

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Atemajac (1401), Estado  
de Jalisco***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación  
20 de abril de 2015*

## Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CDLVII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE JALISCO							
1401	ATEMAJAC	147.3	25.7	132.691327	159.7	0.000000	-11.091327

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



*Comisión Nacional del Agua*

**Subdirección General Técnica**

*Gerencia de Aguas Subterráneas*

**Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos**

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD  
DE AGUA SUBTERRÁNEA  
EN EL ACUÍFERO ATEMAJAC,  
ESTADO DE JALISCO***

<b>1.- GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2. ESTUDIOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....</b>	<b>5</b>
<b>3. FISIOGRAFIA.....</b>	<b>7</b>
3.1. Provincias fisiográficas.....	7
3.2. Clima.....	7
3.3. Hidrografía.....	8
3.4. Geomorfología.....	9
<b>4.- GEOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
4.1. Estratigrafía.....	10
4.2. Geología estructural.....	11
4.3. Geología del Subsuelo.....	11
<b>5.- HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
5.1. Tipo de acuífero.....	12
5.2. Parámetros hidráulicos.....	12
5.3. Piezometría.....	13
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
<b>6.- CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>17</b>
<b>7.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>19</b>
7.1. Entradas.....	19
7.1.1. Entradas horizontales.....	19
7.1.2. Recarga inducida.....	19
7.2. Salidas.....	20
7.2.1 Evapotranspiración.....	20
7.2.2. Manantiales.....	20
7.2.3. Bombeo.....	21
7.2.4. Salidas horizontales.....	21
7.3. Cambio de Almacenamiento.....	21
<b>8.- DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>23</b>
8.1. Recarga total media anual.....	23
8.2. Recarga natural comprometida.....	23
8.3. Rendimiento permanente.....	23
8.4. Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	23
8.5. Disponibilidad de aguas subterráneas.....	23
<b>9.- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>24</b>

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CONAGUA.

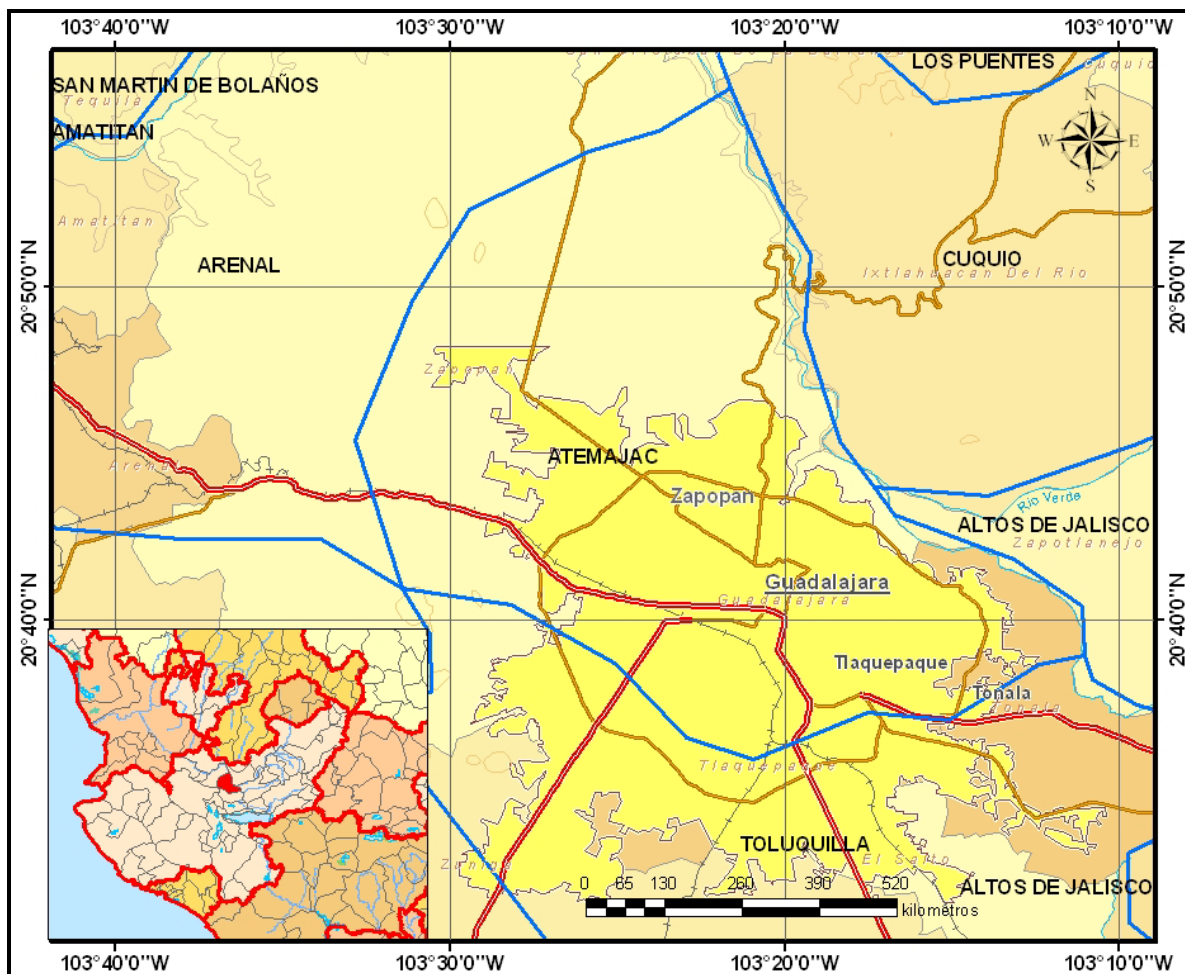
El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa).

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDa. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, para los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### **1.1. LOCALIZACIÓN.**

Geográficamente se localiza en la porción central del estado de Jalisco entre los paralelos 20°35' y 20°56' y los meridianos 103°10' y 103°35'. Limita al norte con el acuífero de Arenal y caqui, al oriente con Altos de Jalisco, al sur con Ameca y Toluquilla. Figura No. 1.

El acuífero tiene una extensión superficial aproximada de 736.45 km<sup>2</sup> y se encuentra inscrito en la poligonal cuyos vértices se enumeran en la Tabla No. 1.



**Figura 1. Localización del acuífero.**

Incluye totalmente el municipio de Guadalajara y de manera parcial los municipios colindantes de Tonalá, Tlaquepaque y Zapopan.

A grandes rasgos sus límites son:

Al norte- Río Santiago.

Al sur- Cerros San Martín, El Cuatro, El Tesoro, El Gachupín y El Tajo.

Al este- Tonalá y Barranca de Oblatos.

Al oeste- Sierra de la Primavera.

Algunas de las poblaciones más importantes son las cabeceras municipales mencionadas anteriormente, así como las de Tesistán, La Venta del Astillero, Huentitán y San Gaspar.

### ACUIFERO 1401 ATEMAJAC

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	21	36.2	20	55	56.6
2	103	20	10.6	20	52	34.8
3	103	19	12.6	20	50	57.0
4	103	19	24.8	20	48	42.5
5	103	18	20.6	20	45	20.7
6	103	17	19.3	20	43	58.4
7	103	16	42.8	20	43	9.3
8	103	13	8.8	20	41	49.8
9	103	11	6.5	20	40	24.2
10	103	11	0.4	20	38	55.5
11	103	12	22.9	20	38	40.3
12	103	15	4.9	20	36	59.4
13	103	17	31.7	20	37	14.7
14	103	20	56.5	20	35	49.1
15	103	22	55.7	20	36	28.8
16	103	25	1.1	20	38	40.3
17	103	28	10.6	20	40	27.3
18	103	31	26.3	20	40	57.8
19	103	32	51.9	20	45	23.8
20	103	31	7.9	20	49	34.5
21	103	29	27.0	20	52	19.6
22	103	25	53.0	20	54	3.5
23	103	23	47.7	20	54	40.2
1	103	21	36.2	20	55	56.6

**Tabla No. 1. Poligonal que delimita el acuífero Atemajac.**

## 1.2. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO.

Existen dos decretos de veda, el primero publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de febrero de 1951 para los valles de Tesistán, Atemajac y Toluquilla, el segundo, publicado el 7 de abril de 1976 y como ampliación hacia las zonas circunvecinas a los mismos valles.

