

43

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



**ESTUDIO GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO EN LA
REGIÓN CITRÍCOLA (LINARES-HUALAHUISES)
NUEVO LEÓN, MÉXICO**

TESIS

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

PRESENTA

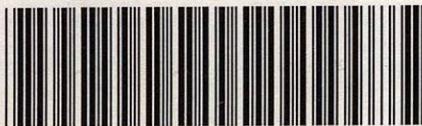
SALVADOR ISRAEL DE LA GARZA GONZÁLEZ

LINARES, NUEVO LEÓN.

2000

SALVADOR ISRAEL DE LA GARZA GONZALEZ GEOLOGO

TL
QE203
.N8
G3
c.1



1080094991

0093-74060

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



**ESTUDIO GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO EN LA
REGIÓN CITRÍCOLA (LINARES-HUALAHUISES)
NUEVO LEÓN, MÉXICO**

TESIS

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

PRESENTA

SALVADOR ISRAEL DE LA GARZA GONZÁLEZ

LINARES, NUEVO LEÓN.

2000

TL
QE 203
N8
63





U

**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, MEXICO
TELS. (821) 2 43 02 Y 2 20 13, FAX (821) 2 43 02



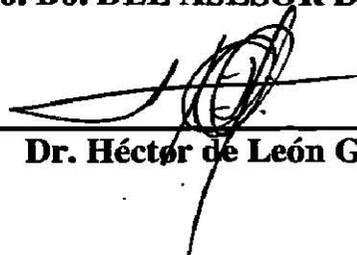
**ESTUDIO GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO EN LA
REGIÓN CITRÍCOLA (LINARES-HUALAHUISES)
NUEVO LEÓN, MÉXICO**

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

POR

SALVADOR ISRAEL DE LA GARZA GONZÁLEZ

Vo. Bo. DEL ASESOR DE TESIS



Dr. Héctor de León Gómez

LINARES, N. L.

MAYO DE 1999



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

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



**ESTUDIO GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO EN LA
REGIÓN CITRÍCOLA (LINARES-HUALAHUISES)
NUEVO LEÓN, MÉXICO**

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

POR

SALVADOR ISRAEL DE LA GARZA GONZÁLEZ

Vo. Bo. COMISIÓN DE REVISIÓN

Dr. José Rosbel Chapa Guerrero

Dr. Dirk Masuch Oesterreich

Dr. Héctor de León Gómez

LINARES, N. L.

NOVIEMBRE DEL 2000

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado especialmente a mi padre **Carlos de la Garza de la Garza (†)** donde quiera que te encuentres se que estás muy contento por este logro; también especialmente a mi madre **Josefina González Cuellar**, que dios te ha dado la dicha de ver a cada uno de tus hijos comenzar el vuelo por sí solo. Muchas gracias por todo el apoyo y valores que me han dado.

A todos y cada uno de mis hermanos **Carlos, Salomón, Dora, Julio** y **José Mariano**, quienes han sido un gran apoyo para completar mis estudios y que con su experiencia, me han guiado por un muy buen camino, muchas gracias a todos. Además esta dedicatoria es para mis cuñadas **Coco** y **Cecy**, y mis sobrinos **Fabián, Luis, Melisa, Mariano** y **Carlos**.

Para alguien muy especial **Iris Aleida**, quien me ha demostrado su apoyo, cariño y comprensión en los momentos que más lo necesito y... bueno los últimos cuatro años han sido los mejores desde mi infancia, muchas gracias mi amor.

Para mis grandes amigos de generación: **Rodolfo** y **Sergio**, así como para **Pedro, Rafa, Karla, Katy, Andrea** y **Gilberto**. A mis otros compañeros: **Andres, Adalberto, Pedro, Gustavo, Victor, Federico** y **Any**. Así como para todos los futuros geólogos de la FCT/Linares, en especial para: **Rolando, Karla, Tania, Rosy, Cesar C., Carranza, Miguel, José Luis**, para la flota de 5 de Mayo: **Edgar, José Juan, Checo, Gil** y **Lacho**, para **Federico, Alicia, Elba, Andres, Mario, etc...**

A mis grandes amigos: **Carlos S., Marco, Alfonso, Fernando, Sergio, Carlos F., Roberto, Luis, Ricardo** y muchos más. Además **Rogelio, Marcelo, Toño, Wadi, Alfredo, Ramiro, Said, Rodolfo, Fernando, etc...**, Y para **Alejandra Pestaña**, a todos ustedes les quiero dar las gracias por su amistad.

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

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a mi asesor, el **Dr. Héctor de León Gómez**, por la confianza y paciencia que me tuvo para que pudiera elaborar y finalizar este trabajo, así como por el tiempo que dedicó para asesorarme y corregir mi tesis.

Además a la Comisión de Revisión, **Dr. José Rosbel Chapa** y **Dr. Dirk Masuch** por la amabilidad mostrada, así como por sus consejos y participación en esta etapa de titulación.

Agradezco también al **Ing. José Luis Rivera** por su valiosa ayuda y aportación a este trabajo quien, junto con los Ingenieros **Carlos Torres** y **Fidel Aranda**, han mostrado un importante interés en fomentar y ofrecer oportunidades a geólogos practicantes y recién egresados.

Al **Ing. Benito Muñoz** por su colaboración y aportación de datos de campo, así como por el interés mostrado en este estudio.

A mis hermanos, por seguir de cerca mis pasos en mi carrera, en especial a **Carlos Enrique** por su gran ayuda y respaldo durante mis estudios.

A mi compañero en el desarrollo de la etapa de campo del presente trabajo **Sergio González**, así como a **Horacio** y **José Luis** por su importante participación en campo.

Agradezco también a los compañeros de Laboratorio de Geoquímica de la Facultad de Ciencias de la Tierra **Ing. Geol.-Mineral. Federico Viera** y a la **TLQ Ana María Garza** por su gran ayuda en la parte correspondiente de esta tesis.

A la **Lic. Virginia Cuellar** y al **Cand. a Ing. Geol.-Mineral. Adalberto Treviño** por sus atenciones y servicios prestados en la etapa final de la tesis con todo lo correspondiente al área de cómputo.

A la **Sra. Araceli Issasi** por su ayuda y amabilidad respecto a los trámites correspondientes y en gral. Durante toda la carrera. Así como a todas aquellas personas que de alguna u otra manera mostraron interés en ayudar y motivar para la finalización del trabajo.

Finalmente te agradezco a ti por tratar de entender este trabajo de tesis, espero que sea de tu utilidad y puedas obtener o encontrar lo que buscas.

RESÚMEN

El incremento demográfico e industrial de la ciudad de Monterrey, N. L., ha motivado la necesidad de realizar nuevos trabajos de investigación sobre la prospección de agua para satisfacer las necesidades de la población.

En base a lo anterior se desarrolla el proyecto *Límites del Abastecimiento de Agua Potable en el Noreste de México SIREYES/95-053*, dentro del cual se elaboraron dos estudios de investigación, uno de ellos el presente: *Estudio Geológico/Hidrogeológico de la Región Citrícola, Linares-Hualahuises, Nuevo León, NE de México*.

Los estudios fueron elaborados en el frente de la Sierra Madre Oriental, involucrando la zona de piedmonte y parte de la planicie perteneciente a la Llanura Costera del Golfo Norte. Estos se desempeñaron con el propósito de caracterizar las condiciones geológicas, tectónicas e hidrogeológicas que debe reunir un sitio para la explotación moderada de un acuífero, cumpliendo a su vez con los requisitos necesarios para elaborar un tema de tesis de licenciatura. Específicamente este trabajo se desarrolló en los municipios de Linares y Hualahuises, con una extensión de 918 Km², tratando de encontrar alternativas para la extracción de agua potable.

Para tal efecto, se diseñó un programa de actividades de trabajo donde se estimó la elaboración de una cartografía geológica, un análisis tectónico y un estudio piezométrico con sus respectivas cartas, además se desarrolló una documentación de aprovechamientos hidráulicos. A estas actividades se le anexaron registros de pruebas de bombeo y de aforo efectuadas con anterioridad a este estudio. Con los resultados de todas las actividades, se eligieron tres sitios factibles que cumplen con las características requeridas en este estudio para la explotación del agua subterránea. A partir de la localización de los tres sitios se efectuaron análisis de agua para cada uno, con el fin de determinar su caracterización físico-química y calidad.

INDICE

| | |
|--------------------------------|----|
| RESÚMEN | i |
| ÍNDICE | ii |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE TABLAS | ix |
| LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS | x |

CAPITULO I

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 Antecedentes | 1 |
| 1.2 Problemática | 1 |
| 1.3 Objetivos | 3 |
| 1.4 Trabajos previos | 4 |
| 1.5 Fisiografía del área de estudio | 7 |
| 1.5.1 Localización y vías de acceso | 7 |
| 1.5.2 Clima y vegetación | 9 |
| 1.5.3 Hidrología | 10 |
| 1.5.4 Geomorfología | 13 |

CAPITULO II

| | |
|--|----|
| 2 GEOLOGIA | 14 |
| 2.1 Metodología geológica | 14 |
| 2.2 Geología regional | 17 |
| 2.2.1 Sierra Madre Oriental | 17 |
| 2.2.2 Planicie Costera del Golfo | 18 |
| 2.3 Paleogeografía | 18 |

| | |
|--|----|
| 2.4 Geología del área de estudio | 23 |
| 2.4.1 Estratigrafía | 23 |
| 2.4.1.1 Formación San Felipe | 25 |
| 2.4.1.2 Formación Méndez | 27 |
| 2.4.1.3 Depósitos Aluviales | 30 |
| 2.4.2 Geología estructural | 37 |
| 2.4.2.1 Propiedades físicas de las rocas | 37 |
| 2.4.2.2 Comportamiento de las rocas sedimentarias bajo esfuerzos tectónicos | 38 |
| 2.4.2.3 Geología estructural regional | 39 |
| 2.4.2.4 Geología estructural local | 40 |
| 2.4.2.5 Características estructurales de las rocas Sedimentarias del área | 43 |
| 2.4.2.5.1 Formación San Felipe | 43 |
| 2.4.2.5.2 Formación Méndez | 44 |
| CAPITULO III | |
| 3 HIDROGEOLOGÍA | 47 |
| 3.1 Ciclo hidrológico | 47 |
| 3.1.1 Almacenamiento de agua en la hidrósfera | 48 |
| 3.1.2 Infiltración en los sistemas hidrogeológicos | 49 |
| 3.1.2.1 Características del terreno o medio permeable | 50 |
| 3.1.2.2 Características del fluido que se infiltra | 53 |
| 3.1.2.3 Volúmen de agua infiltrada | 53 |
| 3.1.3 Acuíferos | 54 |
| 3.1.3.1 Conceptos hidrodinámicos de los acuíferos | 55 |
| 3.1.3.2 Tipo de acuíferos en base a su litología | 57 |
| 3.1.4 Descarga del agua subterránea | 59 |
| 3.2 Movimiento del agua en el acuífero | 59 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.1 Porosidad | 60 |
| 3.2.2 Conductividad hidráulica | 60 |
| 3.2.3 Transmisividad | 61 |
| 3.2.4 Coeficiente de almacenamiento | 62 |
| 3.3 Hidrogeología del área | 62 |
| 3.3.1 Metodología hidrogeológica | 62 |
| 3.3.2 Piezometría | 67 |
| 3.3.3 Resultados y discusiones de la piezometría | 68 |
| 3.3.4 Pruebas de aforo y pruebas de bombeo | 71 |
| 3.3.4.1 Interpretación de gráficas para conocer el tipo de acuífero | 76 |
| 3.3.4.2 Recopilación de pruebas de aforo y de bombeo en el área de estudio | 77 |
| 3.3.4.3 Discusión sobre los valores de las pruebas de aforo y de bombeo tomados de los grupos A, B, C y D | 96 |
| 3.3.5 Discusión hidrogeológica general | 100 |

CAPITULO IV

| | |
|---|-----|
| 4 HIDROGEOQUÍMICA | 102 |
| 4.1 Introducción | 102 |
| 4.2 Análisis químico y clasificación de las aguas subterráneas .. | 104 |
| 4.3 Principales sustancias disueltas en las aguas subterráneas y su origen | 107 |
| 4.3.1 Total de sólidos disueltos | 107 |
| 4.3.1.1 Aniones | 108 |
| 4.3.1.2 Cationes | 110 |
| 4.3.1.3 Constituyentes menores | 112 |
| 4.3.2 Gases disueltos | 113 |

| | |
|--|------------|
| 4.4 Resultados y discusiones de los análisis químicos | 115 |
| CONCLUSIONES | 123 |
| RECOMENDACIONES | 125 |
| BIBLIOGRAFIA | 126 |

ANEXOS:

- 1. Carta Geológica**
- 2. Secciones geológicas**
- 3. Carta Tectónica**
- 4. Registro de documentación de aprovechamientos hidráulicos**
- 5. Carta piezométrica**
- 6. Diseño de pozos**

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|---------------|
| 1. Localización y vías de acceso del área de estudio | 8 |
| 2. Diagrama que muestra los cambios climáticos, de precipitación y temperatura en el transcurso de un año para la ciudad de Linares, N. L. (Tomado de RUÍZ, 1990) | 9 |
| 3. Hidrología superficial del área de estudio, se observan los escurrimientos principales y secundarios, así como la dirección de flujo del agua | 11 |
| 4. Distribución paleogeográfica de los depósitos continentales (lechos rojos) del período Triásico tardío-Jurásico medio, en el Noreste de México (PADILLA Y SANCHEZ, 1986) | 19 |
| 5. Distribución paleogeográfica de los sedimentos del Oxfordiano tardío-Kimmeridgiano temprano, en el Noreste de México (PADILLA Y SANCHEZ, 1986) | 20 |
| 6. Distribución paleogeográfica de los depósitos del Neocomiano tardío, en el Noreste de México (PADILLA Y SANCHEZ, 1986) | 21 |
| 7. Distribución paleogeográfica de los sedimentos del Campaniano-Maastrichtiano, en el Noreste de México (PADILLA Y SANCHEZ, 1986) . | 22 |
| 8. Columna estratigráfica de la SMO que muestra la secuencia sedimentaria de rocas Mesozóicas, que descansan sobre un basamento metamórfico (Tomada y traducida de MICHALZIK, 1988) | 24 |
| 9. Afloramiento de la Formación San Felipe en los alrededores de la presa Cerro Prieto, se observa una estratificación con buzamiento suave, se presenta una intercalación de caliza, lutita y bentonita | 26 |

| | |
|---|----|
| 10. Estratos de la Formación Méndez, se observa un plegamiento local y un afloramiento poco alterado que consta de lutitas fracturadas y lutitas calcáreas con buzamiento al SW | 28 |
| 11. Afloramiento de la Formación Méndez donde se observan lutitas muy alteradas, de color café claro y amarillento, hacia la base afloran las lutitas sanas. Sobre ellas se encuentran discordantemente gravas y conglomerado de la Terraza 5 | 28 |
| 12. Afloramiento de la secuencia superior de la Formación Méndez, localizado en El Cerrito en Linares, se observa una secuencia de lutitas intercaladas con estratos de arenisca de hasta 1 m de espesor, su color es gris claro | 29 |
| 13. Proceso de formación de las terrazas aluviales en diferentes niveles de depositación (RUÍZ, 1990) | 31 |
| 14. Terraza 5 en contacto discordante con la Formación Méndez, localizada al NW de la presa Cerro Prieto | 32 |
| 15. Terraza 4, localizada cerca del rancho El Progreso, en el frente de la SMO · | 33 |
| Contacto entre la Formación Méndez y la Terraza 3, localizada en el ejido Magüiras | 34 |
| 17. Terraza 2, localizada en el ejido Camachito, conforma el extenso valle aluvial y los márgenes de los ríos del área de estudio | 35 |
| 18. Terraza 1, localizada en el lecho del río Pablillo, al Norte de la Ex-Hacienda | |
| de Guadalupe | 36 |
| 19. Propiedades físicas de las rocas cuando son sometidas a un esfuerzo: | |
| a) módulo de elasticidad, b) interpretación gráfica de la plasticidad de una roca, c) ductibilidad y punto de ruptura de una roca | 37 |
| 20. Pliegue esquemático que muestra los tres tipos de diaclazamiento principales | 41 |

| | |
|---|-----|
| 21. Afloramiento de la Formación Méndez en el cerro La Tortuga, al Sur de Linares, se encuentran fracturas rellenas de calcita de espesor considerable, su rumbo (N-S) es paralelo al eje de la estructura sinclinal | 41 |
| 22. Falla inversa y normal con desplazamiento aproximado de 3.25m., encontradas en la Formación San Felipe en un corte de carretera al Norte de la presa Cerro Prieto | 43 |
| 23. Estereograma de la Formación San Felipe, hacia el Norte de la presa Cerro Prieto | 44 |
| 24. Estereogramas de la Formación Méndez, se muestra el sistema preferencial de fracturamiento que corresponde a diaclasas de tipo "ac". a) Localizada en los alrededores del ejido Loma Alta, b) Localizada en los alrededores del rancho El Sotolar | 46 |
| 25. Tipos de acuífero en base al medio que los rodea: a)acuífero confinado, b)acuífero libre, c) acuífero colgado (WERNER, 1996) | 56 |
| 26. Tipos de acuífero en base a su litología. a) acuífero de poros, b) acuífero de grietas, c) acuífero cárstico (WERNER, 1996) | 58 |
| 27. Instrumentos utilizados en campo: a) sonda eléctrica, b) geoposisionador, c)altímetro digital | 64 |
| 28. Triángulo hidrológico | 66 |
| 29. Modelo tridimensional de los niveles piezométricos del área | 69 |
| 30. Representación gráfica del método de la escuadra | 75 |
| 31. Curvas típicas para la representación del tipo de acuífero | 76 |
| 32. Determinación de temperatura, pH y conductividad eléctrica para una muestra de agua | 119 |
| 33. Diagrama de Piper de las tres muestras analizadas en esta investigación | 120 |

LISTA DE TABLAS

| Tabla | Página |
|--|---------------|
| 1. Valores de escurrimiento superficial en el área y sus alrededores | 12 |
| 2. Espesores registrados para la Fm. San Felipe en la Sierra Madre Oriental . . . | 26 |
| 3. Espesores registrados para la Fm. Méndez en la Sierra Madre Oriental | 29 |
| 4. Almacenes de agua en el Ciclo Hidrológico | 48 |
| 5. Distribución del agua en la hidrósfera | 49 |
| 6. Intervalos de medición para ensayos de bombeo | 73 |
| 7. Registro de pruebas de aforo durante el período 78 - 84 (Grupo A) | 78 |
| 8. Resultado de pruebas de bombeo realizadas en el área (Grupo D) | 95 |
| 9. Criterio de calidad del agua según diferentes usos | 106 |
| 10. Registro de análisis químicos elaborados junto con las pruebas de aforo | 116 |
| 11. Registro de cationes y aniones en el área | 117 |
| 12. Valores obtenidos en la determinación de los análisis fisico-químicos en el área de estudio | 118 |

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

| Siglas | Desglose |
|---------------|---|
| CETENAL | Comisión de Estudios del Territorio Nacional. |
| CNA | Comisión Nacional de Agua. |
| CONACyT | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología |
| COSAMSA | Construcciones y Saneamiento Ambiental, S. A. de C. V. |
| ESESC | Estudios, Evaluaciones, Suministros, Construcción. |
| FCT | Facultad de Ciencias de la Tierra. |
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. |
| INTERNET | International Network. |
| PEMEX | Petróleos Mexicanos. |
| SARH | Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. |
| SIREYES | Sistema de Investigación Alfonso Reyes. |
| SPP | Secretaría de Programación y Presupuesto. |
| SSA | Secretaría de Salud. |
| U. A. N. L. | Universidad Autónoma de Nuevo León. |
| UNAM | Universidad Nacional Autónoma de México. |

Abreviaturas comunes

E
Fm.
msnm
N
NE
NNW
NW
S
SE
SMO
SSE
SW
W

Desglose

Este.
Formación geológica.
Metros sobre el nivel del mar.
Norte.
Noreste.
Nor-noroeste
Noroeste.
Sur.
Sureste.
Sierra Madre Oriental.
Sur-sureste.
Suroeste.
Oeste.

Abreviaturas geológicas

SEV
Sk
Ss
T_{1,2...}

Desglose

Sondeo eléctrico vertical (Schlumberger).
Diaclazamiento.
Estratificación.
Terraza

Abreviaturas hidrogeológicas

Desglose

| | |
|----------------|---|
| B | Ancho del flujo del agua subterránea (m). |
| D | Distancia a la que cae un chorro de agua (m). |
| E | Evaporación (mm/unidad de tiempo). |
| ET | Evapotranspiración (mm/unidad de tiempo). |
| ETR | Evapotranspiración real (mm/unidad de tiempo). |
| G | Escurrimiento subterráneo (l/s, m ³ /s). |
| H | Altura o espesor de un acuífero (m). |
| I | Infiltración (mm/unidad de tiempo). |
| i | Gradiente hidráulico (sin dimensiones). |
| IE | Infiltración efectiva (mm/unidad de tiempo). |
| k | Permeabilidad (sin dimensiones). |
| K | Coefficiente de permeabilidad (m/s). |
| K | Altura del centro de la tubería de descarga sobre el centro del terreno (cm). |
| L | Pozo de aforo. |
| P | Precipitación (mm/unidad de tiempo). |
| p | Porosidad (%). |
| PAP-1 | Pozo de producción . |
| PI | Pozo de observación. |
| Ppx | Pozo-pretexto. |
| P _o | Valor característico de una cuenca (mm/unidad de tiempo). |
| Q | Caudal (l/s, m ³ /s). |
| R | Escurrimiento superficial (l/s, m ³ /s). |

| | |
|----------------|--|
| r | Distancia de un pozo de observación a un pozo de producción (m). |
| s | Abatimiento (m). |
| s' | Descenso residual (m). |
| S | Coefficiente de almacenamiento (sin dimensiones). |
| S | Sección de tubería de descarga (cm ²). |
| T | Tiempo de descenso del nivel freático (s). |
| t' | Tiempo de recuperación del nivel freático (s). |
| T | Transmisividad (m ² /s). |
| T | Transpiración (mm/unidad de tiempo). |
| V | Velocidad de flujo del agua (m/s). |
| V _A | Volumen del agua (m ³). |
| V _R | Volumen total de la roca (m ³). |

Abreviaturas geoquímicas

CE
Meq
TSD
PH
Ppm
PSP
SE
SP
SR

Desglose

Conductividad eléctrica (:mhos/cm).
Miliequivalentes.
Total de sólidos disueltos (mg/l).
Potencial de hidrógeno ().
Partes por millón.
Porcentaje de sodio posible (%).
Salinidad efectiva.
Salinidad potencial.
Carbonato de sodio residual.

Símbolos y claves

Desglose

| | |
|-------------|--|
| α | Coeficiente adimensional característico de una cuenca. |
| ΔS | Capacidad de almacenamiento total (sin dimensiones). |
| $\Delta s'$ | Diferencia entre el nivel estático y nivel dinámico de un aprovechamiento hidráulico (m). |
| G14C58 | Clave utilizada para las cartas geológicas y topográficas de INEGI, en este caso para la carta denominada Linares. |
| IV-5 | Clave de pozo censado. |

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En el marco del proyecto “Límites del Abastecimiento de Agua Potable en el Noreste de México, SIREYES/95-053”, se llevaron a cabo dos tesis de licenciatura en el área de geología, geología estructural, e hidrogeología, las cuales fueron asesoradas por el Dr. Héctor de León Gómez, maestro de la Facultad de Ciencias de la Tierra. El presente trabajo es denominado: **“Estudio geológico/hidrogeológico en la región citrícola (Linares-Hualahuises) Nuevo León, México”**.

Para hacer un estudio geológico detallado de una región, es necesario conocer a detalle la provincia geológica en la que se encuentra, sus características geológicas, estructurales, hidrogeológicas y geomorfológicas. Hay que saber identificar cada uno de los procesos geológicos que se pueden presentar, así como el objetivo que se busca.

El presente trabajo se localiza en dos provincias geológicas; la Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo. La mayor parte del área se caracteriza por tener lomeríos suaves y una tectónica suave, en comparación con los fuertes plegamientos y enormes fallas que forman la Sierra Madre Oriental. Esta región se caracteriza hidrogeológicamente como una zona de descarga del agua subterránea, proveniente de la SMO, formando acuíferos de gran importancia. Debido a estas cuestiones, el área de estudio es considerada una importante zona de investigación donde se han realizado diferentes trabajos previos.

1.2 PROBLEMÁTICA

Debido al clima semi-árido existente, la región del Noreste de México se ve afectada por precipitaciones escasas y torrenciales en algunas estaciones del año. Esto ocasiona el incremento y disminución del nivel freático de los acuíferos que abastecen de agua a pequeñas y grandes poblaciones, así como la disminución de agua en los escurrimientos superficiales y la que se colecta en las obras hidráulicas construidas (Presas).

Por otro lado, debido a la gran demanda de agua que se presenta en la región, diferentes dependencias han encausado sus proyectos a la búsqueda y prospección de agua potable para cubrir estas necesidades. De antemano se conoce que el área metropolitana de Monterrey cuenta con la tercer población más grande del país con una alta tasa de crecimiento demográfico y se encuentra en continuo desarrollo industrial. Debido a todo lo anterior la demanda de agua es cada día mayor en esta región.

La ciudad de Monterrey, N. L. y su área metropolitana son actualmente abastecidas a través de diferentes fuentes de suministro como: el Campo de Pozos de Mina, Sistema Santa Catarina (Campo de pozos Buenos Aires y galería Huasteca), Sistema Santiago I (galería Cola de Caballo y San Francisco), Campo de Pozos Monterrey-Topo Chico, Sistema Santiago II (presa La Boca), Sistema regiomontano Linares-Monterrey (presa Cerro Prieto) y Sistema China-Monterrey (presa El Cuchillo, DE LEÓN, 1994).

Con las aportaciones de agua de las diversas fuentes existentes se logra una oferta total de **9.32 m³/s.**

Una dotación per cápita diaria de agua, cubre los usos industriales y domésticos de un individuo. En los Estados Unidos de Norteamérica se establece una cifra nacional del uso per cápita diaria que es de 491 litros (LINSLEY & FRANZINI, 1988). 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 (220 litros) e industrial (150 litros, CAPDM en DE LEÓN, 1998).

En base a lo anterior y al censo demográfico de INEGI en 1990, donde fueron registrados para la ciudad de Monterrey aprox. 3.5 millones de habitantes, DE LEÓN (1998) estima una demanda de agua aprox. de **17 m³/s.** Tomando en cuenta un incremento demográfico de un 4.15% por año, para el año 2000 DE LEÓN ha estimado una demanda de aprox. **22 m³/s** para un total de 5.1 millones de habitantes. Por otra parte, BARRAGÁN (1996) en su artículo "El Plan Integral del Agua" en el marco del proyecto *El Plan Hidráulico con Miras al 2010*, pronosticó una demanda de aprox. **20 m³/s** para el año 2000.

En el último censo poblacional realizado en 1995, INEGI reporta 3, 022, 268 de habitantes en la ciudad de Monterrey, si esto lo relacionamos con 0.370 m³ per cápita de agua, la demanda más precisa es de 14.73 m³/s, lo que da como resultado un déficit de 5.41 m³/s.

La escasez de agua se debe a una prolongada sequía de varios años y al clima extremo que se presenta, como se mencionó anteriormente así como a los fenómenos “El Niño” y “La Niña”. Para tratar de resolver el problema es necesario conocer primeramente la situación geológica e hidrogeológica del área, para así poder realizar una evaluación de los acuíferos existentes.

Generalmente el agua es extraída por medio de pozos equipados o norias y se aprovecha en el mismo lugar de donde se extrae, o es almacenada para darle un adecuado tratamiento y posteriormente suministrarla a pequeñas regiones. Como se mencionó anteriormente, el problema son los tiempos de sequía, donde el agua no es lo suficientemente abundante para abastecer a toda la población, es por eso que se tiene que hacer un estudio detallado sobre los acuíferos en la zona de recarga y descarga de la SMO para alcanzar un máximo aprovechamiento de estos y tratar de disminuir el problema de insuficiencia de agua principalmente para la Ciudad de Monterrey.

1.3 OBJETIVOS

En la zona que comprende el área de estudio, existen algunos trabajos previos a este, pero de forma muy local. Uno de los principales objetivos de este estudio es obtener parte de la geología de la carta G14C57 de INEGI, perteneciente al área de Hualahuis, debido a que no existe carta geológica, solo topográfica. Con la información recopilada y elaborada en este estudio, la finalidad es obtener las siguientes cartas:

- Carta geológica reportando las diferentes Formaciones geológicas existentes en el área de estudio y sobre las cuales se trabajará, contando también con algunas secciones geológicas, tomadas a la misma escala.
- Parte de la carta geológica G14C57 de INEGI, perteneciente a Hualahuis, Nuevo

León, ya que esta no se encuentra elaborada.

- Carta estructural, obteniendo los sistemas de diaclazamiento y un análisis estructural mediante redes de Schmidt.
- Carta piezométrica, la cual deberá contener todas las mediciones de los diferentes pozos, como la profundidad, nivel estático/dinámico, direcciones de flujo.
- Elaboración de un modelo esquemático tridimensional hidrogeológico del área.
- Recopilar información de pruebas de aforo y de bombeo para analizar el caudal de los acuíferos encontrados en zonas que se crean óptimas y conocer las características del mismo.
- Con el análisis estructural realizado, encontrar zonas factibles para localizar las regiones con mayor flujo del agua en el acuífero de grietas.
- Búsqueda de acuíferos potenciales, tratando de obtener el máximo aprovechamiento de agua para disminuir la problemática presentada.
- Por último la elaboración de un análisis fisico-químico de los sitios propuestos para explotación del agua subterránea, con el único fin de conocer si la calidad del agua queda dentro de los límites permisibles por la norma correspondiente.

1.4 TRABAJOS PREVIOS

En el presente punto se va a tratar de destacar algunos de los trabajos previos al presente estudio. Es importante mencionar que el corredor citrícola Linares-Hualahuises es un tanto desconocido geológicamente, ya que no existen muchos estudios en este. A continuación se mencionan los trabajos previos a este estudio, algunos de ellos no se encuentran dentro del área, pero se encuentran dentro de la misma zona geológica (frente de la Sierra Madre Oriental), y nos pueden aportar ideas y ser un útil apoyo para la elaboración de este trabajo.

Navarro Galindo (1959), efectuó un reconocimiento geológico y geológico estructural del área que comprende Montemorelos-Linares-General Terán, Nuevo León.

PEMEX, (1974), elaboró un estudio geológico-estructural, abarcando parte de la zona estudiada.

Rangel Rodríguez (1989), realizó un estudio hidrogeológico en el Centro de Producción Agropecuaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares/México.

De León Gómez (1993), desarrolló estudios geológico-hidrogeológicos de la presa José López Portillo/Cerro Prieto, a 12 Km. al Noreste 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", estudio realizado para un proyecto como alternativa de abastecimiento de agua para la ciudad de Monterrey.

Lamy (1994), realizó un estudio geológico 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".

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

ESESC, (1995) efectuó un estudio geológico/hidrogeológico en el Rancho Santa Elena, Linares, Nuevo León. Ubicada aproximadamente a 6 Km. hacia el Norte de Hualahuises.

Riecke (1995), realizó un estudio geológico e hidrogeológico entre Hualahuises y Linares, Nuevo León "Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Raum Hualahuises/Linares, Nuevo Leon, NE-Mexiko".

Galván Mancilla (1996), elaboró una tesis de licenciatura en los municipios de Linares y Hualahuises, con el título “Cartografía hidrogeológica de la Terraza baja entre Hualahuises y Linares, N. L.”.

Prado (1997), desarrolló el estudio “Aplicación de métodos geofísicos (SEV’s) para investigar zonas de canales de gravas en el área de Hualahuises-Linares, Nuevo León, México”. Elaborando prospecciones geoelectricas entre las cabeceras municipales de Linares y Hualahuises.

1.5 FISIOGRAFIA**1.5.1 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO**

El área de estudio comprende las ciudades de Linares y Hualahuises, con una superficie de aproximadamente 918 Km², se encuentra localizada dentro de los paralelos 25° 07' 45" y 24° 45' 20" de latitud Norte y los meridianos 99° 25' 58" y 99° 51' 53" de longitud Oeste.

Los límites del área son: hacia el Norte (N) con el municipio de Montemorelos, Nuevo León; Hacia el Este (E) colinda con la Mesa Alto del Ebano y con la presa Cerro Prieto en Linares, abarcando parte de ellas; en la parte Sur (S) sus límites son con la carretera nacional No. 60; sus límites en la parte Oeste (W) son con la SMO (Fig. 1).

La región estudiada se encuentra comunicada por la carretera federal No. 85, que une a las poblaciones de Linares y Hualahuises; esta pasa casi por la parte central del área y se dirige, en la parte Sur, hacia ciudad Victoria, Tamaulipas, y en la parte Norte, hacia Monterrey, Nuevo León (Fig. 1).

La carretera federal No. 60 cruza casi paralelo los límites del área y se entronca con la carretera federal No. 85 en la altura de la ciudad de Linares, Nuevo León. El área es cruzada transversalmente por la vía férrea Nacional tramo Monterrey-Tampico, contando con una única estación de ferrocarril en la ciudad de Linares (Fig. 1).

Aparte de carreteras y vías férreas existen en el área una gran cantidad de caminos de terracería poco transitados o recién hechos que comunican a las principales comunidades con rancherías de Nuevo León y Tamaulipas (Fig. 1).

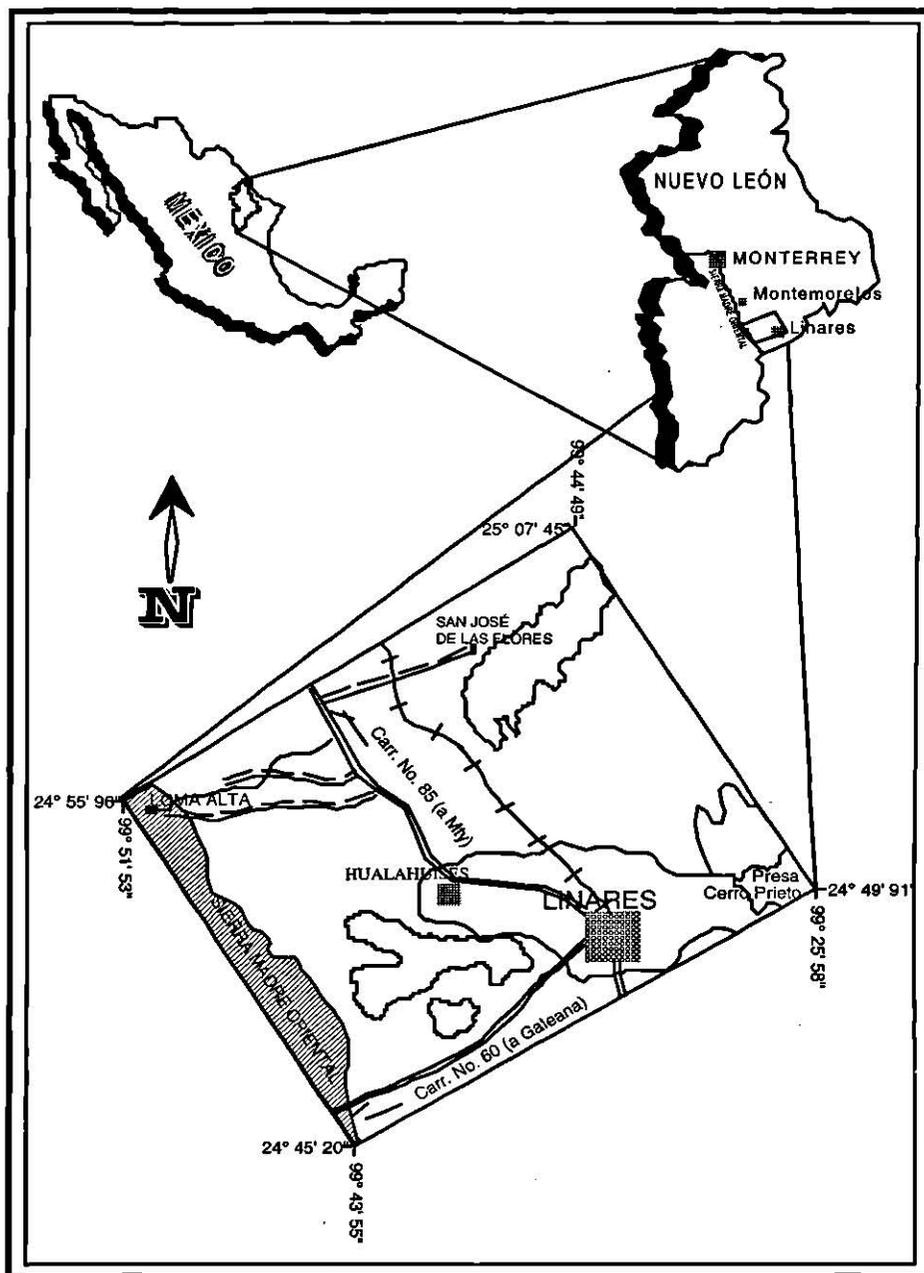


Fig. 1 Localización y vías de acceso del área de estudio

1.5.2 CLIMA Y VEGETACIÓN

La región del Noreste de México está catalogada por presentar un clima semi-árido muy extremo, con lluvias en verano, donde la precipitación media anual es de 500 a 700 mm. y los rangos térmicos medios tienen un valor mayor de 22°C. Se han registrado temperaturas extremas: en invierno hasta de -12°C y en verano de 44°C (CNA, 1994).

El máximo régimen pluvial se registra en Septiembre, de 160 a 170 mm, mientras que el mínimo se presenta en Marzo, de 10 a 15 mm. Los meses más cálidos son representados por Junio, Julio y Agosto, con una temperatura media mensual que oscila entre 27 y 28°C; y el mes más frío es Enero, con una temperatura media menor de 15°C (INEGI, 1986; Fig. 2).

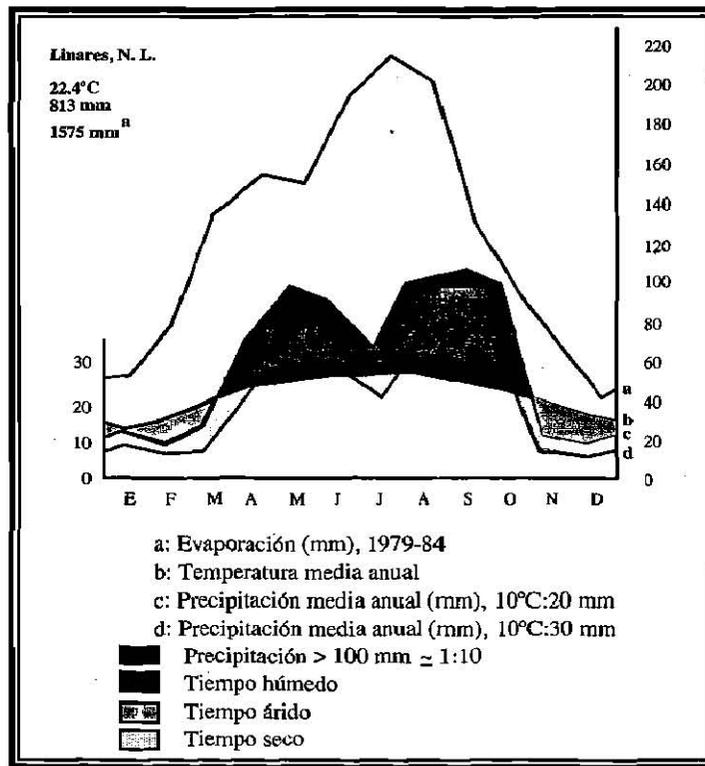


Fig. 2 Figura que muestra los cambios climáticos, de precipitación y temperatura en el transcurso de un año para la ciudad de Linares, N. L. (Tomado de RUIZ, 1990)

El tipo de vegetación es natural de tipo matorral submontado, arbustos y vegetación de galería. Esta vegetación puede lograr un amplio desarrollo entre los 240 y 1100 m.s.n.m. (Secretaría de Programación y Presupuesto/SPP, 1986).

A continuación se presenta una lista de algunos arbustos y matorral existente en la región:

| <u>Nombre Común</u> | <u>Nombre Científico</u> |
|----------------------------|---------------------------------|
| Barreta | <i>Helietta parvifolia</i> |
| Anacahuita | <i>Cordia boissieri</i> |
| Barreta China | <i>Fraxinus grieggii</i> |
| Granjeno | <i>Celtis pallida</i> |
| Coma | <i>Bumelia celastrina</i> |
| Coyotillo | <i>Karwinskia humboldtia</i> |
| Uña de Gato | <i>Mimosa sp.</i> |
| Tenaza | <i>Pithecellobium brevif</i> |
| Mezquite | <i>Prosopis glandulosa</i> |
| Vara Dulce | <i>Eysenhardtia sp.</i> |
| Sabino | <i>Toxodium mucronatum</i> |
| Álamo | <i>Papulus tremubides</i> |

1.5.3 HIDROLOGÍA

Hidrológicamente, el área de estudio se localiza dentro de la cuenca hidrológica RH-25, la cual pertenece a la cuenca del Río San Fernando (CNA, 1991).

Los principales ríos y arroyos del área, son de tipo perenne, con un flujo de agua perpendicular a la SMO, con dirección hacia el Este (Golfo de México), los cuales son (encontrados de Sur a Norte): Río Pablillo, Río Camacho, Río Hualahuises, Arroyo La Laja, Río Potosí-Cabezones, y el Arroyo Mohínos (Fig. 3).

Durante muchos años se ha registrado el comportamiento del escurrimiento de superficial de estas subcuencas (Tabla 1), las cuales tienen un considerable caudal durante todas las estaciones del año, interrumpiéndose solamente cuando existen prolongados períodos de estiaje.

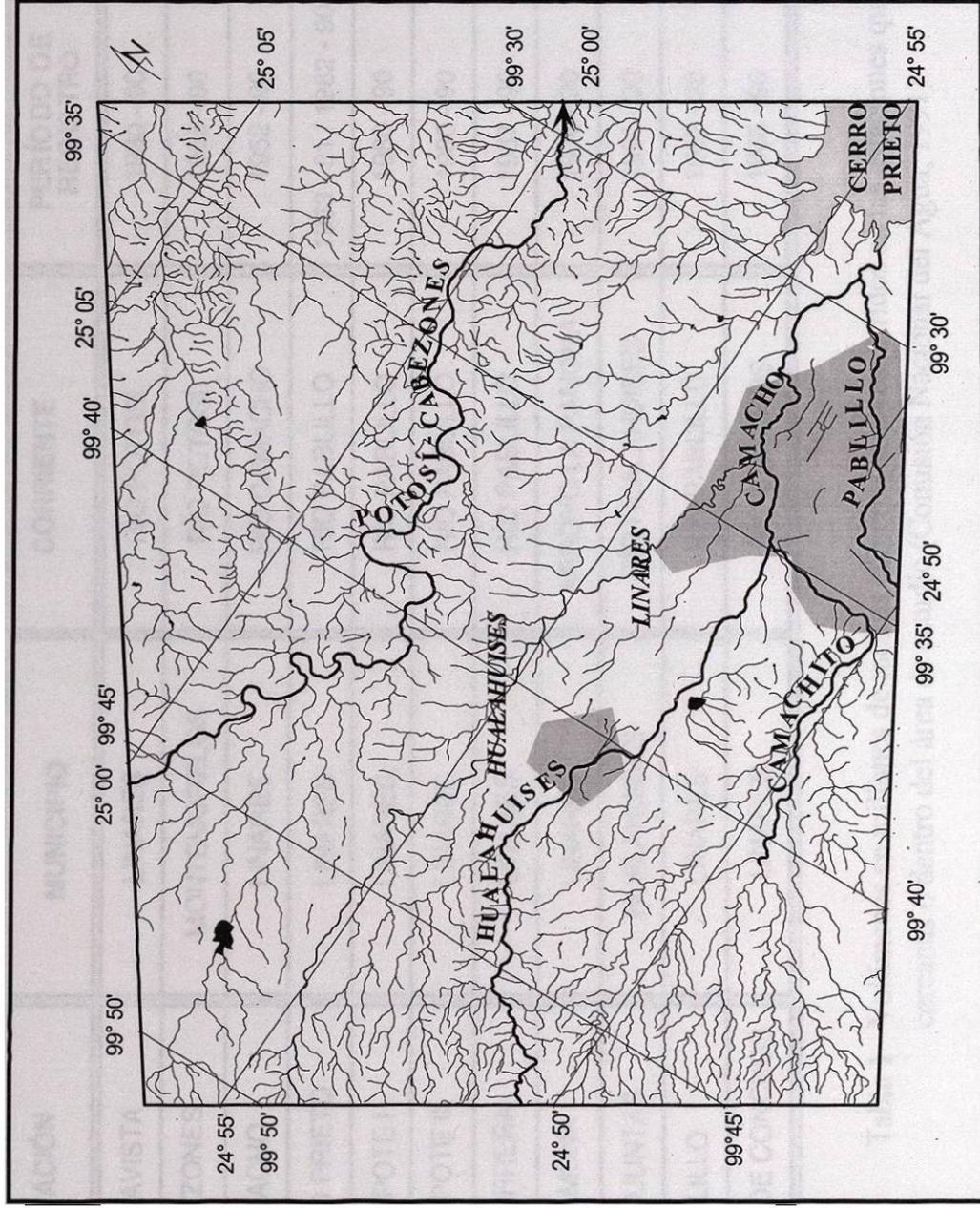


Fig. 3 hidrología del área de estudio, se muestran los escurrimientos principales y secundarios, así como la dirección de flujo

| ESTACIÓN | MUNICIPIO | CORRIENTE | PERÍODO DE REGISTRO | VOLUMEN MEDIO ANUAL (Mm ³) |
|---------------------|--------------|------------------|-----------------------|--|
| BUENAVISTA | LINARES | RÍO POTOSÍ | 1980 - 90 | 66.90 |
| CABEZONES | MONTEMORELOS | RÍO POTOSÍ | 1985 - 90 | 101.06 |
| CAMACHO | LINARES | RÍO CAMACHO | 1952 - 90 | 83.34 |
| CERRO PRIETO | LINARES | RÍO PABLILLO | 1963 - 81 / 1982 - 90 | 384.88 / 28.10 |
| EL POPOTE I | LINARES | RÍO PABLILLO | 1980 - 90 | 92.09 |
| EL POPOTE II | LINARES | RÍO PABLILLO | 1980 - 90 | 84.08 |
| LA CARRERA | LINARES | RÍO PABLILLO | 1967 - 90 | 101.61 |
| LA PAMONA | LINARES | ARROYO LA PAMONA | 1978 - 90 | 14.46 |
| LAS ADJUNTAS | HUALAHUISES | RÍO HUALAHUISES | 1981 - 90 | 52..29 |
| PABLILLO | LINARES | RÍO PABLILLO | 1952 - 90 | 112.70 |
| PURÍSIMA DE CONCHOS | LINARES | RÍO CONCHOS | 1965 - 90 | 68.23 |

Tabla 1 Volúmenes en millones de metros cúbicos (Mm³) escurridos en las estaciones que se encuentran cercanas o dentro del área de estudio (Comisión Nacional del Agua, 1991)

1.5.4 GEOMORFOLOGÍA

El área estudiada se localiza principalmente en la Llanura Costera del Golfo, abarca una pequeña porción de la Sierra Madre Oriental. En general, estas dos provincias geológicas forman el contrastante relieve de la zona.

En el lado Oeste de la zona, siguiendo la estructura de la sierra, existe una serie de lomeríos con pendientes abruptas, cortados por marcados arroyos que bajan hacia la planicie. En estos lomeríos se puede observar un cambio de drenaje, debido a que la pendiente disminuye hacia el Este.

En la parte Norte de la presa Cerro Prieto, se observa un marcado relieve, donde hay una serie de plegamientos que forman algunos lomeríos.

Hacia la parte Norte del área se presenta una gran meseta conocida como Mesa Alto del Ebano, la cual fue formada por la depositación de sedimentos terrígenos. Estos son más resistentes a la erosión, formando una estructura plana y elevada. Lo mismo sucede con algunas pequeñas lomas que se encuentran distribuidas dentro de la región de interés.

En la parte central del área se extiende una planicie de gravas y arena, provenientes de la erosión de las enormes masas de roca de la Sierra Madre Oriental, formando las partes bajas del terreno.

2 GEOLOGÍA

2.1 METODOLOGÍA GEOLÓGICA

Para elaborar la geología de cualquier zona, se tiene que seguir una serie de pasos cumpliendo con el método científico, así se puede llegar a obtener resultados precisos y se trata de resolver cualquier problema planteado. A continuación se describe la forma en que se trabajó la geología, llevando un orden para poder obtener los resultados requeridos para la documentación del estudio.

- a) Recopilación y análisis de la mayor cantidad de información existente posible, como cartas geológicas, trabajos previos, cartas piezométricas, registros climáticos, publicaciones, información en periódicos, etc.
- b) Debido a que el área es muy extensa, y con las escasas unidades litológicas conocidas de antemano, se efectuó una fotointerpretación del área de estudio, así se puede delimitar con exactitud los depósitos aluviales de la zona, ya que abarcan un área considerable.
- c) Una vez documentado, se desarrolló el trabajo de campo, para elaborar la geología local diferenciando las unidades litológicas presentes, apoyándose de la interpretación fotogeológica. Se realizaron caminamientos a lo largo de la mayoría de los caminos de terracería existentes (vías de acceso) verificando puntos tomados de la fotointerpretación.
- d) Para la elaboración de la **carta geológica**, primero se realizó una carta base, utilizada también para las demás cartas. Esta carta comprende las coordenadas, drenaje, topografía, ciudades, comunidades y vías de comunicación del área; se editó directamente a partir de las cartas de INEGI, fotointerpretación y datos de campo. Se puede explicar de la siguiente manera:
 - d.1) Las coordenadas fueron trazadas a cada 5 minutos, haciéndose espaciadas y con líneas muy finas.

