras que las zonas planas o de valles están constituidas por unidades poco resistentes a la erosión o bien a sedimentos recientes, mostrándose según recopilación de algunos autores y descripción de campo de cada una de las formaciones siguientes:

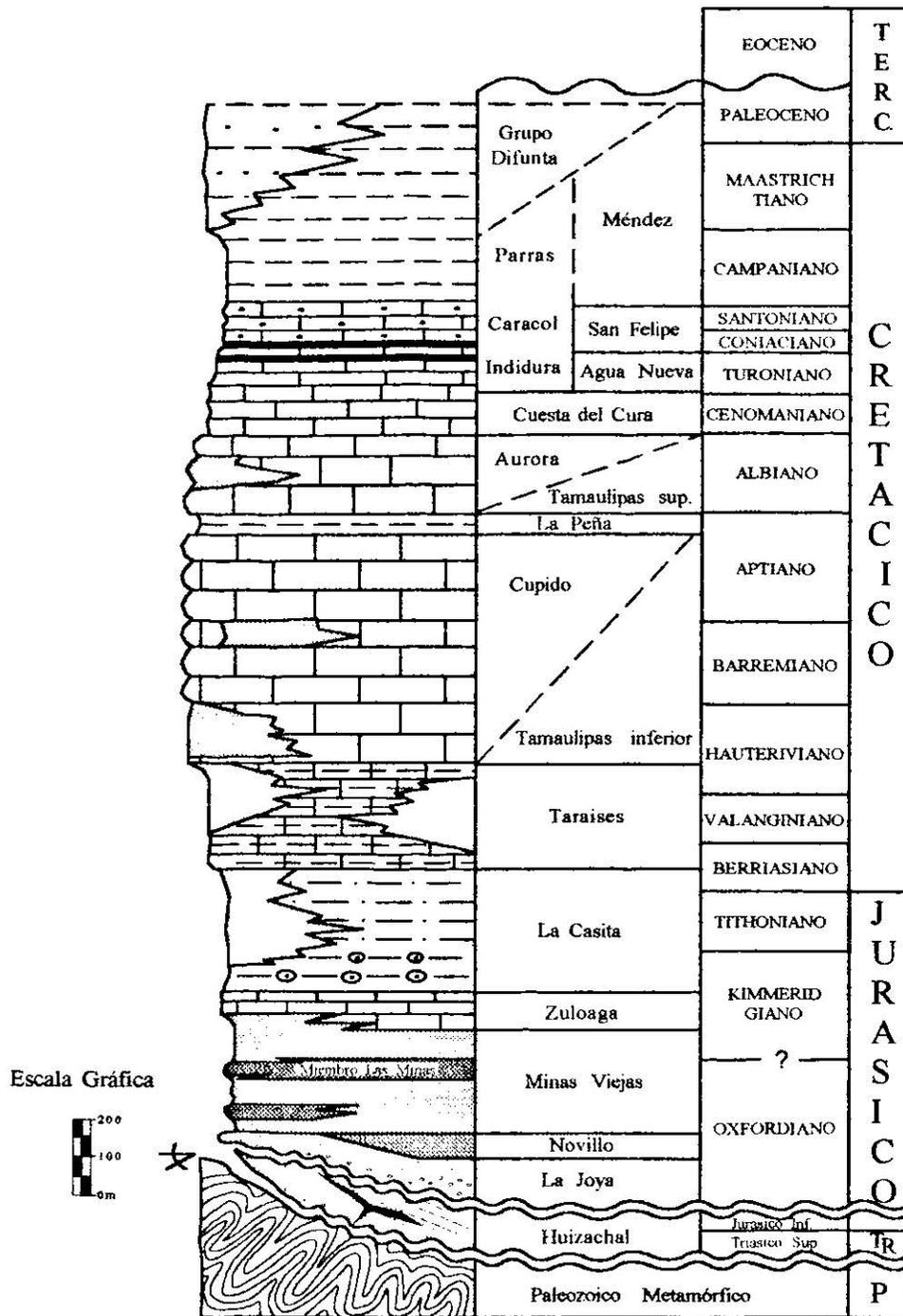


Fig. 5 Columna estratigráfica de la Sierra Madre Oriental mostrando la secuencia de rocas sedimentarias que descansan en un basamento de rocas metamórficas (Modificado de Michalzik, 1988).

### **3.4.1.1 Formación Zuloaga (Oxfordiano-Kimmeridgiano)**

Esta Formación fué definida por Imlay (1938), en la Sierra de Sombrerillo, localidad al Norte de Melchor Ocampo, Zacatecas. Describe una secuencia de entre 8 y poco más de 600 metros de calizas de estratificación delgada a mediana, con horizontes oolíticos. Las calizas de esta Formación fueron depositadas en un ambiente de plataforma somera, con escaso aporte de material terrígeno (López Ramos, 1982).

Regionalmente se conocen afloramientos de esta Formación en el Norte de Zacatecas, el Sureste de Coahuila, el Norte de San Luis Potosí, el Sur de Nuevo León, el Sureste de Tamaulipas, y en la región de la Huasteca, en el Noroeste de Veracruz y Oriente de Hidalgo (CFE, 1993).

En el área de estudio esta Formación presenta calizas de medianas a gruesas de color gris claro a rosáceas fuertemente fracturadas y karstificadas, lo cual dificulta en ocasiones el reconocimiento de los planos de estratificación. Se encuentran estructuras oolíticas, de hasta 0.5 centímetros de tamaño. Forma escarpes principalmente porque está en contacto con rocas arcillosas de la Formación Méndez (Foto 1) y forma acuíferos cársticos de mediano a gran potencial hidrogeológico, siendo las rocas de aportación hacia la zona de fracturamiento de las lutitas.

Su límite estratigráfico superior es concordante con la Formación La Casita al igual que su límite inferior con la Formación Minas Viejas, la cual en el área de estudio no se encuentra aflorando. Padilla y Sánchez (1982), reporta espesores de entre 8 y 600 metros para esta Formación en algunos perfiles.

La edad asignada a la Formación Zuloaga es Pre-Kimmeridgiano Tardío, según Padilla y Sánchez (1982). Götte (1990), le asigna una edad del Kimmeridgiano Medio, aunque Michalzik (1988), le asigna una edad dentro del Oxfordiano Superior.

Es correlacionable con las Formaciones La Gloria de la Cuenca de Parras, Coahuila, Santiago del Anticlinorio de Huayacocotla y Las Trancas al Suroeste de la Sierra Madre Oriental y Sureste de la Mesa Central (CFE, 1993).

SE

NW



Foto 1. Calizas gruesas fracturadas y karstificadas de la Formación Zuloaga en la carretera estatal No. 7, Montemorelos-Rayones, N.L. Sus coordenadas son N: 25°06'53" y W: 99°58'55"

#### **3.4.1.2 Formación La Casita (Kimmeridgiano-Berriasiano Inferior)**

Esta Formación fue definida por Imlay (1936) en el cañón La Casita, el cual se encuentra localizado a 16 kilómetros al Sur de General Cepeda, Coahuila. Con este nombre identificó a una secuencia compuesta de lutitas, lutitas negras fosilíferas, areniscas, areniscas conglomeráticas y calizas intercaladas. Los sedimentos de esta Formación son característicos de un delta, desde la planicie deltáica hasta la plataforma interdeltáica (Michalzik, 1988).

Según López Ramos (1982), la Formación La Casita aflora ampliamente en el Noreste de México, encontrándose en muchos lugares de la Sierra Madre Oriental, en el Anticlinorio Huizachal-Peregrina, y también fue reconocida en el cerro El Cuervo, cerca de Zaragoza, N.L.

En el área de estudio la Formación La Casita se compone de lutitas, algunas lutitas de coloraciones oscuras y miembros arenosos. Su color de intemperismo es café rosado a café claro y su color en muestra fresca es café oscuro a negro, en algunos casos rosa. En el área forma pequeñas depresiones porque a sus alrededores se encuentran potentes espesores de rocas calcáreas como lo son las formaciones Zuloaga y Taraises (Foto 2). Esta Formación se considera como un acuífero de bajo potencial.

Su límite estratigráfico superior es concordante con la Formación Taraises, así como también su límite inferior con la Formación Zuloaga. Padilla y Sánchez (1982) reporta espesores muy variables para esta Formación y van desde 100 a 800 metros.

Verma y Westermann, 1973 le asignan una edad a la Formación La Casita de Kimmeridgiano hasta el límite Tithoniano-Berriasiano. Padilla y Sánchez (1982) le asigna una edad de Kimmeridgiano Tardío a Tithoniano Tardío y que inclusive puede llegar hasta el Berriasiano. López Oliva (1989) sostiene que el límite de la Formación La Casita es hasta el Berriasiano Inferior.

Se correlaciona con las formaciones La Caja hacia San Luis Potosí y Pimienta en el Anticlinorio de Huayacocotla (CFE, 1993).

#### **3.4.1.3 Formación Taraises (Berriasiano-Valanginiano)**

Esta Formación fue definida por Imlay (1936) en el cañón Taraises, localidad situada en la parte Poniente de la Sierra de Parras, Coahuila. Se compone de dos miembros de calizas arcillosas de color gris con espesores de 30 a 60 centímetros ricas en ammonites, pero el miembro superior muestra incrustaciones arcillosas y nodulares. Los sedimentos de esta Formación fueron depositados en un ambiente infranerítico.

N

S

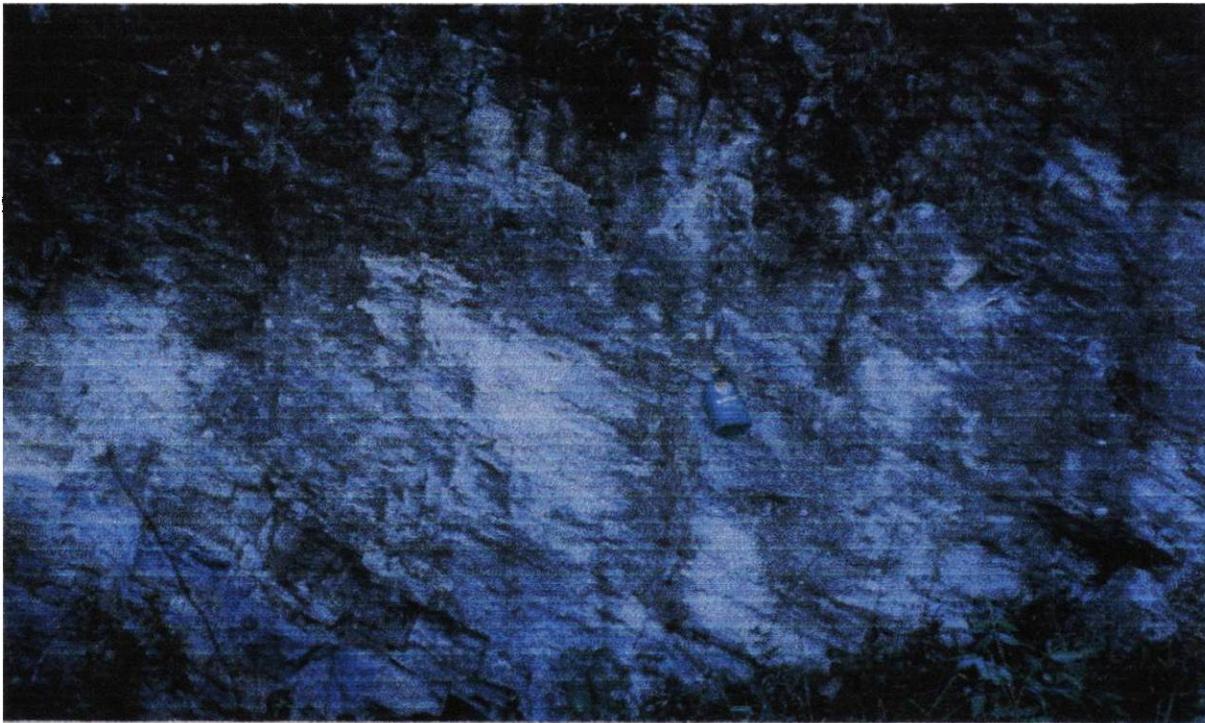


Foto 2. Lutitas color rosado de la Formación La Casita en la carretera estatal No. 7, Montemorelos-Rayones, N.L. Sus coordenadas son N: 25°06'43" y W: 99°59'02"

La Formación Taraises está distribuida principalmente en los ejes anticlinales, aunque también sinclinales dentro de la Sierra Madre Oriental, en algunos afloramientos aislados en la parte Norte del Anticlinorio de Huizachal-Peregrina al Noroeste de ciudad Victoria, Tamps., y en las faldas de la Sierra Vieja, al Suroeste de Bustamante, Tamps (CFE, 1993).

En el área de estudio la Formación Taraises está compuesta de una intercalación de calizas arcillosas fosilíferas, intercaladas con lutitas y areniscas fosilíferas. El color de la muestra intemperizada es gris café a gris claro, mientras que la muestra fresca es gris mas oscuro. Se encuentra localizada hacia la parte Noroeste del área, en el sinclinal encontrado en esa zona (Foto 3). Se presenta como un acuífero de bajo a mediano potencial hidrogeológico.

Su límite estratigráfico superior es concordante y transicional con la Formación Cupido, así como también su límite inferior con la Formación La Casita. Según De Cserna (1956) el espesor para esta Formación varía de 75 a 220 metros.

Padilla y Sánchez (1982) confirma una edad a la Formación Taraises del Berriasiano al Hauteriviano Temprano. López Oliva (1989) concluye una edad de Berriasiano Inferior (no basal) al Valanginiano Superior para un perfil realizado en la localidad tipo.

Se correlaciona con las formaciones Santuario y Guaxcamá de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, así como con la caliza Tamaulipas y con el cuerpo margoso Miquihuana (CFE, 1993).

#### **3.4.1.4 Formación Cupido (Hauteriviano-Aptiano)**

Esta Formación fue definida por Imlay (1937) en el cañón el Mimbres, localizado en la parte media de la sierra de Parras, Coahuila. Identificó a una secuencia de 300 metros de calizas gruesas de color gris. Se identificaron algunas facies dentro de esta unidad, como facies arrecifales, de talud de plataforma asociada a arrecife y de cuenca (Padilla y Sánchez, 1982).

Los sedimentos de esta Formación están ampliamente distribuidos, principalmente en las partes más abruptas y escarpadas de la Sierra Madre Oriental.

En el área de estudio la Formación Cupido fue identificada por presentar potentes espesores de calizas de color gris claro a gris oscuro. Además presenta algunos nódulos de pedernal, fracturas rellenas de calcita, marcas de disolución, Rudistas y marcas de presión (estilolitas), paralelas a los planos de estratificación. Una característica distintiva de esta Formación, es que forma los escarpes de mayor elevación dentro de la Sierra Madre Oriental, lo cual para el área se confirmó alcanzando estas rocas alturas de hasta 1980 m.s.n.m., en el cerro Rayón hacia el Noroeste del área. Se considera a las rocas de esta Formación como un gran acuífero cárstico de gran potencial hidrogeológico.

NE

SW



Foto 3. Calizas arcillosas, areniscas y lutitas carbonosas de la Formación Taraises, en la carretera estatal No. 7, Montemorelos-Rayones, N.L. Sus coordenadas son N: 25°06'41" y W: 99°59'05"

Su límite estratigráfico superior es discordante con la Formación Aurora, debido a una falla de cabalgamiento en el frente de la Sierra Madre Oriental, pero su límite inferior es concordante con la Formación Taraises. Según Padilla y Sánchez (1982), la Formación Cupido en el Noreste de México presenta variaciones de espesor desde 300 hasta 1000 m., asumiendo los grandes espesores a cambios de facies dentro de esta unidad.

Padilla y Sánchez (1982), asigna una edad a la Formación Cupido de Hauteriviano Superior al Aptiano Inferior. Humphrey (1949), le asigna una edad del Hauteriviano Superior al Aptiano, mientras que López Oliva (1989), identifica que su rango estratigráfico es del Hauteriviano Tardío al Aptiano Temprano.

Se correlaciona con las formaciones Barril Viejo y Tamaulipas Inferior hacia Coahuila y Tamaulipas, Guaxcamá y Ahuacatlán de San Luis Potosí, así como con la Taraises (CFE, 1993).

### **3.4.1.5 Formación La Peña (Aptiano Superior)**

Esta Formación fue definida por Imlay (1936) en la parte Occidental de la Sierra de Parras, Coahuila. Describió en la localidad tipo a calizas arcillosas y lutitas ricas en ammonites, con estratificación delgada a laminar. Esta unidad marca una interrupción en la depositación continua de carbonatos, debido a una profundización rápida del sustrato, donde las plataformas sumergidas se tornaron en zonas batiales y recibieron sedimentos arcillosos típicos de cuencas profundas, con un descenso en la precipitación de carbonatos (CFE, 1993).

La Formación La Peña está muy bien distribuida dentro de la Sierra Madre Oriental, donde una característica muy distintiva dentro de esta sierra, es de que forma depresiones. Ello está asociado a la composición litológica, gobernado por las potentes capas de calizas que la limitan, siendo estas mas resistentes a la erosión.

Dicha característica marca una orientación de la depresión controlada por el rumbo de las capas, distinguiéndose también un aumento en la vegetación por el alto contenido de arcillas en la unidad (Chávez, 1996).

En el área de estudio esta Formación no aflora, debido a los esfuerzos producto del cabalgamiento localizado en la zona.

Por su contenido fosilífero la Formación La Peña ha sido claramente establecida asignándole una edad de Aptiano Superior (Humphrey, 1949).

Se correlaciona con la Formación Otates de Tamaulipas, Ahuacatlán de Querétaro y San Luis Potosí, y con la parte superior de la Formación Guaxcamá de la Plataforma Valles-San Luis Potosí (CFE, 1993).

### **3.4.1.6 Formación Aurora (Albiano Inferior-Medio)**

Burrows (1910) definió esta Formación en el área de Cuchillo Parado, al Noreste de Chihuahua, donde forma una secuencia de 1500 metros de espesor de calizas medianas a delgadas, de color gris oscuro hasta negro. En 1949 Humphrey le designa el nombre formacional y la extiende a rocas que afloran en el Noreste del país. Las calizas de esta Formación fueron depositadas en un ambiente de cuenca (López Ramos, 1982), aunque Chapa Guerrero (1993), considera a esta Formación en el área de Chipinque como perteneciente a un ambiente post-arrecifal.

Esta Formación está ampliamente distribuida en las diferentes estructuras de la Sierra Madre Oriental.

En el área de estudio ésta Formación está constituida por potentes bancos de calizas, las cuales presentan estratificación mediana a masiva, con un color gris claro en muestra intemperizada y gris oscuro en muestra fresca, con nódulos y bandas de pedernal negro, además presenta estructuras de disolución y estilolitas. Forma escarpes en casi todos los afloramientos de la Sierra Madre Oriental (Foto 4). Se presenta como acuífero cárstico de gran potencial hidrogeológico.

Su límite estratigráfico superior es concordante con la Formación Cuesta del Cura, pero no así con su límite inferior con la Formación Cupido. Su espesor para la Sierra Madre Oriental es mayor a 250 metros. Longoria y Dávila (1979), describen para la Sierra de la Silla una secuencia de 162 metros de espesor.

Padilla y Sánchez (1982), le asigna una edad a la Formación Aurora de Albiano Inferior. López Ramos (1972), le asigna la edad de Albiano Inferior y Medio.

Se correlaciona con las formaciones Abra, Tamabra y Cuesta del Cura (CFE, 1993). López Ramos (1982), la correlaciona con la Formación Tamaulipas Superior, en la cuenca Tampico-Misantla, y con las calizas de la Formación Edwards y Glen Rose del Sur de Texas.

NE

SW



Foto 4. 10 Bancos de Calizas medianas a masivas de la Formación Aurora, en el cauce del Río Pilón sobre el antiguo camino a Rayones. Sus coordenadas son N: 25°02'32" y W: 99°56'10"

#### **3.4.1.7 Formación Cuesta del Cura (Albiano Superior-Cenomaniano Inferior)**

Esta Formación fue definida por Imlay (1936) en la localidad Cuesta del Cura, a 6 kilómetros aproximadamente al Oeste de Parras, Coahuila. Identificó una secuencia de calizas delgadas color gris de estratificación ondulada e irregular, con intervalos de capas arcillosas y abundantes bandas de pedernal negro. Estos sedimentos fueron depositados en un ambiente de cuenca profunda (López Ramos, 1982).

De la Formación Cuesta del Cura se conocen afloramientos en los estados de Nuevo León, Coahuila, San Luis Potosí, Tamaulipas, entre otros (CFE, 1993).

En el área de estudio esta Formación está representada por calizas de estratificación mediana a delgada, la cual es ondulosa e irregular con una intercalación de lutitas, lentes y bandas de pedernal de color negro. Las calizas presentan un color gris claro en muestra intemperizada a un color gris oscuro en muestra fresca. Aflora en el frente de la Sierra Madre Oriental (Foto 5) y se le considera que forma acuíferos de mediano potencial.

Su límite estratigráfico superior es concordante con la Formación Agua Nueva, así como también con su límite inferior con la Formación Aurora. Su espesor según CFE, 1993 es de hasta 300 metros en el Sur del Estado. López Ramos (1982), propone un espesor mínimo para el Cerro de la Silla de 65 metros.

López Ramos (1982), le asigna una edad a la Formación Cuesta del Cura de Albiano-Cenomaniano, aunque Stinnesbeck (1992) en Hernández (1995), le asigna una edad de Albiano Superior-Cenomaniano Inferior.

Se correlaciona con el miembro superior de la Formación Tamaulipas Superior en la Sierra de San Carlos, con las calizas el Abra de la Cuenca Tampico-Misantla, y con el grupo Ouachita que aflora al Sur de los Estados Unidos y dentro del llamado Golfo de Sabinas (López Ramos, 1982).

NE

SW



Foto 5. Calizas medianas a delgadas intercaladas con lutitas y bandas de pedernal de la Fm. Cuesta del Cura, sobre el antiguo camino a Rayones. Sus coordenadas son N: 25°02'30" y W: 99°56'02"

### **3.4.1.8 Formación Agua Nueva (Cenomaniano Superior-Turoniano)**

Esta Formación fue definida por Muir (1936), quien aplicó formalmente la denominación de Agua Nueva para dicha secuencia, cuya localidad tipo se encuentra en el cañón de la Borrega, cerca de la ranchería Agua Nueva, en el flanco Occidental de la Sierra de Tamaulipas, a unos 25 kilómetros de la estación de ferrocarril de Forlón, Tamps. Consiste de calizas laminares de color gris oscuro a negro y lutitas carbonosas. El ambiente de depósito para estos sedimentos es en una plataforma abierta (López Ramos, 1982).

La distribución de la Formación Agua Nueva es muy amplia en la Cuenca Tampico-Misantla y en la Sierra Madre Oriental (CFE, 1993).

En el área de estudio está constituida por calizas arcillosas y carbonosas de color gris claro y oscuro, en estratos tabulares que varían desde 5 hasta 50 centímetros de espesor, que se alternan con lutitas laminares del mismo color en paquetes de 5 a 20 centímetros de espesor, también presenta algunos horizontes de pirita diseminada. Aflora en las faldas de la Sierra Madre Oriental (Foto 6) y se le considera como acuífero de bajo potencial hidrogeológico.

Su límite estratigráfico superior es concordante con la Formación San Felipe, al igual que con su límite inferior con la Formación Cuesta del Cura. Su espesor varía entre 150 y 200 metros (López Ramos, 1982).

López Ramos (1982), le asigna una edad de Cenomaniano Superior-Turoniano.

Es correlacionable con la Formación Indidura en la Cuenca de Parras y La Sierra Torreón- Monterrey (Hernández, 1995).

NE

SW

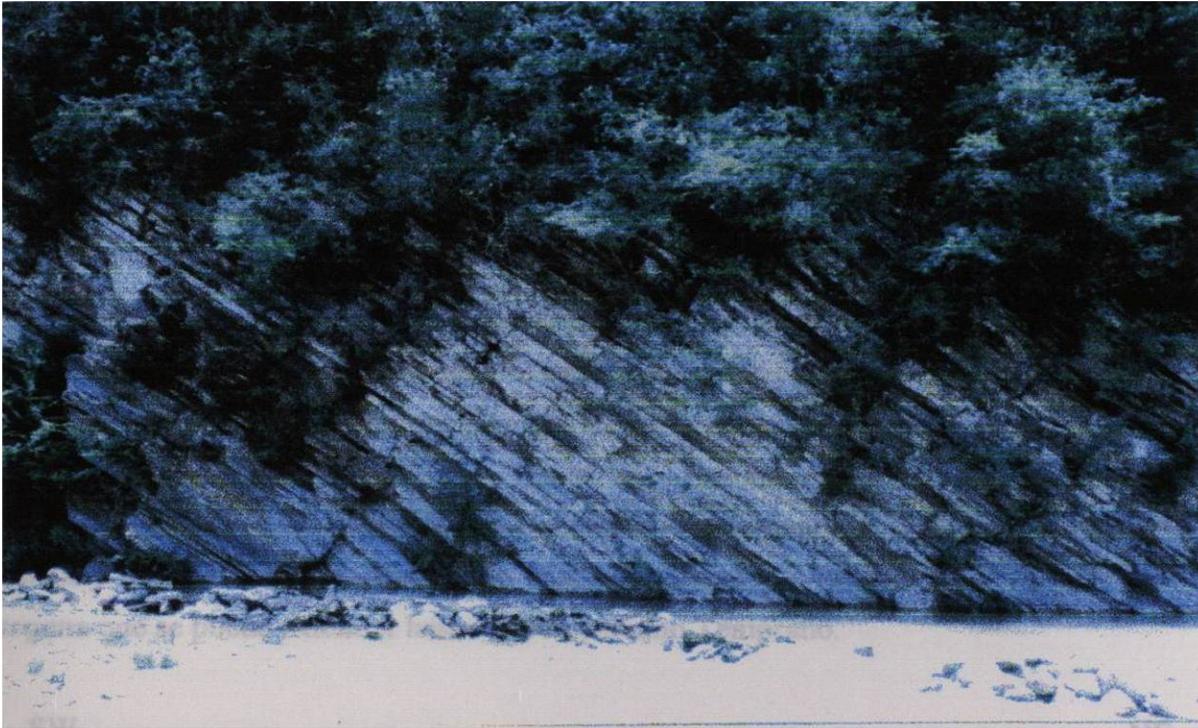


Foto 6. Calizas arcillosas alternadas con lutitas laminares de color gris de la Formación Agua Nueva, sobre el antiguo camino a Rayones. Sus coordenadas son N: 25°02'29" y W: 99°56'00"

#### **3.4.1.9 Formación San Felipe (Coniaciano-Santoniano)**

El primero en usar el término "San Felipe" fue Jeffreys (1910) y la nominación formal la hizo Muir (1936). Consiste en una secuencia de calizas bien estratificadas que se alternan con calizas bentoníticas de color gris con tonos verdosos. Su localidad tipo se encuentra en el km. 538.8 del ferrocarril Tampico-San Luis Potosí, en la ranchería San Felipe al Oriente de Ciudad Valles, S.L.P. Las rocas de la Formación San Felipe fueron depositadas en un ambiente de plataforma abierta, parecido al ambiente de depósito de la Formación Agua Nueva, solo que predomina más material terrígeno que carbonatado (López Ramos, 1982).