Ambos decretos son por tiempo indefinido y establecen veda de control para prevenir perjuicios al abastecimiento de agua potable y usos domésticos de la Cd. de Guadalajara, así como procurar la conservación de los acuíferos en condiciones de explotación racional y, controlar la construcción o ampliación de obras de alumbramiento, extracción y aprovechamiento de aguas del subsuelo; prohíbe sin previo permiso de la autoridad competente, el cambio de uso y destino, los incrementos de gasto y volúmenes de extracción, tampoco podrán cambiarse las características constructivas de las obras y sólo se otorgan en aquellos casos en que, de los estudios respectivos, resulte que dichas obras no causarán los perjuicios que se tratan de evitar con la veda.

**Zonas de disponibilidad:** Con base en la Ley Federal de Derechos, para el año de 2005, Los municipios que comprende el acuífero corresponden a la zona 2.

**Organización de Usuarios:** El 21 de abril de 1997, se integró la mesa de trabajo del Río Santiago, con el objetivo de promover, integrar e instalar la Comisión de Cuenca, quedando formalmente instalada el 17 de septiembre del mismo año, con los siguientes objetivos: Ordenamiento y regulación de los usos del agua para control y prevención de la cantidad y calidad del agua y su saneamiento y hacer una distribución equitativa, establecer el uso eficiente, manejo y conservación de cuencas, corrientes y acuíferos.

La participación de los Usuarios es ya importante en los comités estatales para los 6 usos identificados y principalmente los de público urbano, industrial y servicios del acuífero Atemajac, que se conocen la problemática de sobreexplotación; marcando como las perspectivas a corto plazo, establecer un nuevo orden para administrar y aprovechar el agua, mejorar la eficiencia en el uso y lograr una mayor participación de los Usuarios de aguas subterráneas para establecer el COTAS del acuífero.

**Usuarios mayores de agua subterránea:** Los Usuarios potenciales del agua subterránea son el Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Zona Metropolitana de Guadalajara (SIAPA), los organismos operadores municipales de Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá, así como los fraccionamientos particulares que suministran y administran parcialmente los servicios de agua potable a las áreas urbanas que no controla el SIAPA. Otros usuarios importantes son los Industriales y servicios.

## **2. ESTUDIOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.**

A). Geohidrología de los valles de Atemajac, Tesistán, Ameca, Ahualulco y San Marcos, Jal.- Ariel Construcciones, S.A. 1973.

Las actividades que comprendió el estudio fueron: Censo de captaciones, nivelación de brocales, hidrología y geoquímica, apreciación muy preliminar de los recursos hidráulicos subterráneos.

B). Actualización del estudio geohidrológico de los valles de Tesistán-Atemajac-Ocotlán, Jal.- Geocalli, S.A. 1981.

Las actividades realizadas fueron: Censo de captaciones, nivelación de 163 brocales, piezometría, 30 pruebas de bombeo, 127 muestras y análisis del agua subterránea, aforo de manantiales, cálculo de extracciones, determinación de parámetros hidráulicos, familias de agua y balance de agua subterránea.

C). Estudio geohidrológico de la zona de Tesistán-Atemajac, estado de Jalisco.-Ariel Consultores, S.A. 1989-1990.

Se realizaron las siguientes actividades: Prospección geofísica para investigación del acuífero a 500 m de profundidad, nivelación de 42 brocales, ampliación de la red piezométrica, muestreo y análisis de 60 aprovechamientos para la caracterización de la calidad del agua, 15 pruebas de bombeo para cubrir los claros de estudios anteriores para determinar transmisividades, verificación de datos de los padrones de usuarios existentes y censo de aprovechamientos de la zona de Ocotlán, así como el



balance y disponibilidad del agua subterránea para los dos acuíferos estudiados Tesisán-Atemajac-Toluquilla y Ocotlán.

D). Actualización del estudio geohidrológico de la Zona Conurbada de Guadalajara, cuencas: Toluquilla, Atemajac y Cajititlán.- Geoex, S. A. de C. V. 1996.

Se llevaron a cabo: Elaboración de la estratigrafía y asociación a la geohidrología, recorridos piezométricos, aforo de manantiales, pruebas de bombeo, toma de muestras y análisis físico-químicos y específicos; geoposicionamiento de pozos piloto, visita a sitios de proyecto para recarga artificial, recopilación, análisis, procesamiento e interpretación de la información de: pruebas de bombeo, datos de laboratorio, piezometría, etc. así como realización del balance de agua subterránea, e implementación del modelo matemático.

E). Estudio para la rehabilitación de pozos profundos del SIAPA.- Lesser y Asociados, S. A de C. V. 1997.

Comprendió la actualización de la información de mediciones electromecánicas, pruebas de bombeo, cálculo de la eficiencia y caudal específico, identificación de problemas y soluciones, piezometría y elaboración de planos de profundidad y elevación de nivel estático, dirección de flujo, caudal específico, transmisividades, análisis de la calidad del agua, estudio de sitios para reposición de pozos.

F). Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la zona metropolitana de Guadalajara, Jal.- Planeación, Sistemas y Control, S. A de C. V. 1993-1994.

Comprendió las siguientes actividades: Descripción de los sistemas de abastecimiento, Evaluación de fugas en tomas domiciliarias y en la red de agua potable, análisis global de pérdidas, recomendaciones y planteamiento de soluciones.

*Datos más importantes de los estudios.*

<b>Datos</b>	<b>Estudio A</b>	<b>Estudio B</b>	<b>Estudio C</b>
Área km <sup>2</sup>	Os.- sólo se realizó censo, -	300	8000
Coef. Alm.	Nivelación de -	0.15	0.11
ds Mm <sup>3</sup>	Pozos.	14.06	31.9
Rvert. Mm <sup>3</sup>		91.11	87.40
Rind. Mm <sup>3</sup>			35.82
RfHz Mm <sup>3</sup>		11.39	26.45
Sevtr. Mm <sup>3</sup>			
Sman. Mm <sup>3</sup>		9.13	9.13
Sb. Mm <sup>3</sup>		69.87	164.55
Shz. Mm <sup>3</sup>		9.98	9.30
Disponibilidad		1.5 m <sup>3</sup> /s	Sobreexp. 22.25% de Et.

<b>Datos</b>	<b>Estudio D</b>	<b>Estudio E</b>	<b>Estudios F</b>
Área km <sup>2</sup>	432	Obs.-sólo piezometría, Transmisividades Dirección de flujo y calidad del agua.	Obs.-Estudio para Evaluar las pérdidas de agua en la red de distribución del agua potable y tomas domiciliarias. Estudio que se se utilizó para el calculo de la recarga.
Coef. Alm.	0.25		
dS Mm <sup>3</sup>	30.2		
Rvert. Mm <sup>3</sup>	Inconsistente		
Rind. Mm <sup>3</sup>	12.82		
Rfhz Mm <sup>3</sup>	121.00		
Sevtr. Mm <sup>3</sup>			
Sman. Mm <sup>3</sup>	9.08		
Sbom. Mm <sup>3</sup>	107.15		
Shz. Mm <sup>3</sup>	0		
Disponibilidad	Sobreexplotado		

### 3. FISIOGRAFÍA.

#### 3.1. Provincia fisiográfica.

El acuífero queda comprendido en la fracción occidental de la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana ( FVT) que cruza a los Estados Unidos Mexicanos desde las costas de Colima, Jalisco y Nayarit en el oeste hasta la de Veracruz y una porción de Tabasco en el este. Los materiales volcánicos que constituyen la FVT varían en cuanto a edad, composición y tipo.

#### 3.2. Clima.

**Temperatura media anual:** El clima de la zona según la clasificación modificada de Köpper es Templado-subhúmedo, con temperatura media anual superior a los 18° C. Los meses de mayo y junio son los más calurosos, en tanto que la temperatura mínima es de 15° C y se presenta en el mes de enero, según lo constatan los valores de las estaciones climatológicas de Guadalajara y Tlaquepaque.

**Precipitación media anual:** La precipitación anual varía entre 910 mm y 1040, con una media anual de 989.3 mm con base en el método de Thiessen, Tabla No. 2. El mes de julio es en el que se registró la mayor precipitación (360 mm) y de febrero a mayo como de pocas lluvias.