- d.2) El flujo superficial se tomó inéditamente de las cuatro cartas de INEGI digitalizando hasta el más mínimo detalle; como drenaje se tomaron en cuenta ríos, arroyos (corriente intermitente y perenne) y además, se incluyeron fuentes de almacenamiento (presas y represas). A la base del drenaje se le insertó la cuenca de la Presa Cerro Prieto (que es más reciente que la carta INEGI), aunque no se encuentra en su máxima capacidad.
- d.3) Las cotas topográficas fueron registradas con diferentes alturas: cerca de la sierra fueron trazadas a cada 100 m y en la planicie fueron trazadas a cada 50 m. Esto se hizo con el propósito de no intensificar tanto la topografía para evitar obtener mucho “ruido” en la carta final, las cotas con menor diferencia de altura no se han considerado de gran importancia para la función de la topografía en las cuatro cartas.
- d.4) Las vías de acceso y comunicación comprenden carreteras pavimentadas, caminos de terracería transitables todo el tiempo, brechas, vías de ferrocarril y pistas de tierra, además las líneas telefónica, telegráfica, eléctrica de menos de 33 Kv. y eléctrica de 33Kv o más.
- d.5) Algunos caminos y carreteras ya han sido reconstruidos, eliminados o transformados, por lo que se han hecho estos cambios en la carta base.
- e) Sobre la base elaborada se vaciaron los datos geológicos del área de estudio, aunque previamente se preparó sobre las cartas de INEGI (cartas de campo). Para elaborar la carta geológica se llevaron a cabo los siguientes aspectos:
- e.1) Una vez bien delimitados los contactos geológicos, se procedió a resaltarlos en la carta para escanearla y editarla en la computadora.
- e.2) La geología del área se digitalizó sobre la carta scaneada, posteriormente se anexó al plano base y la carta geológica quedó terminada (Anexo 1).
- f) La **carta tectónica** se preparó previamente junto con la geología, sobre la carta de campo. Para elaborar la carta tectónica se llevaron a cabo los siguientes aspectos:

- f.1) Se recopiló y verificó en campo información de las cartas de INEGI, que también presentan información tectónica, como rumbos y buzamientos de estructuras, fracturamiento, entre otros. Además existen trabajos previos a este que cuentan con importante información.
- f.2) Debido a la gran extensión del área estudiada, se efectuó una tectónica regional que incluye fotointerpretación y mediciones de campo.
- f.3) Para las mediciones de campo se buscaron afloramientos con una distancia de 3 Km. de separación entre uno y otro, factor que no siempre se cumplió. En cada afloramiento se tomaron un mínimo de 10 mediciones de estratificación y 100 mediciones de fracturamiento (rumbo y buzamiento). Cada sitio documentado fué ubicado en la carta de campo para un análisis posterior.
- f.4) Una vez obtenida una basta cantidad de mediciones se prosiguió con el trabajo de gabinete elaborando grupos o conjuntos de datos para analizarlos en redes de Schmidt.
- f.5) El criterio tomado para la agrupación de datos (afloramientos), es que se encuentran cerca unos de otros, por lo que fueron tomados como un grupo en común efectuando un análisis para una pequeña región y no para un afloramiento en particular.
- f.6) Se agruparon mediciones de 3 o 4 afloramientos cercanos, lo que dió lugar a un total de entre 350 y 400 mediciones por analizar en un solo estereograma. Así se elaboraron 10 estereogramas (proyecciones polares, red de densidades y por último las proyecciones ecuatoriales como resultado) y se ubicaron en un punto intermedio de los afloramientos agrupados en la carta de campo.
- f.7) Los estereogramas obtenidos fueron scaneados y editados en la computadora, se anexaron al plano base junto con las fotolineaciones, estructuras y fracturamiento encontrados en el área.
- f.8) Además del plano base, en la carta tectónica se incluyeron las unidades sedimentarias Cretácicas existentes (Fm. San Felipe y Fm. Méndez), excluyendo aluviones y conglomerados ya que, en este caso, solo son una limitante para un análisis estructural.

- f.9) Cada estereograma presenta sus valores de estratificación (Ss) y diaclazamiento (Sk), además presenta cuatro grupos de densidades de diaclazas (Anexo 3).
- g) Cuando las cartas geológica y tectónica fueron finalizadas, su escala (1:50,000) fué reducida un 10% debido a problemas con su impresión.

2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

Como ya se mencionó con anterioridad, el área de estudio se encuentra fisiográficamente dentro de dos provincias geológicas, las cuales, en conjunto proporcionan importantes características de descarga, flujo y depositación del agua subterránea. Estas provincias son: 1) La Sierra Madre Oriental, 2) Planicie Costera Del Golfo Norte.

2.2.1 SIERRA MADRE ORIENTAL

Con este nombre 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 Suroeste de Monterrey, Nuevo León, hasta Teziutlán, Puebla, donde son interrumpidos en la superficie por derrames ígneos del Eje Volcánico Mexicano. A la altura de Monterrey, se flexiona para seguir una trayectoria E-W hasta Torreón, Coahuila, a esto se le conoce como "Curvatura de Monterrey", posteriormente vuelve a retomar su curso inicial NNW-SSE. Esta sierra está compuesta por estrechos pliegues con una orientación que sigue el rumbo general de la misma (LOPEZ RAMOS, 1982).

La longitud de la SMO es de aproximadamente 600 kilómetros, con una amplitud promedio de 80 kilómetros. Se encuentra limitada al Este por la subprovincia de la cuenca Tampico-Mizantla y la plataforma Burro-Picachos; al Sur por el Cinturón Volcánico Mexicano y al Oeste por el Altiplano Mexicano. Abarca porciones de los estados de Durango, Coahuila, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Veracruz, Hidalgo y Puebla.

La Sierra Madre Oriental es una provincia geomorfológicamente bien definida, con altitudes de hasta 3000 m.s.n.m., 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 Mesozoico al Terciario (Eoceno Superior; LÓPEZ RAMOS, 1982).

2.2.2 PLANICIE COSTERA DEL GOLFO NORTE

Esta provincia limita al Norte con el Río Bravo, al Sur con el Cinturón Volcánico Mexicano, al Este con el Golfo de México y al Oeste con la provincia de la Sierra Madre Oriental. Abarca porciones de los Estados de Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila.

Está constituida por lomeríos suaves que predominan en la mayor parte del área de estudio. Se presentan sedimentos terciarios y cuaternarios de tipo detríticos, producto de la erosión de la sierra; al frente de la Sierra Madre Oriental, existe una serie de plegamientos recumbentes, producto de los esfuerzos de la Orogenia Laramídica, los cuales se hacen más suaves hacia el Noreste, donde hubo lugar a la depositación de sedimentos terrígenos formando diferentes unidades litológicas en el período Terciario.

En general la Planicie Costera del Golfo Norte presenta un basculamiento de aproximadamente 5° hacia el Noreste.

2.3 PALEOGEOGRAFÍA

Con un detallado estudio de la Sierra Madre Oriental se puede decir que las deformaciones del Noreste de México, están condicionadas a la distribución paleogeográfica de las áreas de depositación de las diferentes unidades estratigráficas, las cuales están relacionadas con el desarrollo del Golfo de México y el Caribe (PADILLA Y SANCHEZ, 1982).

Al comienzo de la separación de las placas Norteamericana y Sudamericana en el Triásico tardío (apertura del Golfo de México), la región del Noreste de México se vio envuelta en una tectónica distensiva y compresiva, favoreciendo a la formación de sistemas de Horst y Grabens las cuales facilitaron la distribución de las primeras áreas continentales y los mares intermedios (Fig. 4). La erosión continental dio lugar a sedimentación terrestre de lechos rojos (Formación Huizachal) y posteriormente un moderado vulcanismo andesítico (MEIBURG, 1987).

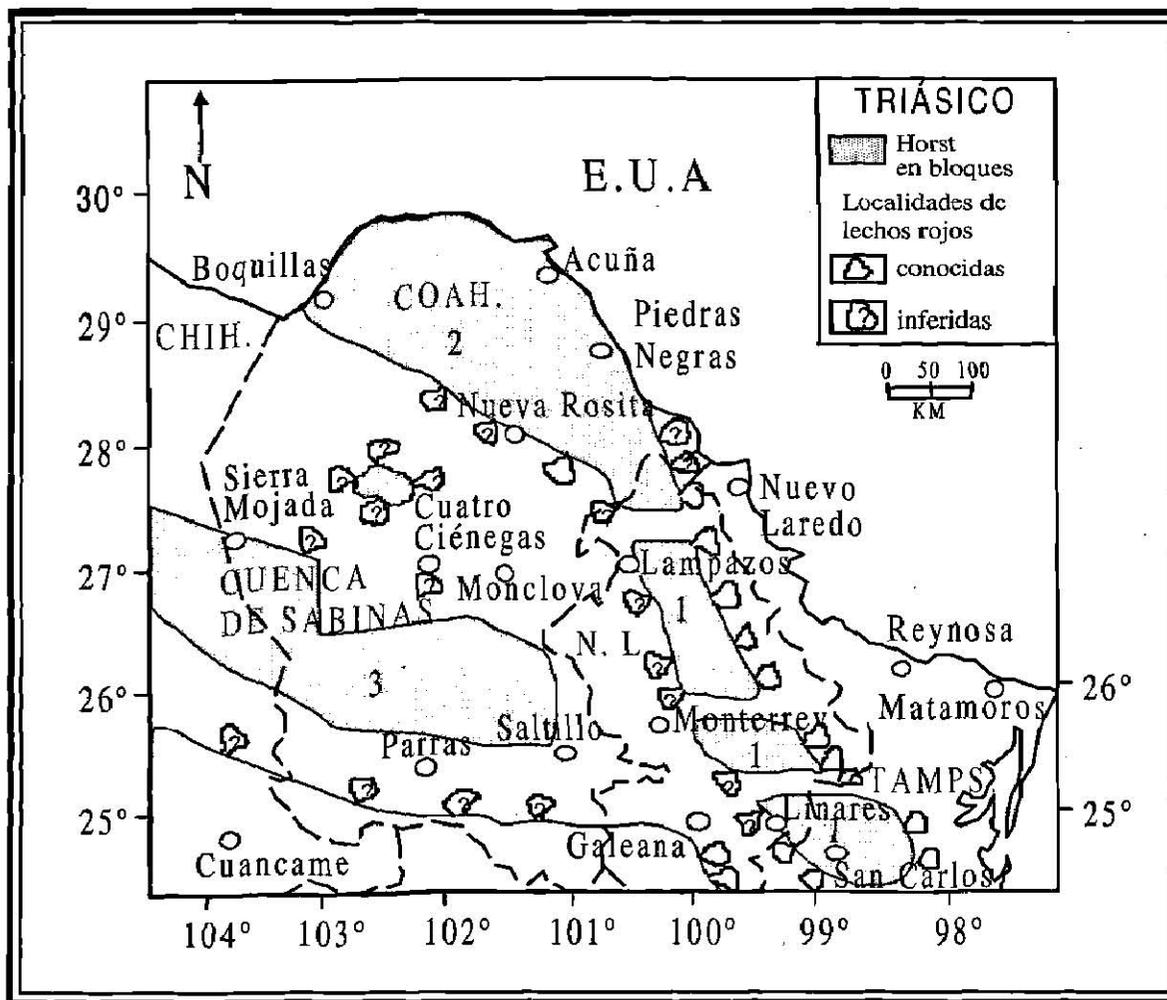


Fig. 4 Distribución paleogeográfica de los depósitos continentales (lechos rojos) del período Triásico tardío-Jurásico medio, en el Noreste de México (PADILLA Y SANCHEZ, 1986)

Al comienzo del período Jurásico tardío, ocurrió una extensa regresión marina, que dio lugar a la formación de un cinturón de bancos oolíticos entre Saltillo y Monterrey, restringió la circulación del agua en el Golfo de Sabinas, permitiendo la precipitación de sulfatos y sal (Formación Minas Viejas) con grandes espesores de sedimentos. Posteriormente se formó una plataforma marina con mayor circulación durante el Oxfordiano tardío/Kimmeridgiano hasta finales del Tithoniano, dando lugar a la precipitación de carbonatos y sedimentación de arcillas (Formaciones Zuloaga y La Casita), (Fig. 5).

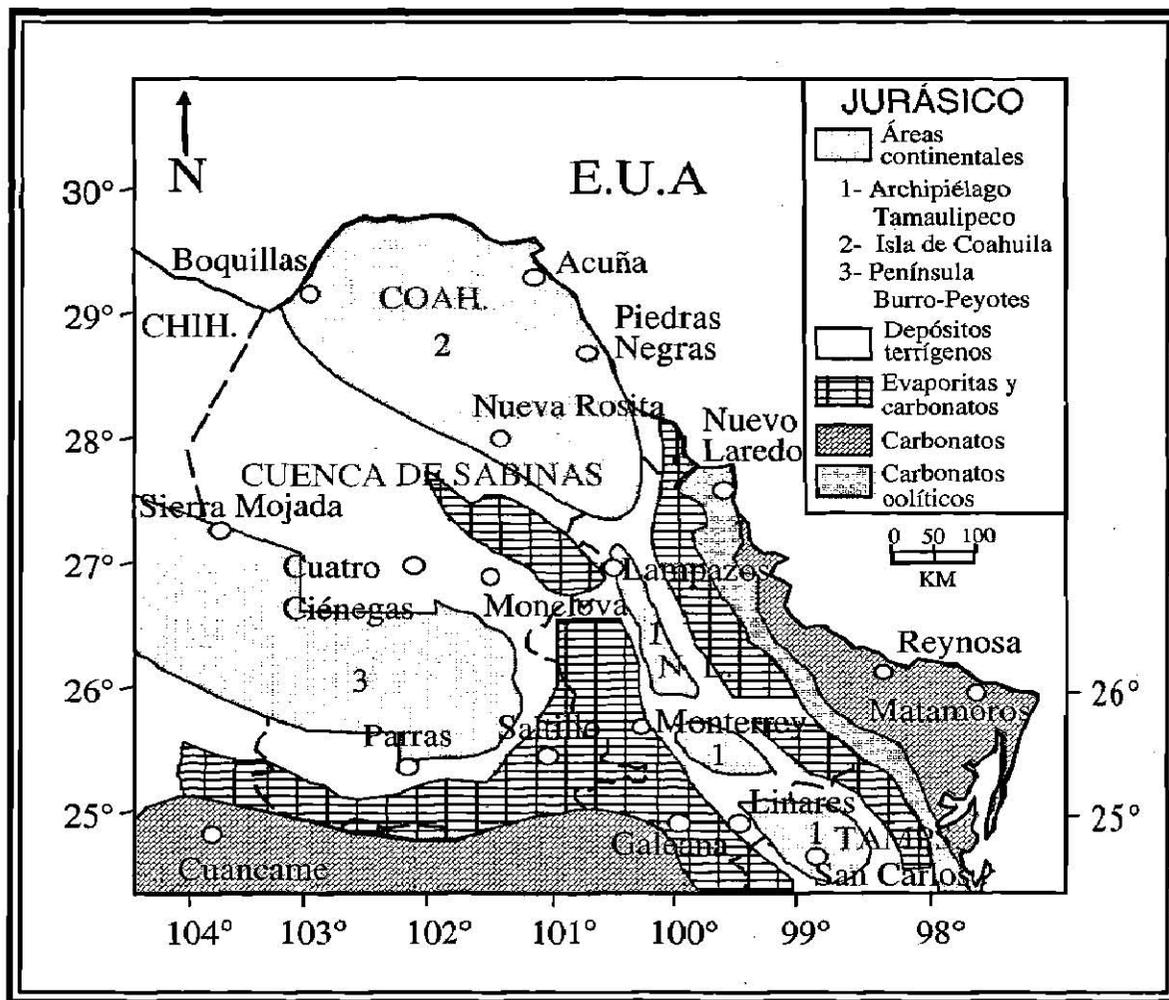


Fig. 5 Distribución paleogeográfica de los sedimentos del Oxfordiano tardío-Kimmeridgiano temprano, en el Noreste de México (PADILLA Y SANCHEZ, 1986)

Después de ahí, se presentó una subsidencia del NE de México a partir del Berriasiano hacia el Sur y el Este, extendiéndose más hacia el Este de la Isla de Coahuila, que todavía se encontraba emergiendo; dando origen a la Formación Taraises y Tamaulipas inferior. Durante el Neocomiano, en la mayor parte del Golfo de Sabinas y al Sur de la Isla de Coahuila, un extenso depósito de limolitas, lutitas y evaporitas tuvo lugar detrás de una barrera casi continua de arrecifes de la Formación Cupido (PADILLA Y SANCHEZ, 1986; Fig. 6). Este arrecife se extendió desde Nuevo Laredo, Tamps., hacia el Sur en Monterrey, N. L., y al Oeste, hacia Torreón, Coah. Continuó una depositación de carbonatos en aguas profundas hacia el Sur y Sureste de las Islas sepultadas (Lampazos, Sabinas y Picachos) que dio lugar a la Formación Tamaulipas Superior.

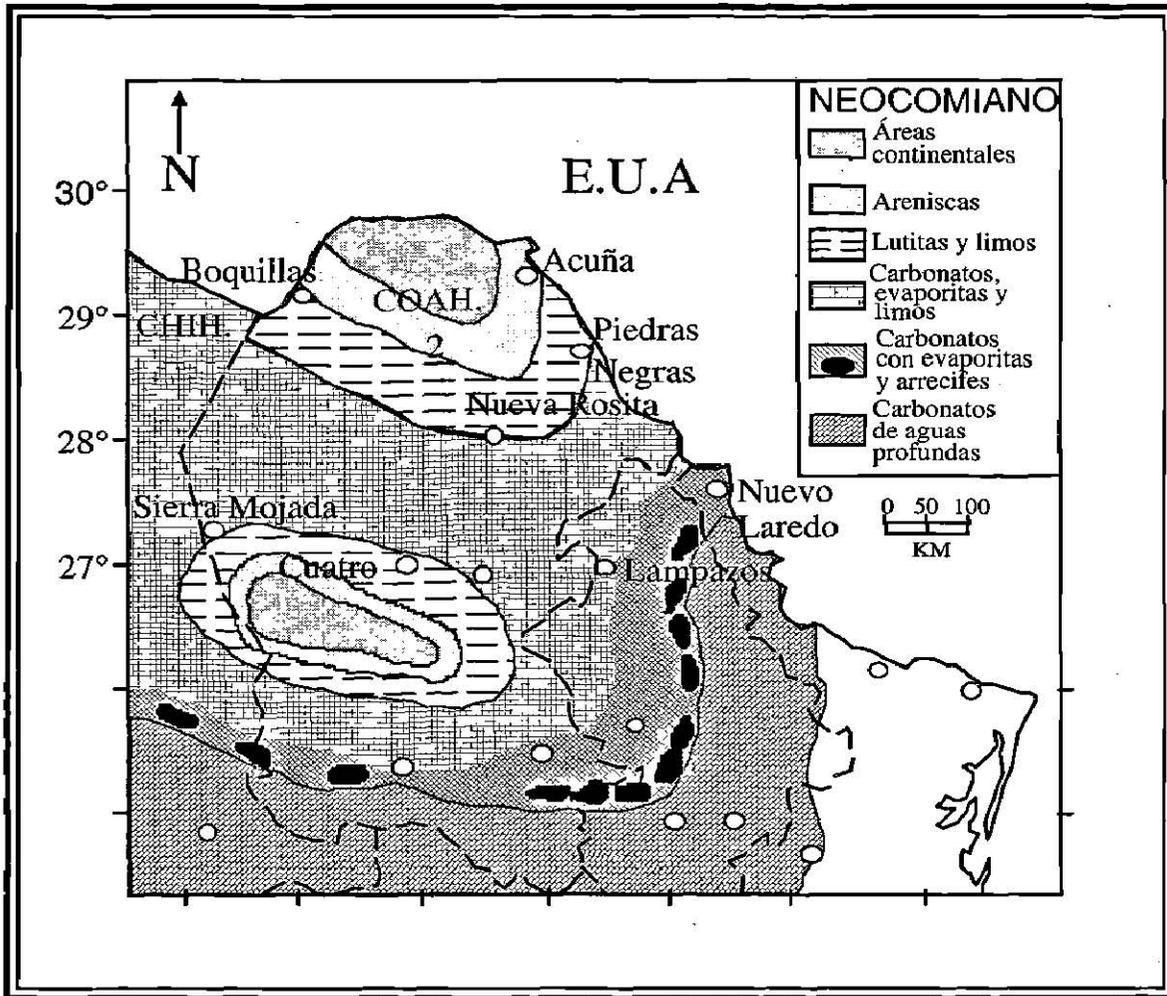


Fig. 6 Distribución paleogeográfica de los depósitos del Neocomiano tardío en el Noreste de México (PADILLA Y SANCHEZ, 1986)

Con mares de aguas mucho más profundas, se depositó la Formación La Peña a fines del Aptiano. El desarrollo arrecifal se restringió a los bordes de la sumergida Isla de Coahuila y se depositó la Formación Aurora, mientras que en el Golfo de Sabinas se depositaron carbonatos de agua profunda con nódulos y capas de pedernal, lo que conocemos como Formaciones Tamaulipas Superior y Cuesta del Cura. Posteriormente, los mares se extienden sobre los continentes, originando la depositación de material arcilloso y la precipitación de carbonatos (Formación Agua Nueva), pero los espesores de depositación de los sedimentos empieza a decrecer.

Hacia finales del Cretácico, el Noreste de México es cubierto por depósitos terrígenos y clásticos, provenientes de la erosión de enormes masas que se encontraban hacia el Oeste de la región, dando lugar a la depositación de las Formaciones San Felipe y Méndez (Fig. 7). Para el Terciario, los potentes espesores de roca del Mesozoico sufrieron una deformación debido a la presencia de la Orogenia Laramídica, comenzó una divergencia acelerada entre el levantamiento de la Sierra Madre Oriental y el hundimiento de la Llanura Costera del Golfo. Existió una regresión marina hacia el Este, donde se depositaron potentes espesores de lutitas y areniscas en complejos sistemas de barreras y deltas durante todo el Cenozoico originando los depósitos Terciarios (MARTINEZ, 1997).

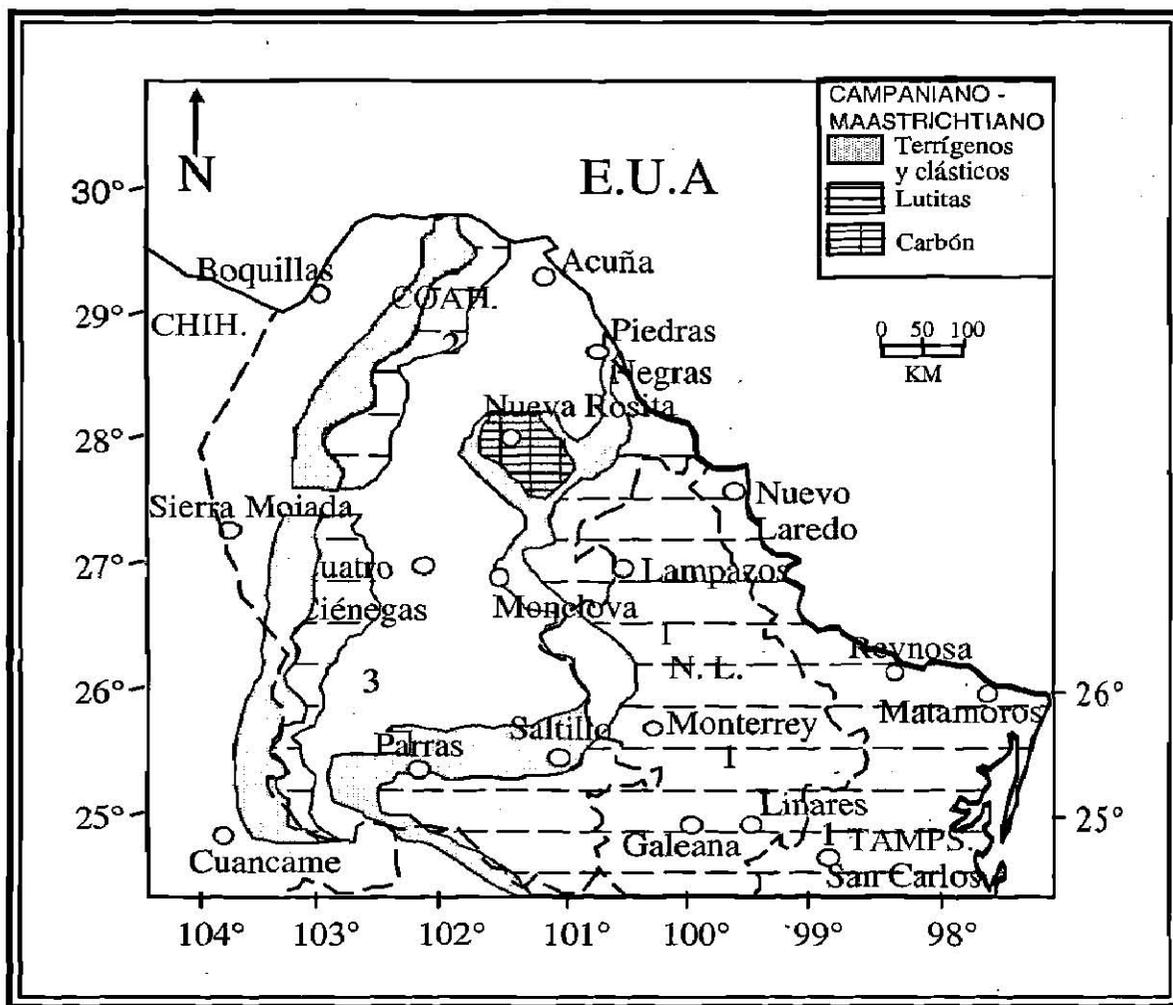


Fig. 7 Distribución paleogeográfica de los sedimentos del Campaniano-Maastrichtiano, en el Noreste de México (PADILLA Y SANCHEZ, 1986)

2.4 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.4.1 ESTRATIGRAFÍA

La Sierra Madre Oriental y las zonas adyacentes están constituidas principalmente por rocas sedimentarias mesozoicas que se depositaron y evolucionaron sobre un basamento Paleozoico y Precámbrico (Fig. 8).

Las rocas que afloran en el área de estudio, son representadas por rocas sedimentarias Cretácicas de origen marino, que comprenden las Formaciones San Felipe y Méndez; y rocas sedimentarias Terciarias de origen continental, como la Formación Reynosa y Terrazas aluviales de diferente época y nivel de depositación.

Las Formaciones geológicas subyacentes que no afloran en la zona, se presentan como una secuencia normal, siendo reportadas hasta la Formación La Casita, por PEMEX en 1967. En esta parte del área de estudio, subyaciendo discordantemente a la Formación La Casita, se encuentra un cuerpo ígneo intrusivo registrado por Petróleos Mexicanos como un Granito de Biotita, en una perforación de 1190 metros de profundidad, hecha en el año de 1961 en el anticlinal Trincheras, hacia el Norte de lo que ahora es la Presa José López Portillo/Cerro Prieto; en 1964 se hicieron dataciones radiométricas por el método de Rubidio-Estroncio dando al intrusivo una edad aproximada de 170 millones de años (DE LEÓN, 1993).

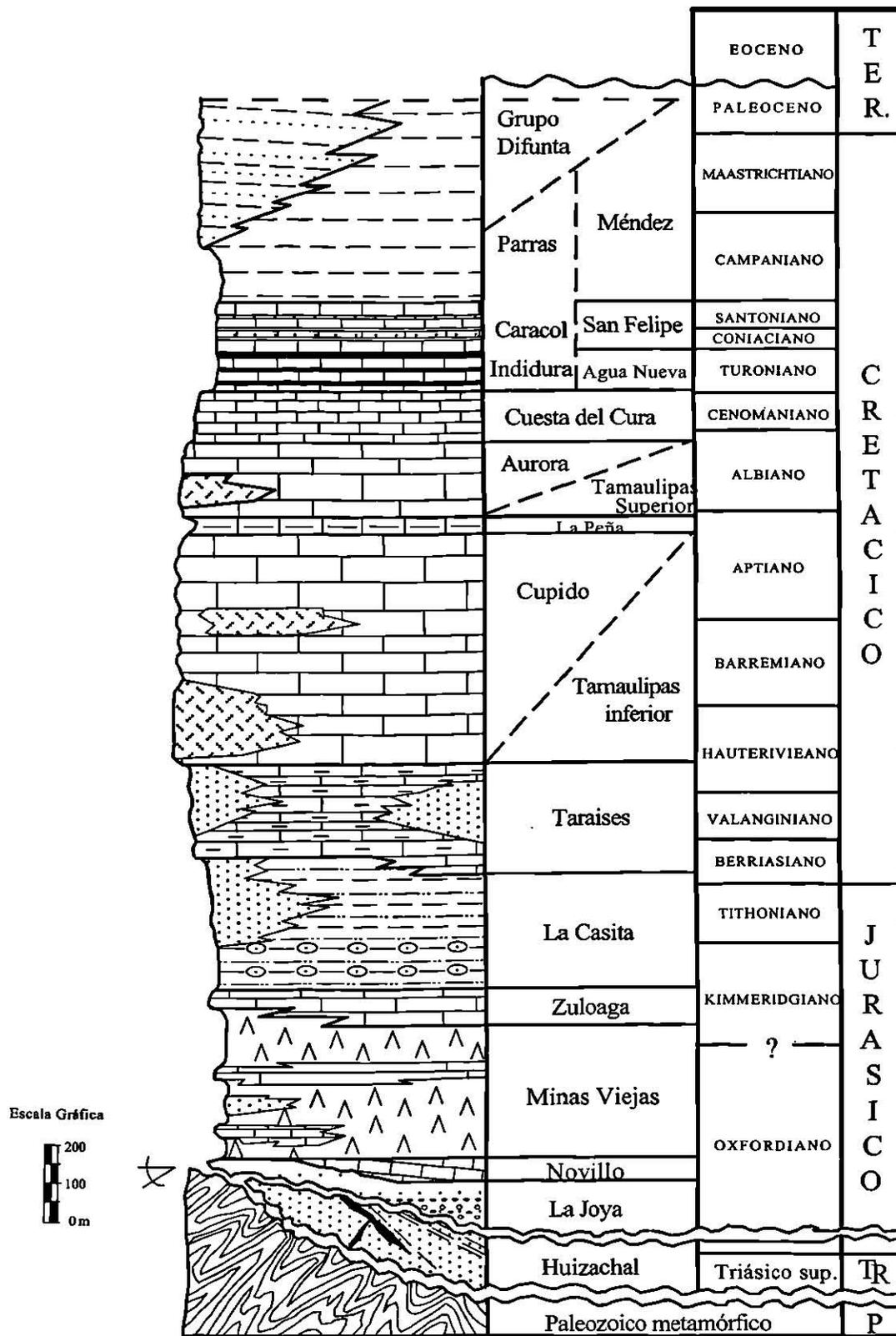


Fig. 8 Columna estratigráfica de la SMO que muestra la secuencia sedimentaria de rocas Mesozóicas, que descansan sobre un basamento metamórfico (Tomada y traducida de MICHALZIK, 1988)

A continuación se hace una descripción de las unidades estratigráficas aflorantes en el área de estudio, ordenando de la Formación más antigua a la más reciente.

2.4.1.1 FORMACIÓN SAN FELIPE

Esta fue descrita por MUIR (1936) quien definió a esta Formación en la localidad de San Felipe, aproximadamente 4 kilómetros al Este de Ciudad Valles, San Luis Potosí. En esa localidad la Fm. San Felipe se define como una secuencia incompleta de calizas y lutitas. Sin embargo, SEIBERTZ (1988) en CORREA, 1998; propuso una localidad neotipo en la Sierra La colmena, en la parte Oeste de Ciudad Valles, San Luis Potosí.

PADILLA y SANCHEZ (1982), describe a esta formación en la Sierra Madre Oriental como una unidad de calizas margosas de color gris, laminación delgada, con intercalaciones de lutitas de color de intemperismo marrón amarillento, estratos de bentonita y caliza silicificada.

El afloramiento de la Formación San Felipe dentro del área de estudio (Fig. 8 y 9), se encuentra en la región de la presa Cerro Prieto, extendiéndose hacia el Norte de la misma. Se puede definir como una secuencia de estratos medianos a delgados de calizas margosas y arcillosas, con color de intemperismo café claro, marrón y amarillento. Estos estratos se encuentran algo fracturados y en ocasiones se encuentran concreciones. Se observan intercalaciones de estratos delgados y medianos de lutitas y limolitas de color café, café amarillento, marrón. En general, presenta abundante foliación paralela a los planos de estratificación. Además, se presentan horizontes verdes de bentonita con un gran contenido de ichnofauna, entre ella huellas de gusanos. Algunas veces se observan estratos delgados de arenisca y estratos de delgados a medianos de calizas silicificadas fuertemente fracturadas (PADILLA y SANCHEZ, 1982).

La Formación San Felipe, dentro del área de estudio, se presenta con moderada deformación, con pliegues no muy abruptos formando una zona de lomeríos hacia la parte Norte de la presa Cerro Prieto. El contacto inferior de la Formación no se puede determinar, pero se puede estimar que es de manera concordante y transicional con la Formación Agua Nueva en base a registros obtenidos con anterioridad por PEMEX. El contacto superior de la Formación es de manera concordante y transicional con la

Formación Méndez. Su espesor en la zona no puede ser estimado ya que solo aflora su contacto superior; Petróleos Mexicanos, en el pozo Trincheras No. 1 registró un espesor aproximado de 160 metros.

Se han realizado diversos estudios de investigación en la Sierra Madre Oriental, y se han reportado espesores aproximados para la Formación San Felipe en distintas localidades (MARTINEZ, 1997. Tabla 2).

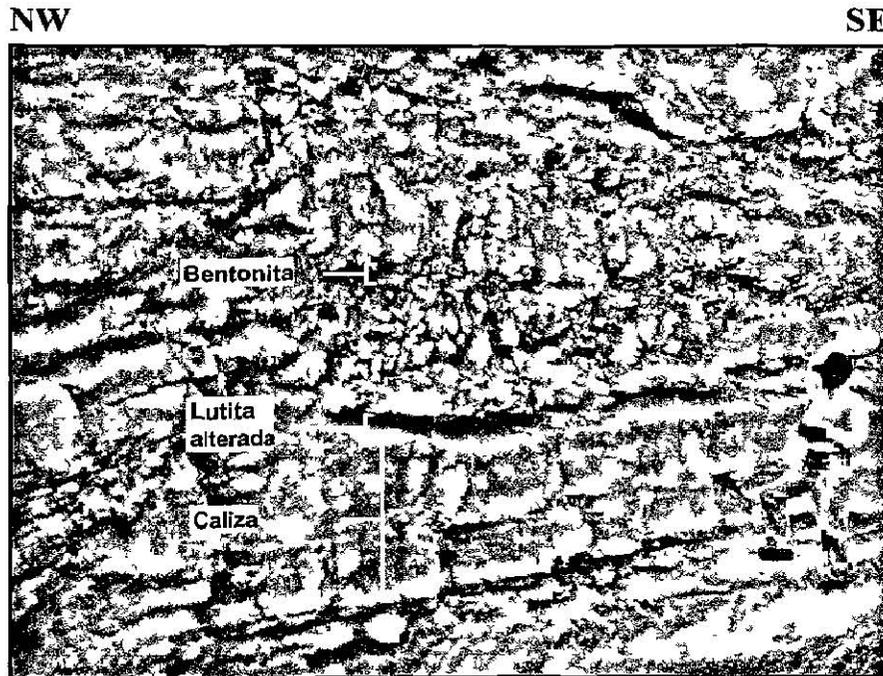


Fig. 9 Afloramiento de la Formación San Felipe en los alrededores de la presa Cerro Prieto, se observa una estratificación con buzamiento suave se presenta una intercalación de caliza, lutita y bentonita. Sus coordenadas son N: 24° 56'.48 y W: 99° 27'.56

| | |
|----------------------------|-------------------|
| PEMEX, 1962 * | 160 metros |
| Padilla y Sanchez, 1982 ** | 173 metros |
| Medina Barrera, 1989 *** | 200 metros |
| Oviedo Lerma, 1991 **** | 200 - 300 metros |
| Peña Ponce, 1992 **** | aprox. 380 metros |

Tabla 2 Se muestran los espesores reportados para la Fm. San Felipe en diversos estudios realizados en diferentes zonas de la Sierra Madre Oriental (MARTÍNEZ, 1997), con el fin de tomar diferentes criterios, así como un promedio del espesor debido a que en la zona no se cuenta con un registro preciso. * Pozo Trincheras, Linares, ** Sierra de Labradores, *** Rayones, N. L., **** Galeana, N. L.

2.4.1.2 FORMACIÓN MÉNDEZ

JEFFREYS (1910) en MUIR (1936) fue el primero en aplicar este nombre a una serie monótona de lutitas que descansan concordantemente sobre la Formación San Felipe, tomando como estratotipo un afloramiento localizado a 300 metros al Este de la Estación Méndez, en el kilómetro 629.3 de la vía férrea San Luis Potosí-Tampico. En esta localidad, la Formación Méndez fue descrita como una serie de lutitas limosas de diferentes colores, que varían entre gris oscuro, azul, negro, marrón y rojizo oscuro (CORREA, 1998).

PADILLA y SANCHEZ (1982), describe a esta formación dentro de la Sierra Madre Oriental como una secuencia de lutitas y margas de colores marrón, gris oscuro a claro, que presenta intercalaciones de lutita (menos frecuente) de color verde olivo, generalmente con estratificación de delgada a laminar y fuertemente plegada.

En el área de estudio, la Formación Méndez se encuentra aflorando aproximadamente en un 60 % del terreno (Anexo 1), es la unidad litológica más abundante y en muchas partes se encuentra cubierta por conglomerados o depósitos aluviales. Esta se puede definir como una potente unidad arcillosa, compuesta por estratos laminares, delgados y medianos de lutitas de colores muy variados, entre gris oscuro, gris azulaseo, gris claro, café claro a marrón y café amarillento, presentan bioturbación y en algunas zonas concreciones (Figs. 8, 10 y 11). En algunas zonas se encuentran intercalaciones de margas y arcillas de color verde olivo con bioturbación. Por lo general, la Formación Méndez se encuentra muy intemperizada, en algunas ocasiones quedando como forma de agujas, en otras formando suelo. En toda el área se encuentra muy fracturada y presenta vetas de calcita, y en algunas ocasiones, cristales de cuarzo. En la parte superior de la Formación Méndez existe una intercalación de lutitas con estratos de arenisca de potentes espesores de color gris claro y color de intemperismo café amarillento, estos se pueden observar en las partes altas de algunos cerros del área (El Cerrito, Linares N. L.), no presentan demasiada inclinación (Fig. 12).

La Formación Méndez sobreyace transicional y concordantemente a la Formación San Felipe, mientras que su límite superior no es conocido, solo se presentan estructuras erosionadas (pliegues) formando un gran valle y algunos lomeríos, sobre los que descansan

discordantemente depósitos de rocas continentales. Su espesor es desconocido debido a que no se encuentra la secuencia completa, aunque Petróleos Mexicanos (1967) reporta un espesor de aproximadamente 1280 metros. En la Sierra Madre Oriental, son reportados diferentes espesores (PEDRAZA, 1997. Ver Tabla 3).

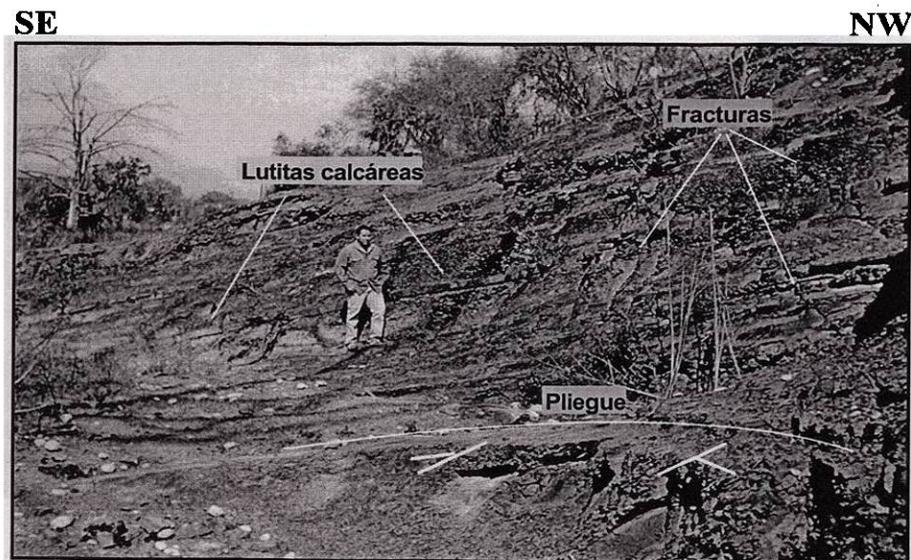


Fig. 10 Estratos de la Formación Méndez, se observa un plegamiento local y un afloramiento poco alterado que consta de lutitas fracturadas y lutitas calcáreas con buzamiento al SW. Sus coordenadas son N: 24° 54' 68 y W: 99° 40' 61

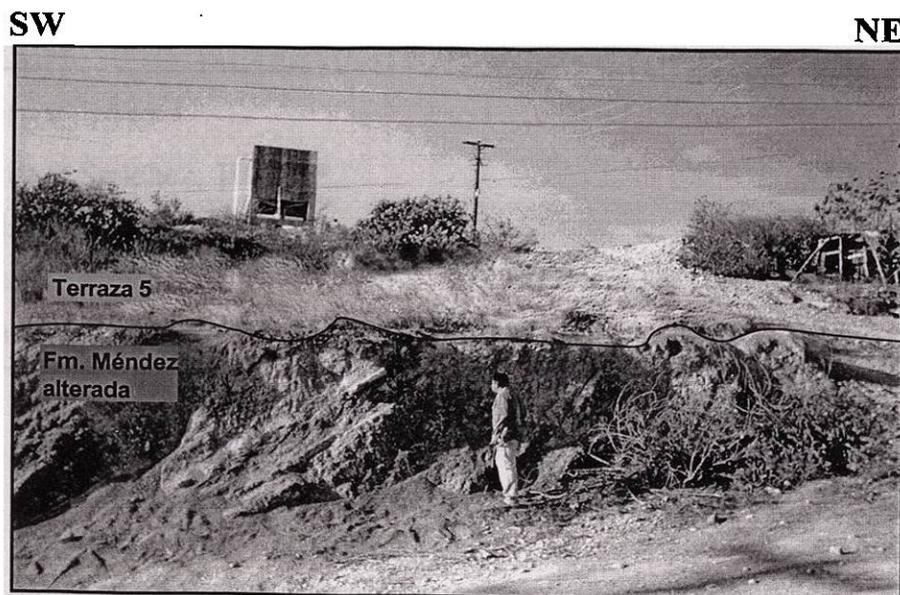


Fig. 11 Afloramiento de la Formación Méndez donde se observan lutitas muy alteradas, de color café claro y amarillento, hacia la base afloran las lutitas sanas. sobre ellas se encuentran discordantemente gravas y conglomerado de la Terraza 5. Sus coordenadas son N: 24° 50' 46 y W: 99° 33' 42

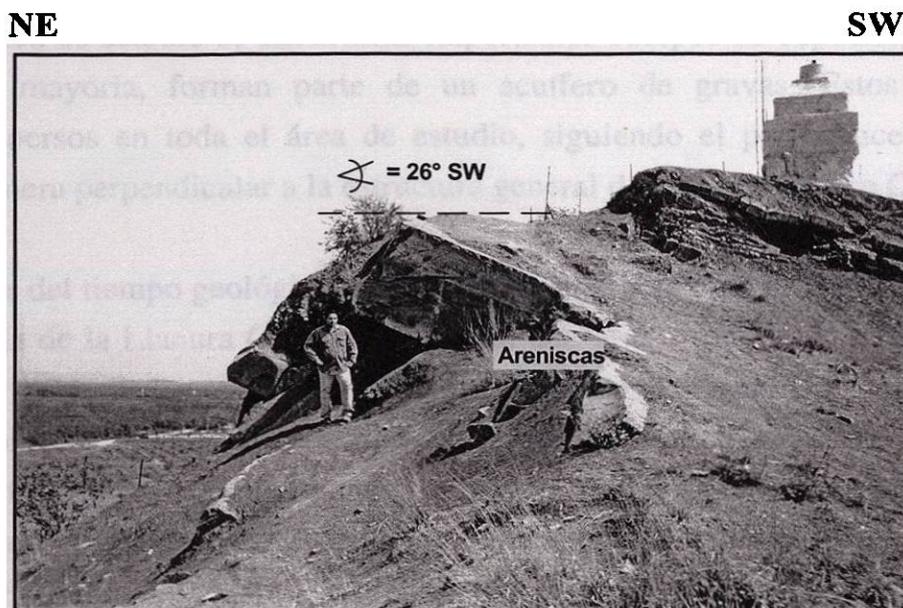


Fig. 12 Afloramiento del techo de la Formación Méndez, localizado en El Cerrito en Linares, se observa una secuencia de lutitas intercaladas con estratos de arenisca de hasta 1 m de espesor, su color es gris claro. Sus coordenadas son N: 24° 50' 61 y W: 99° 33' 42

| | |
|----------------------------|--------------------|
| PEMEX, 1977 * | 1458 metros |
| Padilla y Sanchez, 1982 ** | 550 metros |
| Medina Barrera, 1989 *** | > 900 metros |
| Oviedo Lerma, 1991 **** | > 100 - 400 metros |
| Peña Ponce, 1992 **** | aprox. 1000 metros |

Tabla 3 Se muestran los espesores reportados para la Formación Méndez en diversos estudios realizados en diferentes zonas de la Sierra Madre Oriental (PEDRAZA, 1997).

* Pozo Liars, ** Sierra de Labradores, *** Rayones, N. L., **** Galeana, N. L.

2.4.1.3 DEPÓSITOS ALUVIALES

En el área de estudio se encuentran importantes cuerpos de depósitos aluviales, los cuales, en su mayoría, forman parte de un acuífero de gravas. Estos depósitos, se encuentran dispersos en toda el área de estudio, siguiendo el paleocauce de los ríos y arroyos, de manera perpendicular a la estructura general de la Sierra Madre Oriental.

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 en la Cuenca de Burgos en el período Terciario Inferior (Eoceno), debido a que la pendiente del terreno provocó que los escurrimientos superficiales (ríos y arroyos), con una alta velocidad de flujo erosionaran profundamente a las rocas que estaban emergiendo de la profundidad durante la Revolución Laramídica (MEIBURG, 1987).

Al retirarse las líneas de costa, y cuando se depositan los sedimentos continentales, la pendiente de los escurrimientos superficiales se hizo cada vez más suave, lo que dio lugar a la depositación de sedimentos de tipo deltáicos y lagunares. Al originarse cambios topográficos o incluso cambios climáticos en la región, propiciaron grandes avenidas de los ríos o cambios de dirección de flujo, por lo que la secuencia normal de depositación que guardaban estos sedimentos, podían ser alterados originando cambios de facies de depositación (GALVAN 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. Con el transcurso del tiempo, en una región se pueden observar los relictos erosionados de antiguos sedimentos fluviales a lo que se conoce con el nombre de Terrazas.

El material aluvial puede ser depositado formando planicies, que posteriormente pueden ser modificadas a diferentes niveles de altura, como respuesta a un levantamiento de la región por efectos tectónicos, originándose una erosión diferencial. Conforme este proceso es repetido a lo largo del tiempo geológico, las terrazas fluviales son formadas y se

distinguen topográficamente en distintos niveles, con esto se puede estudiar la posición de los paleocanales existentes tiempo atrás (RUÍZ, 1990. Fig. 13).

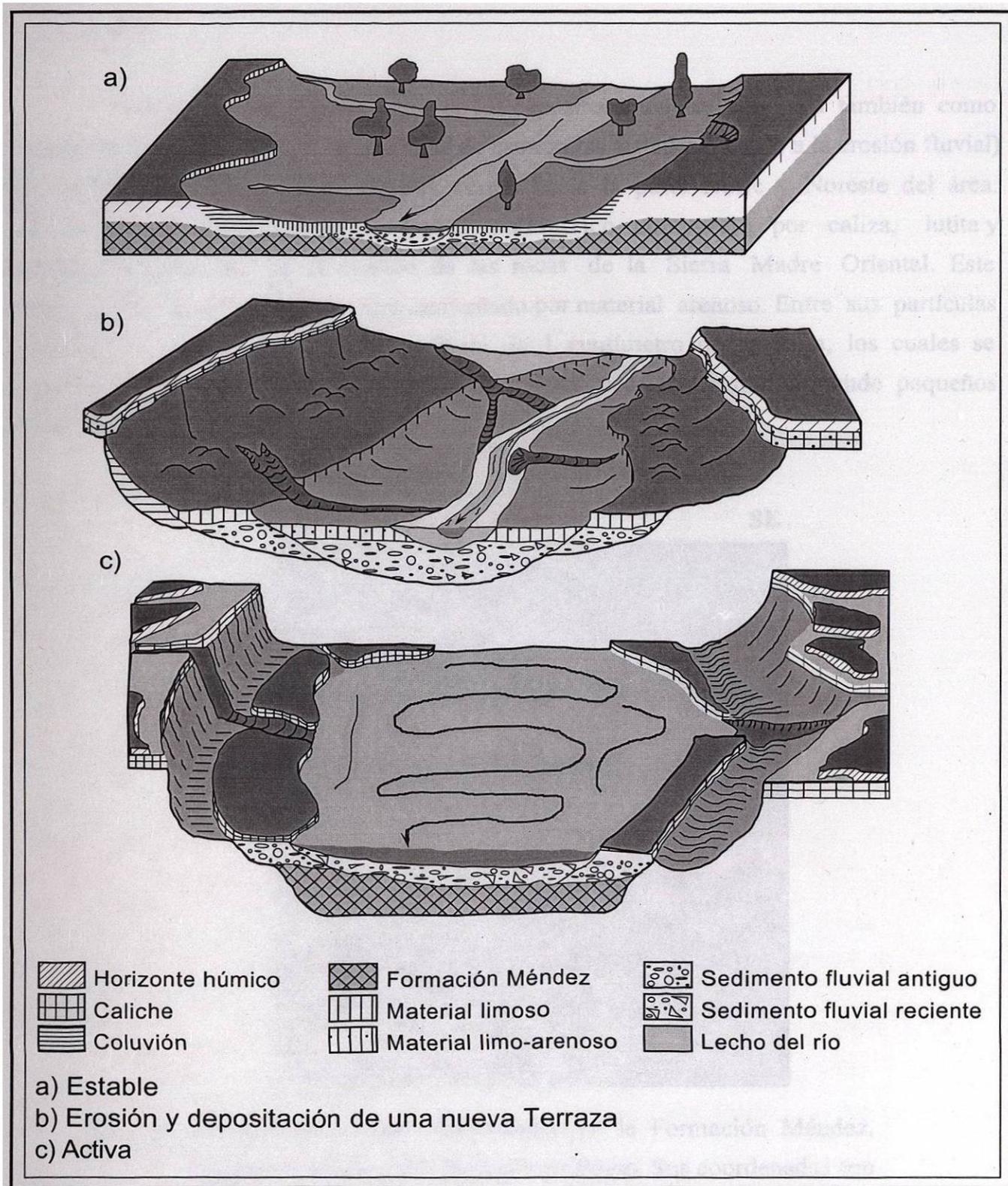


Fig. 13 Proceso de formación de las Terrazas aluviales en diferentes niveles de depositación (RUÍZ, 1990)

En el área de interés se pueden reconocer cinco niveles de Terrazas (T1, T2, T3, T4 y T5), basándose en la clasificación de Ruíz (1990):

Terraza (T5)

Esta Terraza es la más antigua de los depósitos aluviales, conocida también como Formación Reynosa, consiste en una serie de estructuras aisladas (debido a la erosión fluvial) que forman las partes altas de algunos cerros hacia la parte Norte y Noreste del área. Consiste en un conglomerado de gravas polimícrico compuesto por caliza, lutita y pedernal provenientes de la erosión de las rocas de la Sierra Madre Oriental. Este conglomerado se encuentra muy bien cementado por material arenoso. Entre sus partículas se pueden encontrar poros o espacios hasta de 1 centímetro de apertura, los cuales se encuentran total o parcialmente rellenos de calcita, ocasionalmente formando pequeños cristales (Fig. 14).

