



23  
Elev

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**Facultad de Ingeniería.**

**Definición del Funcionamiento Hidrogeológico  
de los Sistemas Cársticos del Area de  
Monterrey, N. L.**

Que para obtener el título de :

**INGENIERO GEOLOGO**

**P r e s e n t a**

**LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE**



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

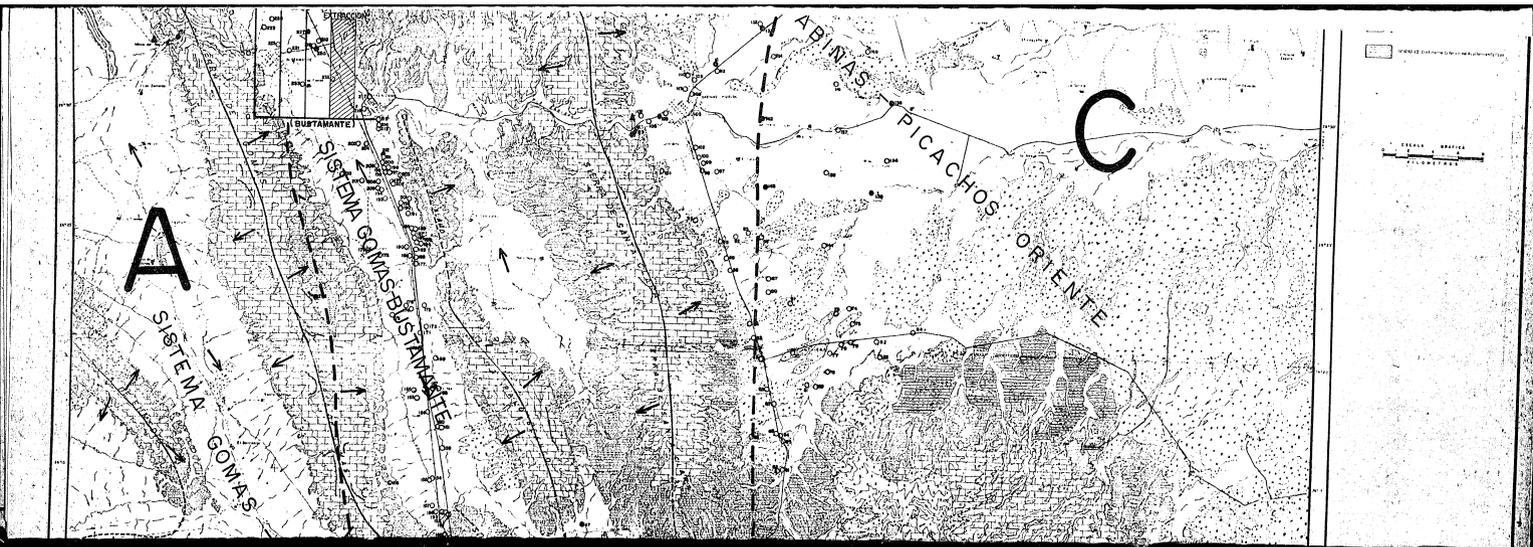
### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

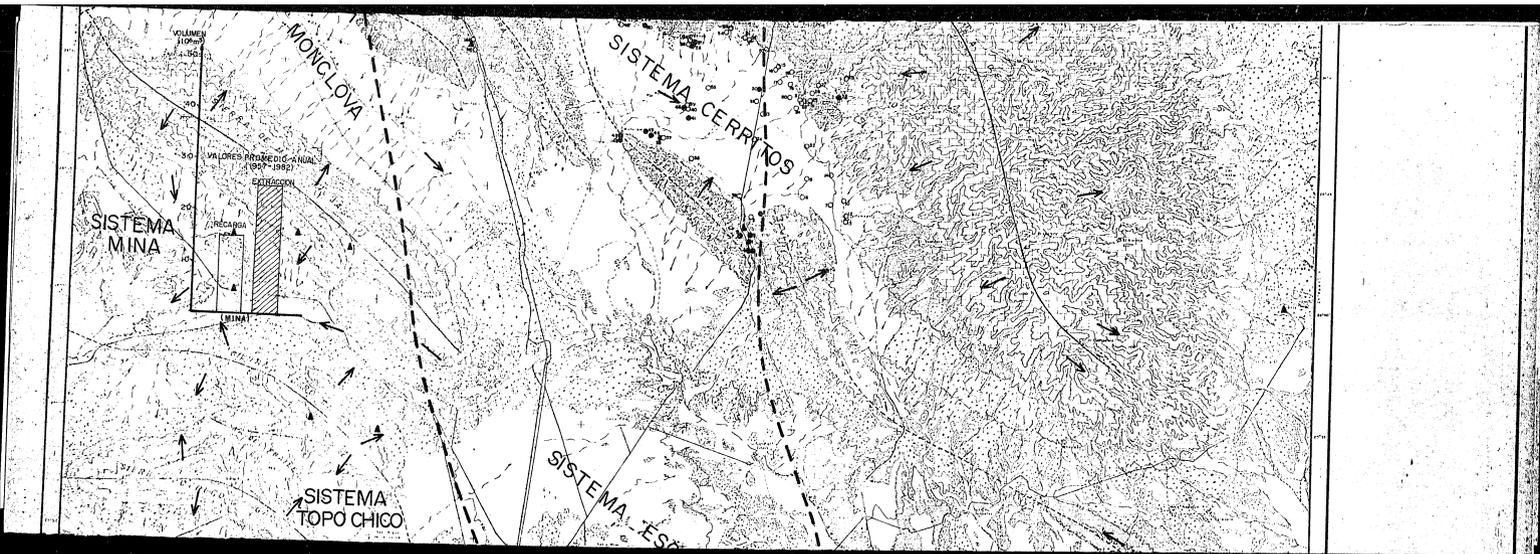
Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

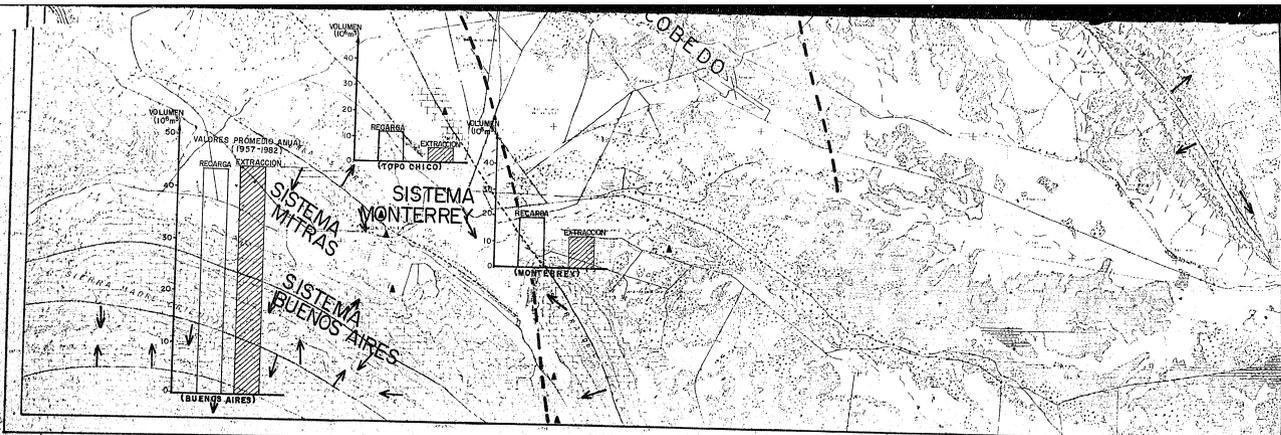
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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











UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA
	TESIS PROFESIONAL
VELAZQUEZ AGUIRRE LLAM.	1968

# CONTENIDO

	Página
<b>I. INTRODUCCION</b>	
I.1. Antecedentes .....	18
I.2. Objetivo .....	21
I.3. Estudios anteriores .....	21
I.4. Desarrollo del estudio .....	22
I.5. Agradecimientos .....	25
I.6. Localización .....	26
<b>II. GEOLOGIA</b>	
II.1. Marco geológico regional .....	29
II.2. Estratigrafía .....	36
II.2.1. Jurásico Superior .....	40
II.2.2. Cretácico Inferior .....	42
II.2.3. Cretácico Superior .....	53
II.2.4. Terciario y Cuaternario .....	56
II.2.5. Rocas ígneas .....	57
II.3. Aspectos geológicos-estructurales regionales .....	58
<b>III. HIDROGEOLOGIA</b>	
III.1. Análisis de los factores geológicos regionales .....	65
III.2. Factor estratigráfico .....	67
III.2.1. Descripción de las unidades hidrogeológicas .....	70
III.3. Factor geomorfológico .....	82
III.4. Factor tectónico-estructural .....	84

IV.	<b>HIDROGEOQUIMICA</b>	
IV.1.	Información hidrogeoquímica .....	91
	IV.1.1. Fuentes de información .....	91
	IV.1.2. Análisis físico-químicos .....	92
IV.2.	Concentraciones iónicas .....	92
	IV.2.1. Aniones .....	94
	IV.2.2. Cationes .....	97
IV.3.	Familias de agua .....	98
IV.4.	Distribución iónica .....	101
	IV.4.1. Sistema de pozos Mina .....	101
	IV.4.2. Sistema de pozos Buenos Aires .....	107
IV.5.	Equilibrio químico .....	111
V.	<b>SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS CARSTICOS</b>	
V.1.	Relación de estudios geoquímicos e isotópicos .....	129
V.2.	Sistemas hidrogeológicos en el área de estudio .....	140
	V.2.1. Sistema Mina .....	146
	V.2.2. Sistema Buenos Aires .....	148
	V.2.3. Sistema Gomas-Monclova .....	150
VI.	<b>ASPECTOS GEOHIDROLOGICOS</b>	
VI.1.	Introducción .....	151
VI.2.	Estimación de la recarga .....	152
	VI.2.1. Estimación de la recarga sistema Mina .....	155
	VI.2.2. Estimación de la recarga sistema Buenos Aires .....	164
VI.3.	Análisis de la extracción .....	167
	VI.3.1. Sistema de pozos Mina .....	168
	VI.3.2. Sistema de pozos Buenos Aires .....	173
	VI.3.3. Sistema hidrogeológico Santiago .....	180

VII.	DINAMICA DE LOS ACUIFEROS	
VII.1.	Sistema Mina .....	184
VII.1.1.	Relación abatimiento y $\Delta V$ .....	184
VII.1.2.	Relación recuperación y $\Delta V$ .....	188
VII.2.	Sistema Buenos Aires .....	193
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
VIII.1.	Conclusiones .....	199
VIII.2.	Recomendaciones .....	207

BIBLIOGRAFIA

- APENDICE I
- APENDICE II
- PLANOS E ILUSTRACIONES

## INDICE DE CUADROS

		Página
CUADRO	1 CLASIFICACION TEXTURAL DE LAS CALIZAS DE DUNHAM .....	47
CUADRO	2 FACTORES GEOLOGICOS REGIONALES.....	66
CUADRO	3 RELACION DE LA LITOLOGIA Y POSICION ESTRATIGRAFICA CON LAS CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS E HIDROGEOLOGICAS.....	68
CUADRO	4 POROSIDAD Y PERMEABILIDAD PRIMARIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS – CONSOLIDADAS Y CARBONATADAS .....	74
CUADRO	5 RELACION DE LAS CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS Y LA POSICION FISIOGRAFICA DE LA UNIDAD III .....	89
CUADRO	6 RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICOQUIMICOS EFECTUADOS.....	93
CUADRO	7 VALORES MEDIOS DE LAS CONCENTRACIONES IONICAS Y PARAMETROS FISICOS DEL AGUA DE LOS SISTEMAS ACUIFEROS DE MINA Y BUENOS AIRES .....	93
CUADRO	8 CLASIFICACION GEOQUIMICA DE AGUAS SUBTERRANEAS POR IONES DOMINANTES .....	100
CUADRO	9 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL PROGRAMA WATEQF.....	119
CUADRO	10 RESULTADOS DEL ESTUDIO ISOTOPICO Y ANALISIS FISICOQUIMICOS	136
CUADRO	11 SISTEMA HIDROGEOLOGICO BUENOS AIRES.....	148
CUADRO	12 DIFERENCIA ENTRE LA PRECIPITACION MENSUAL Y LA PRECIPITA- CION EFECTIVA MENSUAL PARA EL AÑO 1968. ESTACION MINA ...	159
CUADRO	13 PRECIPITACION EFECTIVA MENSUAL Y ANUAL DE LOS AÑOS MINIMO (1962), MAXIMO (1958) Y MÉDIO ESTIMADÓ. SISTEMA MINA .....	161
CUADRO	14 LAMINA DE RECARGA PROMEDIO (mm) EN LOS MESES CON PRECIPITA CION EFECTIVA EN EL PERIODO 1956–1982 PARA LA ESTACION MINA Y PROBABILIDAD DE OCURRENCIA .....	161
CUADRO	15 VARIACION PORCENTUAL EN LOS MESES CON RESPECTO A LA OCURREN CIA DE LA LAMINA DE RECARGA. SISTEMA MINA .....	162
CUADRO	16 PRECIPITACION, LAMINA DE RECARGA Y SU RELACION CON LA LAMI- NA DE RECARGA PROMEDIO Y EXTRACCION EQUIVALENTE PARA LOS SIETE PRIMEROS MESES DEL AÑO 1983 .....	163

CUADRO	17	RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LA PRECIPITACION EFECTIVA PARA LA ESTACION CLIMATOLOGICA COMITAS Y VOLUMEN DE RECARGA MENSUAL Y MEDIO ANUAL EN EL SISTEMA BUENOS AIRES (mm) PERIODO 1966-1982 .....	165
CUADRO	18	RELACION ENTRE EXTRACCION Y RECARGA ESTIMADA EN EL SISTEMA MINA .....	170
CUADRO	19	DATOS TECNICOS DE LOS POZOS DEL SISTEMA MINA PARA ABRIL DE 1983 .....	172
CUADRO	20	ABASTECIMIENTO DEL SISTEMA STA. CATARINA A LA CIUDAD DE MONTERREY, N. L. ....	174
CUADRO	21	VOLUMEN DE EXTRACCION ANUAL DEL SISTEMA BUENOS AIRES A PARTIR DE 1975 EN Mm <sup>3</sup> .....	175
CUADRO	22	RELACION ENTRE LA EXTRACCION Y RECARGA DE SISTEMA BUENOS AIRES .....	176
CUADRO	23	DATOS TECNICOS DE LOS POZOS DEL SISTEMA BUENOS AIRES PARA ABRIL DE 1983 .....	179
CUADRO	24	APORTACIONES DEL SISTEMA SANTIAGO PERIODO 1966-1982 .....	180
CUADRO	25	ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL SISTEMA MINA EN PERIODOS DE RECARGA NULA .....	185
CUADRO	26	ANALISIS DE LAS RECUPERACIONES DEL SISTEMA MINA .....	190

## INDICE DE LAMINAS

			Capítulo
LAMINA	1	LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	I
LAMINA	2	PROVINCIAS FISIOGRAFICAS	II
LAMINA	3	PALEOGEOGRAFIA DEL JURASICO SUPERIOR	II.
LAMINA	4	PALEOGEOGRAFIA NEOCOMIANO-APTIANO INFERIOR	II
LAMINA	5	PALEOGEOGRAFIA ALBIANO-CENOMANIANO	II
LAMINA	6	BOSQUEJO ESTRUCTURAL DE MEXICO-EVOLUCION GEODINAMICA	II
LAMINA	7	PELEOGEOGRAFIA CRETACICO SUPERIOR-RECIENTE	II
LAMINA	8	TABLA ESTRATIGRAFICA IDEALIZADA DEL JURASICO Y CRETACICO Y CORTA HISTORIA DE SEDIMENTACION	III
LAMINA	9	PALEOAMBIENTE DE DEPOSITO DE LA SERIE COAHUILA	II
LAMINA	10	PLANO-GEOLOGICO REGIONAL	II
LAMINA	11	COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS DE ALGUNAS LOCALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO.	II
LAMINA	12	MAPA GEOLOGICO-ESTRUCTURAL	II
LAMINA	13	ZONAS ESTRUCTURALES	II
LAMINA	14	SECCIONES GEOLOGICO-ESTRUCTURALES DEL AREA DE MONTE-RREY, N.L.	II
LAMINA	15	PLANO HIDROGEOLOGICO REGIONAL (BALANCE DE AGUA)	III
LAMINA	16	ESQUEMA IDEALIZADO DE HETEROTIPOS DE FACIES DE LA FORMACION CUPIDO Y VARIACION DE SU PERMEABILIDAD PRIMARIA.	III
LAMINA	17	CRITERIO GEOLOGICO PARA DEFINIR SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS EN ROCAS CALCAREAS PLEGADAS Y PRINCIPALES LIMITES QUE INTERVIENEN.	III
LAMINA	18	CLASIFICACION GEOQUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA POR MEDIO DE DIAGRAMAS DE PIPER.	IV
LAMINA	19	CONFIGURACION DE $SC_4^{++}$ MINA	IV
LAMINA	20	CONFIGURACION DE $CL^-$ MINA.	IV
LAMINA	21	CONFIGURACION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA. MINA	IV
LAMINA	22	CONFIGURACION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA. BUENOS AIRES.	IV

LAMINA 23	CONFIGURACION DE SULFATOS. BUENOS AIRES.	IV
LAMINA 24	RELACION ENTRE LOS INDICES DE SATURACION (SI) Y EL PH. (MINA)	IV
LAMINA 25	RELACION ENTRE LOS INDICES DE SATURACION (SI) Y EL PH. (BUENOS AIRES)	IV
LAMINA 26	CONFIGURACION DE LA RELACION CALCIO SOBRE MAGNESIO. MINA.	IV
LAMINA 27	RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DEL SODIO + POTASIO Y LA CONCENTRACION DE TRITIO.	V
LAMINA 28	RELACION ENTRE FUERZA IONICA Y LOS STD COMO UNA CLASIFICACION DE SISTEMAS DE FLUJO.	V
LAMINA 29	RELACION ENTRE ISOTOPOS AMBIENTALES ESTABLES PARA DIFERENCIAR AREAS DE RECARGA.	V
LAMINA 30	RELACION ENTRE LA ALTURA DE RECARGA E ISOTOPOS AMBIENTALES.	V
LAMINA 31	RELACION ENTRE TRITIO Y $O^{18}$ .	V
LAMINA 32	CRITERIO HIDROGEOQUIMICO PARA DELINEAR SISTEMA HIDROGEOLOGICOS EN ROCAS CALCAREAS.	V
LAMINA 33	PLANO ESTRUCTURAL DE LA CIMA DE LA FORMACION AURORA. MINA.	V
LAMINA 34	PLANO ESTRUCTURAL DE LA CIMA DE LA FORMACION AURORA. BUENOS AIRES.	V
LAMINA 35	RECARGA COMO FUNCION DE LA PRECIPITACION.	VI
LAMINA 36	RELACION ENTRE LA PRECIPITACION ACUMULADA MENSUAL Y LA LAMINA DE PRECIPITACION EFECTIVA DIARIA.	VI
LAMINA 37	VARIACION DE LA EXTRACCION DEL SISTEMA BUENOS AIRES.	VI
LAMINA 38	EVOLUCION DE LA ELEVACION MEDIA DEL NIVEL ESTATICO. MINA	VII
LAMINA 39	LEY DE ABATIMIENTO DEL SISTEMA DE POZOS MINA, N.L.	VII
LAMINA 40	LÉY DE RECUPERACIONES DEL SISTEMA MINA.	VII
LAMINA 41	GRAFICA DEL FUNCIONAMIENTO GEOHIDROLOGICO ESTIMADO DEL SISTEMA MINA.	VII

## I. INTRODUCCION

De las rocas carbonatadas, las calizas pueden llegar a formar los acuíferos - más productivos siempre y cuando su permeabilidad y porosidad alcancen las - condiciones o características que lo permitan desde el tiempo de su origen - en medios ambientales marinos hasta su funcionamiento en tierra como acuífe- ros. Estas variaciones están relacionadas con el medio y modo de origen, - los procesos de emplazamiento continental de las calizas y por su alta reac- tividad química de los minerales de carbonato que continen al entrar en con- tacto con un medio acuoso.

Las rocas calizas y el agua que circula en sus vacios integran un sistema - hidrogeológico muy especial denominado "Carst". Las principales caracterís- ticas que se manifiestan en este tipo de sistemas son la desaparición y rea- parición de corrientes superficiales y la circulación del agua canalizada en grandes aberturas subterráneas y a través de fisuras en la roca. En la su- perficie de las regiones cársticas suele formarse una morfología muy espe- cial característica de estos terrenos, así se tienen formas de absorción co- mo los Dolinas, Poljes y Sumideros; formas remanentes como Torres, Conos, Do- mos y Microdomos cársticos; formas de emergencia de agua comúnmente conoci- dos como manantiales.

El cárst se encuentra en todas las latitudes geográficas y a cualquier ele- vación, en dondequiera que las condiciones geotectónicas y climáticas favo- rezcan la depositación de sedimentos carbonatados o algunas otras rocas so- lubles y en donde el agua pueda fluir a través de ellas. Sin duda, los pro- cesos cársticos fueron uniformemente distribuidos en el pasado, probablen- te en todas las eras y períodos de la historia de la tierra. Sin embargo, - la mayoría de las calizas fueron formadas durante las fases intermedias de- los ciclos tectónicos Paleozoicos y Mesozoicos (Komatina, 1969).

El presente trabajo fué realizado en las áreas cársticas cretácicas adyacentes a la ciudad de Monterrey, N. L., y trata de establecer el funcionamiento hidrogeológico de dos sistemas acuíferos que han constituido su fuente primordial de suministro de agua potable durante los últimos veinticinco años. En primera instancia se establece un marco hidrogeológico de referencia, fundamentado en consideraciones geológicas y diferenciado en las relaciones hidrogeoquímicas e isotópicas del agua que contienen los acuíferos involucrados. Enseguida se tratan aspectos geohidrológicos como la recarga y la extracción de los acuíferos; así como, el abatimiento de los niveles en los pozos y sus relaciones, integradas estas en la dinámica de los acuíferos. Finalmente se dan los resultados y conclusiones más importantes, así como las recomendaciones generales y la propuesta de algunas políticas de explotación de las fuentes acuíferas.

#### I.1. Antecedentes.

El suministro de agua potable a la ciudad de Monterrey y su área metropolitana se inició en el año de 1950 con las captaciones de las Galerias Huasteca, San Jerónimo y el manantial Estanzuela; el caudal que integraban estas fuentes era de 510 lps, el cual contrasta notoriamente con el extraído en los meses de marzo a junio de 1978 en donde la aportación media mensual de los acuíferos ascendió a 6258 lps (caudal máximo extraído).

A medida que el crecimiento demográfico e industrial de la región avanzada las demandas de agua potable empezaron a rebasar el abastecimiento disponible, por lo que fué necesario buscar alternativas de suministro en una zona cuya disponibilidad superficial es escasa y con alto grado de competencia por el aprovechamiento del recurso. Mediante la realización de reconocimientos geológicos e hidrológicos fue posible identificar lo que en su momento

y aún en la actualidad es un gran descubrimiento, sobre todo por la magnitud de las obras de captación, pozos perforados en calizas a más de mil metros - de profundidad y con caudales medios superiores a los 150 lps. Si bien es cierto que los acuíferos en medios fracturados presentan expectativas respecto a su localización y producción, más incierto es aún el potencial de ellos, lo que muchos escépticos de su tiempo discutieron. Afortunadamente, para la ciudad de Monterrey, N. L., los acuíferos explotados han presentado una gran "nobleza" y permitieron el desarrollo de esa gran urbe industrial. Sin embargo, todo tiene un límite, el cuál fué alcanzado por efectuar una explotación parcialmente irracional motivada por las necesidades del desarrollo lo que propició la sobre explotación de los acuíferos.

Los efectos de haber extraído tal magnitud de los acuíferos en calizas y de sostener hasta 1981 un ritmo de explotación de  $6.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$  aunado a la falta de lluvia efectiva para recargar adecuadamente los acuíferos en los años - 1979 y 1980, provocó el descenso de los niveles del agua en los pozos que, - en el caso del sistema Mina fué de 120m de abatimiento en 20 meses (dic. - 1978 a jul. 1980); los efectos anteriores fueron observados también en el - sistema Sta. Catarina, en donde los pozos "Buenos Aires" dejan de ser brotan- tes, descendiendo el nivel del agua a partir de septiembre de 1979. Más - drástico aún es el comportamiento de la galería Huasteca, ya que a partir de noviembre de 1979 su aportación se ve reducida a más del 50%, disminuyendo - paulatinamente hasta dejar de producir en Mayo de 1981.

Por otro lado, la demanda de agua potable del área metropolitana de Monte- rrey, N. L., se estima en aproximadamente  $11 \text{ m}^3/\text{seg}$  (CPNH, 1983) siendo la - producción media actual de las fuentes de abastecimiento de aproximadamente  $8.3 \text{ m}^3/\text{seg.}$  (SADM, 1984). Se calcula que para el año 2000 se requerirán - casi  $25 \text{ m}^3/\text{seg}$  (CPNH, 1982) lo que equivale a tres veces lo suministrado. - Las necesidades tanto actuales como futuras deben ser satisfechas mediante-

el manejo conjunto de las fuentes subterráneas actuales y las fuentes alternativas superficiales proyectadas; sin embargo, las fuentes subterráneas — presentan un panorama comprometedor a corto y mediano plazo ya que de conjunarse de nuevo años con baja precipitación efectiva para recargar los acuíferos y de seguir una explotación irracional de estos, las velocidades de abatimiento en los niveles de los pozos pueden alcanzar ciertos valores peligrosos dada la poca profundidad, con respecto al nivel máximo de operación, a que se encuentran actualmente las columnas de succión

El número y tipo de fuentes de suministro de agua para Monterrey ha ido incrementándose y paulatinamente serán transformadas; es decir, se mencionó — líneas arriba el contraste entre las extracciones iniciales y actuales, sin embargo el incremento fué básicamente a costa de la explotación de fuentes subterráneas, alrededor de un 80% del suministro total en los últimos 10 — años. Respecto a la diversificación de las fuentes, los últimos datos recopilados para Agosto de 1984, indican que los acuíferos proporcionan ya sólo el 60% del suministro. Este decremento, aunque notorio, no implica disminución en el volumen abastecido por los acuíferos (del orden de  $5.0 \text{ m}^3/\text{seg}$ ) sino que evidencia el inicio de la participación de las nuevas fuentes alternativas de suministro como el Acueducto Linares-Monterrey, el cual cargará con el peso mayor del abastecimiento en el transcurso del tiempo venidero, quedando sólo las fuentes subterráneas como un complemento. Sin embargo queda por saber cuál es el caudal de extracción de estas fuentes para — que no se llegue, por un lado, a niveles críticos como los registrados en los últimos años anteriores (1983) y por otro, recomendar la extracción para — que los acuíferos sean fuentes de suministro confiables para complementar — el abastecimiento a una urbe industrial que crece y demanda mayores cantidades de agua cada día.

## I.2. Objetivo

El presente trabajo es un análisis del comportamiento de los sistemas acuíferos cársticos que abastecen a la ciudad de Monterrey y su área metropolitana con el objeto de encontrar las acciones al corto y mediano plazo que permitan salvaguardar el abastecimiento sin nulificar estas fuentes hasta la entrada en operación, de una manera definitiva, de las obras superficiales proyectadas para alimentar al acueducto Linares-Monterrey; asimismo proponer al largo plazo una explotación racional del recurso subterráneo para lograr que éstas fuentes sean un complemento confiable del suministro.

## I.3 Estudios Anteriores.

Son numerosos los trabajos e investigaciones de carácter geológico que se han realizado en el noreste del país, cabe mencionar solo algunos de los autores de ellos: Burckhardt y Böse en la década de los años veinte; Inlay, Muir, y Kellum en los treinta y cuarentas; Humprey y Díaz en los cincuentas; así como De Cserna y M. Tardy en los años sesentas y setentas, respectivamente. La mayoría de estos autores sustentan las referencias citadas en los trabajos consultados en este estudio, entre los que destacan: "Paleoenvironmental analysis of the Lower Cretaceous Cupido Formation, Northeast Mexico", por Conklin and Moore de la Universidad de Texas en Austin; "Las Imágenes — LANDSAT una herramienta útil en la interpretación geológica estructural, un ejemplo en el noreste de México" por M. Mitre-Salazar, Instituto de Geología de la UNAM. La lista completa de publicaciones revisadas se proporciona en la Bibliografía.

Con respecto a estudios de carácter geohidrológico, hasta la fecha existen algunos y muy variados en el área de Monterrey, N. L.; sin embargo en la mayoría y principalmente los primeros (CIEPS, 1968, e INSISA, 1972), el concepto de continuidad hidráulica entre los principales acuíferos (Mina, Bue-

nos Aires, Sierra Madre, etc). erá considerando como una hipótesis y aspectos geohidrológicos como las direcciones de flujo, áreas de recarga, etc.,- fueron establecidos como una interdependencia directa entre los sistemas. - Sin embargo, hasta 1974 cuando se realizó un estudio en base a isotopos ambientales (Payne y García) se establece la independencia entre tres de los principales sistemas (Mina, Buenos Aires y Area Metropolitana) y se plantea la misma hipótesis para los sistemas cársticos de la región. Posteriormente en 1980 la Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH) realizó un análisis regional de los acuíferos cársticos adyacentes a la ciudad de Monterrey tomando como fundamento los resultados obtenidos del estudio isotópico y - aplicando una metodología basada en aspectos geológicos e hidrogeoquímicos- donde se logró delinear y diferenciar los sistemas hidrogeológicos cársticos del área.

#### I.4. Desarrollo del Estudio.

El presente estudio es la integración de los resultados de dos proyectos realizados por el autor en el área de Monterrey, N. L., en los años de 1980 y 1982-83 como parte de los trabajos internos de la Dirección de Inventarios de Agua y Suelo de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, - - (CPNH). En 1980 se realizó el análisis hidrogeológico regional de los acuíferos cársticos adyacentes a Monterrey, N. L., lográndose delinear y diferenciar los sistemas hidrogeológicos del área, el segundo estudio corresponde a un análisis del comportamiento geohidrológico de estos sistemas lo que permitió establecer los lineamientos de las relaciones entre la recarga, extracción y abatimiento. De esta manera, integrando ambos trabajos, es decir, la concepción hidrogeológica de la zona y el comportamiento geohidrológico de los principales acuíferos, fué posible definir el funcionamiento- - (teórico) de las principales fuentes de suministro que abastecen a la ciu-

dad de Monterrey, N. L.

En el año de 1980 se realizaron las principales visitas a la zona de estudio donde fué posible efectuar los reconocimientos geológicos en la mayoría de los principales sitios donde afloran las secuencias de roca, también en ese tiempo fueron censados los aprovechamientos que explotan acuíferos calcáreos y muestreados para su posterior análisis físico-químico. En ese año fué recopilada y analizada la mayoría de la información geológica, hidrológica hidrogeoquímica e hidrométrica de la zona.

La información geológica recopilada consistió primordialmente de datos del subsuelo del área de estudio, como los cortes litológicos, croquis de construcción y localización de los pozos emplazados en los sistemas hidrogeológicos de Mina, Buenos Aires, Monterrey y Topo Chico. La información anterior fué proporcionada por la Comisión de Agua Potable y Drenaje de Monterrey (CAP y DM) y la Residencia en el estado de Nuevo León de la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas de la SARH.

Con la información de la geología del subsuelo obtenida y la correspondiente a la geología superficial, recabada de los planos geológicos del área de estudio de PEMEX y DETENAL, fué posible obtener un marco de referencia geológico el cuál fué complementado por la revisión de los trabajos publicados por gran cantidad de investigadores que han estudiado el noreste del país.

Se contó con información de la precipitación diaria registrada en las estaciones climatológicas Mina y Comitas en el estado de Nuevo León. El período escogido para el análisis, en el caso de Mina, fué el comprendido — desde 1956 a 1982 y para Comitas desde 1966 a 1982. Las fuentes que proporcionaron los registros pluviales fueron: EL Banco de Datos Climatológicos -

de la CPNH (BACADLI) cuyo apoyo proviene del Servicio Meteorológico Nacional; la Subdirección de Información y Coordinación de la Dirección General de Control de Ríos (DGCR) y la Subdirección de Hidrología de la Dirección General de Estudios (DGE) a través de la División Hidrométrica en el estado de Nuevo León de la SARH.

Esta información fué fundamental en el cálculo de precipitación efectiva - diaria ya que fué la base para la posterior estimación del volumen de recarga de los sistemas Mina y Buenos Aires. Para tal efecto se realizó un programa que calcula la precipitación diaria efectiva para la recarga, así como los valores mensuales acumulados, los promedios anuales mensuales y la frecuencia de ocurrencia de la precipitación efectiva; estos resultados se presentan en el Apendice I.

En una visita efectuada a la ciudad de Monterrey, N.L., la CAP y DM proporcionó las observaciones de los niveles de agua, así como los volúmenes de extracción, de los sistemas acuíferos en calizas que abastecen a la ciudad (Apendice II). La actualización y rectificación de todos los datos referentes a los sistemas acuíferos tanto técnicos como operativos se realizó gracias a la colaboración del Departamento de Ingenieros del organismo Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) que concedió el acceso a sus archivos con el apoyo de su personal.

A fines de 1982 y principios de 1983, se procedió con base en la información obtenida previamente, a buscar las relaciones entre la recarga, la extracción y la evolución histórica de las fuentes de suministro "naturales" (Sistema Santiago, principalmente).

### 1.5. Agradecimientos.

Muchas son las personas e instituciones a las que debo agradecer para que el presente trabajo haya sido realizado, en primera instancia quiero dirigirme al maestro y amigo ING. JAIME A. TINAJERO GONZALEZ cuyas enseñanzas y consejos me han permitido conocer el interesante camino de la geohidrología y aprovecho para darle las gracias por haber aceptado dirigir esta tesis y permitirme utilizar los datos de proyectos realizados en conjunto como miembros de la Dirección de Inventarios de Agua y Suelo de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico de la SARH.

AL ING. JULIO ADAME Representante de la SARH en el estado de Nuevo León, por su cooperación en el desarrollo del presente estudio.

AL ING. GUILLERMO DE LA TORRE, Jefe del Programa Hidráulico (1981) del estado de Nuevo León de la SARH por su valiosa cooperación y apoyo, al facilitar sus instalaciones y equipo para la realización de los trabajos de campo.

AL ING. JOSE LUIS RIVERA, Residente de Geohidrología en el estado de Nuevo León de la SARH por sus interesantes opiniones e información proporcionada, así como instalación y equipo para la realización de las actividades del presente estudio. También al ING. WILFRIDO TORRES C. de la misma dependencia por su valiosa intervención.

AL ING. ENRIQUE TORRES LOPEZ, Director General de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey por el apoyo ofrecido al proporcionar las instalaciones e información de los archivos para la realización del análisis y actualización de los datos; así como a los Ingenieros: Rogelio González, Gerente General de Operación y Salvador Zamudio, Jefe de Operación de la misma institución, por sus interesantes opiniones vertidas y facilidades otorgadas.

AL ING. FEDERICO VILLAREAL, Vocal Ejecutivo de la Comisión de Agua Potable y Drenaje de Monterrey, por su ayuda al proporcionar la información complementaria.

AL ING. JOSE LUIS ROSAS L., Gerente General de EXYCO, S. A., por su apoyo, estímulo y revisión del presente documento.

AL ING. JUAN MANUEL LESSER I por sus opiniones vertidas e información proporcionada.

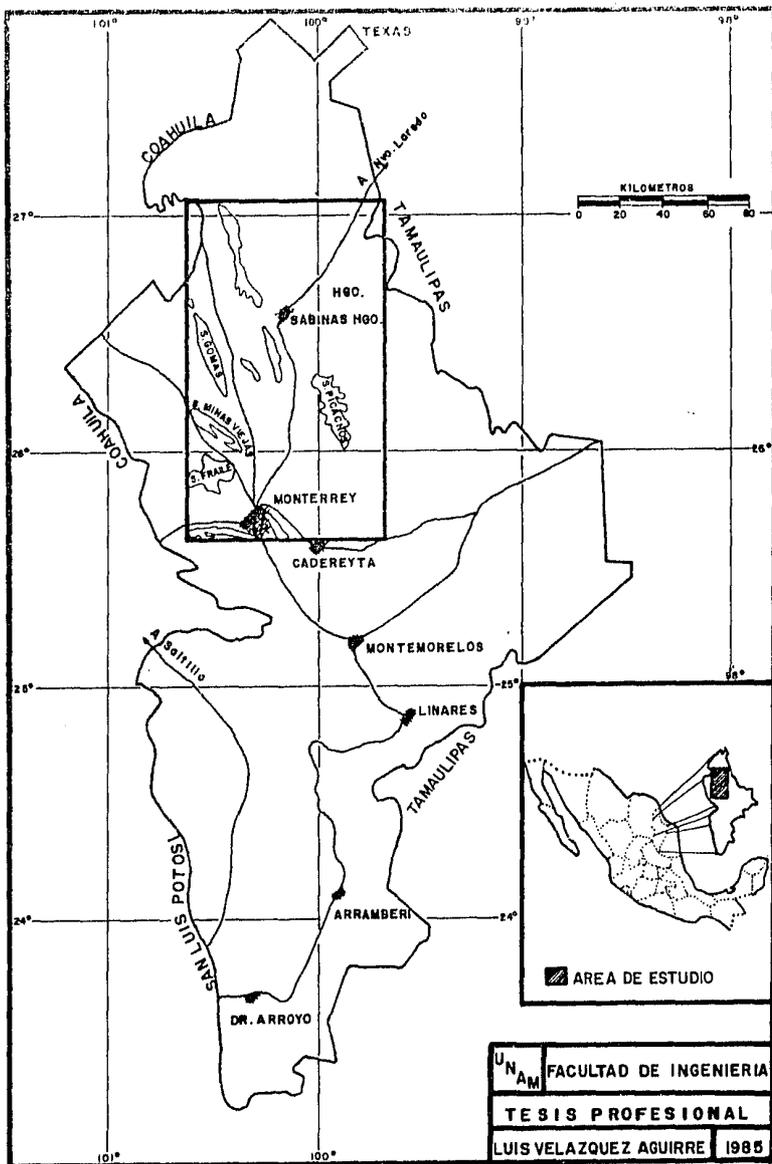
A mis compañeros de trabajo que de una y otra forma son participes en muchas de las actividades realizadas: ING. DANIEL ZUÑIGA ORTIZ, EUGENIO DIAZ MIRANDA Y JOSE MA. MORELOS RESENDIZ.

Por último, a mi primo ING. JESUS MA. AGUIRRE G. por su valiosa cooperación y facilidades otorgadas en la ciudad de Monterrey N. L.

## 1.6. Localización

El área de estudio se localiza al norte de la República Mexicana, en el extremo septentrional del estado de Nuevo León, delimitada por las coordenadas geográficas 25° 32' y 27° 05' de latitud norte y 99° 40' a 100° 40' de longitud oeste. El área cubierta para efectuar la conceptualización hidrogeológica regional abarca más de 12000 km<sup>2</sup> y se muestra en la LAMINA 1. El área metropolitana de la ciudad de Monterrey (AMC Monterrey) incluye los municipios Garza García, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza y - Santa Catarina.

A una altitud de 538 msnm el AMC Monterrey tiene una temperatura media - - anual de 22.1°C y una precipitación media de 635 mm/año; en el mes más cá lido, agosto, rige una temperatura de 28.3°C y en el más frío, enero, de -



LAMINA No. 1 PLANO DE LOCALIZACION

14.7°C. El clima de acuerdo a Köppen (modificado por E. García) es seco estepario con lluvias en verano y seco en invierno. EL AMC Monterrey se localiza, hidrológicamente, en la cuenca hidrológica del Río San Juan, afluente derecho del Río Bravo, esta cuenca está expuesta a frecuentes perturbaciones ciclónicas del Golfo de México, fenómenos que producen condiciones climáticas extremas.

## II. GEOLOGIA

La deformación producida por los esfuerzos que actuaron sobre áreas de sedimentación mesozoica dieron como resultado los modelos estructurales en el noreste de México. El carácter y extensión de estos, son debido al espesor y naturaleza del conjunto de rocas sedimentarias y a los elementos positivos contemporáneos del Mesozoico, los cuales actuaron como contrafuerte de los esfuerzos. Así la geomorfología actual en el noreste de México - representa la distribución y el carácter de los modelos estructurales existentes. (Humprey, 1956 en Conklin and Moore, 1977).

El área de estudio, se encuentra ubicada dentro de dos principales unidades paleogeográficas del Jurásico Superior: al sur sobre la Cuenca Sedimentaria Mesozoica y al norte sobre el Golfo de Sabinas. Como se explica en el párrafo anterior, estas unidades corresponden, respectivamente, a las siguientes provincias fisiográficas actuales: Sierra Madre Oriental y Pliegues Marginales de Coahuila (Cuencas y Sierras de Humprey, Op.Cit.), como se presenta en la LAMINA 2.

### II.1. Marco Geológico Regional.

Los diferentes tipos de rocas que afloran en el área de estudio tienen una edad del Jurásico Superior (160m.a.) al Reciente; se describen a continuación los eventos geológicos del Mesozoico en el noreste de México - (CPNH, 1978 modificado):

El inicio del Mesozoico se caracteriza por ser un período de emersión y erosión de las rocas plegadas (OACHITA) del Paleozoico en una fase de acomodación de bloques corticales alóctonos, deslizándose a lo largo de fallas transformes (Anderson W, 1983). La deformación post-Pérmica del Geosinclinal Oachita





creó las paleopeninsulas mesozoicas de Coahuila y Tamaulipas y en la fase tectónica, mencionada anteriormente se inició la apertura del Golfo de México.

El principal evento de la historia del Mesozoico en el área, involucra el relleno gradual de esta cuenca y la parcial sumergencia de las penínsulas de Tamaulipas y Coahuila (Conklin and Moore, 1977). El primer ciclo del relleno de esta cuenca (Triásico-Jurásico inferior) principia con la deposición de capas rojas clásticas continentales asociadas con afallamiento en bloques de la orogenia Nevadiana (Humphrey, 1956 en Conklin and Moore, 1977), estos depósitos son similares a la Formación Huizachal de Inlay (Humphrey y Díaz, 1956) o a un mollase continental tipo Formación Nazas (Tardy y Ruiz, 1974) seguido de una fase precoz (Cimeriana?) de plegamiento (Tardy, 1976).

La segunda fase de relleno, LAMINA 3, fue marcada con el depósito de evaporitas y calizas lagunares (Fm. Zuloaga y Minas Viejas) iniciando de esta manera la gran invasión marina (transgresión) del Mesozoico, continuando sin interrupciones hasta fines del Mesozoico (Cretácico Tardío). Al respecto, los movimientos Nevadianos según Humphrey y Díaz (Op. cit.) fueron probablemente caracterizados por fallamientos en bloques e incipiente vulcanismo en las áreas continentales que circundaban los mares, manifestándose esto en la secuencia del Kimerigdense Tardío (Formación la Caja).

En los inicios del Cretácico para el intervalo del Berriasense al Aptense (Cretácico Temprano) continúa la transgresión desarrollándose una plataforma somera sobre el Golfo de Sabinas, bordeada hacia mar abierto por un bien definido alineamiento arrecifal (arrecife Cupido), separando la secuencia clástico-carbonatada de poca profundidad representada por las formaciones incluidas en la Serie Coahuila (LAMINA 4) con la secuencia homogénea de calizas con fauna pelágica de un ambiente de mar abierto y de mayor profundidad



**UNIDADES PALEOGRAFICAS**

- 1 Península de Coahuila
- 2 Península de Tamaulipas
- 3 Península de Aldama
- 4 Cuenca de Chihuahua
- 5 Golfo de Sabinas
- 6 Golfo Ancestral de Mexico

FUENTE: III Simposio de Geología del Sub suelo, PEMEX, 1976



FUENTE: III Simposio de Geologia del Subsuelo, PEMEX, 1976

excepto en aquellas áreas que cubrieron la antigua Península de Tamaulipas- y que son de aguas no tan profundas. Para el Albense-Cenomanense temprano- (Cretácico Medio) son cubiertas por el mar, los elementos (relictos del Paleozoico) que aún quedaban emergidos (Península de Coahuila), cubriéndolos- una secuencia de carbonatos y evaporitas de poca profundidad, formando dos- plataformas (Del Burro y Coahuila) bordeadas por un arrecife progradante, - (Conklin and Moore, 1977) como se observa en la LAMINA 5.

EL Cretácico Tardío (Coniacense-Maestrichtense) se caracteriza por el cam- bio en el patrón sedimentológico, pasando de calcáreo a una secuencia de te- rrígenos, originados por las primeras pulsaciones orogénicas en las partes- central y occidental del país, dando como resultado una progradación hacia- el oriente de las líneas de costa y sus depósitos deltaicos; sin embargo se forman dos cuencas profundas de rápida subsidencia como la de Parras y la - Carbonífera de Sabinas en donde se depositan grandes acumulaciones de arcil- llas y arenas principalmente, integrando de esta manera un depósito tipo - flysch el cuál presenta, de acuerdo a Tardy et al (1974-1), migraciones en el tiempo y en el espacio y que precede a la orogenia geosinclinal.

Desde el fin del Cretácico y hasta el Cenozoico Temprano (Paleoceno-Eoceno) los materiales depositados en el Mesozoico son diversamente deformados por- los esfuerzos de la orogenia laramide, motivados por la interacción de una - placa oceánica (Farrallon) y una placa continental (Americana) en donde, la- primera más pesada subduce a la más ligera; el plegamiento estuvo acompaña- do por fallas inversas y cabalgaduras (Napa de Parras, Tardy et. al, 1974).

En el curso del Eoceno-Oligoceno, la destrucción de las estructuras larami- dicas es acompañada por el depósito en discordancia de molasas continenta- les (Tardy op. cit, 1974) tipo Formación Ahuichila. Para el Mioceno una fa- se tectónica tardía es propuesta por Tardy (op-cit, 1974), la cuál genera -



FUENTE: III Simposio de Geologia del Subsuelo, PEMEX, 1976

pliegues de fondo y fallas transcurrentes (Eguiluz, 1984), ambos fenomenos-tienen una orientación casi N-S, las flexiones son amplias y fácilmente observables sobre la molasse continental (Tardy, 1980 en Eguiluz op. cit). El Oligoceno-Mioceno está marcado por vulcanismo andesítico-riolítico de la - Sierra Madre Occidental y por el emplazamiento de los cuerpos intrusivos, - con lo que nos indica una migración en el tiempo y espacio de oriente a occidente de los fenomenos ígneos (Coney 1979, en Eguiluz, op. cit) provocado según Keith (1982) por la disminución de la velocidad de convergencia de la placa Farallon bajo la Americana. (Lamina 6).

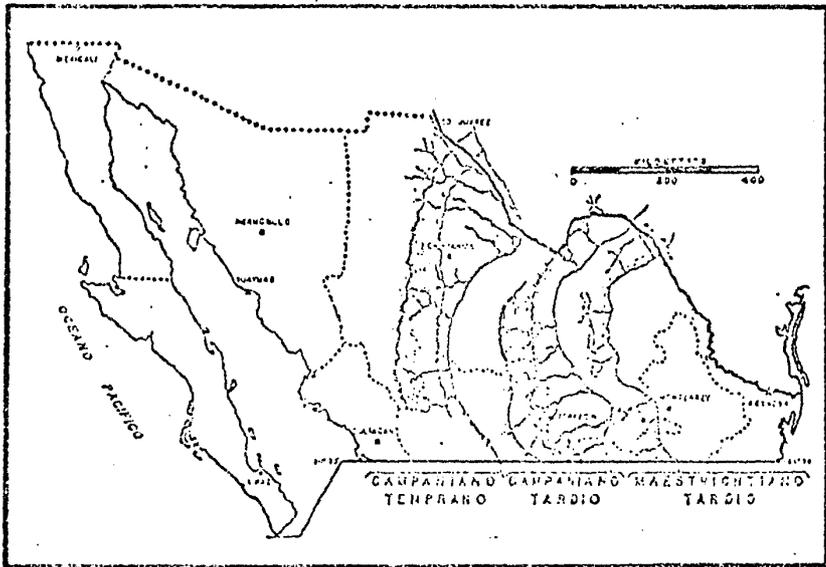
La evolución Plio-Cuaternaria está marcada tectónicamente por una fase de extensión, generadora de grabens y horst. Las líneas de costa progradan hacia el este hasta llegar al Reciente con su posición actual en el Golfo de México. (Lamina 7).

## II.2. Estratigrafía.

Las unidades litoestratigráficas presentes en el área de estudio se pueden agrupar en tres grandes conjuntos: el primero de ellos, se caracteriza por depósitos marinos de influencia calcárea con un alcance estratigráfico desde el Jurásico Superior hasta la parte basal del Cretácico Superior - (Cenomaniano-Turoniano); el segundo, de naturaleza marina más bien clástica alcanza hasta el Paleoceno; y el tercero, corresponde a depósitos de naturaleza continental de edad terciaria y cuaternaria.