Esta Formación está muy bien distribuida en la Sierra Madre Oriental y en el subsuelo de la Llanura Costera del Golfo (CFE, 1993).

En el área de estudio la Formación San Felipe está constituida por calizas arcillosas de espesor delgado a mediano de color gris claro y verdoso, con horizontes de color gris oscuro a negro. Estas calizas se intercalan en algunos lugares con calizas arenosas o calizas silicificadas, que en general están interestratificadas con lutitas y bentonitas de color gris verdoso. Aflora en las faldas de la Sierra Madre Oriental (Foto 7) formando acuíferos de bajo potencial hidrogeológico.

Su límite estratigráfico superior es concordante con la Formación Méndez, al igual que su límite inferior con la Formación Agua Nueva. Su espesor en el Noreste de México va desde 100 hasta 400 metros (López Ramos, 1982).

La edad para esta Formación es Coniaciano-Santoniano, según López Ramos (1982). Galicia y Cano (1990), proponen una edad de Coniaciano-Santoniano y Aguilar (1984), propone que se puede extender hasta el Campaniano Temprano.

SW

NE



Foto 7. Intercalación de calizas arcillosas con calizas arenosas o silicificadas, lutitas y horizontes bentoníticos de la Formación San Felipe, en el cauce del río Pilon en el antiguo camino a Rayones.

Sus coordenadas son N: 25°02'34" y W: 99°55'43"

Se correlaciona con las formaciones Caracol (parte inferior), Indidura y Tamasopo (miembro superior), en la Vertiente del Golfo de México, así como también en las formaciones Mezcala y Soyatal en áreas adyacentes (CFE, 1993). También se puede correlacionar con la Formación Parras en la cuenca de igual nombre (Hernández, 1995).

#### **3.4.1.10 Formación Méndez (Campaniano-Maastrichtiano)**

Muir (1936) establece que el término “Méndez” fue usado por Jeffreys (1910), en un informe inédito, para una compañía petrolera; pero que fue De Goyler (1915) quien la definió formalmente con este nombre y designó como localidad tipo, a un afloramiento de capas duras de lutitas rojas de estratificación medianamente masiva, con exfoliación por intemperismo semiesferoidal abombado y algo plano y que se quiebra en fragmentos subangulares. La localidad tipo se encuentra a unos 300 metros al Este de la estación Méndez, sobre el km. 629 de la vía férrea Tampico-San Luis Potosí.

Galicia y Cano (1990), dicen que a esta Formación se le llamó primero “Lutita Papagayos”, hasta que Jeffreys se refirió a ella con el nombre de lutita Méndez. Su ambiente de depósito corresponde al de un mar somero, con un gran aporte de material terrígeno (López Ramos, 1982).

Esta Formación tiene una distribución muy amplia en el frente de la Sierra Madre Oriental, desde Monterrey, N.L., hasta la región de Córdoba, Ver., y en el subsuelo de la Planicie Costera del Golfo, entre los ríos Soto La Marina y Tecolutla (CFE, 1993).

En el área de estudio la Formación Méndez está representada por lutitas margosas, las cuales presentan una laminación de algunos milímetros de espesor y de color oscuro. El color de la muestra intemperizada se presenta de color claro y crema, y en algunas ocasiones verdosa, teniendo un color en muestra fresca de gris oscuro a gris claro. En algunas ocasiones se presentan estratos de menos de 20 centímetros de arenas margosas con una ligera laminación de color gris oscuro y en ocasiones fallas de empuje (Foto 8).

Se encuentra distribuida en gran parte del área de estudio, ya que está afectada por algunas fallas inversas y pliegues recumbentes (Navarro, 1959) y forma acuíferos de bajo potencial hidrogeológico.

La Formación Méndez presenta un fuerte fracturamiento en la parte superior como resultado de un intemperismo y a los esfuerzos a que fueron sometidas estas rocas, produciendo estructuras aciculares en forma de agujas, las cuales son conocidas como “almendrillas” (Hernández, 1995).

Su límite estratigráfico superior es discordante con sedimentos aluviales y conglomeráticos del Terciario y Cuaternario (Foto 9), mientras que con el límite inferior es concordante con la Formación San Felipe. Su espesor según CFE (1993), para el frente de la Sierra Madre Oriental es de aproximadamente 760 metros, aunque Longoria y Dávila (1979), le asigna un espesor para el Cerro de la Silla de 300 metros. Según la información de los pozos realizados por PEMEX en la zona (Linares # 1 y Terán # 1), esta Formación presenta espesores del orden de los 600 metros.

Tovar (1964), le asigna una edad de Campaniano-Maastrichtiano. López Ramos (1982), le asigna la misma edad, corroborando esta misma edad Sepúlveda (1998), en un corte realizado en el cerro de los Panteones en Linares, N.L.

La Formación Méndez es correlacionable con las formaciones Caracol y Cárdenas, hacia la zona de la Vertiente del Golfo de México, y con las formaciones Navarro y Taylor de los Estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí (CFE, 1993), y para la cuenca de Parras, se correlaciona con el flysh del grupo Difunta.

SE

NW

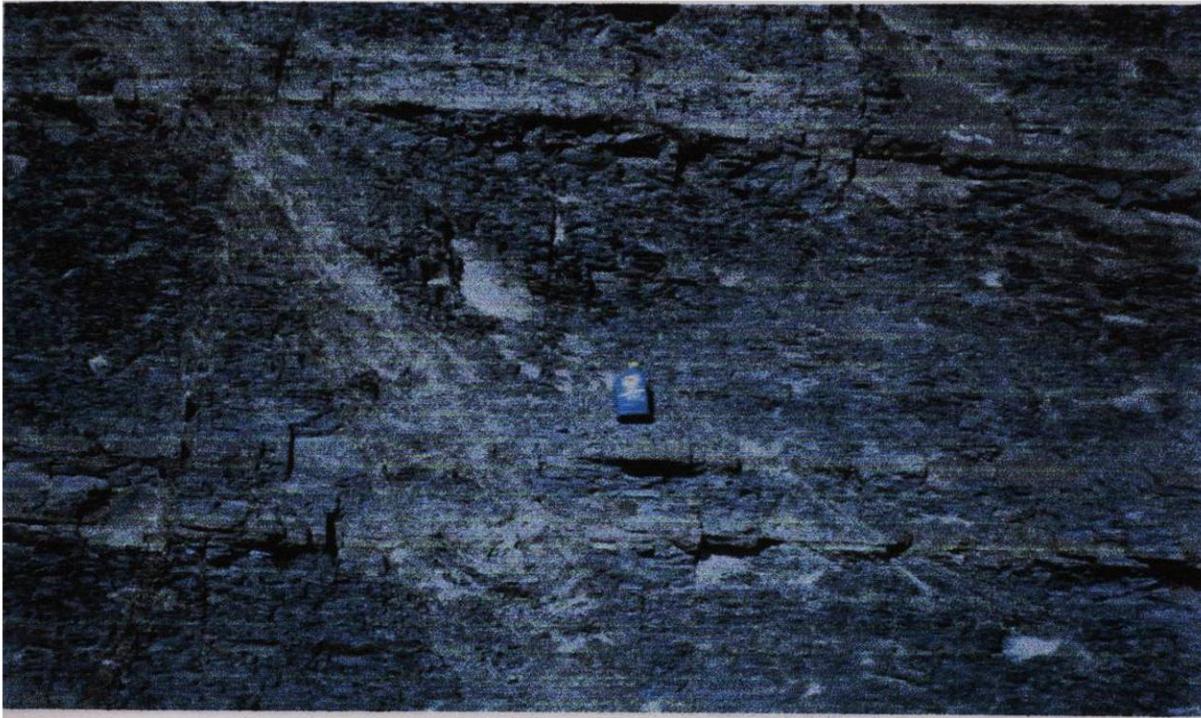


Foto 8. Lutitas y margas laminarias de la Formación Méndez, en la localidad de Loma Linda. Sus coordenadas son N: 25°05'27" y W: 99°47'52".

#### 3.4.1.11 Conglomerado (Terciario)

Esta Formación se encuentra sobreyaciendo de manera discordante a la Formación Méndez, y están formados por materiales de diferente composición, los cuales principalmente provienen de la Sierra Madre Oriental y son partículas de calizas, pedernal, areniscas y lutitas, las cuales presentan un grado de redondez, compactación y cementación bastante elevado, debido a que han sufrido un transporte muy considerable.

El cementante en este tipo de roca es de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), donde en ocasiones no se encuentra muy bien cementado; aunque en otras sí, con un rango granulométrico muy amplio que varía desde algunos milímetros, hasta aproximadamente 30 cm (Foto 9).

SE

NW



Foto 9. Contacto discordante entre la Formación Méndez (Km), con la Formación Reynosa (?), en el antiguo camino a Rayones. Sus coordenadas son N: 25°05'36" y W: 99°54'31"

En este grupo se engloban los materiales clásticos de origen continental, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en el área de estudio, formando una morfología de mesetas, tanto en las planicies de la Llanura Costera del Golfo como en los valles intermontanos de la Sierra Madre Oriental. Según SARH, 1984, el espesor de esta Formación es de 15-40 metros.

Estos conglomerados tienen un contacto irregular y erosivo sobre la Formación Méndez. La posición y la litología de dichos conglomerados nos indica antiguos depósitos del lecho de algún río, estos depósitos actualmente forman un relieve invertido, debido a las diferentes resistencias a la erosión entre los materiales arcillosos de la Formación Méndez y las gravas calcáreas del conglomerado (Sepúlveda, 1998).

El origen de los Conglomerados hace suponer que se debió a una erosión rápida de las Sierras cercanas, sin intemperismo prolongado y sin soterramiento rápido después de un corto transporte, y depositado por corrientes de agua turbulentas en diferentes etapas.

Existen muchas semejanzas de este conglomerado en el área de estudio con la Formación Reynosa, la cual fue definida por Penrose (1890), como un conjunto de cantos rodados de calizas del Cretácico y cementadas por Carbonato de Calcio. Navarro (1959), prolonga a la Formación Reynosa hasta la zona de Montemorelos, N.L., asignándole una edad del Plioceno, pero sin embargo en este trabajo no se encontraron los suficientes argumentos para asignarle el nombre de Formación Reynosa. Posteriormente López Ramos (1982), interpreta a esta Formación como de un ambiente de depósito continental, compuesto por gravas, arenas y arcillas con terrazas de material yesífero, que probablemente fueron depositados por ríos y arroyos caudalosos, en forma de grandes abanicos aluviales sobre la superficie del Mioceno. Por su parte Ruiz (1992), define a esta cuerpo de conglomerado como la Terraza (T<sub>5</sub>), en una clasificación que propone en la zona que comprende el frente de la Sierra Madre Oriental, cerca de Linares, N.L.

#### **3.4.1.12 Conglomerado (Cuaternario)**

Esta unidad conglomerática está constituida por fragmentos de roca de características similares a los que forman la unidad de conglomerados del Terciario, aunque difiere de ésta únicamente por el grado de compactación y por su expresión morfológica, pero no estrictamente.

Aflora en la parte Noreste del área sobre el acuífero de gravas, localizado entre Montemorelos y General Terán, N.L., y que se extiende hacia los ranchos California y Caravana. Según Rivera (1994), el espesor de este conglomerado hacia la zona de Caravana es de hasta 25 metros.

Según la clasificación de Ruiz (1992), este conglomerado correspondería a la Terraza T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, constituyendo los principales acuíferos explotables para el Noreste de México.

### **3.4.1.13 Aluvión (Cuaternario)**

A través del tiempo geológico, durante el levantamiento de la Sierra Madre Oriental y la subsidencia de la Llanura Costera del Golfo, una gran cantidad de sedimentos fueron erosionados y depositados, debido a que la pendiente del terreno provocó que los escurrimientos superficiales (ríos y arroyos), con una alta velocidad de flujo erosionan profundamente a las rocas que estaban emergiendo de la profundidad durante la revolución Laramídica (Meiburg, 1987).

Al originarse cambios topográficos o incluso cambios climáticos en la región, proporcionaron grandes avenidas de los ríos o cambios de dirección de flujo, por lo que la secuencia normal de depositación, podía ser alterada originando cambios de facies de depositación (Galván Mancilla, S. M., 1996).

Cuando el cauce principal de un río es modificado debido a diferencias topográficas o grandes avenidas, los depósitos aluviales son erosionados. El material erosionado es depositado nuevamente, probablemente a un nivel de altura diferente de donde fue desprendido, formando diferentes mesetas o depósitos aluviales.

Para el área de estudio se encuentran grandes extensiones de depósitos aluviales, que forman para esta zona un importante acuífero de gravas.

La unidad que agrupa a los depósitos aluviales está constituida por arcillas, limos, arenas y gravas, que son producto de la erosión a la que se encuentran sometidas las rocas del lugar. Los clastos son de calizas, areniscas y pedernal, cuya granulometría cubre un rango muy amplio. Al pie de las sierras se han depositado gravas gruesas en cuerpos masivos, con algunos lentes de caliche. Las gravas y arenas rellenan los valles fluviales y los materiales más finos forman planicies aluviales, principalmente en las zonas de influencia de los ríos como el Pílon, en la parte Noreste del área que se extiende hacia General Terán. El espesor según Rivera (1994), es de 15 metros para la zona de la fracción Las Puentes de Gil de Leyva.

### **3.4.2 Geología Estructural**

El comportamiento geológico-estructural en el área de estudio, se debe principalmente a la dirección predominante de los esfuerzos producidos por la Orogenia Laramídica, la cual tuvo lugar durante el Maastrichtiano, Paleoceno y Eoceno Temprano (Meiburg, 1987).

Los datos estructurales de estratificación y diaclasamiento se tomaron en forma sistemática tratando de cubrir toda el área, medidos sobre rocas de la Sierra Madre Oriental, así como también en las lutitas de la Formación Méndez, en la Planicie Costera del Golfo.

Los datos de diaclasamiento se tomaron de manera de cubrir el área de estudio, tratando de realizar 100 mediciones por punto, y graficándolos en la red de Schmidt. En el caso de los datos de estratificación para obtener la representación del círculo máximo, y en el caso de los pliegues conocer la dirección y el ángulo de inmersión. En el caso de las diaclasas, para obtener la dirección preferencial del fracturamiento, así como el tipo de diaclasa para la localización dentro de la Formación Méndez de acuíferos explotables.

Las principales estructuras geológico-tectónicas en el área de estudio son el Sinclinal Rayón, el cabalgamiento localizado en la carretera rumbo a Rayones, N.L., el sistema de plegamientos recumbentes que se encuentran aflorando en toda la planicie, en lo que corresponde a la zona en estudio, pequeños anticlinales hacia la parte central del área y algunas fallas rellenas dentro de la Formación Méndez.

El Sinclinal Rayón es una estructura en cuyo eje se localizan las rocas de la Formación Cupido, teniendo en sus flancos mediciones de echados mayores a los 50°. Hacia el flanco Suroeste se tomaron mediciones promedio de 159°/55° NE, y hacia el otro flanco de la estructura mediciones promedio de 155°/59° SW.

Hacia la parte Occidental del área de estudio se localizó una falla de cabalgamiento, esto en el frente de la Sierra Madre Oriental en el corte de la carretera hacia Rayones, N.L. (Foto 10).

NW

SE

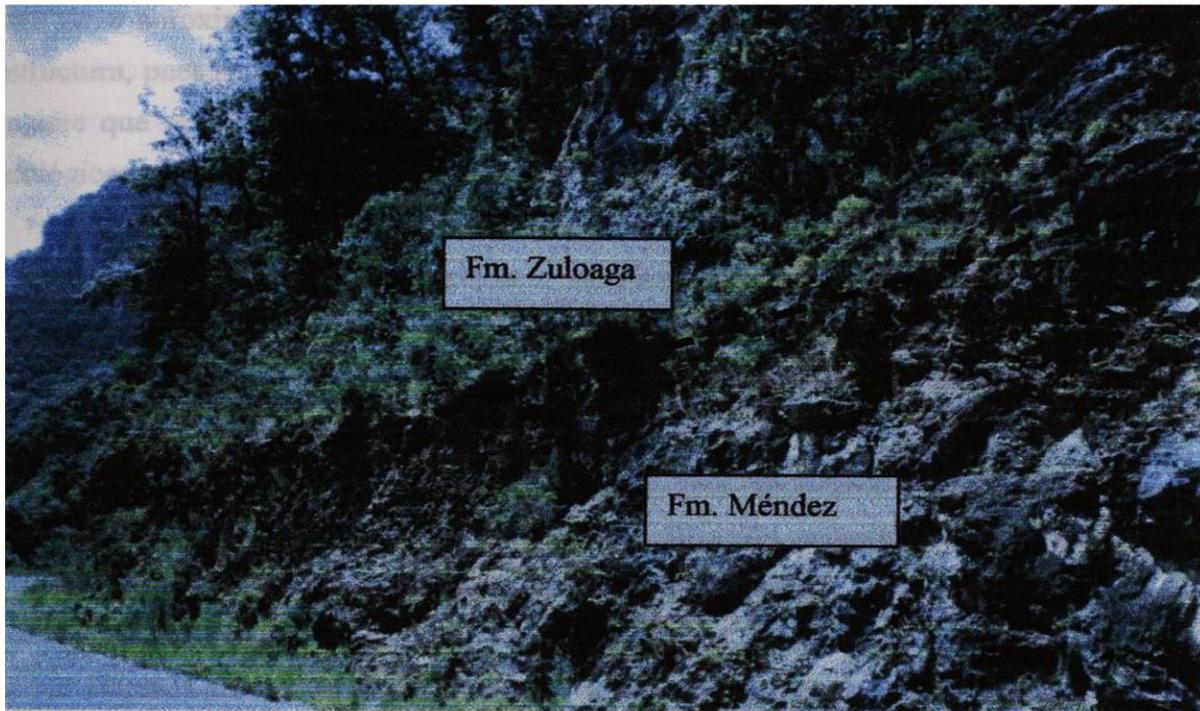


Foto 10. Falla de cabalgamiento, la cual pone en contacto rocas del Jurásico Superior (Formación Zuloaga) con rocas del Cretácico Superior (Formación Méndez), en la carretera estatal No. 7, Montemorelos-Rayones. Sus coordenadas son N: 25°06'51" y W: 99°58'54"

Esta falla tiene una orientación de 124° de NW-SE, donde pone en contacto discordante rocas del Jurásico Superior (Formación Zuloaga), con rocas del Cretácico Superior (Formación Méndez), continuando hacia el Noroeste donde hacia los límites del área, sufre una ruptura debido a un desplazamiento horizontal de tipo Sinistral (falla de rumbo), la cual tuvo un movimiento aproximado de 120 metros.

Dentro de la subprovincia de la Sierra Madre Oriental, las características generales del frente de la sierra para la zona citrícola son una serie de pliegues recumbentes al Noreste, cuyos ejes guardan una dirección de rumbo NW-SE (Navarro, 1959).

Al alejarse de la Sierra Madre Oriental en dirección Este, los esfuerzos que produjeron los plegamientos empiezan a perder su intensidad, y dentro de las lutitas y margas de la Formación Méndez, se observa una predominancia de echados hacia el Suroeste, que varían de 15° a 45° de inclinación.

Debido a que la Formación Méndez se extiende en casi toda el área de estudio, la cual tiene aproximadamente 35 km. de ancho, es ilógico suponer que se trate de una sola estructura, pues se necesitaría que la Formación Méndez tuviese ese espesor, por lo que se sugiere que se trata de una sucesión de pliegues dentro de la Formación (Ver secciones geológicas en el Anexo 2).

La Formación Méndez debido a su plasticidad característica, se encuentra muy deformada hacia las cercanías de la Sierra Madre Oriental, presentando una secuencia de pliegues recumbentes muy cerrados, los cuales se suavizan hacia la planicie.

Debido a este plegamiento se presenta una abundante foliación paralela a la estratificación, aunque también se presenta una foliación perpendicular, abundante en las partes de mayor flexión de los pliegues recumbentes cerrados.

Hacia la parte central del área (La Parrita) se encontraron unas estructuras pequeñas estructuras (pliegues), formando un Sinclinal y un Anticlinal. Para el Sinclinal se tienen mediciones promedio de uno de sus flancos de  $148^{\circ}/40^{\circ}$  SW y para el otro flanco (Oeste), mediciones promedio de  $145^{\circ}/85^{\circ}$  NE, con una inmersión de  $3^{\circ}$  al NW.

Para el Anticlinal de la Parrita, para uno de sus flancos se tienen mediciones promedio de  $145^{\circ}/85^{\circ}$  NE, y del flanco Oeste de  $143^{\circ}/33^{\circ}$  SW, con una inmersión de  $6^{\circ}$  al SE.

Existe otra estructura Anticlinal aproximadamente 4km. al Este del microondas localizado cerca de la estación del ferrocarril Palomas, el cual presenta en uno de sus flancos (Este) mediciones promedio de  $138^{\circ}/43^{\circ}$  NE y datos promedio del flanco Oeste de  $135^{\circ}/40^{\circ}$  SW, con una inmersión de  $8^{\circ}$  al SE.

En la entrada a Montemorelos frente a la gasera, se localizó otro Anticlinal, el cual para uno de sus flancos presenta mediciones promedio de  $150^{\circ}/71^{\circ}$  NE y para el otro flanco, de  $155^{\circ}/53^{\circ}$  SW, con un ángulo de inmersión de  $6^{\circ}$  hacia el NW.

Se detectaron algunas fallas con direcciones NW-SE, las cuales presentan rellenos de calcita con estrías producto de movimiento. Según el marco geológico regional sugiere fallas de tipo inverso debido a los esfuerzos al momento de la deformación. El rumbo y buzamiento de las fallas va de acuerdo a los planos de estratificación, teniendo en algunas fallas encontradas, mediciones de  $156^{\circ}/52^{\circ}$  SW en la zona de la Parrita, y  $151^{\circ}/49^{\circ}$  SW en la loma del microondas, otra localizada en San Isidro, hacia el Este del área con mediciones promedio de  $147^{\circ}/48^{\circ}$  SW.

### 3.4.2.1 Diaclasamiento

Este tipo de elemento estructural es repetitivo e intenso debido a la alta deformación absorbida por las diferentes unidades de roca. Sin embargo, la continuidad de estos planos se ve afectada por las variaciones litológicas que manifiestan diferentes grados de competencia hacia la deformación (Chávez, 1996).

Regionalmente el fracturamiento preferencial presenta un rumbo promedio de  $34^{\circ}$  con fracturas que llegan a medir hasta 4 km. de longitud. Este fracturamiento NE-SW, fue causado por esfuerzos de extensión hacia esta zona, debido a los esfuerzos principales en el levantamiento de la Sierra Madre Oriental (Fig. 6).

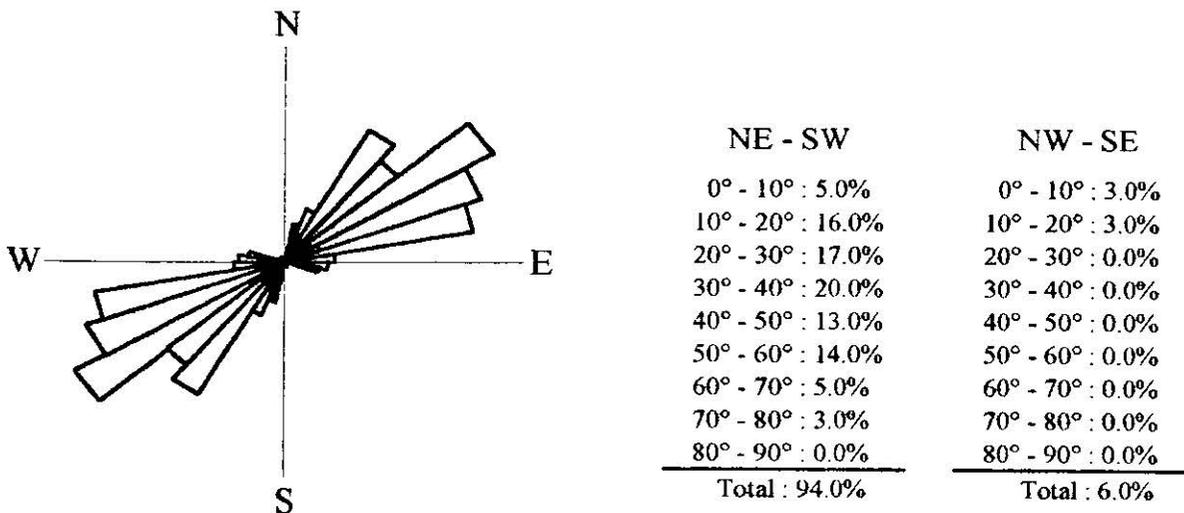


Fig. 6 Representación gráfica del fracturamiento a nivel regional, tomado de acuerdo a la interpretación de fotografías aéreas.