<b>Estación</b>	<b>Área ponderada km<sup>2</sup>.</b>	<b>Altura de Precipitación (mm)</b>	<b>Hpi*A (mm km.<sup>2</sup>)</b>
1.- Tala	16.1	1022.72	16465.7920
2.-Zapopan	230.966	1001.31	231268.5655
3.- La Experiencia	137.81	997.5	137466. 7
4.- Guadalajara	182.68	1044.94	190889.63
5.- Tlaquepaque	97.432	997.43	97169.6
6.-Tonalá	100.562	813.42	81799.142
<b>Total</b>	<b>765.55</b>		<b>755069.443</b>

**Tabla No. 2. Precipitación media anual.**

$$hpm = 755069.443 / 765.55 = 986.3098 \text{ mm/año.}$$

La información utilizada abarca el periodo de 1981 a 1997.

**Evapotranspiración potencial:** La cantidad de agua evaporada constituye una pérdida directa para los almacenamientos superficiales (embalses) y los subterráneos en algunos acuíferos, donde los niveles freáticos son muy someros (0 a 5 m). La evaporación media se consideró de 2130 mm/año que equivale al 216 % de la precipitación media anual en el acuífero.

Método de COUTAGNE.

$$ETR = P - \ddot{e} P^2 \quad \text{Donde: } \ddot{e} = 1.00 / 0.80 + 0.14T, \quad \ddot{e} = 1.00 / 0.80 + (0.14) (22) = 0.2577$$

$$ETR = 1.0187 - 0.2577 (1.0187)^2 = .75127 \text{ mts.} = \underline{\underline{751.27 \text{ mm}}}.$$

Método de TURC.

$$ETR = P / \sqrt{0.90 + (P^2/L^2)}$$

$$\text{Donde: } L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad L = 300 + 25(22) + 0.05 (22)^3 = 1,382.4 \text{ mm.}$$

$$ETR = \underline{\underline{848.0257 \text{ mm}}}.$$

Realizando el promedio tenemos:  $751 + 848 / 2 = 800 \text{ mm.}$

### 3.3. Hidrografía.

La zona pertenece a la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago, Subregión Alto Santiago, Cuenca de mismo Río Grande de Santiago y a la subcuenca conocida como sistema Río Blanco- Antiguo Río San Juan de Dios.

Los ríos y arroyos principales han labrado sus cauces en las zonas de pendientes fuertes sobre el basalto muy fracturado o alterado, así como en las tobas de caída libre en el valle y drenan hacia el río grande de Santiago. Entre los ríos importantes se encuentran: al norte la Soledad, al NW el Agua Sarca, al NW del poblado de Nextipac con dirección W-E pasando por Tesistán, el Palo Blanco que descarga al Santiago como cascada Cola de Caballo, por el centro del valle circulan los arroyos la Campana, Agua Prieta y el Atemajac, convertido en colector de aguas negras y que descarga al Río San Juan de Dios que también se convirtió en uno de los colectores principales de la Cd. de Guadalajara, conservándose a cielo abierto el tramo final antes de descargar al río Santiago. Otros arroyos no menos importantes son el San Andrés y Osorio convertidos también en colectores de la zona oriente de Guadalajara y al NW de Tonalá.

De todos los anteriores que aún conservan su cauce a cielo abierto y que conducen flujo base son: La Soledad con mezcla de aguas negras y manantiales con gasto aproximado de 50 lps., El Agua Sarca con flujo base aproximado de 15 lps., El Palo Blanco con mezcla de aguas negras y aportaciones de manantiales con gasto aproximado de 120 lps, el río San Juan de Dios en su tramo fin en la estación la Experiencia se afora un gasto promedio de 3,000 lps. y el arroyo Osorio con mezcla

de aguas negras y de pequeños manantiales se estima un gasto de 2 lps. Los escurrimientos anteriores son en tiempo de estiaje, durante el mes de mayo.

El agua superficial de la cuenca Atemajac prácticamente no es aprovechada al no existir sitios propicios para la construcción de represas; los pocos almacenamientos que aún se conservan son utilizados para uso pecuario. Podemos mencionar la existencia de una pequeña depresión (sumidero) natural conocida como “Deán”; el cual almacena aguas de lluvia provenientes de la zona industrial y urbana del sur de Guadalajara. La red de colectores que en su mayoría se alojan en los que fueron cauces de aguas superficiales aportan agua al subsuelo por fugas y contribuye a la recarga artificial. Por otra parte existe una gran cantidad de pozos de absorción contruidos a partir de la década de los 60’s y, que en los últimos 7 años se ha intensificado su construcción, al grado de que es obligatorio por el reglamento de construcción municipal. El agua infiltrada por estas obras proviene de la lluvia acumulada en azoteas, patios, jardines, calles y avenidas. Se considera que operan actualmente aproximadamente 10000 pozos de este tipo, alojados en el espesor no saturado (arenas y jales).

### **3.4. Geomorfología.**

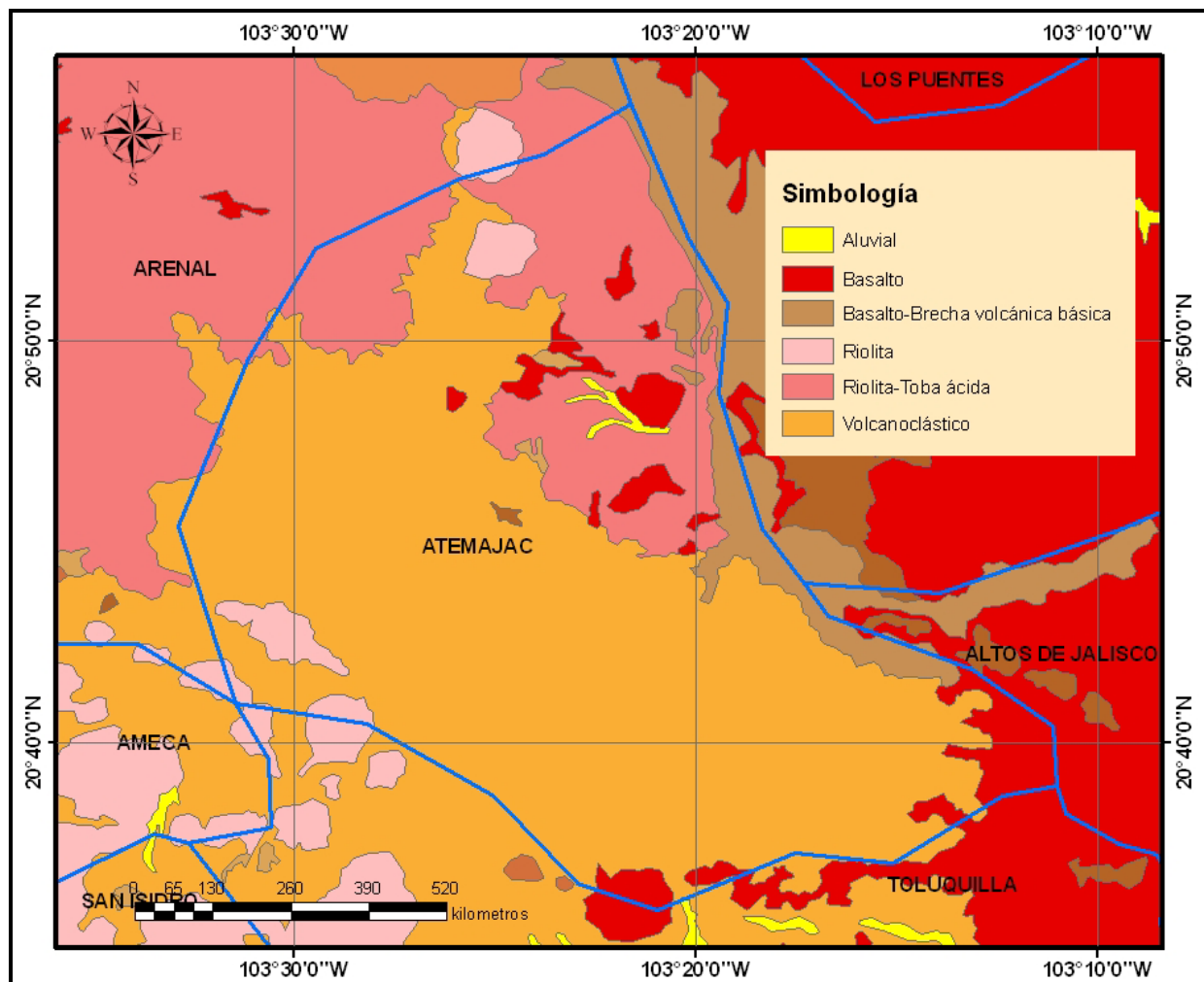
Los rasgos morfológicos principales son las montañas de bloque localizadas al norte y noroeste del valle de Tesistán (basaltos, riolitas, brechas volcánicas y vidrios volcánicos), así como las planicies que constituye el propio valle (aluvión y tobas pumíticas). Los volcanes son conos de reducida altura, como el domo de La Primavera, localizados al noroeste del acuífero y alcanzando una elevación de 2000 msnm. Los conos cineríticos (cerros redondeados escarpados de basaltos y andesitas) son volcanes apagados, de los cuáles quedan únicamente los cuellos de chimeneas volcánicas con alturas de unos cuantos metros hasta cientos de metros, como es el caso de los cerros El Cuatro, El Colli, El Tesoro y El Tapatío.