El primer conjunto se encuentra formando las sierras, en tanto que el segundo se distribuye, preferencialmente en las partes bajas formando los valles. Tanto la naturaleza de las rocas que constituyen estas secuencias, como su ubicación relativa en la columna estratigráfica, LAMINA 8, podrían explicar las diferencias en los estilos de deformación (Mitre, 1981).





LAMINA 7 Paleogeografía. Cretácico Superior-Recente.

UNIVERSIDAD	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	LINO VELAZQUEZ AGUIRRE 1985

## TABLA ESTRATIGRAFICA

ERA	SISTEMA	SERIE	PISOS EUROPEOS	GRUPOS DE MEXICO Y TEXAS	FORMACIONES	SECCION GENERALIZADA	RESUMEN DE EVENTOS GEOLOGICOS			
MESOZOICO	CRETACICO SUPERIOR	DEL GOLFO	MAESTRICHIANO	NAVARRO	DIFUNTA		<p>Retracción marina y erosión de grandes tierras emergidas del noroeste de México que suministraron grandes cantidades de lodos carbonáceos dentro de mares restringidos a lo largo de las márgenes de viejas penínsulas, deltas progradantes, sedimentos de lodo y clásticos de cuarzo que alternan con depósitos de carbón. Margas y cretas acumuladas lejos de la costa en aguas profundas y claras.</p>			
			CAMFANIANO	TAYLOR	MELENZ					
			SANTONIANO	AUSTIN	PARRAS			AUSTIN		
			CONIACIANO		SAN FELIPE					
			TURONIANO	EAGLE FORD	EAGLE FORD			AGUA NUEVA		
			CENOMANIANO	INDIDURA	INDIDURA					
	CRETACICO INFERIOR	COMANCHE	SUPERIOR	WASHITA	CUESTA DEL CURA		<p>Profundización de los mares con deposición rítmica de pedernal negro y calizas pelágicas.</p>			
			MEDIO	FREDERICKBURG	AURORA					
			INFERIOR	TRINITY						
		COAHUILA	GERGASIANO	NUEVO LEON	LA PERA			LA PERA		
			BEDULIANO		CUPIDO					
			BARREMIANO		TAMALIPAS INFERIOR					
			NEOCOMIANO		DURANGO			TARAISES		
		JURASICO SUPERIOR	SABINAS	TITHONIANO	LA CASITA			LA CASITA		<p>Leve regresión de los mares, con circulación restringida, interrupción del depósito, e influjo de clásticos de cuarzo.</p>
				PORTLANDIANO						
				KIMERIGDIANO				ZULOAGA		
	OKFORDIANO			ZULOAGA	ZULOAGA					
	CALLOVIANO			ZULOAGA	MINAS VIEJAS					

Modificado de Humprey, 1950. Tomado en Conkin and Moore, 1978.

LAMINA No 8 TABLA ESTRATIGRAFICA IDEALIZADA DEL JURASICO Y CRETACICO Y CORTA HISTORIA DE SEDIMENTACION.

N.º 100  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 TESIS PROFESIONAL  
 LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE 19...

De acuerdo con Mitre (op.cit.), los depósitos continentales corresponden a unidades pobremente consolidadas constituidos principalmente por gravas, — arenas y arcillas: formando abanicos aluviales y cubriendo en las partes-bajas a los depósitos marinos mesozoicos de manera discordante.

### II.2.1. Jurásico Superior.

SERIE SABINENSE: Es una unidad cronoestratigráfica propuesta por Humprey — y Díaz (op. cit) que abarca desde el Calloviense al Portlandiense y que — incluye a los grupos Zuloaga y Casita, estas unidades litoestratigráficas — nos definen una secuencia evaporítico-calcárea en la base y clástico-calcárea hacia la cima e indica que fueron desarrolladas en facies lagunares (lineares), costeras (inframarea) y extralitorales, dentro de ambientes mari— nos y de transición.

Grupo Zuloaga, el término fue ~~propuesto~~ y definido por Humprey y — Díaz (op. cit.), en esta unidad se incluyen las formaciones Novillo, Olvido, La Gloria, Zuloaga y Minas Viejas; no obstante dentro del área de estudio — únicamente se presentan las "calizas Zuloaga" y los "Yesos Minas Viejas".

El término Formación Minas Viejas también es propuesto por Humprey y Díaz — (op.cit.), es la unidad basal y se compone principalmente de anhidritas con— pequeñas intercalaciones de lutitas calcáreas, areniscas y calizas arcillo— sas, subyace a la formación Zuloaga en un contacto gradual. Se desconoce — la base de está formación y su espesor se estima en unos cientos de metros— (Humprey op.cit.). Esta formación ha sido afectada por diapirismo como en la sierra La Ventana al SW del área en donde se encuentra junto con la For— mación Aurora del Cretácico Inferior en un contacto tectónico; de esta mane— ra es de esperar que, en las sierras emplazadas sobre el Golfo de Sabinas —

se presenta intrusión yesífera, principalmente en los núcleos de los anticlinales, produciendo esfuerzos que provocan fracturamiento en las formaciones intrusionadas. Por otro lado, se le encuentra aflorando en el núcleo de la Sierra de Minas Viejas, Potrero Chico, Potrero García y en la parte frontal de la Sierra Madre Oriental en el cañón de la Huasteca, en la Sierra de los Muertos.

El término "Caliza Zuloaga" fué utilizado por Imlay (1938), para nombrar a una secuencia de calizas extralitorales y de poca profundidad distribuidas en todo el N-NE de México. En el área de estudio, varía de caliza de estratificación delgada a mediana con intercalaciones de lutitas y nódulos de pedernal, así como calizas dolomíticas de estratificación gruesa con pedernal; hacia la porción NW del área varía a una caliza oolítica y caliza granular-dura. En general contiene esporádicas intercalaciones muy delgadas de lutitas, calizas arcillosas laminares y su color varía de gris claro a gris - - obscuro. Presenta abundante fracturamiento, destacan las fracturas oblicuas al plano de estratificación las cuales se encuentran en su gran mayoría rellenas de calcita dando la impresión de vetillas; no así las fracturas paralelas y las perpendiculares a la estratificación, siendo estas últimas las más extensas y amplias. Se le encuentra aflorando asociada con la Formación Minas Viejas a la cual sobreyace.

Grupo La Casita. Propuesto y definido por Humprey (op.cit.); integran esta unidad dos formaciones ampliamente distribuidas en el norte de México, que representan fielmente dada su riqueza faunística, las condiciones ambientales de fines del Jurásico; siendo la Formación La Casita la que representa los ambientes cercanos a la costa de aguas someras; por otro lado, la Formación La Caja representa los depósitos extralitorales de aguas profundas. En el área de estudio se encuentra únicamente la Formación La Casita y su afloramiento

ción Tamaulipas Inferior (facies pelágica). En la mayoría de las secciones dentro del área considerada en el presente estudio, se tienen únicamente — las formaciones Cupido y Tamaulipas Inferior. La Formación Cupido representa las facies sedimentarias de un complejo carbonatado depositado en aguas someras. Se ha dividido en seis miembros que corresponden a seis facies lateralmente coexistentes, el orden mostrado enseguida es el que presentan — comunmente en una sección vertical (Conklin and Moore, 1977):

- I. Facies pelágicas o de cuenca. (Unidad basal)
- II. Facies de pre-arrecife y talud
- III. Facies arrecifal
- IV. Facies de post-arrecife someras
- V. Facies infranerítica y de marea
- VI. Facies lagunares predominantemente evaporítica  
(Sabkha).

En la LAMINA 9 se ilustra una sección litológica idealizada así como una reconstrucción paleoambiental de su depósito; dentro de esta subdivisión se incluye a los depósitos de mar abierto y de aguas profundas que corresponden a la Formación Tamaulipas Inferior.

Miembro I. Los mejores ejemplos de la unidad basal de la Formación Cupido se encuentran localizados hacia la margen oriental del área de estudio: Sierritas de Sabinas y Picachos. Varía de gruesas capas con planos ondulantes — de estratificación (Conklin and Morre, 1977), presenta nodulos de pedernal y abundantes estilolitas, la textura de la roca es un mudstone y su color —

matos en áreas extralitorales y cuarzo asociado a calcarenitas en áreas cercanas a la costa a lo largo de las tierras emergidas. Las formaciones que se incluyen en este Grupo y que representan a estos cambios de facies son: Taraises, Menchaca, San Marcos, Barril Viejo, Las Vigas. En el área de estudio se encuentra únicamente la Formación Taraises.

Formación Taraises, Imlay (1936) en Humprey (op.cit). Es una unidad altamente fosilífera que consiste de una alternancia de calizas arcillosas con lutitas que descansan sobre la Formación La Casita del Jurásico Superior en forma concordante. Las calizas tienen estratificación delgada y color gris oscuro con pequeñas interestratificaciones de caliza marrón y lutitas grises. Las lutitas son gris-marrón, nodulares, con delgadas intercalaciones de caliza fosilífera. Se le encuentra en las partes internas de los flancos de los anticlinales, así se le localiza en el área de estudio en las siguientes sierras, Humprey y Diaz (op.cit.): En la Sierra de los Muertos (260 m), Sierra del Fraile (492m), en Minas Viejas (450 m). Se observa en secciones incompletas en la Sierra de Gomas y en Picachos (60 m); hacia la Sierra de la Silla se confunde con la Formación Cupido que le sobreyace.

Grupo Nuevo León. Los arrecifes de rudistas, corales y algas fueron iniciados en el centro de la cuenca de Sabinas durante el Hauteriviano. Estos, junto a sus ambientes asociados (lagunas y sabkhas), marcan el inicio de una plataforma evapo-carbonatada progradante hacia el oriente, teniendo como límite aloctono hacia mar abierto el lineamiento arrecifal. (Stabler y Marquez, 1977).

Los sedimentos que representan estas facies son agrupados en esta unidad e incluyen a la Formación La Virgen (facies lagunar evaporítica: sabkha), Formación Cupido (complejo arrecifal-lagunar carbonatado), Formación La Mula (facies clástica: infranerítica) y las calizas de mar abierto de la Forma—

ramiento se restringe a las áreas correspondientes a los núcleos de los anticlinales erosionados.

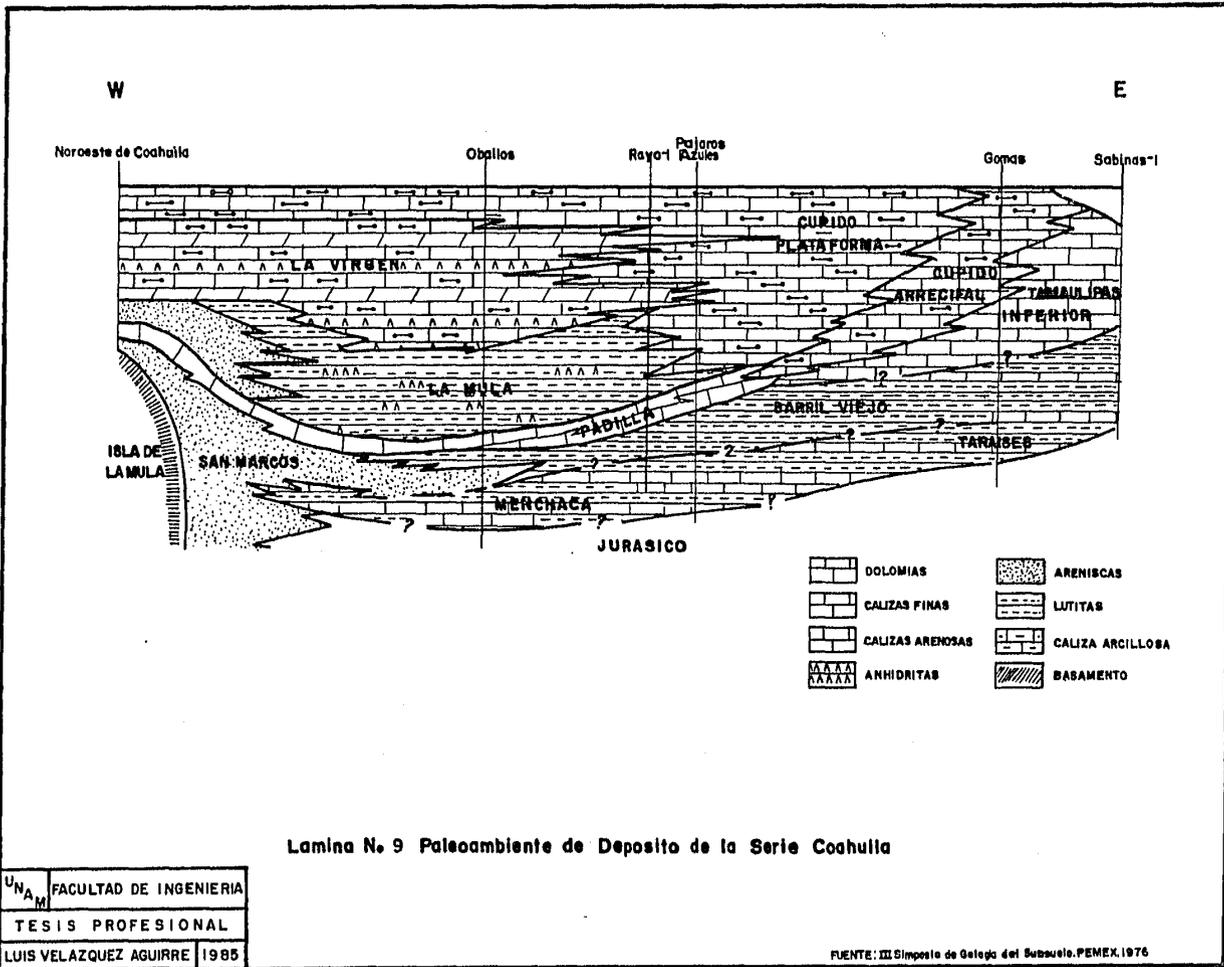
La Formación La Casita definida por Imlay (1936). Dentro del área de estudio se encuentra expuesta en secciones incompletas considerándola de ésta manera en forma indiferenciada: litológicamente y en forma general está compuesta de calizas arcillosas en la base, pasando a lutitas carbonosas en la porción media con alternancia de limolitas arcillosas y hacia la cima presenta areniscas y calizas arenosas. El contenido clástico disminuye hacia el -- N-NW del área presentándose más calcárea con abundancia de lutitas carbonosas. Su espesor varía de 500 a 900 mts. (Humphrey, op.cit.).

#### II.2.2 Cretácico Inferior.

El Cretácico Inferior ha sido dividido en las Series Coahuila y Comanche. Los sedimentos incluidos en la Serie Coahuila varían de depósitos terrígenos hasta calizas y dolomías. Los sedimentos de la Serie Comanche están formados preferentemente de calizas y en menor proporción margas y lutitas.

**SERIE COAHUILA:** Es una unidad cronoestratigráfica propuesta por Humphrey y Díaz (op.cit.) que abarca desde el Berriasense al Aptense Inferior y que incluye a los depósitos agrupados en dos unidades litoestratigráficas para el noreste de México. Estas unidades son: EL Grupo Durango y el Grupo Nuevo-León.

**Grupo Durango:** es la subdivisión inferior de la Serie Coahuila propuesta por Imlay en 1944 (Humphrey y Díaz, op.cit.). Esta compleja unidad caracterizada por sus abundantes cambios de facies que son provocadas por la influencia de los elementos continentales del Jurásico superior que aún quedaban parcialmente emergidos. De esta manera, se tienen clásticos finos y carbo-



Lamina No. 9 Paleocambiente de Deposito de la Serie Coahuila

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE	1985

varia de gris a gris oscuro. Bishop (1972), reporta en la Sierra de Picachos a la caliza fuertemente dolomitizada. Se presenta, fauna dominantemente pelágica: foraminíferos planktónicos, radiolarios, ostracodos, etc. -

Conklin and Moore, (op.cit.) sugiere que la caliza de este miembro representa litofacies de cuenca.

Miembro II. Esta unidad de calizas se encuentran bien expuestas en la porción media (longitudinal N-S) del área de trabajo: Sierra de Gomas (Cañon - de Bustamante), Potrero de la Sierra de Minas Viejas, Potrero Chico (Sierra del Fraile) y escasamente en el Cañon de la Huasteca. La unidad descansa - concordantemente a la unidad basal (Conklin and Moore, op.cit.). Consiste - de capas de caliza gruesas a muy gruesas, bioclásticas y litoclásticas - - (Charleston, 1973) cuya textura varia de wackestone a grainstone. Conklin - and Moore (op.cit.) reportan que los bioclastos incluyen: estromatoporidos, corales solitarios, esponjas bien preservadas y espículas, algas rojas in - crustantes, fragmentos de equinoides y braquípodos, caprínidos, briozoa - rios, ostracodos y, en general muchos tipos de foraminíferos bentónicos.

Este conjunto de litofacies es interpretado por Conklin (op.cit.) como depósitos de talud derivados de un arrecife.

Miembro III. Es un depósito muy masivo bien expuesto en el Cañon de Bustamante, Potrero Chico, Potrero García, Potrero de Minas Viejas y en el Cañon de la Huasteca. Se caracteriza por su potencia de estratos que produce for - mas resistentes a la erosión y escarpes verticales. Esta unidad se encuen - tra altamente fracturada y parcialmente dolomitizada. De acuerdo con Con - klin (op.cit.), este miembro contiene en si cuatro litofacies importantes: - 1) Calizas coralinas con estromatoporidos de textura "boundstone" (Dunham, (1962) CUADRO 1.

CUADRO 1 CLASIFICACION TEXTURAL DE LAS CALIZAS DE DUNHAN \* (1962)

Textura fanerítica				Textura afanítica	
Los componentes originales no se ligan al mismo tiempo durante el depósito			Los componentes originales se agrupan durante el depósito.		Carbonato Cristalino  (Subdividido de acuerdo a su textura física o diagenética).
CONTIENEN LODO (partículas del tamaño de arcilla y limo fino)		CARECEN DE LODO		BOUNDSTONE	
LODO SOSTENIDO		GRANOS SOSTENIDOS			
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos	PACKSTONE	GRAINSTONE		
MUDSTONE	WACKESTONE				

\* Tomada de "Sedimentary Rock" F. J. Pettijohn (p. 347, 1975).

2) calizas de rudistas también boundstones, 3) calizas bioclásticas de textura packstone y 4) los equivalentes dolomitizados de estas litofacies mencionadas.

Conklin and Moore (1977), toman la clasificación de Heckel (1974) para este tipo de depósitos y concluyen que éstas litofacies indican un cuerpo orgánico arrecifal propiamente dicho.

Miembro IV. Es una unidad con una muy gruesa estratificación, se le encuentra sobreyaciendo a la unidad anterior y en la mayoría de los afloramientos mencionados con un contacto extremadamente gradual (Conklin, op.cit.). La textura varia de packstones café obscuro a grainstones grisáceos y calizas-bioclásticas oscuras packstones y grainstones. EL medio ambiente inferido es de facies someras post-arrecifales de alta energía cercanos al alineamiento arrecifal.

Miembro V. De estratificación delgada a gruesa, esta unidad es notable por su alta variabilidad de litofacies, Conklin (op.cit.) sintetiza los tipos de calizas en: a) calizas de textura variable (wackestone a grainstone) color negro; b) calizas negras wackestones agujeradas; c) "Dolomicritas" café claro con modulos de evaporitas y d) calizas grises con laminaciones de algas enrascadas. Estos tipos de litofacies en las calizas hacen pensar que han sido depositados en ambientes neríticos y someros como los de marea en sus distintas posiciones.

Miembro VI. Son estratos gruesos más resistentes que las dos unidades anteriores; se le encuentra, hacia la cima en una sección vertical con espesores promedio de cerca de 100m (Charleston, 1974); sin embargo, hacia puntos diametralmente opuestos, Cañón de Arteaga y Sierra de Pajaros Azules (al NW del área), alcanza fuertes espesores: 680 y 330 m, respectivamente,-

(Conklin and Moore, 1977). De acuerdo con los autores anteriores, al parecer esta unidad presenta una homogeneidad en sus cambios internos de facies, caracterizándose por ser una caliza obscura, de estratos gruesos, de textura entre wackestone y packstone con requenidos y algunas algas y ocasionalmente nodulos de pedernal negro. Se le interpreta como depósitos de facies lagunares que cambian hacia el occidente a facies lagunares evaporíticas (sabkha) entrando ya en terrenos de la Formación La Virgen.

Los sedimentos de la Cupido se les encuentra como ya se mencionó aflorando y constituyendo las principales elevaciones de las sierras como en Minas Viejas, Potrero Chico, Potrero García, Gomas, Enmedio, Mitras y en el frente de la Sierra Madre Oriental en el Cañón de la Huasteca. En el plano geológico regional (LAMINA 10) se da su emplazamiento actual. Por otro lado, los afloramientos correspondientes a la facies pelágica (Tamaulipas Inferior) se localizan hacia la porción oriental del área de estudio y forman los núcleos de las sierras Picachos, Sabinas, Sta. Clara y Lampazos, cuya elevación no es tan prominente como en donde aflora la Formación Cupido. Su espesor varia, según Humprey y Díaz (op.cit.): en la Huasteca es de 684m, incrementándose hacia el noroeste hasta alcanzar más de 1200 m (en la Sierra de Minas Viejas); hacia la porción oeste del área del Golfo de Sabinas, las rocas referidas como Formación Cupido son delgadas, perdiéndose al desarrollarse las formaciones equivalentes en sus distintas litofacies.

SERIE COMANCHE (Hill 1887, 1901; Inlay, 1944; non Adkins, 1932. En Humprey and Díaz, 1955). Es una unidad cronoestratigráfica que abarca desde el Aptense Superior al Cenomanense Inferior y que incluye a los sedimentos depositados en sus diferentes litofacies, definidas por la presencia de dos plataformas someras de sedimentación: Plataforma del Burro y Plataforma de Coahuila. Para su estudio se ha dividido en tres unidades litoestratigráficas: Grupo Trinity, Grupo Fredericksburgh y Grupo Wacnita. Esta subdivi-

sión estandar es aplicable sobre la porción norte del estado de Coahuila y sur de Texas. Hacia el sur sin embargo, en el noreste de México los dos primeros grupos son generalmente irreconocibles (Humprey 1956), así estas unidades litoestratigráficas son referidas en el área de estudio como "Caliza Aurora", que abarca desde el Trinity Superior hasta el Washita Inferior.

Grupo Trinity. En este grupo se incluyen a la Formación La Peña, Aurora Inferior, Glen Rose y otras. En el área de estudio se encuentran únicamente a las formaciones La Peña y Aurora Inferior.

La Formación La Peña consiste generalmente de margas grises que intemperizan a rosa y rojizo y lutitas limosas altamente calcáreas, interestratificadas con calizas arcillosas de estratificación delgada a media con cantidades subordinadas de lutitas laminares y pequeños lentes de pedernal negro (Humprey, 1956). La formación exhibe cambios laterales de litología pasando a caliza terrígena suave y hacia el oriente del área de estudio pasa lateralmente a lutitas negras y calizas delgadas como en las Sierras de Sabinas, Lampazos y Picachos.

La Formación La Peña varía en espesor de 15 a 150m (Humprey, 1956) y tiene un promedio de 30m. En el Cerro de la Silla su espesor es de aproximadamente 100m y se adelgaza hacia el oeste para alcanzar 30m en la Sierra de los Muertos y Sierra del Fraile; varía de 20 a 100m desde el occidente a oriente, respectivamente, como en la Sierra de Minas Viejas.

Grupo Trinity Superior y Fredericksburg. En el área de estudio la "Caliza Aurora" abarca estos dos grupos: al término "Caliza Aurora" es usado informalmente para designar a todos los tipos de roca carbonatadas en el noreste

de México entre las formaciones La Peña y Cuesta del Cura o sus equivalentes dentro del Grupo Washita (Humprey, 1956).

En la porción occidental del área de estudio, la caliza Aurora se desarrolla como una secuencia monótona de calizas grises de textura fina, densa, con rudistas, de estratificación gruesa y con un espesor que varía de 250 a 350 m en las sierras del Fraile, Minas Viejas, etc.; hacia la porción oriental del área sobre el sitio de la Península de Tamaulipas, la Formación Aurora consiste de calizas de estratificación media a gruesa con nódulos de pedernal gris sin rudistas. Aflora en las sierras Sabinas-Lampazos con un espesor de 314 y en Picachos con 200 m; hacia el norte se incrementa su espesor hasta alcanzar 643 (Pozo Peyotes 2-A, PEMEX) y pasando gradualmente a las margas y lutitas de la Formación Glen Rose en la Serranía del Burro (Humprey, 1956).

Grupo Washita. Esta unidad litostratigráfica corresponde a la porción más superior de la Serie Comanche de Texas y el norte de México e incluye a las rocas del Albense Superior y Cenomanense Inferior. Los sedimentos representan depósitos de mares poco profundos y carbonatos extralitorales.

Agrupar las formaciones Cuesta del Cura, Georgetown, Del Río y Buda; no obstante, donde los estudios han sido insuficientes (Humprey, 1956) éstas últimas tres formaciones se refieren como Washita indiferenciado. En el área de estudio a través de la Sierra Madre Oriental y en la porción sur de las Sierras Tamaulipecas, los equivalentes Washita son unas facies ampliamente distribuidas y se denomina Formación Cuesta del Cura. Hacia la porción occidental del área sobre Los Pliegues Marginales de Coahuila se encuentran los sedimentos equivalentes al Washita indiferenciado. Al parecer existen, sobre todo en las áreas correspondientes a las Sierras Tamaulipecas, depósi

tos arcillosos que abarcan la parte superior del Grupo Fredericksburg y la porción basal del Washita y que corresponden a la Formación Kiamichi.

Formación Kiamichi. Se compone de estratos de lutitas, calizas impuras (arcillosas) y predominantemente lutitas calcáreas ó margas. Se le encuentra en pocos afloramientos en el área de estudio, principalmente en la Sierra de Lampazos-Sabinas con 88 m de espesor (Humphrey, 1956).

La Formación Cuesta del Cura consiste principalmente de calizas grises y negras, de estratificación delgada con escasas intercalaciones de lutitas negras. Las calizas presentan bandas y pequeñas capas alternantes de pedernal negro; por otro lado, su principal característica lo constituye la ondulación de sus planos de estratificación; asimismo, es notable su incompetencia estructural ya que se encuentra altamente plegada, siendo los ejes de estos pliegues normales y oblicuos al buzamiento de la estructura regional. Se observa también un alto índice de fracturamiento, a simple vista sin dirección predominante.

La Formación Cuesta del Cura tiene extensa distribución, se encuentra en la Sierra Madre Oriental, Sierras Tamaulipecas (hacia el SE) y en la porción sur de la provincia Pliegues Marginales de Coahuila. Así esta formación pasa lateral y gradualmente a una secuencia alterna de rocas carbonatadas impuras (margas) y detritos finos correspondiente al Grupo Washita Indiferenciado; dentro del área de estudio, el Washita indiferenciado aflora en el margen centro-occidental y se localiza en la Sierra de las Mitras (100 m) y en el flanco oriental de las sierras del Fraile (Potrero Chico y Potrero García) y en la porción más septentrional de la sierra de Lampazos con 135 m de espesor. En la porción más occidental y noroccidental la formación Cuesta del Cura cambia a las calizas gruesas de la formación Georgetown y al conjunto arcillo-calcáreo de las formaciones Del Rio y Buda respectivamente.

te.

La Formación Cuesta del Cura varía de 40 a 300 m y tiene un espesor promedio de 60 m (Humprey, 1956). En el cerro de la Silla se midieron 65m, en las Sierras del Fraile, Minas Viejas y Bustamante se encuentran 100 m.

### II.2.3. Cretácico Superior.

EL inicio del Cretácico Superior se caracteriza por un cambio en el patrón sedimentológico, representado por una litología predominantemente arcilloarenosa, la cual contrasta con las unidades calcáreas pertenecientes al Cretácico Inferior.

SERIE DEL GOLFO (HILL 1887 en PEMEX 1969 ). Es una unidad cronoestratigráfica que abarca desde el Cenomanense Superior al Maestrichtense que incluye a los sedimentos agrupados en las siguientes unidades litoestratigráficas: - Grupo Eagle Ford, Grupo Austin, Grupo Taylor y Grupo Navarro.

Grupo Eagle Ford (F. Roemer, 1852 en PEMEX 1969 ). En esta unidad se agrupan los sedimentos depositados sobre varias cuencas de sedimentación en el noreste de México. Dentro de la Cuenca Sedimentaria Mesozoica (Geosinclinal Mexicano; Humprey, 1956) se depositan en la porción occidental la Formación Indidura y hacia el oriente la Formación Agua Nueva; en el paleogolfo de Sabinas y sobre el sitio de la Península de Tamaulipas se deposita en forma contemporánea a las anteriores, la Formación Eagle Ford. En el área de estudio éstas tres formaciones se ubican manteniendo la relación entre las áreas de depósito anteriormente mencionadas.

Formaciones Agua Nueva e Indidura. La Formación Agua Nueva está constituida por capas de caliza de color gris oscuro y negro, parcialmente arcillo-

sas que alternan con lutita laminada de color gris oscuro, a veces bituminosas o carbonosas. En la base de esta secuencia unas capas delgadas de bentonita de color verde marca el inicio de la formación. En el área de estudio se le encuentra en los flancos de la Sierra de la Silla al oriente de la ciudad de Monterrey, N.L., en la Sierra Madre Oriental se le localiza en la margen noreste de dicha provincia fisiográfica. Su espesor varía de unos cuantos metros hasta 180 m. (Alvarez, 1971).

La Formación Indidura en su porción inferior se compone de lutitas calcáreas color gris laminadas y calizas en capas delgadas con intercalaciones de lutitas. En la porción media y superior se compone de lutitas arenosas y lutitas calcáreas respectivamente. Se le encuentra aflorando hacia el suroeste del área de estudio, principalmente en el sinclinal de San Blas al sur del Cañón de la Huasteca y sobre la Cuenca de Parras.

La Formación Eagle Ford es la de más extensa distribución en el área de estudio y se localiza principalmente en toda la porción norte, constituyendo las partes bajas de las sierras en los flancos de las mismas. Litológicamente, está constituida de capas delgadas de lutitas interestratificadas con calizas arcillo arenosas. Las calizas son laminadas gris oscuro a negras. Hacia la base se presentan margas en capas finas y hacia la parte superior se hace más calcárea (CPNH, 1978). Es común observar en esta parte pequeñas fracturas rellenas de yeso y abundantes nódulos de piritita. El espesor es de alrededor de 60 m. (CPNH, 1979).

Grupo Austin (B.F. Shumard, 1860; en PEMEX 1969). Las Formaciones San Felipe, Parras y Austin integran ésta unidad litoestratigráfica. Esta secuencia calcáreo-arcillosa mantiene la relación medio ambiente-depósito presentada en el Grupo Eagle Ford. De este modo, hacia el suroeste sobre la Cuen

ca de Parras se ubica la Formación Parras, y sobre la Cuenca Sedimentaria - Mesozoica la Formación San Felipe y hacia la Cuenca de Sabinas se ubica la Formación Austin.

Formación San Felipe. Está constituida por una serie de calizas compactas, delgadas, arcillosas en parte, con buena estratificación, de colores gris - claro, verde o marrón; hacia la porción superior se torna más arcillosa y - se presentan intercalaciones de lutita gris con esporádicas capas de bentonita. Su espesor máximo medio es de 550 m. (Alvárez, 1971). En el área - de estudio se le encuentra aflorando hacia la porción sureste en las inme- diaciones de la Sierra Madre Oriental y dentro de ella formando parte del - núcleo de los sinclinales.

Formación Parras. Principalmente se compone de lutitas marrón a gris obscu- ro y negras, carbonosas, yesíferas con intercalaciones delgadas de lutitas- negras densas y lutitas pulverulentas tobáceas. Su espesor alcanza los - - 1500 m (Lesser, 1977) y se le localiza aflorando hacia la porción occiden- tal y suroccidental del área de estudio.

Formación Austin. En su parte inferior consiste de una caliza crema blan- ca, de estratificación delgada y textura fina; hacia la parte superior pre- senta calizas cretosas, margas y limolitas calcáreas. Su distribución es - muy amplia en el norte del área de estudio, está expuesta en las partes ba- jas de la sierras.

Grupos Taylor y Navarro. Los equivalentes de fines del Cretácico Superior- en el noreste de México se encuentran incluidos en los grupos combinados- Taylor y Navarro (Humphrey, 1956) y las diferentes facies litológicas son - conocidas como lutita Méndez, formación Difunta y en la Cuenca de Sabinas, - arcilla Upson, Formación San Miguel, Formación Olmos y Formación Escondido,

en orden ascendente. Si respecto a la parte inferior del Cretácico Superior, el área de Monterrey es crítica para el cambio de facies, la parte superior también lo es. Las formaciones de estos grupos, en el área de estudio mantienen la relación anterior, dada para los grupos incluidos por la Serie Golfo. Al sur y este la Formación Méndez, que consiste de una secuencia arcillosa altamente calcárea, de gran espesor, pasa rápidamente al oeste a una secuencia extremadamente gruesa de areniscas, conglomerados, calizas conglomeráticas, lutitas arenosas y lutitas que constituyen la Formación Difunta. Al norte y noroeste estas formaciones pasan primero a través de una faja de litología de la Difunta a las areniscas y arcillas carboníferas de la Cuenca "Carbonífera" de Sabinas. Al N y NE, en la llanura costera del Golfo de México, la Formación Méndez pasa a dos formaciones distintas que corresponden a las formaciones Taylor y Navarro.

#### II.2.4. Terciario y Cuaternario.

Los sedimentos marinos del Terciario afloran en la porción más oriental del área de estudio. Están dispuestos a manera de franjas superimpuestas (Charleston, 1975) inclinadas hacia el este; corresponden a depósitos del Paleoceno (Grupo Midway y Wilcox).

El Grupo Midway consiste principalmente de arenas finas y areniscas glauconíticas en su parte inferior y de lutitas de color oscuro en la parte superior. El Grupo Wilcox es una alternancia de lutitas y areniscas arcillosas con algunos intervalos de lignito y yeso.

Los sedimentos continentales de este período en el área de estudio corresponden al Conglomerado Sabinas-Reynosa del Plioceno. Hacia las porciones centrales de las planicies aluviales este conglomerado presenta una profun-

dad mayor de su piso, un espesor mayor y una posible variación vertical de los materiales que constituyen la matriz de éste (Alvárez, 1971). Litológicamente está contituido por clastos redondeados de caliza de tamaños variables, bién graduados de color claro y fragmentos subredondeados de peder<sub>u</sub>nal. Hacia la porción inferior la matriz es arenosa variando hasta la porción superior que es de caliche. Los conglomerados se encuentran espaciados en toda el área, presentando acuñamientos, en ciertas zonas su espesor varía de 10 a 27 m. (CPNH, 1978). Se le encuentra sobreyaciendo discordante<sub>u</sub> mente a las formaciones del Cretácico Superior.

Cuaternario. Los depósitos de este período corresponden a material clástico de origen continental y se clasifican como depósitos de talud, sedimentos aluviales y fluviales. Los depósitos de talud corresponden a gravas y arenas en forma de abanicos aluviales al pie de las sierras. Hacia el centro de los valles los materiales se van haciendo más finos constituyendo los depósitos aluviales formados por limos-arcillas y arenas finas; sin embargo, se ha llegado a encontrar subyaciendo a una capa superficial de suelo limoarenoso una potente sección de caliche color crema en estado compacto y duro que presenta en su cuerpo fracturas verticales, con espesores variables de 8 y 20 m. Estos depósitos se encuentran sobreyaciendo en forma concordante al Conglomerado Sabinas-Reynosa.

#### II.2.5. Rocas Igneas.

Las rocas ígneas intrusivas que se encuentran forman troncos, diques y sills alojados en las rocas del Mesozoico. Se localizan al NW de Bustamante en los límites de Coahuila (lámina 10) y SE de Lampazos. Al norte de la Sierra de Picachos y sobre la sierrita de Vallecillos.

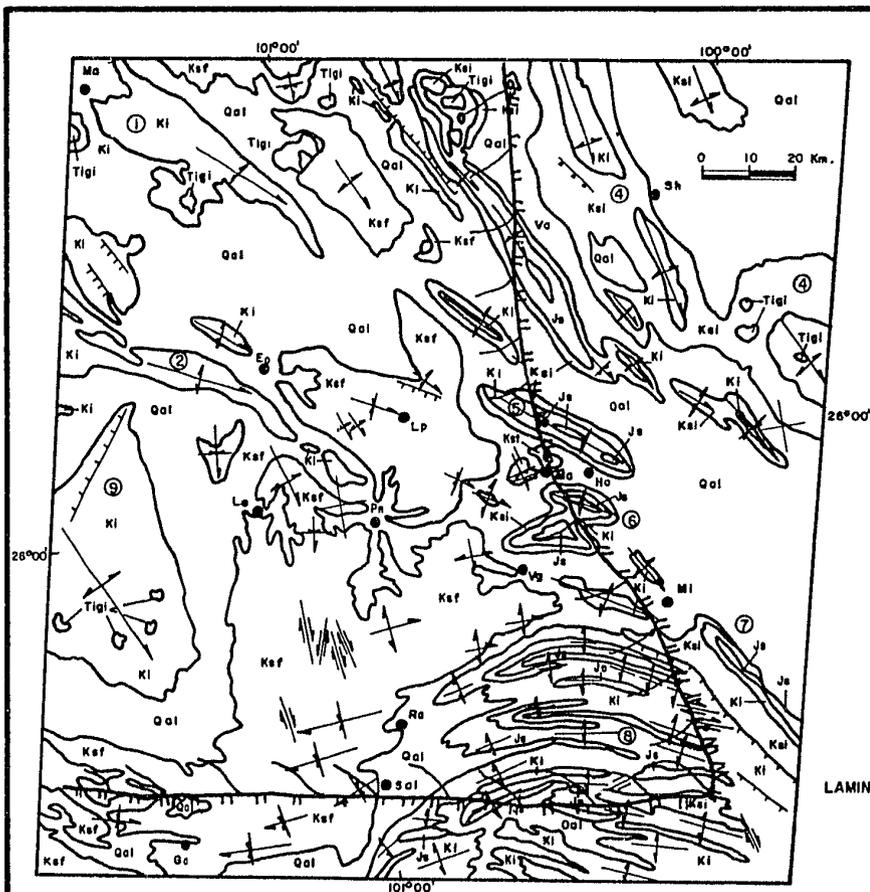
La composición varía de Gabroica-Diorítica a Sienita (Mcknight, 1963) al terando las rocas encajonantes a tactitas (Skarns) y marmoles. En el área de estudio no se encuentran rocas ígenas extrusivas.

### II.3. Aspectos geológico-estructurales regionales.

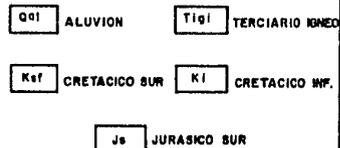
El objeto del presente subcapítulo es dar un panorama geológico-estructural de la zona de estudio y que sirva como apoyo al enfoque geohidrológico del mismo, éste panorama está basado en observaciones realizadas en los recorridos tanto terrestres como aereos que se efectuaron durante la realización de los trabajos de campo y en los resultados de trabajos recientemente publicados. Uno de ellos (Mitre-Salazar, 1981) sintetiza, adecuada y objetivamente, el marco geológico-estructural de una amplia zona que involucra la mayoría del área de estudio y que además incluye nuestras principales observaciones.

Para dar una visión general de la distribución de las unidades litoestratigráficas mencionadas anteriormente, se presenta en la LAMINA 10 un mapa geológico obtenido del análisis de una imagen de satélite LANDSAT por Mitre (op.cit.), en donde es posible observar los diferentes afloramientos de las rocas en la zona. Se destacan hacia el área de estudio los afloramientos del Jurásico en los núcleos de las estructuras. Los números que aparecen enmarcados corresponden a las localidades que presentan las columnas estratigráficas tomadas del mismo autor y que se presentan en la LAMINA 11.

Con el objeto de ilustrar las relaciones estructurales en el área de estudio se presenta, en la LAMINA 12, el mapa geológico-estructural obtenido por dicho autor. En el se observa los diferentes estilos de deformación y rasgos estructurales de las diferentes áreas; basados en estos, Mitre (op.cit.) di



L E Y E N D A



SIMBOLOS



LAMINA 10 MAPA GEOLOGICO REGIONAL

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE	1985

		SIERRA DE LA CURIA 1	SIERRA DE LA CASITA 2	SIERRA DE LAS PUEBLAS Y SAN VICIOS 3	SIERRA DE LAS PUEBLAS Y SAN VICIOS 4	SIERRA DE LAS PUEBLAS Y SAN VICIOS 5	SIERRA DE LA CURIA 6	SIERRA DE LA CURIA 7	SIERRA DE LAS PUEBLAS Y SAN VICIOS 8	SIERRA DE LA CASITA 9
CRETACICO SUPERIOR	65	WASHINGTONIANO CAMPANIANO	GRUPO DEJUNTA	GRUPO DEJUNTA	GRUPO DEJUNTA	LUTITA ALANZES	LUTITA ALANZES	LUTITA ALANZES	LUTITA ALANZES	LUTITA ALANZES
	70	SAMPONIANO	F. AUSTIN	F. AUSTIN	F. AUSTIN	FORMACION SAN FELIPE	LUTITA PARRAS	LUTITA PARRAS	FORMACION SAN FELIPE	LUTITA PARRAS
	75	CORNAJIANO	F. AUSTIN	F. AUSTIN	F. AUSTIN	FORMACION SAN FELIPE	LUTITA PARRAS	LUTITA PARRAS	FORMACION SAN FELIPE	LUTITA PARRAS
	80	TURONIANO	F. EAGLE FORD	F. EAGLE FORD	F. EAGLE FORD	FORMACION AGUA NUEVA	FORMACION AGUA NUEVA	FORMACION AGUA NUEVA	FORMACION AGUA NUEVA	FORMACION AGUA NUEVA
	85	CENOMANIANO	GRUPO WASHITA	GRUPO WASHITA	GRUPO WASHITA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA
	90	ASIANO	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS
	95	ASIANO	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS
	100	ASIANO	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS
	105	ASIANO	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS
	110	ASIANO	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS	F. FRIAS
CRETACICO INFERIOR	120	SUPERIOR	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	FORMACION TAMAILIPAS	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA
	125	MEDIO	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	FORMACION TAMAILIPAS	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA
	130	INTERIOR	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	FORMACION TAMAILIPAS	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA
	135	CARGASIANO	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA
	140	REDULIANO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO
	145	DANREMIANO	LUTITA LA MULA	LUTITA LA MULA	LUTITA LA MULA	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	SERIE	FORMACION CUPIDO
	150	HAUTERIVIANO	FORMACION LA MULA	FORMACION LA MULA	FORMACION LA MULA	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	SERIE	FORMACION CUPIDO
	155	VALANGINIANO	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	COAHUILA	FORMACION TARAISES
	160	BERRIASIANO	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	COAHUILA	FORMACION TARAISES
	165	PORTLANDIANO	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA
JURASICO SUPERIOR	170	KIMMERIDGIANO	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA
	175	ARGOVIANO	CALIZA ZULOAGA	CALIZA ZULOAGA	CALIZA ZULOAGA	CALIZA ZULOAGA	CALIZA ZULOAGA	CALIZA ZULOAGA	CALIZA ZULOAGA	CALIZA ZULOAGA
	180	DIVESIANO	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS
	185	DIVESIANO	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS	YESO MINAS VIEJAS

LAMINA 11. COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS DE ALGUNAS LOCALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO (tomado de MITRE, 1981. UNAM, INST. GEOL., Revista, Vol. 5, Nom. 1).

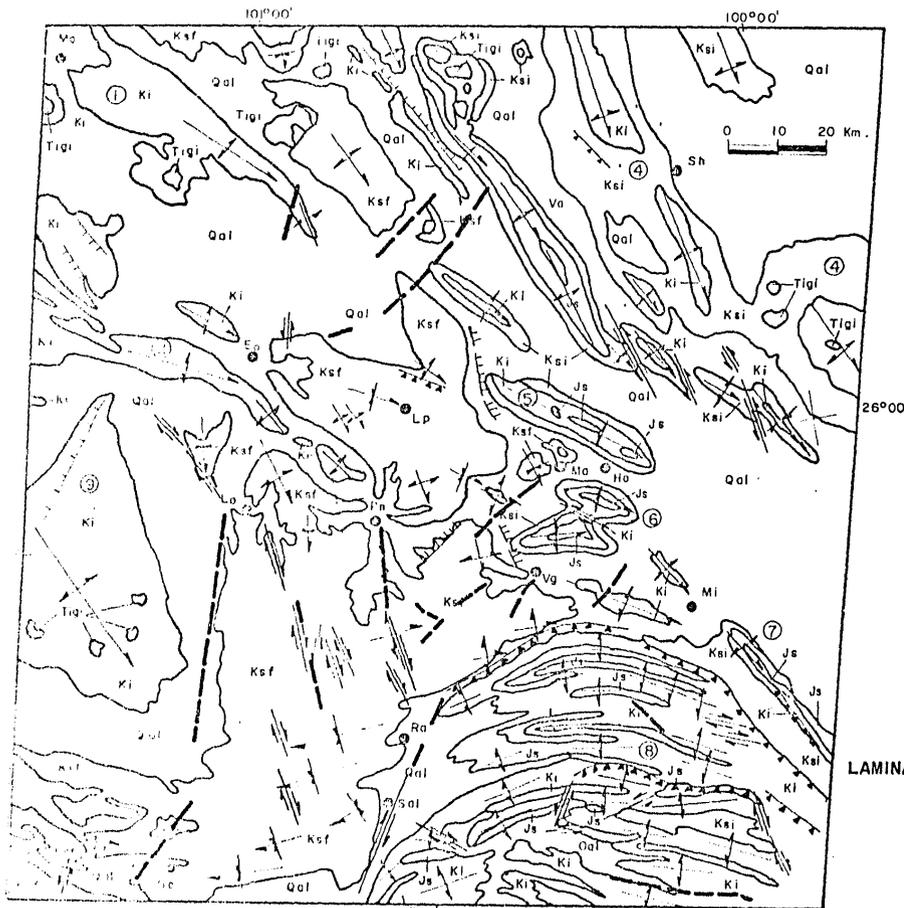
vide el área de su imagen en cuatro zonas. El área del presente estudio se encuentra alojada, principalmente, en la zona I de Mitre (op.cit.), sin embargo abarca pequeñas porciones de las zonas II y IV, como se observa en la LAMINA 13.

De acuerdo con Mitre (op.cit), la zona I se caracteriza estructuralmente - por la disposición de pliegues anticlinales en forma aislada y orientados - regularmente según una dirección NW-SE. Estratigráficamente, se representan por las columnas 5 y 6 de la LAMINA 11. En la zona II, al occidente del - área de estudio, los pliegues se orientan preferentemente en la dirección - E-W; sin embargo existen pliegues con orientación N-S; en esta área afloran las unidades litoestratigráficas correspondientes al Cretácico Superior (De pósitos Flysch).

La zona IV se caracteriza porque afloran prácticamente todas las unidades - litoestratigráficas (Columna 8, LAMINA 11) del conjunto marino mesozoico. Estructuralmente se diferencia de las otras zonas por el apilamiento de sus pliegues, los cuales tienen una orientación E-W y un arqueamiento hacia el norte. Como se muestra en las secciones geológicas de la LAMINA 14.

Los estilos de deformación entre las zonas mencionadas son resultado de una evolución independiente (Mitre, op.cit) y el límite entre ellas pudiera - corresponder a zonas de discontinuidad estructural.

Todas las discontinuidades estructurales presentadas en el plano geológico-estructural (LAMINA 12) representan de uno u otro modo barreras de todo tipo al flujo del agua subterránea, lo que nos permite junto con los relaciones estratigráficas, como se verá más adelante, conceptualizar un marco geohidrológico en el cual ocurre y se mueve el agua subterránea.