El diaclasamiento local que se detectó en el área de estudio es de dos tipos, uno es el de tipo *ac*, el cual mediante la deformación son los primeros en formarse, presentándose en forma perpendicular al eje de las estructuras tectónicas (Fig. 7). Estas diaclasas por formarse antes y durante la deformación, son más extensas y por lo tanto más profundas, por lo que para uno de los objetivos principales de este estudio, funcionan como caminos del agua subterránea, ya que las rocas donde se encuentran son paquetes impermeables de rocas arcillosas de la Formación Méndez. El otro tipo de diaclasas es el de tipo *bc*, las cuales se forman en un estado de relajamiento después de la deformación siendo paralelas al eje de las estructuras (Fig. 7). Para el objetivo de este estudio, estas diaclasas pueden fungir tanto como medio de transporte en las rocas, así como también un medio almacenador de agua, cuando no existe demasiada conexión entre los dos tipos de fracturas (*ac* y *bc*).

Se verificaron 22 puntos dentro del área, donde se tomaron en cada uno 100 mediciones de fracturamiento, esto porque esa cantidad de diaclasas son representativas para cada punto.

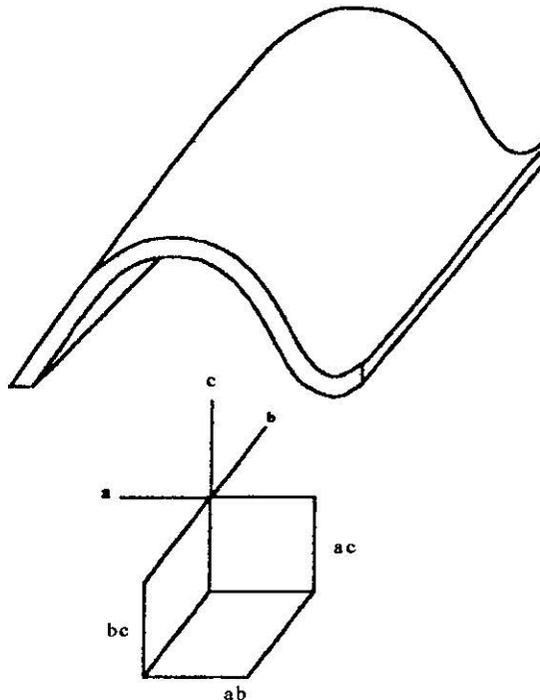


Fig. 7 Gráfica que muestra los dos tipos de diaclasas (*ac* y *bc*) con respecto al eje de un pliegue.

En toda el área de estudio el diaclasamiento de manera local es de rumbo NE-SW, o sea que predominan las diaclasas de tipo *ac*, aunque en algunos puntos el diaclasamiento de tipo *bc* se encontró en mayores cantidades que en otros.

La mayoría de los puntos visitados cuentan con más del 85% del tipo de diaclasa *ac* como predominante, y con menos del 15% de diaclasas *bc*, y esto se puede correlacionar con las fotolineaciones realizadas de manera regional en el área de estudio.

Para observar datos del círculo máximo del diaclasamiento y círculo máximo de estratificaciones, ver los estereogramas de Schmidt en el Anexo No. 3.

Las fallas detectadas en algunas zonas del área de estudio, son muy importantes desde el punto de vista hidrogeológico ya que el efecto hidráulico en estas fallas que van de acuerdo a la estratificación, es muy reducido hasta nulo (Werner, 1996).

La importancia de estas fallas radica en que como la estratificación tiene echados de hasta 50°, por lo tanto estas fallas tienen esos mismos echados. El fracturamiento preferencial es de tipo *ac*, el cual es perpendicular al eje de los pliegues, así que estas fallas sirven como una capa sello debido al aporte de agua que trae el fracturamiento *ac*.

Con lo anteriormente descrito, se propone que en los lugares anteriores a las fallas, con dirección hacia la Sierra Madre Oriental, son zonas factibles para la explotación del agua subterránea.

Punto	Coordenadas	% Sk:ac	% Sk:bc	Ss promedio
A	25°11'35" 99°53'49"	75	25	135°/40°SW
B	25°11'24" 99°48'47"	87	13	151°/30°SW
C	25°10'26" 99°50'05"	95	5	155°/53°SW
D	25°09'19" 99°53'44"	55	45	140°/78°SW
E	25°09'00" 99°55'37"	93	7	151°/57°SW
F	25°07'11" 99°58'28"	94	6	157°/60°SW
G	25°08'48" 99°50'32"	77	23	135°/40°SW
H	25°14'21" 99°40'26"	92	8	135°/27°SW
I	25°09'15" 99°47'58"	92	8	140°/35°SW
J	25°09'03" 99°48'54"	96	4	145°/40°SW
K	25°07'42" 99°49'00"	80	20	152°/42°SW
L	25°07'15" 99°48'17"	89	11	140°/26°SW
M	25°05'26" 99°47'42"	78	22	139°/40°SW
N	25°12'19" 99°44'40"	88	12	148°/34°SW
O	25°04'19" 99°47'14"	80	20	155°/46°SW
P	25°04'55" 99°42'46"	84	16	145°/43°SW
Q	25°04'02" 99°40'05"	75	25	151°/37°SW
R	25°02'54" 99°46'49"	93	7	145°/35°SW
S	25°00'39" 99°45'32"	76	24	141°/32°SW
T	25°00'39" 99°50'24"	88	12	139°/29°SW
U	25°04'26" 99°51'40"	80	20	147°/38°SW
V	25°02'30" 99°56'11"	90	10	146°/56°SW

Tabla 1. Tabla de porcentajes de los tipos de diaclasas encontradas en los puntos visitados.

## **CAPITULO 4**

# **HIDROGEOLOGÍA**

### **4.1 Metodología Hidrogeológica**

Se realizó un censo de aprovechamientos hidráulicos (pozos, norias y manantiales) en la zona de estudio, contando además con información de las cartas geológicas de DETENAL (1976), así como también del censo de pozos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/SARH (1986), distribuyéndolos de cierta manera para formar una carta regional.

Se realizó una carta piezométrica, donde se plasmaron los datos de niveles estáticos, alturas sobre el nivel del mar y coordenadas de acuerdo al geoposisionador (GPS) de los aprovechamientos disponibles y las bases de datos antes mencionadas, en un tiempo clave, aplicando el método del triángulo hidrológico en el Software Civil Cad.

Para la realización de la carta piezométrica, se tomaron datos de niveles estáticos con una sonda Solinst/50, de 50 mts de longitud y una graduación de .01 cm., midiendo en el lugar donde se encontraba el pozo, la altura sobre el nivel del mar con un altímetro digital marca Altitronic, el cual tiene un margen de error de 10 cm., y localizándolos sobre la carta de documentación de acuerdo a coordenadas medidas con el geoposisionador marca Magellan.

En el reconocimiento geológico realizado se detectaron dos tipos de acuíferos, el acuífero de gravas, el cual está localizado en los sedimentos aluviales y el acuífero de grietas, el cual se localiza en los sedimentos de la Formación Méndez.

#### **4.1.1 Instrumentos de Medición**

Los instrumentos más usados para medir el nivel del agua son las sondas eléctricas, formadas por dos conductores, que al hacer contacto con el agua cierran el circuito y hacen que se accione un amperímetro, o bien se encienda una luz.

Antes de iniciar con las tomas de mediciones, se debe comprobar el buen funcionamiento de la sonda y asegurarse de que las pilas estén en buen estado.

Es común, por el efecto de capilaridad, que se adhieran al electrodo algunas gotas, cerrando el circuito, aún antes de llegar al nivel estático; basta dar unas cuantas sacudidas a la sonda para que caiga el agua atrapada y se puedan realizar las mediciones correctas.

Otro de los instrumentos que se utilizaron es el Geoposisionador Magellan (GPS), el cual nos da la ubicación exacta por medio de satélites, y en base a coordenadas poder ubicar cada pozo medido en una carta de documentación.

La temperatura y las condiciones climáticas influyen mucho en las lecturas del Geoposisionador, ya que al tener malas condiciones climáticas, el tiempo de ceder la medición es un poco más largo.

El Altimetro de alta precisión se utiliza para medir las alturas topográficas de los brocales de cada pozo con respecto al nivel medio del mar, base para realizar la piezometría.

#### **4.2 Acuíferos**

Un acuífero es el medio rocoso en el cual se mueve el agua subterránea, conductor de dicha agua y como un medio de intercambio geoquímico (Werner, 1996).

La capacidad de un acuífero de almacenar agua está determinada por su porosidad y permeabilidad. La Porosidad es la parte o porcentaje del volumen de poros en un acuífero relleno de agua y la Permeabilidad es la capacidad de un acuífero de conducir agua.

Los acuíferos encontrados en el área de estudio se encuentran principalmente constituidos por paquetes de gravas y la parte superior de la Formación Méndez, la cual se encuentra muy fracturada e intemperizada, perteneciendo a un acuífero de tipo libre.

Un acuífero se considera libre cuando presenta como límite superior la superficie freática y como límite inferior una unidad impermeable. Este tipo de acuíferos funcionan como conductos abiertos y su espesor varía en el tiempo, con las fluctuaciones de la superficie freática (CNA, 1994).

El acuífero libre presenta ventajas y desventajas con respecto a los otros tipos de acuíferos (confinados y semiconfinados).

Un acuífero libre cede volúmenes de agua mucho mayores por cada metro de abatimiento del nivel del agua, así como también presenta mejores condiciones de recarga, por estar completamente abierto en su límite superior.

La gran desventaja con respecto a los demás acuíferos, es su alto nivel de susceptibilidad a la contaminación proveniente de la superficie del terreno, ya sea por infiltración directa de sustancias líquidas peligrosas y/o por lixiviación de materiales contaminantes localizados en la superficie del terreno, tales como fertilizantes, desechos sólidos (basura), etc.

Características principales del acuífero libre, según la CNA,(1994):

→ En su mayoría contienen agua sin presión, debido a que cuentan con una superficie libre y con comunicación directa con la atmósfera (la presión sobre la superficie freática es equivalente a la presión atmosférica).

→ La profundidad del acuífero, la temperatura del agua, su mineralización y su caudal están sometidos a fluctuaciones sistemáticas que ocurren, todos los meses, durante el transcurso de los años.

- La recarga se produce debido a la infiltración de las precipitaciones atmosféricas, la infiltración de las aguas de los ríos, lagos y canales, la condensación de los vapores de agua dentro del terreno y la recarga procedente de otros acuíferos (colgados, superiores o laterales).
- Se localiza en casi todas partes, por lo común, asociados a depósitos no consolidados de edad Cuaternaria, se forman en los macizos rocosos situados entre los ríos, aluviones antiguos y actuales valles fluviales, en los conos de deyección de piedmonte y en la zona de meteorización de las rocas fisuradas.
- Son fácilmente accesibles a la explotación, debido a que se encuentran a poca profundidad, misma situación que puede permitir el acceso a sustancias contaminantes.
- El agua contenida en los acuíferos libres se encuentra en movimiento constante, desplazándose bajo la influencia de la fuerza de gravedad, de los lugares donde el nivel es más alto, hacia donde es más bajo.

Los acuíferos según su litología se dividen en:

#### **4.2.1 Acuífero de Gravas**

El acuífero de gravas está compuesto en su mayor parte por sedimentos sueltos (gravas y arenas) y el agua se mueve entre los poros (intersticios), (Fig. 8a).

Las permeabilidades del acuífero de gravas pueden variar dependiendo de su contenido de material fino, por ejemplo si las gravas se encuentran sin limos y con oquedades kársticas tienen permeabilidades altas, al contrario de lo que sucede si presentan limos.

El acuífero puede actuar en ocasiones como semiconfinado o confinado cuando las gravas donde se encuentra están cubiertas por lentes de arcillas, o bien puede actuar como un acuífero libre cuando no existe ninguna capa confinante (arcillas) que lo cubra (Hernández, 1995).

En este tipo de acuíferos se agrupan todos aquellos materiales depositados en las partes bajas y en los valles. Por la disposición geológica que ocupan y las condiciones de textura que poseen estos acuíferos, les permite recibir una considerable recarga proveniente del flujo superficial o de la infiltración directa del agua de lluvia, considerándolos como materiales transmisores.

Los materiales que componen un acuífero de este tipo, constituyen un acuífero libre de relativa importancia por su variable producción, debido a la heterogeneidad de los depósitos que lo componen y por su diferente espesor, que aumenta hacia la parte central de los valles.

Un ejemplo notable de este tipo de acuífero, lo constituyen los depósitos ubicados en el amplio valle, localizado entre Montemorelos y General Terán, con una granulometría muy bien desarrollada y alojan grandes cantidades de agua, proveniente de la recarga de la Sierra Madre Oriental y la infiltración del agua de lluvia.

#### **4.2.2 Acuífero de Grietas**

El acuífero de grietas está compuesto por rocas consolidadas y el agua se mueve a través de fracturas abiertas mas o menos planas, de origen tectónico o de intemperismo, las cuales son:

- Grietas en zonas de falla (abiertas hasta grandes profundidades).
- Juntas de estratos como estructuras sedimentarias, por ejemplo en areniscas, calizas (normalmente abiertas al menos hasta 150 metros de profundidad).
- Diaclasas tectónicas (normalmente abiertas al menos hasta 150 metros de profundidad).
- Diaclasas por alivio de presión, causadas por distensión, intemperismo y remoción de la roca (normalmente abiertas hasta 20-50 metros de profundidad).

La capacidad de una roca firme de conducir agua depende de la densidad de la red de diaclasas y del ancho de las diaclasas individuales. Generalmente la densidad y el ancho de las grietas se reduce con la profundidad (Werner, 1996).

El fracturamiento en el área de estudio dentro de la Formación Méndez, es de dos tipos: Las fracturas de tipo *ac* son las que se originaron primero, antes y durante la deformación, por lo tanto son las más grandes y más profundas, las cuales según Werner (1996) tienen al menos 150 metros de profundidad.

Las diaclasas *ac* se presentan con una dirección NE-SW, siguiendo la misma dirección que las corrientes superficiales. Las fracturas de tipo *ac* sirven como conductoras de agua subterránea, ya que el aporte de agua proviene de la Sierra Madre Oriental y estas fracturas son perpendiculares a la sierra.

Las fracturas de tipo *bc* son las que se originaron después de la deformación, mediante una etapa de relajamiento, por lo tanto este tipo de fracturas no son tan grandes ni profundas.

Según Werner (1996), este tipo de fracturas tienen al menos 20-50 metros de profundidad, presentándose con una dirección NW-SE. Las fracturas de tipo *bc* sirven como conductoras de agua subterránea, así como también sirven como almacenadoras, dependiendo de la intercomunicación de estas fracturas con las de tipo *ac*, por lo tanto las zonas donde exista la conjunción de los dos tipos de fracturas (*ac* y *bc*), son los lugares donde se puede explotar mayor cantidad de agua.

#### **4.2.3 Acuífero Kárstico**

El acuífero cárstico está compuesto por rocas carstificadas como calizas, y el agua se mueve en los huecos cársticos de diámetros muy variables. Este tipo de acuífero está presente en los paquetes de rocas calcáreas de la Sierra Madre Oriental, pero para la delimitación de este tipo de acuífero es necesario realizar un estudio más a detalle dentro de las estructuras plegadas de dicha sierra.

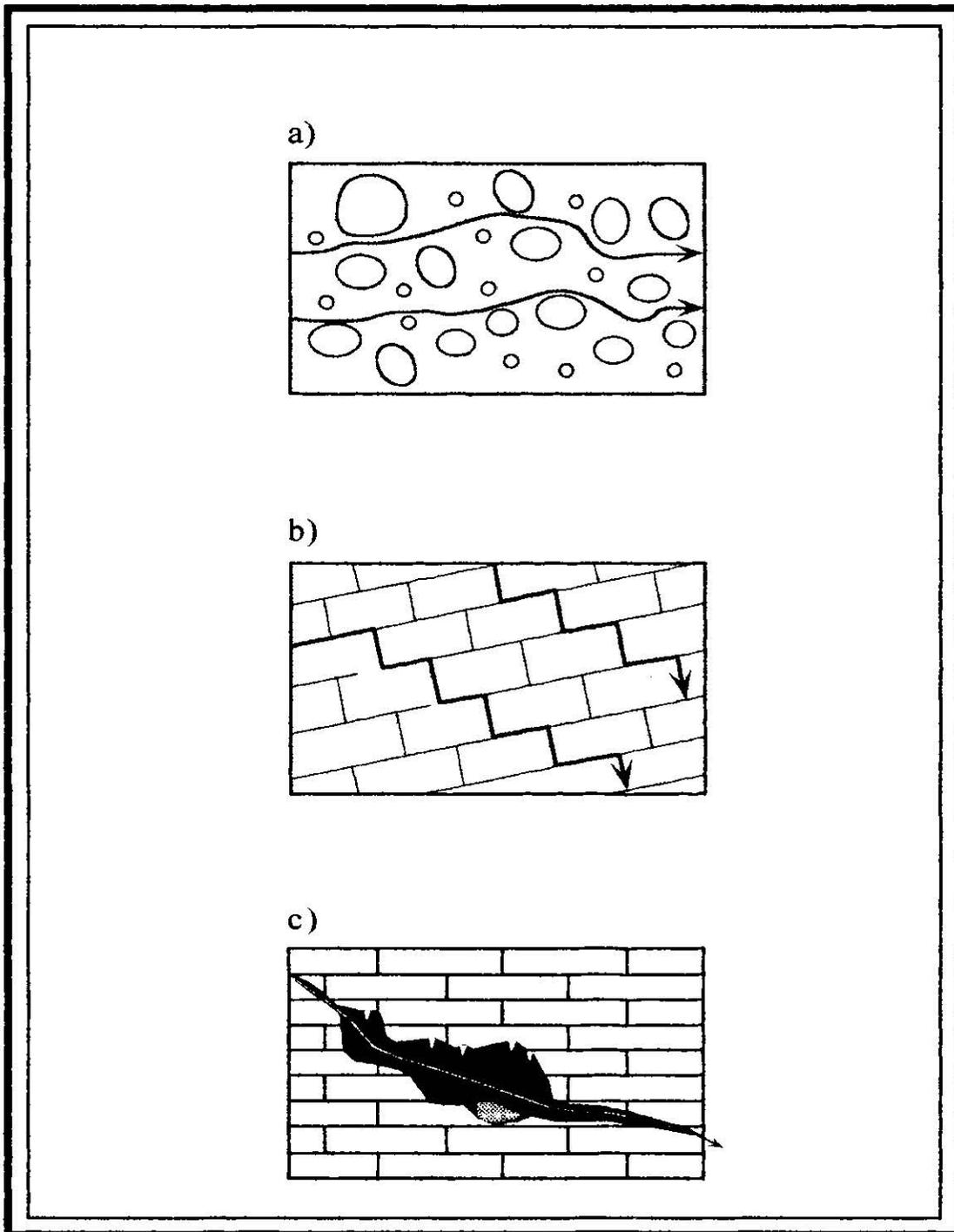


Fig. 8 Tipos de acuíferos según su litología: a) Acuífero de gravas: el agua se mueve entre los poros. b) Acuífero de grietas: el agua se mueve en las fracturas abiertas de origen tectónico o de intemperismo. c) Acuífero cárstico: el agua se mueve en los huecos cársticos de diámetros muy variables (Modificados de Werner, 1996).

### **4.3 Censo de Captaciones Subterráneas**

Para la realización de este censo se procedió de dos formas, la primera fue recopilando información existente con respecto a dichos aprovechamientos hidráulicos en las cartas geológicas de DETENAL, así como también en censos realizados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/SARH, (1986); y la segunda fue tomando datos directamente en el campo, o sea por observación directa de los aprovechamientos hidráulicos (pozos, norias y manantiales), en acuerdo con los lugareños o personal encargado de la vigilancia de los referidos aprovechamientos.

Como a la fecha de la inspección se contó con hojas topográficas escala 1:50,000 publicadas por DETENAL, y un geoposisionador marca Magellan donde se pudo identificar la ubicación de los distintos aprovechamientos para luego vaciarlos a las hojas topográficas, lográndose establecer su ubicación por medio de coordenadas "Universal Transversa Mercator".

En cada uno de los aprovechamientos en los que fue posible, se recopilaron datos de campo, tales como nivel estático de pozos y norias, coordenadas geográficas, así como la altura sobre el nivel del mar.

De los aprovechamientos censados, se seleccionaron los más representativos, de los cuales se tomaron en cuenta solo 119, esto para realizar una carta piezométrica del área de estudio, ya que contienen toda la información necesaria para tal fin.

Según la información recabada, existen algunos manantiales principalmente en la zona frontal de la Sierra Madre Oriental, pero no se pudieron observar ni medir debido a que la sequía fue muy intensa y debido a esto los manantiales estaban secos.

De acuerdo al registro de aprovechamientos hidráulicos (anexo 4), se puede observar que del total de los aprovechamientos registrados, existen solamente 41 pozos, de los cuales por accesibilidad del equipo (sonda), se buscaron pozos no equipados o con manguera para medición (poliducto), siendo construidos principalmente para consumo humano o para riego de algunas huertas o cultivos. Sin embargo algunos pozos equipados fueron construidos de tal manera que permitan ser monitoreados.

Los aprovechamientos restantes son norias que suman un total de 78, las cuales algunas estaban equipadas con pequeños motores de combustible, papalotes (aeromotor) y manuales, teniendo principalmente el uso doméstico o para riego de pequeñas huertas.

Las obras de captación del agua subterránea consisten en norias y pozos. Las norias explotan las aguas con profundidades que fluctúan entre 5 y 20 m., utilizándose principalmente para consumo doméstico así como para pequeñas huertas (riego), los pozos explotan las aguas con profundidades de entre 35 y 100 m., utilizándose principalmente para consumo humano, uso municipal y para riego de cultivos y huertas.

#### **4.4 Piezometría**

Las observaciones realizadas en las márgenes de las corrientes y en norias, permitieron reconocer que los aluviones, partes alteradas y fracturadas de la Formación Méndez presenta una permeabilidad baja, estimándose esto al predominar materiales arcillosos en la matriz y zonas fracturadas.

La información recabada, permitió definir que el espesor de los aluviones es delgado, del orden de 5 a 20 metros como rangos promedio, reduciéndose mucho, incluso a cero en aquellos sitios donde afloran las lutitas de la Formación Méndez.

El espesor saturado también es delgado a excepción de las márgenes de los arroyos, aguas abajo de los manantiales. Por esa delgadez y distribución muy errática del acuífero presenta productividades que varían de 1 a 30 l/s por obra de captación subterránea.

El movimiento del agua subterránea coincide en forma aproximada con las pendientes superficiales, a excepción de las áreas inmediatas a los cauces de los escurrimientos y meandros abandonados, donde por aportaciones directas el acuífero libre alcanza su máxima producción.

El agua de lluvia que se infiltra en las partes altas del frente de la Sierra Madre Oriental, escurre hacia sus flancos en el sentido del echado de las capas y hacia los buzamientos de los pliegues, transportándose esta agua por el fracturamiento preferencial que existe en el área de estudio (*ac*) dentro de la Formación Méndez, así como en los materiales aluviales y conglomerados.

La escasa información de puntos de control piezométrico en el área de estudio, no permite realizar un análisis cuantitativo del acuífero en rellenos aluviales. Sin embargo, se puede predecir que el flujo subterráneo coincide con la topografía del terreno, siguiendo una dirección hacia el NE.

En el funcionamiento del acuífero intervienen factores que están ligados entre sí, como son la recarga, la descarga, el volumen de almacenamiento, los niveles del agua, los

que a su vez están regidos por las propiedades de transmisividad y el almacenamiento de los rellenos aluviales y por la precipitación pluvial en las zonas de recarga.

En los últimos años ha habido una reducción en los gastos de extracción, ya que la SARH reporta pozos con caudales en pruebas de aforo de hasta 80 l/s en los años 80<sup>as</sup> (Tabla 2), y para estos días los pozos más productivos tienen caudales menores a los 30 l/s.

Los pozos reportados con mejor caudal de extracción en sus pruebas de aforo, se ubican en el acuífero de gravas y la parte alterada y fracturada de la Formación Méndez, en la amplia distribución de los materiales aluviales al Norte del área de estudio.

En el levantamiento de datos piezométricos se constató que la mayoría de las norias se han agotado, debido a que los niveles estáticos se han disminuido hasta quedar estas norias secas.

Existen algunas causas de reducción en los gastos de extracción en los pozos localizados en el área de estudio, de las cuales se describen las siguientes:

La principal causa de reducción en los gastos de extracción, es la disminución de las precipitaciones en la zona de recarga del acuífero, ya que en los últimos años la región Norte y NE del país han estado bajo los efectos de una intensa y prolongada sequía.

Este fenómeno de la intensa y prolongada sequía afecta de manera directa la recarga del acuífero, ya que este se encuentra de manera directa influenciado por las variaciones en los efectos climáticos, especialmente de la precipitación y la evaporación.

Otra causa de reducción es el incremento de los asentamientos habitacionales y actividades del hombre, por lo que la superficie de recarga del acuífero se ve drásticamente reducido.

Otro de los factores que determinan la disminución en los gastos de extracción, es el continuo crecimiento poblacional registrado principalmente en ciudades como Montemorelos y General Terán, ya que mientras la oferta de agua sigue siendo la misma o menor, en algunos casos la demanda continúa en crecimiento, por lo que los acuíferos son sometidos a una sobreexplotación.