Las planicies y los valles son geoformas que representan las zonas donde se ha recibido gran parte del material erosionado de las partes altas (aparatos volcánicos) y, que han dejado un potencial amplio principalmente en el valle de Tesistán-Atemajac, en donde se encuentran potentes horizontes de toba pumítica y material piroclásticos.

El tipo de drenaje que sobresale en la sierra de La Primavera es semiparalelo y dentrítico; el correspondiente a los conos cineríticos es poco importante y del tipo radial. En ambos casos, los escurrimientos que se generan se pierden en la planicie de los valles debido a la alta permeabilidad del terreno.

## **4.-GEOLOGÍA**

El marco geológico corresponde a un ambiente volcánico del terciario al reciente con prominencias topográficas semi-alargadas con elevaciones de 2,200 msnm; La Sierra El Madroño compuesta por andesitas terciarias, edificios cónicos volcánicos, cuaternario de composición basáltica; y un centro volcánico ácido conocido como la Primavera, con un aporte muy importante de riolitas, tobas, arenas pumiciticas de origen riolítico. Figura No. 2.



**Figura No. 2. Plano Geológico**

#### 4.1. Estratigrafía.

Las rocas que afloran dentro en el área comprenden a sedimentarias e ígneas extrusivas, cuya edad va del Terciario al Reciente.

Unidad La Laja (Tmbl).- Son rocas de composición basáltica de color gris verdoso, afaníticas, intensamente fracturadas. Aflora en todas las elevaciones topográficas y son explotados en bancos de material. Forman mesetas con espesores promedio de 50 m, aflora en Tonalá, Tlaquepaque, El Salto, Zapotlanejo, La Capilla, Buenavista, La Cañada e Ixtlahuacán de los Membrillos. Es considerado de permeabilidad baja a nula debido a que las fracturas se cierran a profundidad.

Unidad El Cuatro (Tqbc).- Son lavas de aparatos centrales integrados por basaltos, andesitas, ceniza y brechas de edad pliopleistocénica. Forman un conjunto de ocho conos denominados como cadena volcánica sur de Guadalajara y son: El Colli, El Gachupín, Santa María, El Cuatro, Escondido, San Bartolo, San Martín, La Cruz y el Papantón de Juanacatlán.

Unidad Jalisco (Tstj).- Corresponden a tobas de caída libre con intercalaciones de tobas líticas, vítreas, lapilli e ignimbritas. Los espesores promedio son 200 m que se extiende en toda la cuenca de Atemajac pero se acuña hacia el poniente, en donde prácticamente desaparece, son de permeabilidad alta y forman un acuífero libre.

Depósitos de pié de monte.- Este tipo de depósitos se localiza en las estribaciones de la sierra y los cerros de toda el área, estando compuestos por arena, gravas y hasta bloques mal clasificados, granulométricamente varía de composición de acuerdo con la roca de donde proviene, las que en su mayoría son volcánicas, su edad corresponde al Cuaternario Superior.

Suelos Residuales (Qre).- Son suelos formados por alteración química de las lavas y tobas en las cuencas de Atemajac, Toluquilla y Cajititlán. Su espesor promedio es de 0.4 m. En la Cuenca de Atemajac aparecen en la Zona de Colimilla con un espesor de 0.2 m.

#### **4.2. Geología Estructural.**

Existe una disposición estructural compleja de las unidades geológicas en el subsuelo, debido a la intersección de fallas normales y de transcurrancia que han dado origen a pilares, fosas, depresiones o sumideros como: Bajío de La Arena, San Juanete, La Experiencia, Agua Azul.

Las tobas se extienden hasta el límite formado por una línea imaginaria que une a los manantiales de la experiencia, Belisario y parte de los pozos de Agua Azul.

Aparece una falla que pone en contacto a los basaltos y andesitas San Gaspar con las tobas de caída libre de la Unidad Jalisco (Tstj). Los bloques de basalto y andesita aparentan estar afallados, cizallados e inclinados.

#### **4.3. Geología del subsuelo.**

El límite noroeste del área está constituido por vidrios volcánicos fracturados en las inmediaciones del domo de La Primavera cubierto por arenas pumíticas a la altura del puerto de la Venta del Astillero se infiere que hay una comunicación con los valles de Ahualulco – Tala. Al oeste está limitado por mesetas de basaltos antiguos impermeables impidiendo la comunicación Geohidrológica en esa dirección (Río Santiago).

En general el estrato más somero expuesto cerca de la superficie se conforma de grano fino a grano grueso con lentes delgados de limos, arcillas y arenas compactas. Dicho estrato parece estar estratificado con una alternancia de capas de tamaño de grano en granulometría ascendente, de estas características la unidad hidrogeológica superior, presenta alta permeabilidad y constituye un acuífero regional libre alojado en sedimentos piroclásticos.

El agua circula través de las tobas de caída libre aparentemente conectadas desde el punto de vista hidráulica con las lavas fracturadas de la FVT.

## **5. HIDROGEOLOGÍA.**

De las unidades litológicas que constituyen acuíferos, se destacan los depósitos residuales que rellenan el valle y las tobas de la unidad Jalisco, los que por su alta permeabilidad, extensión y espesor, forman el acuífero más importante de la región.

La lluvia es la recarga principal del acuífero Atemajac, el agua que proviene de ella se integra rápidamente al acuífero. La recarga secundaria aparece en las vertientes de las partes altas conformadas por el Domo de la Primavera, sierras de las Latillas, El Madroño, El Trabesaño y Arco volcánico sur de Guadalajara.

En los valles de Tesistán y Atemajac, el agua subterránea circula con un sentido general de poniente a oriente, desde las zonas topográficamente altas, hacia el cauce del río Santiago.

Las descargas principales se dan por bombeo de la gran cantidad de pozos de diferentes usos y por manantiales en la el escarpe de la margen izquierda del Río Santiago

Las fronteras impermeables de la zona las constituyen el cordón montañoso “El Madroño” localizado al sur de la Laguna de Cajititlán, el Cerro del Cuatro al sur de la ciudad de Guadalajara.

### **5.1. Tipo de acuífero.**

En el valle se tienen dos acuíferos: el primero granular formado por alternancias de arenas pumíticas con intercalaciones de derrames lávicos de composición basáltica este tiene un espesor de 4 a 300 m.

Al acuífero granular le subyace uno en fracturas de menor potencial formado por basaltos y andesitas con cierto grado de facturación y alteración, considerado semiconfinado, siempre y cuando aparezca la capa de arcillas separando ambas unidades. En las zonas donde no se encuentre intercalada esta capa semiconfinante, el nivel resultante en los pozos es el promedio de la carga hidráulica de los jales y de las rocas volcánicas fracturadas.

En las arenas pumíticas superficiales se presenta una zona fracturada somera cuyo nivel freático se localiza en profundidades que varían de 2 a 45 m. Encontrándose los valores mayores al sureste y los menores hacia el noreste.

Generalmente las norias y los pozos de menor profundidad captan el acuífero somero contenido en cenizas, tobas y arenas volcánicas, en tanto que en los más profundos se establece el nivel de saturación principal del acuífero alojado en rocas volcánicas fracturadas.