MODIFICACIONES DE MITRE (1981)



LEYENDA

- |                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| <b>Qal</b> ALUVION       | <b>Tigi</b> TERCARIO IGNEO |
| <b>Ksf</b> CRETACICO SUR | <b>Ki</b> CRETACICO INF    |
| <b>Js</b> JURASICO SUR   |                            |

SIMBOLOS

- |   |              |
|---|--------------|
| ANTICLINAL                                | SINCLINAL    |
| FALLA INVERSA                             | FALLA NORMAL |
| FALLA DE DESPLAZAMIENTO LATERAL DEXTRAL   |              |
| FALLA DE DESPLAZAMIENTO LATERAL SINISTRAL |              |
| DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL                |              |

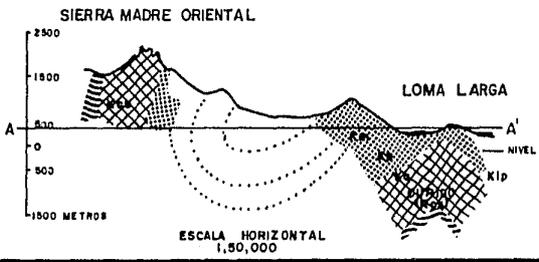
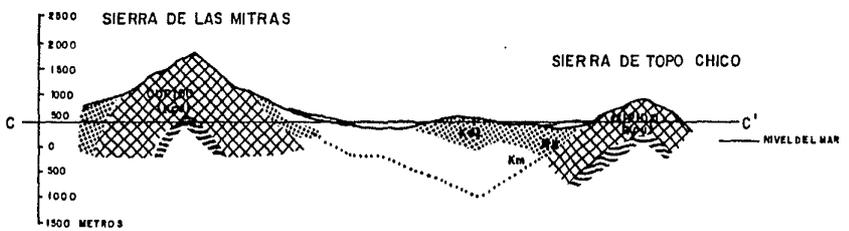
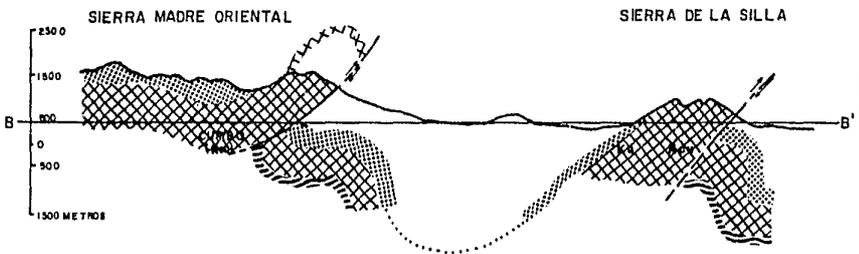
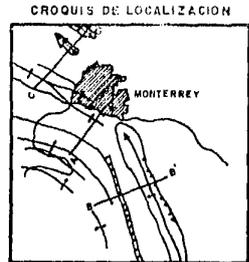
LAMINA 12 MAPA GEOLOGICO-ESTRUCTURAL

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE	1989





- CRETACICO**
- OFUNTA (K10)
  - MENDEZ (Km1)
  - PARRAS (K1)
- ACUIFEROS**
- AURORA (K0)
  - LA PEÑA (K10)
  - CUPIDO (K01)
  - TERAISES (K1)
- JURASICO**
- LA CABAÑA (K10)
- CONFINANTE SUPERIOR**
- CONFINANTE INFERIOR**



ESCALA HORIZONTAL  
1:50,000

LAMINA 14  
SECCIONES GEOLOGICO-ESTRUCTURALES  
DEL AREA DE MONTERREY, N.L.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE 1985

### III. HIDROGEOLOGIA.

El conocimiento de las características, funcionamiento y relaciones hidrogeológicas que presentan las unidades litoestratigráficas mencionadas se realizó mediante el análisis de los "Factores Geológicos Regionales" que gobiernan el emplazamiento del agua subterránea.

El abastecimiento de agua a la ciudad de Monterrey, N.L. y zonas adyacentes se realiza principalmente mediante la explotación de dos acuíferos: un acuífero en calizas cretácicas y otro en material aluvial de relleno. La metodología seguida es aplicada al acuífero en calizas, siendo éste la principal fuente de suministro. Las hipótesis aquí planteadas serán relacionadas, posteriormente, con los resultados del proceso de la información hidrogeológica; de esta manera, se sentarán las bases para delinear los sistemas hidrogeológicos existentes.

#### III.1. Analisis de los Factores Geológicos Regionales.

La ocurrencia y comportamiento del agua subterránea queda determinada por el Marco Geológico, el cuál es establecido, principalmente, por tres factores geológicos que contemplan diversos aspectos que proporcionan de uno u otro modo las propiedades hidrogeológicas a los materiales.

En el CUADRO 2 se muestran los factores geológicos y sus aspectos más importantes.

CUADRO 2. FACTORES GEOLOGICOS REGIONALES. (Integración del Marco geológico local).

---

M A R C O   G E O L O G I C O	
FACTORES	ASPECTOS
ESTRATIGRAFIA	Litología
	Posición
	Tiempo/Espacio
GEOMORFOLOGIA	Topografía
	Area de Recarga
	Cársticismo
TECTONICO-ESTRUCTURAL	Intensidad Tectónica
	Disposición del Fracturamiento
	Homogeneidad Estructural
	Continuidad Estructural

---

### III. 2. Factor Estratigráfico.

Dentro de este factor el aspecto litológico es el que más influye en el comportamiento hidrológico de los diferentes materiales. En el noreste del país se encuentran varias secuencias litológicas que incluyen a todos los sedimentos depositados desde el Jurásico al Reciente, estas se definen y describen en el subcapítulo II.2. Los sedimentos de las Series Sabinas y del Golfo - así como los depósitos del Terciario constituyen las secuencias evapocarbonatada-arcillosa, arcillo-calcareá y arcillo-arenosa, respectivamente, e integran los materiales impermeables. Por otro lado, los sedimentos de las Series Coahuila y Comanche constituyen una secuencia carbonatada (calizas) y junto con los materiales del Reciente (clásticos) forman los materiales permeables. - Otro de los aspectos que gobiernan el comportamiento del agua subterránea es la posición estratigráfica de las secuencias litológicas anteriormente descritas. Este aspecto, así, define en forma general paquetes sedimentarios con características hidrológicas similares; de esta manera, las secuencias se integran informalmente en varias unidades hidrogeológicas, (ver CUADRO 3 ). En este se aprecia que las formaciones correspondientes a los acuíferos en calizas (Unidad Hidrogeológica III) se encuentran encajonadas por dos grandes grupos de sedimentos primordialmente arcillosos que constituyen los confinantes inferior y superior del acuífero, de la misma manera, se observa - que la Unidad Hidrogeológica I (Acuífero libre en rellenos) descansa sobre la Unidad II; sin embargo, no siempre se presenta en esta forma ya que esta unidad, constituida por material de relleno, se encuentra indistintamente - sobre las unidades restantes.

Uno de los aspectos estratigráficos que influyen en el movimiento del agua subterránea es el que trata sobre los cambios laterales de litología, originados éstos por la evolución geológica tiempo-espacio comúnmente denominada

Cuadro 3 RELACION DE LA LITOLOGIA Y POSICION ESTRATIGRAFICA CON LAS CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS E HIDROGEOLOGICAS.

POSICION ESTRATIGRAFICA	LITOLOGIA	CARACTERISTICAS		UNIDADES	
		HIDROLOGICAS	HIDROGEOLOGICAS	HIDROGEOLOGICAS	
CUATEMNARIO ALUVIAL	arcillas-arenas-gravas	permeable	Acuifero libre	I	
TERCIARIO	CONTINENTAL	arenas y gravas	permeable		
	MARINO	arcillas-limos y arenas	impermeable	Confinante superior	II
CRETACICO SERIES	DEL GOLFO	lutitas, margas y calizas	impermeable		
	COMANCHE	calizas y calizas arcillosas	permeable	Acuifero confinado	III
	COMHUILA	calizas y calizas arcillosas	permeable		
JURASICO SUPERIOR	SABINAS	clásticos finos, calizas y evaporitas	impermeable	Confinante inferior	IV

"facies". Estos cambios de facies se presentan en todo el noreste de México y afectan de uno u otro modo el emplazamiento del agua subterránea.

Para los sedimentos agrupados en la Serie del Golfo (Unidad Hidrogeológica II) existen varios cambios de facies (mencionados en el Subcapítulo II.3); sin embargo, estas variaciones ocurren sobre la misma litología, variando la secuencia de arcillo-arenosa a arcillo-calcárea y calcáreo-arcillosa, manteniendo siempre el carácter arcilloso sin afectar, notoriamente, las características hidrológicas de estos sedimentos, por lo que conserva su carácter de confinante.

Los cambios de facies más importantes ocurren precisamente en la unidad acuífera (III) y sobre todo hacia la porción inferior de la secuencia (Formación Cupido) provocando cambios en las características hidrológicas primarias, -- produciéndose variaciones en la magnitud de éstas; es decir, se mantiene el carácter de acuífero pero su potencialidad se ve disminuída, quedando supeditada la explotación a condiciones locales en donde las propiedades hidrológicas sean adecuadas y originadas principalmente por procesos secundarios. Al describir cada una de las unidades hidrogeológicas se tratará con más detalle este aspecto estratigráfico.

Los cambios de facies que ocurren hacia la porción superior de la Unidad IV (Confinante Inferior) se comportan de manera similar a los de la Unidad II y por consiguiente mantienen el mismo carácter hidrogeológico. Sin embargo, -- las facies de la porción inferior de esta unidad cambian radicalmente las propiedades hidrológicas provocando la aparición de un acuífero subordinado que es explotado localmente en la actualidad (Formación Zuloaga).

### III.2.1. Descripción de las Unidades Hidrogeológicas.

#### UNIDAD I. (Acuífero Libre en Rellenos).

En esta unidad se agrupan todos aquellos materiales depositados en las partes bajas y en los valles intermontanos. Estos materiales terrígenos corresponden a los depósitos del Conglomerado Sabinas-Reynosa, y a los constituidos por depósitos de talud, conglomerados, gravas y arenas conglomeráticas a manera de abanicos aluviales individuales o entrelazados.

Por la disposición geológica que ocupan y las condiciones texturales que poseen, les permite recibir una considerable recarga proveniente del flujo superficial o de la infiltración directa del agua meteórica, considerándolos como materiales transmisores.

Conforme se acerca hacia el centro de las partes topográficamente bajas, los materiales se van haciendo paulatinamente más finos constituyendo los depósitos aluviales; generalmente, están formados de arenas finas, limos arenosos, arcillas y caliche. Es frecuente encontrar lentes de granulometría gruesa que forman los depósitos fluviales. Los materiales de esta unidad constituyen un acuífero libre de relativa importancia por su variable producción, debido a la heterogeneidad de los depósitos que la componen y por su diferente espesor, — que aumenta hacia la parte central de los valles.

Un ejemplo notable de acuífero alojado en esta Unidad, lo constituyen los depósitos ubicados a lo largo del cañon de la Huasteca, localizados en las porciones intermontanas de la Sierra Madre Oriental al sur de Monterrey, estos depósitos se encuentran alojados en profundos y angostos valles, su granulometría tiende a ser gruesa (arenas y gravas) y alojan grandes cantidades de agua provenientes de las descargas sub-superficiales de las calizas que forman los flancos de estos encañonados valles.

## UNIDAD II. (Confinante Superior en Calizas).

Las formaciones que se agrupan en esta unidad están caracterizadas por una li tología predominantemente arcillo-arenosa variando hacia el este-noreste a -- una secuencia arcillo calcárea.

En la zona de estudio esta unidad está constituida por las formaciones del -- Grupo Eagle Ford: Indidura, Agua Nueva y Eagle Ford; las formaciones del Grupo Austin: San Felipe, Parras y Austin; las formaciones de los Grupos Taylor y Navarro: Méndez, Difunta, Upson, Olmos y Escondido entre otras. Además, se incluyen las formaciones marinas del Terciario pertenecientes al Grupo Midway y Wilcox. Hacia la porción norte y noreste las formaciones del Grupo Washita, principalmente la formación Kiamichi son incluidas en esta unidad dada su li tología predominantemente arcillosa.

Los sedimentos del Grupo Eagle Ford consisten principalmente de lutitas interstratificadas con margas y calizas arcillosas. En este grupo ocurren car bios de facies; sin embargo su contenido litológico permanece igual sin va riar su carácter de confinante (Charleston, 1975).

Las formaciones del Grupo Austin se componen de una secuencia arcillo-calca-- rea y comprende las lutitas de la Formación Parras, las lutitas interestrati-- ficadas con calizas arcillosas de la Formación San Felipe y las margas, cali zas arcillosas de la Formación Austin; estas últimas constituyen un acuífero-- importante en áreas adyacentes (Sierra de Peyotes, Noreste del Estado de Coa-- huila); en el área de estudio, su influencia hidrogeológica regional es míni-- ma ya que su afloramiento se encuentra restringido (lámina 15) y por consiguiente el área de captación del agua meteórica es reducida; no obstante pueden lle-- gar a constituir acuíferos de importancia local.

El carácter confinante de esta unidad está dado además por las formaciones - Méndez y Difunta constituida por lutitas y por una alternancia de lutitas y areniscas, respectivamente. Por su predominante litología arcillosa, obliga a considerarla como un paquete de baja permeabilidad; por otro lado, el gran espesor que presenta esta secuencia (más de 1000 m, Charleston, 1975) - permite considerarla como un confinante efectivo. Localmente pueden llegar a constituir un acuífero subordinado, principalmente en los primeros 30 a 50m; sin embargo dada su naturaleza, su producción se encuentra limitada, así como el manejo de sus captaciones (pozos) debe ser muy cuidadoso, llegando a ser - atractivos si son operados con bajos caudales y en forma interdependiente - (Chavez Guillen, comunicación personal).

Otros depósitos que actúan como material impermeable se localizan en la porción más noroccidental del área de estudio, lo constituyen los sedimentos de la Formación Upson del Grupo Taylor, compuesta por lutitas y limolitas calcáreas con un espesor de 300 m; asimismo, dentro del grupo Navarro se incluyen los depósitos carboníferos del noreste de México (formaciones Olmos y Escondido). Aunque algunos intervalos de este grupo, pueden formar acuíferos de extensión local, se considera que se comporta como un estrato acuicludo (CPNH, 1978).

Los materiales que integran esta unidad confinante se localizan, principalmente, en los flancos de las sierras y, hacia el subsuelo, forman los núcleos de las estructuras sinclinales. Como se ha mencionado, presentan cambios laterales - aunque éstos no afectan su carácter hidrogeológico regional. Descansan concordantemente sobre la secuencia calcárea de la unidad III y tienen un espesor promedio de 1 000 m.

La expresión geomorfológica de estos depósitos se encuentra representada por lomeríos de mediana elevación así como sierras bajas angostas y de poca exten-

sión como las sierras de Higueras, Mamulique y Cerritos entre otros. En los valles que se forman entre dos grandes estructuras anticlinales originan lomas de poca elevación alineadas y paralelas al eje de la estructura. Hacia la porción oriental del área de estudio estos estratos presentan una inclinación regional hacia el este.

### UNIDAD III (Acuífero confinado en calizas).

Las formaciones que integran parte de las series Coahuila y Comanche: Cupido, La Peña y Aurora, son las que revisten mayor importancia hidrogeológica - dado su carácter hidrológico y distribución espacial, así como la extensa zona de recarga que presentan a lo largo de las partes más altas de los macizos montañosos de la región. Cuando se encuentran cubiertas por los sedimentos - arcillosos del Cretácico Superior (Unidad II) constituyen un acuífero confinado de gran potencialidad.

La Formación La Peña es una secuencia arcillo-calcárea con un espesor promedio de 30 m; no obstante, dado el gran espesor de las formaciones adyacentes, se convino en agruparla en esta unidad; sin embargo, hacia la porción oriental - del área alcanza su máximo espesor, promediando 100 m aproximadamente, siendo posible que afecte el funcionamiento hidrogeológico de esta unidad.

La Formación Aurora es una secuencia monótona de calizas de textura fina, de porosidad y permeabilidad primarias bajas (CUADRO 4). Sin embargo, esta formación posee un alto grado de porosidad y permeabilidad secundaria como consecuencia de procesos físicos y químicos que actuaron posteriormente a su depósito. Los procesos físicos producen fracturas, zonas de colapso, diaclasas y fallas; debidos a los movimientos orogénicos y postorogénicos que ha atravesado la región. Los procesos químicos se reducen a la acción del agua que se infiltra a través de las fracturas, planos de estratificación e intersticios;

CUADRO 4 POROSIDAD Y PERMEABILIDAD PRIMARIAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS CONSOLIDADAS Y CARBONATADAS \*

Tipo de Roca	Lutitas	Limolitas	Caliza Compacta	Areniscas	Dolomitas	Creta	Caliza Oolítica	Caliza Arrecifal
Porosidad (%)	5 - 25	0	4 - 10	10 - 15	6	30	22	20 - 50
Permeabilidad (cm/Da)	$3 \times 10^{-8} - 8 \times 10^{-11}$	$2 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-11}$	$9 \times 10^{-8}$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-4} - 10^{-2}$	0.58
	B	A	J	A	M O D E R A D A			A L T A

\* Davis, 1969. Davis y De Wiest, 1966.

de este modo el agua infiltrada al circular bajo la acción de la gravedad, disuelve a la roca y provoca la creación de estructuras de disolución como conductos y en mayor grado cavernas y grutas. Es, en estas estructuras por donde el agua circula y es almacenada.

La estratificación de esta formación varía de mediana a gruesa, las juntas y fracturas son perpendiculares al plano de estratificación, las fracturas más amplias se encuentran a intervalos de aproximadamente 20 a 30 cm. Se observa gran cantidad de variadas estructuras de disolución como estilolitas, zonas de corrosión y pequeñas aberturas circulares, así como grandes aberturas preferentemente rectangulares y verticales en las paredes de los cañones donde aflora esta formación. En general, los fenómenos de disolución se hacen notables en todos los afloramientos de la formación, lo muestran los manantiales localizados en las diferentes zonas donde ésta aparece como en Cuatro Ciénegas y Múzquiz en Coahuila y los que dan origen a la Cola de Caballo (Cieps, - 1968). En el área de estudio se localiza entre otros al manantial Sabinas con un caudal medio anual de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Los pozos emplazados en esta formación son principalmente productores (91% de ellos), con un caudal promedio de 171 lps; correspondiendo el 54% al campo de pozos Mina y el 27% a Buenos Aires, hacia la porción oriente del área, Sierras de Sabinas y Picachos el incremento en el espesor de la subyacente formación La Peña provoca la separación de este acuífero y el de la formación Cupido. Esto se manifiesta por la surgencia de muchos manantiales que brotan en la base de la caliza Aurora hacia el contacto con las lutitas de La Peña, un ejemplo lo constituye el manantial Sabinas mencionado anteriormente.

En la porción de la Sierra de Sabinas y principalmente en la Sierra de Picachos, esta formación se encuentra parcialmente intrusionada por rocas plutóni-

cas de composición ácida, así como gran cantidad de cuerpos hipabisales de composición intermedia, siendo éstos en ocasiones transversales al plano de estratificación como los diques; asimismo cuerpos ígneos (Sills) a lo largo de los planos de estratificación y fracturamiento, reduciendo de este modo la porosidad. Por otro lado las soluciones que acompañan a estos cuerpos transforman a la roca recristalizando los minerales originales de la roca caliza, así como rellenando los huecos lo que ocasiona una disminución en la permeabilidad de la misma.

Hacia la porción sur del área en el frente de la Sierra Madre Oriental, la formación Aurora se encuentra altamente fracturada y alterada por los procesos de disolución, aunado a esto, la formación La Peña presenta muy poco espesor, así en esta porción se integra con la formación Cupido dando lugar a un acuífero único.

En el resto del área no se ha determinado la separación entre los dos acuíferos (en los pozos que penetran en ambas formaciones); sin embargo, por observaciones hidrogeoquímicas (descritas posteriormente) sobre todo en el campo de Mina, se observa que existe diferencia entre el agua de ambos acuíferos, por lo tanto es de esperar alguna separación local supeditada a la intensidad del fracturamiento.

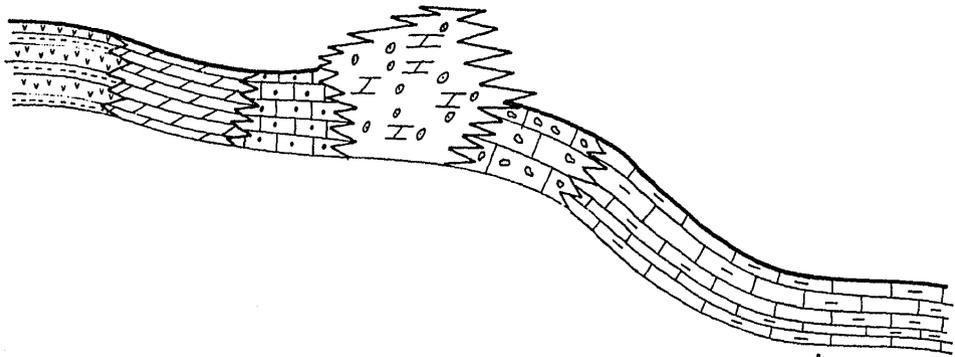
La Formación Cupido en el noreste del país asocia diferentes litologías que integran un complejo arrecifal. En el área de estudio se encuentran las facies de este complejo y cada una de ellas presentan porosidades y permeabilidades primarias que varían de altas a bajas; por otro lado, en forma análoga con la formación Aurora, los sedimentos calcáreos de la Cupido también se ven alterados por procesos físicos y químicos posteriores a su depósito produciendo cambios en las características hidrogeológicas iniciales.

En la LAMINA 16 se presenta un esquema de heterotipos de facies y variación de la permeabilidad, modificado de Motts (1968). Este esquema se aplica al modelo de sedimentación para la Cupido (propuesto por Conklin y Moore, 1977). De donde se puede establecer que la máxima permeabilidad primaria se encuentra en las facies arrecifales y que hacia las facies de cuenca disminuye notablemente. Las facies arrecifales se componen del arrecife en sí y sus dos facies adyacentes: la postarrecifal constituida de calcarenitas, areniscas calcáreas y calizas oolíticas con una permeabilidad de moderada a alta y una porosidad del 22% aproximadamente según el CUADRO 4. La otra facies del complejo arrecifal lo constituye la facies prearrecifal, compuesta principalmente de calizabioclástica y litoclástica semejante a una brecha calcárea alternando hacia mar abierto con sedimentación pelágica y lutitas. La permeabilidad y porosidad primarias varían de alta a moderada.

Las facies arrecifales forman una faja alineada de norte a sur (plano de la LAMINA 10) y constituyen las partes más prominentes de las sierras. Se localiza hacia la margen occidental del área a través de las sierras de Gomas (centro-norte), Minas Viejas (porción noroccidental), Potrero Chico (al occidente), Topo Chico (al occidente), Potrero García (centro y sur-oriente), Sierra de la Silla (porción más occidental) y en la Sierra Madre Oriental porción noroccidental (La Huasteca, N. L.). Estos afloramientos corresponden a los estratos más jóvenes de este complejo encontrándose la parte basal de éste hacia el estado de Coahuila como en la Sierra de Pájaros Azules y en Oballos (Stabler y Márquez, 1977). De esta manera el emplazamiento del arrecife forma así una franja con características hidrológicas atractivas localizada hacia la margen occidental del área a lo largo de las sierras mencionadas. Por otro lado, las facies pelágicas se encuentran en las sierras de Lampazos, Sabinas-Santa Clara, Picachos y en la margen oriental de la Sierra Madre (Cañón de Santa Rosa). Por consiguiente la parte oriental del área de estudio -

FACIES DE TRANSICION LINEARES		FACIES ARRECIFALES			FACIES PELAGICAS	
MAREA	LAGUNARES	POST	ARRECIFE	PRE	DE TALUD	DE CUENCA

EVAPORITAS      DOLOMIAS      CALIZAS DE PLATAFORMA      CALIZAS DE CUENCA



BAJA      MODERADA      PERMEABILIDAD ALTA EN EXTREMO      PERMEABILIDAD BAJA EN EXTREMO

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE 1985	

Lamina No 16  
 Esquema Idealizado de Heterotipos de Facies de la Formación Cupido y Variación de la Permeabilidad Primaria (Modificado de Motts, 1968. y completado de Conklin y Moore, 1979)

es poco atractiva para el emplazamiento de un buen acuífero en la Formación Cupido, por lo que a sus características hidrológicas primarias se refiere.

De lo anteriormente expuesto se concluye que el carácter "acuífero" de esta — unidad hidrogeológica está supeditado: a la disposición e intensidad del — fracturamiento que se relaciona con las provincias geológicas del noreste de México (ver Marco Geológico Regional), a la acción química del agua y a su — área de recarga; la porción inferior de la unidad (Formación Cupido), depende asimismo del medio ambiente de depósito y de las facies resultantes (Paleogeografía, LAMINA 4).

Por consiguiente, hacia donde se conjuguen las características hidrogeológicas adecuadas (fracturamiento, disolución y alta porosidad primaria), esta — unidad se comporta como un sólo acuífero, como al parecer se encuentra en la provincia de la Cuenca Sedimentaria Mesozoica al suroeste de Monterrey, N.L. — ya que en esta región se constituye un frente tectónico en donde los esfuerzos orogénicos y postorogénicos actuarán intensamente; asimismo en ese lugar la — porción inferior de la unidad corresponde a depósitos del "Complejo Arrecifal Cupido".

En la porción oriental del área de estudio se localiza la Península de Tamau- lipas en donde los esfuerzos actuarán con menos intensidad provocando fractu- ramiento local; la porosidad y permeabilidad primarias de la unidad es baja — por ser depósitos de facies pelágicas; aunado a esto se tiene el incremento — en el espesor (100m) de la secuencia arcillosa de la Formación La Peña. Por lo tanto, hacia estas áreas existe la división de la unidad hidrogeológica y el carácter acuífero es función de condiciones locales adecuadas. Al sur, a lo — largo de esta provincia geológica (Sierra Santa Clara y Picachos), se locali- zan cuerpos ígneos intrusivos emplazados en forma contemporánea a la deforma-

ción, que junto con soluciones hidrotermales asociados a ellos redujeron la porosidad de la unidad al rellenar las fracturas y cavidades, dando origen a una zona en donde el carácter hidrogeológico de la unidad estaría en función de la disolución química del agua.

El resto del área se localiza sobre el antiguo Golfo de Sabinas, en donde el - fracturamiento es bueno pero al parecer erráticamente dispuesto (Charleston, - 1972), en donde la permeabilidad es local y sobre todo en las porciones altas - de los anticlinales sepultados; sin embargo en donde se asocian con las facies arrecifales de la Cupido (Campo de Pozos Mina) integran un sólo acuífero; aunque las características geoquímicas del agua indican dos tipos acuíferos independientes en algunas zonas; sin embargo en otras, se presenta una mezcla de - ambas aguas, debido tal vez a fracturas asociadas a las formaciones.

Las relaciones anteriormente señaladas de esta Unidad se muestran sobre un plano hidrogeológico (LAMINA 15), destacando las áreas, donde se conjugan estos fenómenos, adecuadas para realizar estudios de detalle con el fin de localizar sitios atractivos para la explotación del agua subterránea.

#### UNIDAD IV. (Confinante Inferior del Acuífero en Calizas).

Dentro de esta unidad se agrupan a todas aquellas formaciones ubicadas estratigráficamente abajo de la Formación Cupido y que por su carácter arcilloso - actúan como una barrera al flujo descendente. Las formaciones pertenecientes - al sistema Jurásico, que se encuentran aflorando, integran la Serie Sabinas que constituye una secuencia evapocarbonatada-arcillosa. Estas formaciones son: Yeso Minas Viejas, Calizas Zuloaga y las lutitas de la Formación La Casita.

El carácter confinante de esta unidad está dado por los sedimentos arcillosos de la Formación La Casita y las evaporitas Minas Viejas; no obstante, en esta - unidad se presenta un acuífero subordinado en las calizas de la formación Zu-

loaga; sin embargo, su restringida área de recarga, ubicada hacia los núcleos de los anticlinales (siempre y cuando éstos se encuentren erosionados) constituye un impedimento para pensar en explotarlos; aunque en forma local y en sitios en donde se presenten condiciones ideales (Cañón de la Huasteca al sur de Monterrey, N. L.) es posible su explotación. Por otro lado, las evaporitas de la Formación Minas Viejas son altamente solubles por el agua meteórica y podrían afectar las propiedades geoquímicas del agua subterránea.

### III.3 Factor Geomorfológico

Dentro de este factor un aspecto que influye notablemente es la expresión topográfica de las sierras y la distribución de las mismas. El efecto de la Sierra Madre Oriental con elevaciones que sobrepasan los 2000 msnm, y en cierta forma las sierras individuales de la porción norte del área, afectan la distribución de valores de temperatura, evaporación potencial, así como de precipitación pluvial; no obstante esta última es gobernada asimismo por la incidencia esporádica de perturbaciones ciclónicas. Por lo que a la expresión topográfica de la Sierra Madre Oriental se refiere, ésta constituye un importante contrafuerte que obliga a elevarse a las nubes hacia zonas en donde se propicie su condensación y por lo tanto la precipitación pluvial (Charleston, 1972).

La geomorfología de las unidades hidrogeológicas descritas son función de los procesos geológicos internos (orogénesis) y externos (erosión, intemperismo, etc.). Entre los rasgos del relieve se tienen las sierras, que corresponden en su mayoría a plegamientos anticlinales constituídos por sedimentos marinos del Cretácico, estas estructuras son de forma cóncava alargada. La característica principal es que los núcleos de las estructuras que forman las sierras se encuentran erosionadas formando extensos valles interiores denominados "potreros" en donde afloran sedimentos confinantes del Jurásico Superior. Hargrey en 1956, interpretó que estos rasgos geomórficos están relacionados con la deformación plástica de la sal y anhidrita jurásica (diapirismo); tal es el caso del Potrero de Minas Viejas, Potrero Chico, Potrero García y el Potrero de Coma entre otros; además éstos en la provincia hidrográfica de las cuencas de drenaje de Saltillo que corresponden

a la expresión actual del Paleogolfo de Sabinas.

El área de afloramiento de las formaciones que integran la Unidad III se considera la zona de recarga del acuífero calcáreo ya que ésta se ubica hacia las partes altas de las sierras en donde se lleva a cabo gran parte de la precipitación pluvial.

Uno de los procesos geológicos externos que más influyen en el comportamiento hidrogeológico de las unidades con posibilidades de constituir un acuífero, lo constituye el intemperismo químico o carsticismo cuando se trata de materiales carbonatados.

La carstificación es un fenómeno físico-químico que se determina por factores como velocidad de flujo, solubilidad, densidad del enrejado de fisuras y la permeabilidad primaria de las unidades litoestratigráficas. La ocurrencia e intensidad de estos factores determina, en relación directamente proporcional, el grado de carstificación de un conjunto de rocas calcáreas; el aparato cárstico queda constituido asimismo por el medio calizo, la fisuración, el agua circulante, la disolución y erosión. Se clasifica en viviente (cuando exista circulación) y muerto (falta de circulación).

La unidad hidrogeológica III puede llegar a constituir de esta manera un aparato o mejor dicho "Sistema Cárstico" que se clasifica como viviente puesto que existe circulación del agua. Las zonas de este sistema lo constituyen: 1) la zona superficial o zona de absorción, identificada como el área de recarga de la unidad; 2) zona interna de circulación libre o alternativamente libre y a presión, ya que en el área, el medio calizo se encuentra plegado, esta zona se identifica con los flancos de los anticlinales; 3) la zona in-

terior de circulación permanentemente a presión se presenta hacia los ejes de los sinclinales asociados de la estructura principal. Cabe mencionar que entre las zonas 2 y 3 aparece una subzona de emergencia del agua subterránea; siempre y cuando la capacidad del sistema cárstico sea rebasada.

Diferentes formas de absorción se encuentran en esta unidad, siendo las más importantes las "dolinas" (forma cerrada) en donde la absorción es lenta, los "sumideros" (forma abierta) en donde la absorción es en masa, y los "cañones" (forma aloctona) de absorción mixta. Al ser el área una zona plegada encontramos dolinas repartidas morfológicamente sobre las estructuras de los pliegues: en los flancos se encuentran dolinas de cuesta asimétricas, mientras que en el eje de pliegue se hallan dolinas simétricas cuya absorción está condicionada por las diaclasas (el origen de la dolina está en la disolución de los puntos de intersección de dos o más diaclasas).

De las formaciones que se incluyen en esta Unidad, la que presenta mayores condiciones de ser carstificable y por ende de constituir un sistema cástico es la Formación Cupido, por su fracturamiento tan intenso (en las áreas ya mencionadas) y la gran porosidad primaria que posee.

#### III. 4. Factor Tectónico-Estructural

Al describir la Unidad III se mencionan zonas en donde la actividad tectónica ha actuado con diferente intensidad y la relación se guarda con las provincias geológicas. La zona con mayor intensidad tectónica es en donde se encuentra emplazada la Sierra Madre Oriental al norte de Monterrey, N.L., ya que esta zona constituye un frente tectónico alferido, el cual al fracturamiento de la zona con las unidades estratigráficas (III) debe ser una consecuencia directa, principalmente de la gran actividad tectónica que se

movimientos tectónicos regionales (Orogenia Laramide) y el otro es el fracturamiento a menor escala (postorogénico) que incluye principalmente a la mayoría de diaclasas y pequeñas fracturas.

De los resultados del estudio realizado por el Dr. Santiago Charleston en 1972 se observa que la disposición del fracturamiento en los anticlinales fuertemente plegados de la Sierra Madre Oriental tiene tres principales direcciones. Las dos más importantes cortan a los ejes de las estructuras en forma diagonal. El otro grupo de fracturas menos importante presenta paralelismo con el eje de las estructuras.

En las observaciones realizadas en este estudio sobre el fracturamiento a menor escala se observa que las diaclasas son preferentemente perpendiculares al plano de estratificación y en menor grado paralelas a éste formando un enrejado de fisuras, que en algunos casos en las intersecciones de este enrejado se aprecia la acción de la disolución.

Para la zona con menor intensidad del fracturamiento que la constituye la provincia de los Pliegues Marginales de Coahuila, el mayor número de fracturas, aparentemente cortan en forma perpendicular al eje de la estructura y en menor cantidad son diagonales a éste.

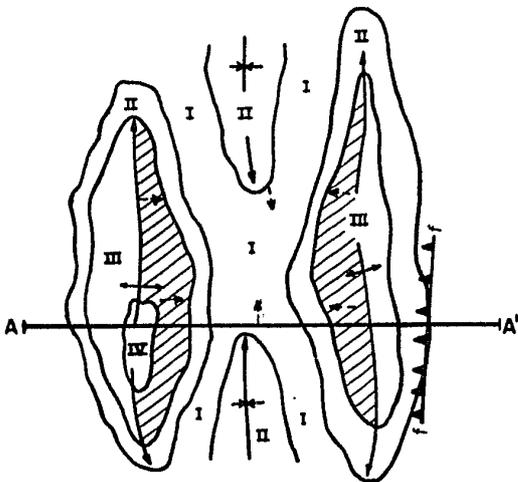
En la zona que corresponde a las Sierras Tamaulipecas la deformación producida por los movimientos orogénicos ha sido mezclada con la acción de los cuerpos ígneos intrusivos y no se presenta una diferenciación de las fracturas; sin embargo, se observa el mismo patrón de la zona anterior.

De acuerdo con Charleston, sí se toma en consideración la dirección que adopta el fracturamiento, por lo tanto la mayor transmisibilidad en las calizas de la Unidad III se efectuará en una dirección perpendicular y oblicua a los ejes de las estructuras; resultando los flancos de estas zonas de interés para la búsqueda de agua. Un aspecto importante de este factor lo constituye la homogeneidad estructural, misma que condiciona la continuidad de las estructuras longitudinal y transversalmente. Este aspecto junto con los del factor estratigráfico nos delimitan la forma del acuífero y nos ayudan a definir sistemas hidrogeológicos en rocas calcáreas.

Un sistema hidrogeológico queda limitado estructuralmente al coincidir las porciones altas de las sierras con la posición del eje de los anticlinales; asimismo, constituyen las zonas de recarga del acuífero calcáreo (Unidad - III). En la LAMINA 17 se aprecia que hacia la parte central se forma un sinclinal estructuralmente más bajo, existiendo continuidad entre la zona de recarga y la parte donde se encuentra el sinclinal. En el área de estudio un límite a la continuidad transversal quedaría constituido por la profundidad (en el eje del anticlinal) de la Unidad IV ya que por su carácter arcilloso se considera confinante, otro límite a la continuidad transversal de las estructuras estaría dado por fallas tanto normales como inversas - siempre y cuando pongan en contacto unidades con caracter hidrogeológico - diferente.

Los límites longitudinales del sistema son las discontinuidades que existen en el eje del sinclinal creando altos y bajos estructurales que influyen notablemente en el movimiento del agua subterránea al generar atrapada ésta en la estructura porosa de las unidades que forman el sistema hidrogeológico.

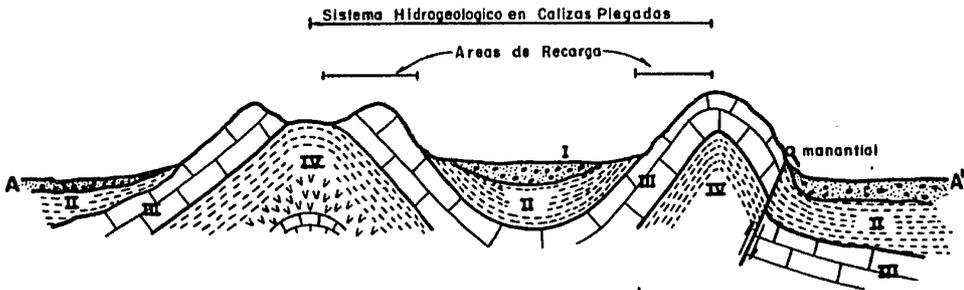
PLANO GEOLOGICO (PLANTA)



SECCION A-A'

SIMBOLOGIA

- Eje Anticlinal
- Eje Sincinal
- I** Acuífero Libre en Rellenos
- II** Confinante Superior
- III** Acuífero en Calizas
- IV** Confinante Inferior
- Línea de Sección
- Zona de Recarga del Sistema Hidrogeológico
- Falla Inversa
- Dirección de Flujo



PERFIL GEOLOGICO A-A'

Lamina No 17  
 Criterio Geológico (Estructural y Estratigráfico) para definir  
 Sistemas Hidrogeológicos en Rocas Calcáreas Plegadas y  
 Principales Límites que Intervienen.

recer en zonas de intensa actividad tectónica como en la Sierra Madre Oriental, sitio a donde se localiza el campo "Buenos Aires". Este campo presenta zonas de no producción asociadas con altos estructurales longitudinales, - subdividiendo en pequeños sistemas al sistema hidrogeológico formado por el sinclinal de San Blas.

El análisis de los factores geológicos efectuado indica que en el área — de estudio se tienen dos acuíferos; uno se encuentra en el material de relleno denominado "Acuífero libre en rellenos" e integra la Unidad Hidrogeológica I. El otro y más importante se tiene en las calizas del Crétacico - Inferior (Cupido y Aurora) y por sus relaciones ya explicadas se denomina - "Acuífero Confinado en Calizas" e integra la Unidad Hidrogeológica III.

Por lo que respecta al acuífero calcáreo, en un principio se mencionó que - el análisis de estos factores forma parte de una metodología para delinear - los sistemas de flujo en rocas calcáreas. Hasta el momento se ha podido es - tablecer que la Unidad III es susceptible de formar sistemas hidrogeológicos, quedando supeditada su capacidad a la diferenciación de estos sistemas. Es - te aspecto se tratará en los capítulos siguientes. Por último, se presenta el CUADRO 5 que, a manera de resumen, muestra las relaciones entre la caracte - rísticas hidrológicas y la posición fisiográfica de la UNIDAD III, desta - candose en las "observaciones" la condición hidrogeológica de cada una de las provincias fisiográficas que hay en la zona de estudio.

CUADRO No. 5 RELACION DE LAS CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS Y LA POSICION FISIOGRAFICA DE LA UNIDAD III

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS	SIERRAS PRINCIPALES	FORMACIONES	POROSIDAD Y PERMEABILIDAD PRIMARIAS 1/	INTENSIDAD DEL FRACTURAMIENTO Y DISOLUCION 2/	FRECUENCIA DE PRECIPITACION 3/	OBSERVACIONES
Sierra Madre Oriental	La Huasteca, San Blas, "Buenos Aires", Cañón de los Muertos, Cielinas	Cupido	Altas	Alto	Moderado a Alta	Las dos formaciones integran un acuífero. Presenta problemas estructurales. Acceso difícil.
		Aurora	Moderadas a Bajas	Muy Alto		
Priegues Marginales de Coahuila	Las Mitras, Potrero Chico, García, Minas Viejas, Gomas (Norte)	Cupido	Altas	Moderado a Alto	Baja	Acuífero, localmente - - existe separación del mismo al disminuir el fracturamiento de La Aurora.
		Aurora	Moderadas a Bajas	Moderado a Alto		
Sierra Tamauilpeca Norte	Lampazos, Sabinas, Palo Blanco, Gomas (Sur)	Cupido	Bajas	Moderado	Alta	El acuífero es la Aurora, condicionado a fracturamiento local. El Cupido no presenta características atractivas.
		"La Peña" Aurora	Incremento de Espesor $\pm$ 100 mts. Moderada a Baja	Moderado		
Sierra Tamauilpeca Sur	Sta. Clara, Picachos	Cupido	Bajas	Disminuida por actividad ígnea. (La disolución incipiente).	Alta	Pocas posibilidades de constituir un acuífero potencialmente adecuado. Localmente puede encontrarse en la Aurora.

1/ POROSIDAD Y PERMEABILIDAD SEGUN EL CUADRO No. 4

Baja: Entre 4 y 10% de porosidad y  $9 \times 10^{-8}$  cm/sg de permeabilidad.  
 Moderada: Entre 10 y 20% de porosidad y entre  $2 \times 10^{-4}$  y  $1 \times 10^{-6}$  cm/sg de permeabilidad.  
 Alta: Entre 20 y 50% de porosidad y entre  $2 \times 10^{-4}$  y .58 cm/sg de permeabilidad.

2/ GRADO DE LAS CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS SECUNDARIAS:

Baja: Corresponde a zonas sobre el contrafuerte tectónico.  
 Moderada: Pertenece a zonas sobre cuencas marginales, protegidas por las porciones cratónicas.  
 Alta: Constituye los frentes tectónicos, principalmente autóctonos.

3/ TOMANDO LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN EL AREA DE 460 mm,

Baja: Menor de 450  
 Moderada: Entre 450 y 480  
 Alta: Mayor de 480

#### IV. HIDROGEOQUIMICA

En el presente capítulo se dan las características de interés hidrogeoquímico de las rocas que pueden contener agua y el origen y propiedades geoquímicas de los diferentes iones. De este modo y junto con las observaciones hidrogeológicas descritas se dan las bases para delinear los sistemas hidrogeológicos en las rocas calcáreas de la región.

##### IV.1 Información Hidrogeoquímica

###### IV.1.1 Fuentes de información

Para realizar la interpretación hidrogeoquímica se obtuvieron muestras de agua para los análisis químicos, las cuales junto con otros resultados efectuados por diferentes organismos fueron la base para el presente trabajo. Durante los recorridos de campo, se obtuvieron 50 muestras de agua, las cuales se consideraron representativas de los acuíferos estudiados. Se muestrearon 4 manantiales y 46 pozos; de estos últimos, 15 corresponden al campo "Buenos Aires", 19 al campo "Mina", 7 al campo del área metropolitana de Monterrey, N.L. y 5 al campo de "Cerritos".

Para complementar el conocimiento hidrogeoquímico, se recopilaron 65 análisis químicos de muestras de agua, efectuados a aprovechamientos de la zona estudiada por CIEPS (1968).

Se consultó también el trabajo "Reporte del estudio en base a Isótopos Ambientales" (Payne y García, 1974) con el objeto de relacionar sus resultados con los datos geoquímicos y obtener más bases para delinear los sistemas hidrogeológicos en rocas calcáreas.

#### IV. 1.2 Análisis Fisicoquímicos.

Los análisis efectuados incluyeron las determinaciones del calcio, magnesio, sodio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, conductividad eléctrica, temperatura del agua y potencial hidrógeno; se reportó también alcalinidad total, dureza total y dureza de calcio.

Se determinó directamente en el lugar de muestreo la temperatura, pH, conductividad eléctrica y bicarbonatos como alcalinidad total. El pH se determinó por colorimetría con disco de comparación usando rojo fenol como indicador con un rango de 6.5 a 8.5 unidades de pH. Estas lecturas fueron calibradas utilizando sustancias patrones de pH con valores de 6.86, 7.00 y - - 8.00 (+ 0.02). Los bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) se determinaron por titulación con ácido sulfúrico 0.020N usando una solución mixta como indicador, obteniéndose la alcalinidad total en mg/l como  $\text{CaCO}_3$ . La conductividad eléctrica se midió con aparato autocompensable por temperatura, verificando la exactitud del conductivímetro con sustancias patrones de 500 y 1000 micromohs/cm. Con respecto al resto de las determinaciones, éstas fueron realizadas al final de cada día de trabajo con un espectrofotómetro, no así en sodio el cuál fue calculado en el laboratorio de química de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, lo cuál se agradece.

#### IV.2 Concentraciones Iónicas.

Con respecto a los sistemas cársticos de interés: Mina y Buenos Aires, los resultados de los análisis indican que hay diferencias geoquímicas significativas en el agua que contienen los acuíferos; así en el CUADRO 6, se presentan estos resultados, destacándose la diferencia en concentración, principalmente en los aniones cloruros y sulfatos; siendo mayor esta en el agua del sistema Mina con lo que es posible observar para el mismo sistema y en

SISTEMA DE POZOS MINA

	TEMP	PH	C.E	CALCIO	MAGNESIO	SCDIO	CLORUROS	SULFATOS	BICARBONATOS
1	30.0	7.24	880	102.72	12.40	75.91	100.00	94.75	289.38
4	24.0	7.29	810	98.03	15.50	51.63	91.50	70.70	271.39
5	30.0	7.15	900	93.00	22.91	64.80	104.00	93.91	277.60
7	30.0	7.33	800	98.23	1.08	77.86	78.50	89.27	266.48
9	30.0	7.39	875	90.00	4.39	79.88	92.50	81.50	248.60
10	30.0	7.19	770	85.23	6.50	104.85	95.00	98.38	285.11
13	30.0	7.52	860	88.62	12.99	92.86	87.50	92.51	317.77
14	31.0	7.19	800	93.54	3.94	70.74	70.00	76.90	278.76
15	30.0	7.26	795	90.50	1.75	78.38	77.50	80.30	278.78
16	32.0	7.33	755	102.39	2.87	53.10	70.00	63.01	271.51
18	30.0	7.36	775	95.98	11.04	58.21	84.00	71.55	271.51
19	30.0	7.35	855	93.53	6.58	88.29	102.00	80.83	277.98
21	31.0	7.29	880	101.83	9.80	76.77	105.00	91.16	271.42
23	30.0	7.34	800	99.54	9.26	64.13	87.50	71.54	283.40
24	30.0	7.08	800	105.87	6.12	60.03	82.00	87.30	265.50
25	30.0	7.28	810	103.54	11.47	55.40	75.00	102.46	265.60
26	30.0	7.10	870	120.26	6.94	56.60	91.00	101.26	271.75
27	29.0	7.28	860	86.70	6.37	93.58	92.50	81.80	284.88
29	29.0	7.42	860	92.05	2.38	101.70	97.50	98.40	272.35

SISTEMA DE POZOS BUENOS AIRES

	TEMP	PH	C.E	CALCIO	MAGNESIO	SCDIO	CLORUROS	SULFATOS	BICARBONATOS
1	24.0	7.43	450	75.93	9.20	14.83	11.00	17.21	279.60
2	24.0	7.53	405	74.75	5.34	4.82	11.00	10.31	237.86
5	26.0	7.65	480	78.38	11.81	8.88	14.00	32.40	259.58
6	27.0	7.38	410	68.62	14.11	7.36	11.00	10.58	270.92
8	24.0	7.38	410	82.39	.93	6.73	10.00	11.52	244.98
10	24.0	7.60	450	86.40	.46	7.15	10.50	15.56	249.15
12	23.0	7.40	460	90.82	4.12	6.23	9.50	23.50	271.32
14	24.0	7.53	440	85.60	3.92	6.36	10.00	15.48	263.57
17	23.0	7.35	450	80.16	5.77	8.22	12.50	15.99	256.40
18	22.0	7.37	425	75.87	6.95	8.38	12.50	13.19	252.99
19	22.0	7.37	440	65.09	17.14	6.51	10.00	11.92	272.89
25	26.0	7.43	440	62.62	16.81	6.83	11.00	17.61	255.50
28	22.0	7.28	450	73.05	11.06	7.47	11.50	21.38	254.28
30	24.0	7.49	450	83.67	5.99	7.96	12.50	16.20	267.27
33	24.0	7.40	470	68.60	9.25	7.58	12.50	18.21	233.66

LAS CONCENTRACIONES IONICAS ESTAN EN MG/L : LA TEMPERATURA EN GRADOS CENTIGRADOS  
 LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN MICRO MHS/CM

lo que se refiere a los cationes una ligera mayor concentración con respecto al calcio y más significativa para el sodio. También se aprecia que, tanto la temperatura como la conductividad eléctrica son más altas en Mina que en Buenos Aires.