Año	Nombre del pozo	Municipio	Profundidad (m)	Caudal (l/s)	Observaciones
1979	La Unión # 1	Montemorelos	70.0	5.0	*
1979	La Unión # 2	Montemorelos	70.0	1.66	*
1979	La Corona # 2	General Terán	70.0	46.0	*
1980	Encadenado # 1	General Terán	70.0	62.0	*
1980	Hda. San Pedro # 3	General Terán	70.0	62.0	*
1980	Sta. Ana Viejo # 1	General Terán	70.0	1.6	A
1980	Sta. Ana Viejo # 2	General Terán	35.0	26.0	B
1980	Sta. Ana Viejo # 3	General Terán	35.0	2.0	C
1980	La Laguna # 1	General Terán	70.0	1.6	D
1980	La Laguna # 2	General Terán	70.0	79.2	E
1980	La Brisa # 1	General Terán	70.0	82.9	*
1980	Chihuahua # 1	Montemorelos	70.0	6.2	F
1980	La Brisa # 2	General Terán	70.0	24.0	*
1980	La Purísima # 1	General Terán	70.0	44.7	G
1980	Ramírez # 1	General Terán	70.0	52.9	*
1980	Ramírez # 2	General Terán	70.0	12.3	*
1980	El Fraile # 1	Montemorelos	70.0	1.8	*
1980	Las Flores # 1	Montemorelos	70.0	3.1	*
1982	La Laguna # 3	General Terán	70.0	64.0	H
1982	La Purísima # 2	General Terán	70.0	6.1	I
1982	Ramírez # 3	General Terán	70.0	5.8	*
1983	Fuera Vacas # 1	Montemorelos	70.0	65.9	J
1983	El Toro # 1	Montemorelos	70.0	66.4	K
1983	Anacuitas # 4	General Terán	70.0	34.4	L
1983	Santa Engracia # 1	General Terán	70.0	3.5	*
1984	El Toro # 2	Montemorelos	70.0	50.6	M

Tabla 2. Resultados de pruebas de aforo realizados en el área de estudio entre el año 1979 al 1984, por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/SARH.

(A, B, C, etc.) pozos localizados dentro del área de estudio.

(\*) pozos localizados fuera del área de estudio hacia el Norte.

Los niveles estáticos medidos en algunos lugares cercanos a las corrientes superficiales como es el Río Pilón, varían de 2-8 m., y llegando hasta valores de 28-32 m., en lugares altos o zonas donde se extrae gran cantidad de agua.

Tomando la situación anterior, la poca profundidad a la que se encuentra el nivel estático en el área, se debe principalmente a que se tiene un acuífero de tipo libre, localizado entre el material aluvial y la parte alterada de la Fm. Méndez, siendo la recarga directa.

Para la realización de la carta piezométrica del área de estudio, se efectuó un censo de pozos (con mediciones de nivel estático y altura del pozo) para obtener la altura del nivel freático con respecto al nivel del mar, la cual resulta de la diferencia entre la altura del pozo y profundidad del nivel freático. Esto se realiza con el fin de establecer la relación del nivel del terreno (topografía) y el nivel del agua (piezometría) en base al nivel del mar.

Contando con los datos piezométricos de cada aprovechamiento, se agregan a la carta con el fin de establecer isolíneas del nivel del agua subterránea, las cuales fueron establecidas por el método del triángulo hidrológico mediante el programa de cómputo llamado Civil Cad, donde se le proporcionan los datos de las coordenadas geográficas y el nivel piezométrico de cada pozo.

En el triángulo hidrológico se realiza mediante tres pozos con diferente nivel piezométrico y efectuando una triangulación entre ellos. Se mide la diferencia de alturas y la distancia entre dos pozos y por medio del método de la regla de tres simple, se obtiene el valor de una isolínea, así se obtienen todas las isolíneas deseadas entre los dos pozos.

Una vez que las isolíneas están terminadas se trazan las líneas de flujo, las cuales siempre deben ser perpendiculares a las isolíneas e indican la dirección de flujo del agua subterránea.

Para el área de estudio, las isolíneas que se encuentran en las cercanías de la Sierra Madre Oriental se cierran en una corta distancia, lo que refleja un mayor desnivel topográfico a una corta distancia del nivel freático.

Hacia la porción Sur del área en la zona de El Nogalito, se detectó una anomalía positiva (anomalía que se encuentra sobre el nivel freático en la zona), y puede propiciarse por alguna barrera geológica que pueda dificultar el paso del agua acumulándola y provocando un incremento del nivel freático hacia la superficie.

En la parte central del área, las isolíneas se cierran esto debido a que existe un cuerpo grande de conglomerado denominado Mesa el Tepetate, donde se encuentra este cuerpo sobreyaciendo a rocas lutitas de la Formación Méndez, las cuales para esta zona disminuye considerablemente su fracturamiento presentando suelos mas impermeables.

En la parte Norte del área en el extenso valle aluvial, las isolíneas presentan una separación considerable, esto es debido a que en esta zona se localizan suelos muy permeables, así como no se encuentra ningún tipo de anomalías debido a que en estos suelos existe un caudal muy potente que puede guardar un equilibrio con la extracción en esta zona, por lo que los conos de descenso son menores y el tiempo de recuperación en los pozos es rápido.

En la porción SE de la carta hacia el alto topográfico Mesa el Tepetate, no existen aprovechamientos hidráulicos por lo que las isolíneas fueron correlacionadas grandes distancias, así como una porción donde no se pudieron determinar.

#### **4.5 Calidad del Agua**

El trabajo geológico realizado por el agua subterránea consiste principalmente en la disolución de minerales, transporte de solutos y su precipitación como depósitos en las rocas.

Todas las aguas subterráneas contienen sustancias en solución. Su capacidad para disolver y para oxidar depende de su contenido de Bióxido de Carbono y Oxígeno al penetrar en la zona de aereación. El agua de lluvia contiene ambas sustancias adquiridas de la atmósfera y cuando pasa por el suelo adquiere más Bióxido de Carbono generado por la capa de humus. Así pues, en la parte superior de la zona de aereación, el agua subterránea es un ácido carbónico muy diluido, una sustancia corrosiva y un solvente eficaz.

Este ácido ampliamente diseminado ataca a los minerales y reacciona con ellos formando sales que van en solución en el agua subterránea. Las sales son principalmente cloruros, sulfatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro (Longwell & Flint, 1965).

La calidad del agua debe cumplir con determinados parámetros de tolerancia en función del uso a que se destine.

Para el caso del agua potable, no debe exceder de los límites o normas de calidad establecidos por la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), cuyas concentraciones deben ser iguales o menores a 1000 ppm., en Sólidos Totales Disueltos; hasta 250 ppm., en Calcio; 250 ppm en Sulfatos, así como ausencia de minerales tóxicos (Ruvalcaba, 1987).

En los escurrimientos superficiales y aprovechamientos hidráulicos que se visitaron, se constató en forma directa con la gente y con apreciación personal la buena calidad del agua, ya que se deriva de acuíferos incluidos en rocas lutitas de la Formación Méndez, así como Conglomerados y Aluviones, permaneciendo libres de contaminación antropogénica del lugar. Salvo en los aprovechamientos cercanos a contaminación, como por ejemplo la planta de tratamiento de aguas residuales, el basurero municipal y las descargas domésticas e industriales de Montemorelos y General Terán.

Por lo que respecta al agua subterránea, su composición depende del tipo y grado de solubilidad de las rocas con las cuales tenga contacto, de la permeabilidad del medio, de la temperatura del agua y de las rocas, el tiempo de estancia del agua y de las rocas, el área de contacto agua-roca y la velocidad de circulación.

El movimiento relativamente lento del agua que percola a través del suelo, le permite a ésta mantener un contacto prolongado y estrecho con los minerales que constituyen la corteza terrestre. Estos minerales son solubles en mayor o menor grado, de tal suerte que el agua aumenta su contenido mineral conforme se desplaza, hasta que se alcanza un balance o equilibrio combinado de las sustancias en solución.

La mayoría de las aguas subterráneas no contiene materia en suspensión y prácticamente está libre de bacterias. Por lo general es clara y sin color. Estas características contrastan con las del agua superficial, puesto que ésta última es corrientemente turbia y contiene considerable cantidad de bacterias. Por esta razón, el agua subterránea resulta ser de una calidad sanitaria superior.

La Comisión Nacional del Agua/CNA, (1992) en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, especifica en su Artículo 86 que "La Comisión" se encarga de:

V.- Vigilar, en coordinación con las demás autoridades competentes, que el agua suministrada para consumo humano cumpla con las normas de calidad correspondientes, y que el uso de las aguas residuales cumpla con las normas de calidad emitidas para tal efecto.

VI.- Promover o realizar las medidas necesarias para evitar que basura, desechos, materiales y sustancias tóxicas y lodos producto de los tratamientos de aguas residuales, contaminen las aguas superficiales o del subsuelo.

De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1989), la cual establece que la presencia de contaminantes en cualquier cuerpo de agua desequilibra el balance natural de las sustancias disueltas o suspendidas, modificando con ello la composición del agua.

#### **4.5.1 Parámetros hidrogeoquímicos en las aguas subterráneas:**

##### **pH.-**

El agua pura contiene, además de las moléculas propias, iones disociados de Hidrógeno e Hidróxido en muy baja concentración. El grado de acidez de una solución acuosa depende de la concentración de iones de Hidrógeno. Esta se mide por el pH (logaritmo de base 10 del recíproco de la concentración de iones de Hidrógeno). Ya que el agua pura a 22°C, tiene una concentración de Hidrógeno de  $10^{-7}$  mol/lit, su pH vale 7.0.

La escala de los valores del pH es tal, que un cambio de una unidad en éste, representa un cambio de 10 veces en la concentración del ión Hidrógeno.

pH < 7.0: carácter ácido

pH > 7.0: carácter básico

Cuando un soluto se disuelve en agua, el pH cambia, generalmente debido a que algunos de los nuevos iones se combinan con los de Hidrógeno (o Hidróxido) del agua, alternándose el equilibrio químico. Entonces el pH de las aguas subterráneas depende del contenido de cationes y aniones; y sus valores predominantemente varían entre 6.5-7.5 (Werner, 1996).

Para el área de estudio el pH varía entre 6.55 y 8.10 según las cuatro muestras colectadas, siendo la muestra Pil-1 la única con valores de carácter básico.

### **Conductividad Eléctrica.-**

La Conductividad Eléctrica es uno de los parámetros físicos del agua que nos permite conocer la cantidad de sales en solución que contiene, ya que el agua químicamente pura no permite la conducción de la electricidad. De esta manera, una muestra de agua con valores altos en conductividad eléctrica indican valores mayores de sólidos en suspensión.

Los iones como partículas con cargas eléctricas conducen la corriente eléctrica. Por eso la conductividad eléctrica de una solución es proporcional a su concentración de iones.

La concentración de sustancias disueltas en forma molecular en las aguas subterráneas normalmente es baja. Por eso la conductividad eléctrica prácticamente es proporcional a la concentración de los sólidos disueltos o al total de sólidos disueltos (TSD), (Werner, 1996).

En el área de estudio los valores más bajos de conductividad se registraron en las muestras tomadas a lo largo del río Pílon, debido a que no sobrepasan los 710 mmhos/cm, pero en el caso de la muestra colectada en el Ejido California, los valores son muy altos (1140 mmhos/cm), debido a la gran cantidad de Sólidos Totales registrados para esa zona.

### **Calcio.-**

Según Custodio y Llamas, (1976), las fuentes principales de Calcio en las aguas subterráneas provienen principalmente de la disolución de calizas, dolomitas, yesos y anhidritas, así como también de la concentración del agua de lluvia.

Para el área de estudio, la principal fuente de Calcio la constituyen las rocas carbonatadas tanto del Jurásico como del Cretácico, debido a los fenómenos de disolución de estas rocas tanto en el área de estudio como en las zonas de recarga de la Sierra Madre Oriental, así como la disolución del Carbonato de calcio, el cual se encuentra rellenando algunas o la mayoría de las fracturas localizadas en las rocas de la Formación Méndez, en su contacto con los materiales aluviales dentro del acuífero libre.

Las concentraciones mayores de Calcio en el área son hacia la zona del Ejido California con 202.17 mg/l, y hacia el cauce del río Pilon estos valores no son tan altos variando de 95.72 mg/l en la muestra recolectada a la altura del libramiento Monterrey-Linares, hasta 117.64 mg/l, en la muestra obtenida aguas abajo de la ciudad de Montemorelos.

### **Magnesio.-**

La principal fuente de Magnesio lo constituyen las rocas dolomíticas, magnesitas e hidromagnesitas, aunque se disuelve más lentamente el Magnesio es más soluble que el Calcio y tiende a permanecer en solución cuando éste se precipita (Alva, 1997).

Las concentraciones de Magnesio en el área fluctúan entre 12.38 y 16.2 mg/l, mientras que lo permisible por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) es de cantidades menores de 300 mg/l, así que las muestras analizadas son buenas con relación a este ión.

### **Sodio.-**

Las principales fuentes de contaminación por Sodio para las aguas subterráneas, lo constituyen el lavado de sedimentos de origen marino y el cambio de bases de arcillas del mismo origen, así como la disolución de sales evaporíticas. Otra posible fuente la constituyen la contaminación urbana e industrial y la concentración del agua de lluvia (Alva, 1997).

La distribución del ión Sodio en el área de estudio presenta un notable incremento hacia la zona del Ejido California, con concentraciones de 98.4 mg/l, llegando casi al límite permitido por la SEDUE, que es de 100 mg/l, y valores que fluctúan entre 27.59 y 52.19 mg/l, en las demás muestras analizadas correspondientes a las obtenidas en el río Pílon.

Generalmente las aguas con un contenido de Sólidos Totales Disueltos del orden de 1000-5000 ppm, poseen más de 100mg/l., del ión Sodio (Alva, 1997).

### **Potasio.-**

La contaminación por Potasio para las aguas subterráneas procede normalmente de contaminación industrial, minera y agrícola. El agua subterránea de calidad potable contiene menos de 10 ppm (Alva, 1997).

La distribución del ión Potasio es semejante a la del ión Sodio, observándose incremento hacia la zona del Ejido California, así como valores mas bajos en las otras muestras analizadas.

### **Bicarbonatos.-**

La concentración de Bicarbonato en las aguas subterráneas procede de la disolución de CO<sub>2</sub> atmosférico o del suelo, disolución de calizas y dolomitas o por hidrólisis de silicatos ayudados por el CO<sub>2</sub>, y las concentraciones más comunes en el agua varían entre los 50-400 mg/l. (Alva, 1997).

Las mayores concentraciones se registran hacia la zona del Ejido California, sobrepasando los 330 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y los 407 mg/l de  $\text{HCO}_3$ , siendo la de menor concentración la muestra obtenida al pie de la Sierra Madre Oriental con 171.21 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y de 208.87 mg/l de  $\text{HCO}_3$ .

#### **Cloruros.-**

Los Cloruros proceden principalmente del lavado de terrenos de origen marino, aguas congénitas y fósiles, agua de lluvia y concentradas en el terreno, así como también de deshechos urbanos e industriales. Los valores tolerables para el agua potable deben de ser menores de 250 mg/l (SEDUE, 1989).

En el área de estudio no se sobrepasan los límites que permite la SEDUE, aunque se registra un incremento de Cloruros hacia la parte del Ejido California con valores de 108.43 mg/l.

#### **Sulfatos.-**

La procedencia de Sulfatos es generalmente por el lavado de terrenos formados en condiciones de gran aridez o en ambientes marinos, oxidación de sulfuro en rocas sedimentarias, disolución de yeso, anhidrita y terrenos yesíferos (Sulfato de calcio), oxidación de la Pirita (Sulfato de hierro), concentración en el suelo de agua de lluvia y actividades urbanas, industriales y agrícolas, aportando este último en ocasiones cantidades importantes.

Los Sulfatos de magnesio y de sodio si se hallan presentes en suficiente cantidad, le proporcionarán al agua un sabor amargo y puede tener un efecto laxante en personas que no estén acostumbradas a beberla. Las cantidades permitidas por la SEDUE, no deben de sobrepasar los 500 mg/l, para agua potable y 130 mg/l, para uso agrícola.

La concentración de Sulfatos en el área de estudio presenta un notable incremento hacia la zona del Ejido California, con valores de 205.38 mg/l, respectivamente aunque no sobrepasan los valores regidos por la SEDUE.

### **Nitratos.-**

La concentración de Nitratos en las aguas generalmente es producto de nitrificación natural, por ejemplo en las raíces de las leguminosas; otra procedencia es la descomposición de materia orgánica y contaminación urbana, industrial y ganadera, fertilizantes y en pequeña proporción el agua de lluvia (Alva, 1997). Los valores permitidos por la Secretaría de Salud en la Norma Oficial Mexicana el límite permisible es hasta 44.3 mg/l para agua potable.

Las concentraciones de Nitratos presentan una distribución casi igual en toda el área, con valores que fluctúan entre 1.2 y 1.5 mg/l., aunque hacia el Ejido California esta concentración aumenta considerablemente hasta 43.4 mg/l. llegando casi al límite permitido, y es debido a la gran actividad ganadera, así como a la utilización excesiva de fertilizantes para los cultivos.

### **Sólidos totales.-**

La concentración de Sólidos totales generalmente es menor a 10 mg/l en el agua de lluvia y hasta 300,000 mg/l en salmueras (Alva, 1997). Según los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua de la SEDUE, el agua potable no debe sobrepasar los 1000 mg/l.

El agua que sobrepasa el límite permitido, por lo general contiene minerales que le dan un sabor desagradable, así como de considerarse potencialmente corrosiva para las rejillas de pozos y para otras partes de la estructura del pozo.

Los valores registrados de Sólidos Totales se presentan con mayor insidencia hacia la zona de California, aunque sus valores no sobrepasan lo permitido por la SEDUE, siendo hasta de 963 mg/l.

#### **4.5.2 Resultados de los Parámetros de Contaminación**

Los cuatro análisis físico-químicos realizados para este trabajo, se determinaron en el laboratorio de geoquímica de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León, con una caracterización físico-química de los principales cationes (calcio, magnesio y sodio + potasio) y los principales aniones (sulfatos, cloruros y bicarbonatos).

Los valores de temperatura ambiente y del agua, pH y conductividad eléctrica, se determinaron en el sitio de la toma de muestra, con el fin de no perder características del agua después de un tiempo de haberla extraído.

El resultado de las muestras analizadas es comparado con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/SEDUE, en 1989 (Tabla 3), dentro de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, publicado en el Diario Oficial de la Federación, así como con la Norma oficial mexicana nom-127-ssal-1994, “salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización” (<http://www.ssa.gob.mx/nom/127ssa14.html>, 1995) (Tabla 4).

De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación, los límites permisibles de calidad del agua se muestran en la Tabla 3, por su parte la Norma Oficial Mexicana, establece sus límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, la cual entró en vigor en Noviembre de 1995, en la Tabla 4.

Parámetro	Agua Potable	Agrícola
Alcalinidad	400.0	—
Arsénico	0.05	0.1
Cloruros	250.0	147.5
Coliformes fecales	1000.0	1000.0
Conductividad eléctrica	—	1.0
Hierro	0.3	5.0
Nitratos	5.0	—
Olor	Ausente	—
pH	5-9	4.5-9
Sabor	Característico	—
Sólidos disueltos	500.0	500.0
Sólidos suspendidos	500.0	50.0
Sólidos totales	1000.0	—
Sulfatos	500.0	130.0
Temperatura	Condiciones naturales	—
Zinc	5.0	2.0

Tabla 3. Tabla sobre los criterios ecológicos de Calidad del Agua, niveles medidos en mg/l. (SEDUE, 1989).

Ion principal	Valores
Cloruros (mg/l)	250.00
Dureza total (mg/l)	500.00
Nitratos (mg/l)	44.3
PH	6.5-8.5
Sodio (mg/l)	200.00
Sólidos disueltos totales (mg/l)	1000.00
Sulfatos (mg/l)	400.00

Tabla 4. Límites permisibles de calidad del agua, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, en su página de INTERNET (<http://www.ssa.gob.mx/nom/127ssa14.html>, 1995).

En base al resultado de los análisis físico-químicos realizados en el área de estudio (Tabla 5), la mayor concentración de casi todos los parámetros analizados se encuentran hacia el Ejido California, esto debido a la gran actividad urbana e industrial en las ciudades de Montemorelos y General Terán, donde todos los residuos contaminantes se infiltran y contaminan el acuífero.

Nombre de la Muestra	Pilón # 1	Pilón # 2	Pilón # 3	Ej. California
Clave	Pil-1	Pil-2	Pil-3	Cal
Coordenadas	25°02'38" 99°55'30"	25°10'39" 99°51'30"	25°10'08" 99°48'36"	25°18'55" 99°44'28"
Fecha del muestreo	14/Enero/2000	14/Enero/2000	14/Enero/2000	14/Enero/2000
Temp. ambiente (°C)	25	25	23	19
Temp. agua (°C)	16	18	16	23
pH	8.10	6.77	6.55	6.58
CE (mmhos/cm)	602	593	708	1140
NO <sub>3</sub> (mg/l)	2.2	1.9	3.5	43.4
Dureza Total (mg/l)	171.21	178.02	217.07	334.24
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	208.87	217.18	264.83	407.77
Sólidos Totales (mg/l)	478	512	565	963
Sólidos Disueltos (mg/l)	478	510	550	868
SO <sub>4</sub> (mg/l)	159.28	139.12	174.51	205.38
Cl (mg/l)	24.14	26.26	38.12	108.43
Ca (mg/l)	101.53	95.72	117.64	202.17
Mg (mg/l)	15.39	13.25	12.38	16.20

Tabla 5. Resultados de los análisis físico-químicos realizados a cuatro muestras de agua localizadas en distintos puntos del área de estudio (2000).

La concentración de iones analizados no sobrepasan los límites permisibles por la SEDUE, ni por la Norma Oficial Mexicana, los cuales en algunos casos casi llegan al límite, pero se puede considerar dentro de lo aprobado para agua de calidad potable. En el caso de los Nitratos, en el Ejido California los valores son muy altos en comparación con los otros lugares analizados, llegando a 43.4 mg/l siendo el límite 44.3 mg/l.

Las altas concentraciones de Nitratos en las aguas se deben principalmente a los desechos vegetales, desperdicios animales, fertilizantes en base de Nitrógeno, descarga de aguas negras, así como también el estiércol contenido en letrinas, pozos negros y establos, ya que contienen grandes cantidades de Nitrógeno orgánico.

Según la Secretaría de Salud (en información verbal), cuando el Nitrato se haya en concentraciones mayores que 45 mg/l., puede tener un posible efecto tóxico sobre los niños, conocido como Cianosis, la cual se debe a elevados porcentajes de hemoglobinas patológicas (metahemoglobinemia, sulfohemoglobinemia), dicha toxicidad provoca que el niño se vuelva apático y soñoliento, tomando la piel un color azulado y las mucosas debido a un aumento superior a 5 gr/dl de la hemoglobina reducida en la sangre (no transporta oxígeno).

Un alto contenido de Nitratos acompañado de un alto contenido en las concentraciones de Cloruros, resulta ser una indicación de la percolación de aguas negras o contaminación por la presencia de establos.

En la muestra analizada del Ejido California (Cal), la concentración de Cloruros es mas alta en comparación con las otras muestras, que es de 108.43 mg/l., deduciendo que la principal contaminación es provocada por la gran actividad agrícola y ganadera hacia esta zona.

### **4.5.3 Familias de Aguas**

Para la caracterización gráfica de las aguas subterráneas existe un gran número de metodologías, ya que la forma de presentación tabular de los resultados analíticos resulta ser de poca utilidad durante la interpretación de las relaciones entre las muestras, a menos que se realicen una serie de cálculos adicionales (Hernández Padilla, 1995).

Para poder obtener de manera rápida e ilustrativa las diferentes familias de aguas, se construyeron los diagramas de Piper. Para ello se utilizan dos diagramas que separan aniones y cationes, permitiendo representar una gran cantidad de análisis y facilitar su interpretación.

Para la clasificación según Piper, se calculan los porcentajes en miliequivalentes por litro de los distintos iones de cada muestra (Calcio, Magnesio y Sodio-Potasio en el triángulo de la izquierda o cationes, y del Bicarbonato, Sulfato y Cloruros en el triángulo de la derecha o aniones), para posteriormente agruparlos en familias.

Según el diagrama Múltiple Linear de Piper (Fig. 9), las muestras obtenidas de Pil-2 y Cal, pertenecen a la clasificación de Carbonatada cálcica, mientras que las muestras de Pil-1 y Pil-3, pertenecen a la clasificación de Carbonatada-Sulfatada cálcica.

Los resultados de las familias Carbonatadas cálcicas, son debidos a la presencia de rocas carbonatadas del Cretácico en la Sierra Madre Oriental, así como el contacto de esta agua con las fracturas rellenas de Carbonato de calcio en rocas arcillosas de la Formación Méndez.

Los resultados de las familias Carbonatadas-Sulfatadas cálcicas, son debidos a la presencia de estas rocas carbonatadas y algunos yesos del Jurásico Superior, en algunas estructuras tectónicas de la Sierra Madre Oriental, así como contaminaciones industriales y domésticas para la zona de Montemorelos y General Terán.