### **5.2. Parámetros hidráulicos.**

De la interpretación de las pruebas de bombeo (15 en 1982 y 29 en 1981) por el método de Jacob para acuíferos confinados y válido también para acuíferos libres de

gran espesor se determinaron algunas características importantes como el coeficiente de almacenamiento (S) y la transmisividad (T) en el entorno al pozo analizado.

El coeficiente de almacenamiento que se adoptó  $S = 0.13$ , corresponde a un valor que con más frecuencia se presentan en este tipo de acuíferos y dentro del rango de valores resultantes del cálculo de las pruebas de bombeo (0.22 a 0.08).

Las transmisividades utilizadas están representadas en el plano VI-8 del estudio de Ariel Consultores, S.A. de C. V. Contrato No. SGAA-89-47, terminado en el año de 1990.

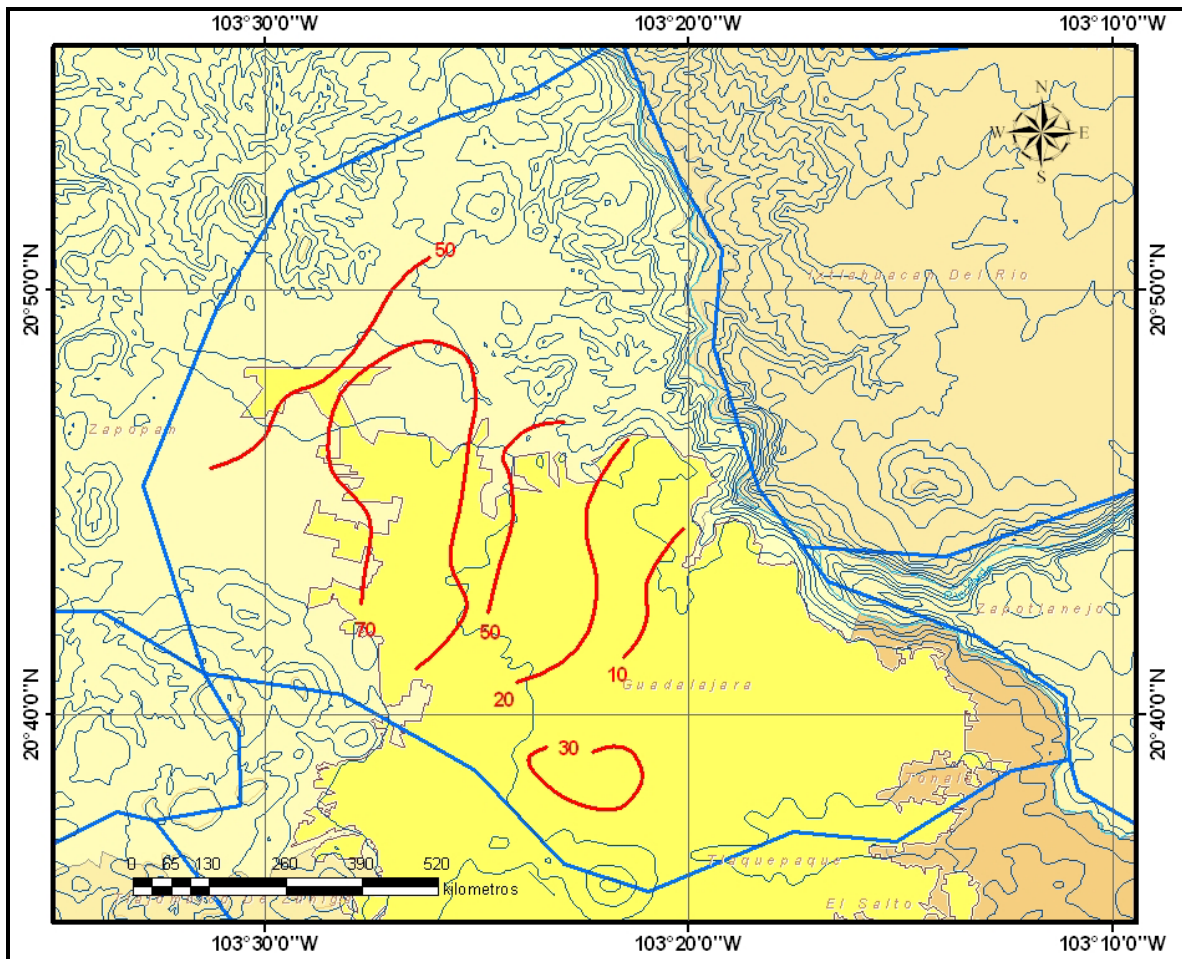
### **5.3 Piezometría.**

Conocer la posición y disposición de la superficie piezométrica es necesario para establecer la dirección del flujo, zonas de extracción, áreas de recarga, efectuar el balance de aguas subterráneas y simular el comportamiento hidrodinámico del acuífero.

En el acuífero inferior que explotan los pozos profundos, los niveles se localizan entre 50 y 80 m. A medida que se desplaza hacia la Ciudad de Guadalajara, baja el terreno natural y la profundidad de los niveles paulatinamente es menor, llegando a localizarse entre 20 y 10 m hacia el centro de la ciudad.

En la porción sureste del Valle de Atemajac las profundidades varían entre 10 y 40 m por lo general, sin dejar de notarse pequeñas curvas cerradas con valores de 98 y 80 m, derivados de datos puntuales. Figura No. 3.





**Figura No. 3. Profundidad al nivel estático. 1990**

El flujo subterráneo en el valle de Guadalajara sigue las direcciones este y noreste, con un gradiente hidráulico uniforme, mientras que en el Valle de Tesislán es hacia el noreste con dirección al río Santiago, dren superficial de toda la zona.

Para 1970, esta configuración empieza a mostrar la bifurcación del flujo subterráneo principal proveniente del oeste; una parte hacia Tesislán y Guadalajara y otra hacia el suroeste para tomar posteriormente rumbo hacia Juanacatlán.

En la configuración de 1973, estas condiciones quedan señaladas con mayor claridad, así como en las de 1981. la configuración para abril de 1990, se incorporaron los nuevos pozos piloto nivelados.

En el plano se aprecia que las zonas de recarga se identifican en las estribaciones de la Sierra o domo de La Primavera , al oeste y suroeste del Valle de Atemajac, así como de las sierras y mesetas situadas al noroeste y norte del valle de Tesislán, mediante las curvas equipotenciales de mayor valor.

Al noroeste de Guadalajara, entre La Primavera y La Mesa Colorada, en la planicie se señala un parteaguas hidrodinámico por medio de las curvas 1600 y 1580 msnm, a

partir del cual una parte del flujo subterráneo se dirige hacia Ameca, y otra hacia Guadalajara.

En la planicie del valle de Atemajac, el sentido general de flujo subterráneo es de poniente a oriente, pasa por la zona urbana de Guadalajara y correspondiente Zona Metropolitana, para descargar finalmente en la Barranca de Oblatos, tendencia señalada por la situación y forma de la curvas de menor valor, y corroborada por la presencia de manantiales en la citada Barranca.

En la porción sur del Valle de Atemajac, el flujo subterráneo adopta una dirección poniente-oriente en un principio, para desviarse ligeramente al noreste-suroeste, luego pasar por el aeropuerto y proseguir su recorrido hacia el cauce del Río Santiago, en el tramo comprendido entre las poblaciones de Juanacatlán y Coyula, donde finalmente se lleva a cargo la descarga del acuífero.

Este tipo de configuraciones a través del tiempo no manifiestan conos de abatimiento indicativos de sobreexplotación local, hacen pensar que, en todo caso, los abatimientos son parejos en buena parte de la planicie, debido a una transmisión de presiones muy rápida en los materiales del subsuelo. Figura No. 4.