Lo anterior proporciona sin más análisis, una primera evidencia geoquímica para la diferenciación de estos acuíferos y constituye una herramienta sustancial en la definición de sistemas hidrogeológicos. Para visualizar a detalle esta diferencia se preparó el CUADRO 7, el cual muestra los valores medios individuales de las concentraciones iónicas y parámetros físicos determinados. En los dos subcapítulos siguientes se comentan estas disimilitudes.

#### IV.2.1 Aniones.

Los principales aniones determinados, fueron: Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y Sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ). El primero de ellos es el que mayor concentración presenta en ambos sistemas, Mina y Buenos Aires, con un valor medio de 276.3 y 257.9 mg/l, respectivamente. No existen variaciones significativas en la concentración de este ion en los aprovechamientos muestreados, como lo indica el valor del coeficiente de variación, 5% para ambos sistemas, siendo el más bajo que se encuentra en todos los iones. Lo que hace pensar que el medio por donde circula el agua subterránea es rico en carbonatos, como era de esperarse; sin embargo, esta "estabilidad" en concentración esta de acuerdo con lo propuesto por diferentes investigadores, entre ellos John D. Hem (1959) que dice que la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  depende de la presión parcial de  $\text{CO}_2$ , la cual permanece constante en el acuífero.

Por lo que respecta al ion cloruro, este es casi 8 veces mayor en el Sistema Mina que en Buenos Aires con concentraciones medias de 83.58 y 11.27 —

CUADRO 7 Valores medios de las concentraciones iónicas y parámetros físicos del agua de los sistemas acuíferos de Mina y Buenos Aires.

	pH	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	C.E. 3	Temp. 4
Sist. Mina									
MEDIA (Mg/l)	7.28	97.0	8.08	73.92	276.30	88.58	85.63	830	30.0
MEDIA (Meq/l)	-	4.84	0.66	3.21	4.52	2.49	1.78	-	-
(1) D.S (meq/l)	0.11	0.41	0.45	0.72	0.22	0.31	0.24	.44	1.54
(2) C.V. (%)	1.5	8.5	68.1	22.5	4.9	12.4	13.5	5.0	5.20
Sistema Buenos Aires									
MEDIA (Mg/l)	7.43	76.8	8.19	7.68	257.93	11.27	16.73	442	24.0
MEDIA (Meq/l)	-	3.83	0.67	0.33	4.22	0.32	0.34	-	-
(1) D.S. (Meq/l)	0.10	0.41	0.43	0.09	0.21	0.03	0.11	21.7	1.48
(2) C.V. (%)	1.36	11.0	64.0	29.2	5.0	11.1	35.2	4.9	6.18

(1) D.S., desviación estandar; (2) Coeficiente de Variación; 3) Micromohs/cm; 4) °C

Mg/l, respectivamente. Su variabilidad es un poco mayor que el anion anterior, pero relativamente igual en ambos acuíferos, cerca de 12% de coeficiente de variación, lo que indica su estabilidad en disolución (Custodio y Llamas, 1976). Por otro lado, por la diferencia en concentración en los sistemas muestreados o bien el tiempo de residencia es mayor en Mina, dado por dos causas: 1) mayor trayectoria de flujo y 2) medio de circulación con aberturas pequeña, o en su caso, la existencia de depósitos ricos en NaCl por los cuales el agua atraviesa en su paso a la zona de descarga (pozos).

La última de las consideraciones expuestas es poco probable ya que en el subsuelo del área no se han reportado depósitos de Halita (NaCl) en los pozos de exploración perforados (PEMEX) ni en los pozos que explotan estos acuíferos. La segunda causa de la consideración inicial no concuerda con las hipótesis planteadas anteriormente (Cap. III), y como se verá más adelante al comentar las concentraciones cationicas, los contenidos de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  no son muy diferentes en ambos acuíferos, así que pensar que el medio de circulación a través de fisuras finas para el sistema Mina no es adecuado, de otra forma se tendría también un incremento notorio en las concentraciones de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ . Por consiguiente, es posible que la diferencia en concentración en ambos acuíferos de este ion, en general muy soluble (Custodio y Llamas, op.cit) se deba a trayectorias de flujo diferentes, siendo de menor longitud para el sistema Buenos Aires.

El ion sulfato ( $SO_4=$ ) presenta diferencias en concentración similares a las del ion cloruro lo que hace pensar que la diferente trayectoria de flujo sea también la causa para esta disimilitud y dado que las características químicas de estos iones son similares (Custodio y Llamas, 1976) reafirma lo dicho. La concentración media en Mina es de aproximadamente de 58.63 mg/l y en Bug

nos Aires de 16.73 mg/l. En Mina presenta poca variabilidad con un coeficiente de variación similar al  $\text{Cl}^-$ , 13%; sin embargo para el sistema Buenos Aires el coeficiente de variación es del orden del 35% lo que indica que ciertos pozos están captando materiales con algún contenido de yeso o anhidrita; en el CUADRO 5 se observa que estos pozos pueden ser el 5, 12, 25 y 28; de estos, los dos últimos se encuentran emplazados en el acuífero subordinado en la "Caliza, Zuloaga" cuya litología presenta capas de yeso; sin embargo el pozo 5 y 12 están captando el acuífero de la Unidad Hidrogeológica III y ubicados diametralmente opuestos en el Cañón de la Huasteca.

#### IV.2.2 Cationes

Los cationes determinados en los análisis químicos fueron el Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), el Sodio ( $\text{Na}^+$ ) y Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ). De ellos, el calcio es el que generalmente se encuentra en mayor proporción dado que son acuíferos calcáreos, sus concentraciones en los acuíferos estudiados son muy similares con valores medios de 97.0 y 76.8 mg/l para Mina y Buenos Aires, respectivamente. Su variabilidad es baja de 9 a 11% de coeficiente de variación. Como se ve, no hay un cambio sustancial de la concentración del ion en el agua de ambos acuíferos para que pueda pensarse en litologías y medio de circulación diferentes, únicamente apoya la hipótesis planteada al comentar el ion cloruro ya que en Mina hay 20% más de este ion ( $\text{Ca}^{++}$ ).

El ion sodio (Na), suele ir asociado con el ion  $\text{Cl}^-$ , pero no siempre es así (Custodio y Llanas, 1976), de solubilidad muy elevada y regularmente no asociado a calizas puras; las altas concentraciones, con un valor medio de 74 Mg/l y con un máximo de 105 Mg/l y un mínimo de 53 Mg/l en el sistema Mina y al contrario, 7.7 Mg/l de valor medio y de 4 a 14 Mg/l de mínimo y máximo, respectivamente, para Buenos Aires, apoyan lo dicho anteriormente, - - - -

diferente tipo trayectoria de flujo.

El Magnesio ( $Mg^{++}$ ), con concentraciones medias similares en ambos acuíferos, cerca de  $8 \text{ mg/l}$  pero con variabilidades altas, entre 64 y 68% de coeficiente de variación denota que ciertos pozos captan su agua de oquedades — y fracturas preferentes en rocas dolomíticas por donde circula el agua.

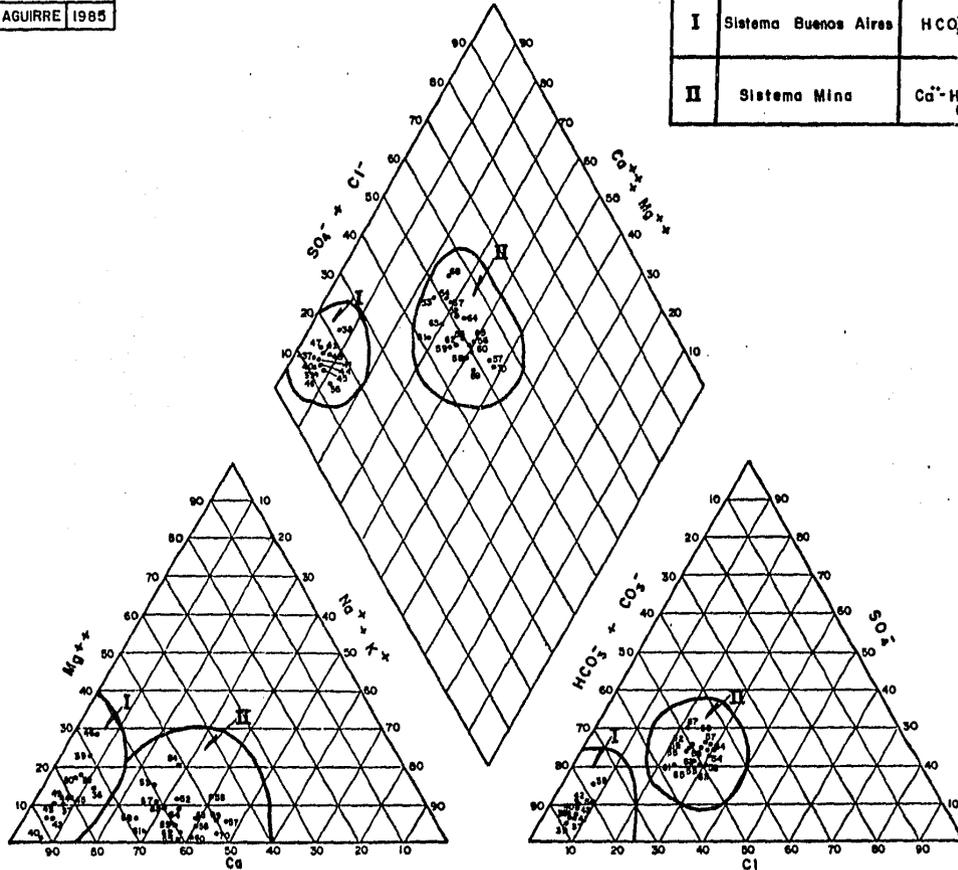
#### IV.3. Familias de Agua

Con el objeto de clasificar el agua de acuerdo a su composición química, en dos de los sistemas de pozos (Buenos Aires y Mina) de la Unidad Hidrogeológica III, se utilizó el método de diagramas triangulares y el método del — ión dominante CUADRO 8. Para ello se procesaron los resultados de los análisis químicos en un programa de computadora realizado por la Dirección de Inventarios de Agua y Suelo de la CPNH denominado "QUIMAG".

El método de diagramas triangulares consiste en graficar en un diagrama tri lineal los cationes y en otro similar los aniones, expresando la concentración iónica en porcentajes de miliequivalentes por litro. De acuerdo a la distribución de los puntos graficados, se clasifica el agua como cálcica, — si los puntos se encuentran con un porcentaje mayor de 50, de calcio. De — manera similar se clasifica el agua sódica, clorurada, etc. La familia de agua, está dada por el catión y anión que predominen en cada muestra.

En el diagrama triangular que se muestra en la LAMINA 18 se observa que el — agua del Sistema Buenos Aires pertenece a la familia Bicarbonatada Cálcica — Ca-Magnésiana ( $\%r \text{ HCO}_3^- > \%r \text{ Ca}^{++} >> \%r \text{ Mg}^{++}$ ) y el agua del Sistema Mina es Cálcica Bicarbonatada y/o sulfatada clorurada ( $\%r \text{ Ca}^{++} > \%r \text{ HCO}_3^-$  y/o  $\%r \text{ (SO}_4^{=}) > \text{Cl}^-$ ). Esto resulta obvio ya que se trata de aprovechamientos em plazados sobre la Unidad Hidrogeológica III cuyos sedimentos son calcáreos; no obstante la diferencia en clasificación de ambos sistemas radica en el — tiempo de residencia del agua en el acuífero, posiblemente debido a la dife rente trayectoria de flujo.

ZONA		FAMILIA DE AGUA
I	Sistema Buenos Aires	$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++} - \text{Mg}^{++}$
II	Sistema Mina	$\text{Ca}^{++} - \text{HCO}_3^- - (\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{--})$ (mixta)



Lamina No 18 CLASIFICACION GEOQUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA POR MEDIO DE DIAGRAMAS DE PIPER

CUADRO 8 CLASIFICACION GEOQUIMICA DE AGUAS SUBTERRANEAS POR IONES DOMINANTES.

ANIONES	CATIONES	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
1. $rCl > rSO_4 > rCO_3H$	a. $rNa > rMg > rCa$	C-1 Conductividad a 25°C entre 0 y 250 umohs/cm (entre 0 y 215 a 18°)
2. $rCl > rCO_3H > rSO_4$	b. $rNa > rCa > rMg$	C-2 Conductividad a 25°C entre 250 y 750 umohs/cm (entre 215 y 650 a 18°)
3. $rSO_4 > rCl > rCO_3H$	c. $rMg > rNa > rCa$	C-3 Conductividad a 25°C entre 750 y 2 250 umohs/cm (entre 650 a 2 000 a 18°)
4. $rSO_4 > rCO_3H > rCl$	d. $rMg > rCa > rNa$	C-4 Conductividad a 25°C mayor que 2 250 umohs/cm (mayor que 2 000 a 18°)
5. $rCO_3H > rCl > rSO_4$	e. $rCa > rNa > rMg$	
6. $rCO_3H > rSO_4 > rCl$	f. $rCa > rMg > rNa$	

r = miliequivalentes por litro.

#### IV. 4      Distribución Iónica

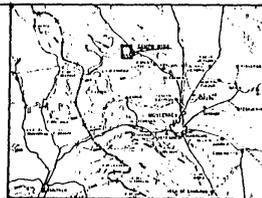
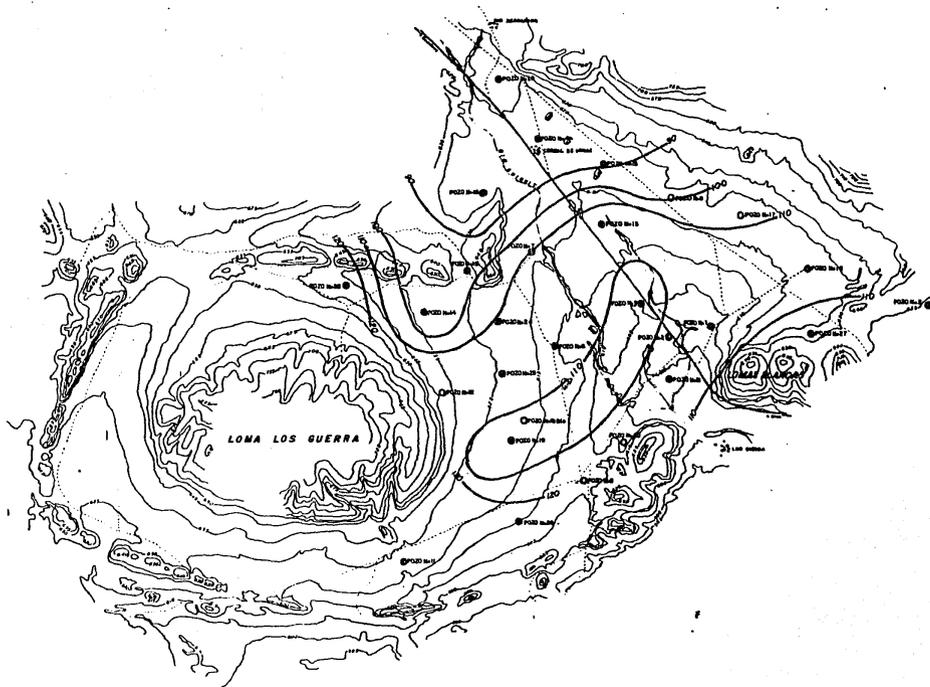
Al precipitarse la lluvia, una parte escurre sobre la superficie, se evapora en cierta proporción y aumenta la salinidad de la restante. Otra parte, se infiltra y circula a través de las fracturas, conductos o intersticios de las rocas, disolviendo las sales y minerales con que tiene contacto. Conforme mayor sea la distancia recorrida en el subsuelo y mayor el tiempo de residencia del agua en el acuífero, mayor será el contenido salino presente.

Por otra parte, la cantidad de sales en el agua depende también del grado de disolución de las sales y rocas. Los horizontes evaporíticos son los que presentan menor resistencia a la disolución por el agua. Las calizas puras se consideran con un grado de disolución intermedio. Dentro de las rocas, existen "impurezas" las cuales constituyen una fuente más de sales en solución.

Tomando en cuenta los factores mencionados, se llevó a cabo una interpretación con base a configuraciones de diferentes iones, así como el valor de la conductividad eléctrica.

##### IV.4.1.    Sistema de Pozos Mina

En las LAMINAS 19 y 20 se presentan las configuraciones de igual contenido de sulfatos y cloruros respectivamente, en las cuales se observa que las concentraciones más bajas se encuentran hacia la porción media norte del sistema y más altas hacia el sur y suroeste. El incremento de la concentración iónica en la región suroccidental, se relaciona con la dirección de



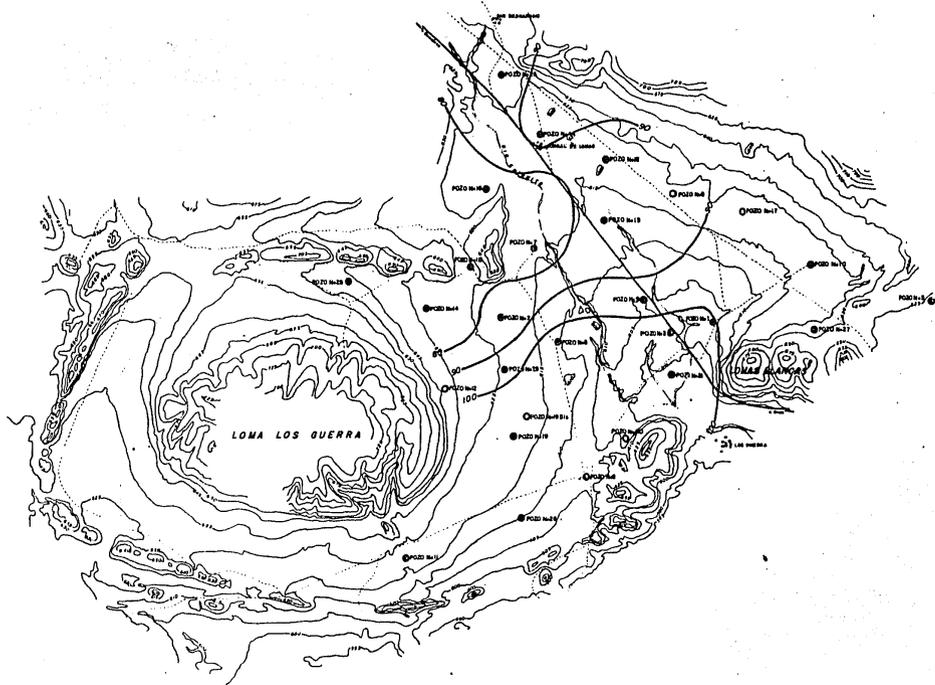
PLANO DE LOCALIZACION

**SIMBOLOS TOPOGRAFICOS**

Ciudad o PUEBLO	
CARRETERA	
CAMINO SECUNDARIO	
BO o ARROYO	
CURVA DE NIVEL	
POZO FUNCIONANDO (ETIMOLOG)	
POZO EN DESERACION	
POZO SIN FUNCIONAR	
CURVA DE NIVEL CONTORNO DE SULFATOS EN Mg/L	



UNIVERSIDAD NACIONAL FACULTAD DE INGENIERIA  
 CONFIGURACION DE SULFATOS  
 TFG 010 PROFESOR PABLO  
 ALBERTO VELAZQUEZ 2 ASESOR: TONY GARCIA 19



PLANO DE LOCALIZACION

**SIMBOLOS TOPOGRAFICOS**

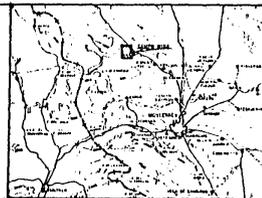
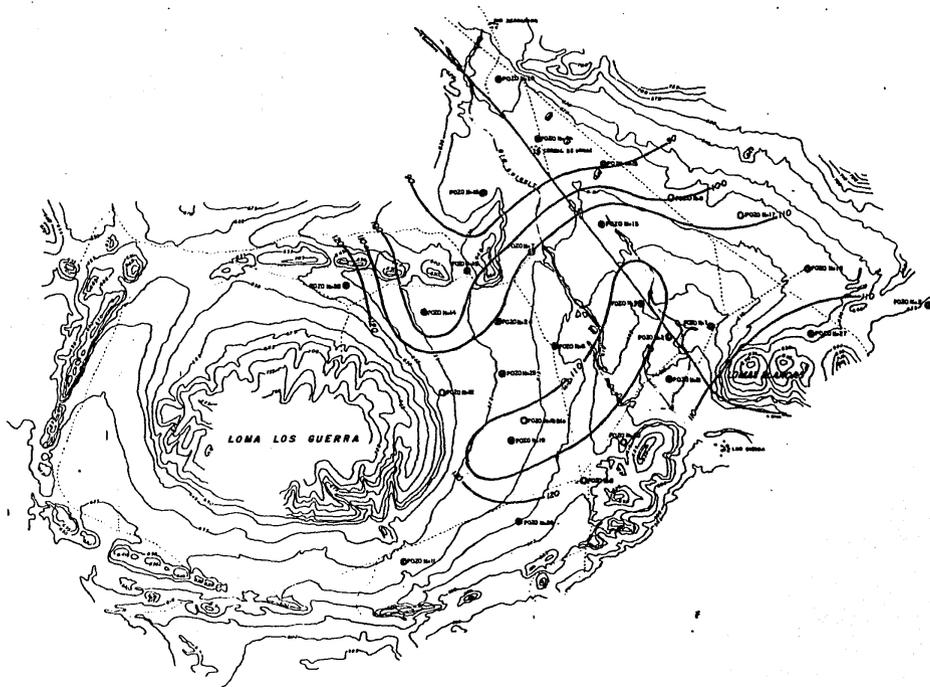
- Ciudad o Pueblo
- CARRETERA
- CARRO SECUNDARIO
- PO O ARROYO
- CURVA DE NIVEL
- POZO FUNCIONANDO OBSERVACION
- POZO EN OBSERVACION
- POZO SIN FUNCIONAR
- CURVA DE MUEL CONTENIDO DE CLORURO EN %/A



U A M FACULTAD DE INGENIERIA

CONFIGURACION DE CLORURO  
TESIS PROFESIONAL

ELIAS VELAZQUEZ - ABRIL 1965 - LAMINA 20



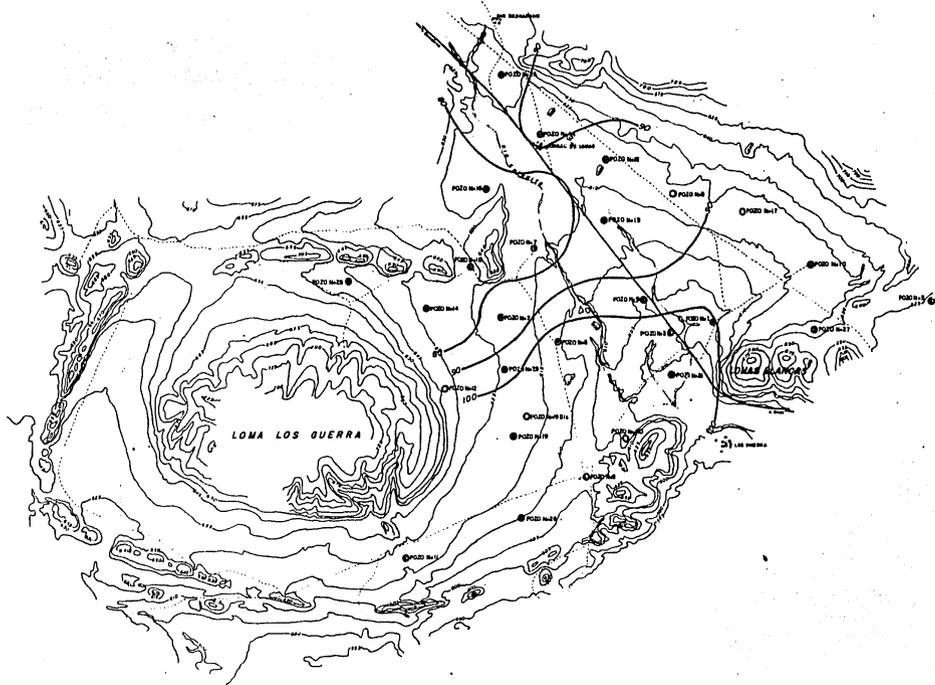
PLANO DE LOCALIZACION

**SIMBOLOS TOPOGRAFICOS**

Ciudad o PUEBLO	
CARRETERA	
CAMINO SECUNDARIO	
BO o ARROYO	
CURVA DE NIVEL	
PUNTO FUNCIONAMIENTO	
PUNTO EN CONSERVACION	
PUNTO SIN FUNCIONAR	
CURVA DE NIVEL CONTORNO DE SULFATOS EN Mg/L	



UNIVERSIDAD NACIONAL FACULTAD DE INGENIERIA  
 CONFIGURACION DE SULFATOS  
 TFG 010 PROFESOR PABLO  
 ALBERTO VELAZQUEZ 2 ASESORAS: TATIANA TORRES 19



PLANO DE LOCALIZACION

**SIMBOLOS TOPOGRAFICOS**

- Ciudad o Pueblo
- CARRETERA
- CARRO SECUNDARIO
- PO O ARROYO
- CURVA DE NIVEL
- POZO FUNCIONANDO Y MUESTREADO
- POZO EN OBSERVACION
- POZO SIN FUNCIONAR
- CURVA DE MUEL CONTENIDO DE CLORURO EN %/A



U A M FACULTAD DE INGENIERIA  
 CONFIGURACION DE CLORURO  
 TESIS PROFESIONAL  
 HUGO VELAZQUEZ RAMIREZ LAMINA 20 1955

flujo del agua subterránea; estableciendo de esta manera que las áreas de recarga se localicen hacia donde se encuentren las zonas con bajas concentraciones; en este caso, el área de recarga quedaría ubicada en el flanco suroccidental de la Sierra de Minas Viejas; sin embargo, en la configuración de sulfatos se observa un decremento hacia el oriente (en dirección del poblado Mina) lo cual nos permite establecer que también el flanco norte de la Sierra Potrero Chico constituye una zona de recarga; no obstante, al encontrar los valores máximos en una zona adyacente a ésta (pozo Mina 26 y 19) es posible pensar en contaminación debido a horizontes evaporíticos ubicados entre la Sierra Potrero Chico y el campo de pozos.

Por otro lado, la configuración de la conductividad eléctrica proporciona otro apoyo; ya que esta medida, es proporcional a la cantidad de sales disueltas en el agua, en la configuración LAMINA 21, se observa una similitud en las áreas con valores bajos así como en la dirección hacia donde se incrementa este valor, reafirmando los resultados obtenidos con las configuraciones de cloruros y sulfatos.

#### IV.4.2. Sistema de pozos Buenos Aires

El campo de pozos Buenos Aires, por lo expuesto en el subcapítulo de hidrogeología se encuentra ubicado en un área geológicamente favorable para el emplazamiento del agua subterránea dentro de la Unidad Hidrogeológica III; sin embargo, uno de los obstáculos para obtener resultados positivos en cada uno de los pozos perforados son las condiciones estructurales, específicamente las discontinuidades longitudinales del eje de los sinclinales, explicadas anteriormente.



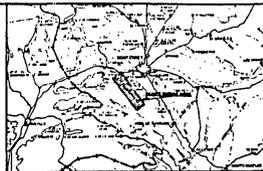
En las configuraciones de conductividad eléctrica y sulfatos (láminas 22 y 23), se observa primeramente una zona de no producción integrada entre los pozos "Buenos Aires" Nos. 9, 7, 16, 3 y 11; la otra zona queda fuera del plano; sin embargo ésta queda comprendida entre los pozos BA.24 a BA.20. Por otro lado, se aprecia que el incremento en los valores tanto de conductividad como del ión sulfato en las zonas productivas, va desde los límites de la zona de no producción, con una dirección paralela del eje de las estructuras, hacia las porciones más alejadas de las áreas no productoras. También se observa que en las inmediaciones del pozo BA.8 existe un decremento en los valores debido tal vez a la proximidad con el área de afloramiento y por ende de recarga de la Unidad Hidrogeológica III.

#### IV.5. Equilibrio Químico

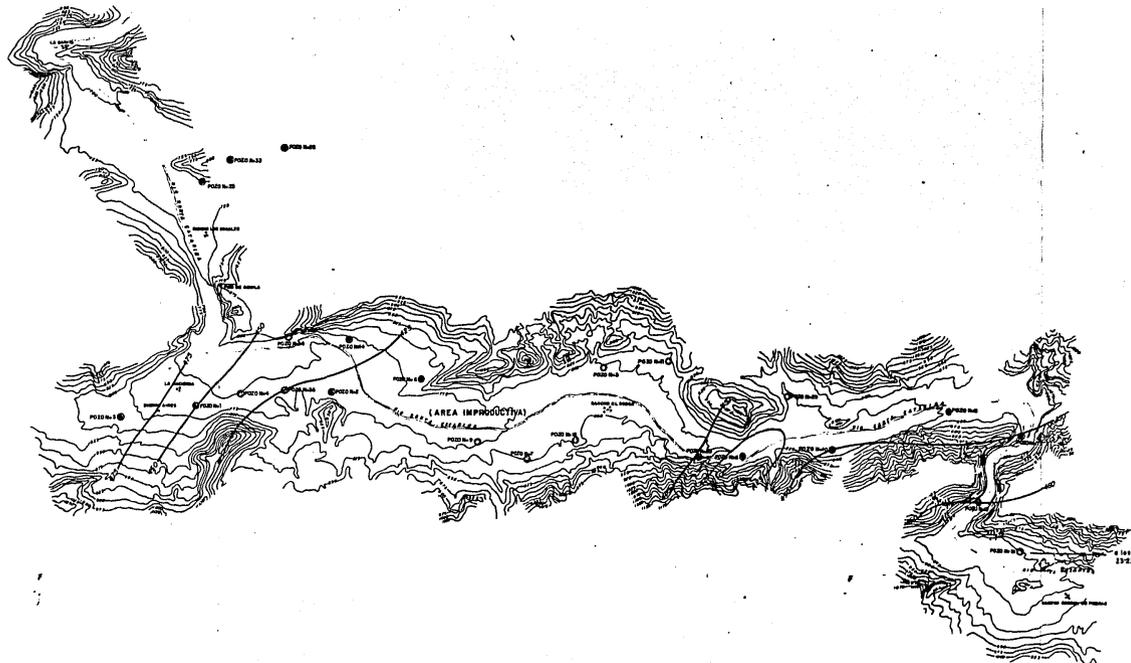
En el agua subterránea que circula por rocas calcáreas, el índice de saturación o equilibrio (SI) con respecto a ciertos minerales (calcita y dolomita) es una herramienta de apoyo para conocer el fenómeno cárstico, así como un buen indicador del movimiento del agua. Back y Hanshaw (1965) sugieren que el incremento del índice de saturación evoluciona con la dirección del flujo del agua subterránea y a las áreas con menor saturación les corresponden de las zonas de recarga preferentemente.

La gran capacidad de disolución del agua y su elevada reactividad hace que el agua natural contenga gran cantidad de sales disueltas, que pueden estar en forma molecular o en forma iónica.

Cuanto más concentrada está un agua en una sal, mayor es la proporción de esa sal no ionizada. Para los iones de carácter débil el grado de disolución es función del pH de la solución, el cual a su vez depende del resto de sustancias disueltas. Una de las formas de expresar el contenido iónico de una solución está definido por la fuerza iónica (I):



PLANO DE LOCALIZACION



**SIMBOLOS TOPOGRAFICOS**

- Ciudad o Pueblo:
- Casero secundario:
- Rio o Arroyo:
- Curva de Nivel:
- Polizón Interoctroyonal:
- Polizón Local:
- Curva de Igual Valor de Conductividad Eléctrica:

Las Pistas no Productivas  
1942-1943



UNIVERSIDAD NACIONAL FACULTAD DE INGENIERIA

**CONFIGURACION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**

TRABAJO DE GRUPO

ALUMNOS: [Nombres de los estudiantes]

FECHA: [Fecha]

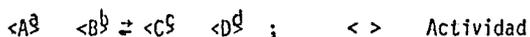
NUMERO DE OBRAS: [Número]



$$I = \frac{1}{2} \sum (m_i \cdot Z_i^2)$$

en donde  $m_i$  es la molalidad y  $Z_i^2$  es el cuadrado de la carga iónica.

Si se tiene una sustancia soluble en contacto con agua pura, se va disolviendo hasta un cierto valor límite; la concentración máxima alcanzable de equilibrio es la solubilidad. El fenómeno viene regulado por la ley de acción de masas (Garrels and Christ, 1972 ):



siendo A y B los reactantes, C y D los productos y a,b,c,..., el número de moléculas de cada uno; de este modo la constante de saturación (producto de solubilidad) o producto de actividad iónica (IAP) está dado por la relación:

$$\frac{\langle A \rangle^a \langle B \rangle^b}{\langle C \rangle^c \langle D \rangle^d} = \text{IAP}$$

que depende de la presión, temperatura y fuerza iónica de la solución.

El carbonato cálcico en forma de calcita es poco soluble en agua pura; sin embargo, en aguas con sustancias disueltas que aportan  $H^+$  y en menor grado por aumento de la fuerza iónica provocan que se disminuya la concentración de  $CO_3^{=}$  lo que equivale a aumentar la solubilidad de la calcita, pues el  $(HCO_3)_2Ca$  es soluble y no alcanza su producto de solubilidad. Este proceso es producido por la hidrólisis del  $CO_2$ . El carbonato doble de calcio y magnesio se comporta de forma similar al carbonato cálcico aunque su producto de solubilidad es más elevado y por eso precipita más difícilmente que el  $Ca CO_3$ .

Para obtener el índice de saturación (SI) se procesaron los resultados de los análisis químicos de las 50 muestras representativas de los acuíferos calcáreos utilizando un programa de computadora conocido como WATEQ-F (TRUESDELL and JONES, 1978) en una máquina CYBER-CDC 734.

Este programa en FORTRAN IV modela los procesos termodinámicos de iones inorgánicos y especies complejas en solución para un determinado análisis de agua. Los resultados se presentan en el CUADRO 9.

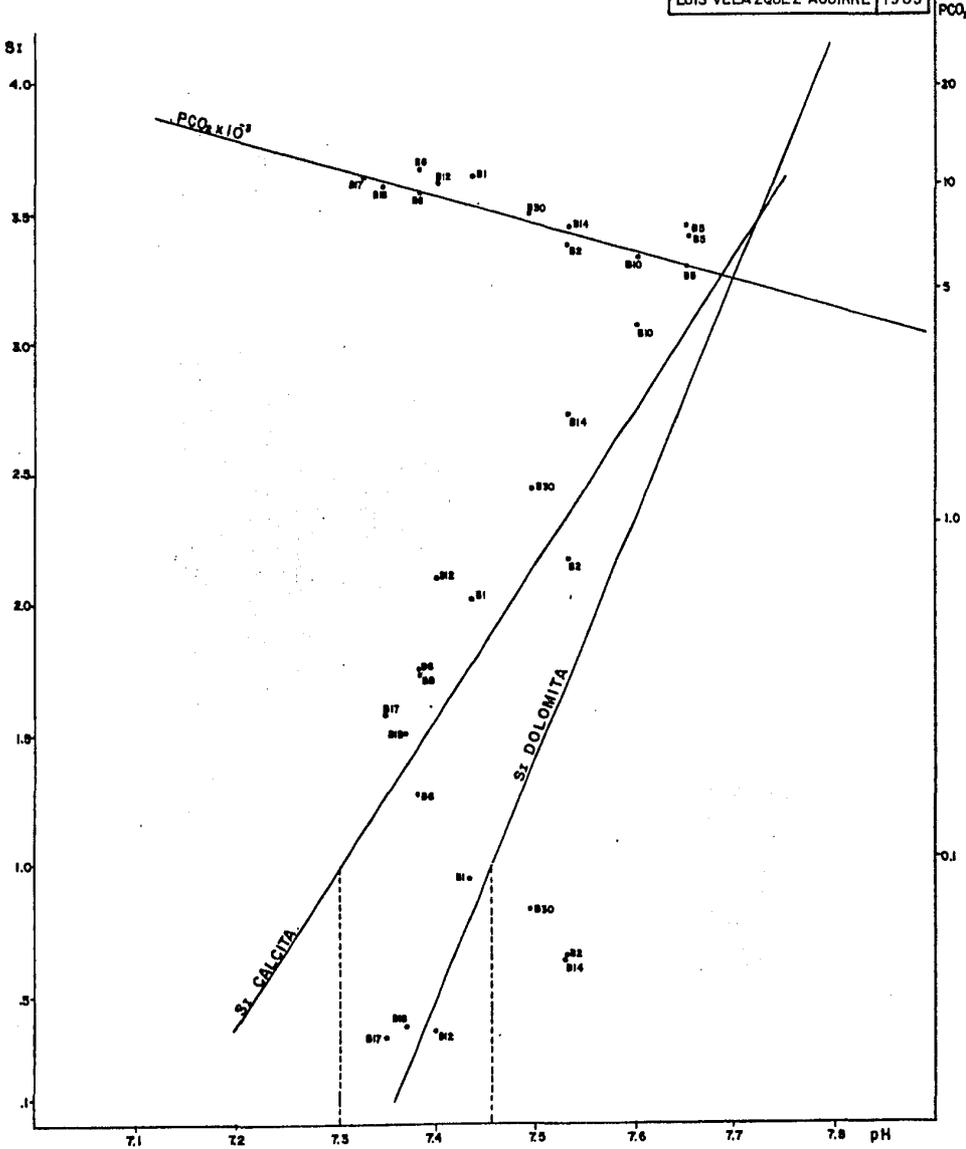
El índice de saturación se tomó en cuenta principalmente en dos de los sistemas de pozos que explotan el acuífero que constituye la Unidad Hidrogeológica III. En las gráficas de las láminas 24 y 25, se presentan las relaciones que existen entre los índices de saturación, el pH y la presión parcial de bióxido de carbono ( $PCO_2$ ) para los campos de Buenos Aires y Mina, respectivamente.

Para el sistema Buenos Aires, se aprecia que según lo esperado, la saturación es alcanzada primeramente con respecto a calcita ( $CaCO_3$ ) con un pH de equilibrio de 7.30 y a una presión parcial de  $CO_2$  entre  $10$  y  $11 \times 10^{-3}$  atm. La saturación de la dolomita ( $CaMg_2CO_3$ ), se sucede a un pH de equilibrio de 7.46 y a una  $PCO_2$  de  $8.4 \times 10^{-3}$  atm. Por otro lado, se observa también que las muestras menos sobresaturadas con calcita se encuentran bajosaturadas con dolomita y corresponden a zonas cercanas al área de recarga del sistema como lo muestran los pozos B12, B17 y B18; así, también se aprecia que concuerdan con lo establecido, al tratar las configuraciones de la distribución iónica ( inciso IV.4.2) especialmente, la de la conductividad eléctrica.

CUADRO 9 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL PROGRAMA WATERF

No.	NOMBRE-DESCRIPCION	TEMP °C	pH	C.E /	PCO <sub>2</sub> x 10 <sup>-3</sup>	FZA. IONICA x 10 <sup>-3</sup>	S.T.D (P.P.M)	Eh Volts	SIC	SIO	
<u>Sistema Buenos Aires</u>											
01	Pozo Buenos Aires	01	24	7.43	450	10.076	7.730	422.18	5.896	2.0179	.94
02	Pozo Buenos Aires	02	24	7.53	405	6.84	6.42	344.57	5.896	2.188	.65
03	Pozo Buenos Aires	05	26	7.65	480	5.78	6.14	476.78	5.936	3.40	3.45
04	Pozo Buenos Aires	06	27	7.38	410	11.439	7.39	423.18	5.956	1.7602	1.28
05	Pozo Buenos Aires	08	24	7.38	410	9.935	6.762	481.91	5.396	1.7497	0.06
06	Pozo Buenos Aires	10	24	7.6	450	6.090	7.073	369.82	5.896	3.0775	.09
07	Pozo Buenos Aires	12	23	7.4	460	10.326	7.907	405.90	5.876	2.1028	.37
08	Pozo Buenos Aires	14	24	7.53	440	7.556	7.412	385.47	5.396	2.7214	.64
09	Pozo Buenos Aires	17	23	7.35	450	10.98	7.311	379.79	5.876	1.5867	.34
10	Pozo Buenos Aires	18	22	7.37	425	10.22	7.110	370.24	5.857	1.5073	.38
11	Pozo Buenos Aires	19	22	7.37	440	11.00	7.477	383.94	5.857	1.3817	.92
12	Pozo Buenos Aires	25	26	7.43	440	0.48	7.327	370.82	5.936	1.6454	1.44
13	Pozo Buenos Aires	28	22	7.28	450	12.61	7.454	379.03	5.857	1.1751	.38
14	Pozo Buenos Aires	30	24	7.49	450	8.39	7.691	394.10	5.896	2.447	.82
15	Pozo Buenos Aires	33	24	7.4	470	9.062	6.063	350.15	5.896	1.454	.54
<u>Sistema Mina</u>											
16	Pozo Mina	01	30	7.24	880	17.161	13.633	675.52	6.015	1.9836	.99
17	Pozo Mina	04	30	7.29	810	14.41	12.34	599.12	6.015	2.0335	1.37
18	Pozo Mina	05	30	7.15	900	20.24	13.71	656.49	6.015	1.3936	1.01
19	Pozo Mina	07	30	7.33	800	12.92	11.89	611.84	6.015	2.2191	.11
20	Pozo Mina	09	30	7.30	875	10.51	11.69	597.20	6.015	2.185	.48
21	Pozo Mina	10	30	7.19	770	19.025	12.85	675.20	6.015	1.4556	.34
22	Pozo Mina	13	30	7.52	860	9.99	13.36	693.00	6.015	3.5903	3.95
23	Pozo Mina	14	31	7.19	800	18.97	11.46	594.19	6.035	1.67	.24
24	Pozo Mina	15	30	7.26	795	15.91	11.47	607.57	6.015	1.834	.13
25	Pozo Mina	16	32	7.33	755	13.60	11.095	563.70	6.055	2.5622	.39
26	Pozo Mina	13	30	7.36	775	12.28	11.93	592.75	6.015	2.3644	1.34
27	Pozo Mina	19	30	7.35	855	12.84	12.60	557.86	6.015	2.2771	.76
28	Pozo Mina	21	31	7.29	880	14.58	13.23	656.78	6.035	2.1568	.34
29	Pozo Mina	23	30	7.34	800	13.41	12.24	615.79	6.015	2.4299	1.15
30	Pozo Mina	24	30	7.08	800	22.86	12.30	606.97	6.015	2.0433	.97
31	Pozo Mina	25	30	7.28	810	14.41	12.75	613.84	6.015	1.5939	.30
32	Pozo Mina	26	30	7.10	870	22.25	13.49	648.05	6.015	1.739	.48
33	Pozo Mina	27	29	7.28	860	15.25	12.29	646.18	5.996	1.739	.48
34	Pozo Mina	29	29	7.42	860	10.55	12.72	664.88	5.996	2.4871	.33
<u>Sistema Topo Chico</u>											
35	Pozo Topo Chico	03	30	7.24	1 680	17.31	11.11	536.56	6.015	2.1939	.77
36	Pozo Topo Chico	04	35	7.28	740	16.05	22.09	883.72	6.115	2.0630	10.22
37	Pozo Topo Chico	05	33	7.36	1 550	11.971	28.00	1 124.11	6.075	3.9743	12.39
<u>Sistema Monterrey</u>											
38	Pozo Monterrey	01	28	7.58	530	6.972	8.717	427.61	5.976	2.392	4.44
39	Pozo Monterrey	04	28	8.04	650	3.396	11.12	635.02	5.976	6.045	43.46
40	Pozo Monterrey	05	26	7.2	410	16.00	6.97	358.78	5.930	.6669	.46
42	Pozo Monterrey	06	32	7.37	520	12.55	8.60	190.27	6.055	2.4218	1.52
42	Manantial Bustamante	32	7.28	400	12.311	6.32	317.02	6.055	1.163	.62	.52
43	Manantial Bust. Vert. P.	29	7.89	410	2.545	5.52	281.16	5.996	4.224	1.97	.52
43	Manantial Lampazos	26.5	7.3	425	11.472	6.537	339.41	5.946	1.4657	.03	.52
45	Manantial Sabinas	26	7.00	580	34.19	9.412	515.74	5.936	1.1668	0.2	.52
46	Sist. Pozos Cerritos	01	25	7.2	800	26.34	11.77	642.77	5.936	2.8482	.81
47	Sist. Pozos Cerritos	01	26	7.40	800	9.799	7.208	375.88	5.936	1.816	.45
48	Sist. Pozos Cerritos	05	26	7.3	800	16.15	9.449	493.75	5.936	2.603	.48
49	Sist. Pozos Cerritos	09	26.5	7.3	800	16.07	8.652	470.75	5.946	2.295	.38
50	Sist. Pozos Cerritos	11	25	6.78	800	44.98	7.55	409.72	5.916	.4680	.03





LAMINA No 25 RELACION ENTRE LOS INDICES DE SATURACION (SI) Y EL pH DE LAS MUESTRAS DEL "SISTEMA BUENOS AIRES"

Es posible observar que hacia los pozos en los límites de la llamada "zona de no producción" del sistema Buenos Aires, (pozos B6, B2 y B30), se encuentra una área en donde el agua es poco sobresaturada con respecto a calcita y bajo saturada con respecto a dolomita, incrementándose el valor del índice de saturación hacia la dirección de flujo establecida anteriormente (lámina 22 - conductividad eléctrica) pozos B5, B14 y B10.

En contraste, para el sistema Mina la saturación de calcita y dolomita son alcanzadas a presiones de  $\text{CO}_2$  mas altas y a un pH menor, debido esto a la acción de la fuerza iónica, que para el agua de este sistema es superior a la del sistema Buenos Aires, como se puede observar en el CUADRO 9.

De esta manera, en el sistema Mina la saturación con calcita se presenta a una presión parcial de  $\text{CO}_2$  de  $24.5 \times 10^{-3}$  atm. y a un pH de equilibrio de 7.05; por otro lado, la saturación con respecto a dolomita se sucede a un pH de equilibrio de 7.32 y una  $\text{PCO}_2$  de  $10.5 \times 10^{-3}$  atm. Como se puede apreciar en la LAMINA 24.

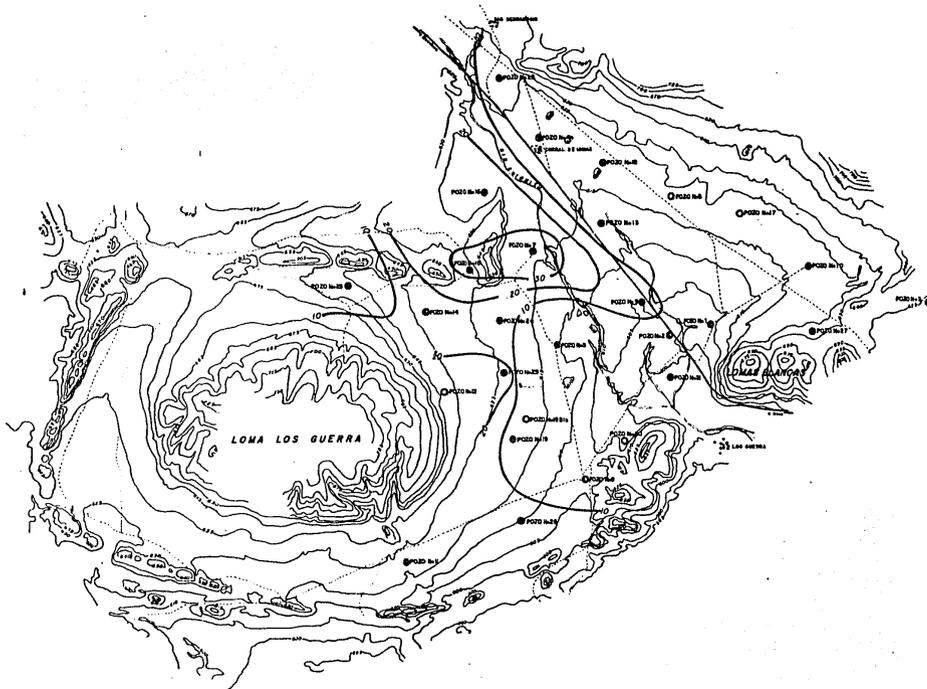
Los valores de los índices de saturación de calcita y dolomita se ven influenciados por el tiempo de residencia del agua en el acuífero; es decir, por el efecto de la distancia de la trayectoria de flujo y por la homogeneidad de las calizas y dolomías puras, también por una velocidad de saturación demasiado alta (pH de equilibrio bajo).