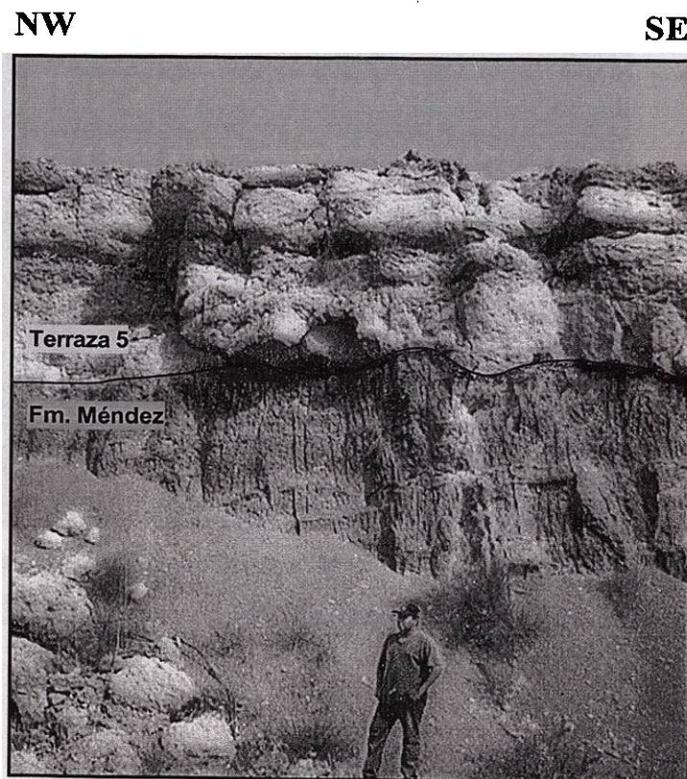


Fig. 14 Terraza 5 en contacto discordante con la Formación Méndez, localizada al NW de la Presa Cerro Prieto. Sus coordenadas son N: 25° 00' 08 y W: 99° 32' 48

Terraza (T4)

En un nivel más bajo que T5 se encuentra la Terraza 4, también una de las más antiguas, se encuentra hacia el Oeste y Suroeste del área de estudio, cerca de la Sierra Madre Oriental, formando las partes altas de algunos cerros. Está compuesta de un conglomerado consolidado formado por bloques, gravas y arenas con un cementante calcáreo; a su vez, presenta algunos lentes de material más fino como arenas, arcillas y limos, en la parte superior está compuesta por una capa de humus de espesor muy variado; su color es amarillento y amarillo rojizo (Fig. 15).

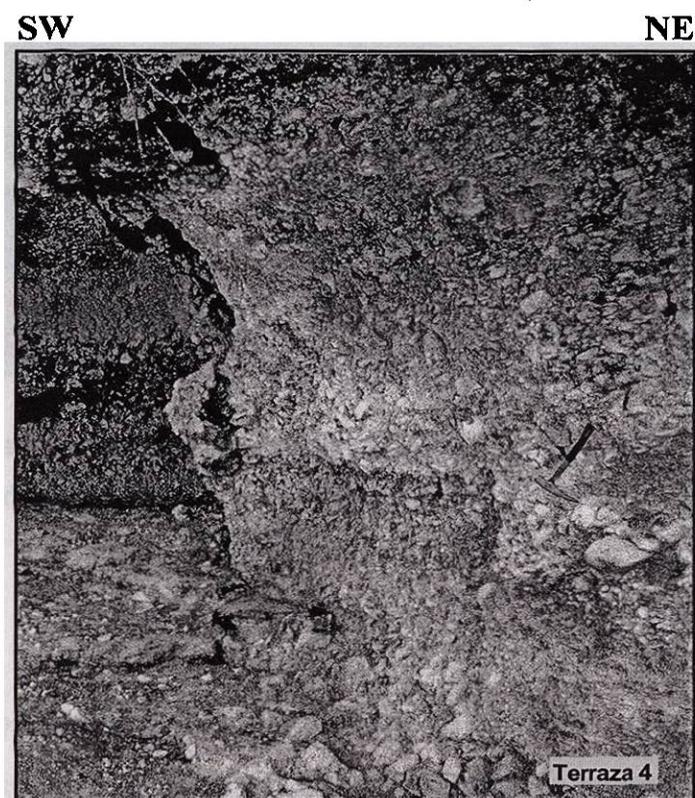


Fig. 15 Terraza 4, localizada cerca del rancho El Progreso, en el frente de la SMO. Sus coordenadas son N: 24° 52' 98 y W: 99° 44' 16

Terraza (T3)

La Terraza 3 se localiza en las zonas de la presa Cerro Prieto y cerca de la Sierra Madre Oriental, presentándose en forma aislada. El espesor de estos cuerpos varía entre 2 y 5 metros aproximadamente y consiste en un conglomerado (cantos rodados de gravas y bloques) con cementante calcáreo, en este caso caliche; en contacto con la Terraza 2,

presenta intercalaciones y lentes de sedimentos más finos (arenas, arcillas y limos). En la parte superior, la mayoría de estos cuerpos, presentan un color café rojizo, producto de la alteración química de minerales de fierro, debido a un clima relativamente húmedo (Fig. 16). En algunas zonas esta unidad litológica puede formar parte de un acuífero de gravas.

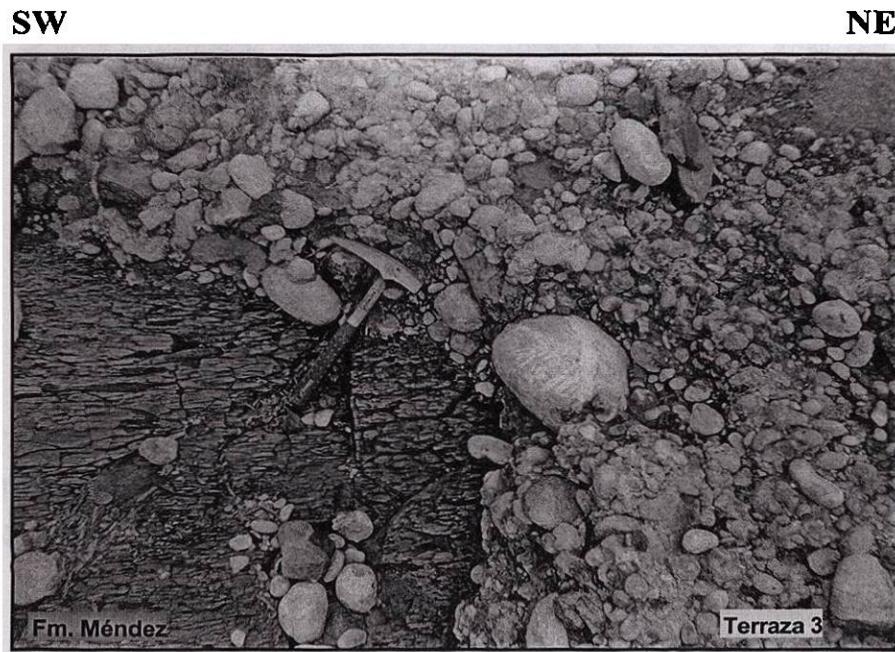


Fig. 16 Contacto entre la Formación Méndez y la Terraza 3, localizada en el Ejido Magüiras. Sus coordenadas son N: 24° 54' 72 y W: 99° 37' 60

Terraza (T2)

Estos depósitos aluviales pertenecen a la denominada Terraza baja T2, se encuentra en la parte central y norte del área, prácticamente hacia los extremos de todos los cauces de los ríos y arroyos recientes. Esta Terraza consiste de 3 a 6 metros de material poco consolidado, compuesto por horizontes de gravas con algunos bloques, los cuales tienen espacios rellenos de arenas y algo de arcillas, intercaladas con horizontes y lentes de arenas, arcillas y limos (el espesor y granulometría de los sedimentos varían de acuerdo a la velocidad de flujo y caudal de los escurrimientos superficiales a través del tiempo). En la parte superior la Terraza 2 presenta generalmente una cubierta de arcilla de aproximadamente 1 a 4 metros (Fig. 17). Esta unidad litológica forma parte de un importante acuífero de gravas para la Región Citrícola del Noreste de México.

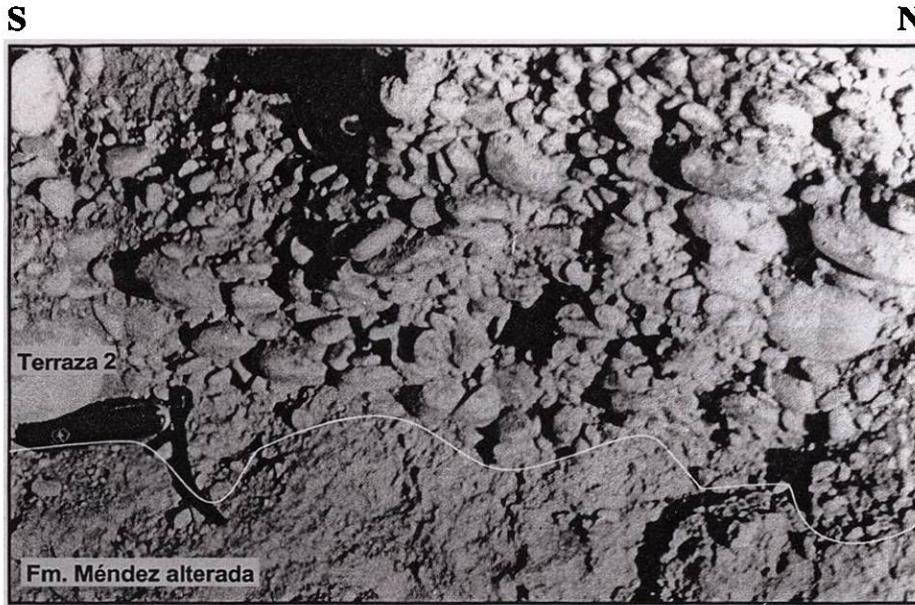


Fig. 17 Terraza 2, localizada cerca del Ejido Camachito, conforma el extenso valle aluvial y los márgenes de los ríos del área de estudio. Sus coordenadas son N: 24° 51' 45 y W: 99° 35' 16

Terraza (T1)

Prácticamente, esta Terraza se encuentra en el lecho de los ríos y arroyos, es la más reciente ya que se trata del material que actualmente es depositado y retransportado por las corrientes superficiales, además del material depositado en las orillas o en los meandros de estas. Esta Terraza consiste en una alternancia de horizontes de gravas y bloques con espacios rellenos de arenas, con horizontes de arenas y lentes de arcillas y limos (Fig. 18). Esta unidad es similar a la Terraza 2, entre sus poros puede correr el agua libremente y puede llegar a interrelacionar el flujo del agua entre un acuífero y un río (influencia y efluencia).

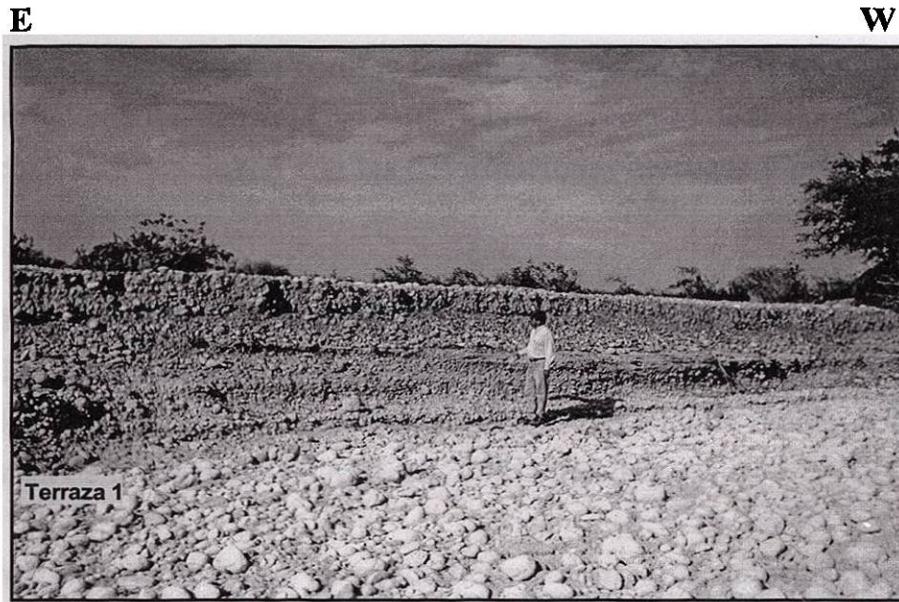


Fig. 18 Terraza 1, localizada en el lecho del Río Pabillo, al Norte de la Ex-Hacienda de Guadalupe, se observa un desnivel provocado por erosión del cauce del río, lo que podría clasificarse como Terraza T1-A. Sus coordenadas son N: 24° 54' 10 y W: 99° 27' 86

2.4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

2.4.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ROCAS

Las deformaciones de la corteza terrestre pueden ser creadas mediante fuerzas externas o internas, relacionadas con los fenómenos globales de la tectónica de placas. El estudio de deformación de las rocas necesita del conocimiento de las propiedades físicas de las rocas, las cuales se relacionan con las deformaciones elásticas y plásticas, o bien con la ruptura.

El módulo o deformación elástica se define como aquella que desaparece cuando la carga que se ha ejercido sobre la roca también desaparece, entonces el cuerpo toma su forma original. Una deformación puramente elástica es aquella donde el alargamiento es una función lineal de la fuerza (STRAHLER, 1981; Fig. 19a).

La plasticidad de las rocas se puede definir como una deformación irreversible de un cuerpo, aún cuando la fuerza de deformación ejercida desaparece (Fig. 19b). Básicamente, cuando una roca es sometida a un esfuerzo, primero presenta un comportamiento elástico, después llega a un punto de “flexión” para ser sometido a un comportamiento plástico, si la roca se sigue sometiendo a más presión, llega a un punto de ruptura (Fig. 19c).

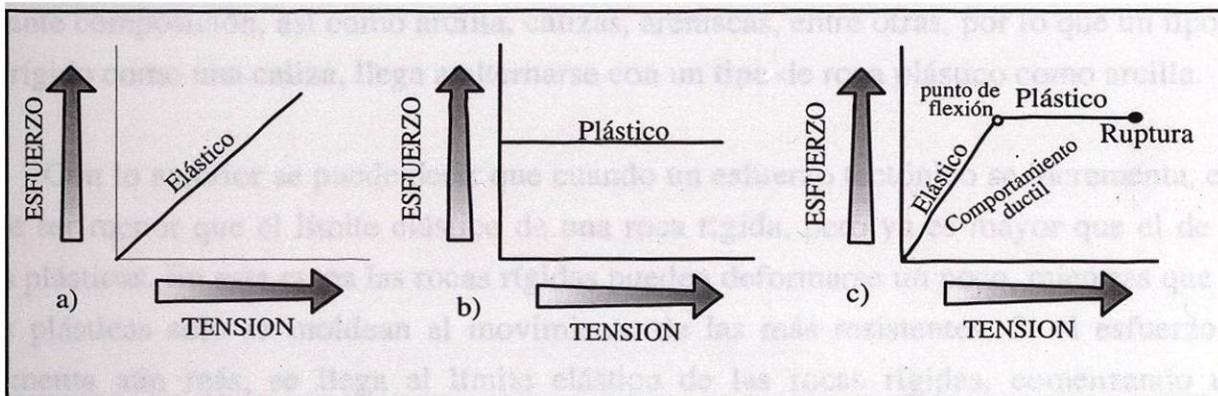


Fig. 19 Propiedades físicas de las rocas cuando son sometidas a un esfuerzo: a) módulo de elasticidad, b) interpretación gráfica de la plasticidad de una roca, c) ductibilidad y punto de ruptura de una roca (SPENCER, 1983)

El alargamiento elástico de una roca es limitado y varía de acuerdo a la composición de la roca. Cuando existe el aumento de la fuerza deformadora y se sobrepasa el límite de

elasticidad de la roca, esta llega a un punto de ruptura, fracturándose a lo largo de ciertos planos de cizallamiento (DE SITTER, 1976).

2.4.2.2 COMPORTAMIENTO DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS BAJO ESFUERZOS TECTÓNICOS

La deformación de una roca sedimentaria se ve afectada principalmente por dos factores: heterogeneidad y su estado elástico o plástico.

Al sufrir un esfuerzo, las rocas pueden comprimirse en una dirección y dilatarse o expandirse en una o dos direcciones opuestas a la primera. También puede pasar lo contrario, comprimirse en una o dos direcciones y dilatarse solo en una. Ésta distorsión ejercida, da lugar a la formación de pliegues (micropliegues, anticlinales y sinclinales), planos de foliación, cruceros y otras estructuras geológicas. La característica más común de estos esfuerzos es el alargamiento vertical y el acortamiento horizontal que producen sobre la morfología del terreno (DE SITTER, 1976).

La dirección de los planos de cizalla producidos por la deformación va a estar definida principalmente por la orientación del campo de esfuerzos que propiciaron la deformación (DE SITTER, 1976).

Los paquetes de rocas sedimentarias pueden llegar a ser constituidas por estratos de diferente composición, así como arcilla, calizas, areniscas, entre otras, por lo que un tipo de roca rígido como una caliza, llega a alternarse con un tipo de roca plástico como arcilla.

Con lo anterior se puede decir que cuando un esfuerzo tectónico se incrementa, este puede ser menor que el límite elástico de una roca rígida, pero ya es mayor que el de las rocas plásticas. En esta etapa las rocas rígidas pueden deformarse un poco, mientras que las rocas plásticas solo se moldean al movimiento de las más resistentes. Si el esfuerzo se incrementa aún más, se llega al límite elástico de las rocas rígidas, comenzando una deformación mayor (DE SITTER, 1976).

Si las rocas rígidas tienen un bajo índice de elasticidad y plasticidad, estas pueden ser fracturadas fácilmente en los puntos de mayor esfuerzo del pliegue, permitiendo algunas veces la recristalización de minerales disueltos en fluídos que atraviesan estos planos estructurales.

2.4.2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

La geología estructural del área de estudio, queda comprendida dentro del marco tectónico regional que pertenece a la Llanura Costera del Golfo, el cual se ve afectado por el frente tectónico de las rocas sedimentarias de la Sierra Madre Oriental (PADILLA y SANCHEZ, 1982).

La tectónica de la Llanura Costera del Golfo es relativamente suave, en contraste con las grandes estructuras de la Sierra Madre Oriental. Se caracteriza por presentar un relieve suave, con algunos lomeríos (principalmente producidos por la erosión fluvial) y una extensa planicie donde son depositados las grandes cantidades de sedimento producto de la denudación de la SMO. Existen pliegues abiertos que se hacen más abruptos conforme la distancia del frente de la sierra es menor, esto se debe al gran esfuerzo de deformación de la Orogenia Laramídica.

Debido a la presión ejercida por los desplazamientos de las Formaciones rocosas que emergieron a la superficie y formaron la Sierra Madre Oriental, las unidades litológicas superficiales fueron deformadas y fracturadas, por lo que en la planicie se presentan pliegues cuyo eje se encuentra orientado con un rumbo general NW-SE, similar a las estructuras de la sierra y perpendiculares a la dirección del esfuerzo principal; existiendo un fracturamiento distensivo con una orientación perpendicular a la estructura de la Sierra Madre Oriental y fallamiento inverso o compresivo, con un buzamiento general hacia el SW.

Las marcadas diferencias de la tectónica en la planicie, se debe principalmente a la presencia de elementos paleogeográficos que actualmente subyacen a la región, las cuales son: la Isla de Coahuila, Península Burro-Peyotes y Archipiélago de Tamaulipas (Ver fig. 5). Estas estructuras, pudieron actuar como barreras para detener o desviar a los esfuerzos de la Orogenia Laramídica, en el período Cretácico Superior.

En la planicie, también existió actividad ígnea, que se presenta en forma de cuerpos plutónicos aislados provocando deformaciones locales, marcando un cambio en el relieve del terreno, a veces de gran magnitud, tal es el caso de la Sierra de San Carlos, hacia la parte Sur del área de estudio.

2.4.2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

Se realizó un análisis estructural de toda el área de estudio, efectuando mediciones principalmente sobre la Formación Méndez, tratando de hacer una distribución uniforme de los afloramientos analizados; también se tomaron mediciones sobre la Formación San Felipe, siendo las únicas unidades litológicas consolidadas sedimentarias de origen marino que afloran dentro del área.

En general, las estructuras que forman los pliegues del área de estudio, son suaves hacia la zona Noreste, entre más cerca se encuentran del frente de la sierra, se hacen pliegues más cerrados con una vergencia hacia el Noreste (Anexo 2).

En la mayor parte de la zona en que afloran las rocas precuaternarias, predomina un fracturamiento con un rumbo general SW-NE, casi perpendicular a la estructura principal de la Sierra Madre Oriental, formando un sistema de diaclazamiento de tipo "ac" (Fig. 20, Anexo 3), de las cuales se puede deducir que se deben a una distensión de la estructura en dirección paralela al eje del pliegue (Flick & Quade, 1981). También existe un sistema de fracturamiento de tipo "bc" (Fig. 20, Anexo 3), aunque en menor densidad, y se puede deducir que se debe a la fuerza de compresión ejercida durante la Orogenia Laramídica y que formó las estructuras plegadas.

El sistema de fracturas de tipo "ac" en el área, se caracteriza por ser el más abundante, la apertura entre ellas es muy pequeña, varía de < 1 mm hasta 100 mm en pocas ocasiones, por lo general las fracturas mayores a 5 mm se encuentran rellenas de calcita. El sistema de fracturas de tipo "bc" se encuentra con menos frecuencia en la planicie, siendo relativamente más abundantes cerca del frente de la Sierra Madre Oriental (entre Linares y Las Crucitas) y siempre se presentan rellenas de calcita; en la planicie, la apertura de estas diaclasas es muy poca, se encuentran desde aproximadamente 3 mm de separación, pero el espesor se incrementa gradualmente en cuanto las fracturas se encuentran más cerca al frente de la sierra, cerca de esta zona las fracturas llegan a tener aperturas de hasta 1 m de espesor (Fig. 21).

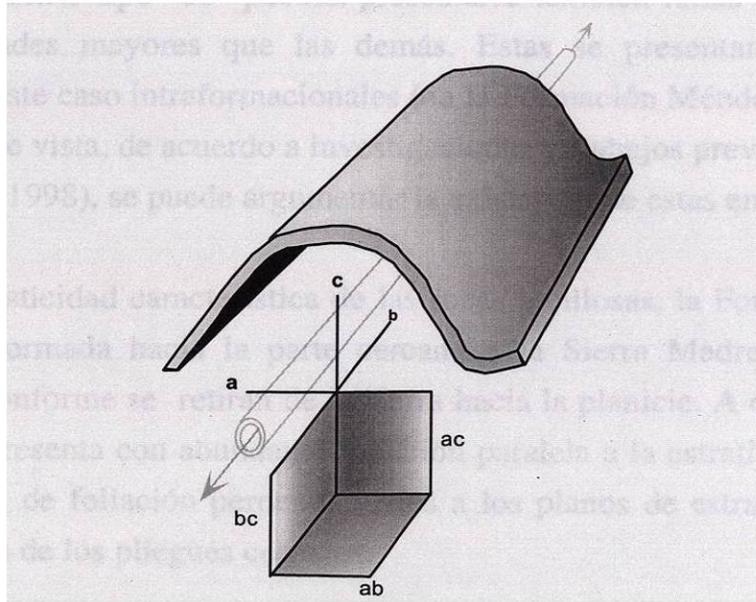


Fig. 20 Esquemización de un pliegue donde se muestra el eje del pliegue y los sistemas de diaclasas existentes en base a este

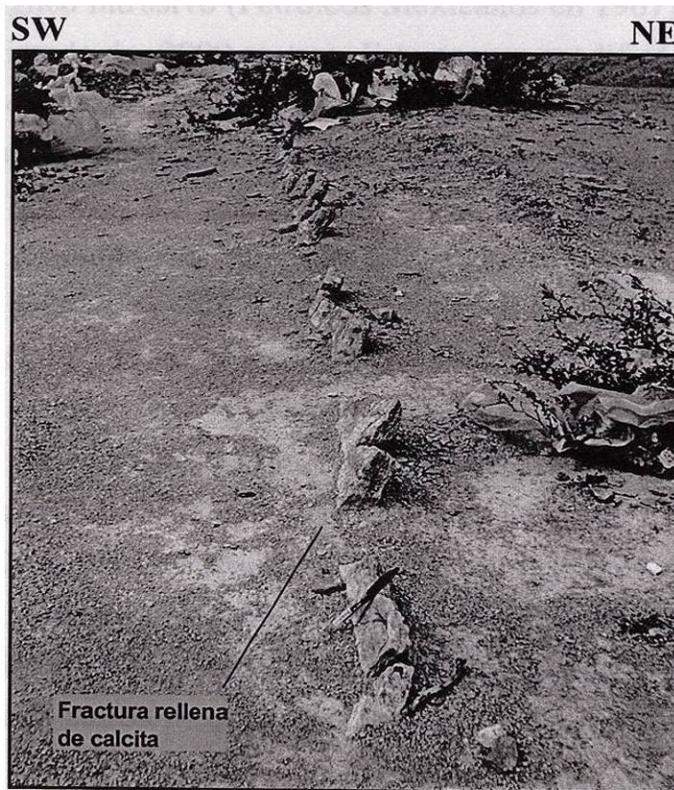


Fig. 21 Afloramiento de la Fm. Méndez en el cerro de La Tortuga, al Sur de Linares, se encuentran fracturas rellenas de calcita de espesor considerable, su rumbo (N-S) es paralelo al eje de la estructura sinclinal. Sus coordenadas son N: 24° 50' 88 y W: 99° 32' 09

En el fracturamiento tipo “bc” pueden presentarse también fallas de empuje (push fault), con profundidades mayores que las demás. Estas se presentan de manera de “cabalgamientos”, en este caso intraformacionales (en la Formación Méndez) por lo que no son detectables a simple vista, de acuerdo a investigaciones y trabajos previos realizados en la SMO (PETERSON, 1998), se puede argumentar la existencia de estas en el área.

Debido a la plasticidad característica de las rocas arcillosas, la Formación Méndez se encuentra muy deformada hacia la parte cercana a la Sierra Madre Oriental y sus pliegues se suavizan conforme se retiran de la sierra hacia la planicie. A causa de esto, en muchas ocasiones se presenta con abundante foliación paralela a la estratificación, aunque también existen planos de foliación perpendiculares a los planos de estratificación en las partes de mayor flexión de los pliegues cerrados.

En la parte Este del área de estudio, en los alrededores de la presa Cerro Prieto, se encuentra aflorando la Formación San Felipe en forma aislada (Anexo 1). Esto se debe a la influencia de un cuerpo ígneo intrusivo (Petróleos Mexicanos en 1967) el cual se encuentra a una profundidad aproximada de 2000 metros. Este cuerpo modificó la forma del terreno de una planicie de depositación a una zona de pequeñas lomas que en la actualidad, presentan hasta 40 metros de altura con respecto al nivel topográfico. Las lomas tienen una orientación preferencial NW-SE, son una serie de estructuras de anticlinales y sinclinales los que dan esta forma haciendo una marcada diferencia del terreno. En esta región el fracturamiento es más intenso predominando aún las diaclasas de tipo “ac” pero se incrementan las diaclasas de tipo “bc” (Anexo 3).

Además de estos sistemas de diaclasas se encuentran algunas fallas normales casi verticales con desplazamiento considerable (Fig. 22), revelando un relajamiento litológico ajeno al producto de la Orogenia Laramídica. Estas estructuras podrían ser un indicador de la existencia de un levantamiento topográfico debido a la intrusión del cuerpo ígneo; estas fallas no son visibles en la superficie, solo en los cortes litológicos (p. e. en la carretera) por lo que no se puede seguir un patron de estas estructuras.

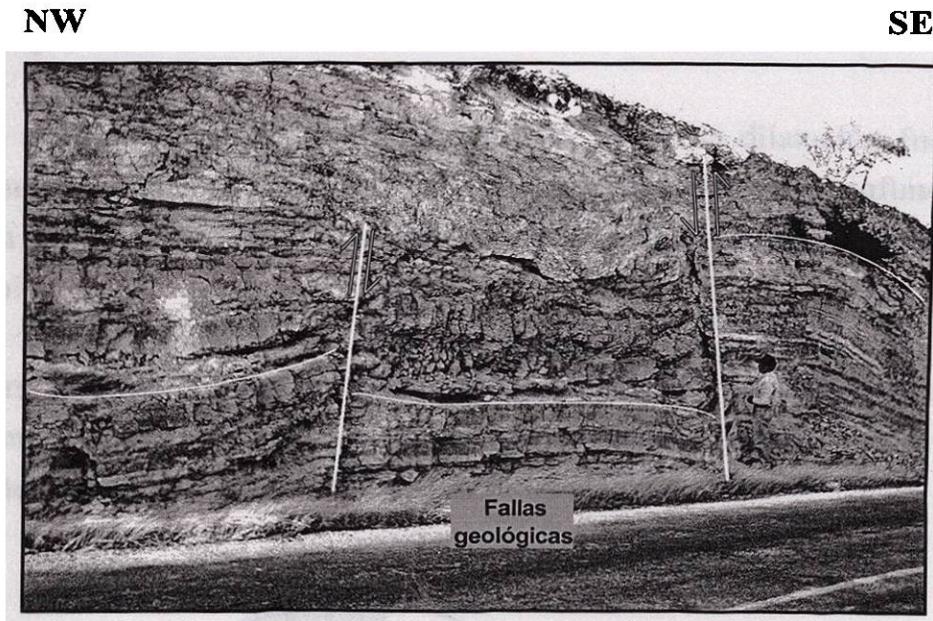


Fig. 22 Falla inversa (izq.) y normal (der.) con desplazamiento de aprox. 3.25 mts., encontradas en la Fm. San Felipe en un corte de carretera al Norte de la presa Cerro Prieto. Sus coordenadas son N: 24° 56' 48 y W: 99° 27' 56

2.4.2.5 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DEL ÁREA

A continuación se hace una descripción de la Fm. San Felipe y Fm. Méndez, en base a las características elásticas y plásticas que las conforman:

2.4.2.5.1 FORMACIÓN SAN FELIPE

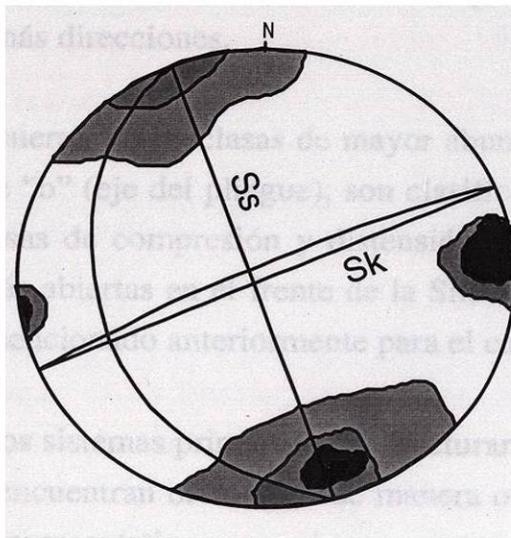
Esta unidad litológica se compone por una intercalación de estratos de diferente composición, donde predominan rocas rígidas o de baja elasticidad y plasticidad. Debido a esto, los esfuerzos de deformación de la Orogenia Laramídica, provocaron un alto grado de fracturamiento en la totalidad de esta unidad sedimentaria.

El plegamiento de la Fm. San Felipe, está representado por pliegues de rodilla, inclinados y pliegues abiertos, con una vergencia hacia el Noreste, reportados por DE LEÓN & SCHETELIG (1994). Muchas veces se presentan pliegues con una ruptura en su

punto máximo de distensión, lo que significa que su límite plástico fue superado, provocando pequeñas fallas distensivas.

Existe un fracturamiento de tipo distensivo, donde la dilatación fue en dirección contraria al rumbo los ejes de las estructuras (pliegues), los cuales se confunden en algunas ocasiones con un fracturamiento en dirección oblicua, que podría estar relacionado con planos de cizalla.

Por otra parte predomina un fracturamiento de tipo distensivo, donde la dilatación fue en la misma dirección del eje de las estructuras y perpendiculares a la dirección de los esfuerzos de deformación predominantes de la orogenia (Fig. 23).



Ss = 158°/36 SW
Sk = 63°/86 NW

Total de mediciones (Sk) = 400
% Grupo 1 = 38
% Grupo 2 = 33
% Grupo 3 = 17
% Grupo 4 = 12

Fig. 23 Estereograma de la Formación San Felipe, hacia el Norte de la Presa Cerro Prieto

2.4.2.5.2 FORMACIÓN MÉNDEZ

Esta unidad estratigráfica se caracteriza por ser un paquete de rocas muy plásticas, las cuales pudieron ser intensamente deformadas por los esfuerzos tectónicos y, comparadas con la Formación geológica subyacente, estas rocas presentan características estructurales totalmente diferentes.

La deformación de la Formación Méndez se encuentra representada por pliegues recumbentes en el frente de la SMO, pliegues inclinados y abiertos en las proximidades de la presa Cerro Prieto. Con esta tendencia de deformación, se deduce que los mayores

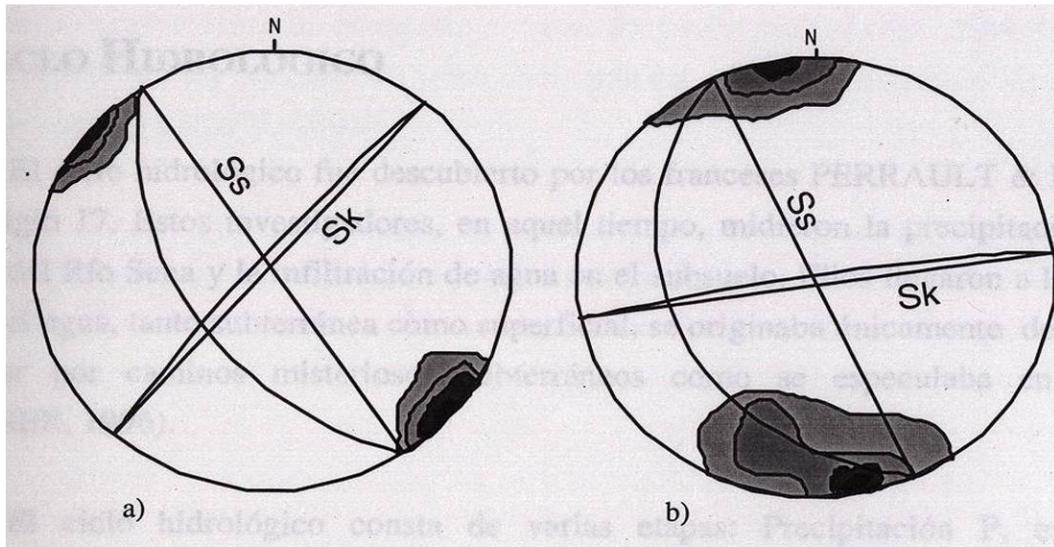
esfuerzos afectaron a todo el frente de la SMO, aunque existe una zona de deformación a menor grado retirándose hacia el Golfo de México.

Dentro de las estructuras principales del área, también se observa una deformación interna, donde existen pliegues hasta de 50 cm., esto se debe a la alta plasticidad de las rocas arcillosas.

Las características de fracturamiento de esta unidad litológica son muy variadas. Debido a las propiedades físicas de la Formación, es difícil predeterminar el comportamiento estructural de esta, ya que al ser tan "moldeable", el esfuerzo deformante puede comprimir a estas rocas en diferentes áreas al mismo tiempo y expandirlas o dilatarlas en dos o más puntos de la estructura, provocando la desviación del esfuerzo principal en dos o más direcciones.

En forma general, las diaclasas de mayor abundancia son producidas por dilatación en dirección del eje "b" (eje del pliegue), son clasificadas de tipo "ac" (Fig. 24). También se presentan diaclasas de compresión y distensión de tipo "bc", las cuales tienen mayor intensidad y son más abiertas en el frente de la SMO, debido a una mayor presión en esta zona (como se ha mencionado anteriormente para el caso de los pliegues recumbentes).

Además de estos dos sistemas principales de fracturamiento, se presentan planos de cizalla en toda el área, se encuentran orientados de manera oblicua a los ejes de pliegues, aunque no llegan a ser representativos en ninguna zona en particular, ya que no forman concentraciones y son muy escasas.



Ss = 144°/65 SW
Sk = 38°/85 NW

Total de mediciones (Sk) = 400
% Grupo 1 = 68
% Grupo 2 = 16
% Grupo 3 = 9
% Grupo 4 = 7

Ss = 150°/33 SW
Sk = 77°/87 NW

Total de mediciones (Sk) = 350
% Grupo 1 = 44
% Grupo 2 = 31
% Grupo 3 = 14
% Grupo 4 = 11

Fig. 24 Estereogramas de la Formación Méndez, se muestra el sistema preferencial de fracturamiento que corresponde a diaclasas de tipo “ac”. a) Localizada en los alrededores del ejido Loma Alta, b) Localizada en los alrededores del rancho El Sotolar

3 HIDROGEOLOGÍA**3.1 CICLO HIDROLÓGICO**

El ciclo hidrológico fue descubierto por los franceses PERRAULT & MARIOTTE en el siglo 17. Estos investigadores, en aquel tiempo, midieron la precipitación anual, el caudal del Río Sena y la infiltración de agua en el subsuelo. Ellos llegaron a la conclusión de que el agua, tanto subterránea como superficial, se originaba únicamente de lluvias y no del mar por caminos misteriosos subterráneos como se especulaba en esa época (WERNER, 1996).

El ciclo hidrológico consta de varias etapas: Precipitación *P*, escurrimiento (superficial *R* y subterráneo *G*) evaporación *E* y transpiración *T* (WERNER, 1996).

El agua que cae en la superficie terrestre por precipitación fluvial, comienza a fluir por gravedad hacia las partes más bajas del terreno. Aquí el escurrimiento se separa en: superficial, cuando escurre a través de ríos o arroyos, y subterráneo, cuando el agua se infiltra por medio de poros o grietas existentes en el suelo. Esta se incorpora al agua del subsuelo, hasta saturar a los acuíferos existentes, que posteriormente salen a la superficie, formando manantiales.

Cuando el agua precipita o se encuentra escurriendo se da lugar a la evaporación, la cual está dada en función del clima de una región. La temperatura no solo provoca la evaporación del agua superficial, sino que también influye en la evaporación del agua en plantas y animales. Esto se conoce como transpiración. Al conjunto de evaporación y transpiración, que se da lugar en una cierta región, se conoce con el nombre de evapotranspiración *ET* (WERNER, 1996).

La evapotranspiración se limita a las condiciones climatológicas, ambientales y edafológicas de un lugar, ya que se puede especular una gran diferencia de evaporación en un desierto, un bosque y una tundra.

3.1.1 ALMACENAMIENTO DE AGUA EN LA HIDRÓSFERA

Los lugares donde se encuentra el agua, transcurriendo el ciclo hidrológico, pueden ser considerados como almacenes, independientemente de los períodos de almacenamiento tan diferentes (WERNER, 1996).

En nuestro planeta, el agua es almacenada en diferentes áreas con diferentes concentraciones, dependiendo de las características de la estructura o cuerpo almacenador. Numerables científicos han tratado de cuantificar los volúmenes de agua almacenados (Tabla 4), y otros como LVOVITCH & NACE tratan de obtener el tiempo de residencia (Tabla 5).

| Volúmen de agua almacenada (Km³) | |
|--|---------------|
| Globo, Hidrósfera | |
| - total | 1,404,000,000 |
| - agua dulce | 40,000,000 |
| Océanos (agua salada) | 1,340,000,000 |
| Glaciares, nieve perenne | 24,000,000 |
| Aguas subterráneas (acuíferos, 0 - 5,000m de profundidad) | |
| - total | 60,000,000 |
| - agua dulce | 16,000,000 |
| Aguas superficiales de los continentes | |
| - lagos | 176,400 |
| - cauce de los ríos | 2,120 |
| Humedad del suelo | 16,500 |
| Atmósfera | 3,000 |
| Biósfera | 1,120 |

Tabla 4 Almacenes en el ciclo hidrológico (según CASTANY, 1982. Modificado en WERNER, 1996).

| | Área (Km ² . 10 ³) | Volúmen (Km ³ . 10 ³) | Altura equivalente (m) | % del agua total | Tiempo de residencia medio |
|---|--|---|---------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Océanos | 362,000 | 1,350,000 | 2,700 | 97.6 | 3,000 años |
| <i>Tierras emergidas:</i> | | | | | |
| Ríos (vol. Instantáneo) | ----- | 1.7 | 0.003 | 0.0001 | 15 - 20 días |
| Lagos de agua dulce | 825 | 125 | 0.25 | 0.009 | 10 años |
| Lagos de agua salada | 700 | 105 | 0.20 | 0.008 | 150 años |
| Humedad del suelo en la zona no saturada | 131,000 | 150 | 0.30 | 0.01 | semanas a años |
| Casquete de hielo y Glaciares | 17,000 | 26,000 | 50 | 1.9 | miles de años |
| Agua subterránea | 131,000 | 7,000 | 14 | 0.5 | decenas a miles de años |
| - total en las tierras emergidas | 148,000 | 33,900 | 65 | 2.4 | ----- |
| Atmósfera | 510,000 | 13 | 0.025 | 0.001 | 8 - 10 días |
| Total | 510,000 | 1,384,000 | 2,750 | 100 | ----- |

Tabla 5 Distribución del agua en la hidrósfera. El valor de estos datos son solo aproximaciones (LVOVITCH, 1967 & NACE, 1969 en CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

3.1.2 INFILTRACIÓN EN LOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS

Los sistemas hidrogeológicos son elementos que forman parte del ciclo hidrológico, donde se ve involucrado: zona de recarga (precipitación e infiltración), acuíferos y zona de descarga.

En cualquier sistema hidrogeológico la cantidad de agua infiltrada sufre pérdidas por evaporación, solamente una parte del agua que precipita alcanza a alimentar el flujo del agua subterránea que sale en la zona de descarga, a esta infiltración se le conoce como infiltración efectiva IE (WERNER, 1996).

Para el aprovechamiento preciso de un acuífero, es necesario reconocer la recarga de los sistemas de flujo del agua subterránea. Es preciso llevar a cabo un balance hidrológico del área para conocer la infiltración efectiva; no solo la precipitación es un factor importante para la recarga de un sistema hidrogeológico, sino también los ríos y arroyos juegan un papel muy importante en el intercambio de agua del acuífero. Sabiendo reconocer y estudiando a detalle estos dos factores, se puede establecer el límite de explotación de agua para un acuífero.

WERNER (1996) argumenta que uno de los métodos más utilizados para calcular la infiltración efectiva, se basa en datos climatológicos empleando la ecuación del balance de agua :

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de Almacenamiento}$$

$$P - (\text{ETR} + R + G) = \Delta S$$

Donde: P = precipitación (mm/unidad de tiempo).

ETR = evapotranspiración real (mm/unidad de tiempo).

R = escurrimiento superficial (l/s, m³/s).

G = escurrimiento subterráneo (l/s, m³/s).

ΔS = capacidad de almacenamiento total (sin dim.).

Sin embargo, dice que la IE, no solo depende del clima, sino también de la velocidad de infiltración; si existe una rápida infiltración, la evaporación, evapotranspiración y escurrimientos superficiales serán menores.

CUSTODIO & LLAMAS (1996) determinan que existen dos grupos de factores que afectan a la infiltración:

- a) Factores que definen las características del terreno o medio permeable.
- b) Factores que definen las características del fluido que se infiltra.

3.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO O MEDIO PERMEABLE

Según CUSTODIO & LLAMAS (1996), estas características se pueden diferenciar en tres tipos:

a) Condiciones de superficie

- Dependiendo de los factores físicos que pueden afectar al terreno, así como compactación natural o debido a un constante pisoteo (en caso de ser transitado), el subsuelo es comprimido cerrando más sus poros, dificultando la infiltración del agua.
- Otra forma de compactación es el de una superficie “desnuda” que está en contacto directo con las gotas de lluvia, las cuales dividen y transportan las partículas más finas sellando los poros del suelo retardando la infiltración.
- Cuando el suelo se encuentra cubierto de vegetación, las plantas protegen la compactación del impacto por lluvia y con sus raíces abren grietas en el suelo permitiendo una mejor infiltración. Si el área es una zona de cultivo, la rápida infiltración depende mucho del tipo de cosecha que se ha sembrado.
- Otro factor muy importante es la topografía del terreno, ya que si la pendiente es abrupta, el agua va a fluír con mayor rapidéz, impidiendo (en ocasiones) una infiltración total.
- Dada las características de las ciudades (construcciones, carreteras y banquetas), la capacidad de infiltración en estas áreas es casi nula.
- Cuando un terreno se encuentra casi descubierto de suelo, es decir se encuentra un afloramiento, la clase, orientación y tamaño de fracturas existentes serán los más importantes factores para la infiltración del agua.

b) Características del terreno

- Un factor muy importante es la textura del terreno, donde el suelo es producto del desgaste de la roca que se encuentra en los alrededores y tendrá sus características granulométricas; siendo el caso de una Formación geológica arcillosa, el suelo arcilloso actuará como una capa sello para la infiltración, o bien este rellena los poros de otro material con textura más gruesa.

- La estructura del terreno también es importante ya que si se presentan poros de gran tamaño (como en el caso de material de un río o material de pendiente) la velocidad y capacidad de infiltración va a ser mayor.
- Un suelo puede estar formado por horizontes de distinto material o granulometría, lo que afectaría la velocidad de infiltración en caso de tener un horizonte semipermeable entre dos horizontes con mayor permeabilidad.
- El calor específico del terreno es otro factor que influye directamente en la viscosidad del líquido que se infiltra en él, con lo que se puede retardar un poco la velocidad de infiltración.

c) Condiciones ambientales

- Un papel importante lo desempeña la humedad inicial del suelo; por ejemplo cuando existe un clima árido y el suelo se encuentra demasiado seco, al presentarse una precipitación empieza a actuar la aeración que junto con la gravedad propiciarán una mayor velocidad de infiltración. Pero cuando el suelo se comienza a saturar, el material arcilloso y limoso (en caso de que exista) se expande cerrando las grietas y poros que pueden existir.
- Por lo contrario en un clima frío, cuando existe congelamiento del agua en el suelo, se puede considerar como una capa impermeable. De cualquier modo el agua de lluvia puede ser lo suficientemente cálida para derretir parcialmente esta capa de hielo y permitir la infiltración.
- El agua que llega al nivel freático es el total del agua infiltrada menos el agua retenida por el suelo.
- Cuando el suelo está lo suficientemente húmedo y alcanza su grado de saturación al comenzar la recarga, la infiltración se verá limitada.

3.1.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL FLUÍDO QUE SE INFILTRA

- Un factor importante para la infiltración de un fluido es la turbidez con la que se encuentra este, ya que los materiales finos en suspensión llegan a penetrar en los poros de la roca o sedimento obstruyendo el paso del agua (CAMPOS, 1987).
- Algunas veces el contenido y saturación de sales permiten la formación de flóculos con los coloides del suelo, por lo tanto el líquido pierde velocidad y capacidad de infiltración (CAMPOS, 1987).
- De acuerdo a la viscosidad del agua debido a la temperatura del suelo, se han obtenido menores velocidades de infiltración en invierno que en verano (CAMPOS, 1987).

3.1.2.3 VOLÚMEN DE AGUA INFILTRADA

Para hacer una estimación aproximada en una cuenca de grandes dimensiones, sobre cual debe ser la explotación de los recursos del agua subterránea, se tiene que tomar un valor global del volumen de agua infiltrado durante un largo período de tiempo, obteniendo el valor medio de las precipitaciones de todo el año. Se debe hacer una estimación de los excedentes de las precipitaciones, evapotranspiración y capacidad de retención del suelo. Para calcular los excedentes que fluyen sobre la superficie, se puede efectuar un aforo en todas las corrientes pertenecientes a la cuenca, así restando el flujo superficial al total de excedentes de precipitación, se obtendrá el volumen de infiltración. El resultado será una estimación aproximada ya que parte del flujo subterráneo se une al flujo superficial a través de manantiales, además una porción queda retenida en el suelo; a fin de cuentas el volumen total obtenido es el que interesa para estimar la recarga de agua en los acuíferos (BIRKLE, TORRES & GONZÁLEZ, 1998).

CUSTODIO & LLAMAS (1996), indican que existen otros métodos para realizar los balances hidrológicos de una cuenca. Uno que solo se basa en la medición de las variaciones del nivel freático del agua en un acuífero obteniendo el volumen infiltrado, siempre y cuando se conozca el volumen extraído mediante aprovechamientos hidráulicos. Otro método es la determinación de concentraciones de cloruros en el agua subterránea, comparándolas con la de lluvias en la zona de recarga.

También existen fórmulas empíricas utilizadas sobre todo para cuencas en regiones semiáridas:

$$I = \alpha (P - P_o)$$

Donde:

I = infiltración (mm/unidad de tiempo).

α = coeficiente adimensional característico de la cuenca.

P = precipitación sobre la cuenca (mm/unidad de tiempo).

P_o = valor característico de la cuenca (mm/unidad de tiempo).

3.1.3 ACUÍFEROS

La infiltración efectiva alimenta las corrientes subterráneas dentro de una cuenca hidrogeológica. Existen algunas diferencias entre estructuras geológicas para ceder el flujo del agua, en base a esto se pueden definir de la siguiente manera:

Acuífero: WERNER (1996), define un acuífero como el medio rocoso en que se mueve el agua subterránea, cuyas funciones son: almacenar y conducir el agua subterránea, además de ser un medio de intercambio geoquímico. CUSTODIO & LLAMAS (1996), definen un acuífero como todo estrato o Formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para satisfacer sus necesidades.

Acuícludo: se caracteriza por almacenar el agua, pero no la puede transmitir, encerrándola en sus poros, tal es el caso de las arcillas algunas calizas y la piedra pómez. Esto hace que el tipo de estructuras no sean económicamente explotables para la extracción de agua (ANGUITA & MORENO, 1993).

Acuitardo: son aquellas rocas porosas parcialmente cementadas, retardando el flujo del agua a través de ella, tal es el caso de areniscas parcialmente cementadas con arcillas o carbonato de calcio (ANGUITA & MORENO, 1993).

Acuífugo: con este nombre se denomina a todas las Formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, tal sería el caso de un macizo granítico sin alteración, o un cuerpo metamórfico sin erosión y fracturamiento (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

3.1.3.1 CONCEPTOS HIDRODINÁMICOS DE LOS ACUÍFEROS

ANGUITA & MORENO (1993) explican que un acuífero es cualquier medio rocoso por donde fluye o puede fluir el agua subterránea y, según la topografía y la geología de una zona determinada, este puede ser: confinado, libre o colgado.

acuífero confinado: es aquel que en su parte superior presenta una capa sello y el agua fluye bajo ciertas condiciones de presión. La capa sello de este tipo de acuíferos, puede ser cualquier unidad litológica con muy baja permeabilidad, en la mayoría de los casos se trata de arcillas (Fig. 25a).

acuífero libre: es aquel en donde el agua puede fluir libremente, sin estar sometida a alta presión por una capa confinante, aunque esta se encuentre presente (Fig. 25b).

acuífero colgado: Estos tipos de acuífero se encuentran totalmente desconectados de los acuíferos y las corrientes subterráneas regionales, se pueden encontrar en las partes altas de una sierra cuando las condiciones litológicas y estructurales lo permiten (Fig. 25c).