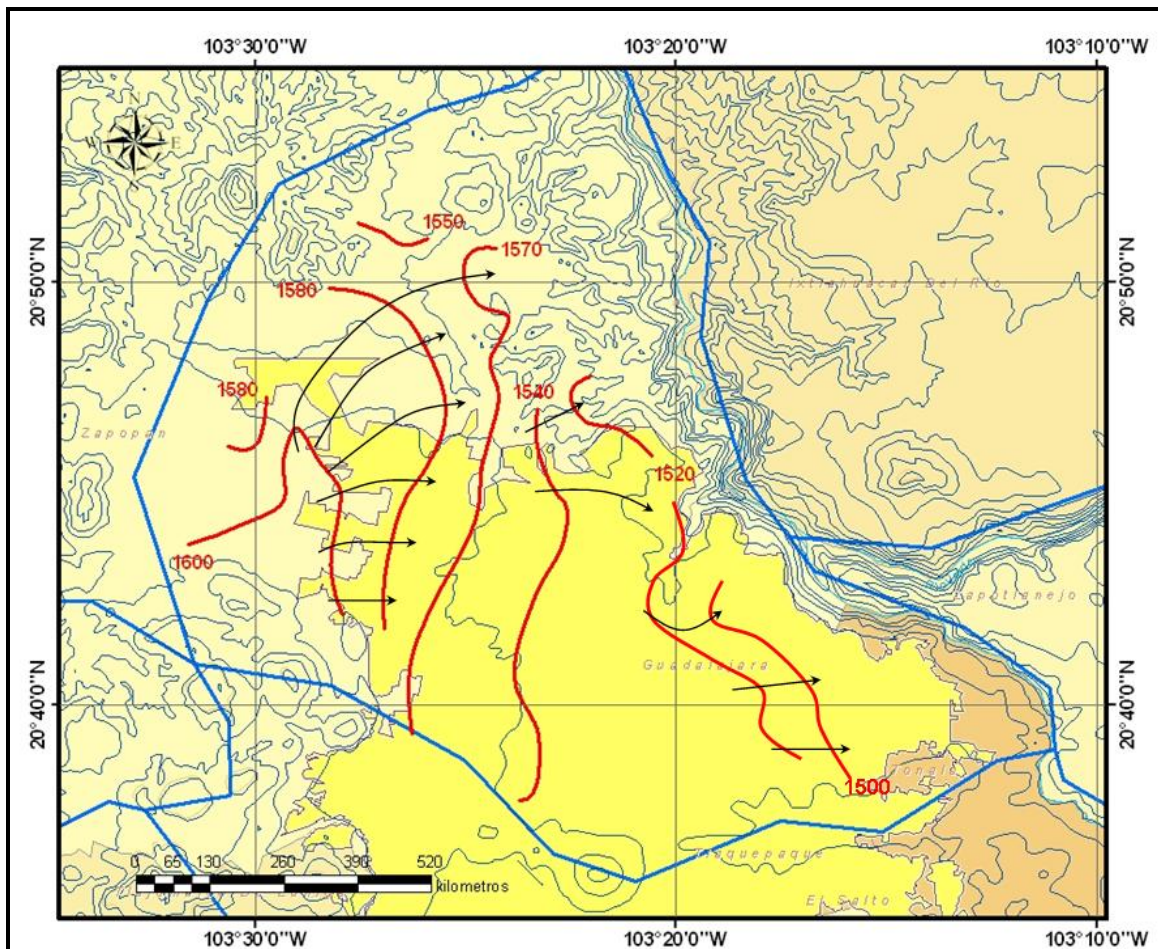


Figura No. 4. Elevación del nivel estático 1990 y dirección de flujo subterráneo.



En la porción noroeste de la zona de Tesistán- Zapopan se registran abatimientos de 10 a 20 m en una superficie aproximada de a 24.5 km.<sup>2</sup> y un cono mas pronunciado (10km.<sup>2</sup>) como abatimientos de 25 a 40 m en el periodo de 1981-1997.

Se aprecia en el Valle de Tesistán abatimientos piezométricos generalizados, con un máximo de 4 m. Así mismo, para toda la porción sur y sureste del valle de Atemajac, se puede afirmar que es generalizado un abatimiento que varía de 1 a 5 m.

En el área ocupada por la Ciudad de Guadalajara prevalecen recuperaciones piezométricas con un máximo de 3 m. Hacia el sur de la ciudad, donde se encuentran los pozos piloto 1 al 5, se genera un cono de abatimiento con máximo de 4 m. Figura No. 5.

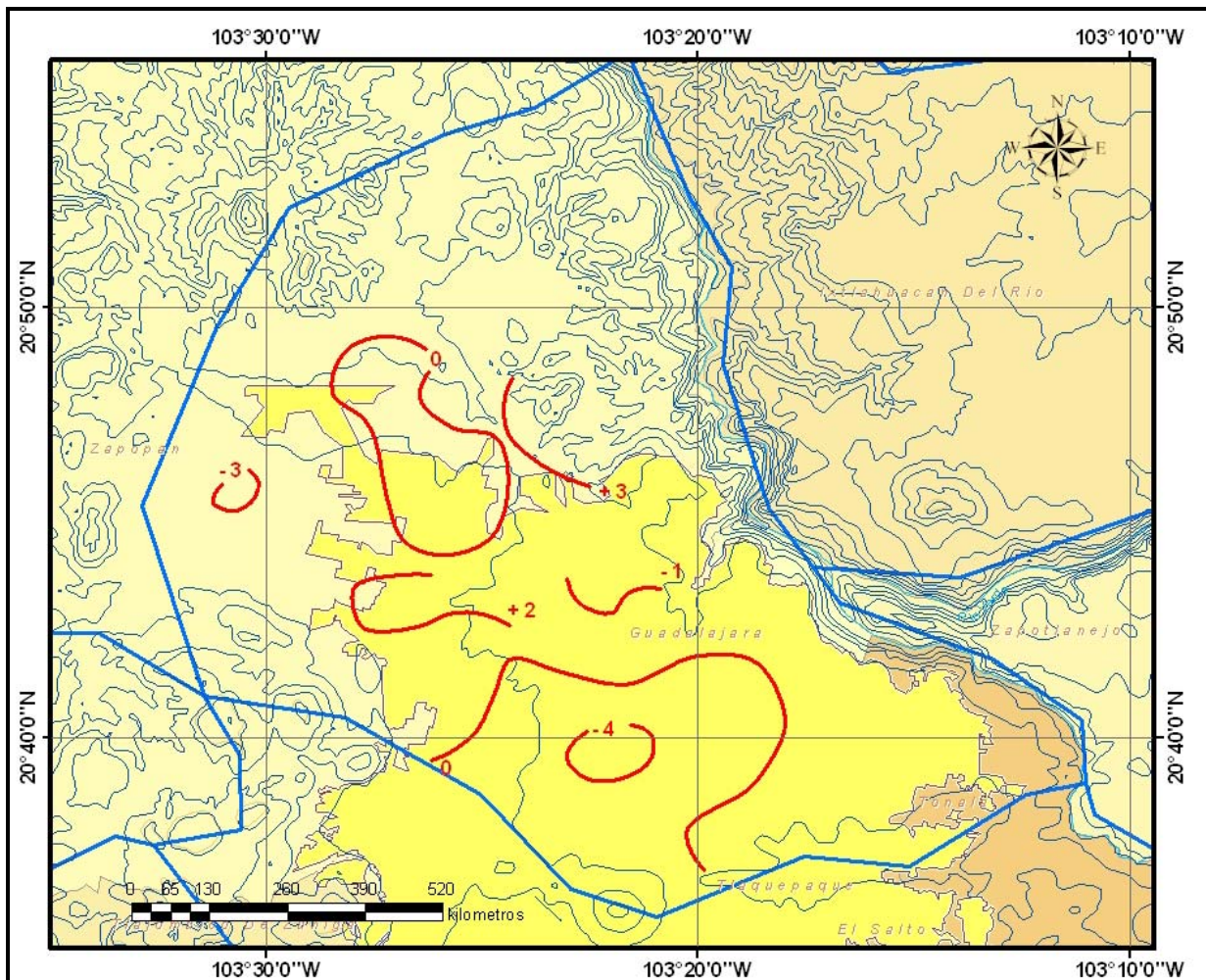


Figura No. 5. Evolución del nivel estático. 1982-1990

## **5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.**

Las características de agua en el acuífero fueron diferenciadas mediante la construcción de los diagramas de Stiff con apoyo del programa GWW desarrollado por las Naciones Unidas. Con base en las formas de los polígonos y las magnitudes de aniones y cationes fueron diferenciadas las familias de agua y su distribución espacial.