La presencia de dolomías permite que se disuelva Magnesio hasta alcanzar el producto de solubilidad de la dolomita. Ello permite que el agua de infiltración

ción, en general con una relación Ca/Mg alta, vaya ganando  $Mg^{++}$  mientras que el crecimiento del  $Ca^{++}$  queda frenado, disminuyendo la relación Ca/Mg, en especial en aguas sobresaturadas con calcita. Así la evolución creciente de esta relación nos podría indicar las direcciones hacia donde se encuentren las áreas de recarga y al contrario (hacia los valores menores) nos indicaría el grado de dolomitización de la caliza.

En la LAMINA 26 se presenta una configuración de la relación Ca/Mg para el sistema Mina; en donde es interesante observar que hacia la zona con valores altos se localizan los pozos emplazados en la Formación Aurora (parte superior de la Unidad Hidrogeológica III) que por lo general se encuentran sobresaturadas con respecto a calcita: pozos M7, M16, M15; sin embargo, los pozos M14 y M24 también pertenecientes a esta porción de la Unidad III, se aprecian un poco menos sobresaturados con calcita. Por otro lado todos estos pozos se encuentran bajo saturados con respecto a dolomita; ya que la Formación Aurora en donde están emplazados se encuentra básicamente compuesta de calizas. Esto es importante ya que al parecer existe una mezcla de aguas, provenientes de varias zonas de recarga; por un lado se tienen dos zonas principales que se constituyen hacia los flancos de las estructuras de Minas Viejas y Potrero Chico, por otro lado, al parecer existe una pequeña área de recarga ubicada en los afloramientos de la Formación Cuesta del Cura localizados hacia la parte central de la "Loma Los Guerra" y que constituye una zona de recarga local para la Formación Aurora que influye notablemente en el comportamiento del flujo de esta unidad.

Sin embargo, las direcciones del flujo regional establecidas con las confi-



PLANO DE LOCALIZACION

**SIMBOLOS TOPOGRAFICOS**

- CIUDAD O PUEBLA ⊙
- CARRETERA ———
- CANAL SECUNDARIO - - - - -
- RIO O ARROYO ~~~~~
- CURVA DE NIVEL ———
- POZO FUNCIONANDO Y ESTIMADO ⊙
- POZO EN OBSERVACION ⊙
- POZO SIN FUNCIONAR ○
- CURVA DE UNAL CONTENIDO DE Ca/Mg (SERIAL) ———



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

CONFIGURACION DE Ca/ Mg

TEMA: PUNTO 10.11.

LAB. DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS 26 DE 5

guraciones anteriores prevalecen (incisos IV.4.1. y IV.4.2.), no obstante - hay que tomar en cuenta que puede existir una separación en la Unidad III, - estableciéndose un acuífero en las formaciones Aurora y Cuesta del Cura y - otro en las facies arrecifales de la formación Cupido, como se demuestra en la configuración de la relación Ca/Mg, ya que hacia donde disminuye el valor de esta relación se localizan los pozos emplazados en las dos formaciones - que integran la Unidad Hidrogeológica III: las calizas de la Aurora y las calizas y dolomías arrecifales de la Cupido.

Finalmente, es notable la influencia de la fuerza iónica que se manifiesta - por un incremento proporcional a la longitud de la trayectoria del flujo; - es decir, este incremento es mayor conforme se está más lejos de la zona de recarga. En los sistemas estudiados, la fuerza iónica del sistema Buenos - Aires es menor que la del sistema Mina ya que su área de recarga se encuentra más próxima, por tanto el área de recarga del sistema Mina está más alejada al tener una mayor fuerza iónica.

## V. SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS CARSTICOS.

La conceptualización hidrogeológica de los principales acuíferos en rocas calcáreas plegadas en las zonas aledañas de Monterrey, N. L., efectuada anteriormente (Caps. II y III) da la pauta para identificar y diferenciar, por medio de un apoyo como la hidrogeoquímica isotópica, los sistemas hidrogeológicos del área de estudio.

Una de las consideraciones más relevantes de la conceptualización efectuada, es la que plantea la independencia hidráulica de los sistemas, no obstante estar estos supeditados a controles geológico-estratotectónicos regionales y a la distribución de los efectos climáticos en el área. Esto difiere de las hipótesis planteadas en estudios anteriores (CIEPS, 1968 e INSISA, 1972) donde la continuidad hidráulica era una idea generalizada, lo que llevo a pensar que cada flanco de las sierras de la zona fuese un sitio atractivo para encontrar agua; aspecto que, como se ha visto no se ha cumplido.

En este capítulo, se plantea la diferenciación e identificación de los sistemas hidrogeológicos, fundamentada en la independencia hidráulica y delinea da al tomar en cuenta las propiedades y relaciones hidrogeoquímicas e isotópicas del agua de cada uno de los sistemas.

### V.1 Relación de estudios geoquímicos e isotópicos.

Existen en el área, varios estudios que contemplan aspectos de geoquímica del agua subterránea (CIEPS, 1968) así como aquellos que tratan sobre isotópos ambientales (Payne y García, 1974), cuyos resultados fueron utilizados para los planteamientos aquí propuestos.

El tritio es el isótopo de masa 3 de hidrógeno y antes de marzo de 1954 los

pocos datos que existen nos demuestran que el nivel normal del tritio en la atmósfera y en la precipitación era de aproximadamente entre 8 y 10 unidades de tritio (U.T). Este nivel de tritio fue generado por fuentes extra-terrestres y rayos cósmicos; sin embargo, al principio de la década de los cincuenta las pruebas termonucleares han provocado grandes concentraciones de tritio en la atmósfera; de esta forma, se provocó una mezcla atmosférica en el hemisferio norte, obteniendo más de 10 U.T y usualmente cerca de 100 U.T sobre los continentes. Así, el agua subterránea analizada que contenga más de 8 ó 10 U.T, tiene una componente de agua que ha sido recargada desde 1954. Por esta razón el tritio es usado como una herramienta hidrológica para indicar si ha ocurrido recientemente recarga del agua subterránea en el punto del muestreo.

El análisis del tritio en grandes manantiales asociados con terrenos de rocas carbonatadas ha sido usado para investigar, adicionalmente, el carácter del sistema de flujo en rocas calcáreas (Maxey and Mifflin, 1966 ).

En la LAMINA 27 se observa que la concentración del sodio más el potasio (Na+K) forma un criterio aceptable para predecir la ausencia o presencia de cantidades significantes de tritio en los aprovechamientos asociados a los acuíferos emplazados en rocas carbonatadas (Unidad Hidrogeológica III), ya que por lo general estos iones no forman parte de los minerales que integran estas rocas, más bien se encuentran en las impurezas de ellas.

En esta lámina se observa que para la región estudiada se tienen cantidades significantes de tritio, las cuales fueron encontradas en todas las muestras de los aprovechamientos que contienen menos de 8.5 ppm de Na+K. Por otro -



lado, las cantidades poco significantes de tritio fueron encontradas en algunas muestras que contienen más de 30 ppm de Na+K. Además existe un conjunto de muestras que contienen concentraciones de tritio entre 11 y 20 y que su contenido de Na+K se encuentra entre 10 y 16 ppm. De esta forma obtenemos 3 grupos principales, a saber:

- Grupo I.- poco tritio (entre 5 y 8 U.T) y algo de Na+K (>30 ppm)
- Grupo II.- algo de tritio (entre 11 y 20 U.T) y poco Na+K (10 y 16 ppm)
- Grupo III.- mucho tritio (entre 10 y 30) y muy poco Na+K (< 8 ppm).

Las variaciones en la química del agua y tritio en aprovechamientos asociados a acuíferos calcáreos ayudan en la delimitación de sistemas de flujo. Una clasificación que podría aplicarse, de acuerdo a Maxey y Mifflin (1966) es,

- 1) Sistemas pequeños de flujo local
- 2) Sistemas de flujo local
- 3) Sistemas de flujo regional

Los dos primeros sistemas se diferencian principalmente por la longitud de sus trayectorias de flujo asociados a su respuesta química; así se obtiene que los sistemas con poco contenido de sales se encuentran asociados con cortas trayectorias de flujo y área de recarga cercana; por otro lado, el aumento en la concentración salina se encuentra en relación directa con el incremento en la longitud de la trayectoria y además la ocurrencia del tritio en el agua en cantidades significantes en algunos de estos aprovechamientos permite la tercera clasificación con límites basados en tritio.

De la gráfica de TRITIO vs. Na+K, LAMINA 27 es posible obtener los límites

entre los sistemas de flujo; así se observa que, para las muestras del grupo I y grupo II su límite cae entre 0.70 y 1.30 epm de Na+K y por conveniencia se coloca en 1 epm de Na+K.

Si tomamos en cuenta algunos otros iones que no se encuentren comúnmente en las rocas calcáreas podemos lograr un apoyo a esta clasificación; los iones más adecuados y que se presentan en el agua de los acuíferos calcáreos son el cloruro y el sulfato ( $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$ , respectivamente), obteniendo el promedio de  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}$  de los grupos I y II, vemos que su límite varía entre 0.7 y 1.6 epm colocándose en 1 epm de  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}$ .

Relacionando los grupos anteriormente descritos con las concentraciones de Na+K,  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}$  y el Tritio, se obtiene.

Aprovechamientos	$\text{Na}^+ + \text{K}^-$	$\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}$	Tritio
Grupo I	> 1.30 epm	> 0.70 epm	< 8 U.T
Grupo II	Entre 0.435 y 0.70 epm	Entre 0.30 y 1.6 epm	Entre 11 y 15
Grupo III	< 0.435 epm	Entre 0.30 y 1.2 epm	> 20 U.T

Maxey y Hifflin en 1966 sugieren la clasificación de los sistemas de flujo basados en las consideraciones anteriores. Las relativas trayectorias de flujo o longitudes de los sistemas hidrogeológicos fueron divididos en dos amplias categorías: locales y regionales. La ocurrencia del tritio en cantidades significantes en aguas con bajas concentraciones de Na+K y  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}$ , y la consistente ausencia de tritio significativo en aguas con altas concentraciones

nes de estos iones apoya fuertemente esta caracterización de los acuíferos calcáreos e indica, además, que muy poca recarga o casi nada ocurre en las inmediaciones de los aprovechamientos asociados con sistemas regionales. De la otra forma, aquellos aprovechamientos que presentan concentraciones significantes de tritio podrían además separarse en sistemas pequeños de flujo local. Es de interés hacer notar que parte del agua que se descarga en aprovechamientos pertenecientes a un sistema pequeño de flujo local, circula deposiciones de recarga hacia los puntos de descarga naturales (manantiales) en no más de 12 años (Latorre, 1978).

Para poder establecer los límites físicos entre los diferentes sistemas de flujo definidos anteriormente, es necesario complementar este ensayo con el marco hidrogeológico de la región. Previamente se dio la metodología basada en diferentes observaciones realizadas por investigadores en el norte del país, específicamente en acuíferos calcáreos; tomando en cuenta aspectos geológicos, principalmente: estructurales, estratigráficos y geomorfológicos (Factores Geológicos Regionales. Inciso III.1). Es necesario adecuar esta metodología en el área de estudio basados en el conocimiento hidrogeoquímico con que se cuenta para poder delinear los diferentes sistemas hidrogeológicos y realizar posteriormente su estudio cuantitativo. Ya que al delinear estos sistemas podremos conocer su extensión, área de recarga, permeabilidad relativa, límites horizontales y verticales, relaciones entre ellos y áreas adecuadas de explotación.

Al analizar los resultados del estudio geoquímico e isotópico, CUADRO 10 se encontró que la salinidad no se debe a evaporación parcial de las aguas, ya que en este caso se esperaría una buena correlación especialmente entre el oxígeno 18 ( $\delta^{18}$ ) y los cloruros; así las correlaciones encontradas fueron: 0.48 para  $\delta^{18}$  y  $SO_4^-$ , 0.11 para  $\delta^{18}$  y  $Cl^-$ . Por otro lado, se encontró que la correlación de los pares iónicos Ca- $SO_4$  y Na-Cl, se ubican en un valor relativamente mediano con 0.60 y 0.64 respectivamente. Esto sugiere que una mínima parte de la salinidad se debe a depósitos evaporíticos y que la otra porción es probablemente ocasionada al recorrido de agua subterránea, encontrándose de este modo que las aguas más antiguas (con menos contenido de tritio) como la extraída en el campo de pozos Mina es la que más contenido de sales tiene y que podría corresponder a un sistema de flujo regional, como se observa en la gráfica STD vs. Fuerza Iónica, LAMINA 28. en donde los puntos 1 y 2 corresponden al campo de Mina.

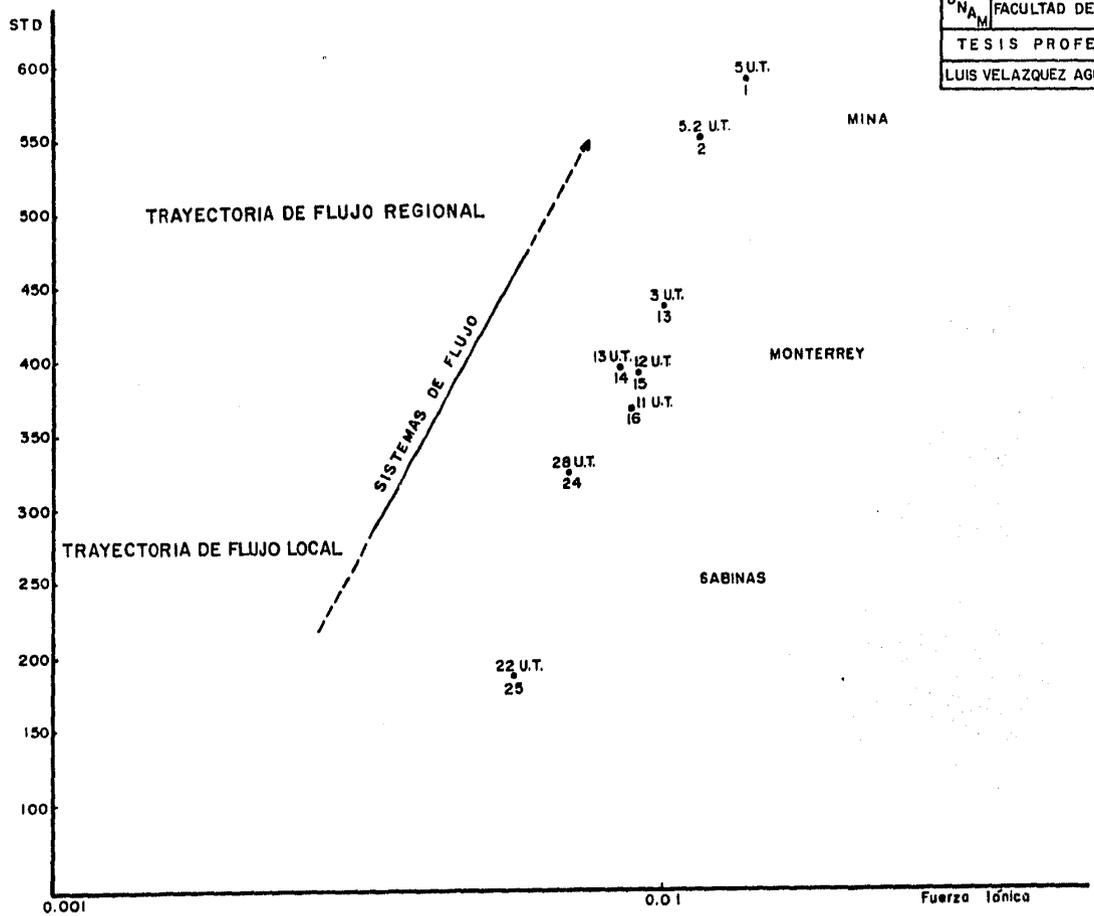
Al relacionar las diferentes áreas con su contenido isotópico, gráfica de Oxígeno 18 vs. Deuterio, (LAMINA 29), es de hacer notar que los valores más empobrecidos en isótopos estables son característicos de zonas montañosas frías que no han sido alteradas por procesos de evaporación como los de la Sierra Madre Oriental en las cercanías de Saltillo y el campo de pozos Buenos Aires; de otra forma, al irse incrementando el contenido isotópico disminuye la altura de precipitación, como las muestras representativas de Monterrey, Mina y el área de Sabinas-Bustamante, este efecto se aprecia en la gráfica de Altitud vs.  $\delta^{18}$ , LAMINA 30.

Si se compara las diferentes áreas de recarga de las por el contenido en

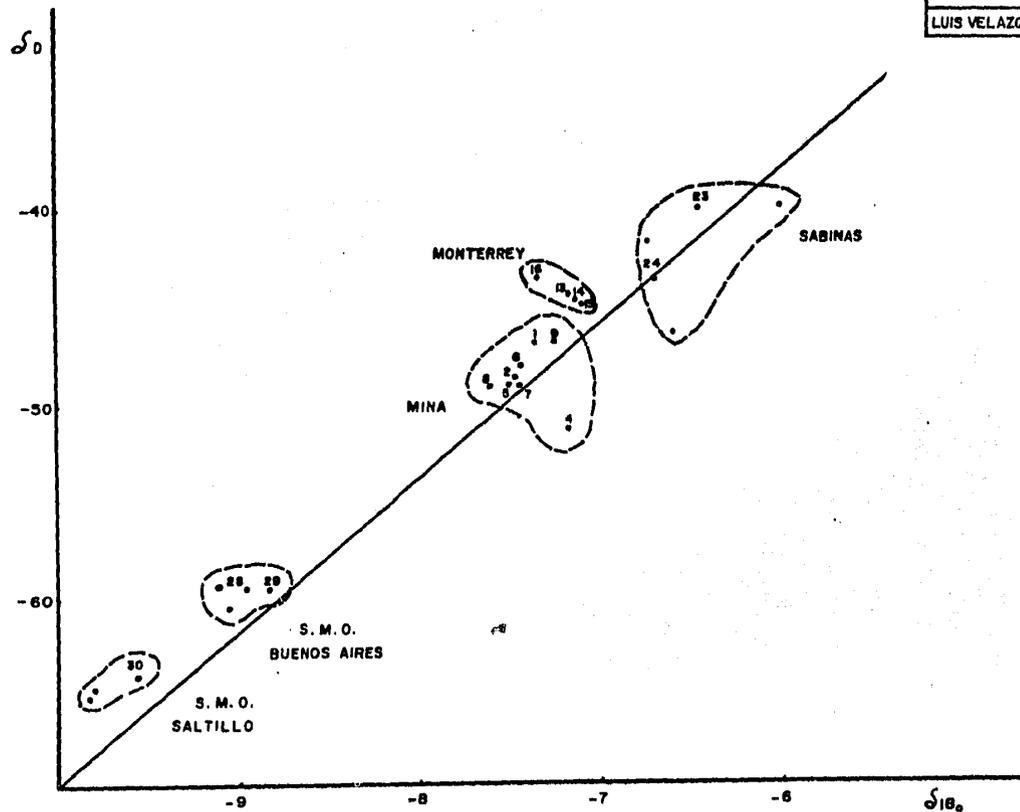
CUADRO 10

RESULTADOS DEL ESTUDIO ISOTOPICO (PAYNE, 1974) Y ANALISIS FISICOQUIMICO, CIEPS (1968)

No. CPNH	No. PAYNE	No. CIEPS	$\delta^{18}\text{O}$	D	U.T	ELEVACION (msnm)	OBSERVACIONES
1	EI-30	C- 2	-7.35 $\pm$ 0.02	-46.7	5.2 $\pm$ 0.2	610	Pozo - Mina 1
2	EI-31	C- 6	-7.45 $\pm$ 0.16	-48.7	5.5 $\pm$ 0.3	625	Pozo - Mina 10
3	EI-43	C-15	-6.34 $\pm$ 0.01	-37.3	7.1 $\pm$ 0.3	560	Pozo - Topo Chico
4	EI-41	C-36	-7.26 $\pm$ 0.29	-51.3	11.9 $\pm$ 0.4	675	Manantial Potrero Minas Viejas
5	EI-42	C-37	-7.47 $\pm$ 0.15	-48.9	11.8 $\pm$ 0.4	675	Manantial Potrero Minas Viejas
6	EI-38	C-39	-7.43 $\pm$ 0.11	-48.0	25.5 $\pm$ 0.7	850	Manantial Potrero Chico
9	EI-36	C-209	-7.24 $\pm$ 0.01	-46.7	4.4 $\pm$ 0.3	610	Pozo - Mina 6
10	EI-52	C-7	-8.15 $\pm$ 0.01	-57.5	13.9 $\pm$ 3.7	800	Manantial Cola de Caballo
11	EI-55	C-12	-8.37 $\pm$ 0.09	-53.2	16.7 $\pm$ 0.7	730	Galería San Francisco
12	EI-57	C-193	-7.25 $\pm$ 0.01	-48.0	5.9 $\pm$ 0.3	860	El Diente
13	EI-28	C-9	-7.10 $\pm$ 0.12	-45.1	13.5 $\pm$ 0.6	595	Pozo Monterrey 1
14	EI-29	C-10	-7.11 $\pm$ 0.20	-45.1	13.3 $\pm$ 1.1	585	Pozo Monterrey 2
15	EI-27	C-11	-7.17 $\pm$ 0.04	-44.6	12.0 $\pm$ 0.4	580	Pozo Monterrey 4
22	EI-18	C-47	-5.95 $\pm$ 0.01	-38.1	27.1 $\pm$ 1.2	345	Manantial Picachos 1 (Denavides)
23	EI-26	C-72	-6.46 $\pm$ 0.17	-40.0	6.3 $\pm$ 1.2	600	Pozo Jardín 1
24	EI-24	C-83	-6.71 $\pm$ 0.01	-43.6	27.9 $\pm$ 0.1	300	Manantial de Sabinas
25	EI-25	C-99	-7.84 $\pm$ 0.01	-51.2	22.7 $\pm$ 0.7	480	Manantial de Bustamante
27	EI-23	C-123	-6.60 $\pm$ 0.01	-46.4	14.1 $\pm$ 0.1	450	Manantial de Higuera-Mamulique



LAMINA No. 28 RELACION ENTRE FUERZA IONICA Y LOS STD. COMO UNA CLASIFICACION DE SISTEMAS DE FLUJO



LAMINA No. 29 RELACION ENTRE ISOTOPOS AMBIENTALES ESTABLES PARA DIFERENCIAR AREAS DE RECARGA

ALTITUD  
(m.s.n.m.)

2000

1500

1000

500

S.M.O. SALTILLO

S.M.O. BUENOS AIRES

MINA

MONTERREY

SABINAS

-9

-8

-7

-6

50°

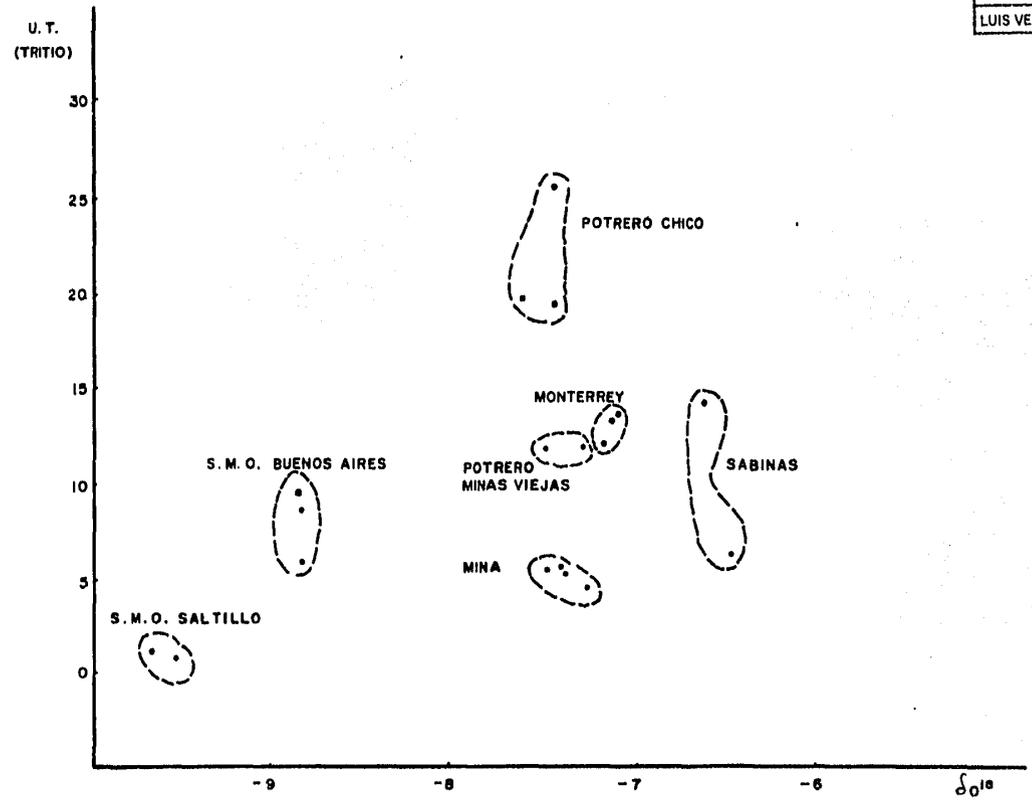
LAMINA N° 3 CORRELACION ENTRE ALTURA DE RECARGA E ISOTOPOS AMBIENTALES

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE	1985

$^{18}O$  y la concentración de tritio LAMINA 31 que indica la edad relativa — del agua, resulta que ésta es más antigua a medida que contengan menos unidades de tritio. De esta forma se observa que las aguas representativas de la Sierra Madre Oriental en las cercanías de Saltillo son las que se recargan a mayor altura y por su bajo contenido de tritio, esa recarga ocurrió antes de 1950; con lo que respecta a las muestras del sistema Mina estas se ubican como recargadas a una misma altura, donde se diferencian varias etapas de infiltración, así se separan las muestras extraídas del campo de pozos Mina con menos tritio que las de su posible área de recarga como la Sierra de Minas Viejas y Potrero Chico, esto corresponde a que el agua representativa — del campo Mina se infiltró mucho antes que la de los manantiales de dichas sierras en la parte superior de estas áreas de recarga y al mismo tiempo indica la proximidad del área de recarga de dichos manantiales; por consiguiente: se puede clasificar a las aguas de Mina como representativas de un sistema de flujo regional y a las aguas de los manantiales, ubicados en los flancos de dichas sierras, como de un sistema pequeño de flujo muy local perteneciente al Sistema Regional Mina. La delineación de los sistemas en el área de estudio se presenta a continuación.

## V.2 Sistemas Hidrogeológicos en el Area de Estudio.

Al relacionar las propiedades hidrogeológicas de la Unidad III con las características hidrogeoquímicas del agua que contiene, es posible diferenciar varios sistemas acuíferos en esta unidad. La clasificación de los mismos se realizó tomando en cuenta la colocación de las muestras representativas de los diferentes aprovechamientos en la gráfica  $Na+K$  vs  $Cl+SO_4$ , misma que se —



LAMINA No.31 RELACION ENTRE TRITIO Y  $\sigma_0^{10}$

presenta en la LAMINA 32. El criterio para delinear los sistemas que forman las diferentes estructuras geológicas es el siguiente: se considera que al circular el agua a través de calizas va a disolver principalmente calcio y carbonatos, mientras que las fuentes de sodio, potasio, cloruros y sulfatos son pobres. El agua de acuíferos con recarga de tipo local, se va a caracterizar — por tener bajos contenidos de  $\text{Na}+\text{K}$  y  $\text{Cl}+\text{SO}_4$ , dado lo escaso de materiales que contengan estos iones en las calizas.

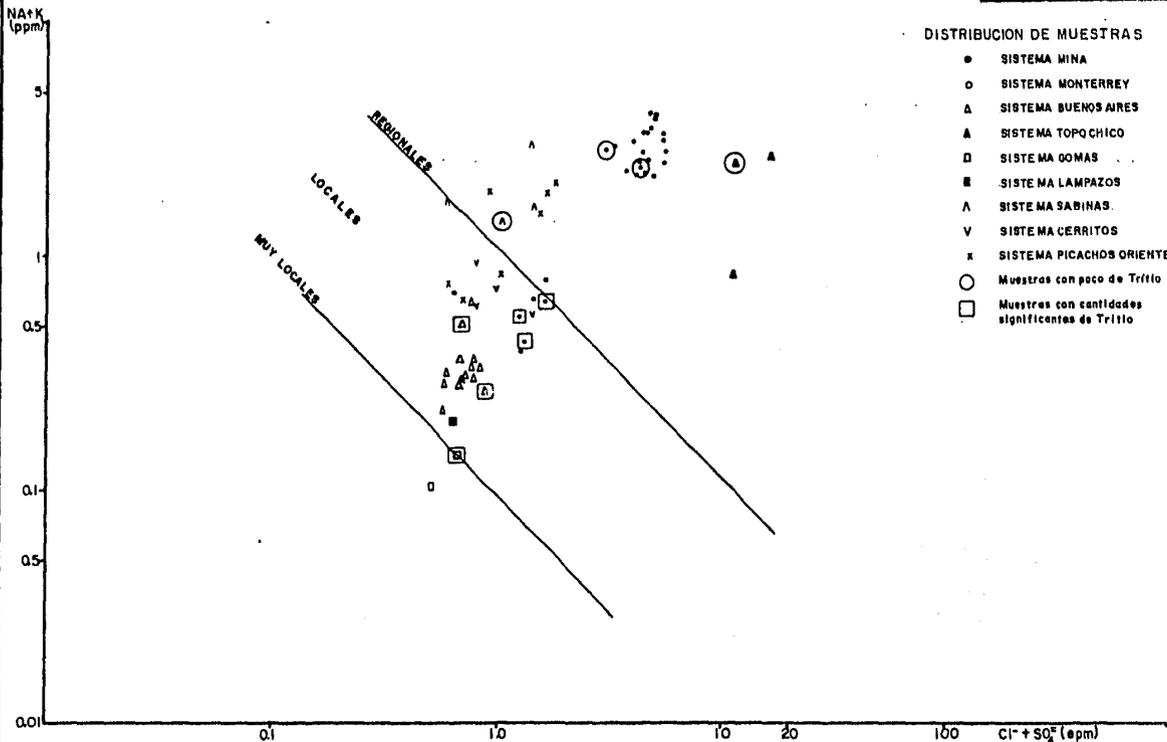
Las concentraciones de  $\text{Na}+\text{K}$  y  $\text{Cl}+\text{SO}_4$ , se van incrementando conforme el agua — recorre mayores distancias, lo cual se va tomando como base para diferenciar — sistemas de recarga.

Este criterio, ha sido confirmado por medio de observaciones directas de campo, en manantiales situados a gran altura cuya recarga no es factible que provenga de otro sitio sino que sea local. Por otra parte, la gran mayoría de — las muestras con bajos contenidos de estos iones, han resultado aguas relativamente jóvenes por su alto contenido de tritio, mientras que las aguas con altos contenidos de  $\text{Na}+\text{K}$  y  $\text{Cl}+\text{SO}_4$ , por lo general corresponden a aguas antiguas con poco tritio.

Los aprovechamientos muestreados en calizas se grafican en la lámina anterior, clasificando de esta manera, los sistemas hidrogeológicos a que pertenecen.

Al quedar definidos hidrogeoquímicamente los sistemas hidrogeológicos que ocurren en el área de estudio en "regionales", "locales" y "muy locales", queda por establecer la utilidad práctica de esta clasificación: por un lado se —

CLASIFICACION DE SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS



LAMINA No 32 CRITERIO HIDROGEOQUIMICO PARA DELINEAR SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS EN ROCAS CALCAREAS

tiene que los sistemas de flujo locales (incluyendo los muy locales) se encuentran asociados a trayectorias de flujo cortas a muy cortas y, que al pensar explotar este tipo de acuíferos cabría la posibilidad que su producción sea en un principio atractiva pero, en un corto tiempo, ésta se vea disminuida drásticamente, ya que la capacidad de almacenamiento de estos sistemas acuíferos es pequeña por su corta trayectoria de flujo; además que ~~deben~~ deben estar asociados con una alta permeabilidad secundaria para que el flujo ocurra en un corto intervalo de tiempo. (vgr; Sistema Cerritos).

Por otro lado, los acuíferos susceptibles de explotarse son los clasificados como sistemas regionales ya que la permanencia del agua en éstos se asocia con grandes trayectorias de flujo independientemente del grado de permeabilidad secundaria.

Como se ha visto, en los sistemas regionales, no existe flujo a través de las grandes estructuras anticlinales sino hacia el centro de los valles y a lo largo de ellos; es decir, el flujo es perpendicular en los flancos de las estructuras y longitudinal o paralelo al eje del sinclinal con una dirección hacia los buzamientos de la estructura partiendo de la porción media.

En el plano "Hidrogeológico" LAMINA 15, se presentan los diferentes sistemas en el área de estudio así como los límites de cada uno de ellos, direcciones de flujo, localización de aprovechamientos representativos y una zonificación estratigráfico-estructural que nos indica las áreas con posibilidades acuíferas, dentro de la Unidad III. Quedando dividida el área en tres zonas principales:

Zona A; región en donde las formaciones del Crétacio Inferior integran un solo acuífero en la Unidad III, la formación Cupido en sus facies arrecifales; la Aurora y Cuesta del Cura se encuentran altamente fracturadas; así como una extensa zona de recarga. Se localizan en esta zona los Sistemas Hidrogeológicos de Mina, Buenos Aires, Mitras, Monterrey, Topo Chico, Lampazos, Gomas-Monclova y la porción norte del Gomas-Bustamante.

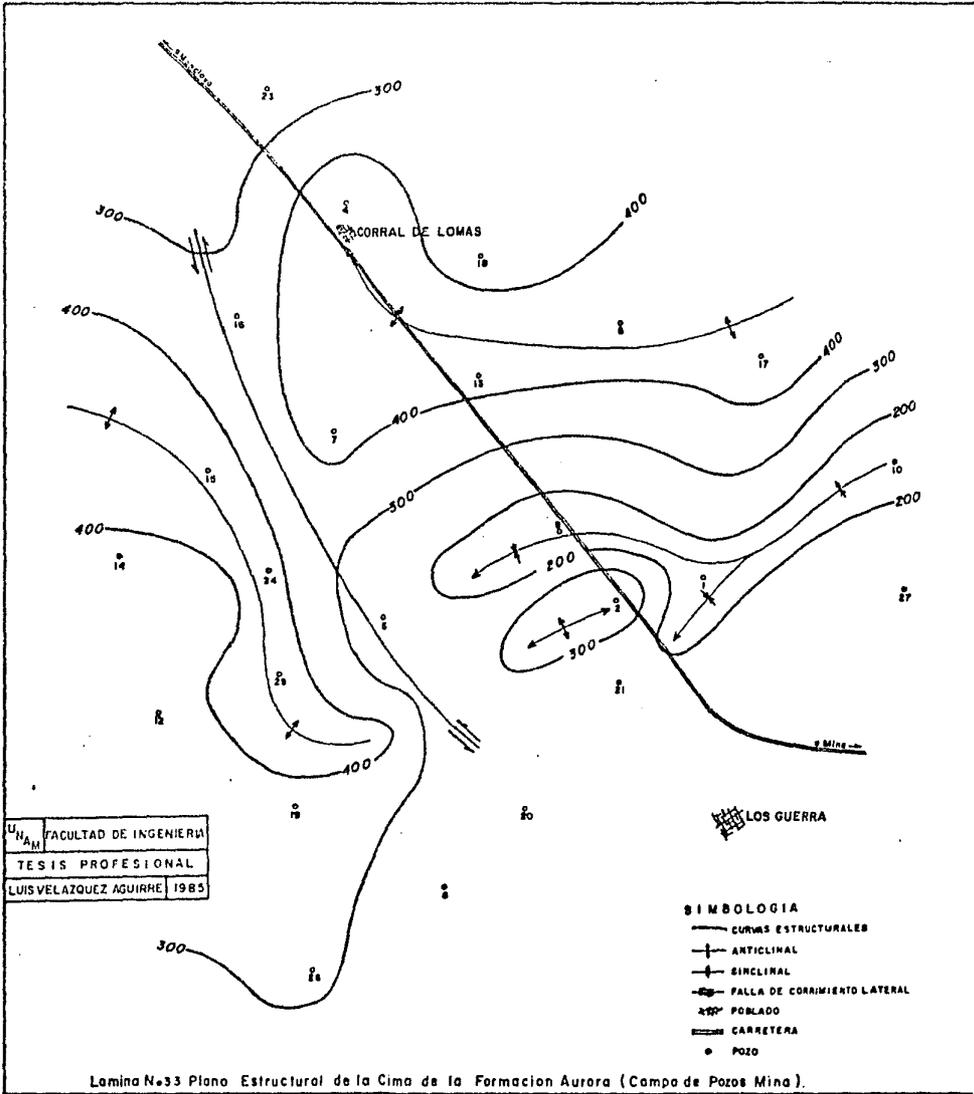
Zona B; la baja permeabilidad en la formación Cupido debido al poco fracturamiento y principalmente a la textura de la roca que indica una facies pelágica (de mares profundos), además el incremento en el espesor de la formación La Peña, indica que el acuífero con posibilidades se empalzaría en la formación Aurora supeditado a condiciones estructurales locales adecuadas. Los Sistemas Hidrogeológicos emplazados en esta zona son: Sistema Sabinas, Cerritos-Escobedo y Picachos Occidental.

Zona C; la baja permeabilidad de la Cupido asociada a los fenómenos ígneos que alteran las propiedades hidrológicas primarias, motivan que las posibilidades acuíferas queden supeditadas a condiciones estructurales muy específicas sobre la formación Aurora, recomendándose la porción occidental de la Sierra de Picachos. En la zona "C" se localizan los Sistemas Escobedo y Picachos oriente, así como Picachos occidente.

Al clasificar hidrogeoquímicamente (LAMINA 32) cada uno de los sistemas involucrados en la zona "A" es posible, de acuerdo al ritmo de la estación, proponer acciones con el objeto de realizar el manejo más adecuado del acuífero.

#### V.2.1. Sistema Mina

Es un sistema hidrogeológico regional emplazado en la zona geohidrológica A; las áreas de recarga lo constituyen los flancos suroccidental y nor-noroccidental de las sierras de Minas Viejas y El Fraile, respectivamente. Hacia esas zonas se encuentran aflorando las formaciones cretácicas calcáreas que integran la unidad hidrogeológica III. En el subsuelo, esta unidad compuesta por calizas se encuentra entre dos paquetes de litología arcillosa e impermeable los cuales propician que el acuífero sea de tipo confinado. La zona de explotación se encuentra ubicada en un alto estructural que lo constituye un anticlinal sepultado que se encuentra entre estas dos sierras; — las direcciones de flujo del agua subterránea en el sistema tiene tres componentes principales, dos de ellas están influenciadas por la ubicación de las áreas de recarga; es decir, desde la sierra El Fraile parte un flujo — con dirección al NW y de la sierra Minas Viejas proviene otro con rumbo al SW. Estos dos componentes del flujo se integran para formar una dirección predominante hacia el W-SW a lo largo de las dos estructuras sinclinales adyacentes al alto estructural mencionado. Cabe destacar que la estructura — bajo la zona de explotación se encuentra afallada en un sentido lateral; de esta forma, la porción oriental del alto estructural se encuentra desplazada hacia el norte y viceversa como se observa en el plano estructural de la LAMINA 33.



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE	1983

- SIMBOLOGIA**
- CURVAS ESTRUCTURALES
  - ANTICLINAL
  - SINCLINAL
  - FALLA DE CORRIENTO LATERAL
  - POBLADO
  - CARRETERA
  - POZO

Lamina N.º 33 Plano Estructural de la Cima de la Formacion Aurora (Campo de Pozos Mina).

## V.2.2. Sistema Buenos Aires

Es un sistema hidrogeológico local emplazado hacia la porción sur de la zona A en el frente tectónico de la Sierra Madre Oriental. El área de recarga lo constituyen los afloramientos de las rocas cretácicas que se integran en la unidad III y que se localizan en los flancos de una estructura sinclinal ubicada entre los grandes anticlinales de los Muertos y San Blas.

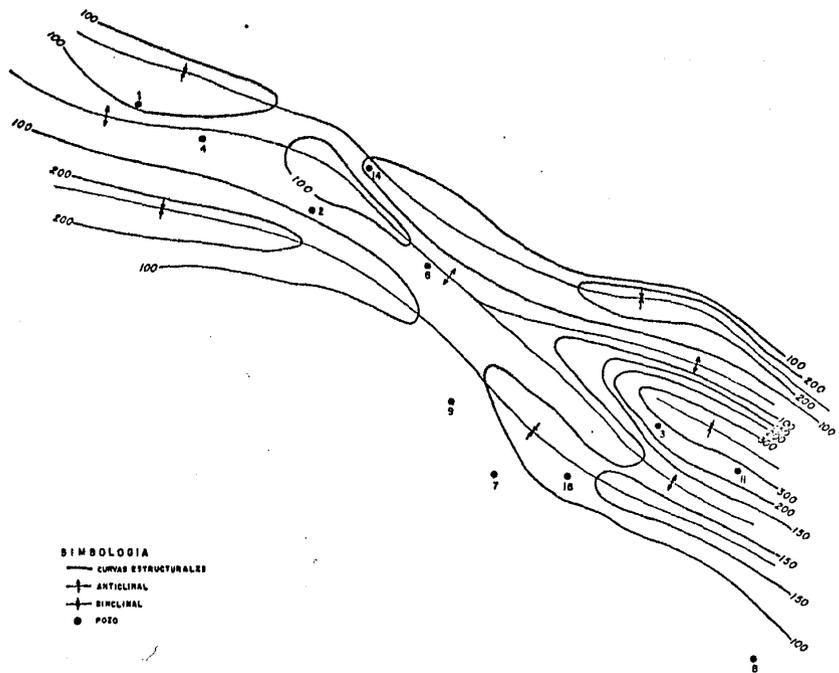
En el subsuelo la unidad acuífera se encuentra, al igual que en el Sistema Mina, empaquetado entre dos secuencias arcillosas e impermeables lo que da origen a un acuífero de tipo confinado. Los límites longitudinales del sistema son discontinuidades del eje del sinclinal creando altos y bajos estructurales que influyen notablemente en el movimiento del agua subterránea al quedar atrapada ésta en las estructuras negativas (bajos) como se observa en la --  
LAMINA 34.

De lo anterior y basados en las elevaciones medias piezométricas de cada zona de explotación es posible dividir el Sistema Buenos Aires (Huasteca) en cuatro subsistemas de flujo parcialmente independiente:

CUADRO 11 SISTEMA HIDROGEOLOGICO BUENOS AIRES.

SUBSISTEMA	POZOS QUE LO INTEGRAN	ELEVACION MEDIA DEL N.E. (año 1980)
1	1,2,4,5,6,14	725 ± 25 msnm
2	8,10,12,17,18,20,30	820 ± 10 msnm
3	25,28,33,39	650 ± 30 msnm
4	13,19,26,27	

Es conveniente aclarar el emplazamiento del subsistema 3, el cual se efectúa en la unidad IV como un acuífero subordinado en las calizas de la formación Zuloaga del Jurásico superior cuya zona de explotación se localiza en el nú-



**SIMBOLOGIA**  
 — CURVAS ESTRUCTURALES  
 + ANTICLINAL  
 - SINCLINAL  
 ● POZO

C.N.A.M.	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
L. S. VELAZQUEZ AGUIRRE   1985	

Lamina N.º 4 Plano Estructural de la Cima de la Formacion Aurora (Campo de Pozos Buenos Aires).

cleo del anticlinal de los Muertos en la Huasteca, al norte y en una estructura independiente de los subsistemas 1 y 2.

Por lo que respecta al subsistema 4, este se localiza también en otra estructura sinclinal transversalmente independiente al SSE de los subsistemas anteriores; sin embargo, el acuífero se emplaza en los depósitos correspondientes a la unidad hidrogeológica III.

Anteriormente a 1982, se explotaban los sedimentos clásticos de relleno (unidad I) en el cañon de la Huasteca, estos depósitos captaban las excedencias de los acuíferos calizos, pero debido al incremento en la extracción de estos últimos y a la falta de lluvias significativas de construir una recarga adecuada en los últimos años, los niveles de los pozos descendieron (algunos pozos dejan de ser brotantes) y las galerías en donde se explotaban los rellenos aluviales dejan de ser productivas.

#### V.2.3. Sistema Gomas-Monclova.

El Sistema Gomas-Monclova es uno de los pocos en que se podrían emplear técnicas de exploración adecuadas que indiquen la forma de las estructuras en el subsuelo en donde sea posible el emplazamiento del acuífero ya que el área de recarga del sistema localizada a lo largo del flanco norte de la Sierra de Minas Viejas y en el flanco sur del anticlinal de Gomas, así como el flanco norte de la Sierra de Enmedio constituyen una extensa zona por donde el agua meteórica pueda infiltrarse, aunado a esto, es que entre estas estructuras se encuentran localizadas en el subsuelo las facies arrecifales de la formación Cupido.

## VI. ASPECTOS GEOHIDROLÓGICOS

### VI.1 Introducción

Uno de los principales problemas a resolver en un estudio de carácter geohidrológico para una determinada área, es la evaluación de la potencialidad del acuífero y, sobre todo en zonas con rocas carbonatadas fracturadas y afectadas por disolución, ya que la gran mayoría de las teorías desarrolladas para estudiar el comportamiento del agua en el subsuelo se refieren a los acuíferos granulares; aunque, en los últimos años se ha podido aplicar los fundamentos de las pruebas de bombeo escalonadas en acuíferos cársticos de plataforma como los de la Península de Yucatán (Chávez Guillén y otros, 1982) con bastante éxito, ya que se pudieron establecer algunas propiedades hidrológicas de los acuíferos.

Al parecer, este tipo de metodología puede aplicarse a un carst de Montaña, como los sistemas hidrogeológicos identificados en el área de Monterrey con resultados positivos (Chávez Guillén, comunicación personal), en lo que a las propiedades hidrológicas de los sistemas se refiere.

Sin embargo en este estudio, la metodología aplicada para conocer o plantear el funcionamiento y potencialidad de los sistemas ya identificados (principalmente Mina, Buenos Aires y Sistema Santiago), será abordado tomando los valores medios en las diferentes etapas analizadas de las extracciones por bombeo y relacionándolas con la variación en el comportamiento de los niveles del agua en los pozos, asociados con las condiciones climáticas que prevalezcan; es decir, se relacionarán las causas y los efectos que se producen.

## VI.2 Estimación de la Recarga

La relación entre la precipitación medida y el agua que finalmente alcanza el acuífero, puede considerarse como pérdida respecto a la recarga, pero en realidad representa la transposición de agua en el ciclo hidrológico. Este movimiento hídrico ha sido denominado por W. Kinisel, (1972) como abstracción de la precipitación para la recarga, y sus componentes son: la lluvia interceptada por la vegetación, la detenida por la superficie terrestre, el escurrimiento superficial y la evaporación, entre las principales.

En las áreas cársticas, es de esperarse que el escurrimiento no este presente o sea relativamente pequeño; sin embargo, este depende de las características del suelo, la intensidad de la lluvia y del tipo de carst de la región (de plataforma, de montaña o complejo); en el área de estudio el escurrimiento es el resultado de la topografía (como expresión geológica) y de la intensidad de las tormentas y representa una abstracción de la lluvia para la recarga.

Estimar en forma independiente cada una de las abstracciones indicadas constituye un problema de considerable dificultad en sí mismo; además de que cada componente es una fuente de error e incertidumbre que puede ser acumulativa y por lo cual, causar un error considerable en la evaluación de la recarga.

Por tal motivo, los métodos que contemplen la estimación global de estas abstracciones y por consiguiente de la recarga son los que con más frecuencia se aplican en este tipo de sistemas hidrogeológicos. Existen varios métodos para estimar la recarga de la precipitación (W.Kinisel, 1972); en algunos, - las abstracciones se consideran lineales; otros, tratan estas "pérdidas" exponencialmente cuando el escurrimiento no ocurre; sin embargo, W. Kinisel es-

tablece que la representación más significativa de pérdidas no lineares con-  
escurrimiento es aquella mostrada en la LAMINA 35 donde la recarga esta ex-  
presada como una función de la precipitación.