Muestras

- ★ Pil-1 (Carbonatada-Sulfatada cálcica)
- Pil-2 (Carbonatada-Cálcica)
- Pil-3 (Carbonatada-Sulfatada cálcica)
- ▲ Cal (Carbonatada-Cálcica)

- ★ Familia 1 Carbonatada-Sulfatada cálcica
- Familia 2 Carbonatada-Cálcica

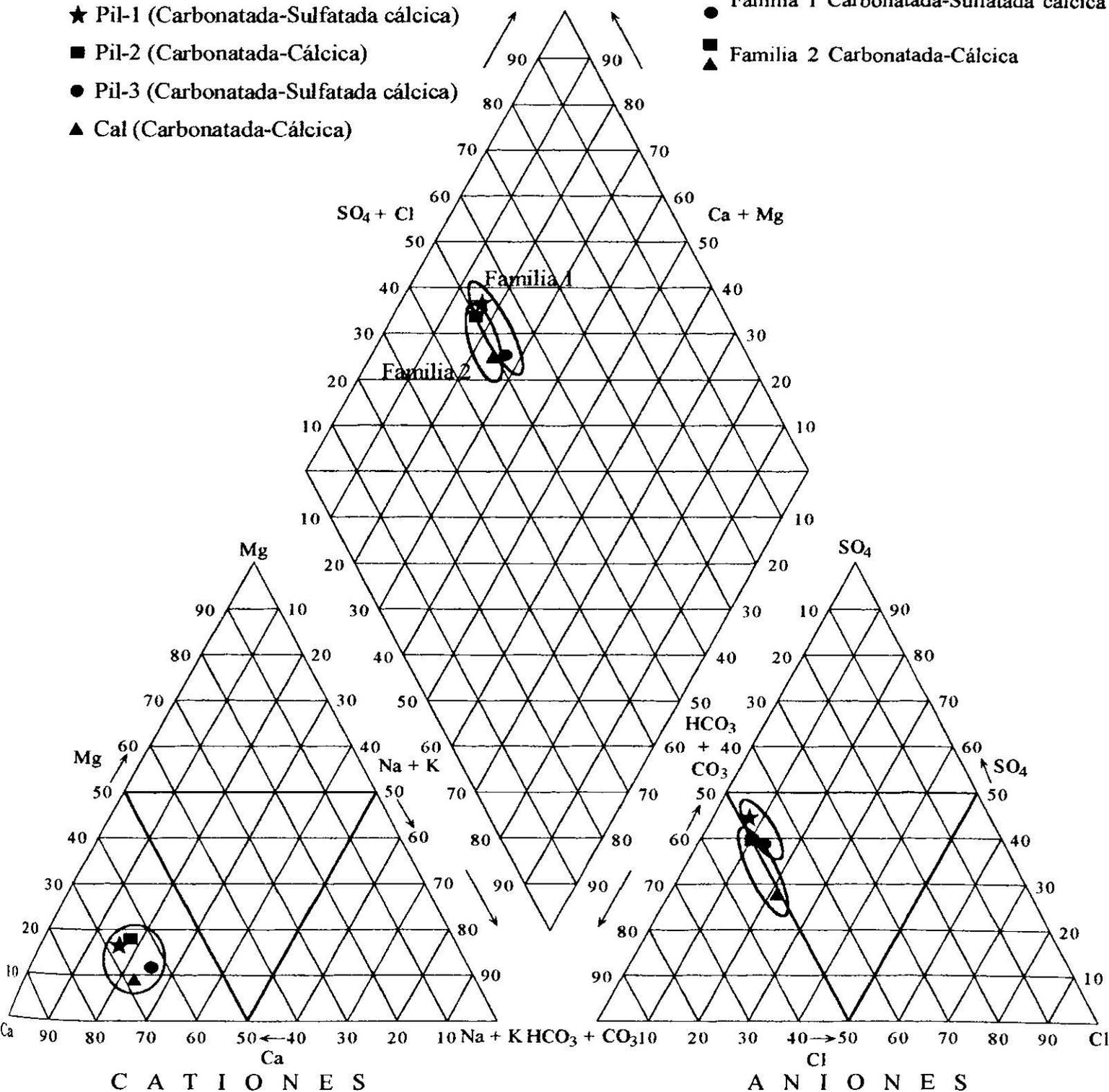


Fig. 9 Diagrama múltiple lineal, para la clasificación del agua según Piper (1949). Muestras analizadas en la Facultad de Ciencias de la Tierra (2000).

## **4.6 Propiedades Hidráulicas**

Las propiedades hidráulicas de las rocas y depósitos no consolidados determinan de manera importante la cantidad de agua que puedan almacenar, transmitir o ceder. Dichas propiedades dependen de diversos factores geológicos, como la granulometría y la composición mineralógica, así como la compactación, cementación, fracturamiento, erosión e intemperismo.

Para el movimiento del agua subterránea se pueden establecer leyes de carácter macroscópico, donde se presenta un medio continuo con propiedades medias bien definidas; estas leyes se fundamentan en la consideración de ciertos parámetros principales: porosidad, permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento (Custodio & Llamas, 1996).

### **4.6.1 Porosidad (p)**

La capacidad de un acuífero de almacenar agua está determinada por su porosidad y permeabilidad, donde la porosidad es la parte o porcentaje del volumen de poros en un acuífero relleno de agua.

En las rocas y materiales consolidados se distinguen dos tipos de porosidades, una primaria, generada cuando la roca se formó, y una secundaria, desarrollada después de su formación, como resultado de procesos diagenéticos y/o tectónicos. Las fracturas en las rocas se orientan en varias direcciones, las cuales cortan a la roca en bloques. En teoría, la porosidad primaria de una roca o materiales consolidados es cero y su matriz es impermeable.

En los materiales clásticos existen diversos factores que controlan la porosidad, entre ellos destacan, la distribución granulométrica, el grado de compactación, la forma de los granos, etc. En términos generales se establece, que entre mayor es el tamaño medio del grano, tanto mayor es la porosidad, aunque si los granos son muy pequeños pero homogéneos, tienen porosidad alta, con una permeabilidad muy baja. Así mismo, se establece que los materiales mal clasificados son menos porosos que los bien clasificados, debido a que las partículas más chicas ocupan los espacios entre los de mayor dimensión.

La Porosidad "p" es la parte o porcentaje del volumen de poros en un acuífero relleno de agua.

$$p: \frac{V_a}{V_r}$$

en lo que  $V_a$ : volumen de agua ( $m^3$ )

$V_r$ : volumen total de roca ( $m^3$ ),

$$\text{y } p: \frac{V_a \times 100}{V_r} (\%)$$

Werner (1996) establece que para un acuífero de poros, con 1000 ml de arena saturada, contiene 200 ml de agua. Entonces la porosidad de este acuífero es p:20%. Para los acuíferos kársticos y de grietas, es mucho menor comparada con la de poros, en estos acuíferos p:1%.

En el subsuelo existen poros de distintas formas y características, pueden existir una porosidad bien comunicada entre si, que de lugar al libre movimiento del agua; o existen poros que se encuentran completamente cerrados y obstruyen la circulación del agua; o poros parcialmente cerrados que la dejan circular con dificultad.

En el área de estudio la porosidad no se obtuvo debido a la escasa información acerca de los acuíferos.

#### **4.6.2 Conductividad Hidráulica (K)**

En general se establece una relación directa entre el tamaño de las partículas y su permeabilidad, de tal forma que cuanto menor es el tamaño de las partículas, menor es su permeabilidad, debido a que su área de contacto con el agua es elevada y su resistencia al flujo es alta; por ello es que materiales de grano fino como arcillas, son poco permeables.

La permeabilidad o conductividad hidráulica (K) de los acuíferos de grietas y cársticos dependen de la distancia y del ancho de las grietas o de las cavidades cársticas abiertas del acuífero.

En los acuíferos de grietas hay que diferenciar entre la permeabilidad de la matriz (de los poros) y la permeabilidad de las grietas. Para ellos vale:

$$k_{\text{total de la roca}} : k_{\text{matriz}} + k_{\text{grietas}}$$

Esta relación tiene importancia en la hidrogeología de rocas de baja permeabilidad.

Ya que en estas rocas:

$$k_{\text{grietas}} \gg k_{\text{matriz}}$$

vale:

$$k_{\text{total de roca}} \approx k_{\text{grietas}}$$

En rocas consolidadas o compactas, la permeabilidad depende de la porosidad secundaria (tamaño de aberturas), pero principalmente de la interconexión entre los espacios abiertos. La meteorización y el fracturamiento son aspectos fundamentales para incrementar la permeabilidad, ya sea fragmentando la masa rocosa, ensanchando los espacios abiertos, etc. Por lo anterior se puede concluir la estrecha relación que existe entre la porosidad y la permeabilidad, es decir, una permeabilidad elevada indica la existencia de una porosidad fuerte, aún cuando una porosidad alta no indique una buena permeabilidad.

Así por ejemplo, en lo que respecta a variaciones en las propiedades físicas del agua, resulta que el agua salada circula con mayor velocidad que la dulce, por ser más densa y el agua caliente fluye más rápido que la fría, por ser menos viscosa. Es importante considerar estos factores, sobre todo al relacionarlos con problemas de contaminación.

### **4.6.3 Transmisividad (T)**

La Transmisividad es una de las propiedades de mayor relevancia de los acuíferos, ésta determina directamente el rendimiento de los aprovechamientos hidráulicos. A través de ella se pueden calcular la cantidad de agua que puede proporcionar un acuífero por una sección de interés determinada o estimar el rendimiento probable de una captación.

La Transmisividad es la cantidad de agua que circula a través de una sección vertical de un metro de anchura y de altura igual al espesor saturado del acuífero, afectado por un gradiente hidráulico cuyo valor es igual a uno (CNA, 1994); o sea el producto del coeficiente de permeabilidad por el espesor del acuífero:

$$T: K \times H \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Donde:

T: transmisividad (m<sup>2</sup>/s)

K: coeficiente de permeabilidad (m/s)

H: altura o espesor del acuífero (m).

La Transmisividad también se determina directamente mediante pruebas de bombeo. Conociéndose ésta (T), gradiente piezométrico (i) y el ancho del flujo del agua subterránea (B), se puede obtener directamente el caudal (Q) de flujo con:

$$Q: B \times T \times i \text{ (m}^3\text{/s)}$$

### **4.6.4 Coeficiente de Almacenamiento (S)**

El Coeficiente de Almacenamiento es un concepto que determina la capacidad que tiene un acuífero, para almacenar o ceder agua, misma que depende de manera directa, tanto de las características físicas del agua, como de las condiciones petrofísicas e hidráulicas del acuífero, y de las presiones a que se encuentra sometida el agua (presión intersticial o de poro) y las partículas granulares (presión intergranular o efectiva), que en general se consideran constantes, salvo que sean modificadas de manera artificial.

Custodio & Llamas (1996) denominan al coeficiente de almacenamiento (S), como el volumen de agua por unidad de superficie del acuífero que se extrae o almacena en este, bajo un cambio unitario de potencial:

$$S: \frac{\text{Volumen de agua (m}^3\text{)}}{\text{Unidad de superficie (m}^2\text{) x unidad de cambio de potencial (m)}}$$

El coeficiente de almacenamiento en acuíferos confinados, varía entre  $10^{-2}$  y  $10^{-5}$ , intervalo muy reducido y de valores pequeños, debido a que la compresión afecta muy poco a los materiales que los forman y el volumen de agua que ceden es pequeño. Sin embargo, cuando el acuífero es libre, una cantidad adicional de agua es cedida (o retenida) por el vaciado (o llenado) de los espacios abiertos, dicha cantidad está representada por el rendimiento específico del material que forma el acuífero libre.

En general, se establece que el coeficiente de almacenamiento para acuíferos libres varía entre  $5 \times 10^{-2}$  y  $3 \times 10^{-1}$ , prácticamente equivalente al rendimiento específico de los mismos (CNA, 1994).

De lo anterior se infiere que un acuífero libre proporciona mucho más agua, por unidad de abatimiento, que un acuífero confinado, aún cuando ambos estén litológicamente compuestos por el mismo material y presenten dimensiones idénticas, es por ello que la baja capacidad de almacenamiento de los acuíferos confinados, es una de sus principales desventajas.

#### **4.7 Prueba de Bombeo**

Una Prueba de bombeo es un método hidrogeológico que se aplica en la evaluación del comportamiento de un acuífero, y tiene dos objetivos principales. El primero es determinar las características hidráulicas de los acuíferos. Este tipo de pruebas estudian al acuífero mismo, más que al pozo o a la bomba y son llamadas también pruebas de acuífero, y nos pueden proporcionar información básica para la solución de muchos problemas locales y aún regionales sobre el flujo del agua subterránea.

El segundo objetivo es proporcionar los datos necesarios para determinar la capacidad específica o la relación caudal-abatimiento, para seleccionar el equipo de bombeo adecuado. A este tipo de prueba de bombeo se le conoce como prueba de pozo y sirve para estudiar al pozo, más que al acuífero.

La prueba de bombeo se realizó en las cercanías del Rancho San Antonio hacia la parte poniente del área de estudio, contando para ello con un pozo en producción con bomba sumergible como equipo de bombeo y un pozo de observación el cual no contaba con este equipo.

#### **4.7.1 Metodología**

La Metodología para realizar una prueba de bombeo consiste en bombear un pozo que esté perforado en el acuífero que se desee estudiar, durante un cierto tiempo, a un determinado caudal y medir la evolución del nivel de agua debido al bombeo, tanto en el mismo pozo de bombeo como en pozos cercanos (pozos piloto o de observación).

El comportamiento de los abatimientos de los niveles, la distancia entre los pozos de observación y el pozo bombeado y el caudal de bombeo, permiten obtener información sobre las características del acuífero como son: su transmisividad, coeficiente de almacenamiento, existencia de barreras o bordes impermeables cercanos, así como zonas de recarga.

#### **4.7.2 Elección del Sitio de Prueba**

En la mayoría de los casos el sitio de prueba ya está predeterminado y no hay posibilidades de cambiar a otro mas adecuado, ya que casi siempre se tienen que utilizar pozos ya existentes, o algunas veces se necesita conocer las características del acuífero en un sitio en particular.

Para la selección del sitio se deben de considerar los siguientes puntos (CNA, 1994):

- Las condiciones hidrológicas del sitio no deben cambiar en distancias cortas y deben ser representativas de la zona de estudio.
- El conjunto motor-bomba debe ser capaz de trabajar continuamente a un caudal constante, durante la duración de la prueba.
- El pozo de bombeo y los de observación deben ser fácilmente sondeables.
- El agua extraída no debe retornar al acuífero.
- El sitio donde se localiza el pozo debe ser de fácil acceso para el personal y el equipo.
- De preferencia, el pozo de bombeo debe ser totalmente penetrante.

La parte más importante de una prueba de bombeo es medir el abatimiento (o recuperación, según de la etapa que se trate) en los pozos de observación y en el de bombeo a lo largo de toda la prueba. Como el abatimiento y la recuperación de los niveles son mayores durante las primeras dos horas, las lecturas se deben realizar a intervalos cortos y van aumentando conforme se prolonga el bombeo.

El bombeo dentro de un acuífero libre provoca una evacuación del agua y crea un cono de abatimiento en el nivel freático. Conforme el bombeo continúa, el cono se expande y profundiza y el flujo hacia el pozo presenta componentes verticales cada vez más fuertes.

### **4.7.3 Evaluación**

C. V. Theis elaboró una ecuación que describe el desarrollo espacial y temporal del cono de abatimiento, siendo válida únicamente para acuíferos confinados.

Para la evolución del descenso así como para la recuperación, se utilizó el método de la línea recta de Cooper y Jacob, el cual se basa y simplifica la ecuación de Theis.

#### **4.7.3.1 Método de la Línea Recta**

Este método, conocido también como método de Cooper y Jacob, se utiliza para simplificar el método de Theis y los datos de medición se grafican en papel semi-logarítmico adaptándose a una línea recta, despreciando los demás componentes de la función de Theis.

Para la evaluación del método de la línea recta en el descenso en un pozo de observación,  $r$  es constante y  $s$  es igual a la función logarítmica, entonces:

$$T: \frac{2.30 \times Q}{4 \times \pi \times \Delta s} \text{ (m}^2\text{/s)} \quad y \quad S: \frac{2.25 \times T \times t}{r^2} \text{ (sin unidades)}$$

$t$  resulta de la intersección de la prolongación de la línea recta de descenso con la abscisa.

Para acuíferos libres todos los valores de  $s$  tienen que ser corregidos mediante la siguiente fórmula:

$$s_c = s - \frac{s^2}{2H}$$

Para la evaluación de recuperación según el método de la línea recta se toman valores de  $s'$  contra coeficiente  $(t + t')/t'$  también sobre papel semilogarítmico y se representa la línea recta de la misma forma que el descenso. Se determina  $\Delta s'$  (diferencia de nivel estático y dinámico) en una década logarítmica Alg ( $t + t' = 1$ ) y se aplica a la siguiente fórmula

$$T: \frac{2.30 \times Q}{4 \times \pi \times \Delta s} = \frac{0.183 \times Q}{\Delta s'} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

El coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) no se puede determinar para la evaluación de recuperación según el método de la Línea Recta.

#### **4.7.4 Resultados**

Los resultados obtenidos en la realización de la prueba de bombeo son valores bajos de Transmisividad (Tabla 7), esto debido a que el pozo se localiza en la parte alterada de la Formación Méndez (acuífero de grietas), y se presenta una recuperación más lenta del acuífero.

La realización de este tipo de pruebas en la Huerta La Japonesa (1995), efectuadas por alumnos del 5° semestre de la Facultad de Ciencias de la Tierra los días 4 y 5 de Noviembre bajo la asesoría del Dr. Jörg H. Werner Paulus (†), presenta valores de Transmisividad de  $2.12 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , valores más altos debido a que el pozo utilizado se localiza en un canal de gravas (acuífero de gravas).

Según la Comisión Nacional del Agua en 1994, los valores del Coeficiente de Almacenamiento para acuíferos libres varían entre  $5 \times 10^{-2}$  y  $3 \times 10^{-1}$ ; sin embargo los valores obtenidos en el ensayo de bombeo indican valores bajos (Tabla 7), característicos de un acuífero semiconfinado, pudiéndose deber principalmente a la presencia de algunos lentes de limos y arcillas dentro de las gravas.

En los casos donde ocurren variaciones del caudal, los valores determinados en la evaluación de la recuperación son más confiables que los de la fase de abatimiento, pero en este caso no se cumple porque el caudal permaneció constante durante toda la prueba, con 8.0 l/s.

El valor del caudal se puede obtener mediante varios métodos. Uno de estos es conocido como el método de la escuadra, el cual se describe como sigue:

El agua sale de un tubo de descarga con flujo horizontal resultando un chorro de forma parabólica al caer por gravedad, en donde la magnitud del chorro y la parabólica dependen del caudal del acuífero. Para medirlo se utiliza una escuadra de madera con un extremo definido formando un ángulo de  $90^\circ$ . De acuerdo al diámetro del tubo de descarga y la distancia entre el borde del tubo y la parte mas lejana de la escuadra donde el chorro

que cae la puede tocar, se puede determinar el valor del caudal en base a tablas ya establecidas.

Transmisividad Descenso (m <sup>2</sup> /s)	Transmisividad Recuperación (m <sup>2</sup> /s)	S Descenso	Conductividad Hidráulica	Altura (m)	Distancia (m)	Q (l/s)
T1: $9.7 \times 10^3$ T2: $6.6 \times 10^3$	T1: $2.4 \times 10^2$ T2: $9.7 \times 10^3$	S1: $3.7 \times 10^{-3}$ S2: $1.7 \times 10^{-2}$	K1: $3.2 \times 10^4$ K2: $2.2 \times 10^2$	30	70	8

Tabla 6. Resultados de la Prueba de Bombeo realizada en un pozo localizado en el acuífero libre, ubicado en el Rancho San Antonio, hacia la porción Noroeste del área.

Es importante recalcar que esta información no es representativa del área, ya que es de una pequeña zona que presenta características locales, un poco diferentes al resto de la superficie estudiada, desconociéndose lamentablemente la información que se desea debido a la prolongada sequía que afecta al Noreste de México, y no es posible realizar este tipo de pruebas en la mayoría de los pozos, ya que cuentan con profundidades menores a los 40-50 metros, y al tratar de realizar dichas pruebas estos pozos se abaten.

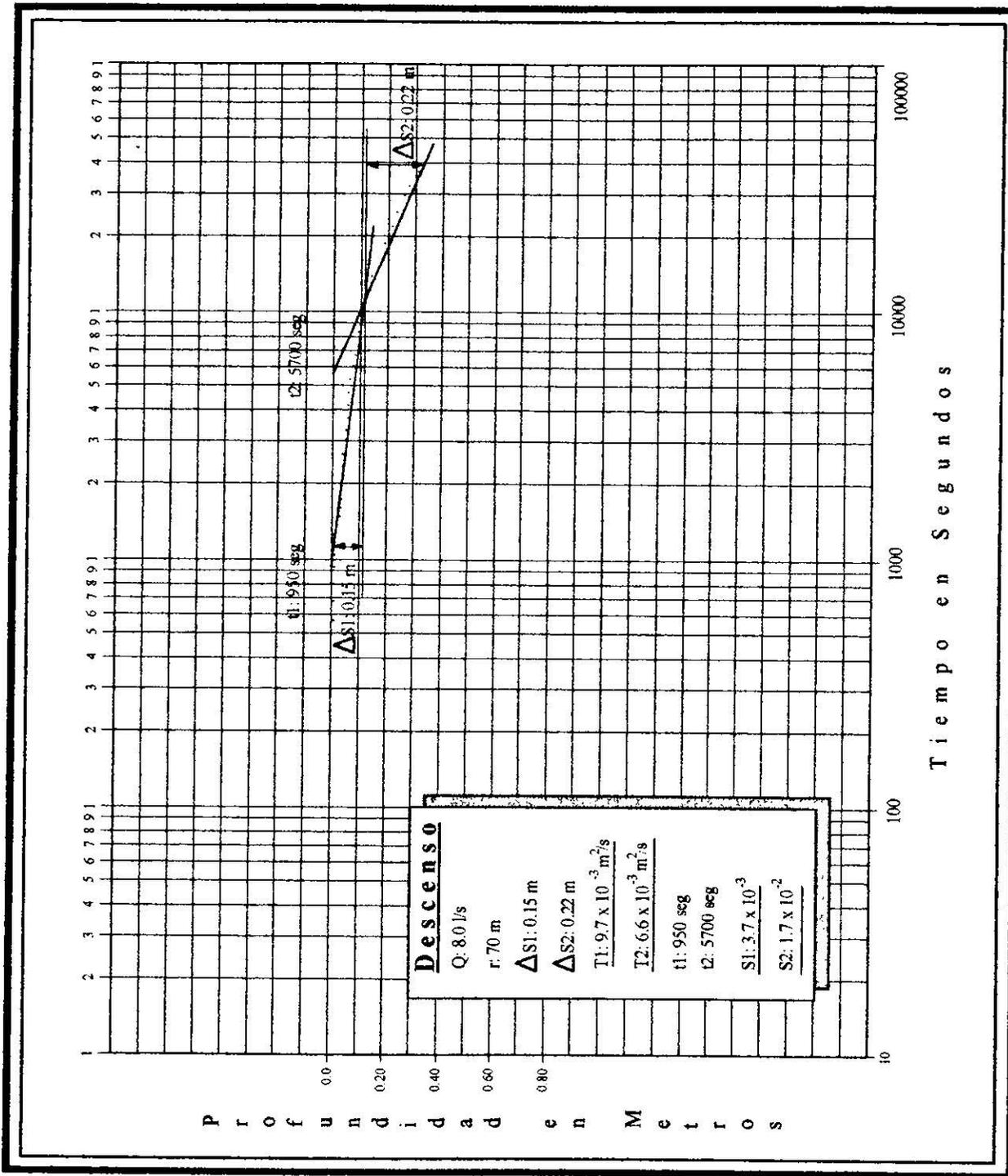


Fig. 10 Representación gráfica de los datos obtenidos en el descenso durante la Prueba de Bombeo, según el Método de la Línea Recta en el Rancho San Antonio hacia la parte poniente del área.

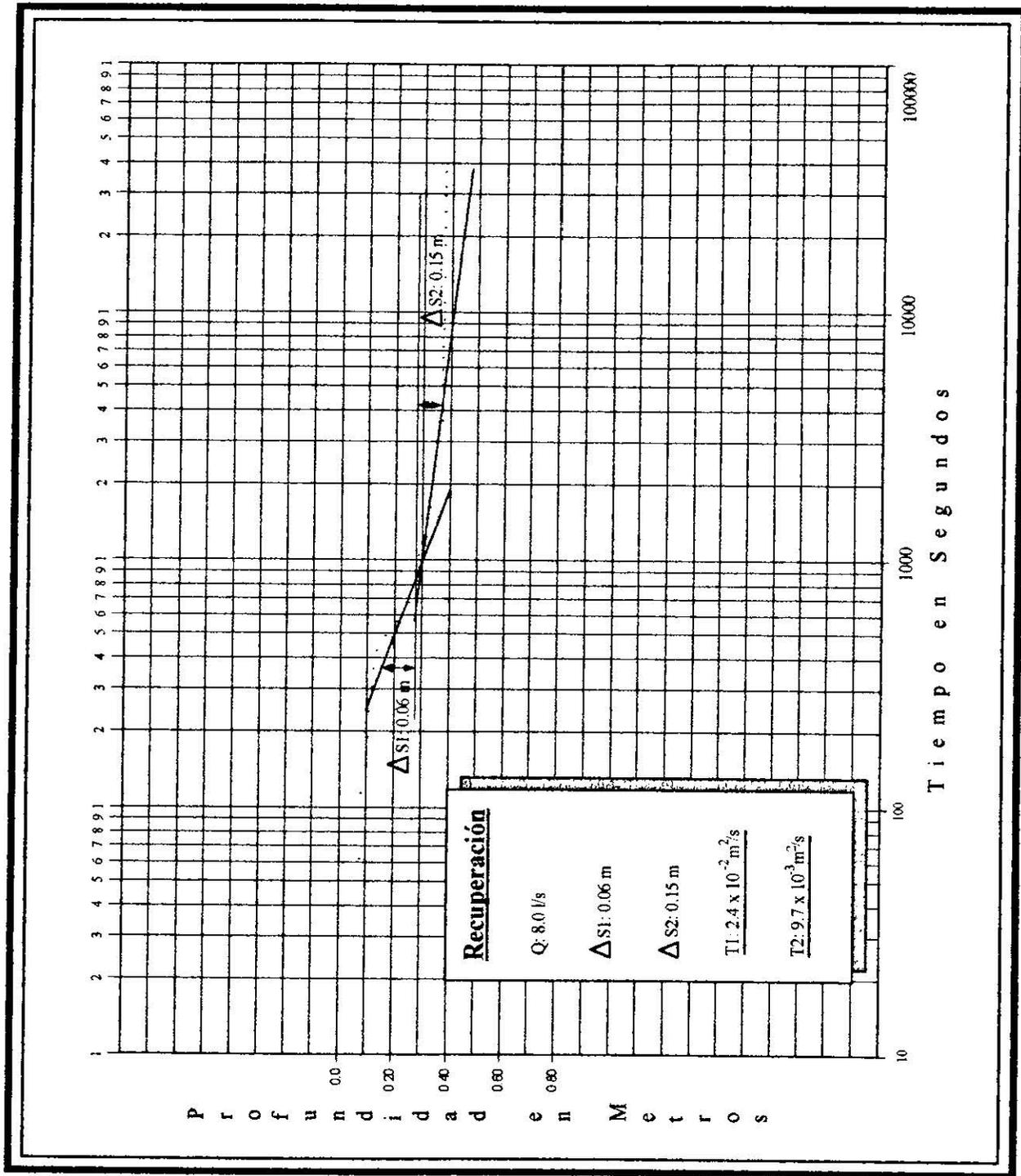


Fig. 11. Representación gráfica de los datos obtenidos en la fase de recuperación durante la Prueba de Bombeo, según el Método de la Línea Recta en el Rancho San Antonio en el poniente del área.