En la subcuenca Tesistán-Atemajac la familia del agua imperante es la Sódica-Bicarbonatada ( $\text{NaHCO}_3$ ) y solamente al norte del domo de La Primavera existe un pequeño contorno con agua Sódico-Sulfatada ( $\text{NaSO}_4$ ), puede ser indicio de la existencia de fracturamiento de las rocas a profundidad por donde emigran las soluciones hidrotermales en forma de vapor.

En la subcuenca Atemajac- San Juan de Dios el agua gana una gran cantidad de sólidos, incrementando las concentraciones de cloro y calcio. La familia de agua con la que se ha denominado esta zona es Sódico-Clorurada- Bicarbonatada o Mixta Bicarbonatada.

Al Oriente de la subcuenca de Atemajac, relacionando al talud del cañón del río Santiago, las muestras de agua caliente en la zona geotérmica de Ixcátán La Soledad o bien los manantiales de agua caliente de Oblatos y Las Pilitas resultaron ser del tipo Sódico Sulfatadas ( $\text{NaSO}_4$ ).

## **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.**

En los últimos tres estudios geohidrológicos se realizaron recorridos de campo, en los que se levantaron inventarios de aprovechamiento de agua subterránea, además de una depuración en cada caso, cuidando que no se duplicaran los aprovechamientos levantados en uno y otro, así como la realización de varias verificaciones de campo.

El censo de Geocalli en 1981, reportó 414 aprovechamientos en la zona metropolitana, propiamente en el acuífero Atemajac (282 pozos, 124 norias, 5 manantiales y 3 galerías filtrantes).

Durante los años de 1984 y 1985 la extinta SARH a través de la Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, realizó un censo físico muy completo en los valles de Tesistán Atemajac y Toluquilla, que consta de 1580 aprovechamientos localizados en planos de INEGI, escala 1: 50,000. Ariel Consultores en 1990 a este respecto realizó la identificación de 1553 aprovechamientos de los 1580 censados por la SARH, 27 no se lograron identificar y el nuevo censo en ese estudio manifiesta la existencia de 1634 aprovechamientos activos (955 pozos, 594 norias, 80 manantiales y 5 galerías filtrantes) y, 619 inactivos para los valles de Tesistán, Atemajac y Toluquilla.

En el estudio más reciente realizado por Geoex en 1996 el censo de campo reportó 600 aprovechamientos (incluye manantiales), de los cuales a 143 seleccionados como pozos piloto se les determinó su localización geográfica por medio de un levantamiento geodésico con el Geoposicionador GPS. En el documento técnico no establece un resumen de los resultados del censo (tipo de aprovechamiento y

clasificación por usos) y se concreta a establecer como reflexión, que de la información de campo de su censo, más los inventarios proporcionados por la CNA (Administración del Agua 200 aprovechamientos titulados y la Subgerencia Técnica 3500 Pozos) para los sistemas acuíferos Atemajac, Toluquilla y Cajititlán; realizaron la depuración, llegando a la clasificación de acuerdo a su tipo y uso, correspondiendo 1115 aprovechamientos para el acuífero Atemajac (128 norias y 987 pozos).

Con base en el estudio de Ariel Consultores de 1990, los inventarios existentes en el área de aguas subterráneas y los aprovechamientos titulados hasta mayo de 1998, la Subgerencia Técnica Regional Lerma-Santiago-Pacífico, realizó una depuración minuciosa del padrón de usuarios, separando los valles de Tesistán-Atemajac del de Toluquilla; contabilizando 1509 aprovechamientos: 431 norias y 1078 pozos; adicionalmente 63 de otro tipo como manantiales, galerías filtrantes y tajos.

De acuerdo con lo anterior los resultados se presentan en las tablas Nos. 3, 4 y 5:

Municipios	Pozos		Norias		Total	
	Aprov.	Volumen Mm <sup>3</sup>	Aprov.	Volumen Mm <sup>3</sup>	Aprov.	Volumen Mm <sup>3</sup>
Guadalajara	461	62.81	298	3.96	759	66.77
Zapopan	558	86.37	90	3.19	648	89.56
Tonalá	16	0.995	9	0.64	25	1.635
Tlaquepaque	43	1.10	34	0.599	77	1.699
Total	1078	151.28	431	8.389	1509	159.66

**Tabla No. 3. Número de aprovechamientos por tipo y municipio.**

Municipios	Agrícola		Doméstico		Pecuario		Pub. – Urbano	
	Aprov.	Vol. Mm <sup>3</sup> /a	Aprov.	Vol. Mm <sup>3</sup> /a	Aprov.	Vol. Mm <sup>3</sup> /a	Aprov.	Vol. Mm <sup>3</sup> /a
Guadalajara	13	0.430	199	2.32	3	0.0250	89	33.29
Zapopan	128	5.65	104	1.27	17	0.228	204	71.085
Tonalá	14	1.38	2	0.002	4	0.166	2	0.0323
Tlaquepaque	16	0.561	27	0.105	2	0.006	7	0.219
Total	171	8.02	332	3.700	26	0.426	302	104.626

**Tabla No. 4. Número de aprovechamientos por uso y municipio.**

Municipios	Industrial		Servicios		Múltiple y Recreativo		Total	
	Aprov.	Vol. Mm <sup>3</sup> /a	Aprov.	Vol. Mm <sup>3</sup> /a	Aprov.	Vol. Mm <sup>3</sup> /a	Aprov.	Vol. Mm <sup>3</sup> /a
Guadalajara	392	29.051	59	1.26	4	0.395	759	66.7
Zapopan	105	8.35	66	2.02	24	0.959	648	89.5
Tonalá					3	0.055	25	1.6
Tlaquepaque	21	0.699	4	0.115			77	1.7
Total	518	38.10	129	3.395	31	1.409	1509	159.5

**Tabla No. 5. Número de aprovechamientos por uso y municipio.**

Para el balance se estima un volumen de extracción anual por pozo con un régimen de operaciones promedio de la zona. Además de los gastos aforados y las hectáreas regadas con una lámina de riego que fluctúa de 0.60 a 1.0 metros para el caso del uso industrial y público urbano se considero el volumen declarado.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

### 7.1 Entradas.

**7.1.1. Entradas horizontales.-** Estas entradas están representadas en parte por el flujo subterráneo horizontal (**Eh**) provenientes de la zona de recarga en un frente de 18.10 km, localizado en las estribaciones de la sierra de la Primavera al W de la zona metropolitana de Guadalajara y que resultó de **0.1358 m<sup>3</sup>/s. (4.2 hm<sup>3</sup>/año)** Millones de metros cúbicos anuales, tabla No. 6. Mediante las curvas equipotenciales de máximo valor, las transmisividades y canales de entrada considerados (planos y tablas de los estudios de Ariel y Lesser).

Canal	Longitud m	Gradiente m	Transmisividad m <sup>2</sup> /s	Gasto m <sup>3</sup> /s
1	4800	0.0031	0.0005	0.0074
2	3300	0.0091	0.0005	0.0150
3	3000	0.0125	0.001	0.0375
4	2900	0.0105	0.001	0.0304
5	4100	0.0111	0.001	0.0455
Sumas	18100			0.1358

**Tabla No 6. Entradas horizontales**

Continuando con las entradas, se tienen también la recarga vertical (**Rv**), que para este caso se considera como **incógnita**, por ser el parámetro más inconsistente en su determinación.

**7.1.2. Recarga inducida.-** Se tienen aportaciones por fugas de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la zona metropolitana de Guadalajara (**Rpap y Rpd**); la correspondiente a infiltración por pozos de absorción (**Rpa**), construidos desde hace muchos años, tanto en las casas, como en la vía pública y áreas jardinadas y, que a la fecha es obligatorio por el reglamento de construcción municipal. Por otra parte se tienen las aportaciones por excedentes de agua de regadío (**Rrr**). Todos estos parámetros se describen a continuación.

El abastecimiento de agua potable a la ZMG incluye 7.5 m<sup>3</sup>/s del Lago de Chapala, 3.0 m<sup>3</sup>/s de pozos del SIAPA y 0.30 m<sup>3</sup>/s de pozos de fraccionamientos como organismos operadores particulares. Tomando en cuenta el estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ZMG, realizado por el SIAPA en 1994, se considera un 42.98% de pérdidas y aplicando el coeficiente de infiltración  $C_i = 0.10$ , el caudal que contribuye a la recarga del acuífero resulta 0.4642 m<sup>3</sup>/s o sea un total de **14.6 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales). No se consideró el suministro de la presa Calderón (1.5 m<sup>3</sup>/s.) ya que la zona que abastece se localiza al norte de la ZMG, la red es relativamente nueva y el terreno donde se aloja es poco permeable.