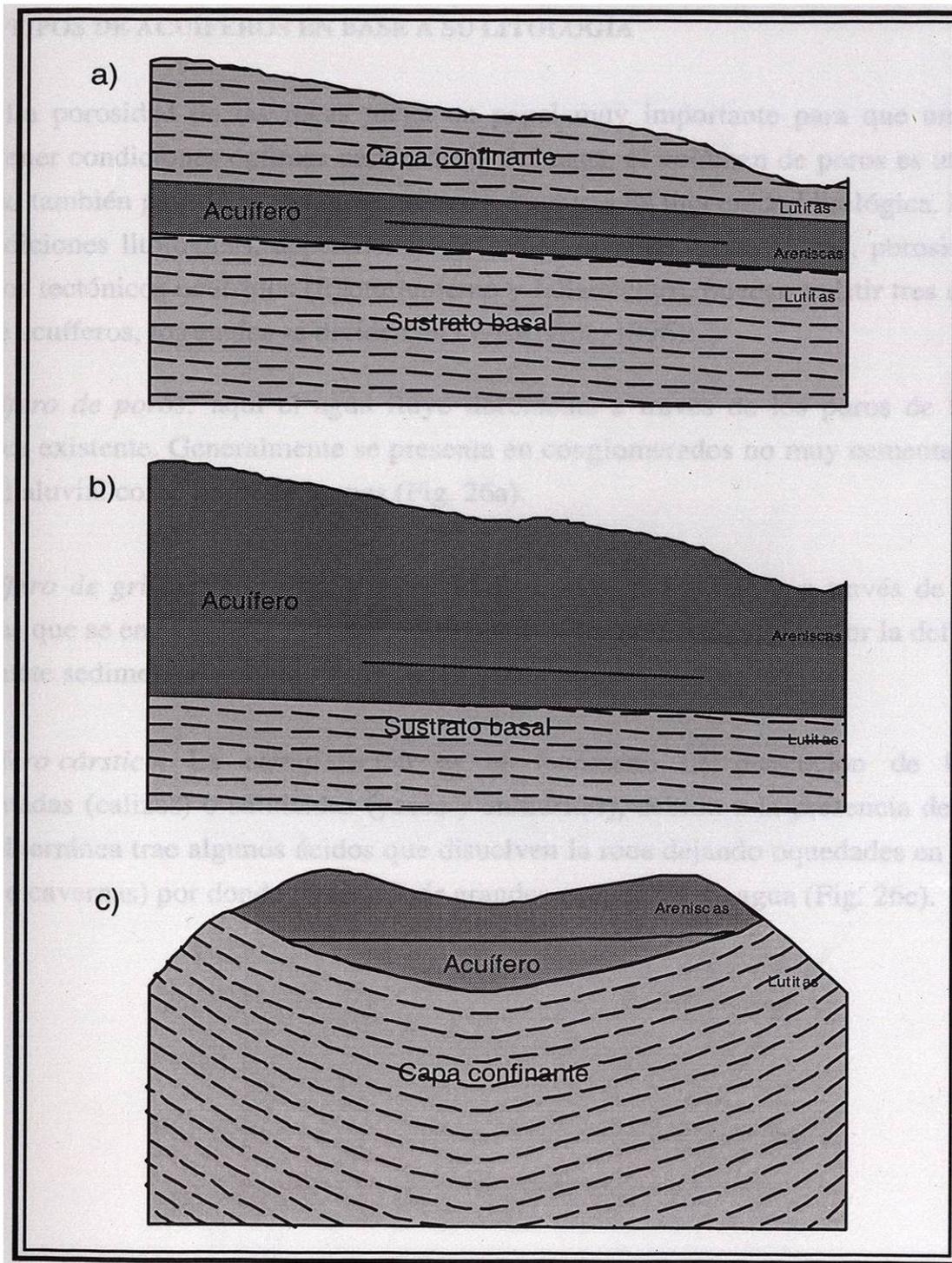


Fig. 25 Tipos de acuíferos en base al medio que los rodea: a) acuífero confinado, b) Acuífero libre, c) Acuífero colgado (WERNER, 1996)

3.1.3.2 TIPOS DE ACUÍFEROS EN BASE A SU LITOLOGÍA

La porosidad de las rocas juega un papel muy importante para que un acuífero pueda tener condiciones óptimas para el flujo del agua, el volúmen de poros es un término utilizado también para la cantidad de grietas o fracturas de una unidad litológica. En base a las condiciones litológicas, dependiendo de la composición de las rocas, porosidad y los esfuerzos tectónicos ocurridos (fracturamiento y fallamiento), pueden existir tres diferentes tipos de acuíferos, los cuales se dividen en (WERNER, 1996):

a) Acuífero de poros: aquí el agua fluye libremente a través de los poros de la unidad litológica existente. Generalmente se presenta en conglomerados no muy cementados, o en material aluvial como gravas y arenas (Fig. 26a).

b) Acuífero de grietas: como su nombre lo dice, el agua se mueve a través de grietas o diaclasas que se encuentran en rocas consolidadas (Fig. 26b), originadas por la deformación del paquete sedimentario debido a diferentes esfuerzos tectónicos.

c) Acuífero cárstico: La carstificación es el fenómeno de disolución de las rocas carbonatadas (calizas) o sulfatadas (yesos y anhidritas), debido a la presencia de agua. El agua subterránea trae algunos ácidos que disuelven la roca dejando oquedades en la misma (grutas o cavernas) por donde pueden fluir grandes cantidades de agua (Fig. 26c).

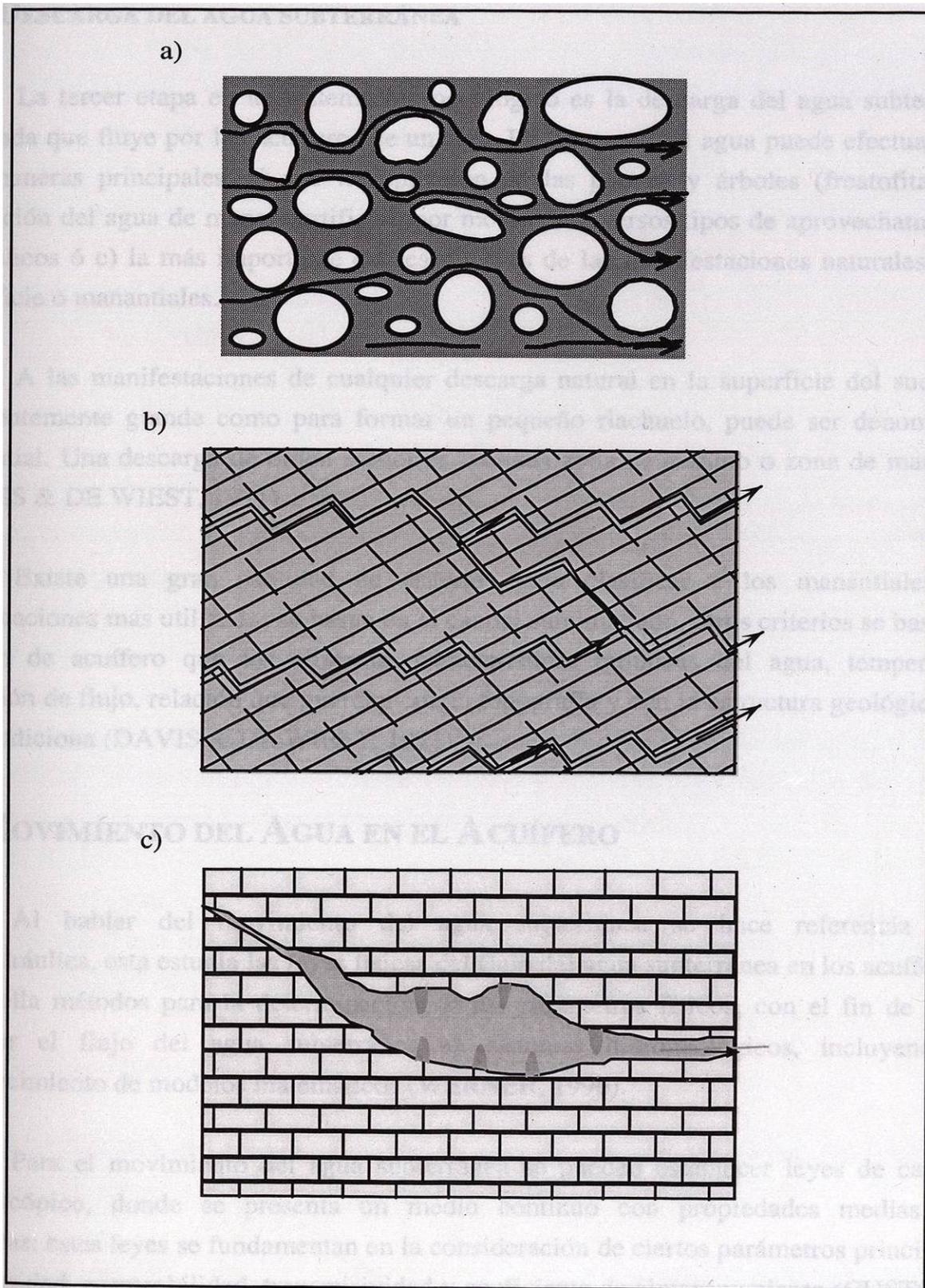


Fig. 26 Tipo de acuíferos en base a su litología. a) acuífero de poros, b) acuífero de grietas, c) acuífero cárstico (WERNER, 1996)

3.1.4 DESCARGA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La tercer etapa en un sistema hidrogeológico es la descarga del agua subterránea infiltrada que fluye por los acuíferos de un área. La descarga del agua puede efectuarse de tres maneras principales: a) por transpiración de las plantas y árboles (freatofitas), b) extracción del agua de manera artificial, por medio de diversos tipos de aprovechamientos hidráulicos ó c) la más importante que es a través de las manifestaciones naturales en la superficie o manantiales.

A las manifestaciones de cualquier descarga natural en la superficie del suelo, lo suficientemente grande como para formar un pequeño riachuelo, puede ser denominada manantial. Una descarga de orden menor es llamada zona de rezumo o zona de manantío (DAVIS & DE WIEST, 1971).

Existe una gran cantidad de criterios para clasificar a los manantiales, las clasificaciones más utilizadas se basan en el caudal suministrado, otros criterios se basan en el tipo de acuífero que los alimenta, características químicas del agua, temperatura, dirección de flujo, relación que guardan con la topografía y con la estructura geológica que los condiciona (DAVIS & DE WIEST, 1971).

3.2 MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL ACUÍFERO

Al hablar del movimiento del agua subterránea se hace referencia a la Geohidráulica, esta estudia las leyes físicas del flujo del agua subterránea en los acuíferos y desarrolla métodos para la determinación de los parámetros físicos, con el fin de poder calcular el flujo del agua subterránea en sistemas hidrogeológicos, incluyendo el establecimiento de modelos matemáticos (WERNER, 1996).

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: la porosidad, permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

3.2.1 POROSIDAD

La porosidad p está definida como el porcentaje del volúmen de poros rellenos de agua en un acuífero (WERNER, 1990), donde:

$$p = \frac{V_A}{V_R} \quad \begin{array}{l} \text{Sin} \\ \text{dimensiones} \end{array}$$

V_A = volúmen de agua (m^3)

V_R = volúmen total de roca (m^3)

y:

$$p = \frac{V_A \cdot 100}{V_R} \%$$

WERNER (1996) dice que para un acuífero de poros, con 1000 ml de arena saturada con agua 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, aquí $p = 1\%$.

En el subsuelo existen poros de distintas formas y características, puede existir una porosidad bien comunicada entre sí, 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.

Para el estudio del movimiento del agua en un medio poroso, solo se toman en cuenta los poros que se encuentran intercomunicados, a esta característica del sedimento se le llama Porosidad Efectiva (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

3.2.2 PERMEABILIDAD O CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

CUSTODIO & LLAMAS (1996) describen la permeabilidad (k) como un coeficiente de proporcionalidad definido por la siguiente ecuación:

$$v = k \cdot i = -k \cdot \frac{dh}{ds} \quad \text{Donde:} \quad \begin{array}{l} v = \text{velocidad de flujo (m/s)} \\ i = \text{gradiente hidráulico (sin dim.)} \\ k = \text{permeabilidad (sin dim.)} \end{array}$$

El valor de la permeabilidad siempre es constante para cada medio y para cada fluido bajo las mismas condiciones. Cuando k es relacionado con un medio poroso, se vuelve complicado, aunque existen diferentes fórmulas y métodos para calcularlo.

Un terreno muy poroso puede ser muy permeable, siempre y cuando los poros sean grandes y se encuentren bien intercomunicados, así como en los acuíferos de gravas. Si el terreno es muy poroso pero el tamaño de los poros es muy pequeño o se encuentran muy cerrados, este se torna a ser casi impermeable, como en el caso de sedimentos arcillosos.

En k también influyen las características del fluido, así como viscosidad, presión y temperatura. Se puede obtener un coeficiente que solo dependa de las condiciones del medio, a este se le llama coeficiente de permeabilidad K (DAVIS & DE WIEST, 1971).

Los métodos y fórmulas para calcular K son muy inexactos debido a la complejidad de los sedimentos en cuanto a su anisotropía y heterogeneidad, por lo que la determinación de este parámetro es más eficaz mediante métodos de campo (ensayos de bombeo), (WERNER, 1996).

Para los acuíferos de grietas y cársticos, la permeabilidad y el coeficiente de permeabilidad son modificados por la distancia y ancho de las grietas o cavidades cársticas abiertas que forman el acuífero. Por lo general la permeabilidad de los acuíferos cársticos es mayor que la de poros, mientras que la permeabilidad de los acuíferos de grietas es más pequeña que la de poros (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

Dependiendo de las características de la roca en un acuífero de grietas o cárstico, se tiene que diferenciar entre la permeabilidad de la matriz y la permeabilidad de las grietas o cavidades:

$$k_{\text{total de la roca}} = k_{\text{matríz}} + k_{\text{grietas}}$$

3.2.3 TRANSMISIVIDAD

Según Werner (1996), la transmisividad (T) es el caudal de agua viscosa dada, que pasa por la unidad de anchura del acuífero bajo un gradiente unitario; o sea es el producto de la conductividad hidráulica (coeficiente de permeabilidad) por el espesor del acuífero:

$$T = K \cdot H \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Donde:

$$T = \text{transmisividad (m}^2\text{/s)}$$

$$K = \text{coeficiente de permeabilidad (m/s)}$$

$$H = \text{altura o espesor del acuífero (m)}$$

La transmisividad también es determinada directamente mediante ensayos de bombeo. Cuando los valores de transmisividad T , gradiente piezométrico i y el ancho del flujo del agua subterránea B son conocidos, entonces se puede obtener directamente el caudal Q de flujo:

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

3.2.4 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

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

$$S = \frac{\text{Volúmen de agua (m}^3\text{)}}{\text{unidad de superficie (m}^2\text{)} \cdot \text{unidad de cambio de potencial (m)}}$$

Así un acuífero que posee una transmisividad y permeabilidad alta puede llegar a tener una capacidad de almacenamiento baja (tal es el caso de acuíferos confinados). Por el contrario un acuífero de baja permeabilidad puede tener una gran capacidad de almacenamiento (WERNER, 1996).

3.3 HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.3.1 METODOLOGÍA HIDROGEOLÓGICA

Para realizar un estudio hidrogeológico del área de interés, se siguió una metodología con el fin de obtener los mejores y más precisos resultados, a continuación se describe el desarrollo del trabajo para obtener la carta hidrogeológica y ensayos de bombeo del área de estudio:

- Recopilación de la mayor información posible de censo de pozos en algunos trabajos previos, incluyendo documentación de cartas elaboradas por estudios de la Facultad de Ciencias de la Tierra, ESESC, y la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL).
- Posterior a la obtención de datos, se documentó un plano base escala 1:50,000. En esta documentación se incluyeron todos los aprovechamientos hidráulicos (pozos, norias y papalotes) censados en el área, así como la ubicación geográfica de pruebas de aforo y de bombeo recopiladas.
- El área se cuadrículó cada 3 Km² para hacer una proporción de aprovechamientos. Se trató que dentro de cada cuadro quedaran 2 o 3 aprovechamientos, guardando una distancia prudente uno del otro y con los pozos de los cuadros vecinos. Por consecuencia muchos aprovechamientos recopilados de estudios anteriores quedaron eliminados, estos son representados solo por un pozo que se encuentre cercano.
- Se procedió a elaborar un plan de trabajo para analizar los aprovechamientos que se van a censar. Para cada aprovechamiento hidráulico se obtuvieron los siguientes datos:
 - ⇒ Fecha de registro.
 - ⇒ Tipo de aprovechamiento.
 - ⇒ Nombre del propietario.
 - ⇒ Predio, Municipio.
 - ⇒ Coordenadas geográficas.
 - ⇒ Piezometría: Nivel estático/Nivel dinámico.
 - ⇒ Altura (metros sobre el nivel del mar).
- El trabajo de campo se desarrolló en el período Enero-Diciembre de 1998. En total fueron recopilados 165 aprovechamientos, de los cuales solo fueron censados 121 debido a limitantes de campo así como: pozos sellados en algunas zonas, pozos secos, negligencia de los dueños del terreno, por causa de las condiciones geológicas y topográficas (estructuras o cuerpos geológicos con escasez de agua).

- Como el área es demasiado grande, los registros de pozos, norias y papalotes se hicieron por zonas tratando de seguir un orden de avance. El equipo utilizado fue una sonda marca Solinst de 50 metros de longitud, con graduación de 0.01 cm; un geoposecionador marca Magellan GPS Field proV y un altímetro digital marca Sokkia con precisión de +/- 1 cm. (Fig. 27).

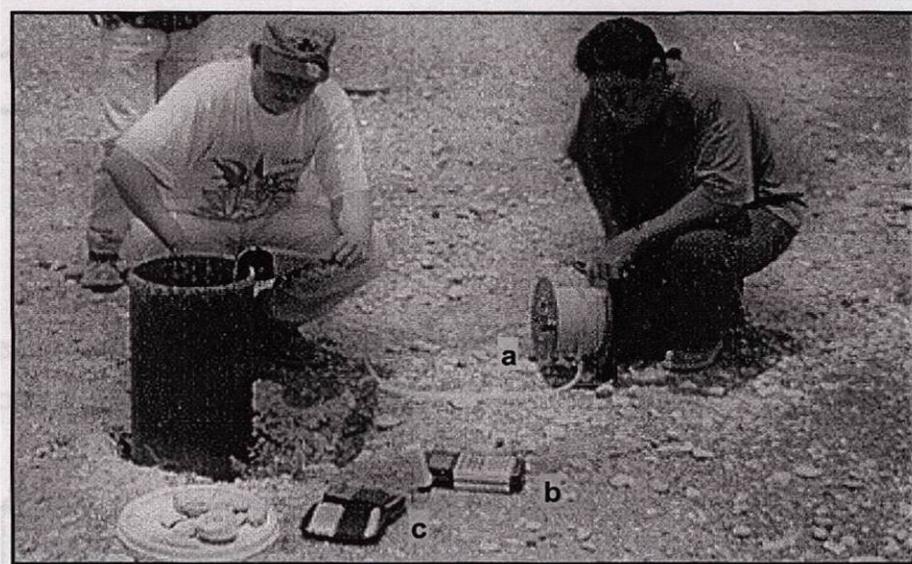


Fig. 27 Equipo utilizado en campo. a) sonda eléctrica, b) geoposecionador, c) altímetro digital

- Los aprovechamientos censados y los de prueba de aforo y de bombeo fueron ubicados directamente en la carta de documentación, se les asignó una nomenclatura que se explica a continuación.
- Por la diferencia de los períodos de censo de aprovechamientos hidráulicos, los pozos han sido agrupados, donde se les asignó una nomenclatura propia para cada grupo, la manera de interpretar la nomenclatura es la siguiente:



I - 5

donde: ● = Pozo (noria o papalote con su respectivo símbolo).

I = Número de grupo (en base de la fecha de censo).

5 = Número consecutivo de aprovechamiento.

- Algunos de los pozos donde se han efectuado pruebas de bombeo presentan una nomenclatura ya existente, a otros se les asignó en base al nombre del predio en que se realizaron, por ejemplo:



Ppx - 5

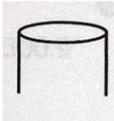
donde: ○ = Pozo.

P = Pozo.

px = Pretexto (el rancho donde se efectuaron las pruebas se llama El Pretexto).

5 = Número de pozo con prueba de bombeo.

- Los pozos recopilados con pruebas de aforo también tienen su propia simbología, con el fin de que no se confundan con los demás:



L

donde: **L** = clave del pozo.

Por causa de problemas técnicos con el programa de cómputo, los datos registrados en campo para cada aprovechamiento, se encuentra en un anexo anterior al de la carta, y no al lado de cada pozo.

- Posteriormente en la carta se plasmó la piezometría, conformando una **carta piezométrica** vaciando todos los datos obtenidos. En base a estos datos en el censo de aprovechamientos hidráulicos, se elaboró la piezometría en la carta de campo, la cual se editó acoplándola al plano base (Anexo 5).
- Con el contenido principal del censo de pozos (nivel estático/dinámico y altura del pozo) se obtuvo 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.

- Una vez que se cuenta con los datos piezométricos para cada aprovechamiento, estos se agregan en la carta de campo con el fin de establecer isolíneas del nivel del agua subterránea. Las isolíneas fueron elaboradas por medio de triángulos hidrológicos.
- El triángulo hidrológico es muy sencillo de explicar: se hace una triangulación entre tres pozos con diferente nivel piezométrico, se mide la diferencia de alturas y la distancia entre dos pozos y por regla de tres simple, se obtiene el valor de una isolínea sin decimales (p.e. 150, 155, etc.), así se obtienen todas las isolíneas deseadas existentes entre los dos pozos (Fig. 28).

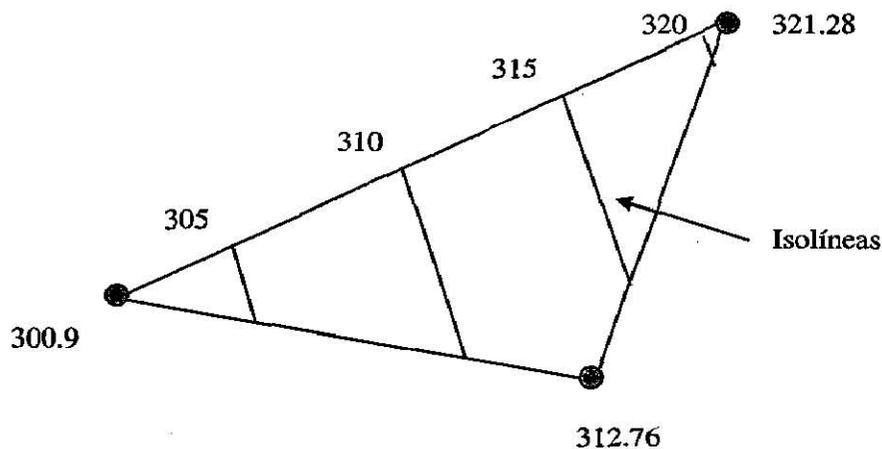


Fig. 28 Demostración gráfica de un triángulo hidrológico (la altura está dada en msnm).

- Cuando las isolíneas están terminadas, se trazan las líneas de flujo que siempre deben ser perpendiculares a las isolíneas e indican la dirección de flujo del agua subterránea.
- La carta piezométrica se editó sobre la carta base. Las isolíneas se encuentran a cada 5 m de desnivel.
- En la parte superior derecha de la carta piezométrica las líneas de flujo se encuentran intermitentes, indicando que aprovechamientos hidráulicos muy distantes han sido correlacionados entre sí, debido a la falta de información de aprovechamientos

hidráulicos en una zona del área donde las características piezométricas pueden ser similares a las que se infieren.

- Además de la carta piezométrica, se elaboró un **modelo tridimensional** esquemático de la piezometría del área, sin contar la documentación de pozos y rasgos del plano base (como pequeñas localidades y carreteras) con el fin eliminar ruido y que exista una mejor visualización.
- Por último se recopiló información de algunas pruebas de bombeo elaboradas por diferentes dependencias, algunas de estas pruebas se vieron afectadas por el bajo nivel piezométrico y se tuvieron que suspender debido al abatimiento del acuífero, ya que fueron realizadas en época de sequía.

3.3.2 PIEZOMETRÍA

La piezometría es la medición del nivel del agua subterránea o nivel freático, el cual depende de los factores roca-fluido que afectan el movimiento del agua a través del acuífero.

Con el paso del tiempo la recarga y descarga del agua subterránea varían constantemente provocando oscilaciones en el nivel piezométrico del agua. Estas oscilaciones se pueden distinguir por tres tipos (CUSTODIO & LLAMAS, 1996):

a) Oscilaciones rápidas

Su duración puede ser desde menos de un minuto hasta poco más de un día. Estas pueden ser periódicas como:

Oscilaciones debidas a cambios de presión atmosférica.

Oscilaciones debidas a cambios del nivel en las aguas superficiales.

Oscilaciones debidas a la evapotranspiración.

Las oscilaciones rápidas no periódicas son debidas a la recarga o descarga rápida del acuífero.

b) Oscilaciones de período largo

Estas suelen repetirse en períodos anuales o en varios años, tal es el caso de la temporada de lluvias y de sequía donde el nivel freático del acuífero se incrementa y disminuye.

c) Oscilaciones de período medio

El nivel freático puede ser explotado para uso agrícola, industrial o doméstico, lo que provoca un abatimiento del espejo del agua, el cual muchas veces debe tener un tiempo inactivo para su recuperación.

3.3.3 RESULTADOS Y DISCUSIONES DE LA PIEZOMETRÍA

En el área se localizaron dos tipos de acuíferos: acuífero de gravas y acuífero de grietas. Las características piezométricas obtenidas en el área se pueden describir de la siguiente manera (Fig. 29, Anexo 5):

De acuerdo a las dimensiones del área, se efectuó una piezometría regional con isolíneas a cada cinco metros; suficiente para observar el comportamiento general del área.

Es de primordial importancia conocer que el presente estudio fué elaborado en uno de los períodos de sequía más intensos de los registrados en los últimos 10 años. Por lo tanto, los niveles piezométricos se encuentran en su límite inferior. Esto se ve reflejado principalmente en la mayoría de las norias encontradas en el área, las cuales fueron excavadas a pocos metros de profundidad, donde el agua se ha ausentado por el momento, indicando la profundización del nivel piezométrico.

El movimiento del agua en el área se ve restringido a las principales direcciones de fracturamiento con relación al nivel del terreno. La topografía del área presenta un moderado descenso con dirección del Golfo de México, misma dirección del fracturamiento principal, aunque existen fracturas casi perpendiculares a éstas, por lo que la dirección de flujo es el resultado de la combinación de ambas direcciones de fracturamiento. El flujo predominante del agua es hacia el Noreste, aunque en algunas partes fluye hacia el Este.

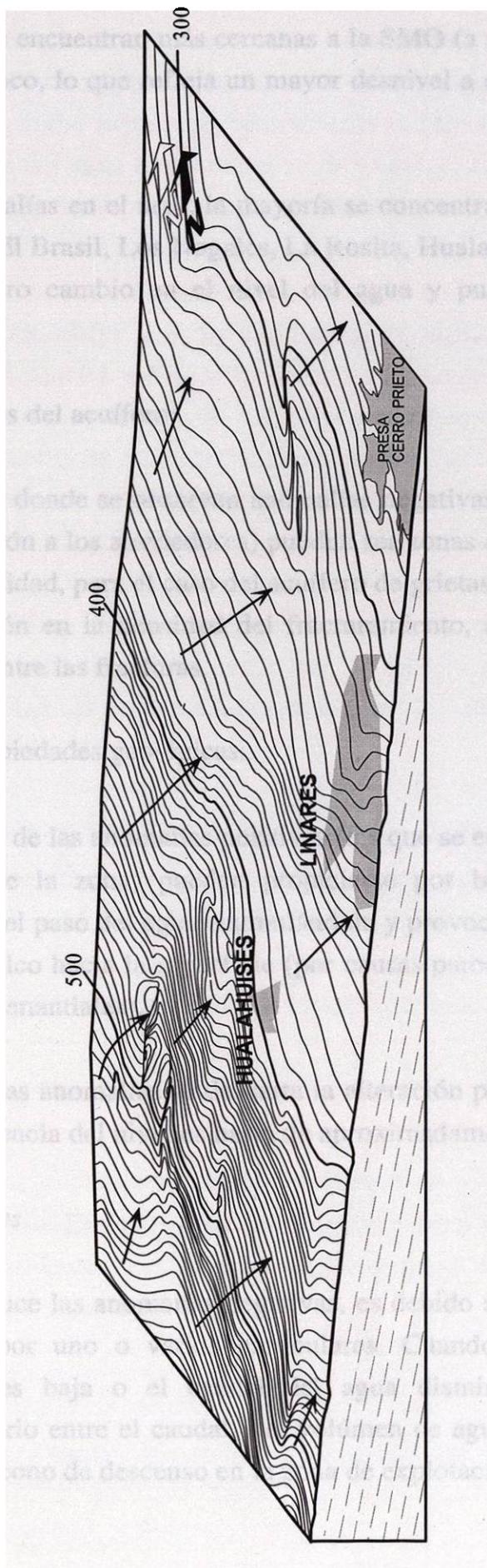


Fig. 29 Modelo tridimensional esquemático de los niveles piezométricos del área

Las isolíneas, que se encuentran más cercanas a la SMO (a partir de la zona central de la carta) se cierran un poco, lo que refleja un mayor desnivel a corta distancia del nivel freático.

Existen varias anomalías en el área, la mayoría se concentran en la parte Oeste en sitios como El Divisadero, El Brasil, Los Nogales, La Rosita, Hualahuises (Anexo 5). Estas anomalías indican un severo cambio en el nivel del agua y puede ser provocado por diferentes causas:

a) Consecuencias naturales

Debido a propiedades del acuífero:

- * Las partes donde se observan anomalías negativas (nivel freático bajo en comparación a los alrededores) pueden ser zonas de baja permeabilidad y transmisividad, para el caso del acuífero de grietas puede ser debido a una disminución en la densidad del fracturamiento, así como al espacio de apertura entre las fracturas.

Por causa de las propiedades geológicas:

- * En el caso de las anomalías positivas (las que se encuentran sobre el nivel freático de la zona) pueden propiciarse por barreras geológicas que dificultan el paso del agua acumulándola y provocando un incremento del nivel freático hacia la superficie (por causas parecidas al brote de ciertos tipos de manantiales).

Para las anomalías se descarta la alteración por plantas freatofitas ya que la diferencia del nivel es hasta de aproximadamente 35 m.

b) Consecuencias artificiales

- * Esto produce las anomalías negativas, es debido a la sobreexplotación del acuífero por uno o varios particulares. Cuando la permeabilidad del acuífero es baja o el caudal del agua disminuye, puede haber un desequilibrio entre el caudal y el volumen de agua extraído, entonces se forma un cono de descenso en la zona de explotación.

Un ejemplo de sobreexplotación del acuífero se ve en los alrededores de la cabecera municipal de Hualahuises donde se pueden observar este tipo de anomalías, como existen grandes extensiones de áreas de cultivo citrícola, la explotación del agua en esta zona es de grandes volúmenes y se manifiesta con la alteración de las isolíneas piezométricas.

En otros casos el caudal puede ser lo suficientemente potente para guardar un equilibrio con la extracción de agua, entonces el cono de descenso será mucho menor y el tiempo de recuperación será más rápido. Para determinar el caudal de un pozo o noria es necesario realizar pruebas de aforo al momento de terminar el pozo, o bien con pruebas de bombeo se determinan varias características del acuífero, como: Transmisividad, Coeficiente de almacenamiento y entre ellas, el caudal (Q).

En la parte Norte del área estudiada topográficamente se encuentra la meseta Mesa Alto del Ebano, estructura sobre la cual se encuentran * temporales de cultivo, debido a esto no existe gran cantidad de aprovechamientos por lo que las isolíneas fueron correlacionadas en grandes extensiones.

Aplicando el criterio de WERNER (1996), el fracturamiento presente en el área de estudio, que fué causado por alivio de presión y distensión, puede presentarse hasta un rango de 20 a 50 m de profundidad, delimitando la parte inferior del acuífero de grietas. Aunque no se descarta la existencia de fracturas o fallas de empuje con mayores dimensiones, que a su vez profundicen más el espesor del acuífero.

3.3.4 PRUEBAS DE AFORO y PRUEBAS DE BOMBEO

La extracción de agua mediante bombeos que se hace en un pozo es llamada prueba de aforo o ensayo de descenso. Estas pruebas son utilizadas para medir el caudal de flujo del agua en un aprovechamiento mediante su explotación a lo largo de un tiempo determinado (preferentemente durante 72 hrs.).

* Un temporal es una zona de cultivo donde el tipo de riego es por precipitación fluvial, por lo tanto la temporada de cosecha es en épocas de lluvia, de ahí su nombre.

Por otra parte, los ensayos de bombeo son aquellos donde se trata de estudiar las características detalladas de un acuífero, así como caudal (Q), transmisividad (T), coeficiente de permeabilidad (K) y coeficiente de almacenamiento (S). El caudal de flujo se puede obtener directamente mediante diferentes métodos (método de la escuadra), las otras características del acuífero son obtenidas mediante el desarrollo de ecuaciones y gráficas, por los métodos de Cooper y Jacobs ya que son los más utilizados. Para efectuar un ensayo de bombeo existe un pozo productor (como el aforo) y además existen pozos de observación en los alrededores.

Estos bombeos se realizan bajo un caudal constante durante ciertos intervalos de tiempo. Los bombeos a descenso constante y caudal variable son menos usuales ya que se tornan más complicados (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

Las pruebas de aforo normalmente se efectúan cuando un pozo ha sido terminado de construir, con esta prueba se pueden obtener los siguientes parámetros (CUSTODIO & LLAMAS, 1996):

- a) Caudal óptimo aconsejable para la explotación del pozo.
- b) Curva característica del pozo.
- c) Primer valor de eficiencia del pozo.
- d) Transmisividad del acuífero.
- e) Otros datos preliminares del acuífero como: barreras geológicas, drenaje diferido, semiconfinamiento, etc.
- f) Algunas veces se puede obtener el coeficiente de almacenamiento.

Con los ensayos de bombeo se puede efectuar un estudio más detallado del acuífero, se puede obtener:

- a) Caudal (Q).
- b) Transmisividad del acuífero (T).
- c) Coeficiente de almacenamiento (S).
- d) Características propias del acuífero como: semiconfinamiento, drenaje diferido, recarga, etc.
- e) Datos para la exploración razonable de descenso de pozos sometidos a una larga explotación.
- f) Eficiencia real del pozo.

Cualquier tipo de bombeo debe tener una duración de 24 a 72 hrs., entre más larga sea la prueba se pueden obtener mejores resultados, por lo que es más recomendable que la duración sea de hasta 72 hrs. Al momento de cumplir el tiempo indicado, la bomba de extracción se debe apagar y comienza la recuperación del pozo, el cual debe ser observado durante un mismo tiempo que la extracción de agua.

Para el bombeo y la recuperación del pozo se debe tomar lecturas del nivel piezométrico durante el cierto intervalo de tiempo, por ejemplo para los primeros 10 min. del bombeo se toman lecturas cada minuto, para los siguientes 20 minutos se toman lecturas cada 2 y así sucesivamente (Tabla 6, WERNER, 1996).

| Tiempo desde inicio o fin del bombeo (min.) | Intervalo de Mediciones (min.) |
|---|--------------------------------|
| 0-10 | 1 |
| 10-30 | 2 |
| 30-60 | 5 |
| 60-120 | 10 |
| 120-180 | 20 |
| 180 hasta el fin | 60 |

Tabla 6 Intervalos de medición para bombeos.

Al realizar la prueba de bombeo se debe tomar en cuenta la medición de los siguientes datos:

- a) Q = caudal de bombeo (m^3/s)
- b) s = abatimiento (m)
- c) s' = descenso residual (m)
- d) t = tiempo de descenso (s)
- e) t' = tiempo de recuperación (s)
- f) r = distancia del pozo de observación al pozo de bombeo (m)

Estos datos deben ser evaluados gráficamente por diferentes métodos (CUSTODIO & LLAMAS, 1996):

a) Función de THEIS:

C. V. Theis elaboró una ecuación que describe el desarrollo espacial y temporal del cono de abatimiento. Esta ecuación solo es válida para acuíferos confinados.

b) Método de la línea recta:

Conocido como método de Cooper y Jacob. Los datos se grafican en papel semilogarítmico, los puntos se adaptan 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:

$$T = \frac{2.30 Q}{4 \pi \Delta s / \Delta \lg t} \text{ m}^2/\text{s} \qquad S = \frac{2.25 T t_0}{r^2} \text{ sin dim.}$$

t_0 es el resultado de la prolongación de la línea recta de descenso con la abscisa (WERNER, 1996).

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

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

Para la evaluación de recuperación según el método de la línea recta se toman valores 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 $\Delta \lg (t + t' = 1)$ y se aplica a la siguiente fórmula:

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

En la evaluación de recuperación el coeficiente de almacenamiento no puede ser determinado.

Los valores del caudal son obtenidos mediante varios métodos. Uno de estos es el conocido como método de la escuadra, de esta forma el caudal se obtiene de la siguiente manera:

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 (por ejemplo 12 pulgadas) formando un ángulo de 90°. Con esto se mide la distancia entre el borde del tubo de descarga y la parte más lejana de la escuadra donde el chorro que cae la puede tocar mas la altura (Fig. 30). El caudal está dado por la siguiente fórmula:

$$Q = 0.02216 \frac{D S}{K}$$

Donde:

Q = caudal (l/s, m³/s)

D = distancia a la que cae el chorro de agua (cm)

S = sección de la tubería de descarga (cm²)

K = distancia de la superficie del terreno al centro de la tubería de descarga (cm)

Existe una tabla de datos publicada por la Facultad de Ingeniería de la UNAM (1980) para medir caudales mediante este método con relación a la distancia obtenida y el diámetro del tubo de descarga.

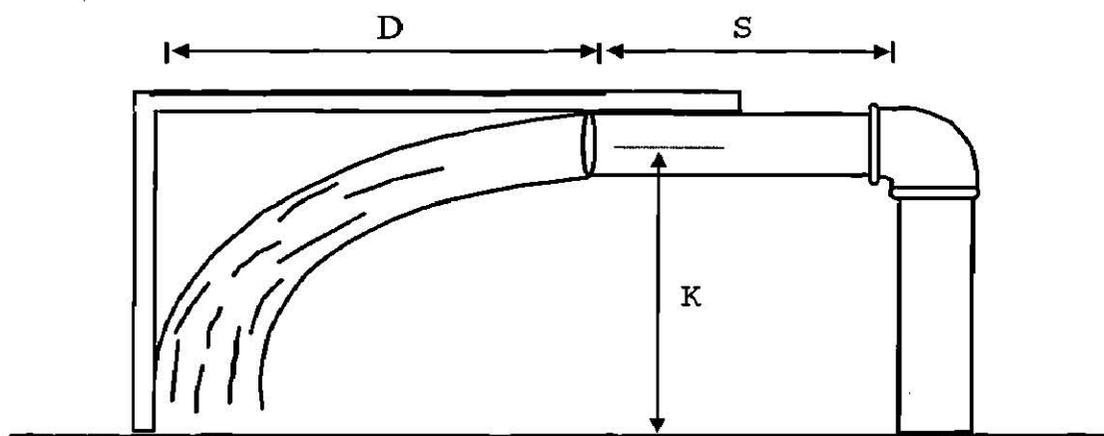


Fig. 30 Representación esquemática de la manera de medir la descarga de agua por medio del método de la escuadra

3.3.4.1 INTERPRETACIÓN DE GRÁFICAS PARA CONOCER EL TIPO DE ACUÍFERO

Como se conoce, un acuífero puede ser de tipo libre, semiconfinado o confinado, dependiendo de las características litológicas que presenta.

Para un acuífero confinado (con capa sello) la curva característica se comporta como en la figura 31 a. Un acuífero semiconfinado, con una capa semipermeable donde el flujo horizontal es omitido, presenta una curva típica como en la figura 31 b. Un acuífero libre con drenaje diferido es aquel al que sobreyace una capa menos permeable que la mayoría del acuífero, donde el flujo horizontal debe tomarse en cuenta, su curva característica se muestra en la figura 31 c. La curva típica para un acuífero libre se muestra en la figura 30 d (CNA, 1994).

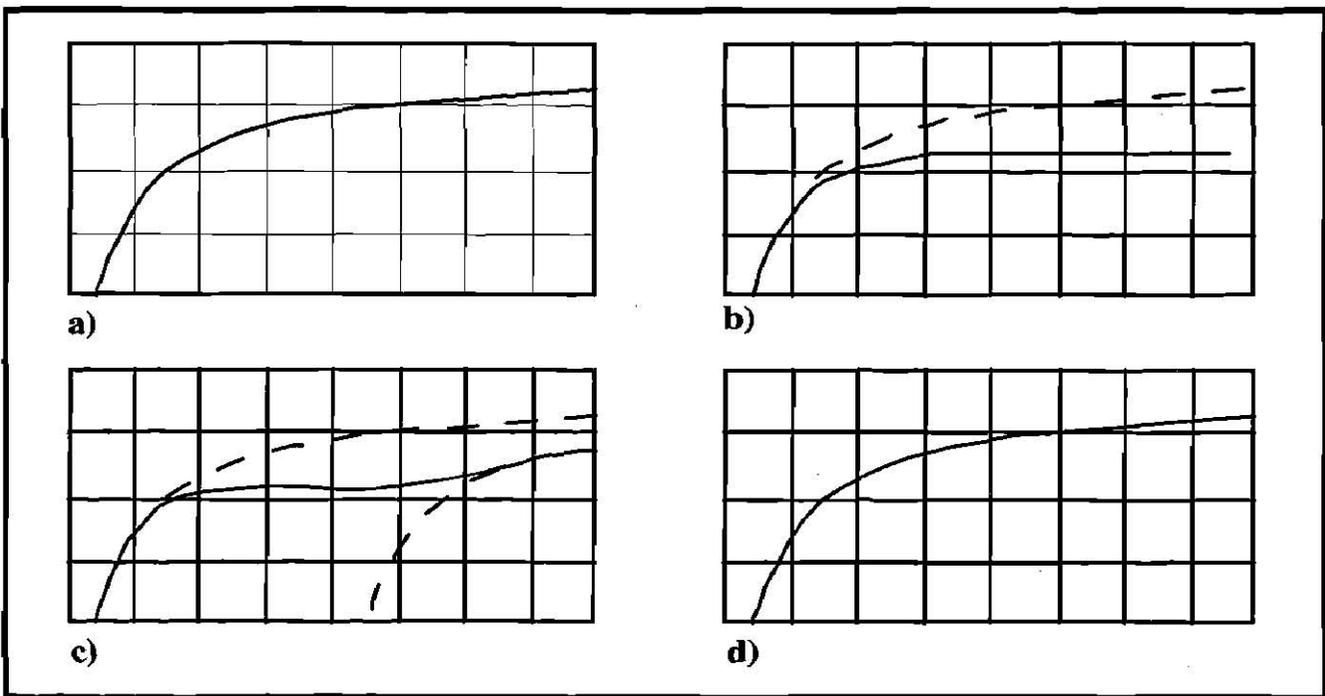


Fig. 31 Curvas en relación tiempo-abatimiento, características para la interpretación del tipo de acuífero. a) curva para un acuífero confinado, b) curva para un acuífero semiconfinado, c) curva para un acuífero libre con drenaje diferido, d) curva para un acuífero libre (CNA, 1994)

3.3.4.2 RECOPIACIÓN DE PRUEBAS DE AFORO Y DE BOMBEO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Existe una gran cantidad de aprovechamientos en el área, de los cuales (en el transcurso de los años) se han registrado datos de aforo y de bombeo por dependencias autorizadas. Con el fin de tener una idea sobre las características de los acuíferos del área, así como de la variación de caudales de flujo en diferentes zonas, algunos de estos archivos se han recopilado y filtrado en este trabajo obteniendo solo los más importantes para el presente estudio.

Para seguir un orden de los archivos recopilados en este trabajo, estos se han clasificado en cuatro grupos de archivo, en base a la fecha de elaboración de los ensayos y dependencia que los efectuó. Estos grupos de archivo son los siguientes:

Grupo A: consta en el aforo de 22 aprovechamientos (pozos), efectuado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos durante el período del 28 de Noviembre de 1978 hasta el 30 de Noviembre de 1984.

Grupo B: se trata de un ensayo de bombeo realizado por un estudiante de la Facultad de Ciencias de la Tierra en Diciembre de 1992.

Grupo C: este es un archivo también de la FCT, de un ensayo de bombeo efectuado en Noviembre de 1995.

Grupo D: estos datos pertenecen a seis pruebas de bombeo realizadas por la compañía COSAMSA, S. A. de C. V., durante Julio de 1998.

En la tabla 7 se muestran los valores de las pruebas de aforo registradas para el grupo A. En el anexo 7 se muestran croquis de terminación de algunos de los pozos, con medidas y corte litológico perforado.

| Localidad | Clave Del Pozo | Fecha de Aforo | Prof. (m) | Nivel Estático (m) | Nivel Dinámico (m) | Caudal l/s. | Sedimentos Perforados | Tipo de Acuífero |
|----------------|----------------|----------------|-----------|--------------------|--------------------|-------------|-----------------------|------------------|
| San Felipe | A | 28 / 11 / 78 | 87 | 8.3 | 51.2 | 5.3 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| La Unión (1) | B | 10 / 01 / 79 | 70 | 4.7 | 52.0 | 5 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| E. Zapata (1) | C | 04 / 10 / 79 | 70 | 8.0 | Abatido | 0 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| Río Verde (1) | D | 14 / 10 / 79 | 70 | 4.5 | 5.5 | 68.4 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| E. Zapata (2) | E | 24 / 10 / 79 | 70 | 10.3 | 51.3 | 9.3 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| Río Verde (2) | F | 07 / 11 / 79 | 70 | 7.35 | 51.2 | 14.5 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| La Loma (1) | *G | 19 / 11 / 79 | 70 | 11.3 | 34.8 | 5 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| El Pinto (1) | H | 10 / 12 / 79 | 70 | 8.3 | 48.6 | 41.1 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| La Morita (1) | I | 10 / 12 / 79 | 70 | 3.57 | 40.0 | 26 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| La Loma (2) | *J | 28 / 12 / 79 | 70 | 6.10 | 54.0 | 11.9 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| Paso de Lajas | K | 13 / 05 / 80 | 70 | 4.5 | Abatido | 0 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| La Morita(2) | L | 17 / 10 / 80 | 70 | 4.1 | 6.3 | 75.8 | Aluvión / Lutita | Libre |
| La Morita (3) | M | 06 / 11 / 80 | 70 | 4.0 | 46.0 | 62.4 | Aluvión / Lutita | Libre |
| Río Verde (3) | N | 15 / 12 / 80 | 70 | 4.9 | 11.07 | 28 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| El Refugio (1) | O | 31 / 12 / 80 | 70 | 3.62 | 9.0 | 42.2 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| El Refugio (2) | P | 20 / 11 / 81 | 70 | 2.71 | 49.8 | 25.6 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| La Petaca (1) | Q | 22 / 06 / 82 | 70 | 8.68 | 52.5 | 2.5 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| La Petaca (2) | R | 16 / 07 / 82 | 70 | 10.63 | 53.6 | 5.9 | Aluvión / Lutita | Semiconfinado |
| Guadalupe (1) | S | 05 / 11 / 83 | 70 | 4.24 | 4.65 | 70.6 | Aluvión | Semiconfinado |
| La Petaca (3) | T | 28 / 10 / 84 | 70 | 5.0 | 6.1 | 50 | Aluvión | Semiconfinado |
| Guadalupe(2) | U | 06 / 11 / 84 | 70 | 5.2 | 35.65 | 1 | Aluvión | Semiconfinado |
| El Refugio (3) | V | 30 / 11 / 84 | 70 | 4.7 | 25.75 | 18.5 | Aluvión | Semiconfinado |

Tabla 7 Registro de pruebas de aforo efectuadas de 1978 a 1984 en el área de estudio (Grupo A, Tomado de SARH). * Los pozos marcados se encuentran cerca del área de estudio pero no están localizados en la carta de documentación.

El ensayo de bombeo perteneciente al grupo B, fue realizado en un pozo de la Facultad de Ciencias de la Tierra, como parte de una práctica bajo la asesoría del Dr. Jörg H. Werner P. en 1992. Los valores obtenidos en ella son los siguientes:

| | | |
|--|------------------------------------|--|
| Clave del pozo | Pozo de producción PAP-1 | Pozos de observación PI-1, PI-2, PI-3 |
| Localización | Ex-Hacienda de Guadalupe, F. C. T. | |
| Fecha del bombeo | Noviembre de 1992 | |
| Duración (hrs) | 2 | |
| Transmisividad (m²/s) | descenso: 3.8×10^{-4} | recuperación: 2.28×10^{-4} |
| Coefficiente de almacenamiento | 2.75×10^{-5} | |
| Coefficiente de permeabilidad (m/s) | 2.28×10^{-6} | |
| Caudal (m³/s) | 6.35×10^{-3} | |

Los registros del grupo C, pertenecen a una práctica efectuada también por alumnos del 5º semestre de la Facultad de Ciencias de la Tierra los días 4 y 5 de Noviembre de 1995 bajo la asesoría del Dr. Jörg H. Werner P.

El ensayo se practicó en la huerta La Japonesa (anexo 5) con una duración de 24 hrs., donde se eligieron cuatro pozos uno de *producción y tres de *observación (P-114, P-115 y P-116)* con el fin de medir el caudal por medio del método de la escuadra y posteriormente calcular transmisividad, coeficiente de almacenamiento mediante métodos gráficos.

Los aprovechamientos hidráulicos utilizados en esta práctica atraviesan 25 m de material aluvial y llegan a la zona de lutitas alteradas de la Formación geológica Méndez (según un perfil geoelectrico realizado con anterioridad a la práctica por estudiantes de la FCT). El aluvión forma una estructura de un paleocanal constituyendo un importante acuífero de gravas o poros, sin embargo el acuífero de poros se comparte con el acuífero de grietas de la Fm. Méndez.

A continuación se muestran los registros de descenso y recuperación del abatimiento de los tres pozos de observación denominados p-114, p-115 y p-116, así como las gráficas respectivas.

- Un pozo de producción es aquel donde la bomba se encuentra funcionando, el cono de abatimiento se verá afectado por la extracción de agua de este pozo y se podrá medir en los pozos de observación, los cuales se encuentran a una distancia moderada del pozo de producción (50 - 150 m.).