La ecuación de esta curva fué establecida por W. Knisel (op.cit) con informa-  
ción hidrometereológica de la "Plataforma Edwards" al SW de Texas. Knisel, -  
convino en utilizar una función *gamma* doble paramétrica y consideró la por-  
ción positiva de la curva, la cuál describe la relación hipotetica precipita-  
ción-recarga. La forma general de la curva que se muestra en la lamina  
mencionada previamente es:

$$y = \frac{abx}{a^2 + x^2}$$

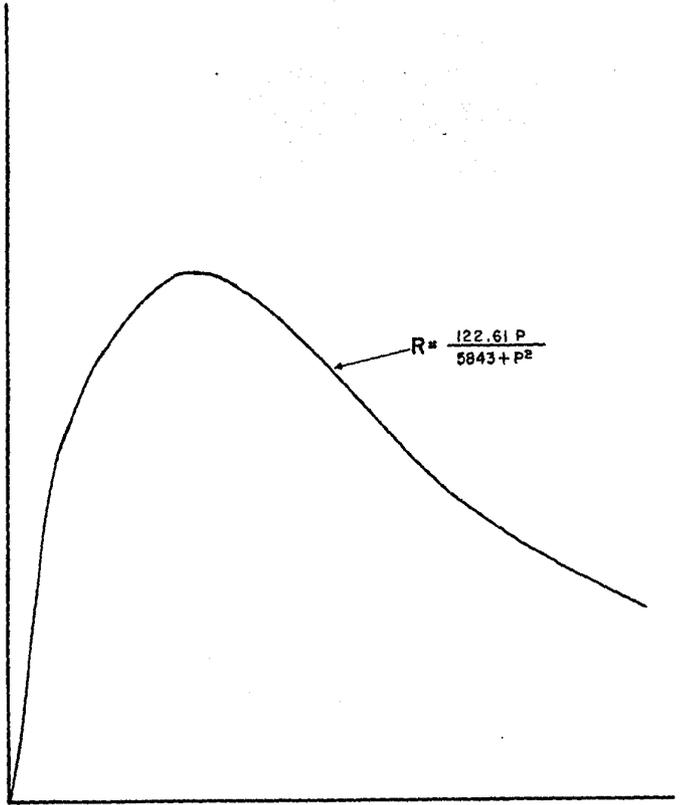
Donde a es el parámetro de forma y b el de escala y representan la altura me-  
dia a la cual se inicia el escurrimiento y su desviación estandar; respecti-  
vamente. Sustituyendo en la ecuación anterior (r) la recarga por Y y (p) la  
precipitación por X, la ecuación puede reescribirse como sigue:

$$r = \frac{a b p}{a^2 + p^2} ; (P_1 \text{ mayor o igual que cero}), r(\%)$$

Los valores de a y b fueron tomados de las medidas efectuadas en la porción-  
NE de México y SW de Texas por la Comisión Internacional de Límites y Aguas-  
(CILA) y por el Departamento de Comercio de los Estados Unidos (oficina me-  
teorológica), estas dependencias analizarón un periodo de más de 20 años - -  
(1946-1967) e indican que aproximadamente se requiere una altura de precipi-  
tación media de 3.0094 pulgadas (76.44 mm) para iniciar el escurrimiento con  
una desviación estandar de 1.604; de esta manera, tomando estos valores para  
a y b y de acuerdo con W. Knisel (op.cit), introducimos lo anterior en la -  
ecuación para r, nos queda finalmente:

$$r = \frac{122.61 p}{5243 + p^2} ; r(\%)$$

RECARGA EN PORCIENTO DE LA PRECIPITACION (R)



ALTURA DE PRECIPITACION EN mm (P)

RECARGA COMO UNA FUNCION DE LA PRECIPITACION

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE	1985

Para obtener la lamina ~~total~~ de recarga basta con multiplicar ambos miembros de la ecuación por la precipitación (p), por lo que:

$$R = \frac{122.61 p^2}{5843 + p^2} ; R \text{ (mm), Lámina de recarga.}$$

Por otro lado, tomando en cuenta los altos rangos de evaporación en las zonas semiáridas como el noreste del país y SW de Texas, y por analogía al estudio de Knisel, la recarga probable máxima antes del punto de escurrimiento sería del orden del 80% de la precipitación. Asimismo, el límite inferior de precipitación para producir recarga se asume que sea de 6.5 mm, esto último nos define un valor restrictivo en el procesamiento de los datos de lluvia, generando un parámetro que de aquí en adelante denominaremos "precipitación efectiva"; es decir aquella precipitación diaria mayor de 6.5 mm.

#### VI. 2.1. Estimación de la Recarga Sistema Mina.

En un primer análisis (1980), la recarga fué estimada con datos de lluvia acumulada mensual de la estación climatológica Mina, para el período 1958-1976- y para un área de recarga de 160 km<sup>2</sup>, la cual fué obtenida con planimetro en planos geológicos de escala 1:50 000 de Pemex y bajo las consideraciones hidrogeológicas explicados en el Capítulo III, obteniéndose una lamina media - - anual de precipitación efectiva de recarga de 218mm, lo que determina una recarga media anual de 34.91x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> que es equivalente a una extracción de - - 1100 lps.

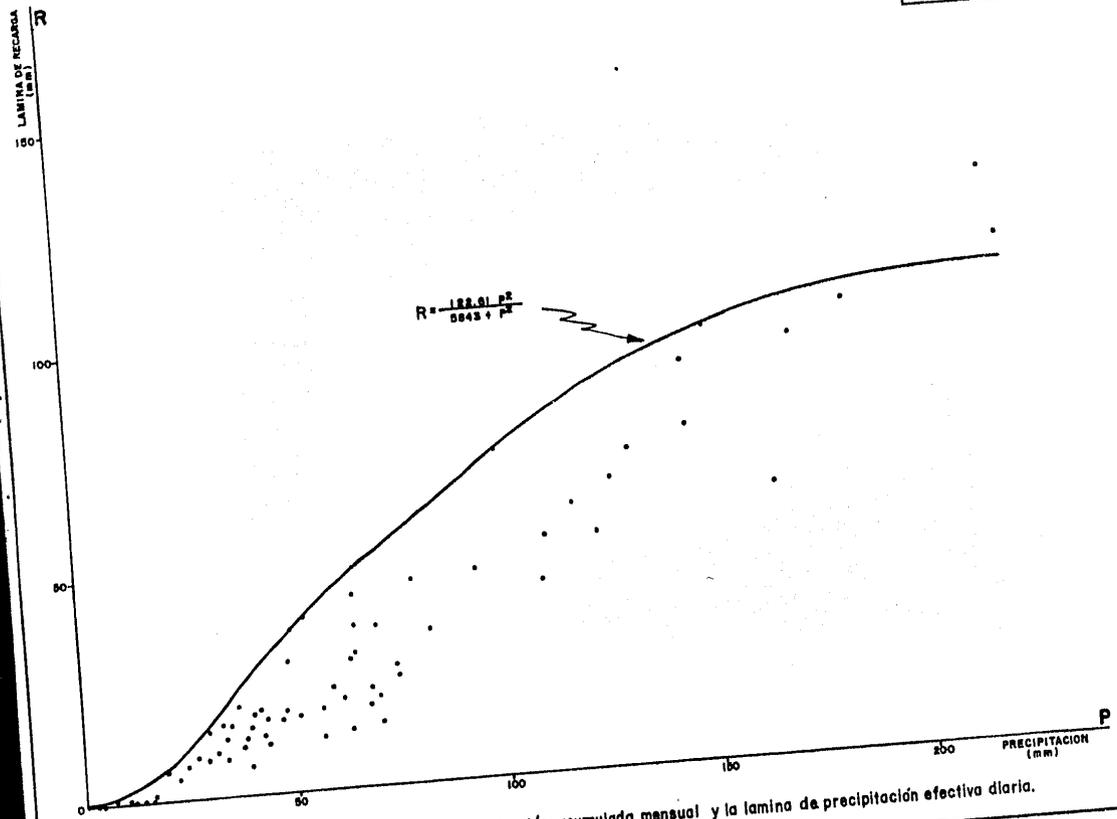
Dado que una de las restricciones propuestas por W. Knisel (op.cit) es la -- utilización de registros diarios, los valores anteriores se presuponen sobrestimados y al emplearse estos en un análisis posterior ("Dinámica de los Acuíferos" como datos de entrada al sistema acuífero. Los resultados serán -

difíciles de interpretar; por consiguiente, se procedió a la obtención de registros diarios y a una revisión del área de recarga.

De esta manera, en un análisis posterior (1982-83) se ajustó primeramente el área de recarga al revisar la geología superficial al NE de Mina, N. L., encontrándose que los afloramientos calcáreos (Unidad Hidrogeología III) en los buzamientos norte de las estructuras de Minas Viejas y El Fraile aparentemente se encuentran separados por una discontinuidad transversal que corta a ambas estructuras con dirección NE-SW y que quizás de origen a los cañones de entrada a los "potreros" de las sierras antes mencionadas, por lo que el área de recarga se ve disminuida al desechar estos afloramientos en los flancos.- Así el área de recarga se estima sea del orden de 150 km<sup>2</sup>.

Por lo que respecta al posterior análisis de los datos de precipitación se pudo contar con los registros diarios de lluvia de la estación Mina para el período 1956-1982 utilizándose los valores mayores a 6.5 mm para obtener la lámina de recarga diaria (de acuerdo a lo propuesto por W. Knisel) y posteriormente estos valores fueron acumulados mensualmente.

Con estos valores se realizó la gráfica que se muestra en la LAMINA 36,, que nos indica la variación de los valores obtenidos en el primer análisis y en el actual. Los valores que representan a la lámina de recarga obtenida del valor de la precipitación acumulada mensual sería cualquier valor sometido a la fórmula de Knisel, o sea, se alojan a lo largo de la curva determinada por la ecuación. Y los valores de lámina de recarga a partir de los registros diarios mayores de 6.5 mm y acumulados mensualmente se representan con puntos. En esta misma lámina se aprecia la sobreestimación mencionada en los valores menores de 150 mm de precipitación efectiva acumulada en los meses y la sub-



Lamina No 36 Relación entre la precipitación acumulada mensual y la lamina de precipitación efectiva diaria.

estimación en los valores mayores de 200 mm. Esto es claro ya que a medida que la lluvia es mayor de 76.44 mm se inicia el escurrimiento, el cual es considerado como una abstracción de la recarga y al tomar el valor acumulado de la precipitación para el cálculo de la lámina de recarga éste se ve afectado por la abstracción del escurrimiento de acuerdo a la gráfica de la ecuación (LAMINA 35) que representa la relación hipotética de precipitación-recarga.

En el CUADRO 12 se presenta numéricamente esta variación, para ello se tomó el año de 1968 porque presenta valores de precipitación en todos los meses. En este cuadro se definen lo que se ha venido denominando precipitación efectiva, que es aquella lámina de lluvia acumulada mensual de registros diarios mayores de 6.5 mm y afectados por la fórmula propuesta por W. Knisel.

En este mismo cuadro fueron incluidos el número de días con precipitación y precipitación efectiva que, en el resumen anual representan 48 y 16 días, respectivamente. Un detalle que se aprecia es que en el mes considerado como lluvioso, o sea septiembre se tiene una precipitación efectiva muy baja; no obstante, es el mes que tiene mayor número de días con lluvia (7), para ese año (1968); pero solo tuvo dos días con precipitación efectiva; es decir un día de 15 mm y otro de 7 mm, el resto (5 días) fueron registradas precipitaciones menores a 6.5 mm (Apendice I, año 1968). Sin embargo, si se toma el valor acumulado mensual, se obtiene una precipitación efectiva sobreestimada que para este caso resulta ser del orden del 39% con respecto al valor estimado al considerar solo los días mayores de 6.5 mm de precipitación. Asimismo, es posible también observar numéricamente la sobreestimación entre un cálculo y otro para el resumen anual, cuyo valor asciende a 98 mm con respecto al valor de la precipitación efectiva.

CUADRO 12 DIFERENCIA ENTRE LA PRECIPITACION MENSUAL Y LA "PRECIPITACION EFECTIVA"  
MENSUAL PARA EL AÑO DE 1968. (Milímetros) 1/ ESTACION MINA.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
ACUMULADA MENSUAL	14.5	12.5	14.0	31.0	24.0	5.5	47.5	58.0	33.5	30.5	12.0	1.00	289.0
RECARGA DE LA AC.MES. 2/	4.3	3.2	7.1	17.3	11.0	0.6	34.2	44.7	19.8	16.8	2.9	0.02	161.9
PRECIPITACION EFECTIVA	1.7	0.0	2.1	3.8	4.0	0.0	16.2	20.8	5.6	9.8	0.0	0.0	63.9
No. DE DIAS CON PRECIPITACION	3	3	4	5	3	2	5	4	7	5	6	1	48
No. DE DIAS CON PREC. > 6.5 mm	1	0	1	2	3	0	2	4	2	1	0	0	16

1/ Precipitación efectiva es la lámina de recarga estimada (de acuerdo a la fórmula de KNISEL) acumulada en el mes de los días con precipitación mayor de 6.5 mm.

2/ Datos tomados del estudio realizado por la CPNH (1980).

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se procedió a calcular la precipitación efectiva y su ocurrencia anual y mensual en el período 1956-1982; así se obtuvo una precipitación efectiva (lámina de recarga) media - anual para el sistema Mina de 96.6 mm lo que determina una recarga media - anual de  $14.5 \times 10^6 \text{ m}^3$  que es equivalente a una extracción de 459 lps. Cabe resaltar que, los años mínimo y máximo en el período resultaron ser 1962 y 1958, respectivamente; en el CUADRO 13 se presentan los valores de estos - años y la precipitación efectiva media mensual de un año medio.

En el cuadro anterior se aprecia también que en los meses de agosto y septiembre se presenta el 50% (48 mm) de la precipitación efectiva media y el valor más bajo ocurre en el mes de marzo. Asimismo, observamos la variación del volumen de recarga en el período (1956-1982) con un mínimo de  $1.00 \times 10^6 \text{ m}^3$  y con un máximo de  $46.5 \times 10^6 \text{ m}^3$  anuales.

Por otro lado, si se toma únicamente los meses con precipitación efectiva en el período y obtenemos su lámina de recarga promedio así como su probabilidad de ocurrencia como lo muestra el CUADRO 14, resultando que la lámina de recarga promedio anual esperada es de 159.6 mm que equivale a un volumen de recarga anual de  $23.94 \times 10^6 \text{ m}^3$ . De este volumen el 23% y 15% se presentan en los meses de septiembre y agosto con una probabilidad de 0.92 y 0.55, respectivamente.

Siguiendo con el análisis de la lámina de recarga promedio, en el CUADRO 15 se presenta la variación porcentual de ésta por rangos. Así, en el período observado los meses de enero, febrero, marzo y diciembre su lámina de recarga fue menor a los 10 mm, y solo para el mes de septiembre se tuvo una gran variedad ya que el 40% de los meses presentaron láminas de recarga menores de -

CUADRO 13. . PRECIPITACION EFECTIVA MENSUAL Y ANUAL DE LOS AÑOS MINIMO (1962), MAXIMO (1958) Y MEDIO ESTIMADO. SISTEMA MINA (Datos tomados del Apndice I). (Milímetros).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	VOL. ANUAL DE RECARGA 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
MINIMO	0.0	0.0	0.0	2.3	0.9	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	6.7	1.00
MAXIMO	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.9	9.0	39.8	174.8	61.2	0.0	1.3	310.0	46.50
MEDIO	1.3	1.6	0.3	3.8	5.0	9.8	11.3	13.5	34.8	6.1	6.3	2.7	96.6	14.50

CUADRO 14. . LAMINA DE RECARGA PROMEDIO (EN MILIMETROS) EN LOS MESES CON PRECIPITACION EFECTIVA EN EL PERIODO 1956-1982 PARA LA ESTACION MINA Y PROBABILIDAD DE OCURENCIA.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	VOL. ANUAL DE RECARGA 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
LAMINA DE RECARGA	3.5	4.2	2.6	8.5	8.0	15.6	20.3	24.9	37.6	9.6	17.1	8.2	159.6	23.94
PROBABILIDAD (%)	37	37	11	44	62	62	55	55	92	62	37	33		

CUADRO 15. VARIACION PORCENTUAL EN LOS MESES CON RESPECTO A LA OCURRENCIA DE LA LAMINA DE RECARGA. SISTEMA MINA, PERIODO 1956-1982.

RANGO (mm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
< 10	96	96	100	85	88	77	74	62	40	85	88	92
10-50	3	3	-	14	7	14	22	33	33	11	7	7
50-100	-	-	-	-	3	7	-	3	14	3	3	-
7 100	-	-	-	-	-	-	3	-	11	-	-	-

10 mm, 33% entre 10 y 50 mm, 14% entre 50 y 100 mm y 11% mayores de 100 mm, el resto 2% no constituyó precipitación efectiva para la recarga.

Respecto al análisis del año de 1983, la recarga en los siete primeros meses fué de aproximadamente 1.5 veces mayor que el promedio mensual acumulado - para esos meses en el período 1956-1982; aunque en los meses de abril y junio no hubo precipitación efectiva y para el mes de julio esta coincidió con el promedio para ese mes; sin embargo en el mes de mayo se presentó una lámina de recarga extraordinaria de 7.3 veces mayor que la promedio siendo la probabilidad de ocurrencia de una lámina de recarga mayor de 50 mm en el período observado de 3.7%. En el CUADRO 16 se presenta las láminas mensuales de precipitación acumulada, la lámina de recarga estimada, la lámina de recarga promedio en el período (1956-1982) y la relación entre la recarga estimada y la promedio del período, así como la extracción equivalente dada la recarga observada.

CUADRO 16 Precipitación, lámina de recarga y su relación con la lámina de recarga promedio y extracción equivalente para los siete primeros meses del año 1983.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
1/ Precipitación (mm)	32.0	27.5	13.0	0.0	95.0	7.5	62.0
2/ Lámina de Recarga (mm)	5.1	8.6	3.4	0.0	53.3	0.5	20.2
3/ Lámina de Recarga Promedio (mm)	3.5	4.2	2.0	8.5	9.0	15.6	20.3
Relación 2/ ÷ 3/	1.4	2.0	1.3	0.0	7.3	0.03	1.0
Extracción equivalente (lps)	295	497	197	0.0	3 374	29	1 170

## VI.2.2 Estimación de la recarga del Sistema Buenos Aires

En la determinación del volumen de recarga para este sistema en 1980, se siguió en parte la metodología propuesta en incisos anteriores; sin embargo, como se mencionó en el subcapítulo anterior, los datos base utilizados fueron la lluvia acumulada mensual tomándose todos los días con lluvia como efectivos para producir recarga, así se encontró que el volumen de recarga anual del sistema era de 47 Mm<sup>3</sup>, que equivale a un gasto de extracción promedio de 1 520 lps, lo cual significa que la lámina de recarga media anual fue de 240 mm, para un área de recarga de 200 Km<sup>2</sup>.

Sin embargo, en el presente estudio e igual que en el sistema anterior, se dió a la tarea de revisar y actualizar el conocimiento respecto a los dos parámetros fundamentales: el área de recarga y la obtención de la precipitación efectiva diaria. Para la primera, el ajuste se realizó tomando en cuenta los afloramientos de la unidad hidrogeológica III hacia donde se encuentra emplazado el campo de pozos del subsistema 4, con lo que el área de recarga se incrementó a 250 Km<sup>2</sup>. Por otro lado, en esta ocasión la estación climatológica escogida fue la estación "Comitas", cuya ubicación hacia la parte interna de la Sierra Madre propicia que los datos sean representativos de esa zona; no obstante, un ajuste posterior sería tomar en consideración los valores de las estaciones ubicadas en los alrededores de ésta.

Por lo que respecta al análisis para obtener la precipitación efectiva, los datos empleados fueron los registros diarios de la estación mencionada para el período 1966-1982, los cuales se presentan en el Apéndice I. A continuación -- CUADRO 17. se presentan los valores de la lámina de recarga media obtenida y las láminas de recarga de los años seco y lluvioso del período, además de la probabilidad de ocurrencia de precipitación efectiva en el mes y el valor mensual promedio de la lámina de recarga y el volumen de recarga media anual.

CUADRO 17 RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA PRECIPITACION EFECTIVA PARA LA ESTACION CLIMATOLOGICA COMITAS 1/ Y VOLUMEN DE RECARGA MENSUAL Y MEDIO ANUAL EN EL SISTEMA BUENOS AIRES. (MILIMETROS) PERIODO 1966-1982.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VALORES ANUALES DE RECARGA	
													LAMINA mm	VOLUMEN Mm3
Límina de recarga media.	2.0	2.3	0.8	3.0	8.6	27.0	17.7	29.4	70.8	11.6	4.4	2.7	180.3	45.1
Límina de recarga promedio.	4.9	7.7	3.3	5.6	9.1	32.8	20.1	33.3	70.8	14.1	18.6	9.2	229.5	57.4
Probabilidad de Ocurrencia (%)	41	29	24	53	94	82	88	88	100	82	29	29		
Año Seco (1966)	16.2	0.0	0.0	2.5	23.0	9.1	3.1	12.2	11.9	15.2	0.0	0.0	93.2	23.3
Año Lluvioso (1967)	5.1	0.0	8.8	0.0	1.0	1.7	15.2	179.1	164.0	20.9	0.0	0.0	395.8	99.0

1/ La estación Morteros fue analizada, sin embargo la falta de continuidad en los registros diarios propició que gran parte de ellos fueran ajustados de alguna estación cercana y desafortunadamente no fue posible ya que no se consiguieron a tiempo los datos diarios de precipitación de la estación Sta. Catarina.

años la explotación de las fuentes ascendió a más del 100%, así para el año de 1976 el caudal promedio anual del suministro era de 6 265 lps.

A fines de los setentas y principios de los ochentas, se siguió incrementando la explotación de las fuentes subterráneas hasta que algunas fuentes como las galerías Huasteca dejaron de ser productivas y, en los pozos, los niveles del agua alcanzaron sus profundidades máximas (Mina), ya que las precipitaciones en las áreas de recarga no fueron lo suficiente para recuperar los niveles.

A continuación se analiza el régimen de explotación seguido en las principales fuentes de agua subterránea; los datos de las extracciones medias mensuales y promedios anuales de cada uno de los sistemas se presentan en el Apéndice II.

#### VI.3.1 Sistema de pozos Mina

Se inició la explotación a mediados de 1958 con un caudal promedio anual de 205 lps; en el período comprendido entre 1958 y 1962, el caudal medio fue de 393 lps, para 1962-1968 alcanzó los 533 lps y entre 1969 y 1974 fue de 847 lps; finalmente en el período 1975-1982 se llegó a los 1 243 lps de extracción media anual. El gasto medio anual máximo extraído se realizó en el año de 1981 con 1 532 lps y el mes en que se realizó la máxima extracción fue julio del mismo año con 1 876 lps.

Esta última cifra es interesante relacionarla con los datos de precipitación efectiva estimados para esa fecha, así si observamos (Apéndice I, mayo-julio - de 1981) que en mayo de 1981 se presenta una lámina de recarga extraordinaria para el período (1956-1982) que originó un volumen de recarga de aproximadamente  $8 \times 10^6 \text{ m}^3$  el cual propició una recuperación de los niveles para el mes -

### VI.3 Análisis de la Extracción

La explotación de las fuentes de agua subterránea se inicia prácticamente en el año de 1950 cuando se realizaron las obras de captación sobre el Río Santa Catarina a la altura del Cañon de la Huasteca, al poniente del área metropolitana de Monterrey, las características de la obra fueron: Galería con una longitud de 165 m, diámetro de 2.44 m; localizada 24.0 m bajo el lecho del río, siendo el caudal enviado en la primera etapa de 300 lps.

En ese mismo año se incorporó la fuente Estanzuela cuyo caudal medio de 60 lps, se envió por gravedad a Monterrey descargando en el tanque Guadalupe. En el área Metropolitana se explotaba la Galería San Jerónimo con 150 lps; por consiguiente, el suministro total del año 1950 fue de 510 lps.

En el año de 1952 la SRH inicia los estudios y un pozo de exploración en el sitio que posteriormente se llama Campo Mina, para esas fechas ya se hablaba de déficit en el suministro ya que hasta 1954 recibían el mismo caudal mencionado anteriormente; en este año se crea la CAM y se inician los trabajos que consisten en la perforación de 3 pozos, denominados Monterrey, en el área metropolitana.

Ya para 1958, en el Campo Mina se terminaron los trabajos de perforación de la primera etapa y se contaba con instalaciones en el Socavon de San Francisco alcanzando el suministro 1900 lps.

A mediados de los sesentas se incorporan las aguas de la presa La Roca y se inician los estudios en el Campo Buenos Aires, el suministro para 1967 alcanzó los 2 800 lps. El incremento en las obras fue brusco y en menos de 10

Del cuadro anterior se desprende que la lámina de recarga media anual es de 180.3 mm lo que nos da un volumen de 45.1 Mm<sup>3</sup>/año que es equivalente a 1 430 lps de extracción promedio anual, lo que contrasta en un 6% menos del estimado anteriormente en donde se consideró indiscriminadamente la precipitación diaria acumulada mensual y un área de recarga de 200 Km<sup>2</sup>.

Por otro lado, se observa también que el 55% de la lámina de recarga media se presenta en los meses de agosto y septiembre, sin embargo, en el caso del año seco (1966) del período esto no fue así, ya que solo un 25% del total anual se dió para estos meses y otro 25% en el mes de mayo; por el contrario, para el año lluvioso (1967) el 86% de la lámina de recarga anual se presentó en agosto y septiembre. De acuerdo con las observaciones de estos valores, se puede resumir que, la cuantía de la precipitación efectiva mensual es muy variable y asociarle un valor determinado de ésta con la probabilidad de ocurrencia es objeto de un estudio más detallado, para efecto del objetivo del presente estudio basta solo con obtener la probabilidad de que ocurra una precipitación efectiva en cada uno de los meses y mencionar que de mayo a octubre se tiene un 80% de posibilidad que la precipitación que ocurra sea efectiva de recargar al sistema.

Por último, dada la gran complejidad de la geometría del acuífero no fue posible, en este intento, ubicar adecuadamente el área de recarga de cada uno de los subsistemas que integran al acuífero calcáreo Buenos Aires, por consiguiente los valores de recarga suministrados deben ser tratados en forma global cuando se refiera a un balance.

de junio de cerca de 15.0 m, esto dió la pauta para que se incrementara la extracción de 1 389 lps en mayo a 1 596 lps en junio y 1 876 lps para julio.

De esta manera, se trata de explicar que a medida que se presentaba una precipitación que amortiguara el abatimiento, la explotación se incrementaba a la capacidad instalada en ese momento para volver a decrementarla paulatinamente en los meses de estiaje; sin embargo, como la extracción se mantenía aún en meses de recarga nula, a medida que transcurría el tiempo la explotación de la fuente acuífera se llevó a cabo a costa del almacenamiento, con el abatimiento de los niveles de agua en los pozos como fenómeno asociado ya que se estaba sobreexplotando al sistema. En el CUADRO 18 se presenta la relación entre extracción y la recarga estimada para el sistema Mina.

Como una observación de esta relación es que a partir del año 1977 se tiene siempre un déficit en el almacenamiento del sistema y que, desafortunadamente, la recarga máxima anual en estos últimos años no sobrepasó los 15 Mm<sup>3</sup>; además, al parecer no se observa un comportamiento cíclico o similar en lo que a la ocurrencia de años con recarga bajas o altas se refiere, ya que los años con recarga menor a 5 Mm<sup>3</sup> aparecen indistintamente cada dos, tres o más años. Por otro lado, es a partir de 1970 cuando, al parecer, el sistema empieza a ser sobreexplotado, es decir cuando se incrementa la extracción más allá de los 800 lps, lo cual sobrepasa la recarga promedio anual que es equivalente a una extracción de 760 lps.

CUADRO 18. RELACION ENTRE EXTRACCION Y RECARGA ESTIMADA EN EL SISTEMA MINA.

AÑO	E EXTRACCION MEDIA ANUAL		R RECARGA ANUAL ESTIMADA	$\Delta V$ R-E	$\Delta V$ ACUMULADA	ELEVACION DE AGUA EN ALGUNOS POZOS
	lps	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	MSNM
1957	-	-	2.40	2.40	2.40	
1958	205	6.46	46.50	40.04	42.44	595 (P2)
1959	368	11.61	19.35	7.74	50.18	
1960	412	12.99	8.61	-4.38	45.80	
1961	450	14.19	11.47	-2.72	43.08	
1962	489	15.42	1.00	-14.42	28.46	565 (P2)
1963	434	13.70	10.95	-2.75	25.91	
1964	609	19.20	5.68	-13.52	12.39	
1965	510	16.08	11.97	-4.11	8.28	
1966	418	13.20	9.21	-3.99	4.29	
1967	542	17.09	34.32	17.23	21.52	587 (P2)
1968	587	18.51	9.58	-8.93	12.69	
1969	751	23.70	10.95	-12.75	-0.16	
1970	818	25.80	12.63	-13.17	-13.33	
1971	839	26.50	29.85	3.35	-9.98	570 (P4)
1972	911	28.73	13.05	-15.68	-25.66	
1973	911	28.73	28.06	0.33	-26.33	
1974	853	26.90	4.27	-22.63	-47.96	
1975	1 072	33.80	24.49	-8.81	-56.77	
1976	1 103	34.78	40.14	5.36	-51.49	
1977	1 128	35.60	4.56	-31.04	-82.45	
1978	1 172	36.96	13.32	-23.64	-106.09	540 (P4, agosto)
1979	1 215	38.31	8.05	-30.26	-136.35	600 (P4, enero)
1980	1 479	46.64	11.26	-35.38	-171.73	
1981	1 532	48.31	14.31	-34.00	-205.73	490 (P4, enero)
1982	1 173	36.99	3.52	-33.47	-239.20	
	$\Sigma$	630	$\Sigma$ 390	$\Sigma$ - 240	Vol. Sobreexplotado	

Podemos concluir de los resultados presentados en el cuadro anterior que, la sobreexplotación del acuífero del Sistema Hidrogeológico Mina ha sido del orden de  $240 \times 10^6 \text{ m}^3$  y que ésta, prácticamente se realizó en los últimos cinco años ya que en 1977 la sobreexplotación alcanzaba los  $80 \times 10^6 \text{ m}^3$  y para 1982 fue tres veces más grande y, significativamente, como fenómeno asociado; o - más bien, como producto de esta sobreexplotación, es a partir del año de 1978 cuando los niveles de los pozos tienen un descenso vertiginoso hasta verse - amortiguados con la precipitación extraordinaria de principios del año 1981; sin embargo, la evolución de los niveles y su relación con la extracción-recarga se tratan más adelante, sobra decir que esta sobreexplotación desmedida, es causa principal de la situación crítica que se presenta en este sistema.

A continuación se muestra en el CUADRO 19 los datos técnicos de los pozos del sistema Mina actualizados para abril de 1983, en donde se destaca la condición del pozo respecto a su operación. Así observamos que de 24 pozos positivos con que cuenta el campo, solo dos P6 y P24 no están equipados; ocho de ellos se encuentran abatidos y 5 tienen su equipo en reparación; del resto solo en siete pozos se extraía 834 lps y se mantienen dos en reserva, en el pozo 26 no se determinó su condición, pero al parecer tiene problemas de equipamiento. También se presentan las profundidades de la columna de succión y de las cámaras de bombeo.

CUADRO 19. DATOS TECNICOS DE LOS POZOS DEL SISTEMA MINA PARA ABRIL DE 1983.

POZO	COTA BROCAL (MSNM)	EQUIPADO SI NO	PROFUNDIDAD POZO (m)	CAMARA	ADEME DIAM.	NIVEL EST. (m)	DIN.	GASTO ACTUAL (lps)	COLUMNA LONG (m)	CONDICION
1	601.64	X	1 030	170	20"	122				Reparación
4	619.80	X	760	50	18"	136				Abatido
5	608.30	X	986	200	20"		150	142	163	
6	603.58	X	1 030	200	20"	125				Abatido
7	613.91	X	260	180	20"		159	135	165	
8	614.11	X	1 077	90	18"	141				Abatido
9	603.69	X	1 029	180	20"		133	107	142	
10	618.05	X	775	170	20"	130	133	160	163	
12	638.96	X	324	145	18"	160				Abatido
13	610.21	X	1 400	200	18"	133			134	Abatido
14	629.90	X	694	200	18"	151			167	Reparación
15	625.36	X	260	200	18"	151			157	Reparación
16	625.00	X	542	155	18"	130	140	90	135	Reserva
17	619.60	X	886	170	20"	140			156	Abatido
18	622.08	X	511	230	20"	140	150	80	155	
19	616.05	X	1 435	200	20"		141	80	145	
20	602.50	X	752	110	20"	136			146	(Reserva)
21	600.41	X	1 075	110	20"	135			141	(Reserva)
23	627.58	X	-	198	20"	147			140	Reparación
24	621.59	X	337	200	20"	140			126	
25	641.51	X	1 100	190	20"	160				Abatido
26	610.89	X	1 545	172	20"	130			160	
27	623.30	X	1 197	170	20"	128			140	Abatido
29	624.50	X	1 410	200	20"	-				Reparación

834 lps

Fuente: Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM).

### VI.3.2 Sistema de Pozos Buenos Aires (Sta. Catarina)

Este sistema es en la actualidad el principal aportador del suministro de agua subterránea con que se abastece a la población del área metropolitana de Monte rrey; sin embargo, al parecer por la evolución que han tenido las extracciones, la perforación y explotación de pozos en la zona de Buenos Aires no incrementa notablemente la disponibilidad total de agua en el Cañon de la Huasteca sino - que prácticamente se sustituyó la descarga del sistema de galerías de la Huasteca que era por gravedad por medio del bombeo con pozos. Actualmente se está extrayendo por medio de bombeo en los pozos solo el 30% más del caudal promedio - para el que descargaban originalmente las galerías de la Huasteca por gravedad para el período 1967-1973, ya que a partir de 1981 se inicia la explotación a - los pozos de la zona sur, los cuales no tienen relación hidrogeológica con el sistema acuífero de las galerías.

En el CUADRO 20 se consignan los valores medios anuales de extracción de las galerías Huasteca y del Sistema de pozos Buenos Aires a partir de 1974 a la - fecha. En el cual se observa a grandes rasgos el descenso en la producción de las galerías al incrementarse notoriamente la explotación de los pozos; cabe hacer notar que previo a la producción nula de las galerías, los pozos habían dejado de ser brotantes a principios de 1980; con lo que, para mantener el - abastecimiento se incrementó el bombeo durante ese año (hasta 1 721 lps) aba- tiendo los niveles en el acuífero calcáreo propiciando una disminución en el aporte de éste al acuífero en rellenos, sitio en el cual se encuentran empla- zados las galerías.

CUADRO 20. ABASTECIMIENTO DEL SISTEMA STA. CATARINA A LA CIUDAD DE MONTERREY, N.L. (Extracciones medias anuales, lps) 1/

AÑO	CAMPO DE POZOS BUENOS AIRES	GALERIAS HUASTECA 2/	TOTAL	PORCIENTO DE EXTRACCION DE LOS POZOS BUENOS AIR RESPECTO AL TOTAL
1974	500	2 114	2 614	19
1975	975	1 605	2 580	37
1976	1 592	1 047	2 639	60
1977	1 326	1 705	3 031	43
1978	1 434	1 642	3 076	46
1979	1 470	1 458	2 928	50
1980	1 721	258	1 979	86
1981	1 965	27	1 992	98
1982	1 978	-	1 978 <u>3/</u>	100

1/ Fuente: Comisión de Agua Potable de Monterrey (CAPDM).

2/ El caudal promedio anual de extracción en el período 1967-1973 de las galerías fue de 1 500 lps.

3/ El porcentaje de incremento en la disponibilidad actual por medio de pozos es de 30%.

Como se mencionó en capítulos anteriores, el sistema de pozos Buenos Aires se encuentra integrado por cuatro subsistemas hidrogeológicos relativamente independientes en lo que a su comportamiento piezométrico se refiere, lo que se tratará más adelante; a continuación se presentan los volúmenes extraídos de cada subsistema a partir de 1975, CUADRO 21.

CUADRO 21 VOLUMEN DE EXTRACCION ANUAL DEL SISTEMA BUENOS AIRES  
A PARTIR DE 1975 EN Mm3 1/.

Subsistema	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	PROMEDIO
1	12.64	16.11	11.38	12.48	13.10	16.13	17.84	16.29	14.49
2	11.49	19.67	16.99	16.72	17.60	19.16	21.61	20.48	17.96
3	3.27	12.57	13.66	14.88	13.60	15.70	15.52	12.90	12.76
4	-	-	-	-	-	-	5.93	9.25	7.59
TOTAL ANUAL	27.40	48.35	42.03	44.08	44.77	50.99	60.90	58.92	47.18
EX.EQ. lps 2/	868	1 533	1 333	1 399	1 420	1 626	1 931	1 868	1 496

1/ Fuente: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM).

2/ Estos valores difieren de los presentados en el cuadro anterior, porque estos fueron calculados de los aforos medios mensuales de cada uno de los pozos y a su vez acumulados anualmente, como se presente en el Apéndice II.

EX.EQ. = Extracción equivalente promedio anual.

Como se observa en el cuadro anterior, el subsistema 4 entró en operaciones a partir de 1981 por lo que las consideraciones siguientes estarán relacionadas prácticamente a las galerías y los pozos de los subsistemas 1, 2 y 3. De esta manera la extracción total de los pozos en los últimos años es de 55 y 50 Mm<sup>3</sup>, respectivamente. Así el promedio de extracción anual a partir de 1975, de cada uno de los subsistemas es el siguiente: 14.5 Mm<sup>3</sup> para el 1, 17.9 para el 2 y 12.8 en el subsistema 3. Lo que da una extracción equivalente por pozo de 66 lps para el subsistema 1, 94 lps para el subsistema 2 y 101 lps para el subsistema 3.

Siguiendo con el análisis de la extracción de los pozos de este sistema cárstico, se presenta en el CUADRO 22 una relación con los volúmenes extraídos desde 1974 por las galerías, así como con el volumen de recarga estimado a partir del método de precipitación efectiva. Es conveniente aclarar que, aunque no se cuenta con el

conocimiento exacto de la relación geohidrológica entre el acuífero cárstico Buenos Aires y el acuífero clástico en donde están alojados las galerías, es innegable que tienen una relación geohidrológica. Así podemos señalar la asociación para 1980 de una disminución drástica en los gastos suministrados por las galerías y por los pozos brotantes con un incremento en el bombeo el cual sobrepasó los 50 Mm<sup>3</sup> como se observa en la LAMINA 37.

CUADRO 22. RELACION ENTRE LA EXTRACCION Y RECARGA DEL SISTEMA BUENOS AIRES.

AÑO	EXTRACCION PROMEDIO ANUAL SUBSISTEMAS	GALERIAS	(Mm <sup>3</sup> ) TOTAL	RECARGA ANUAL ESTIMADA (Mm <sup>3</sup> )	
1974	15.8	66.6	82.4	36.35	+ 20.55
1975	27.4	50.6	78.0	56.47	+ 29.07
1976	48.4	33.0	81.4	53.85	+ 5.45
1977	42.0	53.7	95.7	61.12	+ 19.12
1978	44.1	45.9	90.0	32.72	- 11.38
1979	44.8	8.1	52.9	35.50	- 9.3
1980	51.0	0.8	51.8	28.75	- 22.25
1981	61.0	0.0	61.0	46.05	- 15.00
1982	59.0	0.0	59.0	40.50	- 18.00
	393.5	258.7	652.2	391.31	Σ - 1.74

En el cuadro anterior se dan los valores estimados del volumen de recarga solo del acuífero cárstico, en donde se observa que desde 1974 a 1977 se tenía un superávit en el almacenamiento el cual era tomado, parte como aporte de las calizas al relleno alimentando así a las galerías y el resto constituía descarga en los pozos brotantes; sin embargo, a partir de 1978 a la fecha, el balance presenta déficit, lo que está asociado a los fenómenos anteriormente señalados.

Fuente Excesiva de Agua Potable y Drenaje de Monterrey, N.L. (CAPDM)

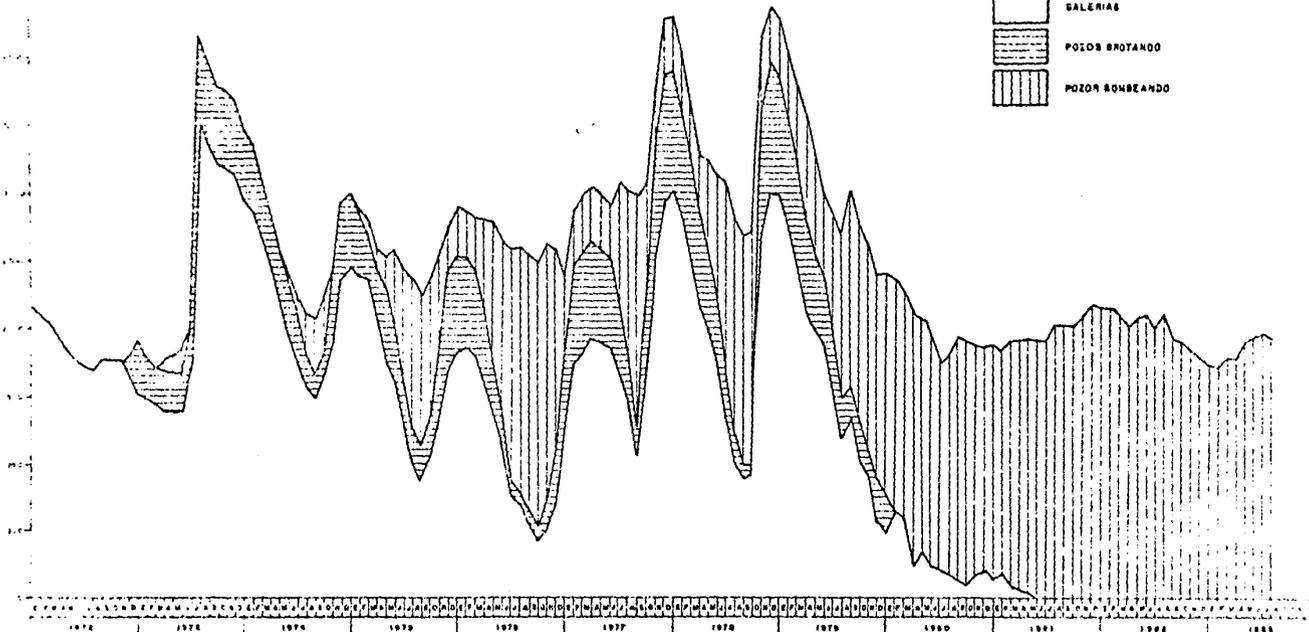


Lámina No. 37 Variación de la extracción del Sistema Buenos Aires, N.L.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	LUIS VELAZQUEZ AGUIAR 1985

Tomando los valores de cada subsistema y especialmente los del 1 y 2 en donde se encontraban los principales pozos brotantes, podemos estimar que una extracción de equilibrio de estos subsistemas es aproximadamente 13 Mm3 para el subsistema 1 y de 17 Mm3 para el 2; el subsistema 3, como se mencionó anteriormente, se encuentra emplazado independiente del 1 y 2 en lo que a comunicación subterránea se refiere, sin embargo se estima que un volumen de extracción anual conveniente es cerca de los 13 Mm3 con lo que nos da una extracción equivalente anual conjunta de 1 350 lps, la cual es muy cercana a la extracción dada por la lámina de recarga media anual.

A continuación en el CUADRO 23 se presentan los datos técnicos de los pozos del Sistema Buenos Aires actualizados para abril de 1983, en donde se muestra la condición del pozo respecto a su operación en cada uno de los subsistemas. En realidad solo en el subsistema 1 se tienen problemas en dos pozos P14 y P2 los cuales están en malas condiciones mecánicas, por lo que respecta a los demás subsistemas y el resto de los pozos, estos son positivos con una capacidad instalada total de 2 755 lps y una extracción (para abril de 1983) de 1 829 lps. El aporte de las galerías fue de solo 78 lps.

CUADRO 23. DATOS TECNICOS DE LOS POZOS DEL SISTEMA BUENOS AIRES PARA ABRIL DE 1983.

POZO	COTA BROCAL (MSNM)	EQUIPADO		PROFUNDIDAD		NIVEL		GASTO		COLUMNA LONG. (m)	CONDICION		
		SI	NO	POZO	CAMARA	EST.	DIN.	ACTUAL	POT.				
				(m)		(m)		(lps)					
SUB. 1													
1	765.45	X		1 800	200	61.7	98.1	123	150	168	ATERORIZADO		
2	755.21		X	1 475	200	61.7		-	210	158			
4	753.72	X		1 346	250		83.2	66	130	134			
5	784.84	X		1 458	200		119.0	104	115	-			
6	782.11	X		1 356	200		101.5	114	130	134			
14	763.56		X	1 132	196	46.4		-	100	143			
35	756.18	X		1 927	200	56			30	120	ATERORIZADO RESERVA		
								$\bar{X}$ : 100.4	$\Sigma$ 407	$\Sigma$ 865			
SUB. 2													
8	800.90	X		1 365	109		61	220	220	68			
10	816.34	X		918	200		80	123	190	95			
12		X		750	95		116	55	60	130			
17	845.44	X		1 030	196		134	16	30	132			
18	829.47	X		1 519	200		99	73	120	131			
30	792.76	X		470	200		64	215	250	85			
								$\bar{X}$ : 92	$\Sigma$ 702	$\Sigma$ 870			
SUB. 3													
25	721.03	X		205	180		91	180	215	100			
28	747.05	X		194	170		97.5	92.3	200	131			
33	730.53	X		201	185		132	34	35	132			
39	721.0	X		201	180		37.6	111	160	90			
								$\bar{X}$ : 66.8	417	610			
SUB. 4													
13	953.20	X		1 103	200		89.9	55	120	106			
19	945.39	X		601	183		79.7	179	220	100			
26	972.65	X		670	200		101.0	49	50	132			
27	980.50	X		736	200		76.5	20	20	132			
								$\bar{X}$ : 86.7	303	410			

FUENTE: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM).

## VI.3.3 Sistema Hidrogeológico Santiago

Es un sistema de abastecimiento compuesto por los manantiales que descargan, -- por un lado, al acuífero emplazado en el frente de la Sierra Madre Oriental al este de Monterrey y por otro, al acuífero emplazado en el flanco suroccidental de la Sierra La Silla. La forma de explotación es por medio de túneles, conectados a tuberías de conducción que transportan el agua por gravedad hasta tanques de distribución localizados en el área metropolitana.

Las descargas del manantial Estanzuela se empezaron a explotar hacia el año de 1950, posteriormente en 1956 se inician los trabajos del Socavon de San Francisco en el poblado de Villa Santiago, así como el trazo del acueducto Santiago-Monterrey. En 1960 se inician los estudios geológicos en la zona de Cola de Caballo, en el lugar conocido como Mesa Grande, terminándose hasta 1962, -- año en el cual por medio de dos túneles esta fuente aportó 100 lps. Para el -- año de 1964, el suministro integrado de este sistema alcanzó 611 lps, correspondiente 36 lps (6%) a Estanzuela, 492 lps (81%) al Socavon de San Francisco y 83 lps (13%) provenientes de los túneles Cola de Caballo.

CUADRO 24. APORTACIONES DEL SISTEMA SANTIAGO (Fuentes Naturales), EN EL PERIODO 1966-1982 (Lps).

FUENTE	APORTACION MINIMA	APORTACION MAXIMA	CAUDAL MEDIO DE APORTACION NORMAL	SECO	EN AÑO LLUVIOSO
San Francisco	638	1 002	853 <sup>±</sup> 106	730 <sup>±</sup> 105	977 <sup>±</sup> 107
Cola de Caballo	241	575	380 <sup>±</sup> 95	269 <sup>±</sup> 84	492 <sup>±</sup> 106
Estanzuela <sup>1/</sup>	31	100	55 <sup>±</sup> 21	37 <sup>±</sup> 16	73 <sup>±</sup> 26
	910	1 677	1 288 <sup>±</sup> 222	1 036 <sup>±</sup> 205	1 542 <sup>±</sup> 239

<sup>1/</sup> El manantial Estanzuela cuenta con un túnel adicional con capacidad media de 200 lps a partir de 1983.

El déficit de suministro que se observó muy marcado en el verano de 1964, año en que hubo racionamiento de agua (CAPDM), disminuyendo en 1965 con la construcción de las obras de la Planta Potabilizadora de la Presa La Boca que, en este último año aportó un gasto de 318 lps, integrándose a la conducción del Sistema Santiago.

Ya que en estas fuentes, la explotación está supeditada a la capacidad de las líneas de conducción y especialmente a la descarga natural aportada por los acuíferos, controlada por las variaciones climáticas, se realizó un análisis de los datos de extracción para el período 1966-1982 con el objeto de encontrar los valores medios máximos y mínimos posibles de ser captados por las obras de toma en años venideros; para esto, en el CUADRO 24 se presentan los valores antes mencionados en un período en el cual, no hay alteración en la capacidad de las obras de captación; sin embargo, para fines del año de 1982 se inició la construcción de un túnel adicional en la fuente Estanzuela, no obstante ésta empezó a captar las excedencias hasta los últimos días de mayo de 1983 aportando un promedio de 200 lps inmediatamente después de una precipitación extraordinaria en la zona; por consiguiente, un análisis de su comportamiento histórico no se tiene y habrá que considerar este valor, dada la gran precipitación ocurrida, como un valor extremo o máximo posible.

## VII. DINAMICA DE LOS ACUIFEROS.

En este capítulo se establecen algunas de las causas que producen la variación de los niveles del agua en los pozos, principalmente del Sistema Mina, partiendo del análisis entre la variación del almacenamiento (Recarga menos Extracción) y su relación con las recuperaciones y abatimientos observados en los pozos en diferentes etapas. En primera instancia se calculó la elevación media-mensual del nivel piezométrico de los sistemas involucrados con objeto de identificar las etapas tanto de abatimiento y recuperación.