#### **4.8 Sitios de explotación del agua subterránea**

Tal como se indicó en el plan de objetivos trazados, el nivel alcanzado no permite suponer un volumen total de agua dentro del acuífero libre, así como a la carencia de determinaciones precisas sobre parámetros de porosidad y permeabilidad comprobada, que fijen el comportamiento hidráulico en los medios geológicos.

De acuerdo al nivel de las determinaciones geológicas e inferencias hidrogeológicas, que fueron desarrolladas en el presente trabajo, se llegaron a establecer los sitios dentro del área de estudio para mayor factibilidad de explotación del potencial acuífero.

En general en toda el área de estudio se han realizado perforaciones para la extracción de agua, donde se han obtenido niveles de saturación en todos, pero sus caudales de extracción son muy diferentes de acuerdo a los materiales o rocas que se perforan, por lo tanto en los siguientes párrafos se proponen algunas alternativas para el mejor aprovechamiento del agua subterránea.

1.- La principal zona queda comprendida entre Montemorelos y General Terán dentro de la extensa superficie de materiales aluviales y la zona alterada de la Formación Méndez, donde se tienen registrados pozos con mucho caudal de extracción (hasta de 80 l/s), estos datos obtenidos por la SARH y por apreciación personal al realizar los levantamientos de datos piezométricos, existiendo limitaciones para la explotación de agua en esta zona, relacionadas con el alto contenido de nitratos en el agua, así como de casi todos los parámetros que se analizaron en el laboratorio (Anexo 4).

2.- Una zona de importancia es en las cercanías del frente de la Sierra Madre Oriental, ya que son lugares con un fracturamiento muy intenso en las rocas lutitas de la Fm. Méndez, con fracturas *ac* y *bc* estrechamente relacionadas entre sí. En estos sitios no se tienen aprovechamientos con buenos caudales de extracción, debido a la falta de infraestructura hidráulica y en los datos analizados en una muestra de agua en el frente de la Sierra, los parámetros de contaminación son bajos, por lo cual se le considera como agua de calidad potable para el consumo humano (Anexo 4).

3.- Las pequeñas fallas dentro de la Fm. Méndez pueden actuar como zonas almacenadoras de agua subterránea, esto debido a que si el fracturamiento preferencial existe con dirección NE-SW y estas fallas buzan hacia el SW con rumbo NW-SE, por lo tanto las aportaciones de la Sierra por el fracturamiento tenderían a llegar a estas zonas, ya que dos de estas fallas encontradas están compuestas en su plano de deslizamiento por calcita y por minerales arcillosos, por lo cual actuarían como una capa sello para el flujo del agua subterránea.

4.- En base a los datos estructurales medidos, hacia la localidad de San Francisco (Punto D en el Anexo 3) se obtuvieron casi igual magnitud en las diaclasas *ac* y *bc*, por lo cual es de esperarse pozos con mas producción en su caudal que los normalmente construidos en rocas lutitas que varían desde 0.5 a 3.0 l/s, comprobándose esto con pozos en esta zona con caudales hasta de 6 l/s, medidos a través del método de la escuadra.

5.- Las rocas calizas de las Formaciones Cupido y Aurora que son los principales acuíferos que abastecen de agua potable a la Ciudad de Monterrey en pozos, en el área de estudio existen en la Sierra Madre Oriental, pero el problema son los escarpes y alturas elevadas que forman estas rocas. Se presentan problemas también para interceptarlas en la planicie, ya que de acuerdo a indicios de pozos construidos por PEMEX, se alcanzarían estas formaciones a profundidades de 800 a 1000 metros como mínimo en las cercanías del Pozo Terán # 1.

#### **4.9 Contaminación Ambiental**

El agua es uno de los componentes básicos del medio ambiente, y un elemento esencial para la vida humana; sin embargo, aunque está dispuesta para el uso de toda la humanidad, no es un bien ilimitado sino escaso.

El hombre para su abastecimiento, canaliza el agua procedente tanto de corrientes superficiales como subterráneas.

Con el desarrollo alcanzado por las sociedades modernas han aparecido diversos problemas referentes al uso del agua; por su parte, el número de litros por persona de consumo medio al día crece sin cesar, los 40-50 l/día para usos doméstico e higiénico pasan a 500 l/día por persona si se cuentan los usos agrícolas e industriales; por otra, la mala distribución del consumo que hace que por falta de infraestructura para su conducción al menos un 30% de la población del tercer mundo no disponga de suficiente abastecimiento, y en tercer lugar la pérdida de calidad y el incremento de la contaminación es constante, con el consiguiente deterioro del medio ambiente. Por un agua de calidad se entiende la que es apta para consumo humano y animal, para soporte de la vida marina, para riego de la tierra de labor y para usos recreativos. Se afirma que el agua está contaminada cuando su composición está alterada y no conserva sus propiedades naturales (Thema, 1998).

En la actualidad se asiste a una constante pérdida de calidad debido a la contaminación de las corrientes superficiales y subterráneas por el uso descuidado y los vertidos de la industria y de una población en continuo crecimiento.

Las cuencas fluviales y marinas han sido históricamente un medio natural de evacuación de los desechos, pero hoy la cantidad de materia no degradable (por ejemplo plásticos) cada vez mayor no puede ser digerida por las bacterias aeróbicas encargadas de mantener el poder depurador del agua.

Hay diferentes tipos de contaminantes, como el de origen agrícola entre ellos los pesticidas y plaguicidas que afectan a la calidad de las aguas, a la que llegan a través de los suelos o de la atmósfera dada su gran capacidad de difusión; otros proceden de las aguas residuales urbanas, que aumentan con el crecimiento de la población y con el incremento de su nivel de vida que genera más desechos y residuos (restos sólidos, detergentes, compuestos químicos, entre otros).

Si bien, desde un tiempo reciente se ha iniciado la utilización de compuestos biodegradables que han permitido mejorar la oxigenación de los ríos y cierta recuperación; un tercer grupo de contaminantes son de origen industrial y son los que sin duda tienen más incidencia, especialmente los que proceden de industrias del petróleo, químicas, textiles, papeleras, etc., que han convertido muchas corrientes fluviales en cauces muertos que desembocan en el mar, que es el destino final de todas las aguas.

La contaminación de lagos, ríos y agua subterránea es muchas veces el resultado de la ignorancia, descuido y necesidad de conseguir un beneficio rápido. Muchos ríos están contaminados hasta tal punto que es necesario hacer grandes inversiones en tratamiento de agua para conseguir con seguridad agua potable.

El agua subterránea se consideraban antiguamente protegidos contra la contaminación debido a las capas de tierra o roca que los cubren, pero actualmente sabemos que se contaminan con la misma facilidad que el agua superficial si no están protegidos. La contaminación del agua subterránea tiene dos facetas:

- 1.- Infiltración de agua freática por agua freática contaminada al pasar por su acuífero en el camino a un arroyo o al mar.
- 2.- Infiltración que penetra libremente desde la superficie.

Según la Comisión Nacional del Agua/CNA, en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, especifica en:

Artículo 88.- Las personas físicas o morales requieren permiso de "La Comisión" para descargar en forma permanente, intermitente o fortuitamente aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos.

Artículo 94.- Cuando la paralización de una planta de tratamiento de aguas residuales pueda ocasionar graves perjuicios a la salud o a la seguridad de la población o graves daños al ecosistema, "La Comisión", a solicitud de la autoridad competente y por razones de interés público, ordenará la suspensión de las actividades que originen la descarga y, cuando esto no fuera posible o conveniente, nombrará un interventor para que se haga cargo de la administración y operación temporal de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, hasta que se suspendan las actividades o se considere superada la gravedad de la descarga.

Artículo 148.- Los lodos producto del tratamiento de las aguas residuales, deberán estabilizarse en los términos de las disposiciones legales y reglamentarias de la materia.

Los sitios para su estabilización deberán:

- 1.- Impermeabilizarse con materiales que no permitan el paso de lixiviados.
- 2.- Contar con drenes o con estructuras que permitan la recolección de lixiviados.

Cuando los lodos una vez estabilizados y desaguados presenten concentraciones no permisibles de sustancias peligrosas, contraviniendo las normas oficiales mexicanas, deberán enviarse a sitios de confinamiento controlado aprobados por la autoridad competente, conforme a la normatividad aplicable en materia de residuos peligrosos.

Las aguas producto del escurrimiento y de los lixiviados deberán ser tratadas antes de descargarse a cuerpos receptores.

#### **4.9.1 Fuentes de Contaminación**

Los depósitos de desechos sólidos son en general una de las fuentes de contaminación más importantes, tanto en los escurrimientos superficiales como en los subterráneos. En general lo que se debe buscar para estos depósitos, son zonas con baja permeabilidad en los suelos y que los flujos subterráneos no propicien la emigración a acuíferos importantes. El problema de estos depósitos es cada día mas grave, debido al crecimiento acelerado de los centros de población.

Los drenajes son en general fuentes muy severas de contaminación, ya que el estado de conservación es malo y las fugas y filtraciones hacia los acuíferos es grande. A esto hay que aunar el creciente aprovechamiento para irrigación con aguas negras debido a la escasez de aguas blancas, aunque en general el nivel de nutrientes que contienen son apreciables y su uso se ha generalizado.

Otra de las actividades que en algunos casos presentan graves problemas de contaminación, es la agricultura intensiva debido al uso de fertilizantes y pesticidas, los efectos mas nocivos los presentan los fertilizantes llamados químicos, en los que los principales componentes son el Potasio, Nitrógeno y Fósforo, que con el exceso en su aplicación, se van acumulando en el suelo y posteriormente se infiltran al subsuelo.

De acuerdo con el Centro Internacional de Estudios GRUNDFOS (1992), las principales fuentes contaminantes, así como sus elementos contaminadores del agua subterránea, se describen como sigue:

→ Basureros municipales e industriales.

1. Metales pesados, cloruro, sodio, calcio.
2. Gran variedad de componentes orgánicos e inorgánicos.

→ Lugares de eliminación de desechos peligrosos.

1. Gran variedad de componentes inorgánicos (especialmente metales pesados como cromo hexavalente) y componentes orgánicos (pesticidas, disolventes).

→ Estanques de almacenamiento de residuos líquidos.

1. Metales pesados, disolventes y soluciones salinas.

→ Fosas sépticas y áreas de lixiviación.

1. Componentes orgánicos (disolventes), nitratos, sulfatos, sodio y contaminadores microbiológicos.

→ Almacenamiento de residuos en pozos profundos.

1. Distintos componentes orgánicos e inorgánicos.

→ Actividades agrícolas.

1. Nitratos, herbicidas y pesticidas.

→ Uso de agua residual y lodo en el campo.

1. Metales pesados, componentes orgánicos e inorgánicos, contaminadores microbiológicos.

→ Infiltración de residuos urbanos.

1. Componentes inorgánicos, metales pesados y productos petrolíferos.

→ Actividades de deshielo.

1. Cloruros, sodio y calcio.

→ Residuos radioactivos.

1. Radioactividad de estroncio, tritio y otros radionúclidos.

→ Pozos y perforaciones de exploración indebidamente abandonados.

1. Diferentes contaminadores orgánicos, inorgánicos y microbiológicos procedentes de aguas superficiales, así como de otros acuíferos contaminados.

La Comisión Nacional del Agua/CNA presenta su reglamento, pero en realidad falta mucho por hacer, ya que las reglas que propone esta Comisión, no se cumplen como se debiera, ya que existen dos posibles fuentes de contaminación en el área de estudio, entre otras, de las cuales se puede describir lo siguiente:

### **Disposición de los desechos sólidos (Basura):**

Los desechos son un subproducto de la actividad humana y se generan en forma ininterrumpida en todos los sitios donde existen asentamientos humanos en una proporción estrechamente relacionada con el número de habitantes, con su capacidad para producir y usar bienes de consumo y con su modo de vida.

El término basura se utiliza frecuentemente para designar a los desechos sólidos que se producen en una ciudad como consecuencia de las diferentes actividades domésticas, comerciales y de servicios.

En casi todas las ciudades de nuestro país, resultaba común depositar la basura en un sitio predominantemente alejado de la urbe, sin someterla a ningún tratamiento. Esta actitud es un reflejo de diversos factores (Trejo Vázquez, 1986) entre los que destacan los siguientes:

- a) La ignorancia sobre el riesgo potencial para la salud y el bienestar de la comunidad.
- b) El desconocimiento sobre las técnicas de tratamiento de basura.
- c) La falta de planeación en el crecimiento de las ciudades.
- d) El bajo nivel cultural y cívico que poseían las comunidades en nuestro país.
- e) Los escasos recursos económicos para atacar estos problemas.
- f) Una combinación entre la apatía del ciudadano y la actitud generalizada de los responsables de la administración de servicios públicos de ignorar lo referente a la disposición de basura hasta que provoca serios daños en la salud de la comunidad o en el ambiente.

Como consecuencia de toda esta problemática se han venido realizando estudios mas a detalle sobre la disposición final de los desechos sólidos, contando en nuestros días con rellenos sanitarios en las principales ciudades del país.

El relleno sanitario consiste en depositar y cubrir en la tierra los desechos de acuerdo con cierta localización y principios de operación de modo que se elimine cualquier riesgo para la salud y el ambiente.

En un relleno sanitario convencional la basura se distribuye en capas de 2 a 2.5 metros de espesor. Cada tramo nuevo que se deposita, se cubre diariamente con una capa de material de cubierta compuesta de materiales arcillosos y con un espesor no menor a los 40 cm. De esta manera se reducen olores y se evita la propagación de larvas de moscas, así como la infestación de roedores; también se previenen fuegos espontáneos y el sitio resulta menos ofensivo visualmente.

En cualquier relleno sanitario, se deben de seguir algunos requerimientos esenciales para su óptimo funcionamiento:

- 1.- Antes de instalar un relleno, se debe realizar un estudio geológico en el sitio proyectado, puesto que la composición y la estructura del estrato geológico deben ser capaces de evitar cualquier riesgo de contaminación del agua subterránea. También se debe de estudiar el posible daño debido a escurrimientos. Algunas veces son necesarias medidas especiales de protección, como sellar el fondo del relleno (geomembrana), construir drenes y proveer el tratamiento de lixiviados, entre otros.
- 2.- Debe existir vigilancia regular, prevención de fuegos y prohibición de labores de pepena dentro del relleno, contando con vías de acceso claramente señaladas.
- 3.- El relleno debe de estar alambrado en el área de trabajo y contar con barreras de árboles que impidan su visibilidad desde carreteras o lugares cercanos habitados.
- 4.- Al final de su vida útil, el relleno debe cubrirse con una capa de tierra, cuyo espesor fluctúa entre 20 cm y 3 metros, dependiendo del uso final previsto para el sitio.

De acuerdo a los requerimientos anteriores, el relleno sanitario de Montemorelos localizado hacia la parte central del área de estudio, puede tener afectación directa sobre el acuífero de grietas localizado hacia esta zona, debido a que la base o capa impermeable de este relleno son las rocas lutitas de la Fm. Méndez.

Según el análisis de fracturamiento en los puntos I, J, K y L del Anexo 3 así como la fotointerpretación realizada de manera regional, nos indica un alto grado de fracturamiento en este sitio, con diaclasas predominantes de tipo *ac* con dirección hacia el NE.

Otro problema de posible contaminación se debe a que este relleno se encuentra ubicado en el nacimiento de un escurrimiento superficial (Foto # 11) que viene a ser afluente directo del arroyo El Encadenado (Anexo # 4), por lo que al ocurrir precipitaciones de consideración se corre el riesgo de contaminación tanto al arroyo, que a final de cuentas desemboca en el Río Pílon hacia el NE fuera del área de estudio, como al acuífero dado el fracturamiento presente en esa área.

Ciudades como Montemorelos y General Terán cuyo aumento en su población crece a cada día, presentan ya problemática en cuanto a la cantidad de desechos sólidos (basura).

W

E

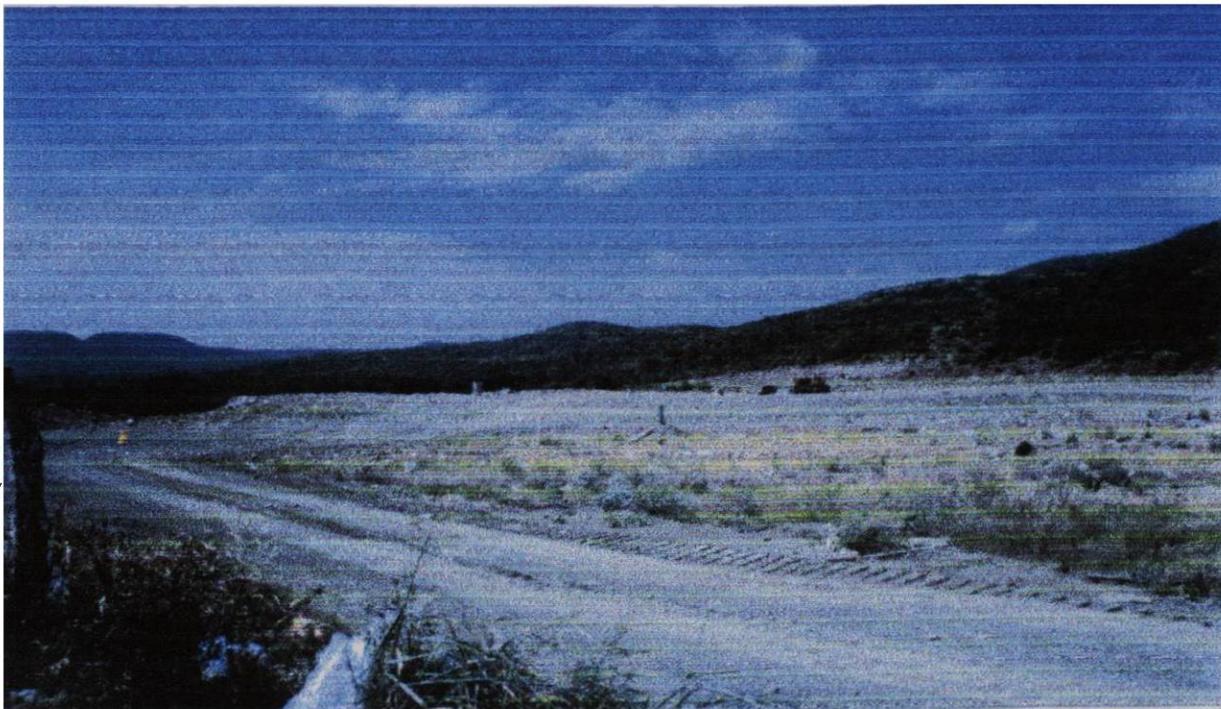


Foto 11. Relleno Sanitario de Montemorelos, N.L. Sus Coordenadas son N: 25°08'05" y W: 99°47'13".

Según el Censo poblacional realizado por el INEGI en 1990, en la Cd. de Montemorelos se contaba con una población de 35,508 habitantes. Considerando la tasa promedio de generación de basura por persona para el NE de México de 0.800 kg/día, el total de desechos hacia este relleno es de 28,406.4 kg/día, equivalente a 10,368.336 ton/año.

Tomando en cuenta la misma consideración de la tasa promedio de generación de basura por persona, General Terán para el censo de 1990 contaba con una población de 6,139 habitantes, por lo tanto su cantidad de desperdicios sólidos es de 4,911.2 kg/día, equivalente a 1,792.588 ton/año.

### **Tratamiento de aguas residuales:**

Las aguas residuales son un conjunto de aguas que son contaminadas durante su empleo en actividades realizadas por las personas.

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas, donde las mas comunes incluyen la determinación del contenido de sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química del oxígeno y el pH.

De acuerdo a las autoridades, regidas por la SEMARNAT, se tiene que realizar una caracterización física, química y bacteriológica de los lodos resultantes de las plantas de tratamiento por laboratorios autorizados por esta misma dependencia.

En base a esta caracterización, si los lodos presentan gran cantidad de metales pesados (producto de actividades industriales), la disposición final de estos será en minas dependiendo del tipo de metales presentes.

Si el origen de los lodos es de actividades domésticas o comerciales (residuos fecales, detergentes, etc.), la disposición final de estos es en tiraderos determinados por el municipio con su previa autorización.

Los lodos producto de la planta de tratamiento de aguas residuales de Montemorelos, se depositan actualmente en fosas a un costado de dicha planta como tiradero propuesto por el mismo municipio (Foto # 12), pero de acuerdo al reconocimiento geológico realizado, se determinaron como los materiales basales materiales aluviales, los cuales están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas.

En este tipo de materiales se ha determinado en otras zonas aledañas al área de estudio una alta permeabilidad, por lo que al filtrarse parte de estos lodos llegarían al acuífero libre presentándose riesgos de contaminación principalmente por Nitratos, Sulfatos, Sodio y contaminadores microbiológicos, aparte de cantidades menores de metales pesados.

A parte de este problema aproximadamente a 200 m de distancia de esta planta de tratamiento se encuentra localizado el Río Pilón, el cual se encuentra conectado en estos mismos materiales con las fosas captadoras de lodos, por lo cual existe también riesgo potencial de contaminación de este río y realizar descarga de contaminantes aguas abajo a través de su cauce.

NE

SW



Foto 12. Fosas de depositación de lodos junto a la planta de tratamiento de aguas residuales en los márgenes del Río Pilón, aproximadamente a 200 metros de su cauce principal. Sus coordenadas son N: 25°10'22" y 99°48'50".

Los recursos de aguas subterráneas no son yacimientos que se explotan hasta su agotamiento como los yacimientos del petróleo. Mas bien son sistemas hidrodinámicos recuperándose permanentemente como parte del ciclo hidrológico por ser recargados por agua de precipitación.

## 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las unidades geológicas que se determinaron van desde el Jurásico Superior, notándose potentes espesores de rocas calcáreas, hasta el Cretácico Superior donde aparecen grandes paquetes de rocas arcillosas, así como también sedimentos alóctonos de edad Cenozoica.

El tipo de red fluvial es de tipo dendrítico, característico de zonas donde no hay rasgos estructurales dominantes, y se presenta también el de tipo rectangular, formado por el sistema de diaclasas tan marcado dentro de la Fm. Méndez.

Geomorfológicamente el área de estudio se dividió en tres zonas, la que comprende los depósitos conglomeráticos y sedimentos aluviales, las rocas del Cretácico Superior (Fm. Méndez) y la Sierra Madre Oriental. La primera corresponde a partes topográficamente planas, la segunda a zonas con lomeríos suaves y la tercera con lomeríos de topografía muy abrupta.

El rumbo preferencial de los estratos es principalmente Noroeste-Sureste (NW-SE), con una sucesión de pliegues recumbentes con un buzamiento hacia el Suroeste (SW).

Estructuralmente, la estratificación tiene un rumbo promedio de  $149^\circ$  y el buzamiento es variable entre  $24^\circ$  y  $60^\circ$  al SW. El rumbo del diaclasamiento de manera regional marca una clara preferencia de  $34^\circ$  de NE-SW, así como también de manera local en los puntos visitados con un promedio de diaclasas de  $43^\circ$  de NE-SW, mientras que el buzamiento de estas es mayor a los  $80^\circ$  hacia el SE o al NW.

El diaclasamiento local es de dos tipos, uno es el de tipo *ac*, las cuales actúan como un medio de transporte de agua subterránea y el otro es el de tipo *bc*, las cuales pueden actuar como un medio almacenador de agua o como medio de transporte, dependiendo de la comunicación que exista entre los dos tipos.

La recarga generada por infiltración de agua de lluvia en las rocas de la Formación Méndez en las sierras y lomeríos es la que se puede aprovechar, así como también la del escurrimiento subterráneo procedente de otras áreas dada la estructura geológica de las rocas Mesozoicas.

Los acuíferos determinados se encuentran principalmente constituidos por paquetes de gravas y por la parte Superior de la Formación Méndez, la cual se encuentra muy fracturada e intemperizada constituyendo un acuífero de tipo libre.

De los aprovechamientos hidráulicos censados, se tomaron en cuenta los más representativos, de los cuales 119 tuvieron la información necesaria para la realización de la carta piezométrica.

Los niveles estáticos medidos en algunos lugares cercanos a las corrientes superficiales como es el Río Pílon, varían de 2 a 8 metros, y llegando a valores de 28 a 32 metros, en lugares altos o zonas donde se extrae gran cantidad de agua.

El movimiento de las aguas subterráneas en las rocas del Cretácico Superior, sedimentos Conglomeráticos y Aluviales, está controlado principalmente por el tipo de porosidad y permeabilidad, la estructura geológica, discontinuidades geológico-tectónicas y el nivel base hacia el que se mueve el agua subterránea.