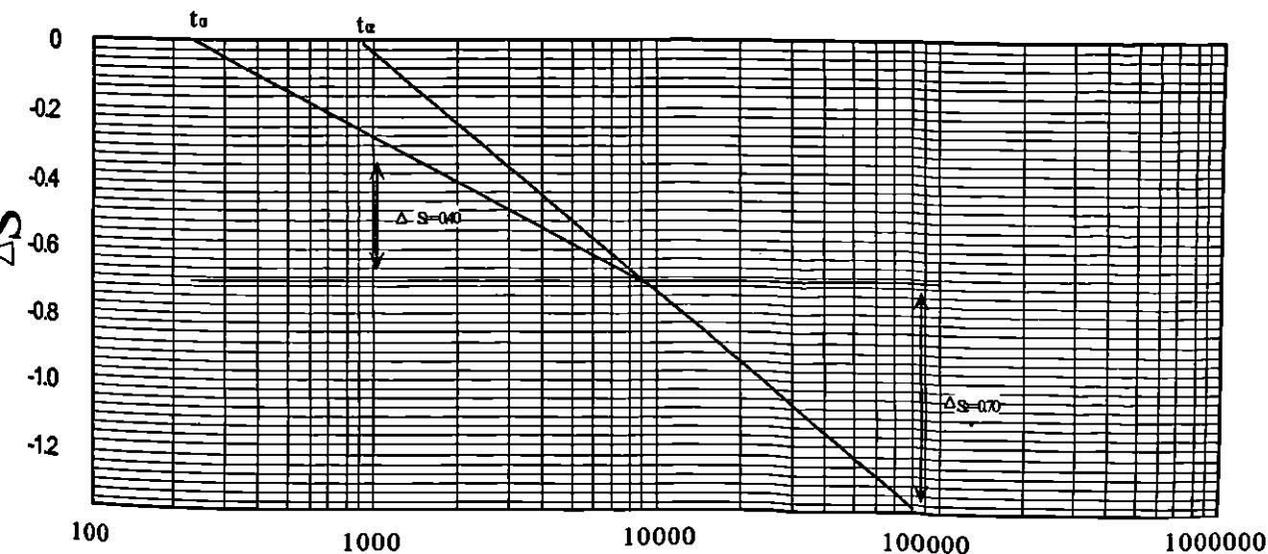
DESCENSO

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|--------------|--------------------|-------------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | Pozo de monitoreo No. 114 | | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | Descenso corregido | Observaciones |
| 4/XI/95 | 8:17 | * | 8.44 | 0 | 0 | |
| 4/XI/95 | 8:34 | * | 8.44 | 0 | 0 | |
| 4/XI/95 | 8:35 | 60 | 8.48 | 0.04 | 0.04 | |
| 4/XI/95 | 8:36 | 120 | 8.52 | 0.08 | 0.08 | |
| 4/XI/95 | 8:37 | 180 | 8.55 | 0.11 | 0.11 | |
| 4/XI/95 | 8:38 | 240 | 8.58 | 0.14 | 0.14 | |
| 4/XI/95 | 8:39 | 300 | 8.60 | 0.16 | 0.16 | |
| 4/XI/95 | 8:40 | 360 | 8.62 | 0.18 | 0.18 | |
| 4/XI/95 | 8:41 | 420 | 8.64 | 0.20 | 0.20 | |
| 4/XI/95 | 8:42 | 480 | 8.66 | 0.22 | 0.22 | |
| 4/XI/95 | 8:43 | 540 | 8.68 | 0.24 | 0.24 | |
| 4/XI/95 | 8:45 | 660 | 8.70 | 0.26 | 0.26 | |
| 4/XI/95 | 8:47 | 780 | 8.73 | 0.29 | 0.29 | |
| 4/XI/95 | 8:49 | 900 | 8.75 | 0.31 | 0.31 | |
| 4/XI/95 | 8:51 | 1020 | 8.77 | 0.33 | 0.33 | |
| 4/XI/95 | 8:53 | 1140 | 8.79 | 0.35 | 0.35 | |
| 4/XI/95 | 8:55 | 1260 | 8.81 | 0.37 | 0.36 | |
| 4/XI/95 | 8:57 | 1380 | 8.82 | 0.38 | 0.37 | |
| 4/XI/95 | 8:59 | 1500 | 8.84 | 0.40 | 0.39 | |
| 4/XI/95 | 9:01 | 1620 | 8.85 | 0.41 | 0.40 | |
| 4/XI/95 | 9:03 | 1740 | 8.87 | 0.43 | 0.42 | |
| 4/XI/95 | 9:08 | 2040 | 8.89 | 0.45 | 0.44 | |
| 4/XI/95 | 9:13 | 2340 | 8.92 | 0.48 | 0.47 | |
| 4/XI/95 | 9:18 | 2640 | 8.94 | 0.50 | 0.49 | |
| 4/XI/95 | 9:23 | 2940 | 8.96 | 0.52 | 0.51 | |
| 4/XI/95 | 9:28 | 3240 | 8.98 | 0.54 | 0.53 | |
| 4/XI/95 | 9:33 | 3540 | 9.00 | 0.56 | 0.55 | |
| 4/XI/95 | 9:43 | 4140 | 9.04 | 0.60 | 0.59 | |
| 4/XI/95 | 9:53 | 4740 | 9.07 | 0.63 | 0.61 | |
| 4/XI/95 | 10:03 | 5340 | 9.10 | 0.67 | 0.65 | |
| 4/XI/95 | 10:13 | 5940 | 9.12 | 0.69 | 0.67 | |
| 4/XI/95 | 10:23 | 6540 | 9.14 | 0.71 | 0.69 | T=24°C Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 10:33 | 7140 | 9.16 | 0.73 | 0.71 | C= 6.40 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 10:53 | 8340 | 9.20 | 0.77 | 0.75 | |
| 4/XI/95 | 11:13 | 9540 | 9.23 | 0.80 | 0.78 | |

DESCENSO

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 114 | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | Descenso corregido | Observaciones |
| 4/XI/95 | 11:33 | 10740 | 9.26 | 0.83 | 0.80 | T=24°C Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 12:33 | 14340 | 9.35 | 0.91 | 0.88 | C= 640 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 13:33 | 17940 | 9.41 | 0.97 | 0.93 | |
| 4/XI/95 | 14:33 | 21540 | 9.47 | 1.03 | 0.99 | Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 15:33 | 25140 | 9.52 | 1.08 | 1.04 | |
| 4/XI/95 | 16:33 | 28740 | 9.57 | 1.13 | 1.08 | T=23.1°C Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 17:33 | 32340 | 9.62 | 1.18 | 1.13 | C= 650 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 18:33 | 35940 | 9.65 | 1.21 | 1.15 | Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 19:33 | 39540 | 9.69 | 1.25 | 1.19 | |
| 4/XI/95 | 20:33 | 43140 | 9.72 | 1.28 | 1.22 | T=23.5°C Q= 8.0 l/s |
| 4/XI/95 | 21:33 | 46740 | 9.95 | 1.31 | 1.24 | C= 660 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 22:33 | 50340 | 9.77 | 1.33 | 1.26 | Q= 8.0 l/s |
| 4/XI/95 | 23:33 | 53940 | 9.79 | 1.35 | 1.28 | |
| 5/XI/95 | 00:33 | 57540 | 9.81 | 1.37 | 1.30 | T=23.7°C Q= 9 l/s |
| 5/XI/95 | 1:33 | 61140 | 9.84 | 1.40 | 1.32 | C= 660 μ s/cm |
| 5/XI/95 | 2:33 | 64740 | 9.86 | 1.42 | 1.34 | Q= 8.7 l/s |
| 5/XI/95 | 3:33 | 68340 | 9.88 | 1.44 | 1.36 | |
| 5/XI/95 | 4:33 | 71940 | 9.90 | 1.46 | 1.38 | T=23.6°C Q= 8.7 l/s |
| 5/XI/95 | 5:33 | 75540 | 9.92 | 1.48 | 1.40 | C= 660 μ s/cm |
| 5/XI/95 | 6:33 | 79140 | 9.94 | 1.50 | 1.41 | Q= 8.7 l/s |
| 5/XI/95 | 7:33 | 82740 | 9.96 | 1.52 | 1.43 | |
| 5/XI/95 | 8:33 | 86340 | 9.975 | 1.535 | 1.44 | Q= 8.3 l/s C= 660 μ s/cm |

GRÁFICA DE DESCENSO DEL POZO 114



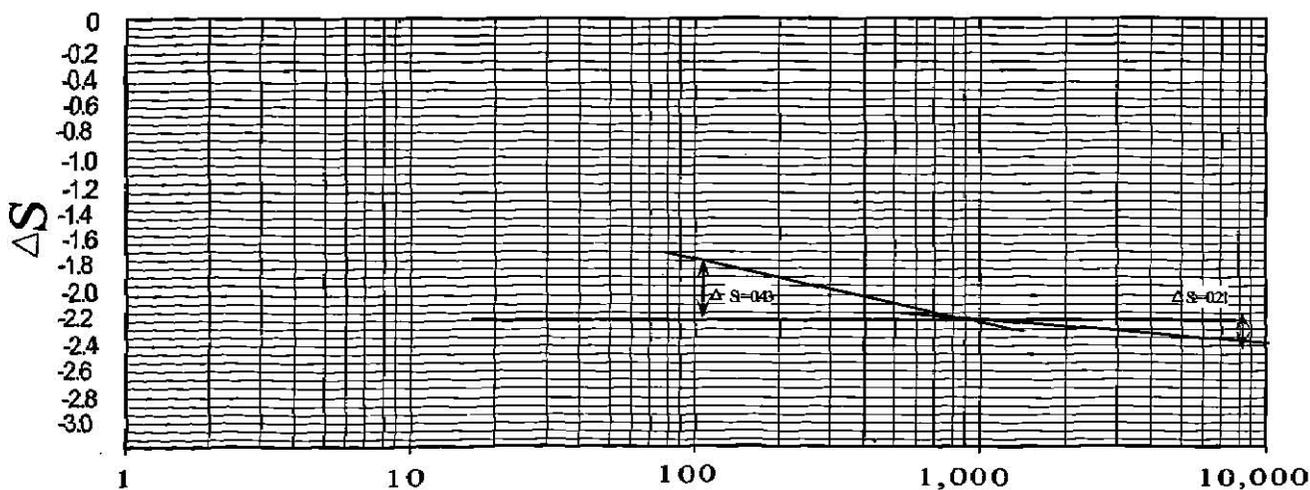
RECUPERACIÓN

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|------------|--------------------|---------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 114 | | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | (t + t')t' | Descenso corregido | Observaciones |
| 5/XI/95 | 8:45 | * | 9.96 | 1.52 | | 1.47 | |
| 5/XI/95 | 8:46 | 60 | 9.93 | 1.49 | 1441 | 1.44 | |
| 5/XI/95 | 8:47 | 120 | 9.90 | 1.46 | 721 | 1.41 | |
| 5/XI/95 | 8:48 | 180 | 9.86 | 1.42 | 481 | 1.37 | |
| 5/XI/95 | 8:49 | 240 | 9.84 | 1.40 | 361 | 1.35 | |
| 5/XI/95 | 8:50 | 300 | 9.82 | 1.38 | 289 | 1.33 | |
| 5/XI/95 | 8:51 | 360 | 9.80 | 1.36 | 241 | 1.32 | |
| 5/XI/95 | 8:52 | 420 | 9.78 | 1.34 | 206.7 | 1.30 | |
| 5/XI/95 | 8:53 | 480 | 9.77 | 1.33 | 181 | 1.29 | |
| 5/XI/95 | 8:54 | 540 | 9.76 | 1.32 | 161 | 1.28 | |
| 5/XI/95 | 8:56 | 660 | 9.75 | 1.31 | 132 | 1.27 | |
| 5/XI/95 | 8:58 | 780 | 9.74 | 1.30 | 111 | 1.26 | |
| 5/XI/95 | 9:00 | 900 | 9.69 | 1.25 | 97 | 1.21 | |
| 5/XI/95 | 9:02 | 1020 | 9.68 | 1.24 | 86 | 1.20 | |
| 5/XI/95 | 9:04 | 1140 | 9.66 | 1.22 | 77 | 1.18 | |
| 5/XI/95 | 9:06 | 1260 | 9.65 | 1.21 | 70 | 1.18 | |
| 5/XI/95 | 9:08 | 1380 | 9.63 | 1.19 | 64 | 1.16 | |
| 5/XI/95 | 9:10 | 1500 | 9.62 | 1.18 | 59 | 1.15 | |
| 5/XI/95 | 9:12 | 1620 | 9.60 | 1.16 | 54 | 1.13 | |
| 5/XI/95 | 9:14 | 1740 | 9.59 | 1.15 | 51 | 1.12 | |
| 5/XI/95 | 9:19 | 2040 | 9.56 | 1.12 | 43 | 1.09 | |
| 5/XI/95 | 9:24 | 2340 | 9.54 | 1.10 | 38 | 1.07 | |
| 5/XI/95 | 9:29 | 2640 | 9.51 | 1.07 | 34 | 1.04 | |
| 5/XI/95 | 9:34 | 2940 | 9.49 | 1.05 | 31 | 1.02 | |
| 5/XI/95 | 9:39 | 3240 | 9.47 | 1.03 | 28 | 1.00 | |
| 5/XI/95 | 9:44 | 3540 | 9.45 | 1.01 | 25 | 0.99 | |
| 5/XI/95 | 9:54 | 4140 | 9.41 | 0.97 | 22 | 0.95 | |
| 5/XI/95 | 10:04 | 4740 | 9.37 | 0.93 | 19 | 0.91 | |
| 5/XI/95 | 10:14 | 5340 | 9.34 | 0.90 | 17 | 0.88 | |
| 5/XI/95 | 10:24 | 5940 | 9.32 | 0.88 | 16 | 0.86 | |
| 5/XI/95 | 10:34 | 6540 | 9.29 | 0.85 | 14 | 0.83 | |
| 5/XI/95 | 10:44 | 7140 | 9.26 | 0.82 | 13 | 0.80 | |
| 5/XI/95 | 11:04 | 8340 | 9.21 | 0.77 | 11 | 0.76 | |
| 5/XI/95 | 11:24 | 9540 | 9.16 | 0.72 | 10 | 0.71 | |
| 5/XI/95 | 11:44 | 10740 | 9.12 | 0.68 | 9 | 0.67 | |

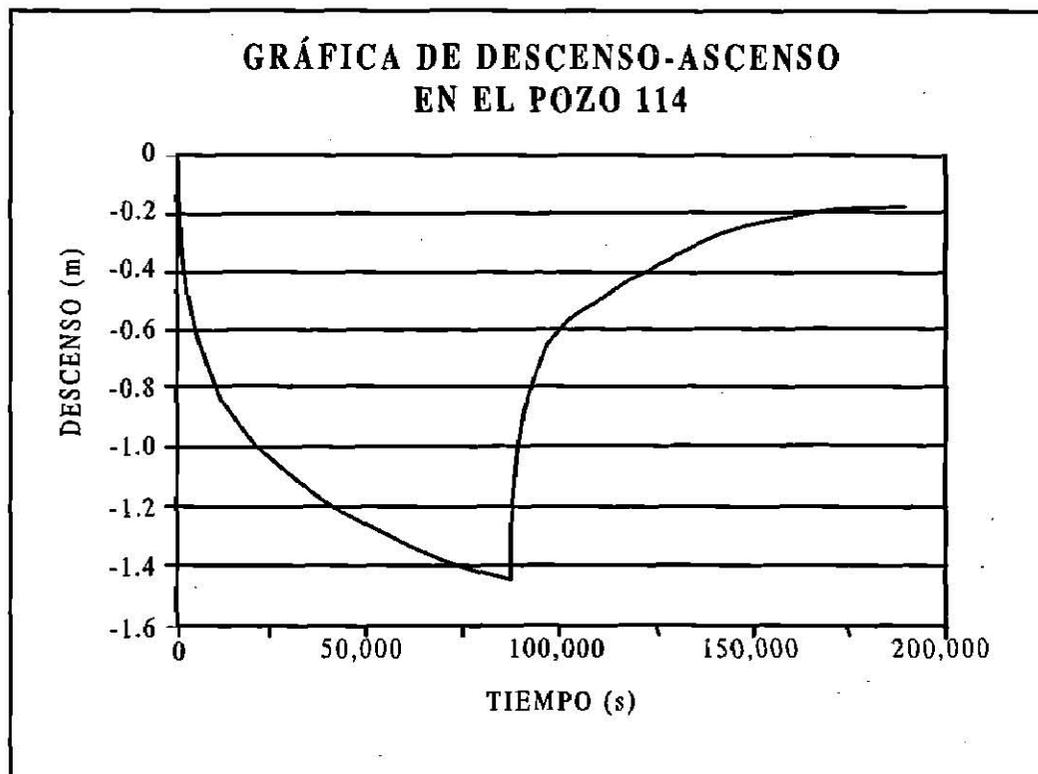
RECUPERACIÓN

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|--------------|--------------------|---------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 114 | | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | $(t + t')t'$ | Descenso corregido | Observaciones |
| 5/XI/95 | 12:44 | 14340 | 9.02 | 0.54 | 7 | 0.53 | |
| 5/XI/95 | 13:44 | 17940 | 8.93 | 0.49 | 6 | 0.48 | |
| 5/XI/95 | 14:44 | 21540 | 8.88 | 0.44 | 5 | 0.44 | |
| 5/XI/95 | 15:44 | 25140 | 8.84 | 0.40 | 4 | 0.40 | |
| 5/XI/95 | 16:44 | 28740 | 8.82 | 0.38 | 4 | 0.38 | |
| 5/XI/95 | 17:44 | 32340 | 8.78 | 0.34 | 4 | 0.34 | |
| 5/XI/95 | 18:44 | 35940 | 8.75 | 0.32 | 3 | 0.32 | |
| 5/XI/95 | 19:44 | 39540 | 8.74 | 0.30 | 3 | 0.30 | |
| 5/XI/95 | 20:44 | 43140 | 8.72 | 0.28 | 3 | 0.28 | |
| 5/XI/95 | 21:44 | 46740 | 8.71 | 0.27 | 3 | 0.27 | |
| 5/XI/95 | 22:44 | 50340 | 8.70 | 0.26 | 3 | 0.26 | |
| 5/XI/95 | 23:44 | 53940 | 8.68 | 0.24 | 3 | 0.24 | |
| 5/XI/95 | 06:00 | 72900 | 8.625 | 0.185 | 2 | 0.185 | |
| 5/XI/95 | 07:00 | 76500 | 8.625 | 0.185 | 2 | 0.185 | |
| 5/XI/95 | 08:00 | 80100 | 8.625 | 0.185 | 2 | 0.185 | |
| 5/XI/95 | 17:15 | 113400 | 8.59 | 0.15 | 2 | 0.15 | |

GRÁFICA DE RECUPERACIÓN DEL POZO 114



POZO - 114



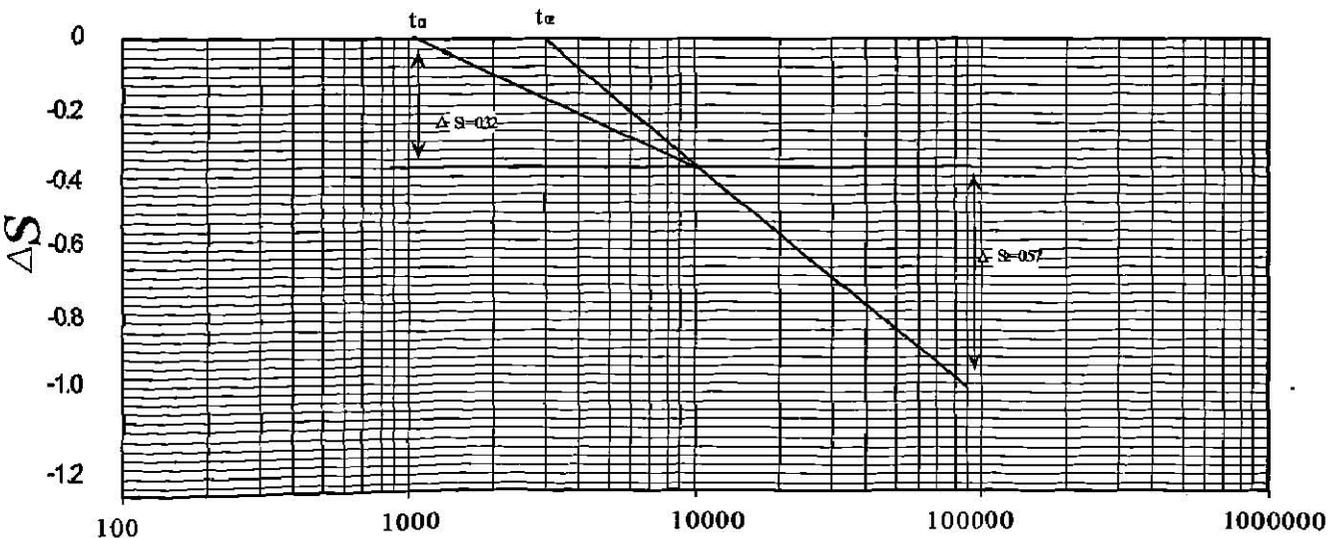
DESCENSO

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 115 | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | Descenso corregido | Observaciones |
| 4/XI/95 | 8:17 | * | 8.72 | 0 | 0 | |
| 4/XI/95 | 8:34 | 60 | 8.72 | 0 | 0 | |
| 4/XI/95 | 8:35 | 120 | 8.725 | 0.005 | 0.005 | |
| 4/XI/95 | 8:36 | 180 | 8.725 | 0.005 | 0.005 | |
| 4/XI/95 | 8:37 | 240 | 8.735 | 0.015 | 0.015 | |
| 4/XI/95 | 8:38 | 300 | 8.74 | 0.02 | 0.02 | |
| 4/XI/95 | 8:39 | 360 | 8.745 | 0.025 | 0.025 | |
| 4/XI/95 | 8:40 | 420 | 8.745 | 0.025 | 0.025 | |
| 4/XI/95 | 8:41 | 480 | 8.75 | 0.03 | 0.03 | |
| 4/XI/95 | 8:42 | 540 | 8.755 | 0.035 | 0.035 | |
| 4/XI/95 | 8:43 | 660 | 8.755 | 0.035 | 0.035 | |
| 4/XI/95 | 8:45 | 720 | 8.76 | 0.04 | 0.04 | |
| 4/XI/95 | 8:47 | 840 | 8.765 | 0.045 | 0.045 | |
| 4/XI/95 | 8:49 | 960 | 8.77 | 0.05 | 0.05 | |
| 4/XI/95 | 8:51 | 1080 | 8.775 | 0.055 | 0.055 | |
| 4/XI/95 | 8:53 | 1200 | 8.78 | 0.06 | 0.06 | |
| 4/XI/95 | 8:55 | 1320 | 8.79 | 0.07 | 0.07 | |
| 4/XI/95 | 8:57 | 1440 | 8.795 | 0.075 | 0.075 | |
| 4/XI/95 | 8:59 | 1560 | 8.80 | 0.08 | 0.08 | |
| 4/XI/95 | 9:01 | 1680 | 8.805 | 0.085 | 0.085 | |
| 4/XI/95 | 9:03 | 1800 | 8.815 | 0.095 | 0.095 | |
| 4/XI/95 | 9:08 | 2100 | 8.83 | 0.11 | 0.11 | |
| 4/XI/95 | 9:13 | 2400 | 8.845 | 0.125 | 0.125 | |
| 4/XI/95 | 9:18 | 2700 | 8.855 | 0.135 | 0.135 | |
| 4/XI/95 | 9:23 | 3000 | 8.875 | 0.155 | 0.155 | |
| 4/XI/95 | 9:28 | 3300 | 8.89 | 0.17 | 0.17 | |
| 4/XI/95 | 9:33 | 3600 | 8.90 | 0.18 | 0.18 | |
| 4/XI/95 | 9:43 | 4200 | 8.93 | 0.21 | 0.21 | |
| 4/XI/95 | 9:55 | 4920 | 8.95 | 0.23 | 0.23 | |
| 4/XI/95 | 10:05 | 5520 | 8.965 | 0.245 | 0.245 | |
| 4/XI/95 | 10:15 | 6120 | 8.98 | 0.26 | 0.26 | |
| 4/XI/95 | 10:25 | 6720 | 9.00 | 0.28 | 0.28 | |
| 4/XI/95 | 10:35 | 7320 | 9.02 | 0.30 | 0.30 | T=24.4°C Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 10:55 | 8520 | 9.05 | 0.33 | 0.33 | C= 640 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 11:15 | 9720 | 9.095 | 0.375 | 0.37 | |

DESCENSO

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 115 | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | Descenso corregido | Observaciones |
| 4/XI/95 | 11:35 | 10920 | 9.1 | 0.38 | 0.37 | T=24°C Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 12:35 | 14520 | 9.22 | 0.50 | 0.49 | C= 640 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 13:35 | 18120 | 9.245 | 0.525 | 0.51 | |
| 4/XI/95 | 14:35 | 21720 | 9.28 | 0.56 | 0.55 | Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 15:35 | 25320 | 9.35 | 0.63 | 0.61 | |
| 4/XI/95 | 16:35 | 28920 | 9.36 | 0.64 | 0.62 | T=23.1°C Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 17:35 | 32520 | 9.38 | 0.66 | 0.64 | C= 650 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 18:35 | 36120 | 9.42 | 0.70 | 0.68 | Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 19:35 | 39720 | 9.45 | 0.73 | 0.71 | |
| 4/XI/95 | 20:35 | 43320 | 9.48 | 0.76 | 0.74 | T=23.5°C Q= 8.0 l/s |
| 4/XI/95 | 21:35 | 46920 | 9.495 | 0.775 | 0.75 | C= 660 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 22:35 | 50520 | 9.515 | 0.795 | 0.77 | Q= 8.0 l/s |
| 4/XI/95 | 23:35 | 54120 | 9.53 | 0.81 | 0.78 | |
| 5/XI/95 | 00:35 | 57720 | 9.54 | 0.82 | 0.80 | T=23.7°C Q= 9 l/s |
| 5/XI/95 | 1:35 | 61320 | 9.56 | 0.84 | 0.81 | C= 660 μ s/cm |
| 5/XI/95 | 2:35 | 64920 | 9.575 | 0.855 | 0.83 | Q= 8.7 l/s |
| 5/XI/95 | 3:35 | 68520 | 9.59 | 0.87 | 0.84 | |
| 5/XI/95 | 4:35 | 72120 | 9.61 | 0.89 | 0.86 | T=23.6°C Q= 8.7 l/s |
| 5/XI/95 | 5:35 | 75720 | 9.63 | 0.91 | 0.88 | C= 660 μ s/cm |
| 5/XI/95 | 6:35 | 79320 | 9.66 | 0.94 | 0.91 | Q= 8.7 l/s |
| 5/XI/95 | 7:35 | 82920 | 9.68 | 0.96 | 0.92 | |
| 5/XI/95 | 8:35 | 86520 | 9.70 | 0.98 | 0.94 | Q= 8.33 l/s C= 660 μ s/cm |

GRÁFICA DE DESCENSO DEL POZO 115



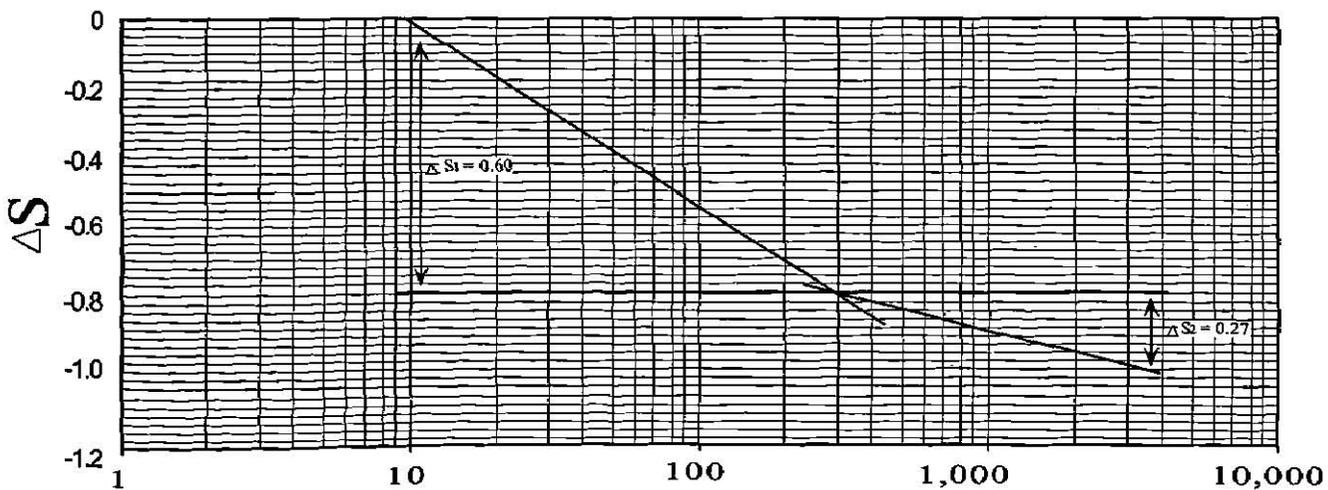
RECUPERACIÓN

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|--------------|--------------------|---------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 115 | | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | $(t + t')t'$ | Descenso corregido | Observaciones |
| 5/XI/95 | 8:45 | 60 | 9.69 | 0.97 | 1443 | 0.95 | |
| 5/XI/95 | 8:46 | 120 | 9.69 | 0.97 | 722 | 0.95 | |
| 5/XI/95 | 8:47 | 180 | 9.69 | 0.97 | 482 | 0.95 | |
| 5/XI/95 | 8:48 | 240 | 9.685 | 0.965 | 362 | 0.94 | |
| 5/XI/95 | 8:49 | 300 | 9.68 | 0.96 | 289 | 0.94 | |
| 5/XI/95 | 8:50 | 360 | 9.68 | 0.96 | 241 | 0.94 | |
| 5/XI/95 | 8:51 | 420 | 9.68 | 0.96 | 207 | 0.94 | |
| 5/XI/95 | 8:52 | 480 | 9.675 | 0.955 | 181 | 0.93 | |
| 5/XI/95 | 8:53 | 540 | 9.675 | 0.955 | 161 | 0.93 | |
| 5/XI/95 | 8:54 | 600 | 9.675 | 0.955 | 145 | 0.93 | |
| 5/XI/95 | 8:56 | 720 | 9.67 | 0.95 | 121 | 0.93 | |
| 5/XI/95 | 8:58 | 840 | 9.67 | 0.95 | 104 | 0.93 | |
| 5/XI/95 | 9:00 | 960 | 9.665 | 0.945 | 91 | 0.92 | |
| 5/XI/95 | 9:02 | 1080 | 9.66 | 0.94 | 81 | 0.92 | |
| 5/XI/95 | 9:04 | 1200 | 9.66 | 0.94 | 73 | 0.92 | |
| 5/XI/95 | 9:06 | 1320 | 9.655 | 0.935 | 67 | 0.91 | |
| 5/XI/95 | 9:08 | 1440 | 9.65 | 0.93 | 61 | 0.91 | |
| 5/XI/95 | 9:10 | 1560 | 9.645 | 0.925 | 56 | 0.90 | |
| 5/XI/95 | 9:12 | 1680 | 9.64 | 0.92 | 53 | 0.90 | |
| 5/XI/95 | 9:14 | 1800 | 9.635 | 0.915 | 49 | 0.90 | |
| 5/XI/95 | 9:19 | 2100 | 9.625 | 0.905 | 42 | 0.89 | |
| 5/XI/95 | 9:24 | 2400 | 9.61 | 0.89 | 37 | 0.87 | |
| 5/XI/95 | 9:29 | 2700 | 9.595 | 0.875 | 33 | 0.86 | |
| 5/XI/95 | 9:34 | 3000 | 9.585 | 0.865 | 30 | 0.85 | |
| 5/XI/95 | 9:39 | 3300 | 9.575 | 0.855 | 27 | 0.84 | |
| 5/XI/95 | 9:44 | 3600 | 9.56 | 0.84 | 25 | 0.82 | |
| 5/XI/95 | 9:54 | 4200 | 9.53 | 0.81 | 22 | 0.80 | |
| 5/XI/95 | 10:04 | 4800 | 9.51 | 0.79 | 19 | 0.78 | |
| 5/XI/95 | 10:14 | 5400 | 9.485 | 0.765 | 17 | 0.75 | |
| 5/XI/95 | 10:24 | 6000 | 9.465 | 0.745 | 15 | 0.72 | |
| 5/XI/95 | 10:34 | 6600 | 9.45 | 0.73 | 14 | 0.72 | |
| 5/XI/95 | 10:44 | 7200 | 9.43 | 0.71 | 13 | 0.70 | |
| 5/XI/95 | 11:04 | 8400 | 9.39 | 0.67 | 11 | 0.66 | |
| 5/XI/95 | 11:24 | 9600 | 9.35 | 0.63 | 10 | 0.62 | |
| 5/XI/95 | 11:44 | 10800 | 9.325 | 0.605 | 9 | 0.60 | |

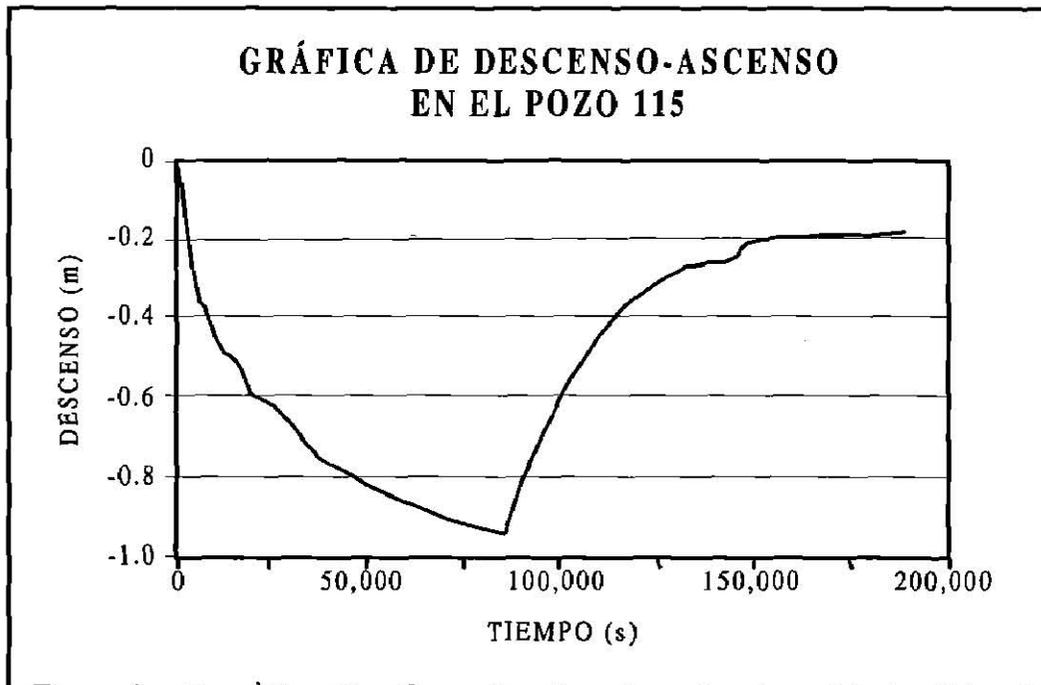
RECUPERACIÓN

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|------------|--------------------|---------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 115 | | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | (t + t')t' | Descenso corregido | Observaciones |
| 5/XI/95 | 12:44 | 14400 | 9.24 | 0.52 | 7 | 0.51 | |
| 5/XI/95 | 13:44 | 18000 | 9.17 | 0.45 | 6 | 0.45 | |
| 5/XI/95 | 14:44 | 21600 | 9.125 | 0.405 | 5 | 0.405 | |
| 5/XI/95 | 15:44 | 25200 | 9.09 | 0.37 | 4 | 0.37 | |
| 5/XI/95 | 16:44 | 28800 | 9.07 | 0.35 | 4 | 0.35 | |
| 5/XI/95 | 17:44 | 32400 | 9.04 | 0.32 | 4 | 0.32 | |
| 5/XI/95 | 18:44 | 36000 | 9.025 | 0.305 | 3 | 0.305 | |
| 5/XI/95 | 19:44 | 39600 | 9.02 | 0.30 | 3 | 0.30 | |
| 5/XI/95 | 20:44 | 43200 | 9.00 | 0.28 | 3 | 0.28 | |
| 5/XI/95 | 21:44 | 46800 | 8.99 | 0.27 | 3 | 0.27 | |
| 5/XI/95 | 22:44 | 50400 | 8.98 | 0.26 | 3 | 0.26 | |
| 5/XI/95 | 23:44 | 54000 | 8.97 | 0.25 | 3 | 0.25 | |
| 6/XI/95 | 06:00 | 57600 | 8.92 | 0.20 | 3 | 0.20 | |
| 6/XI/95 | 07:00 | 61200 | 8.92 | 0.20 | 2 | 0.20 | |
| 6/XI/95 | 07:45 | 63900 | 8.92 | 0.20 | 2 | 0.20 | |
| 6/XI/95 | 17:22 | 98526 | 8.89 | 0.17 | 2 | 0.17 | |

GRÁFICA DE RECUPERACIÓN DEL POZO 115



POZO - 115



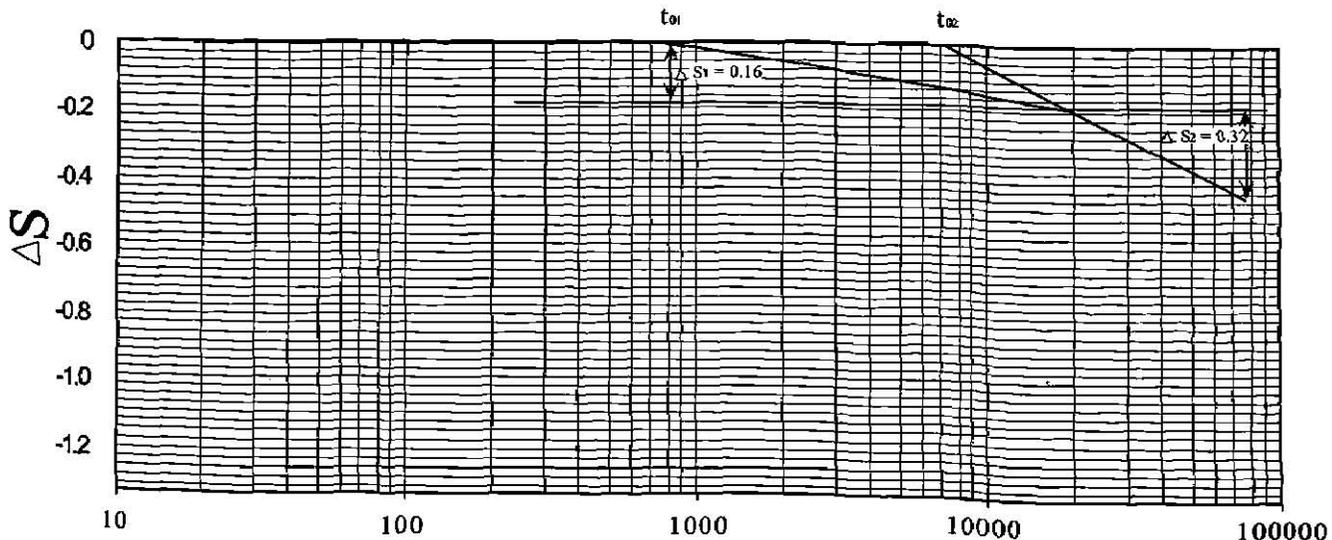
DESCENSO

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|--------------|--------------------|---------------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | Pozo de monitoreo No. 116 | | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | Descenso corregido | Observaciones |
| 4/XI/95 | 8:17 | * | 7.57 | 0 | 0 | |
| 4/XI/95 | 8:35 | * | 7.57 | 0 | 0 | |
| 4/XI/95 | 8:36 | 60 | 7.57 | 0 | 0 | |
| 4/XI/95 | 8:37 | 120 | 7.57 | 0.01 | 0.01 | |
| 4/XI/95 | 8:38 | 180 | 7.58 | 0.01 | 0.01 | |
| 4/XI/95 | 8:39 | 261 | 7.57 | 0.01 | 0.01 | |
| 4/XI/95 | 8:40 | 325 | 7.58 | 0.01 | 0.01 | |
| 4/XI/95 | 8:41 | 373 | 7.58 | 0.01 | 0.01 | |
| 4/XI/95 | 8:42 | 442 | 7.58 | 0.01 | 0.01 | |
| 4/XI/95 | 8:43 | 510 | 7.58 | 0.01 | 0.01 | |
| 4/XI/95 | 8:44 | 564 | 7.59 | 0.02 | 0.02 | |
| 4/XI/95 | 8:46 | 684 | 7.59 | 0.02 | 0.02 | |
| 4/XI/95 | 8:48 | 800 | 7.59 | 0.02 | 0.02 | |
| 4/XI/95 | 8:50 | 924 | 7.59 | 0.02 | 0.02 | |
| 4/XI/95 | 8:52 | 1050 | 7.59 | 0.02 | 0.02 | |
| 4/XI/95 | 8:54 | 1162 | 7.59 | 0.02 | 0.02 | |
| 4/XI/95 | 8:56 | 1290 | 7.59 | 0.02 | 0.02 | |
| 4/XI/95 | 8:58 | 1403 | 7.60 | 0.03 | 0.03 | |
| 4/XI/95 | 9:00 | 1524 | 7.61 | 0.04 | 0.04 | |
| 4/XI/95 | 9:02 | 1645 | 7.62 | 0.05 | 0.05 | |
| 4/XI/95 | 9:04 | 1760 | 7.62 | 0.05 | 0.05 | |
| 4/XI/95 | 9:09 | 2080 | 7.61 | 0.04 | 0.04 | |
| 4/XI/95 | 9:13 | 2300 | 7.61 | 0.04 | 0.04 | |
| 4/XI/95 | 9:18 | 2570 | 7.61 | 0.04 | 0.04 | |
| 4/XI/95 | 9:23 | 2870 | 7.62 | 0.05 | 0.05 | |
| 4/XI/95 | 9:29 | 3170 | 7.61 | 0.04 | 0.04 | |
| 4/XI/95 | 9:33 | 3415 | 7.63 | 0.06 | 0.06 | |
| 4/XI/95 | 9:44 | 4070 | 7.63 | 0.06 | 0.06 | |
| 4/XI/95 | 9:53 | 4610 | 7.64 | 0.07 | 0.07 | |
| 4/XI/95 | 10:03 | 5210 | 7.64 | 0.07 | 0.07 | |
| 4/XI/95 | 10:13 | 5810 | 7.65 | 0.08 | 0.08 | |
| 4/XI/95 | 10:23 | 6410 | 7.65 | 0.08 | 0.08 | |
| 4/XI/95 | 10:33 | 7010 | 7.67 | 0.10 | 0.10 | T=24.4°C Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 10:53 | 8210 | 7.68 | 0.11 | 0.11 | C= 640 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 11:13 | 9410 | 7.69 | 0.12 | 0.12 | |

DESCENSO

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 116 | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | Descenso corregido | Observaciones |
| 4/XI/95 | 11:33 | 10610 | 7.7 | 0.13 | 0.13 | T=24°C Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 12:33 | 14210 | 7.72 | 0.15 | 0.15 | C= 640 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 13:33 | 17810 | 7.75 | 0.18 | 0.18 | |
| 4/XI/95 | 14:33 | 21410 | 7.78 | 0.21 | 0.21 | Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 15:33 | 25010 | 7.80 | 0.23 | 0.23 | |
| 4/XI/95 | 16:33 | 28610 | 7.82 | 0.25 | 0.25 | T=23.1°C Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 17:33 | 32210 | 7.84 | 0.28 | 0.28 | C= 650 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 18:40 | 36230 | 7.87 | 0.30 | 0.30 | Q= 8.3 l/s |
| 4/XI/95 | 19:35 | 39530 | 7.88 | 0.31 | 0.31 | |
| 4/XI/95 | 20:33 | 43010 | 7.91 | 0.34 | 0.34 | T=23.5°C Q= 8.0 l/s |
| 4/XI/95 | 21:35 | 46730 | 7.91 | 0.34 | 0.33 | C= 660 μ s/cm |
| 4/XI/95 | 22:30 | 50030 | 7.92 | 0.35 | 0.34 | Q= 8.0 l/s |
| 4/XI/95 | 23:30 | 53630 | 7.93 | 0.36 | 0.35 | |
| 5/XI/95 | 00:30 | 57230 | 7.94 | 0.37 | 0.36 | T=23.7°C Q= 9 l/s |
| 5/XI/95 | 1:26 | 60590 | 7.96 | 0.39 | 0.38 | C= 660 μ s/cm |
| 5/XI/95 | 2:27 | 64250 | 7.98 | 0.41 | 0.40 | Q= 8.7 l/s |
| 5/XI/95 | 3:30 | 67670 | 8.00 | 0.43 | 0.42 | |
| 5/XI/95 | 4:34 | 71510 | 8.01 | 0.44 | 0.43 | T=23.6°C Q= 8.7 l/s |
| 5/XI/95 | 5:26 | 74630 | 8.01 | 0.44 | 0.43 | C= 660 μ s/cm |
| 5/XI/95 | 6:27 | 78290 | 8.02 | 0.45 | 0.44 | Q= 8.7 l/s |
| 5/XI/95 | 7:24 | 81710 | 8.03 | 0.47 | 0.46 | |
| 5/XI/95 | 8:31 | 85730 | 8.05 | 0.48 | 0.47 | Q= 8.33 l/s C= 660 μ s/cm |

GRÁFICA DE DESCENSO DEL POZO 116



RECUPERACIÓN

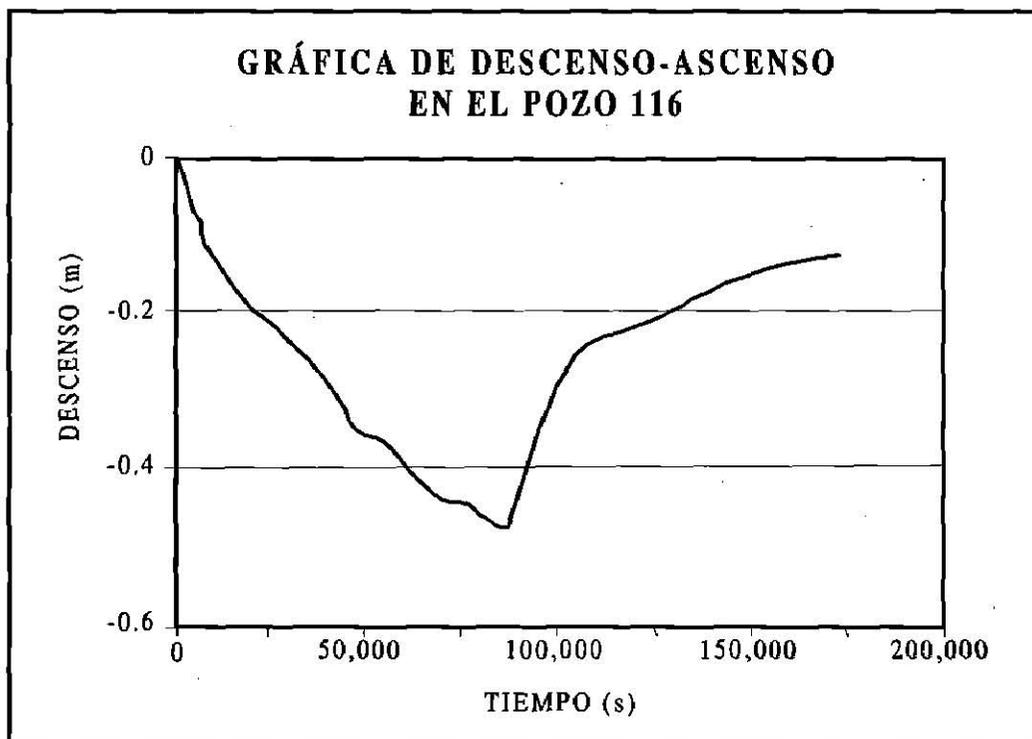
| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|------------|--------------------|---------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 116 | | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | (t + t')t' | Descenso corregido | Observaciones |
| 5/XI/95 | 8:46 | 0 | 8.04 | 0.47 | 1429 | | |
| 5/XI/95 | 8:47 | 60 | 8.04 | 0.47 | 715 | | |
| 5/XI/95 | 8:48 | 120 | 8.04 | 0.47 | 477 | | |
| 5/XI/95 | 8:49 | 180 | 8.04 | 0.47 | 358 | | |
| 5/XI/95 | 8:50 | 240 | 8.05 | 0.48 | 287 | | |
| 5/XI/95 | 8:51 | 300 | 8.05 | 0.48 | 239 | | |
| 5/XI/95 | 8:52 | 360 | 8.05 | 0.48 | 205 | | |
| 5/XI/95 | 8:53 | 420 | 8.05 | 0.48 | 180 | | |
| 5/XI/95 | 8:54 | 480 | 8.05 | 0.48 | 144 | | |
| 5/XI/95 | 8:56 | 600 | 8.04 | 0.47 | 120 | | |
| 5/XI/95 | 8:58 | 720 | 8.04 | 0.47 | 103 | | |
| 5/XI/95 | 9:00 | 840 | 8.05 | 0.48 | 90 | | |
| 5/XI/95 | 9:02 | 960 | 8.03 | 0.46 | 80 | | |
| 5/XI/95 | 9:04 | 1080 | 8.04 | 0.47 | 72 | | |
| 5/XI/95 | 9:06 | 1200 | 8.04 | 0.47 | 66 | | |
| 5/XI/95 | 9:08 | 1320 | 8.03 | 0.46 | 61 | | |
| 5/XI/95 | 9:10 | 1440 | 8.04 | 0.47 | 56 | | |
| 5/XI/95 | 9:12 | 1560 | 8.03 | 0.46 | 52 | | |
| 5/XI/95 | 9:14 | 1680 | 8.03 | 0.46 | 44 | | |
| 5/XI/95 | 9:19 | 1980 | 8.03 | 0.46 | 39 | | |
| 5/XI/95 | 9:24 | 2280 | 8.04 | 0.47 | 34 | | |
| 5/XI/95 | 9:29 | 2580 | 8.03 | 0.46 | 31 | | |
| 5/XI/95 | 9:34 | 2880 | 8.02 | 0.45 | 28 | | |
| 5/XI/95 | 9:39 | 3180 | 8.03 | 0.46 | 26 | | |
| 5/XI/95 | 9:44 | 3480 | 8.02 | 0.45 | 24 | | |
| 5/XI/95 | 9:49 | 3780 | 8.01 | 0.44 | 20 | | |
| 5/XI/95 | 10:00 | 4440 | 8.00 | 0.43 | 18 | | |
| 5/XI/95 | 10:12 | 5160 | 7.99 | 0.42 | 16 | | |
| 5/XI/95 | 10:20 | 5640 | 7.99 | 0.42 | 15 | | |
| 5/XI/95 | 10:30 | 6240 | 7.99 | 0.42 | 14 | | |
| 5/XI/95 | 10:40 | 6840 | 7.98 | 0.41 | 13 | | |
| 5/XI/95 | 10:50 | 7440 | 7.97 | 0.40 | 12 | | |
| 5/XI/95 | 11:10 | 8040 | 7.96 | 0.39 | 11 | | |
| 5/XI/95 | 11:30 | 8640 | 7.94 | 0.37 | 10 | | |
| 5/XI/95 | 11:50 | 9840 | 7.93 | 0.36 | 7 | | |

RECUPERACIÓN

| Ensayo de bombeo en pozos monitores | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|----------------------------|---------------------------|--------------|--------------------|---------------|
| Ubicación: Huerta "La Japonesa" | | | | Pozo de monitoreo No. 116 | | | |
| Fecha | Hora | Duración (hrs) | Nivel debajo pto. med. (m) | Descenso (m) | $(t + t')t'$ | Descenso corregido | Observaciones |
| 5/XI/95 | 12:50 | 13440 | 7.89 | 0.32 | | | |
| 5/XI/95 | 13:50 | 17040 | 7.85 | 0.28 | 6 | | |
| 5/XI/95 | 14:50 | 20640 | 7.82 | 0.25 | 5 | | |
| 5/XI/95 | 15:50 | 24240 | 7.81 | 0.24 | 5 | | |
| 5/XI/95 | 16:50 | 27840 | 7.80 | 0.23 | 4 | | |
| 5/XI/95 | 17:50 | 31440 | 7.79 | 0.22 | 4 | | |
| 5/XI/95 | 18:50 | 35040 | 7.78 | 0.21 | 3 | | |
| 5/XI/95 | 19:50 | 28640 | 7.77 | 0.20 | 3 | | |
| 5/XI/95 | 20:50 | 42240 | 7.76 | 0.19 | 3 | | |
| 5/XI/95 | 21:50 | 45840 | 7.75 | 0.18 | 3 | | |
| 5/XI/95 | 22:50 | 49440 | 7.74 | 0.17 | 3 | | |
| 5/XI/95 | 23:50 | 53040 | 7.73 | 0.16 | 3 | | |
| 6/XI/95 | 5:56 | 75000 | 7.70 | 0.13 | 2 | | |
| 6/XI/95 | 6:49 | 78180 | 7.70 | 0.13 | 2 | | |
| 6/XI/95 | 7:46 | 81780 | 7.71 | 0.12 | 2 | | |
| 6/XI/95 | 17:18 | | 7.60 | 0.12 | 2 | | |

* No existe gráfica de recuperación

POZO - 116



Los resultados obtenidos por los estudiantes que desarrollaron esta prueba de bombeo (FCT, 1995, grupo C) son los siguientes:

| | T (m²/s) | S | K (m/s) | Q (m³/s) |
|----------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| P - 114 | 4.11×10^{-3} | 1.15×10^{-3} | 3.15×10^{-4} | $8.3-8.7 \times 10^{-3}$ |
| P - 115 | 3.2×10^{-3} | 6.84×10^{-4} | 3.4×10^{-4} | $8.3-8.7 \times 10^{-3}$ |
| P - 116 | 4.67×10^{-4} | 5.17×10^{-4} | 3.4×10^{-5} | $8.3-8.7 \times 10^{-3}$ |

El caudal del acuífero se puede considerar constante ya que tiene muy pocas variaciones de 8.3×10^{-3} a 8.7×10^{-3} (8.3 a 8.7 l/s).