Es adecuado señalar que la metodología seguida aquí se cumple para el Sistema Mina (un sistema cárstico de montaña "plegado") y que posiblemente no pueda extrapolarse a otros sistemas similares. Lo que si es notorio es que de alguna forma, cualquier modificación al equilibrio hidráulico de estos sistemas cársticos (como los del NE del país) se manifiesta y es posible mediante algunos artificios y disposición de datos, llegar al menos a inferir su funcionamiento geohidrológico si se sigue con los planteamientos dados en los capítulos precedentes, los cuales si son aplicables a todo cárst de montaña. Un ejemplo de esto, fué el alcanzado en el campo de pozos "Cerritos" al NE de Monterrey y dentro del área de estudio, en donde Tinajero y Velázquez (1981) lograron definir el funcionamiento geohidrológico del Sistema y predecir con éxito, al corto plazo, la evolución de los niveles y la vida útil del campo. Sin embargo, en esa ocasión los parámetros que mostraron relación con el almacenamiento ( $\Delta V$ ) fueron los porcentajes, tanto de los incrementos en la extracción como del incremento en el abatimiento, dado que el sistema no presentaba en su historia de explotación etapas de recuperación.

Para el presente estudio y después de otras consideraciones menores, los parámetros que presentan correspondencia y que fueron analizados son los

abatimientos y recuperaciones netas en cada uno de los pozos para una determinada fecha, obteniéndose posteriormente su valor medio. A continuación se presenta y explica la metodología seguida.

## VII.1. Sistema Mina

### VII.1.1 Relación abatimiento y $\Delta V$

Como primer paso se analizaron las etapas de abatimiento con la variación del almacenamiento  $\Delta V$  en el sistema y con el objeto de simplificar los planteamientos, se estudiaron solo aquellas etapas de recarga nula; por consiguiente, la variación de los niveles en los pozos fué función únicamente de la descarga del acuífero, constituida ésta por la extracción por medio del bombeo.

En el CUADRO 25 se presenta el análisis del Sistema Mina en períodos de recarga nula en donde destacan varios resultados, uno de ellos es el de la velocidad de abatimiento en un período en el cual tanto la recarga como la extracción eran nulos; es decir, a principios de 1958 cuando todavía no se explotaba al sistema y en donde el abatimiento observado era producido por una descarga natural del acuífero; desafortunadamente no se cuenta con registros de las descargas de los manantiales en el área, así como tampoco su cota de salida, por consiguiente los valores presentados en gran parte del período analizado arrastran el abatimiento producido por la descarga natural; no obstante, es posible establecer, que a medida que la elevación de los niveles del sistema se hace menor, los manantiales dejan de descargar y es de esperarse que la velocidad de abatimiento se incremente al ser función solo del bombeo, como al parecer sucede a partir del año 1975.

CUADRO 25 ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL SISTEMA MINA EN PERIODOS DE RECARGA NUI.A.

AÑOS	ETAPAS	ABATIMIENTO	EXTRACCION MEDIA	
		MEDIO MENSUAL (m)	Mensual Mm3	Mensual lps
1958	FEBRERO-MARZO	0.70	0	0
1958-1959	DICIEMBRE-ENERO	1.50	1.01	377
1960	MARZO-MAYO	1.53	1.11	414
1961	ENERO-MARZO	1.47	0.86	331
1961-1962	NOVIEMBRE-MARZO	1.21	1.22	470
1962	OCTUBRE-DICIEMBRE	1.32	0.95	365
1964	FEBRERO-MARZO	1.88	1.32	512
1964	JUNIO-JULIO	1.34	1.85	715
1965	ENERO-ABRIL	1.58	1.48	572
1966	AGOSTO-DICIEMBRE	0.77	1.12	434
1967	MAYO-JUNIO	1.11	1.51	585
1968-1969	DICIEMBRE-MARZO	2.61	1.69	651
1970	MARZO-ABRIL	2.22	2.09	806
1970-1971	NOVIEMBRE-ABRIL	2.55	2.23	861
1972	FEBRERO-MARZO	1.84	2.21	853
1975	MARZO-JUNIO	3.87	2.82	1 090
1976	ENERO-MARZO	4.00	2.80	1 082
1977	MARZO-JUNIO	3.28	2.81	1 084
1977-1978	NOVIEMBRE-ABRIL	4.71	3.10	1 195
1979	JULIO-AGOSTO	4.66	3.24	1 250
1980	FEBRERO-JUNIO	5.45	3.79	1 463
1981-1982	NOVIEMBRE-ABRIL	4.51	3.50	1 352
VALORES PROMEDIO		2.54	2.03	783

FUENTE: Datos de los niveles en los pozos proporcionados por la CAPM. Anexo III.

En el año de 1978, es el último en donde el inicio de las etapas de abatimiento se encuentran sobre los 600 msnm; por consiguiente podemos concluir que las cotas de salida, de al menos los principales manantiales se encuentran sobre los 600 msnm y que a partir de 1978 las etapas de abatimiento son función solo de la extracción por bombeo. LAMINA 38

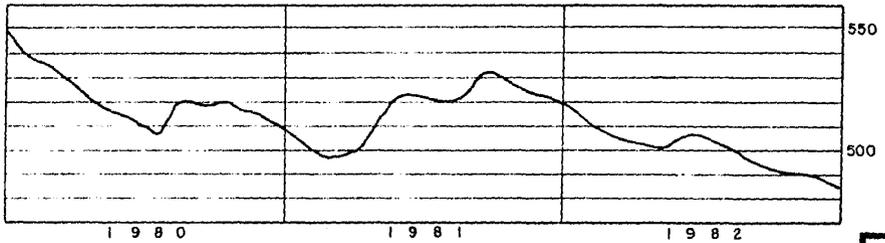
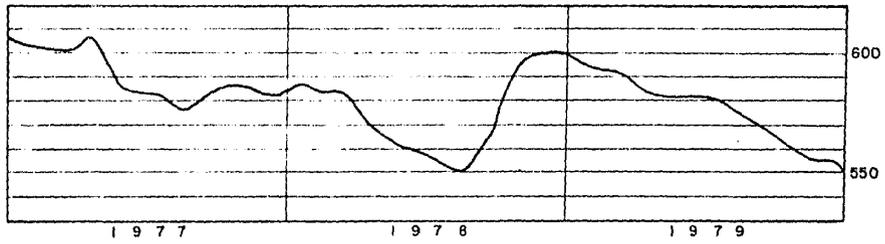
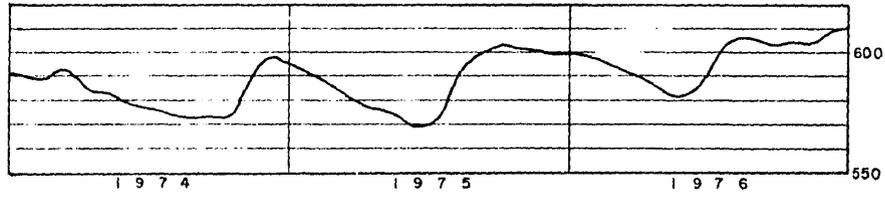
Otra situación que se observa es que a partir de 1975 la extracción se incrementa hasta más de 3.0 Mm<sup>3</sup>/mes y asimismo, la velocidad de abatimiento parecer mayor de los 3 m/mes. De esta manera, y en forma general, es posible apreciar cuatro etapas de evolución en la relación extracción-abatimiento, así tenemos que hasta el año de 1967 se tiene un abatimiento promedio de 1.37 m/mes que corresponde a una extracción promedio de 477 lps. Entre 1967 y 1975 corresponde a un abatimiento de 2.30 m/mes una extracción de 792 lps y para 1975-1978 los valores promedio son de 3.96 m/mes de abatimientos y 1 100 lps de extracción y finalmente de 1978 al año de 1982 el abatimiento medio mensual fue de 4.83m y la extracción promedio de 1 300 lps.

Con objeto de establecer alguna relación matemática entre estos parámetros, dado que numéricamente se aprecia correspondencia, se procedió a graficarlos, observándose un comportamiento exponencial, de esta manera se ajustaron por mínimos cuadrados y la ecuación resultante fue:

$$Y = 0.77 e^{0.0014X}$$

en donde Y es igual al abatimiento medio mensual y X es la variación del almacenamiento V el cual, dado que R=0 y la descarga natural (D), despreciable,  $\Delta V = E$ ; es decir es igual a la extracción por bombeo, que al hacer las sustituciones

Datos tomados de la  
CAPYOM Y SADM



ELEVACION (M.S.N.M.)

LA MINA 38 EVOLUCION DE LA ELEVACION MEDIA DEL NIVEL ESTATICO.SISTEMA MINA.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE	1985

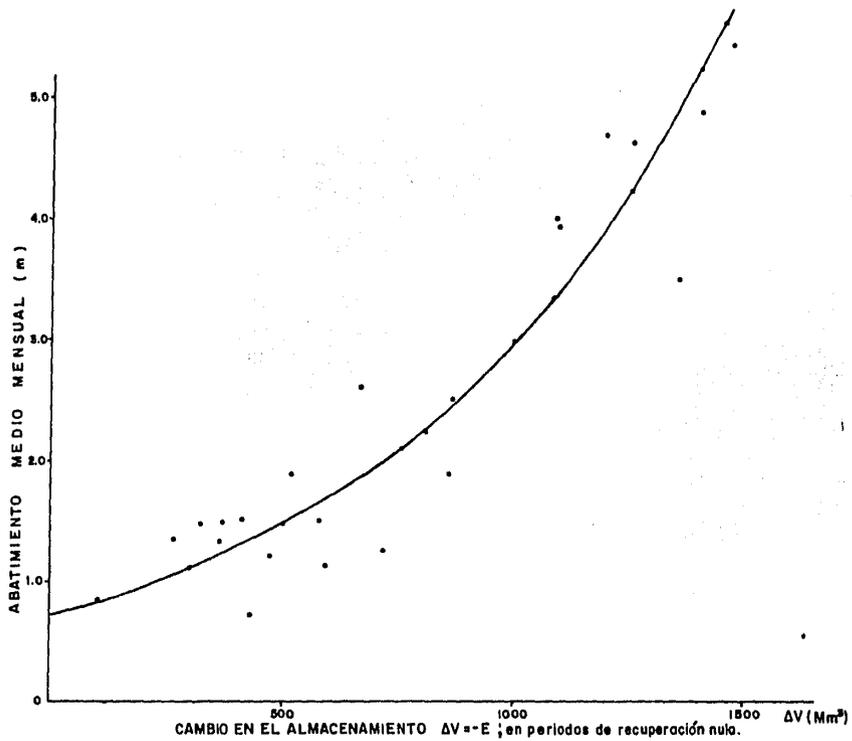
$$a = 0.77 e^{0.0014 \Delta V}$$

cabe mencionar que el coeficiente de correlación del ajuste exponencial resultó ser,  $r^2=0.84$ , por lo que se considera aceptable.

La gráfica mencionada se presenta en la LAMINA 39 y se denomina "Ley de abatimiento del Sistema Mina", ya que es función de  $\Delta V$ . Por consiguiente, conocido el valor de la recarga se puede plantear un abatimiento deseado en el sistema y proponer la extracción adecuada que cumpla los requisitos establecidos.

#### VII.1.2. Relación recuperación y $\Delta V$ .

Para establecer una relación entre  $\Delta V$  y las recuperaciones observadas en los pozos del Sistema Mina, fue necesario estimar la recarga del sistema en las etapas analizadas encontrando, como era de esperarse, un  $\Delta V$  siempre positivo; por consiguiente, el volumen de recarga estimado aparentemente es adecuado, ya que de lo contrario, si el valor de  $\Delta V$  presenta un déficit cuando en todos los pozos del sistema se presenta la recuperación de los niveles; es obvio que: o la extracción estuvo sobreestimada (caso poco probable) o que el volumen de recarga estimado - quedo corto; sin embargo, al cumplirse las hipótesis establecidas dió la pauta para seguir en el establecimiento de la relación y como primer paso, los valores correspondientes a las etapas de recuperación se integraron en una tabla, la cual se presenta en el CUADRO 26. .



Lamina No. 39 Ley de abatimiento del Sistema de Pozos Mina, N.L.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGURRE 1985	

CUADRO 26. ANALISIS DE LAS RECUPERACIONES DEL SISTEMA MINA

AÑO	RECUPERACION MEDIA (m)	RECARGA R Mm3	EXTRACCION E Mm3	$\Delta V$ (R-E) Mm3
1959	0.78	1.34	1.13	0.21
1960	8.53	3.23	1.45	1.78
1963	15.30	8.38	1.20	7.12
1966	3.52	1.29	0.87	0.02
1967 (1)	14.98	14.66	1.64	13.02
1967 (2)	17.00	15.72	1.32	14.40
1969	6.13	2.67	1.99	0.68
1976 (1)	21.73	13.91	3.01	10.90
1976 (2)	8.90	7.17	2.89	4.28
1971	15.00	15.87	2.23	13.64
1972	5.62	2.70	2.28	0.42
1973 (1)	12.98	11.39	2.32	9.07
1973 (2)	9.68	9.70	2.42	7.28
1975	10.50	10.78	2.71	8.07
1977	7.00	3.48	3.17	0.31
1978 (1)	11.43	6.20	2.82	3.38
1978 (2)	29.23	6.79	2.97	3.82
1979	2.40	3.54	3.13	0.41
1980	12.14	5.47	3.94	1.53
1981	16.22	10.83	3.89	6.94
$\bar{X} =$	11.45	$\Sigma$ $\bar{X}$ 7.75	$\Sigma$ 47.38 2.36	$\Sigma$ 107.68 5.39

De los resultados anteriores se puede establecer, que la recuperación media en las etapas analizadas es de 11.45 m y que al relacionarla con el cambio en el almacenamiento promedio ( $5.39 \text{ Mm}^3$ ) el sistema se recuperó en promedio 2.12 m por cada millón de metros cúbicos que se agrega al almacenamiento.

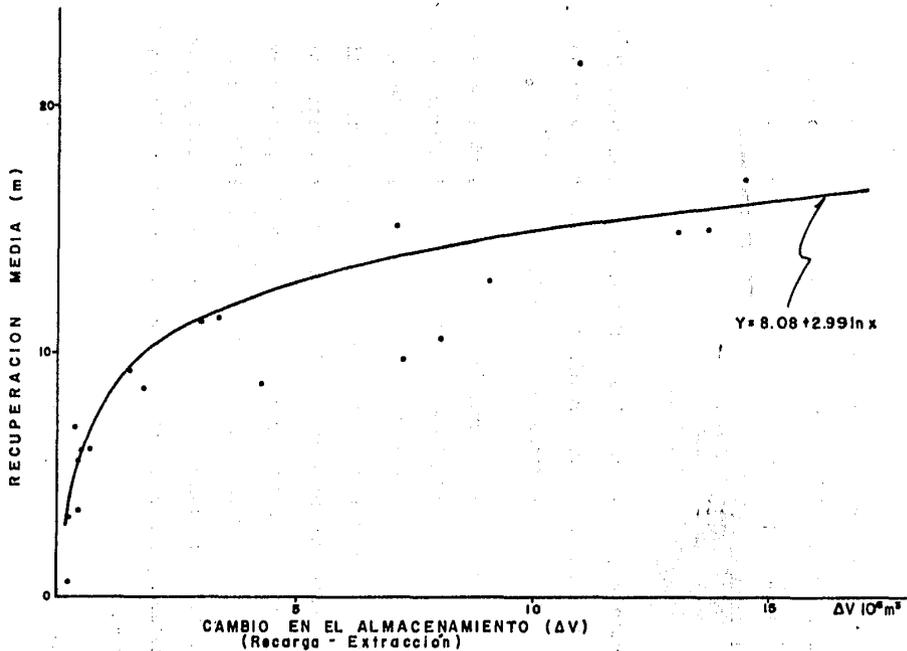
Por otro lado, los valores anteriores (Recuperaciones medias y  $\Delta V$ ) fueron graficados y con ellos se realizó un ajuste logarítmico por el método de mínimos cuadrados, obteniéndose un coeficiente de correlación de  $r^2 = 0.87$  con lo que la ecuación resultante es:

$$Y = 8.08 + 2.99 \text{ Ln}X$$

donde Y = recuperación media (m) y X el cambio en el almacenamiento ( $\Delta V = R - E$ ) en  $\text{Mm}^3$ . De esta manera, al ajuste realizado se denominó "Ley de recuperaciones del Sistema Mina" y esta, se presenta en la LAMINA 40.

Con el objeto de conocer la recuperación media máxima esperada en el sistema, se tomaron algunos valores relacionados con la precipitación efectiva ocurrida en el período 1956-1982, Apendice I y se supuso una extracción de 1 000 lps ( $2.59 \text{ Mm}^3/\text{mes}$ ) mensual; así la probabilidad de una precipitación efectiva para el mes de septiembre (mes de ocurrencia de las máximas precipitaciones) mayor de 100 mm es de un 11%, lo que significa un volumen de recarga de  $15 \text{ Mm}^3/\text{mes}$ , como mínimo y si a este valor se le resta la extracción ( $2.5 \text{ Mm}^3$ ) un  $\Delta V = 12.5 \text{ Mm}^3$  que producirá una recuperación de 13.77 m, de acuerdo a la Ley de Recuperaciones del Sistema; por consiguiente un valor para la recuperación promedio máxima del sistema Mina sería alrededor de 15 m.

Dadas las leyes de abatimiento y recuperación del sistema Mina, —



Lamina No.40 Ley de recuperaciones del Sistema Mina,N.L.

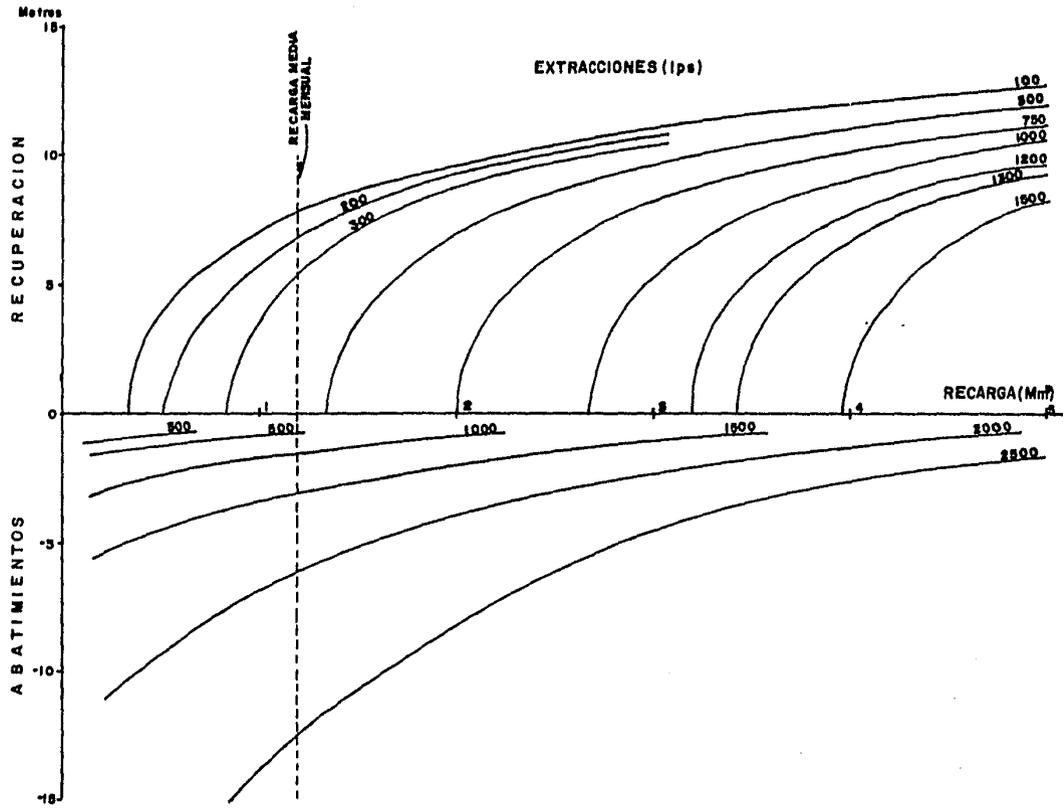
se preparó un gráfico en el cual es posible definir el comportamiento medio del nivel del sistema en función de una extracción, siempre y cuando se conozca el volumen de recarga. Este gráfico se presenta en la LAMINA 41 y muestra entre otros valores el de la recarga media mensual (1.2 Mm<sup>3</sup>) el cual se tomará para ilustrar el funcionamiento del gráfico para pronosticar el comportamiento de los niveles de acuerdo a una extracción dada; así, si se extrae por ejemplo solo 300 lps al mes, los niveles se recuperan en promedio de casi 5 m, por el contrario la extracción de 500 lps en el mes, los niveles se abatirán aproximadamente un promedio de 0.80 m al mes.

En el año de 1983 se tuvo la oportunidad de calibrar este gráfico ya que en el mes de Mayo se dió un volumen de recarga extraordinario de aproximadamente 8 Mm<sup>3</sup> y dado que la extracción fue de 600 lps, la recuperación esperada (ya que  $R > E$ ) de los niveles para el siguiente mes, era de aproximadamente 15 m de acuerdo al gráfico, lo cual sucedió efectivamente. Cabe mencionar que en casi todo ese año - fué posible, también, probar la Ley de abatimientos.

## VII.2. Sistema Buenos Aires

Como se ha mencionado anteriormente, este sistema hidrogeológico es uno de los pilares en el abastecimiento de agua potable con que cuenta actualmente la ciudad de Monterrey, N.L. y su área metropolitana, y conocer su comportamiento geohidrológico es ya una prioridad dado que las demandas de agua en la población e industria del área se han incrementado notablemente y estos se verán duplicadas en menos de 10 años, aumentandose aun más los problemas de abastecimiento, y que como se ha presentado en este estudio, el potencial de suministro de este sistema se ha reducido a partir de 1980 más del 50%.

Para establecer alguna relación entre la dinámica de los niveles del agua en los pozos con las entradas y salidas de agua en el sistema (objetivo de este ca - - -



Lamina No 4) Grafica del funcionamiento geohidrologico estimado del Sistema Mina, N.L.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE 1985	

pítulo), es necesario partir del análisis de la evolución de los niveles y es precisamente en esta parte donde no se cuenta con la información suficiente y adecuada para llegar como en el caso de Mina a establecer una ley de la dinámica del acuífero, ya que la evolución de este sistema aparentemente permaneció invariable hasta el año de 1980; hasta el cual, la mayoría de los niveles se reportaban con el valor de las elevaciones del brocal en los pozos, dado que estos eran brotantes y, en esta forma los valores mencionados no representaban el valor de la carga hidráulica, por consiguiente solo se cuenta con tres años (80 a 82) de variaciones de los niveles, los cuales no son representativos para un análisis detallado. Por esta razón a continuación se presentará solo una relación general de estos aspectos:

La evolución de los niveles es posible separarla en dos grandes períodos: uno es el comprendido desde la iniciación de explotación del sistema por medio de pozos y se extiende hasta el año en el cual hay un notable descenso de los niveles dejando de ser brotantes los pozos y se denominará período "brotante". El segundo gran período es a partir de año anterior hasta el año de 1982, caracterizado por etapas de abatimiento y de recuperación, además de que en este período, las galerías del acuífero clástico dejan de producir por lo cual se denominará período de "bombeo".

El período "brotante" presenta solo dos etapas de abatimiento una en el año 1976 y la otra para 1978, relacionadas con un incremento en la extracción la primera, y con un déficit en el almacenamiento la segunda. La etapa de abatimiento en 1976 fue de 25 m en promedio en los subsistemas operantes; aunque la recarga media anual fue mayor en  $5.50 \text{ Mm}^3$  que la extracción, no obstante esto ocurrió principalmente en la segunda mitad del año para que los niveles se recuperaran totalmente, así que el abatimiento fue provocado principalmente por el incremento

en la extracción que fue del 43%, aunado a una pobre recarga en los seis primeros meses del año que solo representó el 14% del total anual (Apéndice I, Sistema Buenos Aires).

La segunda etapa de abatimiento de este período se presentó en 1978 y fue provocada por un déficit en el almacenamiento de aproximadamente 11 Mm<sup>3</sup> ya que solo el 3.5% del volumen de recarga anual ocurrió en los 5 primeros meses de año; aunque para la segunda mitad de año las frecuentes lluvias, desde junio a octubre, propiciaron de nuevo la recuperación total del sistema cárstico. Estas dos etapas de abatimiento aparentemente podrían ser tomadas como evolución normal del sistema; sin embargo, el fenómeno asociado más drástico es el de la disminución en la producción en las galerías que para el año de 1979 fue solo de 8.1 Mm<sup>3</sup>, representando un decremento del 82% con respecto al año anterior.

Esto se propone ya que en dos veces el nivel del agua en el sistema bajo un promedio de 25 m, por lo que el nivel de descarga del acuífero en calizas descendió provocando que la alimentación al acuífero clástico, en donde están emplazadas las galerías, se interrumpiera y la manifestación de ello es la disminución parcial de caudal en las galerías en esos años, siendo del 15% para 1978 y de 17% para 1979.

El inicio del descenso del nivel del agua en los pozos brotantes empezó a fines de 1979, año en el cual el déficit en el almacenamiento fue de 9.3 Mm<sup>3</sup>, con lo que el abatimiento en algunos pozos alcanzó los 40 m para fines del año, provocando de esta manera que la alimentación al acuífero clástico fuera prácticamente nula.

El período anterior podría considerarse, hasta el año de 1979 como una etapa de

subexplotación del sistema cárstico ya que su extracción promedio anual fué de aproximadamente 40 Mm<sup>3</sup>/año, siendo el volumen de recarga medio anual de 45 — Mm<sup>3</sup>. Sin embargo, para el acuífero clástico esta etapa, a partir del inició del bombeo en calizas, es de sobreexplotación, ya que si consideramos la extracción entre 1974 y 1977 que alcanzó los 200 Mm<sup>3</sup> y siendo el superávit del acuífero calcáreo de 75 Mm<sup>3</sup> y suponiendo que este fué suministrado al acuífero — clástico además de un volumen adicional igual de recarga directa, nos da una — diferencia de 50 Mm<sup>3</sup> la cuál coincide en parte con los 53 Mm<sup>3</sup> extraídos en — los años de 1978-1979, etapa en la cuál se inicia el déficit en el acuífero — calcáreo.

El segundo período denominado de "bombeo" se inicia en 1980 y se caracterizó por la desaparición de la explotación en las galerías, y presenta 3 etapas de abatimiento y dos de recuperación, considerándose un período de sobreexplotación del sistema cárstico ya que la extracción promedio en estos últimos años fué de 57 Mm<sup>3</sup>, sobrepasando en un 32% al volumen de recarga medio estimado de 45 Mm<sup>3</sup>.

La variación dinámica en los subsistemas no fué homogénea siendo más acentuada en los subsistemas 1 y 3, mientras que en el 2 fué menos variable, alcanzando un abatimiento promedio total en el período de 50 y 25 m, respectivamente.

Los datos base para las consideraciones de este sistema fueron tomados del — Apéndice II y de los cuadros respectivos de extracción y recarga presentados en capítulos precedentes.

## VIII Conclusiones y Recomendaciones

### VIII.1 Conclusiones

. En el área de estudio se identificaron cuatro unidades hidrogeológicas, la primera es una secuencia clástica integrada por el material de relleno del Cuaternario; dos de ellas, la segunda y cuarta son de carácter arcilloso y corresponden al Cretácico Superior y Jurásico Superior, respectivamente. La tercera es una secuencia calcárea (F. Cupido y F. Aurora) que se encuentra encajonada entre las dos anteriores y pertenece tanto al Cretácico inferior Tardío como al Cretácico Medio. Esta última unidad (III) constituye un acuífero cárstico confinado que se encuentra emplazado en rocas plegadas integrando un carst de montaña.

. Basados en relaciones estrato-tectónicas y litológicas regionales y principalmente en la continuidad estructural, se identificaron sistemas hidrogeológicos en la unidad III, los cuales son independientes en su comportamiento hidráulico así como en los efectos de la explotación de los mismos. Sin embargo están supeditados a la distribución de la precipitación pluvial de la zona.

. La relación que se encuentra en un área dada, entre la intensidad de la actividad tectónica ocurrida y la presencia de facies susceptibles por sí mismas de constituir acuíferos, dió la pauta para dividir el área en tres zonas geo-hidroológicas: Zona A, región en donde las formaciones (Cupido y Aurora) del Cretácico inferior y medio integran un solo acuífero en la unidad III; Zona B, en donde el acuífero con posibilidades se emplazaría en la formación Aurora - supeditada a condiciones estructurales locales; Zona C, región de Baja permeabilidad asociada a fenómenos ígneos. Los sistemas Mina, Buenos Aires, Santiago

y Monterrey-Topo Chico se localizan en la zona geohidrológica A.

. Basados en las características hidrogeoquímicas y en las relaciones isotópicas del agua de cada uno de los sistemas hidrogeológicos, estos fueron diferenciados en Regionales y Locales.

. La recarga fue estimada utilizando una relación empírica propuesta por W. Knisel en donde la lámina de recarga se expresa como una función de la precipitación. El volumen de recarga estimado se calculó tomando para  $p$  los valores diarios de precipitación efectiva ( $p > 6.5 \text{ mm}$ ), los cuales sometidos a la fórmula de Knisel fueron acumulados mensualmente y multiplicados por el área de recarga del sistema respectivo.

#### SISTEMA MINA:

. El sistema Mina es de tipo Regional y las áreas de recarga lo constituyen los flancos suroccidental y nor-occidental de las sierras de Minas Viejas y El Fraile, respectivamente; con una área de recarga de aproximadamente  $150 \text{ km}^2$ . La zona de explotación del sistema se encuentra ubicada en un alto estructural que lo constituye un anticlinal sepultado que se encuentra entre las dos sierras mencionadas anteriormente.

. La lámina de recarga promedio anual estimada para el Sistema Mina en el período 1958-1982 fue de  $159.6 \text{ mm}$  lo que determina un volumen de recarga media anual de  $23.9 \text{ Mm}^3$  que es equivalente a una extracción de 760 lps. El período de lluvia en el área de influencia de la estación Mina se inicia desde fines de Mayo hasta mediados de Octubre teniendo su máximo en Septiembre, para el cual la posibilidad de ocurrencia de una lámina de precipitación efectiva es de 92%. El valor de la lámina de recarga promedio en ese mes es de  $37.6 \text{ mm}$  que

equivale al 23% de la lámina de recarga promedio en los meses con precipitación efectiva en el período 1956-1982.

. La relación extracción-abatimiento del Sistema Mina se ajusta a un comportamiento exponencial y la evolución de las recuperaciones en el Sistema Mina en relación con el cambio en el almacenamiento  $\Delta V$  se ajustó a un comportamiento logarítmico, el cual nos indica que la recuperación promedio del sistema en períodos de recarga extraordinaria se encuentra en un rango de 15 a 20 m. En las etapas de recuperación analizadas en donde la Recarga fue superior a la extracción, la recuperación promedio del sistema fue de 2.12 m por millón de metros cúbicos agregados como recarga al almacenamiento. Mientras que el abatimiento promedio en las etapas de recarga nula es de aproximadamente 1 m, por millón de metros cúbicos extraídos del almacenamiento. Por consiguiente, el sistema es más sensible a la recarga que a la extracción.

. Se aprecian cuatro etapas de evolución en el Sistema Mina en relación con la extracción/abatimiento:

1) 1958-1967	1.37 m/mes con 477 lps
2) 1967-1975	2.30 " con 792 lps
3) 1975-1978	3.96 " con 1 100 lps
4) 1978-1982	4.83 " con 1 300 lps

. Ya que el tamaño de las áreas de recarga del sistema Mina son menores en relación al área ocupada por el acuífero en el subsuelo, además de que la recarga se realiza principalmente en los flancos de las sierras mencionadas, los cuales estructuralmente se encuentran inclinados y considerando que se trata de un acuífero confinado, cualquier variación en el volumen de entrada propicia un incremento de la carga hidráulica asociada a una rápida recuperación de los niveles. En cambio en las etapas de recarga nula los efectos de la extracción deben propagarse

en una mayor área siendo la velocidad de abatimiento relativamente menor.

. El comportamiento explicado anteriormente dió la pauta para que se incrementaran las extracciones del sistema, casi siempre después de la ocurrencia de una recuperación de los niveles sin considerar la magnitud del volumen recargado; por consiguiente a partir de 1975 se llegó a una extracción de casi 1 300 lps en promedio alcanzando un máximo en 1981 de 1 532 lps (el doble de la recarga equivalente) con lo que paulatinamente el nivel en los pozos fue abatiéndose siendo las recuperaciones parciales cada vez menores.

. El producto de esta política irracional de explotación es que a partir del año 1970 en el acuífero del Sistema Mina la extracción haya sido a costa del almacenamiento, propiciando la sobreexplotación del sistema asociándose a una extracción anual mayor de los 800 lps, la cual sobrepasó la recarga promedio anual que es equivalente a 760 lps. El volumen sobreexplotado del Sistema Mina a partir de 1957 asciende a 240 Mm<sup>3</sup>, teniendo una extracción promedio anual de 25.2 Mm<sup>3</sup> y un volumen de recarga promedio anual de 15.6 Mm<sup>3</sup>. La sobreexplotación del Sistema Mina prácticamente se realizó en los últimos cinco años ya - que para 1977 alcanzaba los 80 Mm<sup>3</sup> y para 1982 fue tres veces más grande.

#### SISTEMA BUENOS AIRES

. El Sistema Buenos Aires es de carácter local emplazado hacia la porción sur de la zona A en el frente tectónico de la Sierra Madre Oriental. El área de recarga de este sistema es de aproximadamente 250 Km<sup>2</sup> y se localiza hacia los afloramientos de rocas de la unidad III en los flancos de una estructura sinclinal ubicada entre los grandes anticlinales de los Muertos y San Blas en el área de la Huasteca, N.L. En el subsuelo este sistema presenta discontinuidades estructurales longitudinales al eje del sinclinal propiciando áreas impro

ductivas en los altos estructurales y áreas productivas en los bajos estructurales, parcialmente independientes cuando los niveles piezométricos disminuyen.

. De acuerdo a las medidas piezométricas de cada zona de producción el sistema Buenos Aires se divide en cuatro subsistemas de flujo parcialmente independiente. El subsistema 1 se encuentra hacia el área de localización de los pozos 1, 2,4,5,6,14, el No. 2 en la zona de explotación de los pozos: 8,10,12,17,18,20 y 30, el subsistema 3 hacia la entrada del Cañon de la Huasteca y lo integran los pozos 28,25,33 y 39 y el subsistema 4 o subsistema Sur hacia los pozos 13, 19,26 y 27. Formando parte de este sistema se incluye a los depósitos de relle no del cuaternario en donde se emplazan las galerías "Huasteca".

. Para el Sistema Buenos Aires la lámina de recarga media anual es de 180.3 mm lo que nos da un volumen de recarga anual de 45.1 Mm<sup>3</sup> que es equivalente a -- 1 430 lps de extracción permanente.

. La perforación y explotación de pozos en el Sistema Buenos Aires no incrementa la disponibilidad total de agua en el Cañon de la Huasteca sino que prácticamente se sustituye la descarga del sistema de galerías Huasteca por medio del bombeo con pozos. A partir de 1978 en el Sistema se presenta un déficit en el almacenamiento originando que los pozos dejen de ser brotantes y la disminución del aporte de las galerías. El volumen sobreexplotado del Sistema desde el inicio de explotación alcanza los 2 Mm<sup>3</sup>.

. Para este sistema no fue posible establecer las relaciones entre la evolución dinámica de los niveles en los pozos con el cambio en el almacenamiento, ya que por un lado los pozos fueron brotantes desde el inicio de su explotación hasta 1980 por lo que los reportes de niveles del agua se referían a la cota del bro-

cal del pozo y estas no representan una medida de la pérdida de carga hidráulica. Además de que la información referente a los niveles desde 1980 hasta la fecha no es suficiente para obtener conclusiones adecuadas.

. Se presentan en forma general en el Sistema Buenos Aires dos grandes períodos en lo que respecta a la evolución de los niveles uno, denominado "brotante" y otro "de bombeo". En el período "brotante" se presentan dos etapas de abatimiento relacionadas con el incremento en la extracción; como efecto asociado de este período, está la disminución en la producción de las galerías ya que al descender el nivel en el sistema cárstico la alimentación al acuífero en rellenos fue interrumpida. El período "brotante" se puede clasificar como de subexplotado para el acuífero cárstico y de sobreexplotación en el acuífero clástico (en donde las galerías están emplazadas). El segundo período del Sistema Buenos Aires ("de bombeo") se inicia en 1980 y se caracteriza por la desaparición del suministro de las galerías y, en los pozos, estos dejan de ser brotantes. Presenta 3 etapas de abatimiento y dos de parcial recuperación. Se considera el período "de bombeo" como de sobreexplotación del sistema ya que la extracción promedio en estos últimos años fue de 57 Mm<sup>3</sup>, sobrepasando en un 32% el volumen de recarga promedio estimado de 45 Mm<sup>3</sup>.

#### SISTEMA SANTIAGO

. Es una fuente de abastecimiento con descarga natural (manantiales) la cual - está integrada por el Socavon de San Francisco, los túneles de Cola de Caballo, y el Manantial Estanzuela, los cuales descargan por un lado al acuífero emplazado en el frente de la Sierra Madre Oriental y por otro, al acuífero emplazado - en el flanco suroccidental de la Sierra de la Silla.

. El suministro del sistema esta supeditado a la descarga de las fuentes que lo integran, la cual está controlada por la incidencia de la precipitación en la zona de recarga del sistema y a la capacidad de las líneas de conducción que para el presente año es de 2 400 lps. El caudal medio de aportación del sistema para un año de precipitación normal es de  $1\ 288 \pm 222$  lps.

## VIII.2 Recomendaciones

- . Realizar periódicamente muestreos geoquímicos del agua de las diferentes fuentes, uno en estiaje y otro posterior a la temporada de lluvias. Con el objeto de atender las variaciones ocurridas en los sistemas.
- . Tomar en consideración los valores de la precipitación diaria registrada de varias estaciones en la zona con el objeto de obtener la influencia zonal de la distribución de la precipitación y aplicar las series de tiempo para determinar la estructura de las series en los datos de entrada.
- . Realizar ajustes de los datos de precipitación diaria y autocorrelaciones, establecer los armónicos de la precipitación para conocer las periodicidades y obtener la componente casual de la lluvia, con el objeto de establecer la precipitación efectiva diaria adecuada, la cual sirve de base para el posterior cálculo de la recarga.
- . Para un manejo adecuado de la fórmula de Knisel, realizar los estudios correspondientes para establecer el valor medio de la precipitación para la cual se inicia el escurrimiento en la zona de emplazamiento de los sistemas.
- . La extracción media recomendable en el Sistema Mina es de 700 lps para el estiaje y de 500 lps en temporada de lluvia con el objeto de recuperar los abatimientos y de equilibrar el sistema.
- . Para el sistema Buenos Aires, la extracción media recomendable es de 1 400 lps y por subsistemas: subsistema 1, 300 lps; subsistema 2, 500 lps y subsistema 3, 300 lps. El subsistema 4 no entró en el análisis por lo que la recomen

dación estará supeditada a observaciones posteriores, por lo pronto una extracción de 300 lps es recomendable.

. Para el sistema Santiago se recomienda ampliar las líneas de conducción - para captar las excedencias, como en el caso de Estanzuela.

. Realizar estudios más detallados para definir la relación exacta entre el acuífero cárstico y el de rellenos en el Sistema Buenos Aires. Con el objeto de determinar las condiciones para que a largo plazo pueda explotarse nuevamente las galerías y disminuir el bombeo, dado que este último resulta de mayor costo.

. Seguir con las mediciones hidrométricas y piezométricas de cada una de las fuentes y mantener actualizado los registros y datos técnicos referentes a la operación de los campos.

. Con el objeto de establecer a largo plazo una política adecuada de explotación del Sistema Mina, se propone la utilización del gráfico presentado en la LAMINA 41 con el cual se obtendrán los valores de extracción correspondientes a un comportamiento de los niveles deseados. Con esto podrá - simularse el funcionamiento hidrogeológico del acuífero y dictarse las medidas correctas para que este sistema sea una fuente de suministro complementaria confiable en el abastecimiento del AMC Monterrey.

## BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, Jr. J.M.

- 1971: Notas sobre la geología de México.  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.  
(inedito).

ANDERSON, H.T. Y SCHMIDT, A.V.

- 1983: The evolution of Middle America  
and the gulf of México-Caribbean  
sea region, during Mesozoic time:  
Geol. Soc. Am. Bull., V.94, p. 941-906.

BISHOP, S. A.

- 1972: Petrography and origin of Cretaceous  
limestone, Sierra de Picachos vicinity,  
Nuevo León, México: Journal of  
Sedimentary Petrology. V.42, p. 270-286

CONKLIN, J. y MOORE, C.

- 1977: Paleoenvironmental analysis of the Lower  
Cretaceous Cupido formation, northeast  
México. Report of investigations No. 89,  
Bureau of Economic Geology. The Univer-  
sity of Texas at Austin, Tx., U.S.A.

COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO (CPNH)

- 1978: Geoquímica de los Acuíferos del Noreste.  
Dirección de Inventarios de Agua y Suelo.  
Tinajero, G.J.A. y Velázquez, A. L., Doc.  
interno, SARH. México, D. F.
- 1979: Determinación de las posibilidades de  
abastecimiento a plantas termoeléctricas.  
Dirección de Inventarios de Agua y Suelo.  
Tinajero, G.J.A.; Velázquez, A.L., et.at,  
Doc. Interno, SARH. México, D. F.

- 1980: Determinación del funcionamiento geohidrológico de los acuíferos de la zona de Monterrey, N.L. Dirección de Inventarios de Agua y Suelo. Tinajero G.J.A., Difurt, C.A., Velázquez, A.L., et.al., Documento Interno, SARH. México, D. F.
- 1982: Posibilidades de reuso y recirculación del Agua en México. Dirección de Inventarios del Agua y Suelo. Jesus Zepeda, et. al., Documento Interno, SARH. México, D.F.
- 1983: Actualización del Inventario de Aguas Subterráneas Dirección de Inventarios de Agua y Suelo. Velázquez, A.L., Documento Interno. SARH. México, D. F.

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R.

- 1976: Hidrología Subterránea. Ed. Omega, S. A. Barcelona, España.

CHARLESTON A. SANTIAGO

- 1972: Algunos criterios utiles en la exploración geohidrológica de los acíferos calcáreos. Simposio Internacional sobre la Planificación de Recursos Hidráulicos. Ponencias, Tomo III México, D. F.
- 1973: Stratigraphy, tectonics and Hydrocarbon potential of the Lower Cretaceous, Coahuila Series, Coah. México; Univ. Michigan Ph. D. diss.
- 1975: Características Hidrogeológicas generales de la Región Bravo (VI), Plan Nacional Hidráulico, SARH. México, D. F. (Inedita).

CHAVEZ, G.R. y Canales, E.A.

- 1979: Pruebas de bombeo en Acuíferos constituidos por rocas carbonatadas. Seminario sobre aprovechamientos y manejo racional de los recursos hidráulicos subterráneos de la Península de Yucatan. Univ. Aut. de Yucatán, Fac. de Ing. Mérida, Yuc. (inedito).

DUNHAM, R.J.

- 1962: Classification of Carbonate Rocks according to depositional Texture. Am. Assoc. Petr. Geol., Memoir 1, p 108-121.

EGUILUZ, A. S.

- 1984: Fallas Transcurrentes en el Norte de México S.G.M., VII Convención Nacional. Memorias, México, D. F.

HEM, D.J.

- 1970: Study and Interpretation of the Chemical characteristics of Natural Water: U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 1473. Washington, D.C.

HUMPREY, W.E.

- 1956: Tectonic framework of northeast México. Gulf Coast. Assoc. of Geol. Soc. San Antonio Texas, Vol. 60 p.25-35.

HUMPREY, W.E. y DIAZ G.T.

- 1956: Jurassic and Lower Cretaceous Stratigraphy and Tectonics of Northeast Mexico, Informe Geológico NE-M-799, Pemex, México. (Inedito).

IMLAY, R.W.

- 1936: Evolution of the Coahuila Península, México Geol. Soc. Am. Bull. Vol. No. 47

- 1938: Geology of the Western part of the Sierra de Parras. Geol. Soc. Am. Bull. V.47., p. 1723-1744.

INGENIEROS CONSULTORES Y PROYECTISTAS (CIEPS).

- 1968: Estudio Geohidrológico de Acuíferos Regionales en Calizas, Zona Monterrey, SRH, CAPM. México.

INGENIERIA Y SISTEMAS, S.A. (INSISA)

- 1972: Estudio Geohidrológico del Estado de Nuevo León, SRH., México, D. F.

KEITH, S.

- 1982: Peleoconvergence rates determinated K2O/SiO2 ratios in magmatic rocks and their applications to Cretaceous and Tertiary tectonics patterns in southwestern North American. S.G.A., Vol. 93, No. 6, p. 524-531.

KNISEL, G.W.

- 1972: Response of Karst Aquifers to Recharge. Colorado State University. Fort Collins., Hydrology Papers, NO. 60, Col. U.S.A.

KOMATINA, M.

- 1975: Development conditions and regionalization of Karst. Int. Assoc. Hydrogeologist I.M.G.S. Series B. NO. 3, Paris, France.

LATORRE, D.C.

- 1978: Aplicación de las Técnicas Isotópicas al Estudio del Agua Subterránea. C.E.C., DESFI, UNAM. (Notas) México, D. F. (Inédito)

LESSER J.J.M., BACK W. y HANSHAW B.

- 1977: Factores Hidrogeológicos que influyen en la presencia de la línea de agua mala en la zona norte del estado de Coahuila. U.S. Geological Survey, Washington, D.C., DGZA, SARH, México D. F.

MAXEY, B.G. y MIFFLIN, D.M.

- 1966: Occurrence and Movement of Ground Water in Carbonate rocks of Nevada. Natl. Speleol. Soc. Bull., Vol. 28, No. 3.

MIFFLIN, D.M.

- 1968: Delineation of Ground Water Flow Systems in Nevada. Desert Research Institute. University of Nevada System. Tech. Rep. Series H-W. Pub. NO. 4.

MITRE-SALAZAR, M.

- 1981: Las Imágenes LANDSAT una Herramienta útil en la Interpretación Geológica Estructural. Un ejemplo en el Noreste de México. Instituto de Geología, UNAM. Vol. 5. Núm. 1.

MOTTS, W.S.

- 1968: The control of Ground-Water occurrence by Lithofacies in the Guadalupian Reef complex near Carlsbad, New México. Geol. Soc Am. Bull. 79, p. 283-298.

PAYNE, B.R. y GARCIA, E.G.

- 1974: Reporte del Estudio en base a Isótopos Ambientales. Section of Isotopic Hydrology. OIEA-SRH México, D. F. (Inedito).

PEMEX

- 1969: Estratigrafía, Geología Histórica y Tectónica del Golfo de Sabinas, COAH., Sptcia. Gral de Explo. (Inedito).

SERVICIO DE AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY (SADM)

- 1984: Reportes del Suministro de Agua Potable el área Metropolitana de Monterrey, N.L. (Ineditos).

STABLER, C.L. y MARQUEZ, D.B.

- 1977: Initiation of Lower Cretaceous Reefs in Sabinas Basin, Northeast Mexico. Report of investigations No. 89, Bureau of Economic Geology. The University of Texas at Austin. Tx. U.S.A.

TARDY, M. y RUIZ, R.R.

- 1974: Sobre la observación directa del "DECOLLEMENT" de la cobertura Mesozoica del Sector Transversal de Parras, sobre el flanco oriental del anticlinal de San Julian, Sierra Madre Oriental, Edo. de Zac., México. UNAM. Inst. de Geol., Serie de Divulgación, No. 2.

TARDY, M., SIGAL, J. GLACON, G.

- 1974-1: Bosquejo sobre la Estratigrafía y la Paleogeografía de los FLYSCH Cretácicos del Sector Transversal de Parras. S.M.O., México. UNAM. Inst. de Geol., Serie de Divulgación, No. 2

TARDY, M., LONGORIA, J.F., MARTINEZ, J., MITRE-S, L.M., PATIÑO, A.M., PADILLA y S. y RAMIREZ, R.C.

- 1974: Observaciones generales sobre la estructura de la Sierra Madre Oriental: La Aloctonia del conjunto cadena alta-altiplano central, entre Torreón Coah. y San Luis Potosi, S.L.P., México. Revista del Instituto de Geología, UNAM. p.1-11.

TARDY, M.

- 1976: Estructura de la Sierra Madre Oriental, Sector Transversal. Edo de Coah., México. III Congreso Latinoamericano de Geología. Memorias. Acapulco, Gro. México.

TINAJERO, G.S.A. y VELAZQUEZ, A.L.