El movimiento del agua subterránea coincide en forma aproximada con las pendientes superficiales, a excepción de las áreas cercanas a los cauces de los escurrimientos superficiales, donde por aportaciones directas el acuífero libre alcanza su máxima producción.

El comportamiento del agua subterránea nos muestra un acortamiento entre isolíneas en la parte central del área, debido a que se encuentran rocas más impermeables o sea fracturamiento menos intenso y en la porción SW del área, en las cercanías de la Sierra, las isolíneas se cierran debido al reflejo de un mayor desnivel topográfico a una corta distancia del nivel freático. Mientras tanto en la parte Norte, presentan una separación considerable debido a que son suelos muy permeables.

Los valores más altos en casi todos los parámetros referentes a la calidad del agua, se presentan hacia la zona del Ejido California aunque no sobrepasan los límites permitidos por la Secretaría de Salud, esto debido a que el flujo del agua subterránea tiene una dirección predominante hacia el NE, por lo tanto al pasar por la zona urbana de Montemorelos, esta agua sufre contaminación de diferentes tipos, así como la alta actividad agrícola y ganadera hacia esta zona.

Según el diagrama múltiple lineal de Piper, las muestras de Pil-2 y Cal, pertenecen a la clasificación de Carbonatada cálcica, mientras que las de Pil-1 y Pil-3, pertenecen a la clasificación de Carbonatada-Sulfatada cálcica.

Los valores obtenidos en la prueba de bombeo son bajos, del orden de  $9.7$  a  $6.6 \times 10^{-3}$   $\text{m}^2/\text{s}$  en Transmisividad, debido a que se localiza en un acuífero de grietas principalmente,  $3.7 \times 10^{-3}$  a  $1.7 \times 10^{-2}$  en el Coeficiente de Almacenamiento y  $3.2 \times 10^{-4}$  a  $2.2 \times 10^{-2}$  en valores de Conductividad Hidráulica.

La extracción del agua se efectúa por medio de pozos y norias, utilizándose en los pozos bombas sumergibles y bombas con cabezal de descarga, pero en las norias la extracción es manual, así como con aeromotor (papalote).

Los sitios con mejores posibilidades de explotación del agua subterránea en el área de estudio son los siguientes:

- 1.- El extenso valle aluvial localizado entre Montemorelos y el Ejido California, al Norte de General Terán.
- 2.- Las áreas cercanas a la Sierra Madre, ya que se presenta un fracturamiento muy intenso en las rocas con fracturas *ac* y *bc* estrechamente relacionadas entre sí.
- 3.- En las cercanías de la localidad de San Francisco donde se obtuvieron casi igual número en magnitud de las diaclasas.
- 4.- Para alcanzar las rocas calizas de las Formaciones Aurora y Cupido, se tendrían que hacer perforaciones en la planicie con profundidades mayores a los 1000 m.

La infraestructura hidráulica en el área de estudio es muy deficiente, sumándose a esto el hecho de que hasta la fecha no se había realizado ningún estudio encaminado a la prospección hidrogeológica, por lo cual en este estudio se dan una serie de alternativas para el óptimo aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

## 6. RECOMENDACIONES

Para tener un mejor aprovechamiento de los acuíferos en el área de estudio, se deben de tomar en cuenta las oscilaciones de la lluvia anual (y si es posible mensual) y el volumen de agua extraída, factores que afectan el nivel piezométrico.

Si se quieren evitar sobreexplotaciones de los acuíferos con sus consecuencias desfavorables, hay que conocer la recarga natural por precipitación, parámetro que es decisivo para determinar las cantidades de agua disponibles para el uso humano.

En futuras perforaciones describir lo mejor posible la Formación o Formaciones geológicas y sobre todo saber con precisión que roca es la que se comporta como un buen acuífero, ya que se observaron localidades con hasta 3 o 4 pozos sin producir a causa de que no tenían un gasto suficiente.

Controlar en forma permanente los pozos (nivel estático, gasto, etc.) para poder trazar mapas con curvas de igual piezometría, y de esta manera tener bases suficientes para evaluaciones posteriores.

Al explotar las aguas subterráneas se recomienda controlar los niveles piezométricos, el nivel dinámico y el volumen de extracción de agua de los pozos.

Es recomendable realizar un estudio muy a detalle en la zona de influencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, tomando aguas abajo de las fosas rellenas con lodos, análisis físico-químicos y bacteriológicos para identificar el tipo de contaminantes que afectan tanto al acuífero de gravas en esta zona, como al mismo Río Pílon.

Es recomendable también realizar periódicamente un muestreo a lo largo del arroyo El Encadenado, para identificar los posibles contaminantes producto del relleno sanitario, los cuales se pueden lixiviar por las fracturas de las rocas.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- Aguilar, R. A. (1984):** Integración Geológica y Geoquímica para determinar posibles zonas de generación de hidrocarburos en la porción Centro-Oriental de la zona Norte. Informe I.G.-Q-36 de PEMEX, inédito. México, D.F.
- Alva Niño E. (1995):** Datos base y metodología para la elaboración de una carta ingeniero-geológica de la zona metropolitana de Monterrey, N.L., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 82p.
- Alva Niño E. (1997):** Estudio Geológico-Hidrogeológico de la Región Noreste (Sierra Las Mitras-Cerro El Topo-Cerro El Durazno) de Monterrey, Nuevo León/México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 108p.
- Burrows, R. W. (1910):** Geology of Northern México. Bol. Geol. Mex. V.7, p.85-103.
- Castany, G. (1971):** Tratado práctico de las aguas subterráneas. 656p.
- Centro Internacional de Estudios GRUNDFOS (1992):** Suministro de Agua Doméstica. 171p.
- Comisión Federal de Electricidad/CFE. (1993):** Compilación Geológica de la vertiente del Golfo de México, Area I. 169p.
- Comisión Nacional del Agua/CNA. (1991):** Análisis Hidrológico en el Estado por Cuenca y Municipio, Monterrey, N.L., 31p.
- Comisión Nacional del Agua/CNA. (1992):** Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. 174p.
- Comisión Nacional del Agua/CNA. (1994):** Pruebas de Bombeo, Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro V. 112p.

**Chapa Guerrero, J. R. (1993):** Massenbewegungen an Steilhängen der Sierra Madre Oriental im Grossraum Monterrey, Mexico. –Mitt. zur Ing. u. Hydrogeol. der RWTH-Aachen. 54: 164p. Aachen, Alemania.

**Chávez Cabello, G. (1996):** Cartografía geológica y caracterización geoquímica en rocas sedimentarias de la margen Sur del Cañón de la Huasteca; Santa Catarina, Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 103p.

**Custodio, E & Llamas, M. R. (1996):** Hidrogeología Subterránea. Segunda edición, 1157 p., Barcelona, España.

**De Cserna, Z. (1956):** Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México entre Torreón y Monterrey. Cong. Geol. Intern., Monografía: p. 1-60.

**De la Garza González, S. I., González Flores, S., Sepúlveda Martínez, R., Avendaño Huerta, A. A., Ramos Ledezma, A., Reyes Zaragoza, M. A., Rodríguez Saavedra, P., Olvera Carranza, K. P., Urrutia Elizondo, F. (1995):** Práctica de Ensayo de Bombeo, realizado en la Huerta La Japonesa, Linares, N. L. Facultad de Ciencias de la Tierra, 28p. (reporte inédito), Linares, México.

**De León Gómez, H. (1993):** Die Unterläufigkeit der Talsperre José López Portillo/Cerro Prieto auf einer Kalkstein-Mergelstein-Wechselfolge bei Linares, Nuevo León/México. –Mitt. Zur Ing. u. Hydrogeol. der RWTH –Aachen. 53:181p., Aachen, Alemania.

**De León Gómez, H. Schetelig, K. & Meiburg, P. (1994):** Abastecimiento de Agua Potable en el Noreste de México. Ejemplo: Presa Cerro Prieto. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, p. 583-602, Stuttgart, Alemania.

**De León Gómez, H. Schetelig, K. (1996):** Fracturamiento Hidráulico en presas. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, p. 1037-1043. Stuttgart, Alemania.

**De León Gómez, H., Schetelig, K., Werner, J., Azzam, R., Masuch-Osterreich, D., Medina-Barrera, F., Rangel-Rodríguez, M. M., Navarro de León, I. & Salinas Ramírez, J.O. (1998):** Límites del Abastecimiento de agua potable en el Noreste de México, objetivos y metas; (SIREYES/95/053). Zbl. Geol. Paläont. Teil I, p. 511-518, Stuttgart, Alemania.

- Drescher, H. (1995):** Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Raum Linares, Nuevo León, Mexiko, Universität zu Kiel, 117p.
- Galicia, B. J. C. & Cano, G. R. (1990):** Estudio de compilación geológica. Prospecto Hoja Victoria. Informe geológico núm. 709, de la Zona Norte de Exploración de PEMEX. Tampico, Tamps. Inédito.
- Galván Mancilla, S. M. (1996):** Cartografía Hidrogeológica de la terraza Baja entre Hualahuises y Linares. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., Linares, México.
- Götte, M. (1990):** Halotektonische Deformationsprozesse in Sulfatgesteinen der Minas Viejas-Formation (Ober-Jura) in der Sierra Madre Oriental, Nordost. Mexiko.-Diss. TH-Darmstadt: 270s.
- Hernández Padilla, M. (1995):** Investigaciones geológicas e hidrogeológicas del área metropolitana de Monterrey, N.L. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 94p.
- Humphrey, W. E. (1949):** Geology of the Sierra de los Muertos area, México (with descriptions of Aptian Cephalopods from the La Peña Formation). Geol. Soc. Amer. Bull., 60:80-176.
- Imlay, R. W. (1936):** Evolution of the Coahuila Peninsula, México Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans. 47: 1091-1152.
- Imlay, R. W. (1937):** Geology of the middle Part of the Sierra de Parras, Coahuila. México. Geol. Soc. Amer. Bull., 49: 539-602.
- Imlay, R. W. (1938):** Studies of the Mexican Geosyncline.-Geol. Soc. Amer. Bull. 4g, p. 1651-1694.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática/INEGI. (1974):** Carta Topográfica y Geológica, escala 1:50,000, hoja G14C37 General Terán.

**Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática/INEGI. (1974):** Carta Topográfica, escala 1:50,000, hoja G14C57 Hualahuises.

**Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática/INEGI. (1976):** Carta Topográfica y Geológica, escala 1:50,000, hoja G14C47 Montemorelos.

**Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática/INEGI. (1976):** Carta Topográfica y Geológica, escala 1:50,000, hoja G14C48 San José de las Flores.

**Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática/INEGI. (1986):** Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. Editado por la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 170p.

**Lamy, F. (1994):** Geologie (Stratigraphie, Mikrofazies, Tektonik) der Frontalketten der Sierra Madre Oriental nordwestlich von Linares, N.L., Mexiko. Diplomarbeit, TV-Munster/Alemania. 175p.

**Longoria, J. F. & Dávila, V. M. (1979):** Estratigrafía y Microfacies del Cerro de la Silla, SE de Monterrey, Boletín Dpto. de Geol. Uni-Son., Sonora, Vol.2, No.1 p.65-95.

**Longwell & Flint. (1965):** Geología Física. 545 p.

**López Oliva, J. G. (1989):** Bioestratigrafía del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior de la Sierra del Fraile, Nuevo León, México. Diplomarbeit, Univ. Hamburg. 124p.

**López Ramos, E. (1972):** Bosquejo Geológico del Estado de Nuevo León. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., vol. XXIV, No 4-6, p.203-234.

**López Ramos, E. (1982):** Geología de México. Tomo II. Tercera edición. 454p.

**Madrid Solís, A. (1976):** Consideraciones Geológico-Económicas del Jurásico Superior – NE de México. III Symposium de Geología del Subsuelo. Zona Noreste. Petróleos Mexicanos. P193-216. Reynosa, Tamaulipas.

**Meiburg, P. (1987):** Paleogeografía y desarrollo estructural del Cretácico de la Sierra Madre Oriental Septentrional, México. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., Linares, V2, p.197-199.

**Michalzik, D. (1988):** Trias bis tiefste Unter-Kreideder/nordostlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko-fazielle Entwicklung eines passiven Kontinentalrendes. TH-Darmstadt, Alemania. Tesis doctoral, 247p.

**Morán Zenteno, D. (1984):** Geología de la República Mexicana. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 82p.

**Muir, J. M. (1936):** Geology of the Tampico región, México. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Tulsa, Oklahoma, 280p.

**Navarro Galindo, A. (1959):** Reconocimiento Geológico del área de Montemorelos, Linares, General Terán, Estado de Nuevo León. Tesis Profesional, I.P.N., México. 36p.

**Padilla y Sánchez, R. J. (1982):** Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo, and Monterrey, México, Ph. D. Thesis, Univ. Texas Austin. 217p.

**Padilla y Sánchez, R. J. (1985):** Las estructuras de la Curvatura de Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí. U.N.A.M., Instituto de Geología. Revista, 6, (1): p. 1-20.

**Petróleos Mexicanos/PEMEX. (1962-1976):** Pozo Linares # 1, Pozo Trincheras # 1 y Pozo Terán # 1. Informes finales de pozos.

**Penrose, R. A. (1890):** A preliminary report on the geology of the Gulf Tertiary of Texas from the Red River to the Río Grande. Tex. G. S. Ann. Rep. 1, p.3-101.

**Peterson Rodríguez, R. H. (1998):** Estudio Geológico Estructural de una porción del Anticlinorio de Parras, Coahuila, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 108p.

**Piper, A. M. (1944):** A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. American Geophysical Union Transactions, V. 25, p. 914-923.

**Rangel Rodríguez, M. M. (1989):** Hidrogeología de la Ciudad Universitaria de la U.A.N.L., Linares, México. Tesis de Maestría. TH-Darmstadt. 97p.

**Riecke, R. (1995):** Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Raum Hualahuises/Linares, Nuevo León, NE-Mexiko. Tesis de Diploma, Universidad de Kiel, Alemania.

**Rivera García, J. L. (1994):** Estudio Geohidrológico con apoyo de métodos Geofísicos en el Rancho Los Angeles, Municipio de General Terán, N.L. reporte interno. 32p.

**Rivera García, J. L. (1994):** Estudio Geohidrológico en el Ejido Las Puentes de Gil de Leyva, Municipio de Montemorelos, N.L., reporte interno. 45p.

**Ruiz, M. (1992):** Zur Gliederung Verbreitung und ökologischen Bewertung der Böden im Gebiet von Linares, N.L., Göttinger Beitr. Z. Land u. Forstw. Tropen and Subtropen, 56, Göttingen, Alemania.

**Ruvalcaba, S. E. (1987):** Proyecto Tunel Margaritas para el abastecimiento de Agua a la Ciudad de Monterrey, N. L., Trabajo Recepcional. Facultad de Ingeniería. Área Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 80p.

**Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/SARH. (1979 a 1984):** Registro de datos recolectados en pozos realizados en el Noreste de México.

**Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/SARH. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. (1984):** Estudio Geohidrológico de la zona de los Herrera, Estado de Nuevo León. 174p.

**Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/SARH, Residencia General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos. (1986):** Censo de Pozos de la Región Citrícola, escala 1:100,000.

**Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/SEDUE, (1989):** Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Diario Oficial. p. 7-23.

**Secretaría de Salubridad y Asistencia/SSA. (1995):** Norma oficial mexicana nom-127-ssal-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". INTERNET, <http://www.ssa.gob.mx/nom/127ssa14.html>.

**Sepúlveda Martínez, R. (1998):** Bioestratigrafía y Paleoecología de Foraminíferos Planctónicos en el Maastrichtiano Superior en Caravaca (España). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 140p.

**Thema Equipo Editorial, (1998):** Enciclopedia Autodidáctica Siglo XXI. Historia Contemporánea y Demografía. 255p.

**Tovar, R. J. (1964):** Informe Fotogeológico del área de Allende, N.L.-Inf. Inédito. Petróleos Mexicanos.

**Trejo Vázquez, R. (1986):** Revisión del estado del arte en el procesamiento de basura urbana. Proyecto para la disposición de desechos sólidos urbanos. Consejo del Sistema de Educación Tecnológica p(79-89).

**Werner, J. (1996):** Introducción a la Hidrogeología. Primera edición. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León. 174p.

## CONTENIDO

<b>ANEXO 1</b>	CARTA GEOLÓGICA
<b>ANEXO 2</b>	SECCIONES GEOLÓGICAS
<b>ANEXO 3</b>	CARTA ESTRUCTURAL
<b>ANEXO 4</b>	REGISTRO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS
<b>ANEXO 5</b>	CARTA PIEZOMÉTRICA Y DOCUMENTACIÓN DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS

**ANEXO 1**

**CARTA GEOLÓGICA**



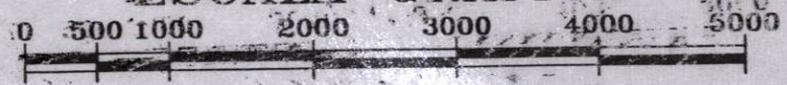


# SIMBOLOGIA

## ROCAS SEDIMENTARIAS

Cenozoico	Cuaternario	Aluvión, Conglomerado	
	Terciario	Conglomerado	
		Fm. Méndez	
		Fm. San Felipe	
		Fm. Agua Nueva	

## ESCALA GRAFICA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARTA GEOLOGICA DEL AREA DE ESTUDIO

SERGIO GONZÁLEZ FLORES

TESIS DE LICENCIATURA

ANEXO 1

200 20071



### SIMBOLOGIA

ROCAS SEDIMENTARIAS			
Cenozoico	Cuaternario	Aluvi3n, Conglomerado	
	Terciario	Conglomerado	
		Fm. M3ndez	
		Fm. San Felipe	
Mesozoico	Cret3cico	Fm. Agua Nueva	
		Fm. Cuesta del Cura	
		Fm. Aurora	
	Jur3sico	Fm. Cupido	
		Fm. Taraises	
S3MBOLOS ESTRUCTURALES			
L3nea de secci3n geol3gica			
Rumbo y echado			
Eje de anticlinal			
Eje de sinclinal			
Fractura			
Falla de cabalgamiento			
S3MBOLOS HIDROL3GICOS			
Corriente perenne			
Corriente intermitente			
SITIOS DE INTER3S			
Comunidad			
Poblaci3n			
Carretera pavimentada			
Terracer3a transitable todo el tiempo			
Brecha			
Ferrocarril en servicio p3blico			
L3nea telef3nica			
L3nea telegr3fica			
L3nea el3ctrica de 33 Kva o mas			
L3nea el3ctrica de menos de 33 Kva			
Curva de nivel acotada en metros			
Planta de tratamiento de aguas residuales y relleno sanitario			

Nota: Informaci3n base tomada de cartas topogr3ficas de I.N.E.G.I.



UNIVERSIDAD AUT3NOMA DE NUEVO LE3N

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARTA GEOL3GICA DEL 3REA DE ESTUDIO

SERGIO GONZ3LEZ FLORES

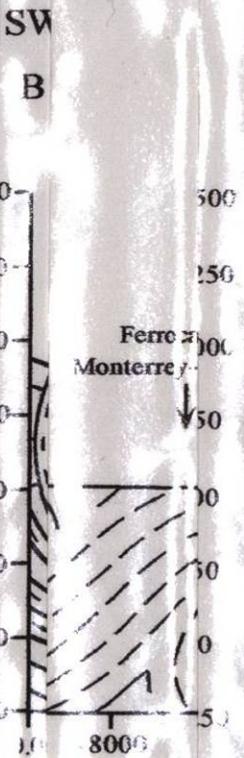
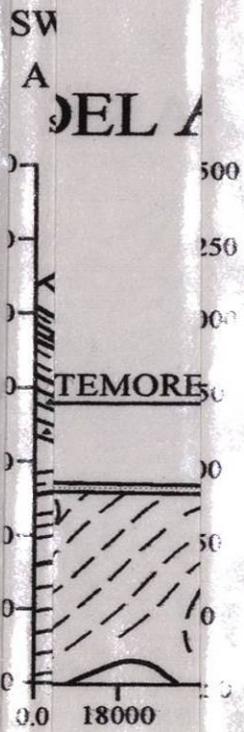
TESIS DE LICENCIATURA

2001

ANEXO I

**ANEXO 2**

**SECCIONES GEOLÓGICAS**

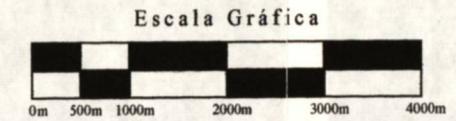
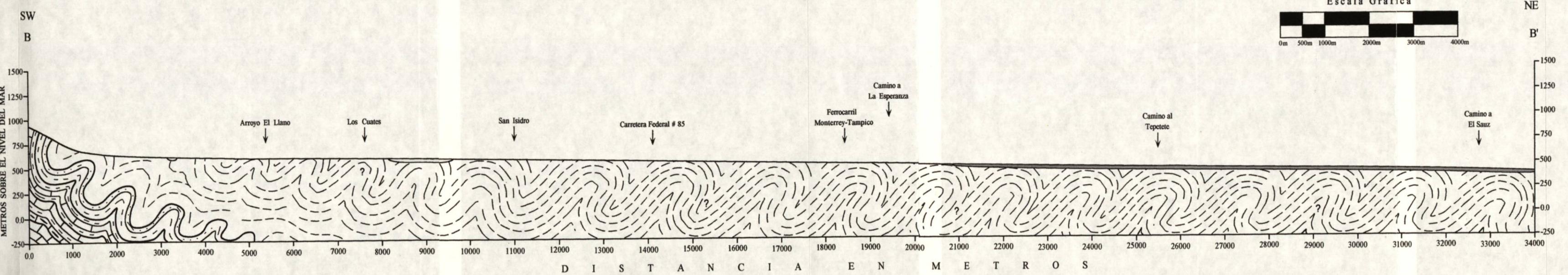
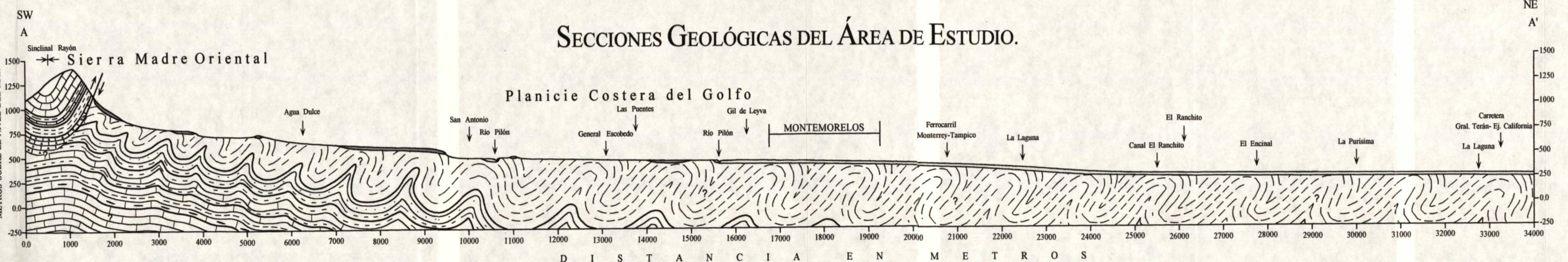


# SIMBOLOGÍA

	ALUVIÓN
	CONGLOMERADO
	FORMACIÓN MÉNDEZ
	FORMACIÓN SAN FELIPE
	FORMACIÓN AGUA NUEVA
	FORMACIÓN CUESTA DEL CURA
	FORMACIÓN AURORA
	FORMACIÓN CUPIDO
	FORMACIÓN TARAISES
	FORMACIÓN LA CASITA
	FORMACIÓN ZULOAGA
	FALLA DE CABALGAMIENTO
	EJE DE SINCLINAL

<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN</b>	
<b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA</b>	
<b>SECCIONES GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	
<b>REGIO GONZÁLEZ FLORES</b>	<b>2001</b>
<b>IS DE LICENCIATURA</b>	<b>ANEXO 2</b>

# SECCIONES GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.



SIMBOLOGÍA	
	ALUVIÓN
	CONGLOMERADO
	FORMACIÓN MÉNDEZ
	FORMACIÓN SAN FELIPE
	FORMACIÓN AGUA NUEVA
	FORMACIÓN CUESTA DEL CURA
	FORMACIÓN AURORA
	FORMACIÓN CUPIDO
	FORMACIÓN TARAISES
	FORMACIÓN LA CASITA
	FORMACIÓN ZULOAGA
	FALLA DE CABALGAMIENTO
	EJE DE SINCLINAL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
 SECCIONES GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

SERGIO GONZÁLEZ FLORES	2001
TESIS DE LICENCIATURA ANEXO 2	

**ANEXO 3**

**CARTA ESTRUCTURAL**



# SIMBOLOGIA

## ROCAS SEDIMENTARIAS

Cenozoico	Cuaternario	Aluvión, Conglomerado	
		Terciario	Conglomerado
	Fm. Méndez		
	Fm. San Felipe		
	Fm. Agua Nueva		
0.0% del total de Mediciones			