Los registros del grupo D, pertenecen al rancho El Pretexto, cerca del pie de la SMO, los valores obtenidos de estas pruebas de bombeo se muestran en la Tabla 8.

| Clave Del pozo | Localización | Fecha del bombeo | Duración (hrs) | Transmisividad T (m ² /s) | Coefficiente de Almacenamiento S | Caudal Q (m ³ /s) |
|----------------|--------------------|--------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Ppx - 1 | Rancho El Pretexto | 16 - 17 de Julio de 1998 | 12 | 8.41×10^{-5} | 0.014 | 3.10×10^{-3} |
| Ppx - 3 | Rancho El Pretexto | 16 de Julio de 1998 | 3 | — | — | 4.35×10^{-3} |
| Ppx - 4 | Rancho El Pretexto | 30 de Julio de 1998 | — | 4.5×10^{-5} | 4.66 | 17.5×10^{-3} |
| Ppx - 5 | Rancho El Pretexto | 18 de Julio de 1998 | 3 | — | — | 7×10^{-3} |
| Ppx - 6 | Rancho El Pretexto | 17 de Julio de 1998 | 10:30 | 9.13×10^{-5} | 0.15 | 8.24×10^{-3} |
| Ppx - 7 | Rancho El Pretexto | 30 de Julio de 1998 | 2:30 | 1.11×10^{-5} | 0.63 | 1.18×10^{-3} |

Tabla 8 recopilación de resultados de pruebas de bombeo realizadas en el Pretexto.

3.3.4.3 DISCUSIÓN SOBRE LOS VALORES DE LAS PRUEBAS DE AFORO Y DE BOMBEO TOMADOS DE LOS GRUPOS DE ARCHIVO A, B, C y D

Las pruebas de aforo y bombeo se han efectuado en pozos perforados atravesando lutitas, aluvi3n y aluvi3n con lutitas, as3 se pueden separar las caracter3sticas de los acuíferos de gravas y de grietas.

Para el acuífero de gravas, los aforos y bombeos (grupos A y B) se encuentran localizados en la parte derecha baja de la carta, donde se encuentran La Petaca y el ejido Guadalupe (Anexo5).

Los aforos del grupo de archivos A, definen las caracter3sticas de un acuífero de tipo semiconfinado, con lo que se puede deducir la presencia de una porosidad medianamente intercomunicada o la presencia de lentes limosos que dificultan el flujo del agua.

Con el ensayo de bombeo que se practic3 en la huerta La Japonesa (grupo C), se obtuvieron las propiedades del acuífero de gravas, aunque todos los pozos se han perforado atravesando el aluvi3n y la zona fracturada de la Fm. Méndez, por lo que las propiedades de un solo acuífero (gravas o grietas) no se pueden definir con rectitud.

En este ensayo se presentaron las siguientes caracter3sticas:

- a) El coeficiente de permeabilidad no var3 notablemente en los tres pozos de observaci3n, por lo que se puede considerar un tanto uniforme.
- b) La capacidad del acuífero para almacenar el agua se incrementa en el pozo 115 (este se encuentra en la parte central de una estructura denominada paleocanal, el cual presenta forma de "u", semejante a un arroyo relleno de gravas), mientras que en el pozo 114 el coeficiente de almacenamiento (S) es demasiado bajo, lo que podr3a indicar la presencia de una buena infiltraci3n y permeabilidad (poros interconectados que impiden la retenci3n del agua).
- c) La transmisividad tambi3n se refleja mejor en el pozo 115, siendo similar a la obtenida en el pozo 114, en el pozo 116 var3 abruptamente.
- d) Durante la prueba hubo ligeras variaciones en el caudal de los tres pozos, registrándose como un caudal constante, suficiente para cubrir las necesidades de la huerta.

En lo que respecta a las características del acuífero de grietas, los afloros y bombeos registrados en diferentes sitios del área (todos los sitios con excepción de La Morita 2 y 3, además de El Pretexto, Anexo 5), presentan gráficas de abatimiento con características de un acuífero semiconfinado. Según los registros obtenidos, La Morita (pozos 2 y 3) y el rancho El Pretexto muestran características de un acuífero libre. En la actualidad los pozos localizados en el ejido La Morita no existen, ya que se encuentran ubicados dentro del vaso de la presa Cerro Prieto.

Para el acuífero de grietas se han registrado valores de caudal desde nulo (abatimiento del pozo antes de concluir la prueba de aforo) hasta 70 l/s (pozo Guadalupe No. 1), indicando una gran desproporción de la capacidad de flujo en el acuífero.

Los valores de transmisividad de las pruebas de bombeo del rancho El Pretexto (grupo D), se mantienen con pocas variaciones, en comparación de la obtenida en el pozo de la FCT (grupo B).

El coeficiente de almacenamiento es mayor en El Pretexto que en las demás pruebas, obteniendo la capacidad de almacenaje que presenta el acuífero de grietas con respecto al acuífero de poros, esto puede deberse a la diferencia de volumen libre que se presenta en los dos acuíferos, siendo mayor el de grietas.

El coeficiente de permeabilidad no se obtuvo en las pruebas, solo se registró la del ejido Guadalupe obteniendo valores demasiado bajos.

En ocasiones, el estudio del comportamiento de un acuífero es muy complicado. Se debe especificar que en algunos sitios de aforo o bombeo, los acuíferos de poros y grietas se pueden encontrar intercomunicados alterando las características de uno o del otro.

Existen algunos aspectos que complicaron la elaboración de los ensayos en El Pretexto, alterando un poco los resultados, o bien proporcionando valores parciales de los mismos. Los problemas para las pruebas de bombeo se pueden explicar para los pozos respectivos siguientes (ver tabla 8):

Pozo PAP - 1: la prueba de bombeo no cumplió con los requisitos para denominarse como tal, ya que el tiempo no es suficientemente prolongado como para establecer los parámetros de T y S.

Pozo Ppx - 1: en esta prueba de bombeo el pozo mantuvo los caudales de extracción constantes desde 2.73 hasta 2.92 l/s, después se incremento a 3.10 l/s, después de 12 horas, la descarga comenzó a boquear, indicando que el nivel de agua llegó al nivel de la bomba.

Pozo Ppx - 3: los valores obtenidos de esta prueba no se pudieron registrar, solo se tiene el registro del caudal de producción.

Pozo Ppx - 4: la prueba de bombeo se inicio con una apertura de la válvula del 20%, lo que mantuvo un caudal de descarga constante de 14.80 l/s, después de 1:45 hrs. comenzó a boquear. Después se abrió la válvula al 100% para determinar el caudal de producción solo que se hizo con la descarga intermitente.

Pozo Ppx - 5: en este pozo no fué posible efectuar una prueba continúa de bombeo, ya que el piezómetro instalado solo llegó hasta 25.50 m de profundidad debido al estrecho espacio entre el ademe y la tubería de la bomba, por lo que durante su instalación se atoró. El pozo alcanzó un caudal de prueba de 2.5 l/s durante 3 hrs, después de este tiempo la profundidad del nivel de agua llegó a la parte inferior del piezómetro impidiendo continuar con el registro de la prueba.

Pozo Ppx - 6: esta prueba se realizó después de 12 horas de extracción continua de agua utilizada para riego, la prueba se comenzó con una profundidad del nivel freático de 23.54 m y con un caudal de prueba de 2.25 l/s.

Pozo Ppx - 7: se elaboró iniciando el aforo con la válvula abierta para un caudal de 2.04 l/s, dando como resultado un rápido descenso del nivel freático, el pozo comenzó a boquear lo que provocó la suspensión de la prueba de bombeo. El caudal fué el resultado del promedio de los valores obtenidos durante la descarga.

En base a la geología estructural del área de estudio, donde se presentan planos de fracturamiento de tipo "ac" y "bc" y en base a los caudales registrados en las pruebas de aforo y de bombeo, se puede diferenciar en la zona un acuífero principal (de grietas), cuya

recarga se encuentra en la misma región, además en la SMO. El agua fluye a través de las fracturas y su caudal depende de las características del acuífero.

La variación de caudal en el área de estudio, puede observarse hasta en unos cuantos metros de distancia (fracturas cercanas), puede deberse a las características de confinamiento: grado de fracturamiento, fracturas rellenas, disposición de estructuras anticlinales y sinclinales, fallas, entre otras; con esto el análisis de un acuífero de grietas se vuelve complicado y puede ser interpretado de distintas maneras.

El acuífero de grietas en algunos puntos alimenta al acuífero de poros ya que se encuentra subyacente al mismo; con el incremento del nivel freático en las lutitas fracturadas pueden ocurrir ciertos sucesos:

- El agua aflora en la superficie formando un manantial.
- En caso de presentar una cubierta de unidades Cenozóicas (aluvión o conglomerado), el agua puede conectarse con el acuífero de poros.
- Si la porosidad de la cubierta Cenozóica se encuentra poco intercomunicada entre sí, entonces se produciría un confinamiento o semiconfinamiento del acuífero de grietas.
- En el caso contrario, el agua subterránea formaría parte de los dos sistemas acuíferos, pero como la litología siempre es heterogénea, en algún sitio del acuífero de poros, el confinamiento debe incrementarse.
- Con la presencia de capas o lentes arcillosos, el agua que se encuentra en ambos acuíferos se puede separar (formando dos acuíferos con propiedades totalmente ajenas uno del otro, por ejemplo, un acuífero de poros del tipo libre que tiene como base un gran lente impermeable de arcilla, mientras que debajo de él se encuentra un acuífero de grietas y algo de gravas de tipo confinado, resultado de la capa arcillosa).

El acuífero de poros además de ser alimentado por el acuífero de grietas, también recibe agua de precipitación fluvial.

3.3.5 DISCUSION HIDROGEOLÓGICA GENERAL

Con los resultados de la carta piezométrica, las pruebas de bombeo y de aforo y con el apoyo de la documentación elaborada se han definido tres zonas de factibilidad para la explotación del agua subterránea:

1. La primera se encuentra en el frente de la Sierra Madre Oriental, específicamente en la entrada al cañón del Río Hualahuises, tratando de encontrar fracturas de tipo "bc" rellenas de calcita, que puedan servir como una barrera geológica para el flujo del agua subterránea.

Las pruebas de bombeo elaboradas en El Pretexto (cercano a la sierra), no revelan importantes caudales de flujo del agua, el más alto registrado es de $17.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. A pesar de esto, las zonas que poseen fracturas rellenas de calcita son favorables para la explotación de caudales con mayor flujo.

2. El segundo sitio propuesto es en los alrededores del rancho El Sotolar, ya que es una zona poco explotada y existe la influencia lateral del Río Potosí-Cabezones, que puede actuar sobre el acuífero dotando un caudal más productivo que en otras partes.

El Río Potosí-Cabezones, después del Río Pablillo-Camacho, es la segunda fuente de mayor escurrimiento superficial en el área (ver tabla 2), la Comisión Nacional del Agua (1991) registra un escurrimiento medio anual de entre 66.90 mm^3 (estación Buenavista en Linares) hasta de $101.06 \text{ mm}^3/\text{año}$ en la estación Cabezones de Montemorelos. Además este escurrimiento superficial no interfiere con ninguna obra hidráulica construída (presas o represas), en este caso la presa Cerro Prieto.

Las zonas de mayor interés en este lugar son los meandros del río, que se encuentran entre el rancho El Sotolar y la carretera federal No. 85. En este tipo de morfología de los ríos, el agua suele ser intercambiada con el agua del acuífero, a través de las grietas o depósitos aluviales acumulados por el mismo río en los meandros (acuífero de poros).

En este caso, la explotación tendría que ser estrictamente moderada, con el fin de no alterar demasiado el flujo del agua superficial corriente abajo y así no dañar el ecosistema del río.

3. La tercer zona se encuentra hacia el Noreste de la ciudad de Linares, en las inmediaciones de los ejidos Río Verde, El Refugio, La Escondida y El Alamillo, que también se encuentran en las cercanías del vaso de la presa Cerro Prieto (Anexo 6). En estos lugares se han documentado caudales elevados, de 68.4 l/s (pozo Río Verde) hasta de 70.6 l/s en el pozo Guadalupe 1 (ver tabla 7, Anexo 5).

Toda esta zona conforma las cuencas de los ríos Pablillo, Hualahuises y Camacho, los grandes caudales registrados pueden ser producto de varias causas:

- a) Similar a lo explicado en el segundo sitio, por intercambio subterráneo del agua, en este caso, entre los ríos Pablillo y Hualahuises. En esta zona existe un gran depósito aluvial que en algunas partes se presenta como conglomerado (Anexo 1), este depósito puede funcionar como un importante acuífero de poros, en el cual puede existir aportación de agua de los ríos Pablillo, Hualahuises y Camacho propiciando potentes caudales. Además el acuífero de poros puede intercambiar agua con el acuífero de grietas.
- b) El caudal de flujo del agua puede aumentar debido a numerosas fracturas que, aunque no se observan debido a la cubierta cenozóica presente, pueden existir como en los alrededores de la presa Cerro Prieto donde existen afloramientos de las Formaciones geológicas San Felipe y Méndez (Anexos 1 y 3). Estas fracturas pueden tener relación con la influencia de los ríos de los alrededores, formando caudales suficientemente productivos.

4 HIDROGEOQUÍMICA

4.1 INTRODUCCIÓN

Una vez que se han definido los sitios con mayor factibilidad para la explotación del agua subterránea, es preciso efectuar por lo menos un análisis físico-químico con el fin de determinar la calidad del agua; en este estudio solo se elaboró un muestreo hidrogeoquímico en cada punto con la única finalidad de demostrar la potabilidad del agua con respecto a la Norma Oficial Mexicana *nom-127-ssal-1994*, expedida por la Secretaría de Salud.

La hidrogeoquímica es la ciencia que se encarga de estudiar el comportamiento químico de las aguas subterráneas. Las investigaciones hidrogeoquímicas proporcionan conocimientos acerca del origen de las aguas subterráneas y ayudan a entender el funcionamiento de sistemas de flujo de las mismas. Algunos constituyentes o especies químicas determinadas pueden indicar la presencia de yacimientos minerales escondidos (WERNER, 1996).

La ciencia que se ocupa del estudio de las alteraciones de la calidad química de las aguas subterráneas, causadas por actividades del hombre (contaminaciones, cargas antropogénicas), es conocida como Hidrogeología Aplicada o Hidrogeología Ambiental (WERNER, 1996).

El agua se compone por diversas concentraciones de sustancias sólidas disueltas, las cuales son agregadas a ésta cuando se encuentra fluyendo a través de un medio rocoso. La composición del agua puede ser muy variada, puede ser mineralizada obteniendo las características químicas de las rocas en las que se mueve ya sea de manera superficial o subterránea.

La concentración de las sustancias disueltas en el agua por naturaleza depende de varios factores (WERNER, 1996):

a) temperatura del agua

La disolución es mayor cuando la temperatura se incrementa, aunque existe una excepción que es la disolución de los carbonatos y las sales.

b) solubilidad de los minerales

La disolución de los minerales varía de acuerdo a las características propias de cada mineral, por ejemplo el sulfato de calcio (yeso) es más soluble que el carbonato de calcio (caliza).

c) tiempo de contacto entre agua y roca

El tiempo de contacto depende principalmente de la velocidad de flujo del agua subterránea, entonces existe un rango de entre pocas horas y miles de años (agua fósil).

d) superficie del contacto

La superficie de contacto entre agua y roca depende de la porosidad del medio rocoso.

e) Concentración de sustancias ya disueltas

Esta se representa por el grado de saturación del agua, para poder disolver una sustancia la solución debe estar subsaturada, de lo contrario no ésta sería posible.

f) condiciones de potencial de hidrógeno (pH)

El pH influye en la disolución de Hierro, la cual aumenta cuando el pH disminuye.

g) potencial redox

Esto influye en los metales pesados ya que se disuelven mejor bajo condiciones reductoras.

Para poder estudiar las características químicas o concentración de sustancias disueltas en el agua, es necesario hacer análisis Físico-químicos.

Además de los compuestos minerales del agua, también se puede presentar una alteración en su composición debido a agentes contaminantes, que en su mayoría son producidos por el hombre, tales como desechos industriales, fertilizantes, basureros y desechos de plantas de tratamiento de aguas residuales construídos en sitios inapropiados.

Para el estudio del agua bajo condiciones de los contaminantes mencionados en el párrafo anterior, es preciso realizar análisis bacteriológicos.

4.2 ANÁLISIS QUÍMICO Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para establecer una clasificación del agua es necesario efectuar análisis químicos, mediante los cuales se debe obtener los valores de: alcalinidad (iones de carbonato y bicarbonato), durezas (Calcio y Magnesio), cationes y aniones principales, % de sílice, O₂ y CO₂.

Existen algunas normas para establecer el control de calidad del agua potable, esto se realiza mediante métodos analíticos estandarizados. La evaluación de los parámetros químicos del agua se efectúa en diagramas ya establecidos, obteniendo familias o grupos de aguas para su posterior clasificación. Se han desarrollado diferentes sistemas de diagramas, así como: el de PIPER, SCHOELLER, TICKEL y OSANN; el más utilizado es el diagrama de PIPER, el cual presenta las relaciones entre los iones de los elementos.

La muestra de agua que debe ser analizada tiene que presentar las propiedades químicas del agua en el acuífero, sin presentar ninguna alteración. No obstante, la muestra sufre cambios físicos y químicos en el trayecto del lugar de muestreo al laboratorio, por lo que es necesario reducirlos a un mínimo inevitable (WERNER, 1996).

En lo que respecta a la clasificación del agua subterránea, esta se puede dividir en varios tipos de clasificaciones, de acuerdo a diferentes factores que pueden alterar la composición química del agua, estas clasificaciones son las siguientes:

- *Clasificación por su contenido de sal* (DAVIS & DE WIEST, 1971):

| | |
|--------------|---------------------------------------|
| Agua dulce | 0 - 1,000 mg/l Cl ⁻ |
| Agua salobre | 1,000 - 10,000 mg/l Cl ⁻ |
| Agua salada | 10,000 - 100,000 mg/l Cl ⁻ |
| Salmueras | > 100,000 mg/l Cl ⁻ |

- *Clasificación por sustancias sólidas disueltas* (WERNER, 1996):

Agua potable < 1,000 mg/l total de sólidos disueltos (TSD)

Agua mineral > 1,000 mg/l TSD

- *Clasificación por tipos aniónicos* (WERNER, 1996):

a) Agua bicarbonatada: se encuentran en acuíferos cársticos de calizas y dolomías, en algunas rocas ígneas y metamórficas básicas.

b) Agua sulfatada: localizada en acuíferos donde existe contacto con evaporitas, como yeso o anhidrita.

c) Agua clorurada: se encuentra en acuíferos que están en contacto con evaporitas halíticas (cuerpos de sal), con intrusiones de agua de mar o con aguas fósiles.

- *Clasificación por dureza* (WERNER, 1996):

a) Aguas duras (aguas gordas): agua con alta concentración de Calcio y Magnesio.

b) Aguas suaves (aguas delgadas): agua con baja concentración de Calcio y Magnesio.

Para esta clasificación se utiliza la dureza total de Calcio (concentración de Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}).

En base al total de sólidos disueltos en el agua se pueden establecer criterios de su calidad según diferentes usos (Tabla 9).

| | Bebida | Usos domésticos | | Riego | | Refrigeración | Calderas | |
|------------------------|--------|-----------------|-------|-------|-------|---------------|--------------|--------------|
| | | Buena | Baja | Buena | Baja | | Alta presión | Baja presión |
| Antimonio | 0.05 | --- | --- | --- | --- | 0.05 | --- | --- |
| Arsénico | 0.05 | --- | --- | --- | --- | 0.05 | --- | --- |
| Bario | 1.0 | --- | --- | --- | --- | 1.0 | --- | --- |
| Bicarbonato | 500 | 150 | 500 | 200 | 500 | 300 | 5 | 50 |
| Boro | 20 | --- | --- | 0.3 | 3.0 | --- | --- | --- |
| Cadmio | 0.01 | --- | --- | --- | --- | 0.01 | --- | --- |
| Calcio | 200 | 40 | 100 | --- | --- | 80 | 1 | 40 |
| Cloruro | 250 | --- | --- | 100 | 300 | 300 | --- | --- |
| Cromo | 0.05 | --- | --- | --- | --- | 0.05 | --- | --- |
| Cobre | 1.0 | 0.5 | 3.0 | --- | --- | 3.0 | --- | --- |
| Cianuro | 0.2 | --- | --- | --- | --- | 0.2 | --- | --- |
| Fluoruro | 1.5 | --- | --- | --- | --- | 1.5 | --- | --- |
| Fluoruro de Hidrógeno | 1.0 | 0.05 | 2.0 | --- | --- | 0.5 | 0 | 5 |
| Hierro | 1.0 | 0.2 | 0.5 | --- | --- | 0.2 | --- | --- |
| Plomo | 0.05 | --- | --- | --- | --- | 0.05 | --- | --- |
| Magnesio | 125 | 20 | 100 | --- | --- | 40 | 1 | 20 |
| Manganeso | 0.05 | 0.05 | 0.3 | --- | --- | 0.1 | --- | --- |
| Nitrato | 20 | --- | --- | --- | --- | 20 | --- | --- |
| Fenol | 0.001 | --- | --- | --- | --- | 0.001 | --- | --- |
| Selenio | 0.01 | --- | --- | --- | --- | 0.01 | --- | --- |
| Sílice | --- | 10 | 50 | --- | --- | 50 | 1 | 30 |
| Plata | 0.05 | --- | --- | --- | --- | 0.05 | --- | --- |
| Sodio | 200 | 100 | 300 | 50 | 300 | 300 | --- | 50 |
| Sulfato | 250 | 100 | 300 | 200 | 500 | --- | --- | --- |
| Detergentes sintéticos | 0.5 | 0.2 | 1.0 | --- | --- | 0.5 | 0 | 0 |
| Zinc | 5 | --- | --- | --- | --- | 5 | --- | --- |
| TSD | 1.500 | 300 | 2.000 | 500 | 3.000 | 1.000 | 100 | 2.000 |

Tabla 9 Criterios de calidad del agua según diferentes usos, las concentraciones máximas recomendadas son expresados en partes por millón (ppm), (DAVIS & DE WIEST, 1971).

4.3 PRINCIPALES SUSTANCIAS DISUELTAS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SU ORIGEN

Los principales constituyentes químicos del agua subterránea son, en su mayoría, sólidos disueltos, aunque también existen gases disueltos como oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, metano, entre otros.

4.3.1 TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS (TSD)

Este es el residuo seco después que el agua es evaporada a una temperatura de 110 °C. No es lo mismo que el total de sustancias disueltas, debido a que en esta última se encuentran presentes gases y algunos elementos son alterados (WERNER, 1996).

El total de sólidos disueltos presenta un rango de concentraciones: < 10 mg/l en agua de lluvia hasta 300,000 mg/l en salmueras.

Los sólidos disueltos se pueden dividir de la siguiente manera (WERNER, 1996):

Constituyentes principales (1.0 - 1000 mg/l):

CATIONES

Sodio

Calcio

Magnesio

Sílice

ANIONES

Bicarbonato

Sulfato

Cloruro

Constituyentes secundarios (0.01 - 10 mg/l):

CATIONES

Hierro

Potasio

Boro

ANIONES

Nitrato

Carbonato

Fluoruro

Constituyentes menores:

CATIONES

Estroncio

Litio

Mangano

Amonio

ANIONES

Fosfato

Nitrito

A continuación se presentan el origen y las características para cada uno de los principales componentes del agua subterránea (Tomado de WERNER, 1996).

4.3.1.1 ANIONES

a) Cloruro (Cl⁻)

Procedencia:

- componente menor en la corteza terrestre, proviene de la Sodalita, Apatito, Hornblenda, vidrio volcánico y micas.
- se encuentra en evaporitas, agua fósil, agua de lluvia y suelos basálticos.

Condiciones de disolución:

- todas las sales comprendidas por el Cl son altamente solubles.

Rango de concentraciones:

- de 0.1 a 150,000 mg/l.
- en regiones lluviosas < 30 mg/l.
- en regiones áridas > 1,000 mg/l.
- en agua de lluvia hasta 150 Km. de la costa es de 3 a 6 mg/l.
- en agua de lluvia de 150 a 800 Km. de la costa es de 0.3 mg/l.

b) Sulfato (SO₄⁻²)

Procedencia:

- el azufre se transforma en SO₄⁻² por oxidación, este proviene de emanaciones volcánicas, rocas cristalinas como constituyente menor, se encuentra en sedimentos como constituyente de piritita.
- se encuentra en evaporitas, suelos que contienen piritita y marcasita, agua de lluvia y polvo.

Condiciones de disolución:

- los sulfatos son altamente solubles con excepción del sulfato de bario.

Rango de concentraciones:

- en agua de lluvia 0.2 mg/l.
- en salmueras 100,000 mg/l.

c) Bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-})*Procedencia:*

- el bióxido de carbono (CO_2) procede de la atmósfera y de emanaciones volcánicas.
- el CO_2 se encuentra en el suelo por nutrición de las raíces de plantas.
- también se forma por el intemperismo de calizas, dolomías y rocas carbonatadas arcillosas.

Condiciones de disolución:

- el carbonato de calcio (CaCO_3) necesita el contacto con ácido carbónico libre (CO_2) para poder disolverse.

Rango de concentraciones:

- de 10 a 800 mg/l., pero es más común que se encuentre en concentraciones de 50 a 400 mg/l.

d) Nitrato (NO_3^-)*Procedencia:*

- es proveniente de rocas ígneas, se encuentra como pequeñas cantidades de amoníaco NH_3 o de nitrato soluble en la roca.
- la mayoría es de origen orgánico, debido a la descomposición de materia fecal y proteínas en amoníaco-nitrito-nitrato.

Condiciones de disolución:

- los nitratos son muy altamente solubles.

Rango de concentraciones:

- en agua subterránea sin contaminación es de 0.1 a 10 mg/l.
- en aguas altamente contaminadas es hasta < 1000 mg/l.

e) Sílice (Si)

Procedencia:

- rocas cristalinas, siendo el elemento más abundante sobre la corteza terrestre después del oxígeno, pero no es tan fácil de disolver.
- se encuentra en suelos de rocas silicatadas.

Condiciones de disolución:

- presenta baja solubilidad en agua, pero esta aumenta con el pH, el cual se encuentra en forma de ácido silícico.

Rango de concentraciones:

- es básicamente de 5 a 40 mg/l.
- en aguas termales es hasta 400 mg/l.

4.3.1.2 CATIONES

a) Calcio (Ca^{+2})*Procedencia:*

- minerales de rocas cristalinas como: Plagioclasas, Piroxenos, Anfíboles y Apatitos.
- se encuentra en sedimentos carbonatados como: calizas y dolomías; además en yeso y anhidrita, acuíferos cársticos y suelos de rocas básicas.

Condiciones de disolución:

- se disuelve por la presencia de ácido carbónico.

Rango de concentraciones:

- en agua pura es de 13 a 200 mg/l.
- en agua con CO_2 es de 200 a 300 mg/l.
- en salmueras hasta 50,000 mg/l.

b) Magnesio (Mg^{+2})*Procedencia:*

- producto de minerales de rocas cristalinas como: Olivino, Piroxeno, Biotita, Anfíboles, entre otros; principalmente se presentan en rocas básicas.
- se encuentra en sedimentos carbonatados como dolomías y calizas, principalmente se presenta en la dolomita, en la calcita se encuentra con menor concentración.

Condiciones de disolución:

- es más soluble que el Calcio, aunque se disuelve mediante el mismo proceso.

Rango de concentraciones:

- comúnmente la concentración es de 1 a 40 mg/l.
- en acuíferos de rocas ricas en Mg es hasta de 100 mg/l.

c) Sodio (Na^+)*Procedencia:*

- proviene de la alteración de minerales de rocas cristalinas como: Albita y Nefelinas, pero el sodio no es uno de los elementos principales que forman a estos minerales.
- se encuentra en rocas evaporíticas (Halita) y arcillas de sedimentos marinos.

Condiciones de disolución:

- su solubilidad es muy alta, por lo que se concentra en el mar y en cuencas desérticas.

Rango de concentraciones:

- en agua de lluvia 0.2 mg/l.
- en salmueras 100,000 mg/l.
- en aguas subterráneas de baja concentración es de 1 a 20 mg/l.
- en aguas minerales cloruradas es > 1000 mg/l.

d) Potasio (K^+)*Procedencia:*

- su origen es de minerales de rocas cristalinas como: Ortoclasa, Biotita y Leucita, entre otras.
- se encuentra en evaporitas (Silvina) y suelos arcillosos.

Condiciones de disolución:

- el potasio es altamente soluble, pero se encuentra en una relación de 1 a 10 en comparación con el sodio a pesar de que es muy abundante, esto se debe a la firme estabilización en la estructura de las arcillas.

Rango de concentraciones:

- contiene el mismo orden de magnitud que el sodio, aunque la mayoría de las aguas subterráneas contienen < 10 mg/l.

4.3.1.3 CONSTITUYENTES MENORES

a) Hierro (Fe^{+2} , Fe^{+3}) y manganeso (Mn^{+2} , Mn^{+4})*Procedencia:*

- de minerales como: Magnetita, Pirita, Biotita, Piroxenos, Anfíboles y Granates.
- se encuentra en suelos que contienen estos minerales diseminados, o también en acuíferos con la presencia de éstos.

Condiciones de disolución:

- estos se encuentran en función del pH, si el pH es normal, los constituyentes presentan una baja solubilidad, pero si el pH es bajo, la solubilidad se incrementa.

Rango de concentraciones:

- cuando la concentración es elevada, es de 0.1 a 1 mg/l.
- la concentración del Mn en el agua subterránea es menor que la concentración de Fe.

b) Fluoruro (F)

Procedencia:

- este tiene un origen mineralógico, que es el de la Fluorita.

Condiciones de disolución:

- los compuestos de fluoruros presentan una baja solubilidad, por lo que la concentración es reducida.

Rango de concentraciones:

- básicamente es de 0.01 mg/l.
- concentraciones elevadas se encuentran en agua subterránea que esta en contacto con vetas de fluorita.

c) Boro (B)

Procedencia:

- se encuentra en algunas turmalinas

Condiciones de disolución:

- es disuelto como ácido bórico, el cual es muy débil. Es muy soluble en agua caliente, pero más resistente en agua fría.

Rango de concentraciones:

- generalmente es de 0.01 a 1 mg/l.
- en aguas termales y salmueras es de 10 a 100 mg/l.

4.3.2 GASES DISUELTOS

El oxígeno y el bióxido de carbono son los gases más importantes en los procesos químicos del agua subterránea ya que son capaces de alterar altamente su composición, por lo que un análisis fisico-químico completo debe comprender, como mínimo, el estudio de éstos (DAVIS & DE WIEST, 1971).

Algunos de los gases solubles en el agua subterránea presentan las siguientes características (WERNER, 1996):

a) Oxígeno (O₂)*Procedencia:*

- se mezcla con aguas de lluvia, infiltrándose en el suelo alcanzando el acuífero.

Condiciones de disolución:

- es demasiado soluble.

Rango de concentraciones:

- aguas subterráneas ricas en O₂ generalmente presentan concentraciones de 5 mg/l.
- el oxígeno puede ser consumido total o parcialmente en el agua por procesos de oxidación, de materia orgánica o de pirita.

b) Bióxido de carbono (CO₂)*Procedencia:*

- uno de sus orígenes son las aguas juveniles, ascendiendo de grandes profundidades.
- es tomado del medio ambiente por el agua de lluvia o se presenta por la producción vegetal en los suelos.

Condiciones de disolución:

- al igual que el oxígeno, es altamente soluble.
- como se mencionó con anterioridad, es de gran importancia para la disolución de los carbonatos.

Rango de concentraciones:

- generalmente es de 1 a 100 mg/l.
- en aguas ácidas de alta mineralización (sistemas de flujo profundos) es > 1000 mg/l.

c) Nitrógeno (N₂)*Procedencia:*

- al igual que el oxígeno, el nitrógeno es tomado del medio ambiente por aguas de lluvia, se infiltra alimentando al acuífero.

Condiciones de disolución:

- es muy soluble.

Rango de concentraciones:

- Es un gas muy inerte, se puede enriquecer en aguas profundas debido al consumo del oxígeno, por lo que los gases disueltos que se encuentran en aguas reducidas (falta de O₂), pueden contener hasta un 97 % de nitrógeno.

d) Sulfuro de hidrógeno (H₂S)*Procedencia:*

- se forma por la reducción de sulfatos debido a la escasez de oxígeno. Por consecuencia, se encuentran en aguas subterráneas profundas con un ambiente de reducción.

e) Metano (CH₄)*Procedencia:*

- se encuentra en las cercanías de yacimientos de hidrocarburos, su concentración es alta.

d) Gases nobles

- su concentración en aguas subterráneas dependen casi totalmente de las condiciones de presión y temperatura de la zona de recarga.

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS EN EL ÁREA

Además de los resultados de los tres análisis químicos efectuados, se recopilaron importantes datos fisico-químicos elaborados con anterioridad. Junto con las pruebas de aforo que se efectuaron durante los años 1978 y 1981 y que se encuentran registradas en este trabajo, también se elaboraron análisis químicos en algunos de los pozos (Tabla 10).

La nomenclatura y unidades de medición de los valores obtenidos en los análisis de la tabla 10 son los siguientes:

| | | |
|---|---|------------------------------------|
| Micromhos/cm | } | CE - Conductividad eléctrica. |
| | | Ca - Calcio. |
| | | Mg - Magnesio. |
| | | Na - Sodio. |
| | | K - Potasio. |
| | | CO ₃ - Carbonatos. |
| | | HCO ₃ - Bicarbonatos. |
| | | Cl - Cloruros. |
| | | SO ₄ - Sulfatos. |
| | | SE - Salinidad efectiva. |
| | | SP - Salinidad potencial. |
| | | SR - Carbonato de sodio residual. |
| | | PSP - Por ciento de sodio posible. |
| me/l | | |
| Los pozos marcados (*) presentan diferentes unidades de medición: | | |
| mg/l | | |

Existen otros análisis elaborados por Riecke y Drescher en el año 1995, que son registrados en la tabla 11. La clave de los aprovechamientos es tomada del mismo trabajo de investigación, los valores se encuentran en miliequivalentes por litro (meq/l) y en miligramos por litro (mg/l). Estos aprovechamientos se encuentran localizados en el corredor Linares-Hualahuises, dentro de las coordenadas 24° 55'N/99° 30'W y 24° 50'N/99° 40'W.

| Localidad | Fecha de Análisis | pH | CE | Ca | Mg | Na | K | CO ₃ | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | SE | SP | CSR | PSP |
|-----------------|-------------------|------|------|-------|-----|------|-----|-----------------|------------------|------|-----------------|------|------|-----|-------|
| San Felipe | 28/11/78 | 7.1 | 1380 | 10.3 | 2.2 | 1.3 | --- | 0 | 7.2 | 5.45 | 0.2 | 5.1 | 5.55 | 0 | 25.49 |
| Zapata (1) | 04/10/79 | 7.2 | 1125 | 5.5 | 0.8 | 4.95 | 0 | 0 | 5.6 | 2.05 | 0.6 | 5.65 | 2.35 | 0 | 87 |
| Río Verde (1) | 21/11/79 | 7.5 | 1000 | 6 | 1 | 3 | --- | 0 | 4 | 2.1 | 0.7 | 5.3 | 2.45 | 0 | 56 |
| Río Verde (2) | 07/11/79 | 7.2 | 900 | 5.8 | 0.5 | 2.7 | --- | 0 | 4.2 | 1.8 | 1.4 | 3.4 | 2.5 | 0 | 79 |
| La Loma (1) | 07/01/80 | 6.9 | 438 | 3 | 1 | 0.38 | --- | 0 | 1.8 | 1.25 | 0.3 | 2.28 | --- | --- | --- |
| La Morita (1) | 10/12/79 | 7.2 | 1250 | 10.1 | 1.3 | 1.1 | --- | 0 | 3.8 | 2.35 | 1 | 7.7 | 2.85 | 0 | 14 |
| La Loma (2) | 02/80 | 7.2 | 925 | 6.4 | 0.5 | 2.15 | --- | 0.1 | 3.2 | 1.6 | 0.6 | 5.25 | 1.9 | 0 | 40 |
| La Morita(2) | 17/10/80 | 7.5 | 1250 | 9.6 | 0 | 2.9 | --- | 0 | 4 | 1.75 | 2.8 | 5.7 | 3.15 | 0 | 50 |
| *La Morita (3) | 06/11/80 | 7.63 | 936 | 273.7 | --- | --- | --- | --- | --- | 65.7 | 314 | --- | --- | --- | --- |
| * La Petaca (1) | 22/06/82 | 8.1 | --- | 221.3 | --- | --- | --- | --- | --- | 16 | --- | --- | --- | --- | --- |
| * La Petaca (2) | 16/07/82 | 7.75 | --- | 246.7 | --- | --- | --- | --- | --- | 4 | 9 | --- | --- | --- | --- |

Tabla 10 Registro de análisis químicos elaborados junto con las pruebas de aforo durante el período de años 78 - 82 (Tomado de SARH, 1982).

| Clave | Na | | K | | Mg | | Ca | | Cl | | SO ₄ | | NO ₃ | | HCO ₃ | |
|----------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|------------------|-------|
| | mg/l | Meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l |
| | 35.5 | 1.54 | 0.4 | 0.01 | 8.3 | 0.68 | 104 | 5.19 | 10.4 | 0.29 | 42 | 0.87 | 77.5 | 1.98 | 312.9 | 5.12 |
| P57 | 47.3 | 2.05 | 0.3 | 0.007 | 6.8 | 0.55 | 104 | 5.19 | 1109 | 0.33 | 47.3 | 0.98 | 70.9 | 1.81 | 321.3 | 5.26 |
| P21 | 59 | 2.56 | 0.6 | 0.015 | 7.2 | 0.59 | 120.6 | 6.01 | 18 | 0.5 | 79.4 | 1.65 | 70.9 | 1.81 | 357.9 | 5.86 |
| N52 | 57 | 2.49 | 0.7 | 0.018 | 5.5 | 0.45 | 133.9 | 6.68 | 36.6 | 1.03 | 118.1 | 2.45 | 106.3 | 2.72 | 329.6 | 5.4 |
| P80 | 51.5 | 2.24 | 0.7 | 0.018 | 15.7 | 1.29 | 144.8 | 7.22 | 9.4 | 0.26 | 238.3 | 4.96 | 128.4 | 3.29 | 252.3 | 4.13 |
| P22 | 55.3 | 2.40 | 0.6 | 0.015 | 6.9 | 0.56 | 114.8 | 5.72 | 28.2 | 0.79 | 112.4 | 2.34 | 101.9 | 2.61 | 329.6 | 5.4 |
| WP7 | 82 | 3.56 | 0.8 | 0.02 | 17 | 1.39 | 225.5 | 11.26 | 106.1 | 2.99 | 183.6 | 3.82 | 95.2 | 2.44 | 361.7 | 5.92 |
| WP8 | 43.5 | 1.89 | 0.6 | 0.015 | 4.9 | 0.4 | 120.4 | 6.008 | 19.8 | 0.55 | 103.7 | 2.15 | 79.7 | 2.04 | 268.9 | 4.4 |
| WP9 | 65 | 2.82 | 0.7 | 0.018 | 4.5 | 0.37 | 128 | 6.38 | 29.4 | 0.82 | 140.4 | 2.92 | 51 | 1.3 | 307 | 5.03 |
| WP10 | 35.3 | 1.53 | 0.4 | 0.01 | 16.2 | 1.33 | 14.5 | 5.71 | 11.4 | 0.32 | 98 | 2.04 | 79.7 | 2.04 | 265.3 | 4.34 |
| WP11 | 4.78 | 2.07 | 0.6 | 0.015 | 12.5 | 1.02 | 110.3 | 5.5 | 21.3 | 0.601 | 138.7 | 2.88 | 75.3 | 1.93 | 270.1 | 4.42 |
| WP12 | 53.8 | 2.34 | 0.6 | 0.015 | 13.6 | 1.11 | 106.1 | 5.29 | 32.2 | 0.9 | 122.7 | 2.55 | 57.6 | 1.74 | 240.6 | 3.94 |
| WP13 | 39.9 | 1.73 | 1.8 | 0.046 | 14.3 | 1.17 | 146.5 | 7.31 | 62 | 1.74 | 141 | 2.93 | 50 | 1.28 | 345.2 | 5.65 |
| WP14 | 34.1 | 1.48 | 2.5 | 0.06 | 13 | 1.07 | 163.4 | 8.15 | 75 | 2.11 | 115 | 2.39 | 80.5 | 2.06 | 330.7 | 5.42 |
| WP15 | 17.9 | 0.77 | 1.3 | 0.033 | 8.4 | 0.69 | 117 | 5.83 | 58.5 | 1.65 | 69 | 1.43 | 26 | 0.66 | 306.6 | 5.02 |
| WP16 | 39.4 | 1.71 | 0.9 | 0.023 | 42 | 3.45 | 163 | 8.13 | 14.9 | 0.42 | 403.2 | 8.39 | 50 | 1.28 | 314.5 | 5.15 |
| WP17 | 15.8 | 0.68 | 0.6 | 0.015 | 13.2 | 1.08 | 115.8 | 5.77 | 15.4 | 0.43 | 72.4 | 1.5 | 46.9 | 1.2 | 326.1 | 5.34 |
| ECCSA | 25.8 | 1.12 | 2.1 | 0.054 | 10.7 | 0.082 | 200.2 | 9.99 | 40.2 | 1.13 | 298.7 | 6.21 | 57.6 | 1.47 | 257.7 | 4.22 |
| PETACA 1 | 86.2 | 3.74 | 1.5 | 0.038 | 9.3 | 0.76 | 156 | 7.78 | 42.8 | 1.2 | 256.8 | 5.34 | 46.5 | 1.19 | 195.2 | 3.19 |
| PETACA 2 | 22.7 | 0.98 | 1.3 | 0.033 | 8.1 | 0.66 | 146.8 | 7.32 | 32.3 | 0.91 | 232.9 | 4.84 | 23.9 | 0.61 | 184.7 | 3.02 |

Continuación

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| PETACA 3 | 28 | 1.21 | 1.5 | 0.038 | 11.2 | 0.92 | 168.9 | 8.42 | 53.9 | 1.52 | 214 | 4.45 | 64.21 | 1.64 | 211.2 | 3.46 |
| RÍO VERDE | 28.6 | 1.24 | 0.9 | 0.023 | 16 | 1.31 | 293.9 | 14.66 | 44.5 | 1.25 | 507.8 | 10.57 | 48.7 | 1.24 | 175.7 | 2.87 |
| PROVILEÓN | 22.7 | 0.98 | 1.7 | 0.043 | 9.3 | 0.76 | 168.9 | 8.42 | 34.2 | 0.96 | 253.9 | 5.28 | 27.5 | 0.7 | 208.2 | 3.41 |
| RASTRO | 26.6 | 1.15 | 1.9 | 0.049 | 10.2 | 0.83 | 197.8 | 9.87 | 39.5 | 1.11 | 285.6 | 5.94 | 50.9 | 1.3 | 250 | 4.09 |
| TEPEYAC | 66.5 | 2.89 | 1.9 | 0.049 | 27.2 | --- | 265.9 | 13.26 | 216.6 | 6.1 | 264.2 | 5.5 | 152.8 | 3.91 | 275.2 | 4.51 |
| VILLASECA 1 | 32.5 | 1.41 | 1.1 | 0.028 | 13.8 | 1.13 | 183 | 9.13 | 62.2 | 1.75 | 243.6 | 5.07 | 59.8 | 1.53 | 232.2 | 3.8 |
| VILLASECA 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.2 | 0.51 | 159.3 | 7.94 | 28.9 | 0.81 | 256.8 | 5.34 | 11.1 | 0.28 | 182 | 2.98 |
| VILLASECA 3 | 23.6 | 1.02 | 1 | 0.026 | 10.9 | 0.89 | 179 | 8.93 | 48.3 | 1.36 | 224.7 | 4.67 | 62 | 1.58 | 223.2 | 3.65 |
| AMARILLO 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0.65 | 135.8 | 6.77 | 25.4 | 0.71 | 221.8 | 4.61 | 10.9 | 0.27 | 156.1 | 2.55 |
| AMARILLO 2 | 18.9 | 0.82 | 1.1 | 0.028 | 7.7 | 0.63 | 137.9 | 6.88 | 26.9 | 0.75 | 226.7 | 4.72 | 10.2 | 0.26 | 154.1 | 2.52 |
| EL ARCO | 51.25 | 2.22 | 0.02 | 0.001 | 9.48 | 0.78 | 215.5 | 10.74 | 46.44 | 1.31 | 319 | 6.64 | 84.14 | 2.15 | 322.6 | 5.28 |
| SAN PABLO | 71.25 | 3.09 | 0.5 | 0.013 | 25.16 | 2.07 | 122.9 | 6.13 | 56.9 | 1.6 | 69.97 | 1.45 | 119.5 | 3.06 | 276.9 | 4.53 |
| SAN FCO. | 22.7 | 0.98 | 1.93 | 0.049 | 11.53 | 0.94 | 497.3 | 24.81 | 514.5 | 14.51 | 619 | 12.88 | 159.4 | 4.08 | 381.4 | 6.25 |
| SAN JOAQUÍN | 81 | 3.52 | 0.74 | 0.019 | 11.31 | 0.93 | 147.3 | 7.35 | 63.12 | 1.78 | 125.1 | 2.6 | 95.21 | 2.44 | 411.4 | 6.74 |
| LAS VEGAS | 43.5 | 1.89 | 1.18 | 0.03 | 0 | 0 | 128.8 | 6.42 | 36.46 | 1.02 | 158.8 | 3.3 | 38.09 | 0.97 | 249.5 | 4.08 |
| OJO DE AGUA | 37.75 | 1.64 | 1.7 | 0.043 | 1.34 | 0.11 | 259.3 | 12.94 | 34.83 | 0.98 | 323.9 | 6.74 | 59.79 | 1.53 | 273.6 | 4.48 |
| LA PARRITA | 39 | 1.69 | 1.35 | 0.035 | 4.62 | 0.38 | 227.3 | 11.34 | 32.65 | 0.92 | 331.7 | 6.7 | 83.75 | 2.14 | 295.2 | 4.83 |
| LA ALBORADA | 34 | 1.47 | 1.23 | 0.031 | 10.82 | 0.89 | 245.8 | 12.26 | 37.55 | 1.05 | 380.3 | 7.91 | 66.43 | 1.7 | 327.8 | 5.37 |
| GARRAPATA | 19.34 | 0.84 | 1.21 | 0.031 | 9.3 | 0.76 | 147 | 7.33 | 105.5 | 2.97 | 236 | 4.91 | 60.4 | 1.54 | 186 | 3.04 |
| EL PRETEXTO | 22.84 | 0.99 | 2.65 | 0.068 | 11.7 | 0.91 | 176 | 8.78 | 78 | 2.2 | 293 | 6.1 | 15.2 | 0.38 | 260.4 | 4.26 |
| AGUACATE | 39.92 | 1.73 | 1.8 | 0.046 | 14.3 | 1.17 | 147 | 7.33 | 62 | 1.74 | 141 | 2.93 | 50 | 1.28 | 354.2 | 5.8 |
| LA AURORA | 23.37 | 1.01 | 1.37 | 0.035 | 13.9 | 1.14 | 258 | 12.87 | 70.5 | 1.98 | 442 | 9.2 | 9.2 | 0.84 | 315.9 | 5.17 |

Tabla 11 Registro de cationes y aniones de muestras pertenecientes al área de estudio (Tomado de Riecke & Drescher, 1995 en Galván, 1996).