- 1979: Hidrogeoquímica de los Acuíferos del Noreste. XI Congreso de Ingeniería Civil. Memorias. CICM., Mexico.

- 1981: Determinación del comportamiento Geohidrológico del Acuífero del Sistema de pozos Cerritos. Nuevo León. VI Congreso Nacional de Hidráulica Memorias. AMH. México, D. F.

TRUESDELL, H.A., JONES, F.B. y PLUMMER, L.N.

- 1978: PROGRAM WATEQF. U.S. Geological Survey. Water U.S. Geological Survey. Water Resources Division. Virginia, U.S.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (SOIL CONSERVATION SERVICE)

- 1964: National Engineering Handbook Section 4, Hydrology, Part. 1, Watershed Planning, U.S.A. Government printing Office.

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE (Weather Bureau)

- 1967: Climatological Data Texas, Ashville North Carolina, available from 1946 through 1967.

UNITED STATES DEPARTMENT OF STATE, (International Boundary and Water Commission, United States and Mexico); Comisión Internacional de Límites y Aguas. (CILA).

- 1967: Flow of the Rio Grande and Related Data., Water Bulletin, Num. 16-37 available from 1946-1967. El Paso Tx.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR.

- 1965: Chemical Geohydrology. William Back and Bruce B. Hanshaw. USGS Advances in Hydroscience, 2, Academic press, Inc. N.Y. 49-109.

"DEFINICION DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LOS  
SISTEMAS CARSTICOS DEL AREA DE MONTERREY, N. L."

APENDICE I

Relación de datos de precipitación y resultados del procesamiento para la obtención de la Lamina de recarga. Estación climatológica Mina, N. L. y Estación climatologica Comitas - (Resumen).

COMISION DE PLAN NACIONAL HIDRAULICO  
 DIRECCION GENERAL DE PLANEACION NACIONAL  
 DIRECCION DE INVESTACIONES DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRANEAS

TABLA DE PRECIPITACION Y RECARGA MENSUALES Y TOTALES ANUALES

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ACUM	PED.A	RFP
1956	0.0 0.0	3.1 0.0	0.0 0.0	9.0 1.3	16.5 1.3	3.5 0.0	5.5 0.0	4.0 0.0	24.5 0.7	0.0 0.0	10.5 .9	1.0 0.0	82.5 10.9	6.9 .9	75.0 24.0
1957	2.0 0.0	14.5 0.1	4.5 0.0	1.7 0.0	3.0 0.0	7.7 1.2	0.0 0.0	2.1 0.0	20.3 7.9	6.7 .9	1.1 0.0	7.5 0.0	76.7 10.0	6.4 1.1	41.0 33.0
1958	10.0 1.0	7.0 0.0	0.0 0.0	3.0 0.0	1.0 0.0	59.5 22.9	27.0 9.0	53.0 19.8	271.0 174.8	185.0 61.2	9.5 0.0	0.0 1.3	620.0 310.0	51.7 25.8	41.0 58.0
1959	0.0 0.0	40.0 10.1	2.0 0.0	11.5 1.5	24.5 7.1	74.0 24.2	12.0 4.0	0.0 0.0	34.3 8.2	51.0 17.0	65.0 43.8	0.0 0.0	348.3 129.3	20.0 10.8	83.0 66.0
1960	0.0 0.0	22.5 4.5	0.0 0.0	0.0 0.0	1.5 0.0	17.5 1.3	0.5 1.2	70.5 20.0	64.0 12.9	43.0 12.9	11.0 0.0	22.5 4.5	269.0 57.4	22.4 4.8	83.0 58.0
1961	0.5 0.0	2.5 0.0	2.0 0.0	26.5 8.0	7.0 1.0	57.0 12.5	66.0 37.0	29.0 4.5	15.5 0.0	23.0 4.0	5.0 0.0	0.0 0.0	243.0 76.5	20.3 6.4	41.0 30.0
1962	0.0 0.0	3.5 0.0	4.5 0.0	12.0 2.1	9.0 .9	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	18.0 3.5	0.0 0.0	16.0 0.0	5.0 0.0	68.0 6.7	5.7 .6	58.0 25.0
1963	0.0 0.0	1.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	20.0 5.1	7.0 0.0	0.0 0.0	2.5 0.0	118.5 60.1	24.0 4.5	10.5 .9	22.0 2.5	205.5 73.0	17.1 6.1	68.0 41.0
1964	0.5 1.5	0.5 0.1	0.5 0.0	10.0 1.0	10.0 2.1	3.0 0.0	1.5 0.0	18.5 12.5	40.0 5.9	17.5 5.5	37.5 9.5	5.5 0.0	190.5 37.0	18.9 3.2	100.0 58.0
1965	0.5 2.0	3.5 0.0	2.5 0.0	1.5 1.0	21.5 7.9	13.0 1.0	4.5 0.0	2.0 0.0	79.0 40.5	20.5 2.2	19.0 2.1	62.0 20.2	234.0 79.8	10.5 6.6	41.0 30.0
1966	0.0 17.0	12.5 0.0	4.5 0.0	41.5 15.8	44.5 8.4	33.5 8.4	10.5 2.3	0.0 0.0	3.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	5.5 0.0	227.5 81.4	19.0 5.1	75.0 30.0
1967	19.0 2.1	14.0 0.0	0.0 0.0	30.0 15.0	5.0 0.0	2.5 0.0	11.5 2.7	171.0 94.7	220.5 113.4	3.5 0.0	13.8 0.0	6.0 0.0	487.8 228.8	40.7 19.1	41.0 30.0
1968	18.5 1.7	12.5 0.0	19.0 2.1	21.0 3.0	24.0 4.0	5.5 0.0	47.5 16.2	50.0 20.0	31.5 5.0	30.5 0.0	12.0 0.0	1.0 0.0	289.0 63.9	24.1 5.3	100.0 68.0
1969	0.0 0.0	17.5 0.0	0.0 0.0	17.0 2.5	3.0 0.0	42.0 10.0	1.0 0.0	71.0 13.0	34.5 12.9	0.0 0.0	25.0 3.0	34.0 20.3	240.0 73.0	20.0 6.1	75.0 58.0
1970	22.0 0.0	23.0 3.4	0.0 0.0	1.0 0.0	11.5 2.7	27.5 9.0	42.0 17.0	0.0 0.0	94.0 46.6	5.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	225.0 84.2	18.8 7.0	58.0 30.0
1971	1.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 1.0	24.5 4.0	147.5 63.9	30.5 10.4	51.0 7.8	183.0 101.6	44.5 10.7	0.0 0.0	0.0 0.0	492.0 199.0	41.0 16.6	58.0 30.0

COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDROLOGICO  
 DIRECCION GENERAL DE PLANIFICACION NACIONAL  
 DIRECCION DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRANEAS

LAMINAS DE RECARGA Y RECARGA MENSUALES Y TOTALES ANUALES

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ACUM	MDA	FMF
1972	11.0 0.9	4.0 0.0	5.0 0.0	5.0 0.0	37.0 4.0	30.5 7.1	37.5 20.3	12.0 1.7	70.0 36.7	8.0 0.0	33.5 15.9	1.0 0.0	254.5 87.0	21.4 7.7	100.0 58.0
1973	24.5 0.9	19.5 1.5	6.0 0.0	8.0 0.0	15.5 1.5	136.1 76.0	27.5 9.8	74.5 26.7	127.0 64.7	26.5 6.1	0.0 0.0	4.0 0.0	457.1 187.1	18.1 15.6	83.0 66.0
1974	1.5 0.0	0.0 0.0	6.0 0.0	3.0 0.0	5.0 0.0	17.0 5.8	3.0 0.0	0.0 0.0	68.0 22.7	14.0 0.0	6.0 0.0	4.0 0.0	121.5 28.5	10.1 2.4	75.0 16.0
1975	6.0 0.0	10.5 2.7	1.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	83.0 34.2	110.0 43.4	131.0 71.1	14.5 3.2	0.0 0.0	35.5 9.1	391.5 163.3	32.5 13.6	66.0 50.0
1976	5.0 0.0	1.0 0.0	3.0 0.0	64.0 31.4	30.0 6.4	16.5 1.0	217.0 128.5	1.0 0.0	30.5 3.4	26.5 3.7	145.0 90.0	21.5 4.3	570.0 267.6	47.5 22.3	100.0 86.0
1977	12.0 1.0	6.5 0.0	0.0 0.0	11.0 1.5	3.0 0.0	10.0 2.1	0.0 0.0	19.0 3.8	41.0 18.0	27.0 4.1	0.0 0.0	2.5 0.0	132.0 30.4	11.0 2.5	75.0 50.0
1978	5.5 0.0	2.0 0.0	6.0 0.0	0.0 0.0	3.0 0.0	12.0 2.9	0.0 0.0	44.0 24.5	123.0 53.1	21.5 2.3	14.3 1.0	0.0 0.0	238.8 88.8	10.9 7.4	75.0 41.0
1979	4.5 0.0	1.5 0.0	20.0 3.4	9.5 1.4	35.5 15.4	30.5 6.9	0.0 0.0	5.5 16.5	47.0 0.0	0.0 0.0	10.5 0.0	41.0 9.6	214.5 53.7	17.9 4.5	83.0 50.0
1980	0.0 0.0	10.0 3.4	6.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	65.0 36.5	64.0 29.0	24.0 3.2	14.5 2.9	3.0 0.0	191.5 75.1	16.0 6.3	50.0 41.0
1981	10.5 3.4	11.0 0.0	27.5 2.3	57.0 10.7	111.5 53.5	3.5 0.0	11.0 2.5	1.0 0.0	44.5 7.1	26.0 7.9	0.0 0.0	0.0 0.0	308.5 95.4	25.7 7.9	83.0 58.0
1982	0.0 0.0	3.0 0.1	0.0 0.0	15.0 0.0	14.5 1.3	0.0 0.0	21.2 4.7	27.0 6.1	39.5 9.7	8.5 0.0	14.5 0.0	14.0 1.7	157.2 23.5	13.1 2.0	75.0 41.0

001 S. D. S. D. D. CP.	12.1	16.0	7.7	10.0	19.0	33.5	34.0	41.7	75.7	20.9	23.5	14.0			
002 S. D. S. D. D. CP.	3.5	4.2	2.6	0.5	0.0	15.0	20.3	24.4	37.6	4.6	17.1	0.2			
003 S. D. S. D. D. CP.	9.6	10.0	3.7	16.0	10.4	20.5	25.8	31.9	74.7	23.5	17.4	11.4			
004 S. D. S. D. D. CP.	1.1	1.0	0.3	3.0	5.0	9.8	11.3	12.5	34.0	6.1	6.3	2.7			
005 S. D. S. D. D. CP.	74.0	92.0	60.0	77.0	92.0	15.0	74.0	81.0	100.0	81.0	74.0	77.0			
006 S. D. S. D. D. CP.	0.0	3.0	11.0	44.0	62.0	62.0	54.0	55.0	92.0	62.0	37.0	33.0			

007 S. D. S. D. D. CP.	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	77.0	74.0	62.0	40.0	85.0	88.0	92.0			
008 S. D. S. D. D. CP.	3.0	0.0	0.0	14.0	7.0	14.0	22.0	33.0	33.0	11.0	7.0	7.0			
009 S. D. S. D. D. CP.	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	7.0	0.0	3.0	14.0	3.0	3.0	0.0			
010 S. D. S. D. D. CP.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0			

COMISION DE PLANIFICACION NACIONAL HIDRAULICO  
 DIRECCION GENERAL DE PLANIFICACION NACIONAL  
 DIRECCION DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRANEAS

---

VALORES DE LA PRECIPITACION PROMEDIO DIARIA, PRECIPITACION MEDIA  
 DIARIA Y FRECUENCIA DE LOS DIAS CON PRECIPITACION, EN  
 EL PERIODO 1956-1982 PRESTACION MINA S.L.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PRECIPITACION MEDIA DIARIA (1956-1982)												
1	.4	1.1	.1	0.0	.1	.1	.1	1.1	4.4	.1	2.1	1.1
2	.3	.1	0.0	.2	1.4	1.7	0.0	1.4	2.6	.4	.1	.7
3	.2	.4	.4	.1	1.5	1.2	.0	.4	1.2	1.7	.2	.8
4	.9	.1	.1	1.7	.7	.4	1.3	.6	1.2	.7	.1	.2
5	.7	0.0	0.0	.6	.2	1.0	2.4	.5	3.4	.3	.4	.2
6	.4	.1	0.0	.4	0.0	.8	.2	.2	2.2	.2	.3	.3
7	.3	.1	.1	0.0	0.0	.6	1.6	.5	4.5	.7	.8	.1
8	.2	.1	.1	.4	0.0	0.0	1.3	1.5	.6	.1	.1	0.0
9	.6	.2	.0	.1	.3	.1	.9	.6	2.3	0.0	.3	.5
10	.2	.1	.3	.1	.6	.4	1.2	1.9	1.4	1.8	.0	.3
11	.1	.4	.1	.4	.4	.7	.5	2.7	1.6	1.2	.4	.3
12	0.0	.6	.3	.3	.8	1.1	.1	2.3	0.5	.5	.1	.7
13	1.1	.4	0.0	.0	.5	2.2	.5	.3	2.4	1.4	.1	.8
14	0.0	.7	.0	1.1	.5	.1	1.4	1.1	.7	1.4	.1	.1
15	.2	.1	.2	1.2	.1	.8	1.4	.2	.7	1.2	.1	1.2
16	.4	.0	.6	.4	1.2	1.1	3.6	1.2	2.8	1.1	2.3	.0
17	.1	1.0	.6	.0	3.1	2.0	.1	2.0	.8	.4	.6	.1
18	.2	.2	.0	.4	1.1	1.4	0.0	.0	.7	1.8	.2	.8
19	.1	.3	.2	.6	0.0	1.3	.3	.4	1.1	.0	.3	.2
20	.4	.9	0.0	.3	1.3	.1	.1	.3	2.4	1.0	.2	0.0
21	.3	.4	.1	0.0	.3	1.8	3.1	.2	4.4	.3	1.7	.0
22	.6	.5	.0	.0	0.0	.9	.1	.2	3.5	.2	1.5	.0
23	.1	.4	0.0	.1	.4	2.0	0.0	3.3	5.1	.3	.1	.0
24	.6	.1	0.0	.2	.9	1.9	0.0	3.1	.8	.8	.3	.5
25	.2	.3	.2	0.1	0.0	1.4	.2	1.4	1.1	1.9	.2	.0
26	0.0	.1	0.0	1.1	.1	.9	.1	.5	3.3	1.3	.6	.1
27	.1	.1	.1	.1	.1	1.9	.4	1.1	2.2	.7	2.3	.1
28	.0	.3	.1	.1	1.1	.2	.2	1.3	1.1	1.1	.7	0.0
29	.6	0.0	.0	.9	1.1	.4	1.5	1.5	.4	.4	.7	2.0
30	.1	0.0	0.0	1.1	.4	.0	0.0	1.1	.5	.4	.3	.2
31	.1	0.0	0.0	0.0	.2	0.0	.9	4.3	0.0	.0	0.0	.0

COMISION GENERAL DE PLANEACION NACIONAL HIDRAULICO  
 DIRECCION GENERAL DE PLANEACION NACIONAL  
 DIRECCION DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRANEAS

VALORES DE LA PRECIPITACION PROMEDIO DIARIA, PRECIPITACION MEDIA  
 DIARIA Y FRECUENCIA DE LOS DIAS CON PRECIPITACION EN  
 EL PERIODO 1956-1962 ESTACION MINA 01.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PRECIPITACION PROMEDIO DIARIA (1956-1962)												
1	3.3	16.2	2.0	6.0	2.0	3.5	2.0	14.3	24.0	1.3	57.0	7.4
2	2.0	3.4	0.0	2.4	5.4	15.5	0.0	12.2	11.0	4.0	3.5	9.5
3	1.5	4.4	5.5	1.0	8.2	0.1	.5	2.2	7.9	11.4	1.5	11.3
4	4.3	1.0	2.0	14.3	4.4	5.3	29.3	7.0	7.9	4.0	1.2	4.5
5	4.5	0.0	0.0	7.5	1.0	4.5	16.2	3.4	18.6	2.3	2.0	3.3
6	2.5	1.3	0.0	0.0	0.0	27.0	6.5	3.0	12.0	2.0	3.0	3.8
7	3.0	1.0	1.5	1.0	0.0	5.0	14.7	14.5	20.4	6.2	3.0	1.5
8	3.0	4.0	4.0	12.0	0.0	6.0	11.9	20.3	4.1	1.0	1.0	0.0
9	0.3	2.0	1.0	3.5	7.0	3.5	7.0	3.0	12.2	0.0	2.0	4.7
10	4.0	3.0	4.0	2.0	5.2	10.0	16.5	10.1	5.0	16.2	.6	2.0
11	3.0	15.0	1.5	6.0	7.5	6.0	7.0	14.0	7.2	6.0	6.0	2.7
12	0.0	5.0	3.0	1.7	4.1	15.0	3.0	21.0	36.5	4.7	2.5	6.3
13	0.0	3.0	0.0	.7	3.5	12.1	7.3	3.0	8.0	12.2	1.5	5.3
14	0.0	0.0	1.0	6.1	6.5	1.5	12.0	9.0	9.0	7.0	1.0	2.0
15	0.0	2.5	2.0	14.7	1.3	7.2	9.1	1.7	4.0	11.0	3.0	6.0
16	2.0	1.0	5.3	4.5	6.0	6.0	34.0	16.3	10.0	7.3	31.3	1.0
17	2.0	0.0	2.0	4.1	20.0	0.1	2.5	54.5	5.0	1.9	5.3	1.0
18	2.1	1.0	.5	3.3	7.4	0.2	0.0	.5	4.0	12.0	4.5	7.5
19	1.3	2.7	4.5	3.0	0.0	11.7	4.5	3.4	7.0	1.0	4.3	4.5
20	5.0	4.3	6.0	3.0	0.9	3.5	1.5	1.0	16.1	4.7	2.0	0.0
21	2.7	4.3	2.0	0.0	2.3	48.0	41.5	3.3	28.3	2.5	11.4	4.3
22	7.5	4.3	1.0	4.0	0.0	6.1	1.5	2.3	13.4	2.2	8.3	4.4
23	1.5	4.0	0.0	1.0	4.5	18.3	0.0	22.4	17.3	2.0	2.0	1.2
24	0.0	1.1	0.0	2.5	12.3	0.5	0.0	0.0	10.5	11.0	2.0	4.7
25	1.0	3.5	3.0	0.0	0.0	19.0	5.5	9.0	5.0	8.4	2.0	1.0
26	0.0	2.5	0.0	28.5	2.5	3.4	3.5	7.0	9.9	7.1	4.0	1.5
27	1.5	2.0	1.5	1.3	1.1	13.1	11.0	7.3	15.1	3.0	15.3	1.5
28	.5	3.0	4.0	.0	9.0	1.5	1.5	8.6	5.0	7.1	4.0	0.0
29	5.3	0.0	1.0	12.0	15.0	10.5	10.4	20.3	3.7	2.0	6.7	13.4
30	2.0	0.0	0.0	7.1	2.2	.5	0.0	7.4	4.5	4.0	3.5	1.0
31	2.0	0.0	0.0	6.0	5.0	0.0	12.5	19.2	0.0	1.0	0.0	.1

COMISION FEDERAL DE PLANEACION NACIONAL HIDRAULICO  
 DIRECCION FEDERAL DE PLANEACION NACIONAL  
 DIRECCION DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRANIAS

VALORES DE LA PRECIPITACION PROMEDIO DIARIA, PRECIPITACION MEDIA  
 DIARIA Y FRECUENCIA DE LOS DIAS CON PRECIPITACION, EN  
 EL PERIODO 1956-1982 ESTACION MINAHUAL.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCI	NOV	DIC
FRECUENCIA DE DIAS CON PRECIPITACION (1956-1982)												
1	11.0	11.0	3.0	0.0	3.0	3.0	3.0	7.0	18.0	7.0	3.0	14.0
2	13.0	3.0	0.0	7.0	25.0	11.0	0.0	11.0	22.0	11.0	3.0	7.0
3	11.0	7.0	7.0	3.0	18.0	14.0	3.0	18.0	14.0	14.0	11.0	7.0
4	22.0	7.0	7.0	11.0	14.0	7.0	11.0	7.0	14.0	14.0	11.0	3.0
5	22.0	5.0	0.0	11.0	11.0	22.0	14.0	14.0	18.0	14.0	14.0	7.0
6	14.0	7.0	0.0	11.0	0.0	3.0	3.0	7.0	10.0	11.0	11.0	7.0
7	7.0	7.0	3.0	0.0	0.0	11.0	11.0	3.0	22.0	11.0	22.0	3.0
8	7.0	3.0	3.0	3.0	0.0	0.0	14.0	7.0	14.0	7.0	7.0	0.0
9	7.0	7.0	3.0	7.0	7.0	3.0	11.0	14.0	18.0	0.0	14.0	11.0
10	3.0	3.0	7.0	3.0	11.0	3.0	7.0	18.0	25.0	11.0	7.0	11.0
11	3.0	3.0	3.0	7.0	7.0	11.0	7.0	14.0	22.0	18.0	7.0	11.0
12	0.0	14.0	7.0	18.0	18.0	7.0	3.0	11.0	25.0	11.0	3.0	11.0
13	11.0	14.0	0.0	3.0	14.0	18.0	7.0	11.0	33.0	11.0	3.0	14.0
14	0.0	7.0	3.0	18.0	7.0	3.0	11.0	11.0	7.0	18.0	11.0	7.0
15	3.0	3.0	7.0	11.0	11.0	11.0	14.0	11.0	14.0	11.0	3.0	18.0
16	18.0	3.0	11.0	11.0	18.0	18.0	11.0	7.0	25.0	14.0	7.0	3.0
17	3.0	14.0	22.0	18.0	14.0	22.0	3.0	3.0	14.0	22.0	11.0	7.0
18	7.0	11.0	3.0	11.0	14.0	14.0	0.0	3.0	14.0	14.0	3.0	11.0
19	7.0	11.0	3.0	14.0	0.0	11.0	7.0	11.0	14.0	3.0	7.0	3.0
20	7.0	22.0	0.0	7.0	14.0	3.0	7.0	14.0	14.0	22.0	11.0	0.0
21	11.0	18.0	3.0	0.0	11.0	3.0	7.0	7.0	29.0	11.0	14.0	3.0
22	7.0	11.0	3.0	14.0	0.0	14.0	3.0	7.0	25.0	11.0	18.0	3.0
23	3.0	7.0	0.0	7.0	7.0	11.0	0.0	14.0	29.0	14.0	3.0	3.0
24	7.0	7.0	0.0	7.0	7.0	22.0	0.0	0.0	29.0	7.0	11.0	11.0
25	11.0	7.0	7.0	0.0	0.0	7.0	3.0	14.0	18.0	22.0	11.0	3.0
26	0.0	3.0	0.0	3.0	3.0	25.0	3.0	7.0	33.0	18.0	14.0	3.0
27	7.0	3.0	3.0	11.0	11.0	14.0	3.0	14.0	14.0	18.0	14.0	3.0
28	3.0	7.0	3.0	14.0	11.0	11.0	11.0	14.0	18.0	14.0	14.0	0.0
29	11.0	0.0	3.0	7.0	7.0	3.0	14.0	7.0	11.0	14.0	11.0	14.0
30	3.0	0.0	0.0	14.0	18.0	3.0	0.0	14.0	11.0	11.0	7.0	11.0
31	7.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	7.0	22.0	0.0	3.0	0.0	3.0

COMISIÓN DEL PLAN NACIONAL HIDRÁULICO  
 DIRECCIÓN GENERAL DE PLANTACIÓN NACIONAL  
 DIRECCIÓN DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRÁNEAS

---

VALORES DE LA PRECIPITACION EFECTIVA (L.A.M. DE RECARGA) DIARIA, L.A.M. DE RECARGA MEDIA DIARIA Y FRECUENCIA DE LOS DIAS CON LAMINA DE RECARGA EN EL PERIODO 56-192 MINA N. L.

	FEB	FEF	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCI	NOV	DIC
LAMINA DE RECARGA PROMEDIO DIARIA (1956-1982) MILIMETROS												
1	1.0	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	16.1	0.0	43.8	12.7
2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	10.9	0.0	3.2	5.9	0.0	0.0	6.4
3	0.0	2.3	2.1	0.0	3.3	4.4	0.0	0.0	2.3	4.8	0.0	7.1
4	4.0	0.0	0.0	23.3	1.4	0.0	65.2	1.9	3.0	4.3	0.0	0.0
5	1.7	0.0	0.0	2.5	0.0	2.9	5.8	1.5	31.0	0.0	0.0	0.0
6	1.0	0.0	0.0	7.1	0.0	9.4	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.4	4.3	39.4	2.3	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	4.6	8.0	1.9	0.0	0.0	0.0
9	1.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	2.7	1.7	4.4	0.0	0.0	1.7
10	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.1	6.1	5.2	3.4	29.5	0.0	0.0
11	0.0	4.5	0.0	1.9	3.7	2.3	3.4	21.4	6.9	11.0	2.1	0.0
12	0.0	2.2	1.0	0.0	1.5	14.5	0.0	11.0	35.4	0.0	0.0	4.3
13	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	1.0	3.1	6.3	0.0	1.8
14	0.0	4.5	0.0	0.0	1.9	0.0	5.7	3.9	4.0	4.7	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	5.8	0.0	1.5	4.7	0.0	3.5
16	0.0	0.0	3.4	1.9	1.7	2.0	20.6	5.4	4.2	2.6	40.2	0.0
17	0.0	0.0	1.7	1.5	16.5	6.5	0.0	41.3	1.6	0.0	1.9	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	5.9	0.0	0.0	2.5	5.8	0.0	4.8
19	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	16.4	1.2	1.7	4.1	0.0	1.2	0.0
20	1.3	1.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	10.0	1.7	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.7	24.0	0.0	23.0	0.0	8.8	0.0
22	3.4	2.5	0.0	2.3	0.0	5.8	0.0	0.0	7.1	0.0	5.4	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	33.6	0.0	17.4	11.2	0.0	0.0	0.0
24	5.1	0.0	0.0	0.0	7.1	2.8	0.0	0.0	21.2	7.9	0.0	1.3
25	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	7.2	0.0	3.7	1.7	5.2	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	15.6	0.0	1.0	0.0	3.4	10.7	5.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	2.5	3.0	15.6	1.1	38.8	0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	2.0	5.5	2.8	0.0	0.0
29	1.2	0.0	0.0	0.0	15.4	2.3	4.1	9.6	1.7	1.0	2.7	12.3
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	2.1	0.0	0.0	0.0
31	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	9.8	11.9	0.0	0.0	0.0	0.0

COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDROLOGICO  
 DIRECCION GENERAL DE PLANIFICACION NACIONAL  
 DIRECCION DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRANEAS

---

VALORES DE LA PRECIPITACION EFECTIVA (L.A., DE RECARGA) DIARIA, LA  
 MEDIANZA DE RECARGA DIARIA Y FRECUENCIA DE LOS DIAS CON  
 LA MEDIANZA DE RECARGA EN EL PERIODO 56-62, MINA N. L.

LAMINA DE RECARGA MEDIA DIARIA (1956-1962)

MILIMETROS

1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.4	0.0	1.6	0.5
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.9	0.0	0.0	0.2
3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.0	0.0	0.3	0.5	0.0	0.3
4	0.2	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	2.4	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0
5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.4	0.1	2.3	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	2.9	0.1	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0
9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.6	0.0	0.0	0.1
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.6	0.3	1.1	0.0	0.0
11	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	1.6	0.5	0.4	0.1	0.0	0.0
12	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.5	0.0	1.2	0.6	0.0	0.0	0.2
13	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.1	0.0	0.7	0.5	0.0	0.1
14	0.0	0.2	0.0	0.3	0.1	0.0	0.4	0.3	0.1	0.3	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.2	0.4	0.0	0.1	0.3	0.0	0.3
16	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	2.3	0.4	0.0	0.2	1.8	0.0
17	0.0	0.2	0.0	0.1	1.8	0.7	0.0	1.5	0.1	0.0	0.1	0.0
18	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0	0.0	0.1	0.6	0.0	0.2
19	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.1	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	1.1	0.2	0.0	0.0
21	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3	2.1	0.0	5.1	0.0	0.7	0.0
22	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	1.3	0.0	0.4	0.0
23	0.1	0.0	0.1	1.6	0.4	1.2	0.0	1.9	2.5	0.0	0.0	0.0
24	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0	0.0	1.6	0.3	0.0	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.4	0.2	0.6	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	0.4	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.2	1.2	0.1	1.4	0.0
28	0.0	0.0	0.0	1.0	0.3	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0
29	0.1	0.0	0.0	0.3	0.6	0.1	0.5	0.7	0.1	0.0	0.1	0.0
30	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0

COMISION DE PLAN NACIONAL HIDRAULICO  
 DIRECCION GENERAL DE PLANIFICACION NACIONAL  
 DIRECCION DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRANEAS

VALORES DE LA PRECIPITACION EFECTIVA (L.A.M. DE RECARGA) DIARIA, L.A.M. DE RECARGA MEDIA DIARIA Y FRECUENCIA DE LOS DIAS CON L.A.M. DE RECARGA EN EL PERIODO 56-82 MINIMALES.

	FRECUENCIA DE LOS DIAS CON L.A.M. DE REC. (1956-1982)											(%)
1	7.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	14.0	0.0	3.0	3.0
2	3.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.0	0.0	11.0	14.0	3.0	0.0	3.0
3	0.0	3.0	7.0	0.0	11.0	7.0	0.0	0.0	11.0	11.0	0.0	3.0
4	1.0	0.0	0.0	3.0	7.0	0.0	3.0	3.0	7.0	3.0	0.0	0.0
5	7.0	0.0	0.0	3.0	0.0	3.0	14.0	3.0	7.0	0.0	0.0	0.0
6	3.0	0.0	0.0	3.0	0.0	3.0	3.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	7.0	3.0	7.0	3.0	3.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	7.0	7.0	3.0	0.0	0.0	0.0
9	7.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	7.0	3.0	14.0	0.0	0.0	3.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0	7.0	11.0	7.0	3.0	0.0	0.0
11	0.0	3.0	0.0	3.0	3.0	3.0	3.0	7.0	7.0	3.0	3.0	0.0
12	0.0	7.0	3.0	0.0	3.0	3.0	0.0	11.0	14.0	3.0	0.0	3.0
13	7.0	0.0	0.0	0.0	3.0	11.0	3.0	3.0	22.0	7.0	0.0	7.0
14	0.0	3.0	0.0	3.0	3.0	0.0	7.0	7.0	3.0	7.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	3.0	7.0	0.0	3.0	7.0	0.0	7.0
16	0.0	0.0	3.0	3.0	11.0	7.0	11.0	7.0	14.0	7.0	3.0	0.0
17	0.0	3.0	3.0	3.0	11.0	11.0	0.0	3.0	7.0	0.0	3.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.0	0.0	0.0	3.0	11.0	0.0	3.0
19	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	3.0	3.0	3.0	7.0	0.0	3.0	0.0
20	1.0	3.0	0.0	3.0	7.0	0.0	0.0	0.0	11.0	11.0	0.0	0.0
21	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	3.0	7.0	0.0	22.0	0.0	7.0	0.0
22	7.0	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0	0.0	14.0	0.0	7.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0	0.0	11.0	22.0	0.0	0.0	0.0
24	7.0	0.0	0.0	0.0	3.0	14.0	0.0	0.0	7.0	3.0	0.0	3.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	11.0	11.0	11.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0	11.0	7.0	3.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	7.0	7.0	7.0	7.0	3.0	0.0
28	0.0	3.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	11.0	3.0	7.0	7.0	0.0
29	7.0	0.0	0.0	3.0	3.0	3.0	11.0	7.0	3.0	3.0	3.0	7.0
30	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	7.0	3.0	0.0	0.0	0.0
31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0

LAMINAS DE PRECIPITACION Y RECARGA MENSUALES Y TOTALES ANUALES ESTACION COMITAS  
SISTEMA HIDROGEOLOGICO BUENOS AIRES

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	LAMINA DE RECARGA		
													AC.AN.	MED.AN.	PROM.AN.
1966	62.0	10.0	0.0	13.0	83.0	38.0	17.0	54.0	38.0	45.0	2.0	0.0			
	16.2	0.0	0.0	2.5	23.0	9.1	3.1	12.2	11.9	15.2	0.0	0.0	93.24	7.77	11.65
1967	16.0	0.0	37.0	5.0	12.0	13.0	48.0	304.0	286.4	51.0	0.0	0.0			
	5.1	0.0	8.8	0.0	1.0	1.7	15.2	179.1	164.0	20.9	0.0	0.0	395.76	32.98	49.50
1968	13.0	8.0	13.0	4.0	14.0	26.0	43.0	54.0	83.5	55.0	0.0	0.0			
	16.3	1.3	1.3	0.0	1.3	4.2	12.2	29.4	26.5	16.5	0.0	0.0	94.00	7.83	10.44
1969	0.0	8.0	0.0	19.0	17.0	32.0	34.0	104.0	186.0	13.0	41.0	18.0			
	0.0	1.0	0.0	2.1	3.1	6.4	10.3	31.0	113.1	1.3	18.3	6.4	192.90	16.07	19.29
1970	0.0	33.0	0.0	27.0	22.0	46.0	62.0	50.0	81.0	0.0	0.0	0.0			
	0.0	11.5	0.0	13.6	6.4	22.3	30.1	13.2	19.2	0.0	0.0	0.0	116.30	9.69	16.61
1971	0.0	0.0	7.0	0.0	14.0	87.0	49.0	169.0	158.0	83.0	0.0	11.4			
	0.0	0.0	1.0	0.0	2.1	21.2	15.2	52.5	75.4	34.8	0.0	2.1	204.30	17.02	25.53
1972	5.0	5.0	4.0	2.0	35.0	26.0	77.0	0.0	83.0	43.0	0.0	1.0			
	1.0	0.0	0.0	0.0	5.5	3.3	39.1	0.0	34.0	18.2	0.0	0.0	101.10	8.40	16.85
1973	6.0	28.0	0.0	3.0	8.0	361.0	17.0	41.4	61.0	15.0	0.0	0.0			
	0.0	6.4	0.0	0.0	1.3	263.4	2.9	4.5	19.6	2.9	0.0	0.0	301.00	25.08	43.00
1974	0.0	0.0	15.0	0.0	36.0	24.0	0.0	24.0	174.0	14.0	2.0	5.0			
	0.0	0.0	2.1	0.0	11.8	1.0	0.0	4.5	123.9	2.1	0.0	0.0	145.40	12.12	24.23
1975	5.0	3.0	0.0	0.0	14.0	41.0	119.0	47.0	202.0	14.0	0.0	24.0			
	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	16.4	54.1	12.7	133.6	1.7	0.0	6.4	225.90	18.82	32.27
1976	0.0	0.0	4.0	27.0	37.0	61.0	170.0	76.8	90.0	24.0	123.0	20.0			
	0.0	0.0	0.0	4.5	5.6	20.6	73.2	19.8	38.3	4.5	48.9	0.0	215.40	17.95	26.92
1977	10.0	7.0	0.0	12.0	11.0	4.0	50.0	0.0	299.0	32.0	0.0	0.0			
	2.1	0.0	0.0	1.0	0.4	0.0	12.8	0.0	220.0	8.6	0.0	0.0	244.50	20.37	48.90
1978	15.0	3.0	0.0	31.5	16.0	40.0	24.0	111.0	149.0	78.0	7.0	5.0			
	2.5	0.0	0.0	10.2	5.1	17.3	3.9	27.4	38.1	26.4	0.0	0.0	130.90	10.90	16.36
1979	2.0	6.0	0.0	6.0	66.0	92.0	4.0	70.0	71.0	0.0	0.0	68.0			
	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	43.5	0.0	19.8	23.4	0.0	0.0	28.3	142.00	11.83	28.40
1980	0.0	5.0	0.0	11.0	13.0	7.5	17.2	80.6	72.3	98.1	8.7	0.0			
	0.0	0.0	0.0	1.3	1.7	0.0	3.1	45.7	30.9	30.7	1.6	0.0	115.00	9.58	16.43
1981	41.6	11.6	2.3	38.8	74.5	73.6	42.4	59.5	148.7	10.3	7.5	0.0			
	6.4	0.0	0.0	4.7	20.7	28.6	12.7	27.8	82.1	0.0	1.2	0.0	184.20	15.35	23.02
1982	0.0	31.8	0.0	39.3	73.3	3.4	51.0	69.2	83.0	54.2	11.95	9.53			
	0.0	18.1	0.0	10.7	29.3	0.0	13.80	20.20	48.8	13.9	4.37	2.7	161.87	9.52	17.99
REG. MED.	11.00	9.73	4.84	14.03	32.10	53.38	47.91	77.32	133.28	37.03	11.95	9.52			
MAX	2.04	2.25	0.78	2.98	8.58	27.00	17.74	29.40	70.75	11.63	4.37	2.70			
MINIMO	4.90	7.70	3.30	5.60	9.10	32.80	20.10	33.30	70.75	14.10	18.59	9.18			
REGULARIDAD	41.18	29.41	23.53	52.94	94.12	82.35	88.24	100.0	82.35	29.41	29.41	29.42			

"DEFINICION DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LOS  
SISTEMAS CARSTICOS DEL AREA DE MONTERREY, N. L."

APENDICE II

Relación de datos de extracción mensual-  
y promedio anual de las principales fuen  
tes de suministro de agua potable a Mon-  
terrey, N. L.

COMISIÓN DE PLAN NAC I O N A L H I D R A U L I C O  
 DIRECCIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN NACIONAL  
 DIRECCIÓN DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRÁNEAS

---

DATOS DE EXTRACCIÓN MENSUAL Y PROMEDIO ANUAL  
 SISTEMA HIDROGEOLÓGICO SANTIAGO - ESTANZUELA (D=LPS)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PRO. ANUAL
1954	70	47	73	71	70	20	24	28	38	69	80	65	47
1955	57	54	44	50	32	35	67	87	79	83	81	80	61
1956	65	53	45	45	43	41	34	28	42	20	23	26	39
1957	19	24	22	21	25	20	0	0	0	0	101	91	32
1958	0	0	0	28	20	20	20	26	20	76	101	91	32
1959	90	79	71	61	53	50	46	47	58	47	29	15	55
1960	12	0	12	13	12	10	11	20	54	77	76	67	31
1961	55	42	29	28	58	15	18	34	40	71	65	50	34
1962	39	29	27	26	18	24	31	18	39	65	66	60	36
1963	40	32	33	38	71	55	60	45	43	66	55	39	48
1964	56	29	23	39	24	33	28	29	34	50	62	42	36
1965	36	29	22	19	16	16	12	17	17	65	56	45	31
1966	42	45	60	55	79	63	77	78	64	69	63	67	64
1967	66	56	64	54	32	13	8	67	84	73	54	38	51
1968	44	46	48	61	41	40	124	98	76	130	106	121	77
1969	121	121	110	91	98	86	75	75	102	105	96	132	100
1970	138	139	112	69	69	43	52	70	69	130	130	130	96
1971	60	69	35	42	30	32	65	72	84	80	80	80	60
1972	73	55	42	20	20	63	80	80	80	80	80	80	63
1973	20	20	20	26	20	20	20	20	20	20	20	20	18
1974	70	80	64	53	42	38	35	35	47	80	80	70	58
1975	70	76	60	48	43	59	60	128	94	65	90	80	73
1976	70	75	62	44	41	37	104	145	137	137	139	140	95
1977	127	115	99	84	66	45	43	43	144	145	136	93	96
1978	71	66	54	52	40	55	36	34	93	72	68	70	59
1979	70	70	64	52	41	66	60	43	64	70	65	60	60
1980	60	61	33	35	25	23	32	50	57	58	70	70	46
1981	70	74	70	70	80	80	80	80	80	80	80	80	80
1982	60	60	80	73	70	70	70	21	38	77	62	70	60
(201)	29	20	28	28	246	318	246						

COMISIÓN DE PLANEACIÓN NACIONAL HIDRÁULICO  
 DIRECCIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN NACIONAL  
 DIRECCIÓN DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRÁNEAS  
 -----

DATOS DE EXTRACCIÓN MENSUAL Y PROMEDIO ANUAL  
 SISTEMA HIDROGEOLÓGICO SANTIAGO - COLA DE CA  
 BALTO (1962)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCI	NOV	DIC	PROM. ANUAL
1962	77	79	83	84	82	90	90	90	120	149	40	124	92
1963	110	115	112	99	93	91	90	91	223	209	137	109	124
1964	90	84	79	74	71	64	65	71	99	136	93	76	83
1965	60	60	60	53	44	58	69	56	63	105	72	69	64
1966	70	107	152	137	270	295	401	281	362	412	344	274	254
1967	102	139	122	112	102	65	76	203	495	572	430	370	241
1968	300	365	341	346	335	246	255	258	494	444	360	339	340
1969	315	263	232	190	151	135	129	183	435	366	355	309	255
1970	0	0	30	376	502	755	730	750	640	19	0	0	310
1971	274	260	251	241	223	221	250	200	165	54	385	345	246
1972	322	377	411	339	308	643	665	609	513	603	539	371	475
1973	304	240	246	213	212	325	555	737	738	717	645	596	461
1974	541	509	421	343	269	233	226	208	354	654	627	501	407
1975	406	319	333	203	261	244	461	432	709	647	645	517	436
1976	425	343	297	243	247	237	760	666	681	660	744	715	506
1977	629	566	502	567	530	497	421	358	808	714	625	501	575
1978	566	526	491	437	359	344	314	267	702	862	826	692	531
1979	420	573	547	511	443	517	422	358	503	354	385	334	467
1980	214	231	232	241	210	190	176	265	204	549	477	342	289
1981	335	325	260	214	407	493	567	468	660	650	518	427	454
1982	139	208	263	269	240	222	303	191	270	480	303	392	296
1983	230	214	215	196	374	392	274						

COMISION DE PLAN NACIONAL HIDRAULICO  
 DIRECCION GENERAL DE PLANFACION NACIONAL  
 DIRECCION DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRANEAS  
 -----

DATOS DE EXTRACCION MENSUAL Y PROMEDIO ANUAL  
 SICIPIA HIDROGEOLOGICO SANTIAGO SOCAYON DE  
 SAN LUIS (SGO - OHLPS)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PRO. ANUAL
1957	0	0	0	0	0	0	157	100	106	211	231	236	100
1958	219	212	248	364	364	374	432	454	303	275	184	225	305
1959	200	211	278	274	504	312	342	325	315	122	149	139	247
1960	99	154	175	512	525	533	531	522	540	455	374	405	402
1961	403	465	523	576	554	535	529	561	614	666	663	615	554
1962	458	465	445	426	499	509	593	612	556	484	563	499	514
1963	554	531	507	486	487	474	464	484	434	673	613	567	523
1964	525	502	471	460	442	435	401	475	511	518	561	524	492
1965	531	503	478	657	507	498	539	551	528	553	567	537	543
1966	535	553	515	556	620	568	908	961	826	676	629	644	666
1967	736	866	613	762	546	630	611	844	570	637	590	601	657
1968	843	885	875	861	906	891	784	742	566	621	695	673	772
1969	882	696	657	637	584	539	508	496	479	747	806	760	638
1970	748	764	740	651	680	610	623	707	640	995	862	787	738
1971	866	826	768	719	679	653	677	739	771	1331	1105	1037	847
1972	863	853	895	842	823	991	1004	1029	940	464	965	901	942
1973	840	882	725	641	657	879	1271	1159	1147	1104	1136	1072	954
1974	884	808	812	839	904	777	760	36	889	1142	1063	964	902
1975	864	812	766	784	734	649	765	885	1203	1266	1077	974	906
1976	925	866	811	772	753	719	1051	1054	1105	1285	1164	1189	972
1977	1116	1052	1017	968	925	882	863	810	1136	1157	1094	1021	1002
1978	974	829	864	852	815	789	764	750	850	1137	1163	1103	928
1979	1089	1027	977	834	896	806	886	839	971	971	903	855	938
1980	815	786	766	725	709	663	640	675	752	976	957	883	778
1981	846	825	779	745	788	803	870	831	1004	1139	979	887	872
1982	824	803	749	706	670	641	598	569	578	691	687	617	676
1983	676	547	647	450	388	476	450						

COMISIÓN DE PLAN NACIONAL HIDROLÓGICO  
 DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACION NACIONAL  
 DIRECCIÓN DE INVESTACIONES DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRANÉAS

---

DATOS DE EXTRACCIÓN MENSUAL Y PROMEDIO ANUAL  
 SISTEMA DEBIOLOGICO BUENOS AIRES  
 PIZAGUERIAS (GRUPS)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PR.ANUAL	PR.TOTAL
1974	691	425	399	612	447	454	516	570	596	527	581	543	500	2615
	2679	2701	2450	2154	1948	1766	1589	1486	1645	1898	2358	2458	2114	
1975	478	443	521	751	950	1157	1335	1374	1323	1245	1067	1074	975	2580
	2391	2371	2053	1711	1660	1292	1034	859	1039	1320	1674	1828	1065	
1976	1002	1015	1190	1418	1465	1824	1910	2006	2065	2114	1905	1186	1542	2639
	1854	1865	1589	1386	1173	750	685	532	416	517	688	1178	1047	
1977	1125	1186	1124	1082	1844	1422	1568	1919	1474	1351	1345	1278	1326	3031
	1609	1698	1894	1858	1861	1648	1439	1849	1588	2005	1814	1876	1705	
1978	1206	1146	1062	1235	1373	1734	1822	1788	1762	1461	1317	1299	1434	3076
	1976	2124	2194	2005	1749	1337	1001	876	830	1869	1903	1826	1642	
1979	1374	1257	973	1157	1101	1347	1518	1716	1715	1720	1824	1932	1470	2928
	2078	2156	2340	2663	1862	1500	1164	1325	1039	926	577	469	1458	
1980	1647	1669	1893	1754	1680	1546	1649	1826	1826	1716	1657	1736	1721	1979
	657	601	209	342	226	208	165	116	89	151	197	140	258	
1981	1669	1824	1856	1924	1926	1492	2030	2026	2019	2095	2180	2132	1965	1992
	175	76	56	15	0	0	0	0	0	0	0	0	27	
1982	2156	2073	2011	2074	2097	1995	2124	1924	1880	1854	1802	1746	1978	1978
	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1983	1719	1752	1787	1932	1904	1923	1847							

COMISIÓN DE PLANIFICACIÓN NACIONAL HIDRÁULICO  
 DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN NACIONAL  
 DIRECCIÓN DE INVENTARIOS DE AGUA Y SUELO  
 AGUAS SUBTERRÁNEAS

DATOS DE EXTRACCIÓN MENSUAL Y PROMEDIO ANUAL  
 SISTEMA HIDROGEOLOGICO BINA (Q=LPS)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PRO. ANUAL
1959	0	0	0	0	0	0	405	495	473	357	365	365	205
1959	360	290	246	271	338	376	422	424	414	401	439	400	360
1960	350	373	396	379	470	543	530	480	357	400	356	305	412
1961	293	294	400	466	525	563	539	560	534	463	382	394	450
1962	440	540	560	537	500	590	560	514	399	406	419	270	480
1963	310	347	346	432	444	502	521	546	461	431	482	309	434
1964	420	601	543	615	712	730	700	676	663	565	600	597	609
1965	574	570	594	562	460	476	519	561	502	419	463	430	510
1966	377	407	325	430	460	426	413	462	503	309	399	417	410
1967	476	516	492	502	595	576	544	632	511	510	525	555	542
1968	553	407	442	544	533	521	652	603	659	673	646	646	587
1969	611	620	727	676	743	849	833	825	950	709	705	691	751
1970	770	700	781	832	946	790	859	870	795	794	832	831	810
1971	861	844	892	969	929	892	890	882	860	700	712	704	839
1972	726	622	894	937	941	883	981	984	985	936	923	932	911
1973	931	890	880	945	930	895	931	904	935	876	882	912	911
1974	755	765	862	845	910	1662	1103	936	921	809	735	691	853
1975	963	925	1040	1102	1096	1105	1094	1047	1109	1142	1100	1116	1072
1976	1055	1103	1002	1144	1123	1163	1096	1116	1099	1101	1063	1003	1103
1977	1674	1696	1676	1647	1668	1146	1102	1222	1242	1148	1164	1165	1120
1978	1152	1143	1272	1250	1243	1255	1160	1087	1144	1227	1124	991	1172
1979	1211	1200	1176	1194	1213	1216	1232	1260	1242	1229	1179	1214	1215
1980	1449	1300	1492	1666	1365	1440	1521	1576	1535	1468	1473	1405	1470
1981	1306	1410	1440	1500	1300	1596	1076	1721	1507	1483	1535	1456	1532
1982	1466	1266	1223	1175	1176	1292	1329	1105	1117	1064	932	0	1173
1983	707	765	747	636	610	524	507						