Planta de tratamiento de aguas residuales y relleno sanitario



### UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

#### FAACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

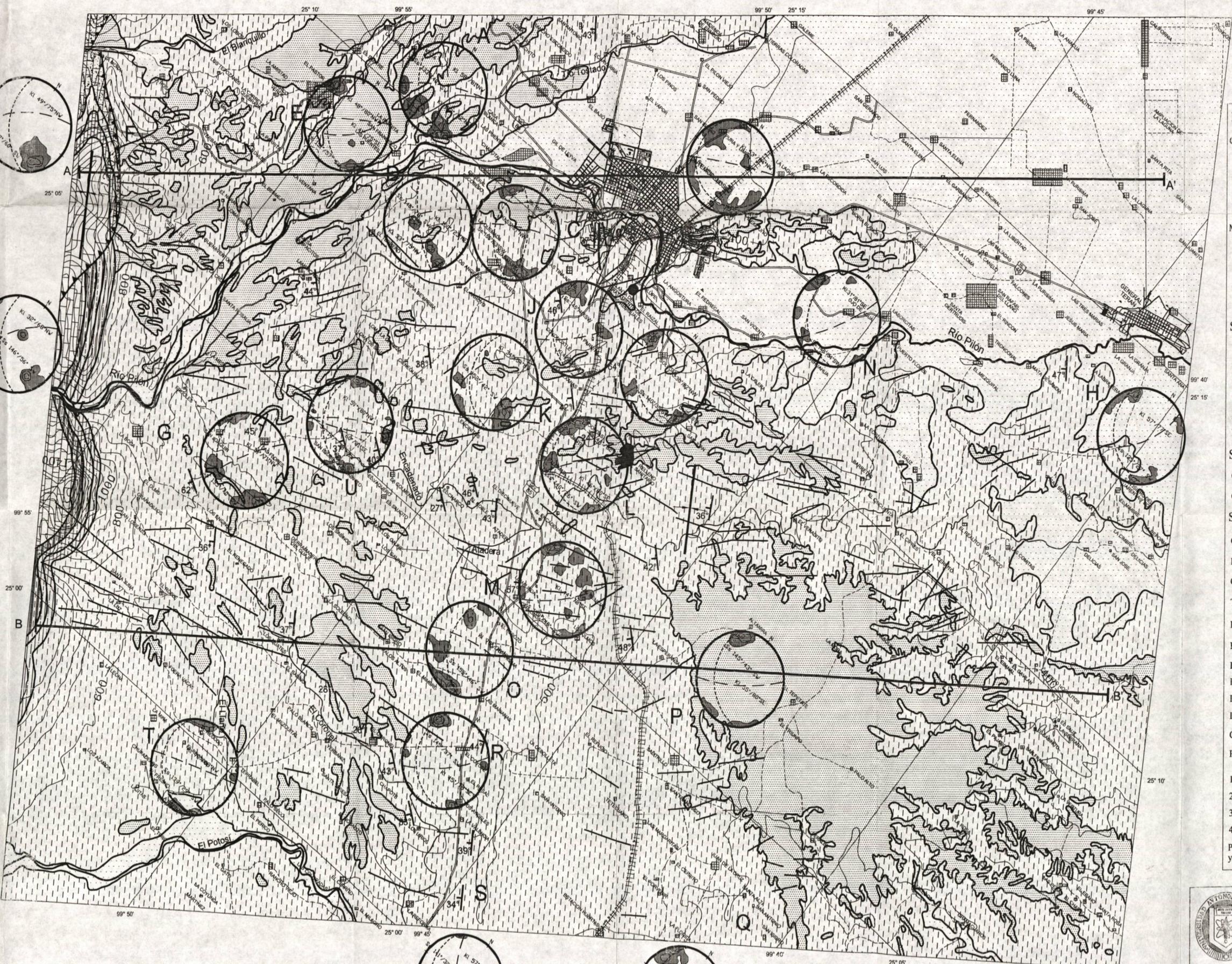
#### CARTA TECTÓNICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

SERGIO GONZÁLEZ FLORES

TESIS DE LICENCIATURA

2011

ANEXO 3



**SIMBOLOGIA**

ROCAS SEDIMENTARIAS			
Cenozoico	Cuaternario	Aluvi3n, Conglomerado	
	Terciario	Conglomerado	
		Fm. Méndez	
Mesozoico	Cretácico	Fm. San Felipe	
		Fm. Agua Nueva	
		Fm. Cuesta del Cura	
	Jurásico	Fm. Aurora	
		Fm. Cupido	
		Fm. Taraisés	
	Fm. La Casita		
	Fm. Zuloaga		

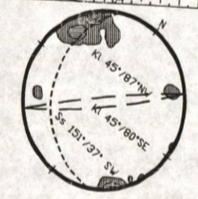
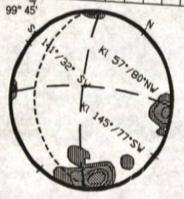
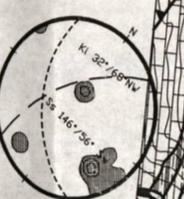
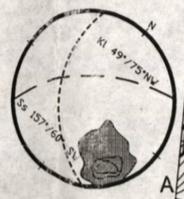
SÍMBOLOS ESTRUCTURALES	
Linea de secci3n geol3gica	
Rumbo y echado	
Eje de anticlinal	
Eje de sinclinal	
Fractura	
Falla de cabalgamiento	

SÍMBOLOS HIDROL3GICOS	
Corriente perenne	
Corriente intermitente	

SITIOS DE INTERÉS	
Comunidad	
Poblaci3n	
Carretera pavimentada	
Terracería transitable todo el tiempo	
Brecha	
Ferrocarril en servicio p3blico	
Línea telef3nica	
Línea telégrafica	
Línea eléctrica de 33 Kva o mas	
Línea eléctrica de menos de 33 Kva	
Curva de nivel acotada en metros	
Punto de Levantamiento de Datos	
10% del total de Mediciones	
20% del total de Mediciones	
30% del total de Mediciones	
40% del total de Mediciones	
Planta de tratamiento de aguas residuales y relleno sanitario	



Nota:  
 1.- Información base tomada de cartas topográficas de I.N.E.G.I.  
 2.- Las redes de Schmidt corresponden a 100 mediciones de fracturamiento y 10 mediciones de los planos de estratificación.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARTA TECTÓNICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

SERGIO GONZÁLEZ FLORES TESIS DE LICENCIATURA

2001

ANEXO 3

**ANEXO 4**

**REGISTRO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS**

REGISTRO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS							
No.	Fecha	Noria y/o Pozo	Nombre	Coordenadas	N.E. (m.s.n.m.)	Altura (m.s.n.m.)	N.P. (m.s.n.m.)
1	26/02/98	N1	Rancho California	25°18'17" 99°43'58"	11.96	321.6	309.6
2	26/02/98	N2	Rancho California	25°18'52" 99°44'31"	18.41	327.1	308.7
3	26/02/98	N3	Ejido Ampliación de la Laguna	25°18'34" 99°43'28"	15.35	317.5	302.1
4	26/02/98	N4	Rancho La Fortuna	25°18'36" 99°42'23"	11.17	312.4	301.2
5	26/02/98	P1	Rancho Tiringos	25°20'07" 99°42'59"	12.33	305.5	293.2
6	26/02/98	P2	Quinta Mónica Alejandra	25°17'22" 99°41'44"	10.00	311.9	301.9
7	26/02/98	N5	Rancho Santa Rita	25°17'28" 99°43'05"	11.74	320.6	308.8
8	26/02/98	N6	La Laguna	25°16'37" 99°42'48"	8.21	320.1	311.9
9	26/02/98	P3	Ampliación La Laguna	25°17'20" 99°44'30"	14.79	333.4	318.6
10	26/02/98	P4	La Anacua	25°17'55" 99°45'59"	16.92	339.4	322.5
11	27/02/98	P5	Rancho La Luz	25°15'36" 99°41'58"	11.43	321.5	310.1
12	27/02/98	P6	Rancho San José	25°16'01" 99°43'29"	10.12	330.2	320.1
13	27/02/98	N7	Ejido La Purísima	25°16'01" 99°44'13"	6.54	330.7	324.1
14	27/02/98	N8	La Piedra	25°16'17" 99°45'22"	8.32	334.5	326.2
15	27/02/98	N9	Guadalupe Guevara	25°15'15" 99°40'16"	8.32	300.9	295.6
16	27/02/98	N10	Ejido La Granja	25°14'58" 99°41'13"	10.63	321.4	310.7
17	27/02/98	N11	Rancho Los Primos	25°13'38" 99°42'16"	8.97	325.0	316.0

18	27/02/98	N12	El Mezquital	25°13'09" 99°43'15"	9.13	328.3	321.3
19	27/02/98	N13	Puerto Flores	25°12'26" 99°44'38"	6.97	339.3	332.3
20	27/02/98	N14	Laborcitas	25°12'35" 99°45'01"	4.25	342.5	338.2
21	27/02/98	N15	Ojo de Agua	25°12'13" 99°46'37"	5.58	360.3	354.7
22	27/02/98	N16	Huerta El Carmen	25°11'29" 99°48'02"	14.47	382.2	367.7
23	2/03/98	N17	Hacienda La Purísima	25°14'47" 99°43'07"	11.10	330.8	319.7
24	2/03/98	N18	Ejido San Rafael del Llano	25°13'53" 99°43'37"	11.36	336.7	325.3
25	2/03/98	N19	Huerta María Amalia	25°14'02" 99°44'41"	14.04	349.5	335.5
26	2/03/98	N20	Ejido Santa Elena	25°14'52" 99°46'48"	21.17	360.1	338.9
27	2/03/98	N21	Rancho El Garbanzo	25°14'49" 99°45'47"	14.27	343.9	329.6
28	2/03/98	P7	Puerto La Cantera	25°13'01" 99°46'59"	14.43	363.4	348.9
29	2/03/98	N22	Mexiquito	25°12'17" 99°48'01"	12.51	392.6	380.1
30	2/03/98	N23	Calle Prolongación Morelos	25°11'40" 99°49'05"	12.52	419.4	406.9
31	2/03/98	N24	Ejido Pura y Limpia	25°12'52" 99°49'31"	11.75	403.6	391.8
32	2/03/98	N25	Hacienda Cañas	25°13'55" 99°47'59"	20.79	360.9	340.1
33	2/03/98	N26	Ejido Pilón Viejo	25°14'19" 99°49'59"	11.76	397.6	385.8
34	2/03/98	N27	Hacienda de Enmedio	25°13'54" 99°50'53"	5.59	402.3	396.7
35	2/03/98	P8	Hacienda San Pedro	25°13'20" 99°50'11"	26.94	418.4	391.5

36	2/03/98	N28	Ejido Echavarría	25°12'44" 99°51'59"	4.49	419.4	414.9
37	2/03/98	N29	Camino a Hualahuítas	25°12'05" 99°51'14"	18.84	440.4	421.6
38	2/03/98	P9	Carretera Morelos-Mty. Km. 1	25°11'19" 99°51'15"	16.42	445.1	428.7
39	2/03/98	N30	El Desague	25°11'24" 99°52'19"	9.47	449.4	439.9
40	2/03/98	N31	Hacienda Manantiales	25°11'32" 99°53'55"	6.74	476.4	469.6
41	2/03/98	N32	Asoc. Ganadera de Montemorelos	25°09'53" 99°49'27"	10.17	406.6	396.4
42	2/03/98	N33	Rancho Las Texasas	25°08'22" 99°48'43"	7.44	452.1	446.6
43	5/03/98	N34	Las Adjuntas	25°10'30" 99°50'22"	9.87	450.2	440.3
44	5/03/98	N35	Rancho El Edén	25°10'13" 99°51'05"	10.09	459.1	449.1
45	5/03/98	N36	Ejido La Angostura	25°10'22" 99°48'11"	4.43	389.4	384.9
46	5/03/98	N37	Ejido San Vicente	25°10'52" 99°46'50"	4.95	358.7	353.7
47	5/03/98	N38	Y de San Vicente	25°11'23" 99°46'04"	3.63	352.5	348.9
48	5/03/98	P10	Huerta El Nogal	25°08'59" 99°56'09"	22.54	512.3	489.7
49	5/03/98	P11	La Amistad	25°08'41" 99°56'47"	32.33	539.8	507.5
50	5/03/98	P12	Los Tepozanes	25°08'20" 99°57'16"	2.74	579.3	576.6
51	5/03/98	N39	La Garita	25°10'32" 99°55'28"	4.94	484.1	479.2
52	5/03/98	N40	Las Ovejas	25°11'02" 99°55'05"	8.98	480.3	471.3
53	5/03/98	N41	Coyonoxtle	25°08'52" 99°49'39"	5.90	435.6	429.7

54	5/03/98	P13	Rancho Las Lajitas	25°08'11" 99°51'33"	14.56	466.8	452.2
55	5/03/98	N42	La Espía de Abajo	25°07'53" 99°52'25"	5.57	478.4	472.8
56	5/03/98	P14	Terreros	25°07'17" 99°53'05"	11.14	486.3	475.2
57	5/03/98	N43	Lampacitos	25°06'35" 99°53'58"	5.09	490.4	485.3
58	2/04/98	P15	Entrada a Santa Emilia	25°00'50" 99°44'22"	12.98	490.3	477.3
59	2/04/98	N44	Estación Huertas	25°02'17" 99°42'38"	9.33	436.8	427.5
60	2/04/98	N45	Rancho LaFlorida	25°02'59" 99°41'12"	8.03	397.4	389.4
61	2/04/98	P16	Rancho Mohinos	25°03'02" 99°40'32"	7.95	378.9	370.9
62	2/04/98	P17	Rancho Santa Martha	25°04'10" 99°41'30"	3.61	390.8	387.2
63	4/06/98	P18	Cerca de San Benito	25°13'02" 99°40'59"	18.00	325.6	307.6
64	4/06/98	N46	Cerca de San Benito	25°12'11" 99°40'03"	6.43	318.9	312.5
65	4/06/98	N47	Las Comitas	25°11'40" 99°40'30"	6.65	320.5	313.8
66	4/06/98	N48	Ejido El Pacifico	25°11'15" 99°41'04"	7.79	327.4	319.6
67	4/06/98	P19	El Cerrito	25°10'32" 99°41'44"	11.90	340.9	329.0
68	4/06/98	P20	El Sauz	25°11'03" 99°43'19"	4.05	335.7	331.7
69	5/06/98	P21	Rancho San Pedro	25°04'53" 99°38'41"	10.71	367.0	356.3
70	24/06/98	N49	Rancho San Antonio	25°04'13" 99°40'35"	5.15	394.3	379.9
71	24/06/98	P22	Rancho La Esperanza	25°06'07" 99°44'36"	15.40	385.3	370.0

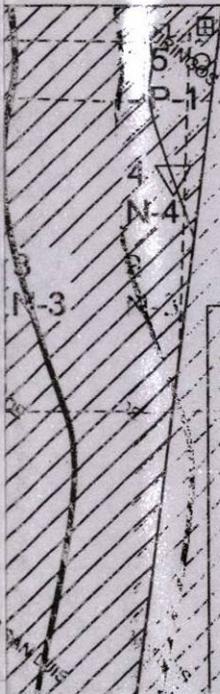
72	4/07/98	P23	Rancho El Ebanito	25°07'02" 99°49'00"	11.05	470.7	459.6
73	4/07/98	N50	Rancho El Diecinueve	25°05'58" 99°48'46"	6.03	458.9	452.9
74	4/07/98	P24	Loma Linda	25°05'07" 99°47'26"	17.08	478.9	461.8
75	4/07/98	P25	Las Marianas	25°03'42" 99°46'59"	21.6	519.3	497.7
76	4/07/98	P26	El Coyote	25°02'37" 99°46'24"	25.03	516.3	491.3
77	4/07/98	P27	La Reforma	25°00'28" 99°45'35"	4.05	477.3	473.2
78	15/07/98	P28	El Coronel	25°02'04" 99°47'43"	10.49	516.6	506.1
79	15/07/98	P29	Palo Blanco	25°01'28" 99°48'53"	9.86	523.0	513.1
80	15/07/98	N51	El Terrebel	25°00'05" 99°49'44"	11.75	527.8	516.1
81	15/07/98	N52	El Recodo	25°00'05" 99°50'26"	11.14	530.1	519.0
82	15/07/98	P30	Fuera Vacas	25°00'36" 99°51'49"	8.95	572.4	563.5
83	15/07/98	N53	El Mezquital	25°01'12" 99°49'52"	10.45	525.6	515.2
84	15/07/98	N54	Los Cuates	25°01'56" 99°50'29"	13.11	557.1	544.0
85	15/07/98	N55	Derramadero del Guaje	25°03'26" 99°51'37"	14.33	567.5	553.2
86	15/07/98	N56	Los Encinos	25°02'48" 99°52'23"	12.11	575.2	563.1
87	15/07/98	N57	La Soledad	25°03'00" 99°50'13"	11.65	537.4	525.7
88	15/07/98	P31	San Isidro	25°03'21" 99°48'47"	16.04	535.8	519.7
89	18/07/98	N58	Encinitos	25°06'50" 99°50'11"	10.74	477.5	466.7

90	18/07/98	P32	Cieneguillas	25°06'55" 99°51'28"	9.98	477.9	467.9
91	18/07/98	N59	Rancho El Sabinito	25°04'54" 99°51'46"	11.60	520.6	509.0
92	18/07/98	N60	San Isidro	25°04'54" 99°52'27"	10.97	541.0	530.0
93	18/07/98	N61	San Joaquin	25°03'58" 99°53'29"	12.80	572.3	559.5
94	18/07/98	P33	La Mesa	25°04'31" 99°54'35"	19.74	588.5	568.7
95	18/07/98	N62	San Gerardo	25°05'48" 99°53'58"	12.57	517.8	502.2
96	18/07/98	N63	San Buenaventura	25°06'00" 99°52'16"	8.43	536.9	528.5
97	18/07/98	P34	La Ventana	25°07'50" 99°54'55"	25.18	538.6	507.4
98	18/07/98	N64	Agua Dulce	25°07'43" 99°55'58"	7.12	527.9	520.8
99	18/07/98	N65	San Francisco	25°09'06" 99°53'59"	8.97	478.4	469.4
100	18/07/98	N66	Chapotal	25°09'59" 99°52'59"	6.45	457.6	451.1
101	18/07/98	P35	Fracción Las Puentes	25°10'20" 99°52'05"	6.92	450.2	443.3
102	25/07/98	N67	El Saucito	25°04'56" 99°50'23"	13.04	503.1	490.1
103	25/07/98	N68	Ejido Atadera II	25°05'04" 99°48'43"	16.82	487.8	471.0
104	25/07/98	P36	La Cebolleta	25°03'33" 99°45'40"	10.41	473.5	464.0
105	25/07/98	N69	San Antonio	25°03'02" 99°44'58"	9.89	459.6	449.7
106	25/07/98	N70	Rancho El Refugio	25°04'25" 99°44'41"	9.25	446.8	437.5
107	25/07/98	N71	Salitrillo	25°05'05" 99°43'19"	16.45	419.7	403.2

108	25/07/98	P37	Rancho Tetecuario	25°03'58" 99°43'43"	14.66	403.2	388.5
109	25/07/98	N72	La Valencia	25°02'02" 99°45'51"	19.47	503.5	484.0
110	25/07/98	N73	Los Lirios	25°01'30" 99°45'54"	6.92	504.2	497.3
111	25/07/98	N74	Rancho El Nogalito	25°00'34" 99°47'36"	7.43	503.8	496.4
112	25/07/98	N75	Ejido Portales	25°00'01" 99°48'04"	11.18	511.4	500.2
113	26/07/98	N76	La Soledad	25°09'49" 99°47'55"	8.37	404.7	396.3
114	26/07/98	P38	La Cuesta	25°09'11" 99°46'53"	25.86	444.5	418.6
115	26/07/98	N77	La Fortuna	25°11'04" 99°43'53"	15.7	363.4	347.7
116	26/07/98	N78	El Ciprés	25°10'11" 99°42'38"	9.85	348.3	332.4
117	26/07/98	P39	La Mora	25°09'13" 99°44'11"	8.83	358.4	349.6
118	26/07/98	P40	Los Olmos	25°05'38" 99°45'52"	14.28	466.7	452.5
119	26/07/98	P41	El Rebozo	25°04'31" 99°46'58"	13.43	500.3	486.9

**ANEXO 5**

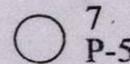
**CARTA PIEZOMÉTRICA Y DOCUMENTACIÓN DE  
APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS**



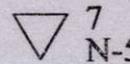
# SIMBOLOGIA

## APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS

Pozo



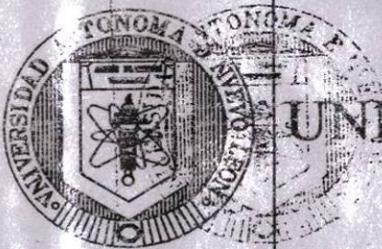
Noria



Pozo con prueba de aforo



## ESCALA GRAFICA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

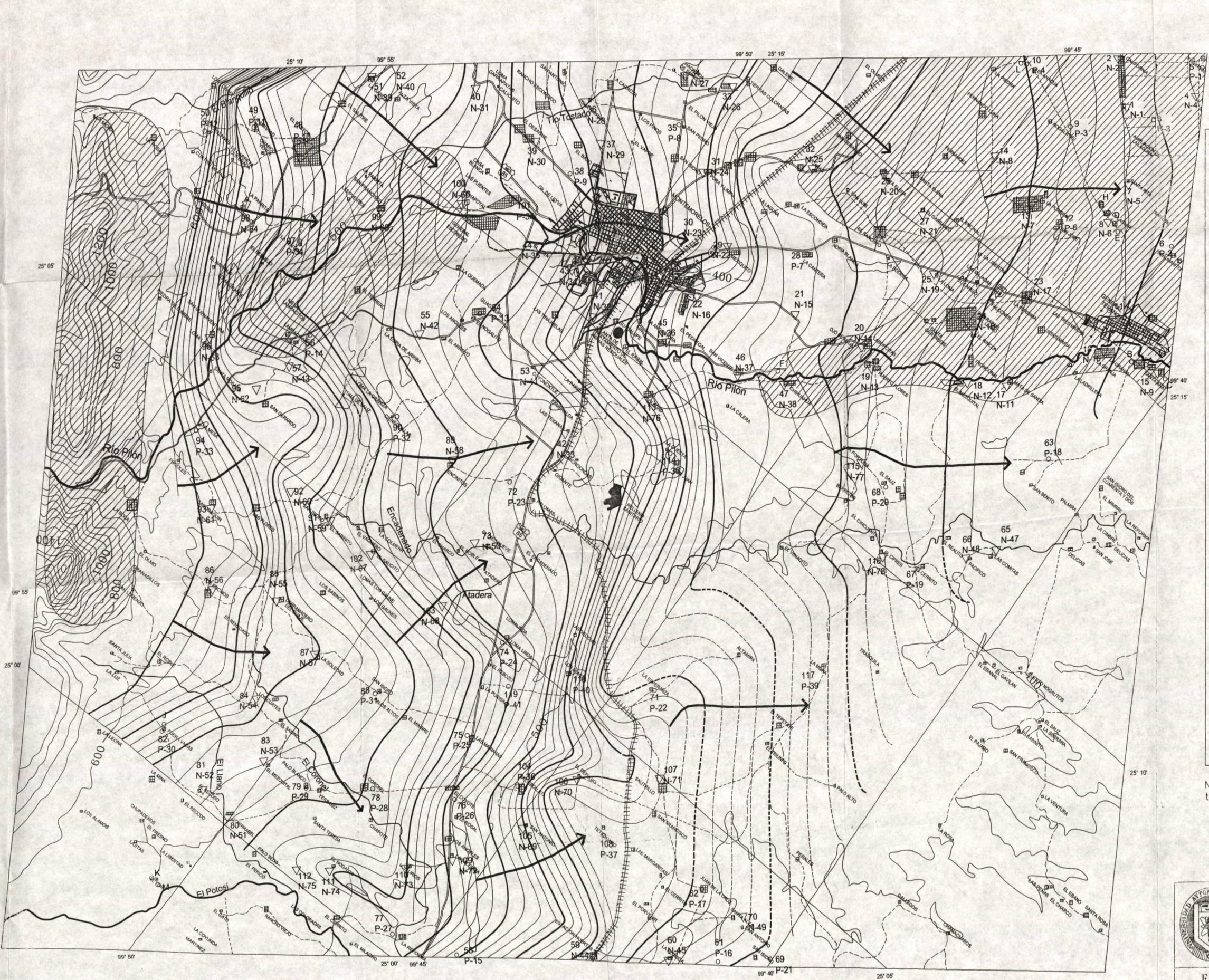
CARTA PIEZOMETRICA DEL AREA DE ESTUDIO

SERGIO GONZALEZ FLORES

TESIS DE LICENCIATURA

2001

ANEXO 5



**SIMBOLOGIA**

<b>APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS</b>	
Pozo	○ 7 P-5
Noria	▽ 7 N-5
Pozo con prueba de aforo	○ B
<b>SÍMBOLOS PIEZOMETRICOS</b>	
Isolíneas acotadas a cada 5 mts.	—
Isolíneas acotadas a cada 20 mts.	—
Dirección de flujo del agua subterránea	→
Zona factible de explotación del agua subterránea	▨
<b>SÍMBOLOS HIDROLÓGICOS</b>	
Corriente perenne	—
Corriente intermitente	- - -
<b>SITIOS DE INTERÉS</b>	
Comunidad	▭
Población	▭
Carretera pavimentada	—
Terracería transitable todo el tiempo	—
Brecha	- - -
Ferrocarril en servicio público	+++++
Línea telefónica	—
Línea telegráfica	—
Línea eléctrica de 33 Kva o mas	—
Línea eléctrica de menos de 33 Kva	—
Curva de nivel acotada en metros	500
Planta de tratamiento de aguas residuales y relleno sanitario	●

Nota: Información base tomada de cartas topográficas de I.N.E.G.I.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARTA PIEZOMETRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

SERGIO GONZÁLEZ FLORES TESIS DE LICENCIATURA

2001

ANEXO 5

*"El Elemento básico para el progreso económico y el bienestar social de nuestro pueblo es el agua. CUIDÉMOSLA y CONTROLÉMOSLA para hacerla llegar a la tierra sedienta, a la ciudad que crece, a la industria en desarrollo, y usémosla como fuente de energía al servicio de México".*

***Lic. Luis Echeverría Alvarez***

"EL ANGEL"

Empaquetado y Encuadernado de  
Libros, Papeles, Etc.  
Ave. Alamo #15 Cda. Provilcón  
Linas. N. L. C. 4. 2-30-69