Para los análisis realizados en el presente estudio, se determinó (en el laboratorio de química de la Facultad de Ciencias de la Tierra) una caracterización físico-química de los constituyentes principales (Sodio, Calcio Magnesio, Bicarbonato, Sulfatos y Cloruro), además se determinaron algunos constituyentes secundarios como: Potasio, Nitrato y Carbonato (Tabla 12). La confiabilidad de los resultados está dada por el error de reacción para cada muestra, el cual debe ser menor a 6 %, consiste en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de error de reacción} = \frac{\Sigma \text{cat.} - \Sigma \text{an.}}{\Sigma \text{total}} \times 100 \text{ (meq/l)}$$

Las mediciones de temperatura del agua, pH y conductividad se determinaron en campo, con el fin de obtener valores semejantes a las condiciones del agua en el acuífero, ya que esta suele perder algunas características después de un tiempo de ser extraída (Fig. 32).

| Nombre de muestra | Laborcitas | Sotolar | Río Verde |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Clave | 1 | 2 | 3 |
| Localización | 24° 53' 02" N 99° 47' 51" W | 24° 56' 27" N 99° 37' 08" W | 24° 53' 89" N 99° 33' 02" W |
| Fecha de Muestreo | 16/III/99 | 16/III/99 | 16/III/99 |
| Temp. (°C) | 19 | 25 | 23 |
| pH | 6.95 | 6.76 | 6.94 |
| CE (mhs/cm) | 502 a 20.3 °C | 799 a 25 °C | 727 a 23.3 °C |
| TST (mg/l) | 353 | 579 | 505 |
| Na (mg/l) | 12.29 | 26.96 | 34.68 |
| K (mg/l) | 0.52 | 1.08 | 0.68 |
| Dureza Total (mg/l) | 256.7 | 369.1 | 324.9 |
| Ca (mg/l) | 92.4 | 102.0 | 115.6 |
| Mg (mg/l) | 6.3 | 27.8 | 8.8 |
| Cl (mg/l) | 11.29 | 16.01 | 35.07 |
| SO ₄ (mg/l) | 11.52 | 25.93 | 113.19 |
| NO ₃ (mg/l) | 3.5 | 19.7 | 9.4 |
| HCO ₃ (mg/l) | 344.02 | 543.26 | 316.80 |
| error de reacc. (%) | 4.8 | 4.5 | 1.9 |

Tabla 12 Valores obtenidos en la determinación de análisis físico-químicos en el área de estudio.

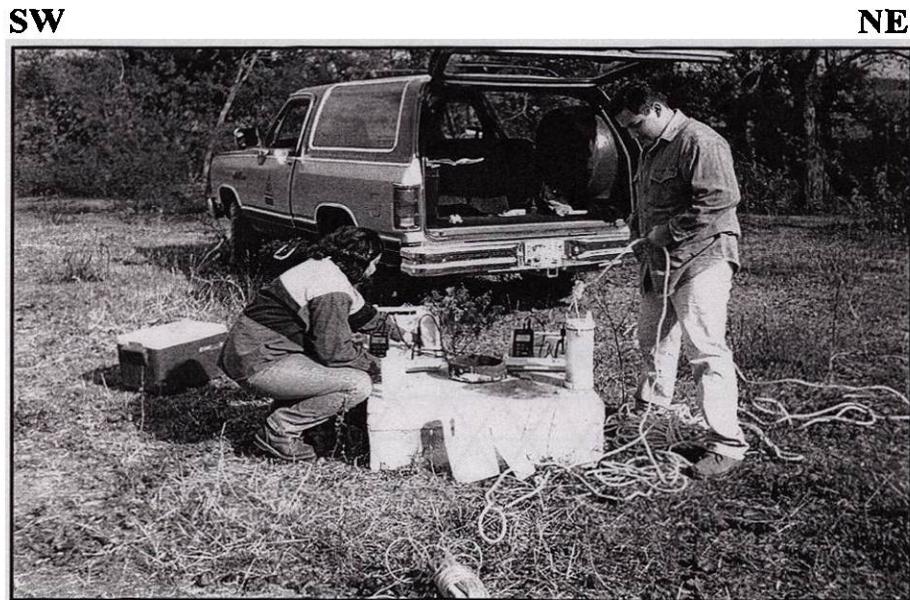


Fig. 32 Determinación de Temperatura, pH y conductividad eléctrica para una muestra de agua, extraída en el rancho Laborcitas, localizada en el frente de la SMO. Sus coordenadas son N: 24° 53' 11 y W: 99° 47' 66

Como se mencionó en el apartado 4.2 de este escrito, existen diversos diagramas para la interpretación de los análisis químicos. El resultado de los análisis obtenidos en el presente estudio fué interpretado en un diagrama de PIPER, ya que mediante este se puede obtener la o las familias de agua existentes. La localización del diagrama de PIPER de las tres muestras de agua es similar, mostrando altas concentraciones de calcio y bicarbonato, lo que las caracteriza como una familia calcico-bicarbonatada (Fig. 33).

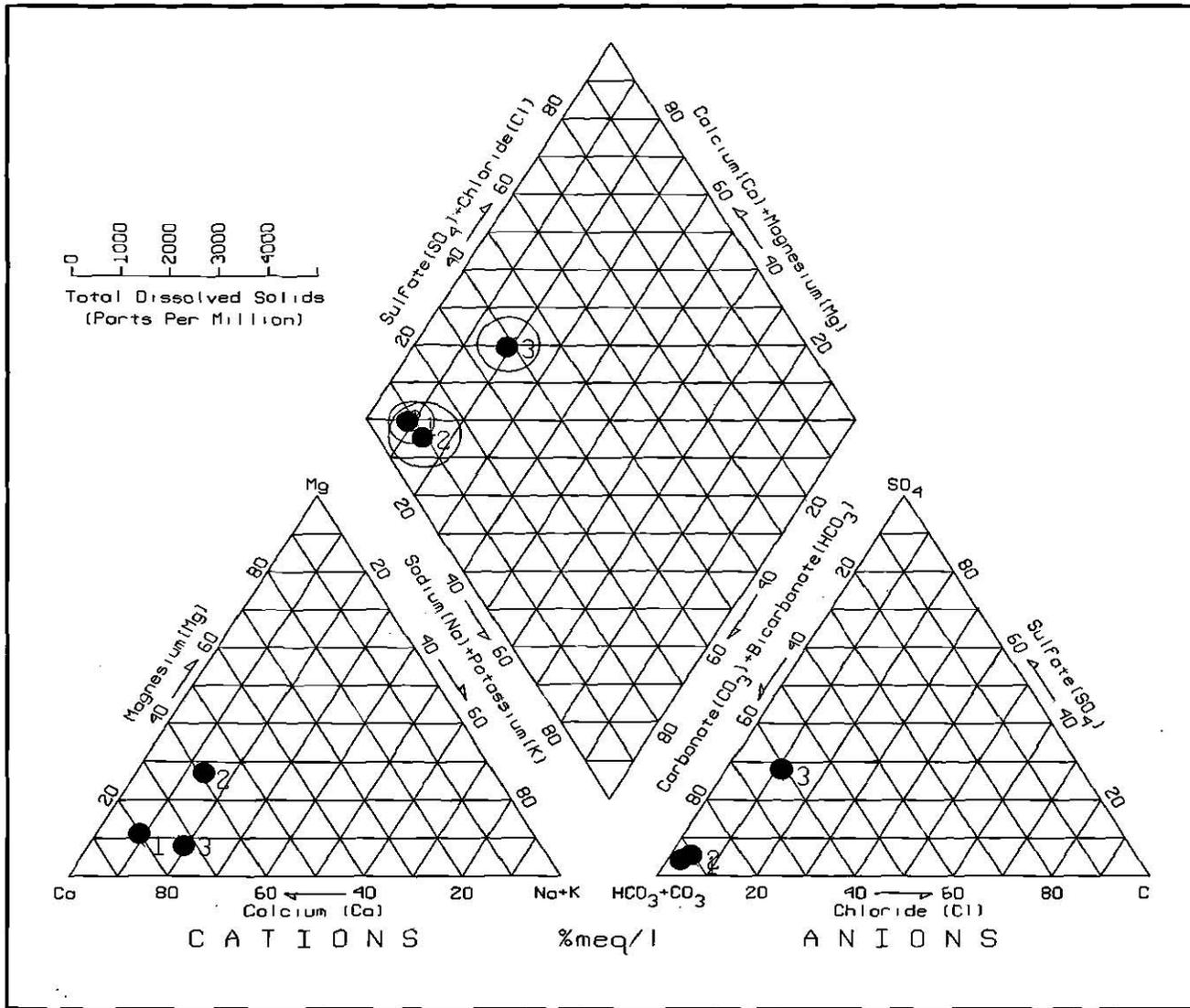


Fig. 33 Diagrama de PIPER con la ubicación de las tres muestras de agua tomadas para el presente trabajo de investigación

En las tablas anteriores, pertenecientes a todos los análisis químicos recopilados del área de estudio (de SARH, Riecke & Drescher y los del presente estudio) se encuentran algunos aprovechamientos muestreados dos veces, en diferente año y por diferentes dependencias, tal es el caso de los pozos: Río Verde 2 y La Petaca 1 y 2 (ver tablas 10 y 11).

Los valores comparativos de los análisis elaborados en un mismo aprovechamiento, revelan variaciones en la concentración de los constituyentes del agua, que es producto de un acuífero con características químicas heterogéneas (cambio de composición o concentración de los elementos de las rocas disueltas por el agua, variación de precipitación pluvial, etc.).

En los análisis químicos elaborados para este estudio se identificó una familia de agua calcico-bicarbonatada, según el apartado 4.3 presentado en este capítulo, la concentración de calcio y bicarbonato provienen de la disolución de calizas, dolomías y rocas carbonatadas.

En este caso, el agua subterránea se encuentra en contacto con rocas clásticas carbonatadas (principalmente calizas), provenientes de la SMO y depositadas en los valles, formando extensos depósitos aluviales y un acuífero de poros. Por otra parte, el agua del acuífero de grietas encontrado en la Formación geológica Méndez, disuelve partículas de carbonato de calcio de la misma, ya que esta Formación se compone de rocas arcillosas carbonatadas; además del CaCO_3 que se encuentra sellando algunas fracturas (calcita).

La calidad del agua de las zonas factibles de explotación en el área de estudio es de suma importancia, en base a esto se efectuaron los tres análisis químicos. El resultado de los análisis es comparado con la norma oficial mexicana *nom-127-ssa1-1994*, "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).

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional (<http://www.ssa.gob.mx/nom/127ssa14.html>, 1995). Los valores del límite permisible de calidad del agua expedido por la Secretaría de Salud, están dados en mg/l y son los siguientes:

| | |
|--------------------------------------|---------|
| Cloruros (como Cl-) | 250.00 |
| Dureza total (como CaCO_3) | 500.00 |
| Nitratos (como N) | 10.00 |
| pH (en unidades de pH) | 6.5-8.5 |
| Sodio | 200.00 |
| Sólidos disueltos totales | 1000.00 |
| Sulfatos (como $\text{SO}_4=$) | 400.00 |

La publicación en INTERNET de la Norma Oficial Mexicana *nom-127-ssa1-1994*, expedida por la Secretaría de Salud y que entró en vigor en Noviembre de 1995, dice que el agua para uso y consumo humano es aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano (quedando dentro del límite permisible).

En base a lo anterior y a la caracterización química de las muestras analizadas para esta investigación, se pueden considerar dos de los tres sitios óptimos para la explotación del agua: 1) Laborcitas, al pie de la SMO y 2) Río Verde, al NE de la ciudad de Linares. Su caracterización química se encuentra por debajo del límite publicado, mientras que en la zona de El Sotolar se encuentra una concentración de Nitratos que sobrepasa el límite y se incrementa casi un 100 %; de 10 mg/l permitidos la concentración se encuentra en 19.7 mg/l (ver Tabla 12).

De acuerdo con el apartado 4.3 de este capítulo, la concentración de nitratos en un terreno se debe principalmente a la descomposición de la materia orgánica, si esto se relaciona con el sitio de muestreo El Sotolar, se puede deducir que el alto contenido de nitratos en el agua subterránea se debe a los residuos orgánicos de una marcada actividad agrícola y ganadera desarrollada en esa parte del área. El agua de la zona de El Sotolar no es recomendable para el consumo humano, ya que puede tener consecuencias irreversibles para la salud (enfermedades crónicas).

CONCLUSIONES

Con base en los resultados y discusiones obtenidos en este trabajo se pueden concluir los siguientes aspectos:

- El constante desarrollo demográfico e industrial de la ciudad de Monterrey implica, entre otras cosas, un incremento en la demanda de agua para satisfacer las necesidades de toda la población, haciendo insuficiente los estudios y obras hidráulicas construídas con este fin. Por estas circunstancias, se ha solicitado un nuevo estudio en el Estado con el fin de cubrir la demanda de agua.
- Con este fin, se desarrolla el proyecto *Límites de Abastecimiento de Agua Potable en el Noreste de México, SIREYES/95-053* por parte de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la U. A. N. L. Dentro del proyecto se encuentra el presente trabajo de investigación *Estudio Geológico/hidrogeológico de la Región Citrícola Linares-Hualahuises, Nuevo León, NE-México.*
- El área de estudio comprende 918 Km², en los cuales afloran sedimentos marinos del Cretácico Superior (Fm. San Felipe y Fm. Méndez) y rocas sedimentarias continentales (aluvión y conglomerado).
- La tectónica general del área se ve influenciada por la Orogénia Laramídica, formando estructuras plegadas con vergencia hacia el Noreste.
- En general, en el área existe un fracturamiento distensivo, caracterizado por fracturas de tipo ac, donde la dilatación de la estructura ocurrió en dirección del eje de las estructuras, propiciando una dirección de fracturas perpendicular a los ejes. Estas fracturas son las de mayor abundancia. También se encuentran fracturas de tipo bc, con menor abundancia (aunque más frecuentes en el frente de la SMO), pero en ocasiones con gran espesor.
- Fueron censados un total de 121 aprovechamientos hidráulicos en el área, contando con pozos, norias y papalotes, para construir una carta piezométrica y de documentación.
- Con el estudio hidrogeológico se puede deducir la existencia de dos tipos de acuíferos: acuífero de poros y acuífero de grietas.

- El estudio se desarrolló en un período de extremada sequía, ya que el nivel piezométrico del agua en los acuíferos se localizó en el nivel más bajo de los últimos años, debido a esto se han obtenido resultados confiables para períodos climatológicos más equilibrados, lo que nos indica rangos de explotación.
- De la carta piezométrica se obtuvo la dirección de flujo del agua subterránea, el cual se ve influenciado por una dirección resultante de los principales sistemas de fracturamiento ac y bc, que es con dirección Noreste-Este.
- Las pruebas recopiladas de aforo y de bombeo revelaron caudales muy variados para cada lugar, pero ya que no se elaboraron en un mismo tiempo, no pueden ser comparadas entre sí, aunque pueden dar una idea del comportamiento de las propiedades de los acuíferos.
- En base a la piezometría, documentación y los resultados de las pruebas de acuífero, se definieron tres zonas factibles de explotación del agua subterránea:
 1. En el frente de la Sierra Madre Oriental, en los alrededores de la entrada al cañón del Río Hualahuises.
 2. En la parte central del área, en los márgenes del Río Potosí, cerca del rancho El Sotolar y Dos Compadres.
 3. Al Norte de la Ciudad de Linares, en los alrededores de los ejidos Río Verde, El Refugio, entre otros.
- Se efectuó un análisis hidrogeoquímico, tomando muestras de agua de los sitios de interés, con el fin de obtener la caracterización físico-química y calidad del agua. Las muestras analizadas y graficadas en un diagrama de PIPER, revelaron concentraciones predominantes de calcio y bicarbonato, por lo que se les clasificó como una familia cálcico-bicarbonatada.
- Las concentraciones de sólidos disueltos en las muestras de agua Laborcitas y Río Verde, se encuentran dentro del límite permisible publicado en la Norma Oficial Mexicana (nom-127-ssa1-1994), por lo que el agua se considera apropiada para consumo humano.

RECOMENDACIONES

1. Al tomar una decisión acerca del sitio para la o las perforaciones que se realicen, es importante considerar los aprovechamientos hidráulicos de los alrededores, ya que si se encuentran a corta distancia y en dirección desfavorable al flujo del agua, podría darse el caso de disminuir el caudal de los mismos.
2. En el momento de hacer una perforación, es necesaria la supervisión de un geólogo que la controle, en base a las condiciones geológicas e hidrogeológicas que se presentan a medida que se perfora.
3. Se debe efectuar una prueba de aforo para obtener el caudal del pozo, es muy importante que se elabore de larga duración (72 hrs).
4. Con los resultados obtenidos en este trabajo, es recomendable comenzar con la elaboración de una base de datos para estudios posteriores.
5. Sería importante continuar con un estudio más detallado del área ahora que se tienen bases, en un futuro se podría desarrollar un estudio hidrogeoquímico más completo, así como evaluaciones periódicas de los niveles piezométricos.

BIBLIOGRAFÍA

- Anguita Virella, F. & Moreno Serrano, F. (1993): Procesos Geológicos Externos y Geología Ambiental. Pgs: 39-44, Madrid, España.
- Birkle, P., Torres Rodríguez, V., González Partida, E. (1998): The Water Balance for the Basin of the Valley of Mexico and Implications for Future Water Consumption. Revista Hydrogeology Journal, vol. 6, No. 4, pgs: 500-517, Alemania.
- Campos Aranda, D. F. (1987): Procesos del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luís Potosí, primera reimpression, Vol. 1, Tomo 2/2, S. L. P., México.
- Comisión Federal de Electricidad/CFE. (1993): Compilación Geológica de la vertiente del Golfo de México, Área I. 169p., Veracruz, México.
- Comisión Nacional del Agua/CNA. (1991): Análisis Hidrológico en el Estado por Cuenca y Municipio, Monterrey, N.L., 31p., Monterrey, México.
- Comisión Nacional del Agua/CNA. (1994): Pruebas de Bombeo. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro V, 3.3.2, 112p.
- Correa, C. (1998): Estudios Geológicos e Hidrogeoquímicos en el Área del Puente de Dios, Galeana, N. L., México. Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesis de Licenciatura, 108p., Linares, N. L.
- Custodio, E. & Llamas, M. R. (1996): Hidrogeología Subterránea. Segunda edición, 1157p., Barcelona, España.
- Davis, S. N. & De Wiest, R. (1971): Hidrogeología. 563 p., Barcelona, España.

- De la Garza González, S. I., González Flores, S., Sepúlveda Martínez, R. Avendaño Huerta, A. A., Ramos Ledesma, 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, 28 p. (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: 181 p., 57 figs., 13 tabs., 8 anexos, Aachen, Alemania.*
- De León Gómez & H. Schetelig, K. (1994): *Fracturamiento Hidráulico en Presas. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, p. 1037-1043. Aachen, Alemania.*
- De León Gómez, H. & Schetelig, K. (1996): *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., Werner, J., Azzam, R., Masuch-Österreich, 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.*
- De Sitter, L. U. (1976): *Geología Estructural. Cuarta edición, 521 p., Barcelona, España.*
- Drescher, H. (1995): *Geologische und Hydrogeologische Untersuchungen im Raum Linares, Nuevo Leon, Mexiko, Universität zu Kiel, 117p., Kiel, Alemania.*
- Estudios Evaluaciones Suministros Construcción, ESESC (1995): *Estudios Hidrogeológicos en la Región Citrícola. Innumerados reportes; Monterrey, N. L.*

- Flick, H., Quade, H., Stache, G. A., mit Beiträgen von Welmer, F. W. (1981): Einführung in die Tektonischen Arbeitsmethoden. Schichtenlagerung und Bruchlose Verformung. 96., 54 Abb., Clausthaler Tektonische Heffe. Clausthal, Alemania.
- 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.
- Imlay, R. W. (1936): Evolution of the Coahuila Peninsula, México Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans. 47: 1091-1152, USA.
- 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 (1976): Carta Topográfica y Geológica, escala 1:50,000, hoja G14C47 Montemorelos, México, D. F., México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática/INEGI (1976): Carta Topográfica y Geológica, escala 1:50,000, hoja G14C48 San José de las Flores, México, D. F., México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática/INEGI (1976): Carta Topográfica y Geológica, escala 1:50,000, hoja G14C56 Hualahuises, México, D. F., México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática/INEGI (1976): Carta Topográfica y Geológica, escala 1:50,000, hoja G14C57 Linares, México, D. F., México.
- 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., México, D. F., México.

- Lamy, F. (1994): Geologie (Stratigraphie, Mikrofazies, Tektonik) der Frontalketten der Sierra Madre Oriental nordwestlich von Linares, N.L., Mexiko. Tesis de Maestría. 175p., Münster. Alemania.
- López Ramos, E. (1972): Bosquejo Geológico del Estado de Nuevo León. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., vol. XXIV, No 4-6, p.203-234, México, D. F., México.
- López Ramos, E. (1982): Geología de México. Tomo II. Tercera edición. 454p., México, D. F., México.
- 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, 2, p.197-199, Linares, México.
- Michalzik, D. (1988): Trias bis tiefste Unter-Kreideder/nordöstlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko-fazielle Entwicklung eines passiven Kontinentalrendes. TH-Darmstadt, Alemania. Tesis doctoral. 247 p.
- 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., USA.
- Padilla y Sánchez, R. J. (1986): 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, México, D. F., México.

- Peterson Rodríguez, R. H. (1998): Estudio Geológico Estructural de una Porción del Anticlinorio de Parras, Coahuila, México. Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesis de Licenciatura, 112p., Linares, N. L.
- PEMEX (1962-1967): Pozo Trincheras; Linares, N. L.
- PEMEX (1977): Pozo Trincheras; Linares, N. L.
- Prado Gómez, E. (1997): Aplicación de métodos geofísicos (SEV's) para investigar zonas de canales de gravas en el área de Hualahuises-Linares, Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra, U. A. N. L, Linares, México.
- Rangel Rodriguez, M.(1989): Hidrogeología de la Ciudad Universitaria de la U.A.N.L., Linares, México. Tesis de Maestría.TH-Darmstadt. 97p., Linares, México.
- Riecke, R. (1995): Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Raum Hualahuises/Linares, Nuevo León, NE-Mexiko. Tesis de Diplomado, Kiel, Alemania.
- Ruiz, M. (1990): Zur Gliederung Verbreitung und ökologischen Bewertung der Böden im Gebiet von Linares, N.L., Göttinger Beitr. Z. Land U. Forstw. Tropen and Suptropen, 56: 184 pgs. Göttingen, Alemania.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/ S. A. R. H. (1982): Registro de datos hidrogeológicos; Linares, N. L.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/ S. A. R. H. (1984): Carta de censo de aprovechamientos hidráulicos, escala 1:50,000. Residencia General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos.

Secretaría de Salud/SSA (1995): Norma oficial mexicana *nom-127-ssa1-1994*, "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>.

Spencer, E. (1983): *Physical Geology*. 612 p., USA.

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

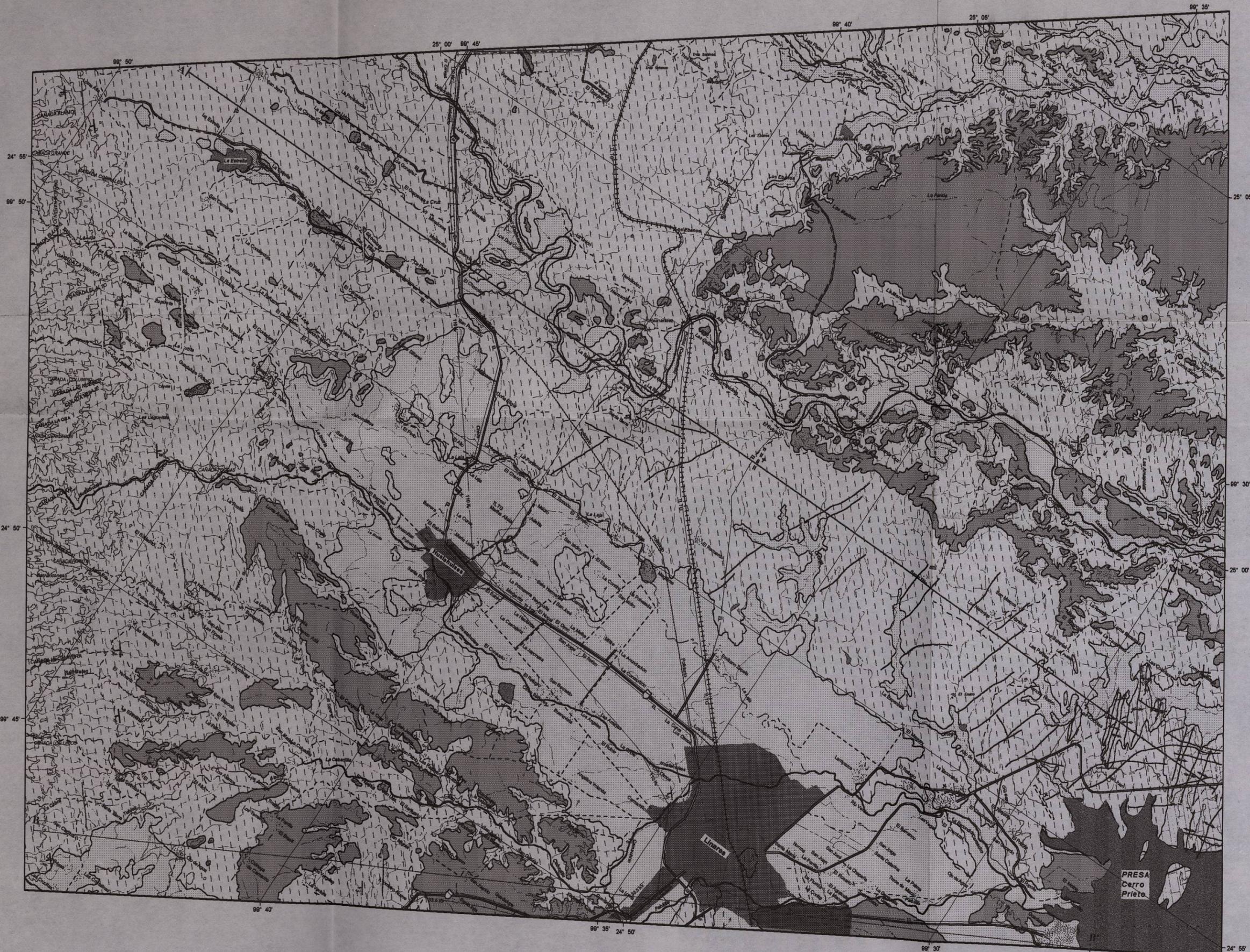
ANEXOS

CONTENIDO

| | |
|----------------|---|
| ANEXO 1 | CARTA GEOLÓGICA |
| ANEXO 2 | PERFILES GEOLÓGICOS |
| ANEXO 3 | CARTA TECTÓNICA |
| ANEXO 4 | REGISTRO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS |
| ANEXO 5 | CARTA PIEZOMÉTRICA |
| ANEXO 6 | DISEÑO ESQUEMÁTICO DE ALGUNOS POZOS AFORADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO |

ANEXO 1.

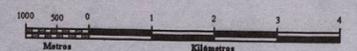
CARTA GEOLÓGICA



SIMBOLOGÍA

| ROCAS SEDIMENTARIAS | |
|---------------------------------------|--|
| Ahrvión | |
| Conglomerado | |
| Formación Méndez | |
| Formación San Felipe | |
| SÍMBOLOS ESTRUCTURALES | |
| Línea de sección geológica | |
| Rumbo y echado | |
| Eje de Anticlinal | |
| Eje de Sinclinal | |
| Fractura | |
| Fotolineación | |
| SÍMBOLOS HIDROLÓGICOS | |
| Corriente perenne | |
| Corriente intermitente | |
| Depósitos de agua (Presas y represas) | |
| SITIOS DE INTERÉS | |
| Comunidad | |
| Población | |
| Carretera pavimentada | |
| Terracería transitable en todo tiempo | |
| Brecha | |
| Ferrocarril en servicio público | |
| Aeropista | |
| Pista de tierra | |
| Línea telefónica | |
| Línea telegráfica | |
| Línea eléctrica de 33Kv o más | |
| Línea eléctrica de menos de 33 Kv | |
| Curva de nivel acotada en metros | |

ESCALA GRÁFICA



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE NUEVO LEÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARTA GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

SALVADOR ISRAEL
DE LA GARZA GONZÁLEZ

TESIS DE LICENCIATURA

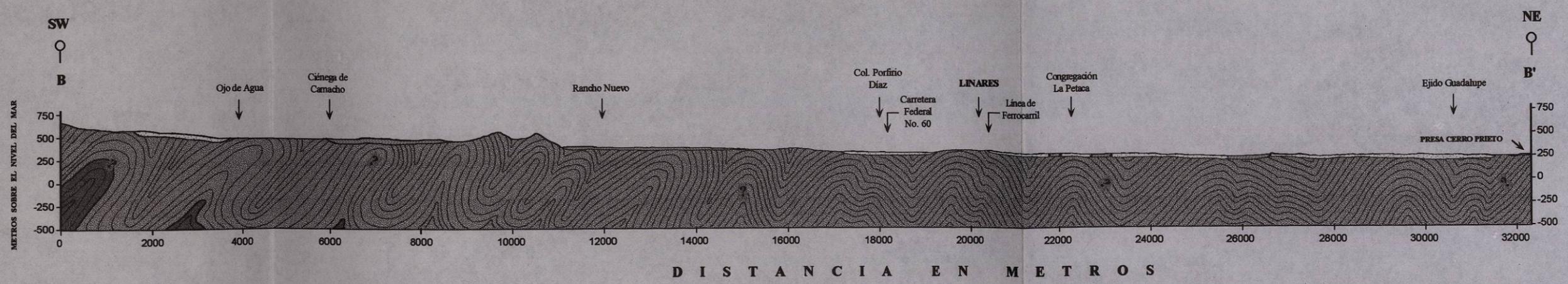
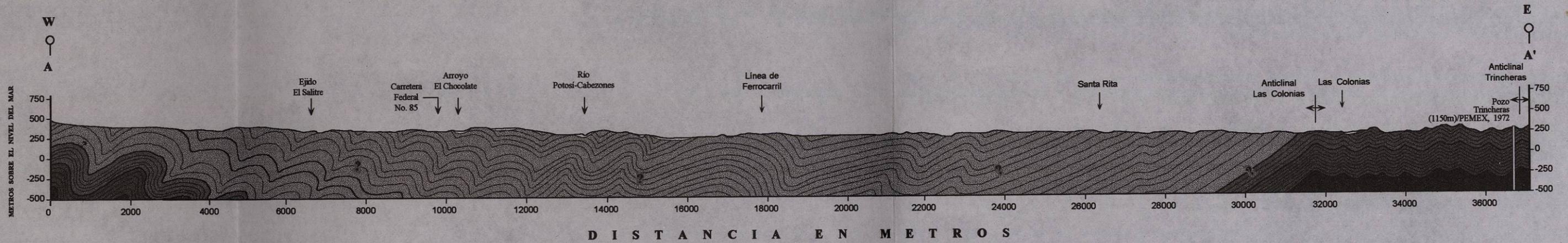
2000

ANEXO 1

ANEXO 2

SECCIONES GEOLÓGICAS

SECCIONES GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO



SIMBOLOGÍA

- ALUVIÓN
- CONGLOMERADO
- FORMACIÓN MÉNDEZ
- FORMACIÓN SAN FELIPE
- FORMACIÓN AGUA NUEVA
- FORMACIÓN CUESTA DEL CURA

| | |
|---|-----------------------|
| UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN | |
| FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA | |
| SECCIONES GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO | |
| SALVADOR ISRAEL DE LA GARZA GONZÁLEZ | TESIS DE LICENCIATURA |
| 2000 | ANEXO 2 |

ANEXO 3

CARTA TECTÓNICA

SIMBOLOGÍA

SÍMBOLOS ESTRUCTURALES

- Rumbo y echado
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Fractura
- Fotolineación

ROCAS SEDIMENTARIAS

- Formación Méndez
- Formación San Felipe

SÍMBOLOS HIDROLÓGICOS

- Depósitos de agua (Presas y represas)
- Corriente perenne
- Corriente intermitente

SITIOS DE INTERÉS

- Comunidad
- Población
- Carretera pavimentada
- Terracería transitable en todo tiempo
- Brecha
- Ferrocarril en servicio publico
- Aeropista
- Pista de tierra
- Línea telefónica
- Línea telegráfica
- Línea eléctrica de 33Kv o más
- Línea eléctrica de menos de 33 Kv
- Curva de nivel acotada en metros

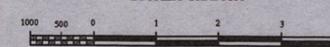
ESTEREOGRAMAS

Valores tomados de fracturamiento y porcentajes obtenidos en el diagrama de densidades de la fáltsila de Schmidt

| No. | Total de Mediciones | % Grupo 1 | % Grupo 2 | % Grupo 3 | % Grupo 4 |
|-----|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 400 | 68 | 16 | 9 | 7 |
| 2 | 400 | 59 | 26 | 10 | 5 |
| 3 | 350 | 43 | 31 | 18 | 8 |
| 4 | 300 | 54 | 28 | 13 | 5 |
| 5 | 350 | 62 | 19 | 16 | 3 |
| 6 | 400 | 43 | 31 | 15 | 11 |
| 7 | 300 | 56 | 25 | 11 | 8 |
| 8 | 350 | 44 | 31 | 14 | 11 |
| 9 | 400 | 38 | 33 | 17 | 12 |
| 10 | 400 | 59 | 21 | 15 | 5 |

Cubierto sedimentaria
Cenozóica omitida

ESCALA GRÁFICA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

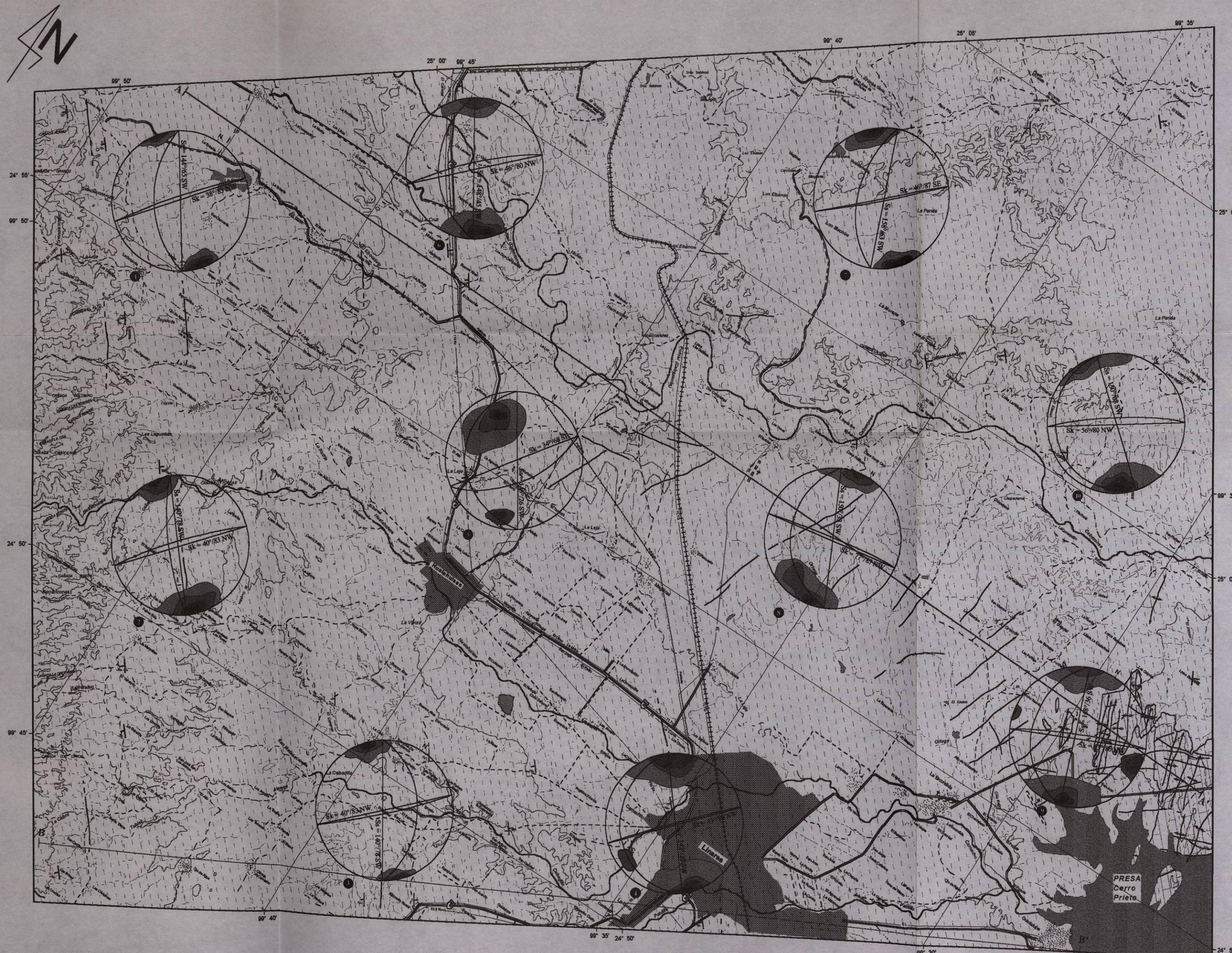
CARTA TECTÓNICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

SALVADOR ISRAEL
DE LA GARZA GONZÁLEZ

TESIS DE LICENCIATURA

2000

ANEXO 3



ANEXO 4

REGISTRO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

REGISTRO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS DE LA REGIÓN CITRÍCOLA LINARES-HUALAHUISES

GRUPO I

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Fecha: | 24/ 01/ 98 |
| Número clave: | I - 1 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Km. 14.5, Carretera Linares-Galeana |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 46' 95''N 99° 39' 78''W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 14.23 e |
| Altura - msnm: | 449.1 |
| Piezometría - msnm: | 434.87 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 24/ 01/ 98 |
| Número clave: | I - 2 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | El Porvenir, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 47' 52''N 99° 39' 37''W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 38.7 e |
| Altura - msnm: | 451.5 |
| Piezometría - msnm: | 401.3 |

| | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| Fecha: | 24/ 01 / 98 |
| Numero clave: | I - 3 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho Los Angeles, Linares |
| Nombre del propietario: | Genaro Melendez Peña |
| Coordenadas: | 24° 48' 95'' N 99° 37' 46'' W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 42.70 e |
| Altura - msnm: | 421.1 |
| Piezometría - msnm: | 378.4 |

| | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| Fecha: | 24/ 01 / 98 |
| Número clave: | I - 4 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Quinta Las Bugambilias, Linares |
| Nombre del propietario: | Jehú Salazar González |
| Coordenadas: | 24° 49' 20'' N 99° 36' 30'' W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 37.82 e |
| Altura - msnm: | 409 |
| Piezometría - msnm: | 371.18 |

| | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| Fecha: | 24/ 01 / 98 |
| Número clave: | I - 5 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Kilómetro cuatro, Linares |
| Nombre del propietario: | Ferraro Chavez |
| Coordenadas: | 24° 49' 61'' N 99° 35' 22'' W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 27.21 e |
| Altura - msnm: | 401 |
| Piezometría - msnm: | 374.29 |

Fecha: 24/01/98
 Número clave: I-6
 Tipo: Pozo
 Localización: Centro recreativo El Nogalar, col. La Loma, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 50' 03" N 99° 34' 41" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 9.10 e
 Altura - msnm: 371.5
 Piezometría - msnm: 362.4

Fecha: 24/01/98
 Número clave: I-7
 Tipo: Pozo
 Localización: Huerta San Diego, Linares
 Nombre del propietario: José Elías Cantú Balderrama
 Coordenadas: 24° 50' 71" N 99° 34' 08" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 7.80 e
 Altura - msnm: 361.5
 Piezometría - msnm: 353.7

Fecha: 25/01/98
 Número clave: I-8
 Tipo: Pozo
 Localización: Colonia San Antonio, Linares
 Nombre del propietario: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey
 Coordenadas: 24° 51' 22" N 99° 33' 39" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 32.52 d
 Altura - msnm: 347.1
 Piezometría - msnm: 314.58

Fecha: 25/01/98
 Número clave: I-9
 Tipo: Pozo
 Localización: Congregación La Petaca, Linares
 Nombre del propietario: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey
 Coordenadas: 24° 51' 63" N 99° 32' 01" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 15.71 d
 Altura - msnm: 334.8
 Piezometría - msnm: 319.09

Fecha: 25/01/98
 Número clave: I-10
 Tipo: Pozo
 Localización: Congregación La Petaca, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 52' 10" N 99° 30' 13" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 11 e
 Altura - msnm: 309.5
 Piezometría - msnm: 298.5

Fecha: 25/01/98
 Número clave: I-11
 Tipo: Pozo
 Localización: FCT, Ejido Guadalupe, Linares
 Nombre del propietario: Universidad Autónoma de Nuevo León
 Coordenadas: 24° 53' 91" N 99° 28' 02" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 15 d
 Altura - msnm: 293.4
 Piezometría - msnm: 278.4

Fecha: 27/01/98
 Número clave: I-12
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho El Tronconal, Linares
 Nombre del propietario: David Adame Galván
 Coordenadas: 24° 54' 66" N 99° 28' 32" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 8.03 e
 Altura - msnm: 297
 Piezometría - msnm: 288.97

Fecha: 27/01/98
 Número clave: I-13
 Tipo: Pozo
 Localización: El Teniente, Linares
 Nombre del propietario: Rafael Leal Legorreta
 Coordenadas: 24° 54' 17" N 99° 29' 43" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 12.70 e
 Altura - msnm: 311.4
 Piezometría - msnm: 298.7

Fecha: 27/01/98
 Número clave: I-14
 Tipo: Pozo
 Localización: Huerta La Garza, Linares
 Nombre del propietario: Blanca Rosa Garza Paras
 Coordenadas: 24° 53' 06" N 99° 31' 79" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 12 e
 Altura - msnm: 316.8
 Piezometría - msnm: 304.8

Fecha: 27/01/98
 Número clave: I-15
 Tipo: Pozo
 Localización: Ejido Río Verde, Linares
 Nombre del propietario: Cesar Villarreal Gómez
 Coordenadas: 24° 53' 57" N 99° 32' 07" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 8.58 e
 Altura - msnm: 324.50
 Piezometría - msnm: 315.92

Fecha: 27/01/98
 Número clave: I-16
 Tipo: Pozo
 Localización: Ejido Río Verde, Linares
 Nombre del propietario: Ejido Río Verde
 Coordenadas: 24° 53' 87" N 99° 33' 06" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 5.10 e
 Altura - msnm: 326.20
 Piezometría - msnm: 321.1

Fecha: 27/01/98
 Número clave: I-17
 Tipo: Pozo
 Localización: INFONAVIT Río Verde, Linares
 Nombre del propietario: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey
 Coordenadas: 24° 52' 87" N 99° 33' 10" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 19.67 d
 Altura - msnm: 337.4
 Piezometría - msnm: 317.73

| | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Fecha: | 27/01/98 |
| Número clave: | I - 18 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Huerta el Aguacate, Linares |
| Nombre del propietario: | Roberto Adame |
| Coordenadas: | 24° 52' 27" N 99° 32' 03" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 10.38 e |
| Altura - msnm: | 334.1 |
| Piezometría - msnm: | 323.72 |

| | |
|---------------------------------------|--|
| Fecha: | 28/01/98 |
| Número clave: | I - 19 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rastro Municipal, Linares |
| Nombre del propietario: | Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey |
| Coordenadas: | 24° 51' 99" N 99° 33' 46" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 16 d |
| Altura - msnm: | 350 |
| Piezometría - msnm: | 334 |

| | |
|---------------------------------------|--|
| Fecha: | 28/01/98 |
| Número clave: | I - 20 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Carretera Linares-Guadalupe La Joya, Km. 9 |
| Nombre del propietario: | Fernando García |
| Coordenadas: | 24° 55' 30" N 99° 30' 44" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 13.41 d |
| Altura - msnm: | 313.11 |
| Piezometría - msnm: | 299.79 |

GRUPO II

| | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Fecha: | 19/05/98 |
| Número clave: | II - 21 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Ejido San Joaquín, Linares |
| Nombre del propietario: | Ciria Alejandro |
| Coordenadas: | 24° 53' 05" N 99° 33' 96" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 9.47 e |
| Altura - msnm: | 338.1 |
| Piezometría - msnm: | 328.63 |

| | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Fecha: | 26/05/98 |
| Número clave: | II - 22 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho San Juan, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 56' 32" N 99° 28' 47" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 16.66 e |
| Altura - msnm: | 297 |
| Piezometría - msnm: | 280.34 |

Fecha: 26/ 05 / 98
 Número clave: II - 23
 Tipo: Pozo
 Localización: Club de sindicatos independientes
 Nombre del propietario: Club de sindicatos independientes
 Coordenadas: 24° 56' 09" N 99° 26' 88" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 41.10 d
 Altura - msnm: 310.2
 Piezometría - msnm: 269.1

Fecha: 26/ 05 / 98
 Número clave: II - 24
 Tipo: Pozo
 Localización: Ejido El Canelo, Linares
 Nombre del propietario: Ejido El canelo
 Coordenadas: 24° 59' 32" N 99° 31' 32" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 8.19 e
 Altura - msnm: 319.1
 Piezometría - msnm: 310.91

Fecha: 26/ 05 / 98
 Número clave: II - 25
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho San Marcos, Linares
 Nombre del propietario: Rodolfo Garza González
 Coordenadas: 24° 57' 69" N 99° 31' 91" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 12.99 e
 Altura - msnm: 340.8
 Piezometría - msnm: 327.81

Fecha: 26/ 05 / 98
 Número clave: II - 26
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho Santa Gertrudis, Linares
 Nombre del propietario: Mauricio Ortíz
 Coordenadas: 24° 57' 28" N 99° 31' 16" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 17.39 e
 Altura - msnm: 339.2
 Piezometría - msnm: 321.81

Fecha: 04/ 06 / 98
 Número clave: II - 27
 Tipo: Pozo
 Localización: Ex-Hacienda Pito Real, Linares
 Nombre del propietario: Alberto Díaz Rivera
 Coordenadas: 24° 59' 51" N 99° 31' 88" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 10.69 e
 Altura - msnm: 306.8
 Piezometría - msnm: 296.11

Fecha: 04/ 06 / 98
 Número clave: II - 28
 Tipo: Noría
 Localización: ** Montemorelos
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 25° 04' 87" N 99° 35' 59" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 8.42 e
 Altura - msnm: 316.4
 Piezometría - msnm: 307.98

Fecha: 04/06/98
 Número clave: II - 29
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho El Cerrito de Plata, Montemorelos
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 25° 04' 85" N 99° 36' 08" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 15.91 e
 Altura - msnm: 326.6
 Piezometría - msnm: 310.69

Fecha: 04/06/98
 Número clave: II - 30
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho Las Cruces, Montemorelos
 Nombre del propietario: Rogelio Cavazos
 Coordenadas: 25° 05' 89" N 99° 35' 09" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 9.10 e
 Altura - msnm: 323.5
 Piezometría - msnm: 314.4

Fecha: 04/06/98
 Número clave: II - 31
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho La Brisa, Montemorelos
 Nombre del propietario: Santiago Ortíz García
 Coordenadas: 25° 06' 38" N 99° 34' 43" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 10.06 e
 Altura - msnm: 317.9
 Piezometría - msnm: 307.84

Fecha: 04/06/98
 Número clave: II - 32
 Tipo: Noria
 Localización: Ejido La Purísima, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 59' 65" N 99° 33' 41" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 14.55 e
 Altura - msnm: 332.1
 Piezometría - msnm: 317.55

Fecha: 04/06/98
 Número clave: II - 33
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho San Gerardo, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 58' 95" N 99° 35' 23" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 13.84 e
 Altura - msnm: 343.2
 Piezometría - msnm: 329.36

Fecha: 04/06/98
 Número clave: II - 34
 Tipo: Noria
 Localización: Rancho El Palmar, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 58' 31" N 99° 35' 51" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 9.62 e
 Altura - msnm: 346.5
 Piezometría - msnm: 336.88

Fecha: 04/06/98
 Número clave: II - 35
 Tipo: Pozo
 Localización: Ejido El Alto, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 59' 58" N 99° 35' 45" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 10.75 e
 Altura - msnm: 341.7
 Piezometría - msnm: 330.95

Fecha: 05/06/98
 Número clave: II - 36
 Tipo: Noria
 Localización: Ejido Emiliano Zapata, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 54' 11" N 99° 35' 98" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 13.69 e
 Altura - msnm: 350.5
 Piezometría - msnm: 336.81

Fecha: 05/06/98
 Número clave: II - 37
 Tipo: Pozo
 Localización: ** Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 55' 33" N 99° 36' 27" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 13.16 e
 Altura - msnm: 354.7
 Piezometría - msnm: 341.54

Fecha: 05/06/98
 Número clave: II - 38
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho El Sotolar, Linares
 Nombre del propietario: Jaime Rodriguez
 Coordenadas: 24° 56' 15" N 99° 37' 07" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 17.26 e
 Altura - msnm: 371.1
 Piezometría - msnm: 353.84

Fecha: 05/06/98
 Número clave: II - 39
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho El Sotolar, Linares
 Nombre del propietario: Jaime Rodriguez
 Coordenadas: 24° 57' 75" N 99° 38' 31" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 9.14 e
 Altura - msnm: 365.2
 Piezometría - msnm: 356.06

Fecha: 05/06/98
 Número clave: II - 40
 Tipo: Pozo
 Localización: ** Montemorelos
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 25° 03' 81" N 99° 38' 05" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 5.11 e
 Altura - msnm: 341.5
 Piezometría - msnm: 336.39

| | |
|---------------------------------------|---|
| Fecha: | 05/06/98 |
| Número clave: | II - 41 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Rancho San José de las Flores, Montemorelos |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 25° 03' 62" N 99° 39' 49" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 4.83 e |
| Altura - msnm: | 358 |
| Piezometría - msnm: | 353.17 |

GRUPO III

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 28/06/98 |
| Número clave: | III - 42 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho El Pretexto, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 54' 65" N 99° 47' 89" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 24.14 e |
| Altura - msnm: | 561.3 |
| Piezometría - msnm: | 537.16 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 28/06/98 |
| Número clave: | III - 43 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho Ojo de Agua, Linares |
| Nombre del propietario: | Anselmo Herrera Luna |
| Coordenadas: | 24° 54' 39" N 99° 47' 00" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 11.79 e |
| Altura - msnm: | 547 |
| Piezometría - msnm: | 535.21 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 29/06/98 |
| Número clave: | III - 44 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | ** Linares |
| Nombre del propietario: | Lupina Herrera Luna |
| Coordenadas: | 24° 54' 28" N 99° 47' 08" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 7.58 e |
| Altura - msnm: | 546.7 |
| Piezometría - msnm: | 539.12 |

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Fecha: | 29/06/98 |
| Número clave: | III - 45 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Rancho San Juan de la Cruz, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 54' 03" N 99° 46' 94" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 8.16 e |
| Altura - msnm: | 548 |
| Piezometría - msnm: | 539.84 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 29/06/98 |
| Número clave: | III - 46 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Rancho San Carlitos, Linares |
| Nombre del propietario: | Gilberto Herrera Luna |
| Coordenadas: | 24° 54' 48" N 99° 46' 91" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 14.40 e |
| Altura - msnm: | 550.1 |
| Piezometría - msnm: | 535.7 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 29/06/98 |
| Número clave: | III - 47 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho Los Nogales, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 54' 54" N 99° 45' 88" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 11.59 e |
| Altura - msnm: | 535.9 |
| Piezometría - msnm: | 524.31 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 29/06/98 |
| Número clave: | III - 48 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho La Nutria, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 84" N 99° 45' 91" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 7.62 e |
| Altura - msnm: | 537 |
| Piezometría - msnm: | 529.38 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 30/06/98 |
| Número clave: | III - 49 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Guadalupe Victoria, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 33" N 99° 46' 02" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 7.31 e |
| Altura - msnm: | 548.5 |
| Piezometría - msnm: | 541.19 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 30/06/98 |
| Número clave: | III - 50 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho Laborcitas, Linares |
| Nombre del propietario: | Natividad González Paras |
| Coordenadas: | 24° 52' 92" N 99° 46' 99" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 4.92 e |
| Altura - msnm: | 570.9 |
| Piezometría - msnm: | 565.98 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 30/06/98 |
| Número clave: | III - 51 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho Laborcitas, Linares |
| Nombre del propietario: | Natividad González Paras |
| Coordenadas: | 24° 53' 27" N 99° 47' 22" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 19.60 e |
| Altura - msnm: | 585.1 |
| Piezometría - msnm: | 565.5 |

Fecha: 30/06/98
 Número clave: III - 52
 Tipo: Pozo
 Localización: Ejido Carrizos, Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 54' 84" N 99° 42' 20" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 15.48 e
 Altura - msnm: 423.4
 Piezometría - msnm: 407.92

Fecha: 30/06/98
 Número clave: III - 53
 Tipo: Papalote
 Localización: Ejido Carrizos, Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 55' 05" N 99° 42' 83" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 14.60 e
 Altura - msnm: 434.3
 Piezometría - msnm: 419.71

Fecha: 30/06/98
 Número clave: III - 54
 Tipo: Noria
 Localización: ** Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 56' 51" N 99° 43' 19" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 5.40 e
 Altura - msnm: 465
 Piezometría - msnm: 459.6

Fecha: 30/06/98
 Número clave: III - 55
 Tipo: Noria
 Localización: La Florida, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 56' 93" N 99° 44' 01" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 11.46 e
 Altura - msnm: 480.3
 Piezometría - msnm: 468.84

Fecha: 30/06/98
 Número clave: III - 56
 Tipo: Noria
 Localización: ** Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 56' 65" N 99° 44' 45" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 17.08 e
 Altura - msnm: 496.5
 Piezometría - msnm: 479.42

Fecha: 30/06/98
 Número clave: III - 57
 Tipo: Noria
 Localización: Rancho La Balsa, Linares
 Nombre del propietario: Manuel Izarraga
 Coordenadas: 24° 56' 35" N 99° 44' 50" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 20.59 e
 Altura - msnm: 507.1
 Piezometría - msnm: 486.51

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 30/ 06 / 98 |
| Número clave: | III - 58 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Rancho El Consuelo, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 55' 94" N 99° 44' 83" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 14.72 e |
| Altura - msnm: | 517.1 |
| Piezometría - msnm: | 502.38 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 30/ 06 / 98 |
| Número clave: | III - 59 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rncho El Consuelo, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 57' 07" N 99° 43' 04" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 24.62 e |
| Altura - msnm: | 531.4 |
| Piezometría - msnm: | 506.7 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 30/ 06 / 98 |
| Número clave: | III - 60 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho La Palma, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 55' 23" N 99° 44' 45" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 23.57 e |
| Altura - msnm: | 509.2 |
| Piezometría - msnm: | 485.63 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 30/ 06 / 98 |
| Número clave: | III - 61 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho La Palma, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 55' 73" N 99° 44' 49" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 21.74 e |
| Altura - msnm: | 518.7 |
| Piezometría - msnm: | 496.96 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 01/ 07 / 98 |
| Número clave: | III - 62 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Ejido El Brasil, Linares |
| Nombre del propietario: | Olivia Martínez García |
| Coordenadas: | 24° 56' 38" N 99° 45' 35" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 16.11 e |
| Altura - msnm: | 492.9 |
| Piezometría - msnm: | 476.79 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 01/ 07 / 98 |
| Número clave: | III - 63 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Rancho El Refugio, Linares |
| Nombre del propietario: | Roman Villarreal Luna |
| Coordenadas: | 24° 56' 04" N 99° 45' 71" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 10.52 e |
| Altura - msnm: | 530.9 |
| Piezometría - msnm: | 520.38 |

Fecha: 01/07/98
 Número clave: III - 64
 Tipo: Noria
 Localización: ** Linares
 Nombre del propietario: Evadio Reyes Garza
 Coordenadas: 24° 55' 42" N 99° 45' 66" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 23.85 e
 Altura - msnm: 508.2
 Piezometría - msnm: 484.35

Fecha: 01/07/98
 Número clave: III - 65
 Tipo: Noria
 Localización: Rancho La Concepción, Linares
 Nombre del propietario: Manuel Alejandro
 Coordenadas: 24° 55' 74" N 99° 45' 66" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 23.85 e
 Altura - msnm: 533.7
 Piezometría - msnm: 510.28

Fecha: 01/07/98
 Número clave: III - 66
 Tipo: Noria
 Localización: Ejido Moras, Linares
 Nombre del propietario: Joel Sepulveda Muñoz
 Coordenadas: 24° 55' 13" N 99° 46' 52" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 10.02 e
 Altura - msnm: 528.6
 Piezometría - msnm: 518.58

Fecha: 01/07/98
 Número clave: III - 67
 Tipo: Pozo
 Localización: Rancho El Roble, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 54' 54" N 99° 46' 31" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 20.36 e
 Altura - msnm: 535
 Piezometría - msnm: 514.64

Fecha: 01/07/98
 Número clave: III - 68
 Tipo: Papalote
 Localización: Rancho Manuel, Ejido San Clemente, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 55' 59" N 99° 47' 51" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 22.01 e
 Altura - msnm: 547.9
 Piezometría - msnm: 525.89

Fecha: 01/07/98
 Número clave: III - 69
 Tipo: Pozo
 Localización: Ejido La Estrella, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 56' 96" N 99° 47' 31" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 18.2 e
 Altura - msnm: 530.3
 Piezometría - msnm: 512.1

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 01/07/98 |
| Número clave: | III - 70 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Ejido Loma Alta, Linares |
| Nombre del propietario: | Eulalio Zuñiga |
| Coordenadas: | 24° 56' 23" N 99° 50' 19" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 21.08 e |
| Altura - msnm: | 577.2 |
| Piezometría - msnm: | 556.12 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 01/07/98 |
| Número clave: | III - 71 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Ejido San José, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 58' 03" N 99° 48' 11" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 14.3 e |
| Altura - msnm: | 532.3 |
| Piezometría - msnm: | 518 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 01/07/98 |
| Número clave: | III - 72 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Rancho Los Lirios, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 58' 21" N 99° 46' 54" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 18.7 e |
| Altura - msnm: | 517.2 |
| Piezometría - msnm: | 498.5 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 01/07/98 |
| Número clave: | III - 73 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Ejido El Salitre, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 57' 79" N 99° 45' 37" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 22.1 e |
| Altura - msnm: | 506.8 |
| Piezometría - msnm: | 484.7 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 01/07/98 |
| Número clave: | III - 74 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Rancho San Isidro, Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 54" N 99° 43' 34" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 12.19 e |
| Altura - msnm: | 465.9 |
| Piezometría - msnm: | 453.71 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Fecha: | 01/07/98 |
| Número clave: | III - 75 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Ejido El Barreal, Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 29" N 99° 42' 33" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 13.57 e |
| Altura - msnm: | 455 |
| Piezometría - msnm: | 441.43 |

Fecha: 01/07/98
 Número clave: III - 76
 Tipo: Noria
 Localización: ** Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 53' 55" N 99° 42' 03" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 10.40 e
 Altura - msnm: 455
 Piezometría - msnm: 435.4

Fecha: 06/07/98
 Número clave: III - 77
 Tipo: Noria
 Localización: Congregación Cabezones, Montemorelos
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 59' 50" N 99° 44' 75" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 8.11 e
 Altura - msnm: 470.5
 Piezometría - msnm: 462.39

Fecha: 06/07/98
 Número clave: III - 78
 Tipo: Noria
 Localización: Ejido Parientes, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 58' 14" N 99° 43' 98" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 7.90 e
 Altura - msnm: 454.6
 Piezometría - msnm: 446.7

Fecha: 06/07/98
 Número clave: III - 79
 Tipo: Noria
 Localización: ** Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 57' 07" N 99° 43' 04" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 13.40 e
 Altura - msnm: 456
 Piezometría - msnm: 442.6

Fecha: 06/07/98
 Número clave: III - 80
 Tipo: Noria
 Localización: ** Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 55' 53" N 99° 41' 32" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 19.03 e
 Altura - msnm: 420
 Piezometría - msnm: 400.97

Fecha: 08/07/98
 Número clave: III - 81
 Tipo: Pozo
 Localización: ** Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 55' 87" N 99° 40' 90" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 16.93 e
 Altura - msnm: 444
 Piezometría - msnm: 427.07

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 08/07/98 |
| Número clave: | III - 82 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Ejido La Laja, Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 54' 41" N 99° 41' 16" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 5.63 e |
| Altura - msnm: | 410.8 |
| Piezometría - msnm: | 405.17 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 08/07/98 |
| Número clave: | III - 83 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | El Sabinal, Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 54" N 99° 41' 08" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 14.62 e |
| Altura - msnm: | 408.3 |
| Piezometría - msnm: | 393.68 |

| | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| Fecha: | 08/07/98 |
| Número clave: | III - 84 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Ejido Las Anacuitas Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 25" N 99° 41' 19" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 8.81 e |
| Altura - msnm: | 403 |
| Piezometría - msnm: | 394.19 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 08/07/98 |
| Número clave: | III - 85 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | El Sabino, Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 18" N 99° 39' 46" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 14.10 e |
| Altura - msnm: | 412.1 |
| Piezometría - msnm: | 398.0 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 08/07/98 |
| Número clave: | III - 86 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Rancho San Jorge, Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 16" N 99° 38' 59" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 17.65 e |
| Altura - msnm: | 406.3 |
| Piezometría - msnm: | 388.65 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 08/07/98 |
| Número clave: | III - 87 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | ** Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 98" N 99° 37' 54" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 15.97 e |
| Altura - msnm: | 396.1 |
| Piezometría - msnm: | 380.13 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 08/07/98 |
| Número clave: | III - 88 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Magüiras, Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 54' 71" N 99° 37' 64" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 14.08 e |
| Altura - msnm: | 398.3 |
| Piezometría - msnm: | 384.22 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 08/07/98 |
| Número clave: | III - 89 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Rancho Los Angeles Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 53' 21" N 99° 37' 09" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 15.81 e |
| Altura - msnm: | 394.5 |
| Piezometría - msnm: | 378.69 |

GRUPO IV

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 15/07/98 |
| Número clave: | IV - 90 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Los Olmos, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 52' 01" N 99° 35' 50" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 14.57 e |
| Altura - msnm: | 372.5 |
| Piezometría - msnm: | 357.93 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 15/07/98 |
| Número clave: | IV - 91 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | ** Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 50' 84" N 99° 35' 03" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 11.68 e |
| Altura - msnm: | 375.8 |
| Piezometría - msnm: | 364.12 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 15/07/98 |
| Número clave: | IV - 92 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | El Barrito, Linares |
| Nombre del propietario: | José Luna |
| Coordenadas: | 24° 50' 81" N 99° 36' 49" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 13.09 e |
| Altura - msnm: | 387.2 |
| Piezometría - msnm: | 374.11 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 15/ 07 / 98 |
| Número clave: | IV - 93 |
| Tipo: | Papalote |
| Localización: | Angelica Yolanda, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 51' 47" N 99° 36' 45" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 11.86 e |
| Altura - msnm: | 385 |
| Piezometría - msnm: | 373.14 |

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Fecha: | 15/ 07 / 98 |
| Número clave: | IV - 94 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | San Antonio de los Barajas, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 50' 01" N 99° 37' 22" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 11.21e |
| Altura - msnm: | 398.1 |
| Piezometría - msnm: | 377.89 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 15/ 07 / 98 |
| Número clave: | IV - 95 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | La Estrella, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 49' 90" N 99° 38' 17" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 20.39 e |
| Altura - msnm: | 405.3 |
| Piezometría - msnm: | 384.91 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 15/ 07 / 98 |
| Número clave: | IV - 96 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Las Raíces de Abajo, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 50' 38" N 99° 38' 62" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 11.17 e |
| Altura - msnm: | 399.7 |
| Piezometría - msnm: | 388.53 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 15/ 07 / 98 |
| Número clave: | IV - 97 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | La Mesa, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 51' 17" N 99° 38' 12" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 34.70 e |
| Altura - msnm: | 419.4 |
| Piezometría - msnm: | 384.70 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 15/ 07 / 98 |
| Número clave: | IV - 98 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | ** Hualahuises |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 51' 81" N 99° 38' 77" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 10.76 e |
| Altura - msnm: | 398.6 |
| Piezometría - msnm: | 387.84 |

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 99
 Tipo: Pozo
 Localización: ** Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 52' 48" N 99° 39' 82" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 8.61 e
 Altura - msnm: 406.2
 Piezometría - msnm: 397.59

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 100
 Tipo: Noria
 Localización: Santa Rosa, Hualahuises
 Nombre del propietario: Hilda Saucedo
 Coordenadas: 24° 52' 68" N 99° 40' 56" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 9.09 e
 Altura - msnm: 403.1
 Piezometría - msnm: 394.01

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 101
 Tipo: Noria
 Localización: El Progreso, Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 52' 91" N 99° 43' 98" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 8.26 e
 Altura - msnm: 479.7
 Piezometría - msnm: 471.96

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 102
 Tipo: Noria
 Localización: ** Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 52' 02" N 99° 44' 00" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 14.84 e
 Altura - msnm: 516.3
 Piezometría - msnm: 502.14

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 103
 Tipo: Noria
 Localización: El Soldadito, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 50' 98" N 99° 45' 02" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 30.01 e
 Altura - msnm: 558.4
 Piezometría - msnm: 528.39

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 104
 Tipo: Noria
 Localización: ** Hualahuises
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 51' 62" N 99° 42' 11" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 19 e
 Altura - msnm: 466.03
 Piezometría - msnm: 447.03

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 105
 Tipo: Noria
 Localización: La Cruz, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 50' 36" N 99° 40' 21" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 23.24 e
 Altura - msnm: 426.5
 Piezometría - msnm: 403.26

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 106
 Tipo: Noria
 Localización: El Cangrejo, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 50' 48" N 99° 41' 13" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 15.24 e
 Altura - msnm: 448.7
 Piezometría - msnm: 433.46

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 107
 Tipo: Noria
 Localización: Rancho Nuevo, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 50' 59" N 99° 41' 97" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 15.18 e
 Altura - msnm: 471.2
 Piezometría - msnm: 456.02

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 108
 Tipo: Noria
 Localización: La Florida, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 51' 00" N 99° 42' 47" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 15.01 e
 Altura - msnm: 476.9
 Piezometría - msnm: 461.89

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 109
 Tipo: Noria
 Localización: Buenavista, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 50' 84" N 99° 43' 04" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 15.87 e
 Altura - msnm: 498
 Piezometría - msnm: 482.13

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 110
 Tipo: Noria
 Localización: La Atarjea, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 50' 51" N 99° 43' 49" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 5.14 e
 Altura - msnm: 492.5
 Piezometría - msnm: 487.36

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 111
 Tipo: Noria
 Localización: San Juan, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 50' 17" N 99° 44' 10" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 8.69 e
 Altura - msnm: 504.8
 Piezometría - msnm: 496.11

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 112
 Tipo: Noria
 Localización: El Durazno, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 49' 54" N 99° 43' 01" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 10.63 e
 Altura - msnm: 488.3
 Piezometría - msnm: 478.67

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 113
 Tipo: Noria
 Localización: El Yerbaniés, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 49' 16" N 99° 44' 05" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 14.62 e
 Altura - msnm: 529.1
 Piezometría - msnm: 514.48

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 114
 Tipo: Pozo
 Localización: El Colmillo, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 48' 32" N 99° 42' 97" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 38.57 e
 Altura - msnm: 553.7
 Piezometría - msnm: 515.7

Fecha: 15/07/98
 Número clave: IV - 115
 Tipo: Noria
 Localización: Rancho Guadalupe González, Linares
 Nombre del propietario: **
 Coordenadas: 24° 45' 85" N 99° 42' 09" W
 Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: 20.80 e
 Altura - msnm: 506.6
 Piezometría - msnm: 485.8

GRUPO V

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 18/12/98 |
| Número clave: | V - 116 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | San Carlitos, Linares |
| Nombre del propietario: | Antonio Martínez |
| Coordenadas: | 24° 46' 23" N 99° 43' 44" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 6.33 e |
| Altura - msnm: | 521.4 |
| Piezometría - msnm: | 515.07 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 18/12/98 |
| Número clave: | V - 117 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Santa Elena, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 47' 00" N 99° 43' 29" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 13.92 e |
| Altura - msnm: | 511.3 |
| Piezometría - msnm: | 497.38 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 18/12/98 |
| Número clave: | V - 118 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | ** Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 47' 83" N 99° 43' 58" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 4.87 e |
| Altura - msnm: | 483.5 |
| Piezometría - msnm: | 478.63 |

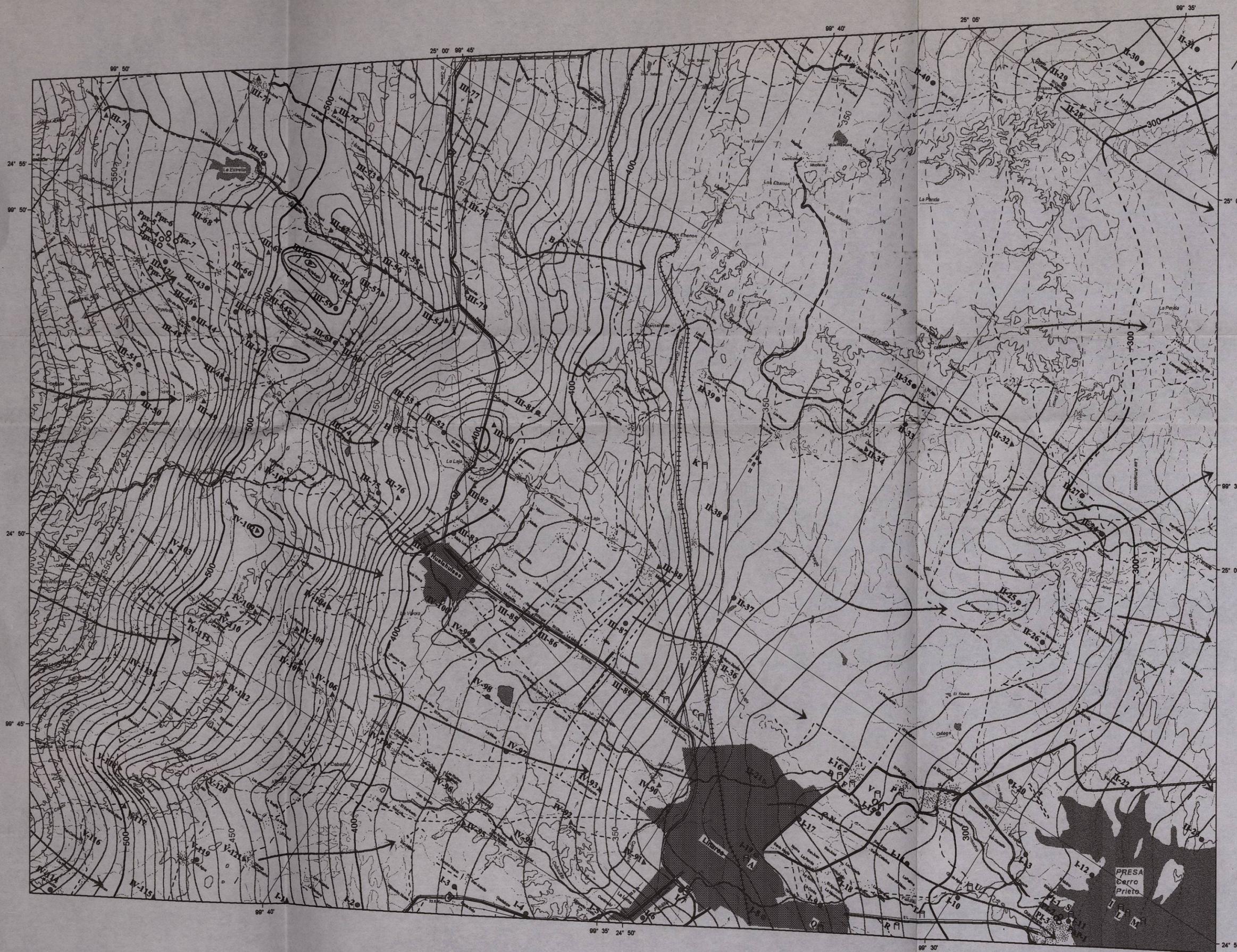
| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 18/12/98 |
| Número clave: | V - 119 |
| Tipo: | Pozo |
| Localización: | Ojo de Agua, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 46' 90" N 99° 41' 93" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 13.51 e |
| Altura - msnm: | 472.2 |
| Piezometría - msnm: | 458.69 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 18/12/98 |
| Número clave: | V - 120 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | ** Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 47' 88" N 99° 42' 13" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 3.41 e |
| Altura - msnm: | 447.3 |
| Piezometría - msnm: | 443.89 |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Fecha: | 18/12/98 |
| Número clave: | V - 121 |
| Tipo: | Noria |
| Localización: | Ciénega de Camacho, Linares |
| Nombre del propietario: | ** |
| Coordenadas: | 24° 47' 50" N 99° 40' 92" W |
| Nivel estático (e)/ dinámico (d) - m: | 12.16 e |
| Altura - msnm: | 461.8 |
| Piezometría - msnm: | 449.64 |

ANEXO 5

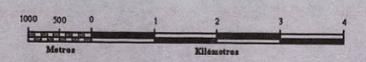
CARTA PIEZOMÉTRICA



SIMBOLOGÍA

| APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS | |
|---|------------|
| Pozo | ● III-54 |
| Noria | ▲ II-32 |
| Papalote | ⊕ IV-93 |
| Ensayo de bombeo | ○ Ppx-6 |
| Pruebas de aforo | ⊖ I |
| SÍMBOLOS PIEZOMÉTRICOS | |
| Isolíneas acotadas a cada 5 metros | — 50 — |
| Isolíneas inferidas | — 50 — |
| Dirección de flujo del agua subterránea | → |
| SÍMBOLOS HIDROLÓGICOS | |
| Corriente perenne | — |
| Corriente intermitente | — |
| Depósitos de agua (Presas y represas) | — |
| SITIOS DE INTERÉS | |
| Comunidad | ⊙ |
| Población | ■ |
| Carretera pavimentada | — |
| Terracería transitable en todo tiempo | — |
| Brecha | — |
| Ferrocarril en servicio público | — |
| Aeropista | ✕ |
| Pista de tierra | — |
| Línea telefónica | — |
| Línea telegráfica | — |
| Línea eléctrica de 33Kv o más | — 33.5Kv — |
| Línea eléctrica de menos de 33 Kv | — EL — |
| Curva de nivel acotada en metros | — 50 — |

ESCALA GRÁFICA



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE NUEVO LEÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARTA PIEZOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

SALVADOR ISRAEL
DE LA GARZA GONZÁLEZ

TESIS DE LICENCIATURA

2000

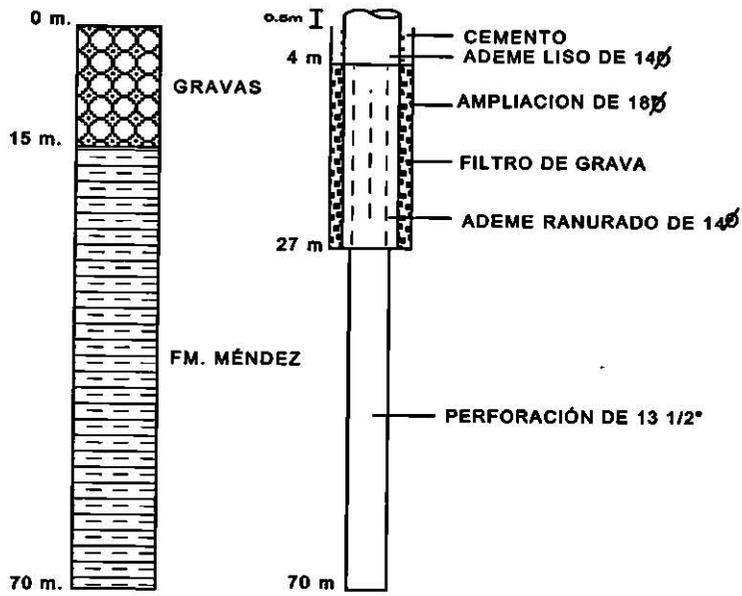
ANEXO 5

ANEXO 6

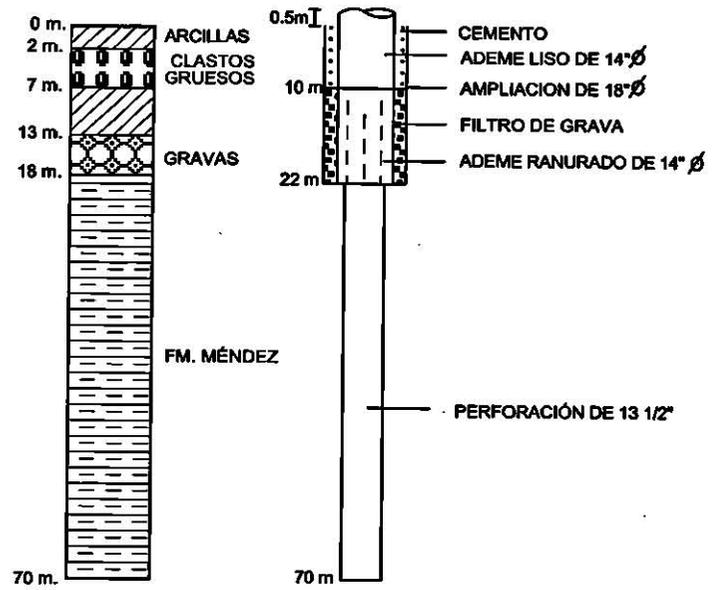
DISEÑO ESQUEMÁTICO DE ALGUNOS POZOS AFORADOS, COMPRENDIDOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

(TOMADO DE SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS, 1982)

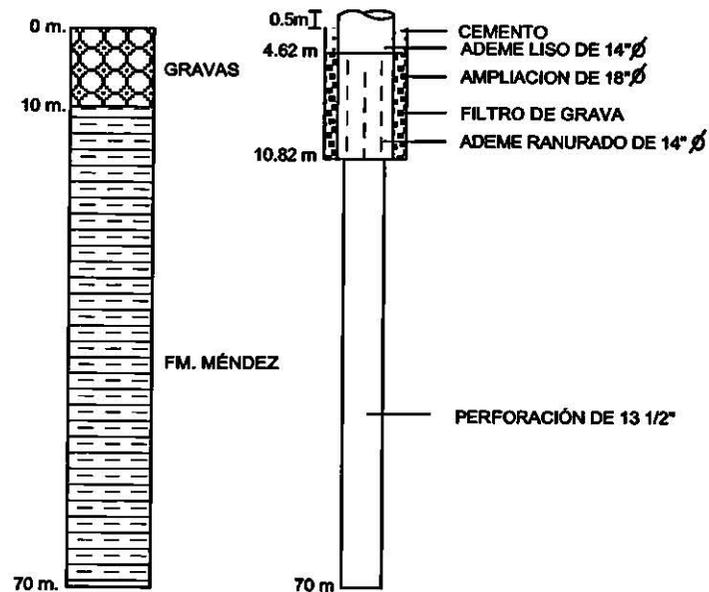
POZO RIO VERDE No. 1



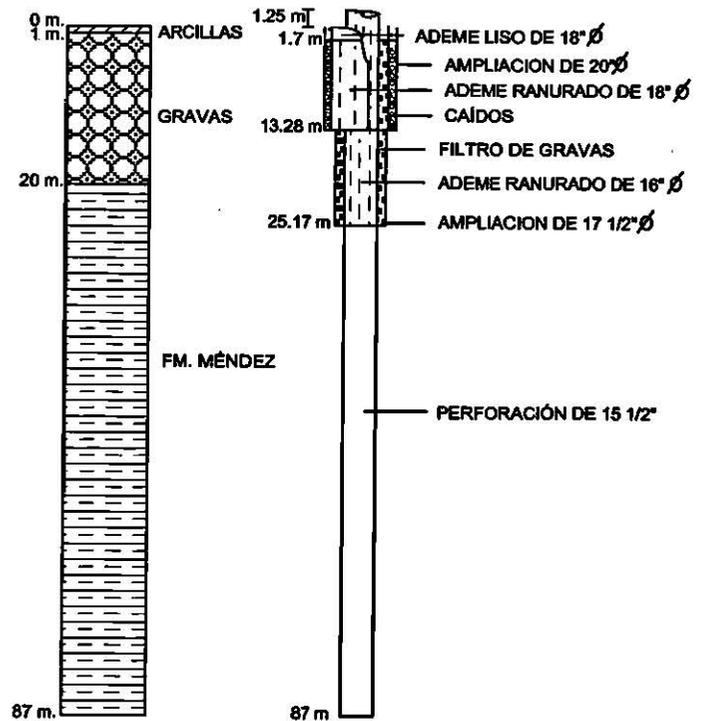
POZO RIO VERDE No. 2



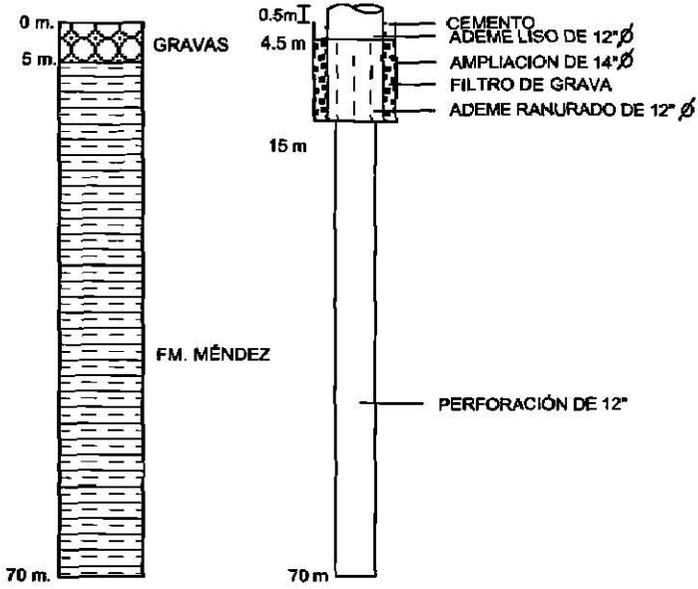
POZO RIO VERDE No. 3



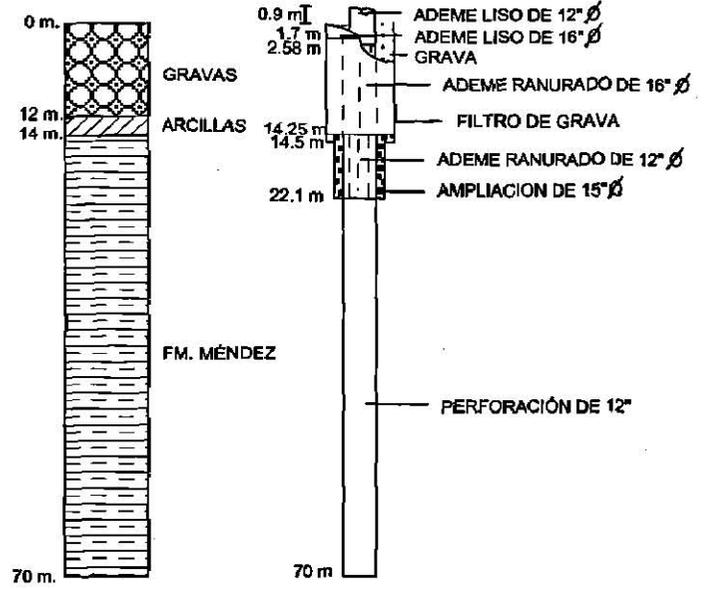
POZO SAN FELIPE No. 1



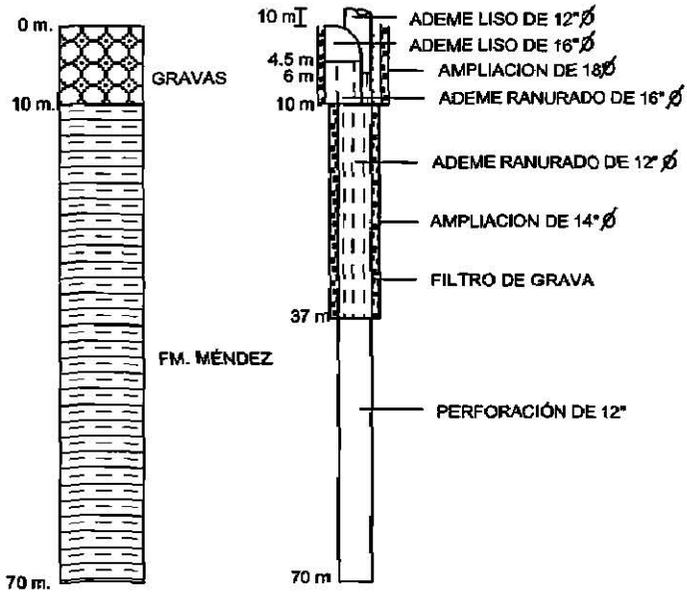
POZO EL REFUGIO No. 1



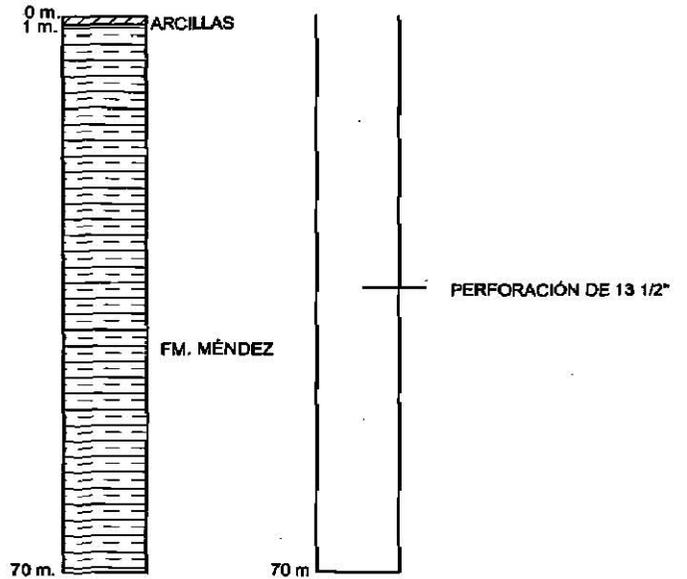
POZO EL REFUGIO No. 2



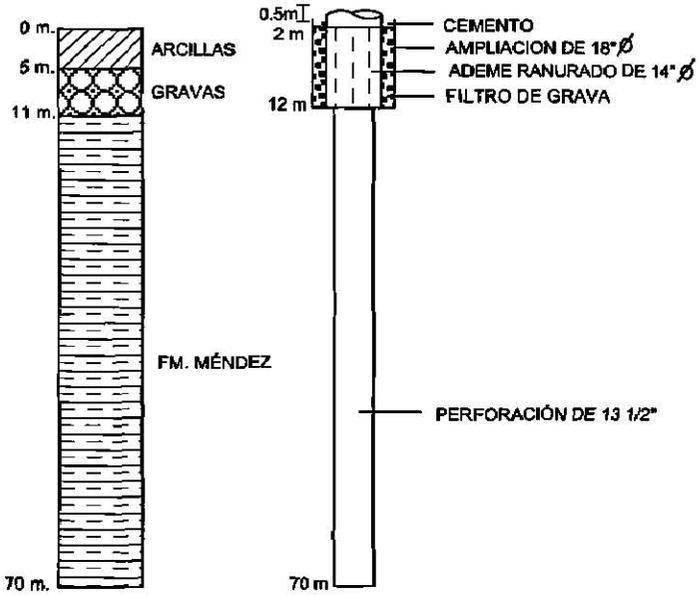
POZO EL REFUGIO No. 3



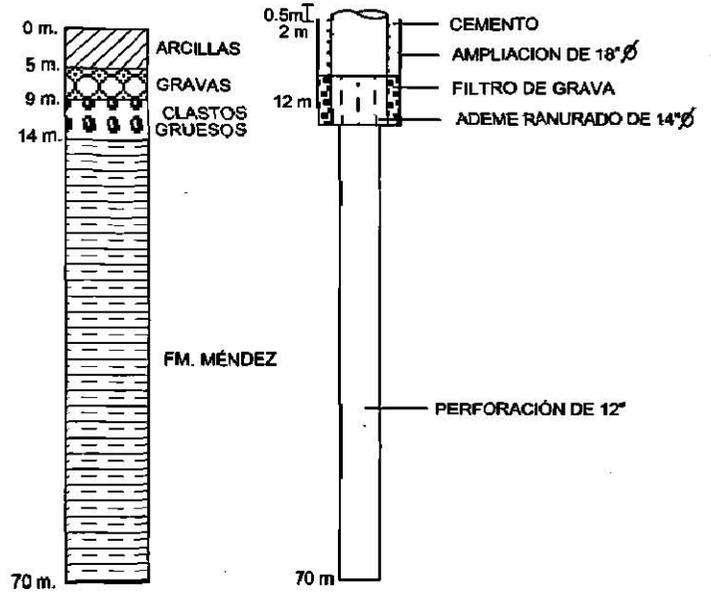
POZO PASO DE LAJAS



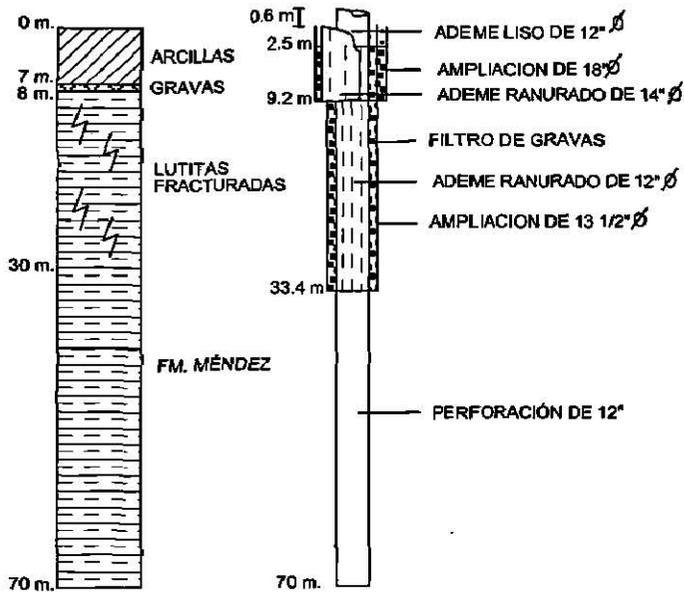
POZO LA MORITA No. 1



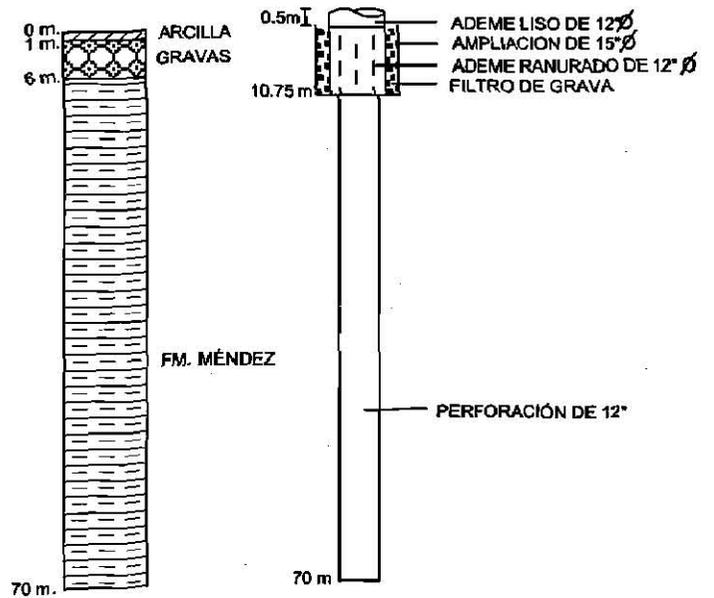
POZO LA MORITA No. 2



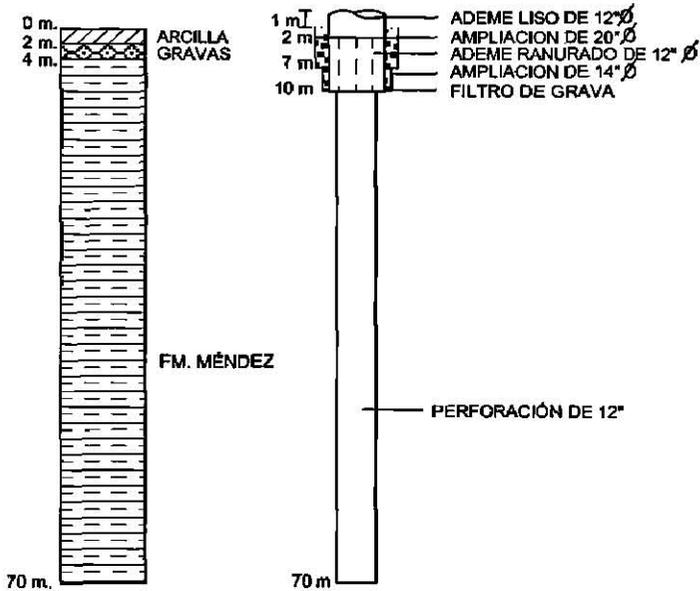
POZO LA MORITA No. 3



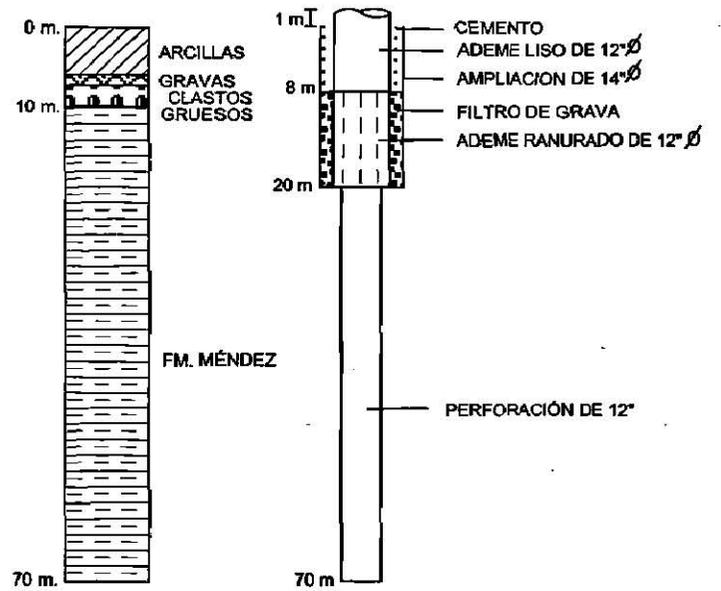
POZO GUADALUPE No. 1



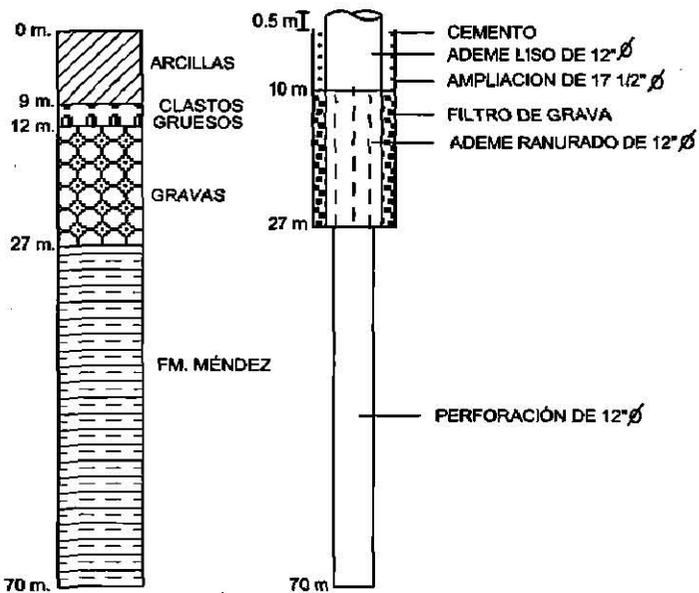
POZO GUADALUPE No. 2



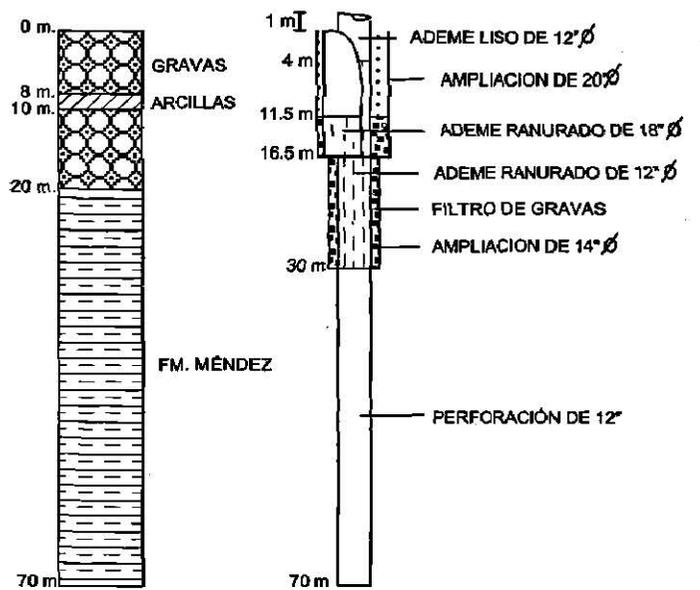
POZO LA PETACA No. 1



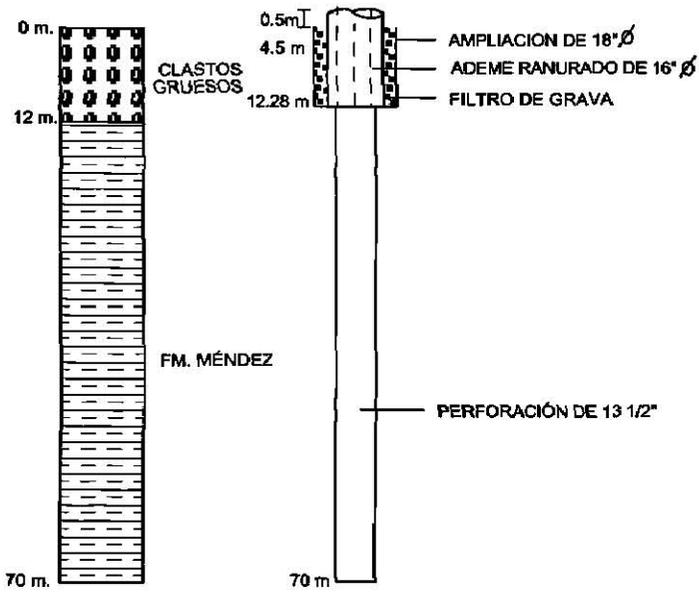
POZO LA PETACA No. 2



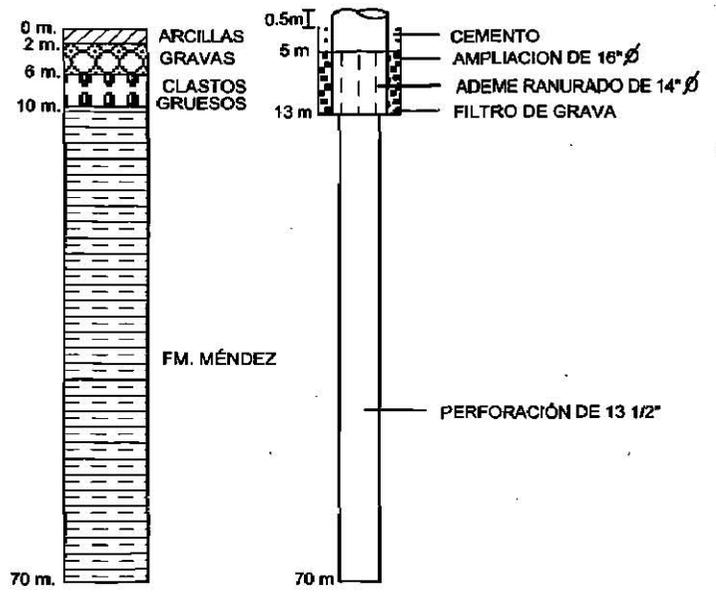
POZO LA PETACA No. 3



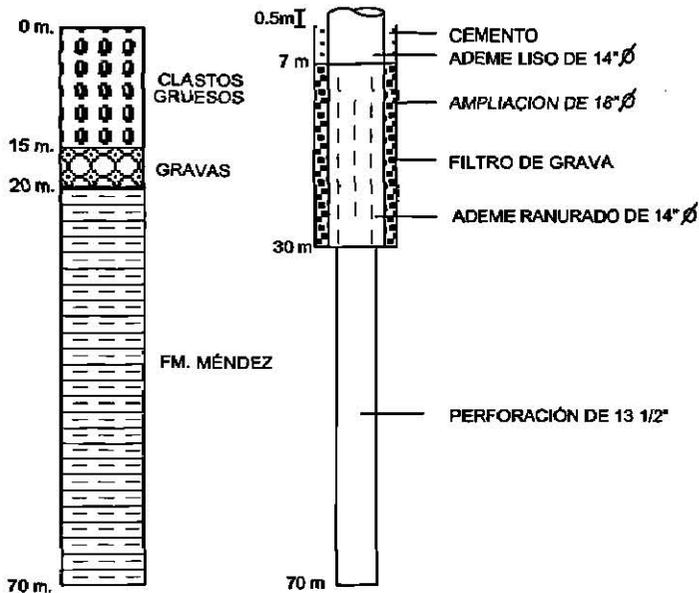
POZO LA LOMA No. 1



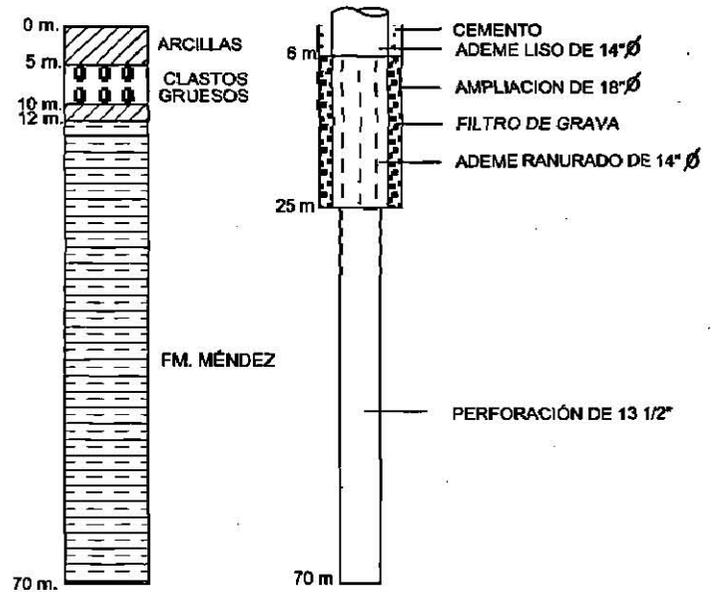
POZO LA LOMA No. 2



POZO EMILIANO ZAPATA No. 1



POZO EMILIANO ZAPATA No. 2



"EL ANGEL"
Empastado y Encuadernado de
Libros, Tesis, Etc.
Ave. Alamo 945 Col. Provilleón
Linares, N. L. Tel. 2-00-69