En cuanto a las fugas por la red de alcantarillado, a los 10.8 m<sup>3</sup>/s de abastecimiento del SIAPA le sumamos 0.989 m<sup>3</sup>/s de autosuministro de las industrias y al total 11.79 m<sup>3</sup>/s le restamos 4.64 m<sup>3</sup>/s de las pérdidas del sistema de agua potable; al resultando 7.15 m<sup>3</sup>/s le aplicamos el 60% correspondiente a las descargas a la red de alcantarillado y de éste el 10% representa la cantidad que se fuga por las juntas de la

tubería ( $0.429 \text{ m}^3/\text{s}$ ), por último, a este valor le aplicamos el coeficiente de escurrimiento  $C_i = 0.10$ , obteniendo  $R_{pd} = 0.0429 \text{ m}^3/\text{s}$ , o sean **1.3 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Las recargas por pozos de absorción (**Rpa**) se determinaron a partir de aplicar los valores de las pruebas de permeabilidad (lts/min.) o de absorción (lts/s./m<sup>2</sup>) en el espesor no saturado, constituido por arenas, limos, jales y gravillas. Aplicando la relación de Darcy  $Q = K A i$ , donde  $Q$  es el gasto estabilizado en los pozos de prueba, (i) el gradiente hidráulico unitario, al área transversal del flujo vertical, el cual depende del radio efectivo del pozo de absorción, habiéndose considerado en promedio las siguientes características: 70 cm. de radio, 8 m de profundidad total, 6.5 m de profundidad efectiva y la conductividad hidráulica promedio ( $k = 0.003 \text{ m/s}$ ); obteniendo  $Q = 3.1416 \times (0.7 \times 0.7) \times 0.003 = 0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$  por los 6000 pozos en operación en el año de 1990 y por 60 tormentas con duración de 30 minutos, se determino una recarga de **2.9 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Los retornos de riego (**Rrr**) no se consideran por ser mínima la superficie bajo riego y por considerar que la evaporación absorbe las excedencias de riego pesado o de demasías.

## 7.2. Salidas.

**7.2.1. Evapotranspiración.-**En este acuífero se considera que no se tienen pérdidas por evapotranspiración ya que la única zona donde se tienen niveles estáticos someros (0 a 3 m), es en las inmediaciones del parque Agua Azul y la mayor parte de la superficie del terreno no conserva su condición original, pues se cubrió con la carpeta asfáltica de la ciudad, además de que el área es muy pequeña, despreciándose este parámetro.

**7.2.2. Manantiales (Sm).-** Como salida del acuífero se consideraron las descargas por manantiales se consideran aproximadamente de 529 lps. O sea, **16.7 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales). Tabla No. 7.

Nombre	Gasto lps
Colomos 1 y 2	234
La experiencia	50
Las pilitas 1**	15
Las pilitas 2**	5
Las pilitas 3**	4
Las pilitas 4	3
Las pilitas 5	2
Las pilitas 6	1
Belisario-R. Janeiro	3.27
Ojo de agua Osorio	2
Los Camachos 1,2,3	22.93
Oblatos**	6
Agua Caliente	25
La Soledad**	12
San José	7

Nombre	Gasto lps
Irene Robledo	2.7
Parque Tucson	7.28
El Chorrillo	0.9
Lavado de Carros	0.53
Caja de agua	11.08
Vía FFCC y C. Oleoducto	10.65
Ricardo Flores Magón	6.59
Manantial Alberta	7
La Jollita	2.05
1° de Mayo	23.41
San Eugenio	0.48
Plaza Polanquito	2.13
Baños Oblatos	7.18
Sta. Cruz de las Huertas	5.05
Manantial Tonalá	7.88

San Andrés	3	Comunidad de Copala	3
Fidel Velázquez 1 y 2	21	Nuevo México 1 y 2	5
San Isidro- Las Cañadas	10	suma	529.11

**Tabla No. 7. Salida por manantiales**

**7.2.3. Bombeo (B).**- Los usuarios potenciales son Los Organismos operadores de agua potable y los Industriales, después los Agrícolas, Servicios, Pecuario, Múltiples y al final el doméstico. El mayor número de aprovechamientos se tiene en el municipio de Guadalajara, en segundo orden en el de Zapopan, seguido por el de Tlaquepaque y finalmente en Tonalá. La extracción total a través de 1509 aprovechamientos es del orden de **159.5 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

**7.2.4 Salidas horizontales (Sh).** Esta descarga esta representada por las salidas hacia el río Santiago en la barranca de oblatos, interpretada por la forma de las curvas de menor valor en el plano de curvas de flujo subterráneo de 1990, considerando los canales 1 a 5 del plano N° VI-10 y Transmisividades plano VI-8 del Estudio de Ariel Consultores, S. A de C. V, resultando 0.286 m<sup>3</sup>/s, o sea, **Sh = 9.0 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales). Tabla No. 8.

Canal	Longitud m	Gradiente m	Transmisividad m <sup>2</sup> /s	Gasto m <sup>3</sup> /s
1	3600	0.004000	1.0	0.0144
2	2700	0.013636	1.0	0.0368
3	4200	0.010000	1.0	0.042
4	2900	0.004167	1.0	0.0121
5	5800	0.002632	1.0	0.0153

**Tabla No. 8. Salidas horizontales**

### 7.3. Cambio de Almacenamiento.

Este factor se determinó a partir del plano VI-4 del estudio Ariel Consultores, S. A. de C. V. de 1990 de curvas de evolución de los niveles estáticos del agua subterránea correspondientes a un intervalo de tiempo de 16 años 1981 de Geocalli y 1997 de Lesser, elaborado por la Subgerencia Técnica Regional y adoptando un coeficiente de almacenamiento de 0.13, se determinó un volumen drenado **Vd= -37.9 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales), aplicado a una área de 145.78 km.<sup>2</sup> un abatimiento promedio de **2.0 m/año**.

### ECUACIÓN DE BALANCE

Cambio de  
almacenamiento del acuífero = Recarga Total (suma de entradas) - Descarga Total (suma de salidas)  
Entradas:

Eh = 4.2 hm<sup>3</sup>/ año  
Rv = Incógnita



R<sub>pap</sub> = 14.6 hm<sup>3</sup>/año  
 R<sub>ped.</sub> = 1.3 hm<sup>3</sup>/año  
 R<sub>pa</sub> = 2.9 hm<sup>3</sup>/año

Salidas:

B = 159.5 hm<sup>3</sup>/año  
 M = 16.7 hm<sup>3</sup>/año  
 Sh = 9.0 hm<sup>3</sup>/año

**Por lo tanto, aplicando la ecuación de balance tenemos:**

$$-37.9 = 23.0 + R_v - 185.2$$

$$R_v = 185.2 - 23.0 - 37.9$$

**R<sub>v</sub> = 124.3 hm<sup>3</sup>/año.**

**La recarga total resulta entonces: 23.0 + 124.3 = 147.3 hm<sup>3</sup>/año**

En la tabla No. 9, se presenta un resumen con los datos del balance de aguas subterráneas.

Área total del acuífero			km <sup>2</sup>	
Recarga natural por lluvia			hm <sup>3</sup> /año	124.3
Entradas horizontales				4.2
Total de recarga natural				128.5
Público Urbano				
Recarga inducida P. U.				14.6
Pozos de absorción				
Recarga inducida por pozos de absorción + otros				4.2
RECARGA TOTAL			hm <sup>3</sup> /año	147.3
Salidas horizontales			hm <sup>3</sup> /año	9.0
Extracción total				159.5
Manantiales				16.7
DESCARGA TOTAL			hm <sup>3</sup> /año	185.2
Cambio de almacenamiento			hm <sup>3</sup> /año	-37.9

**Tabla No. 9. Balance de aguas subterráneas para el acuífero de Atemajac**

## 8. DISPONIBILIDAD

Disponibilidad de agua Subterránea en una Unid. hidrogeológica.	Recarga total = media anual.	Descarga - natural comprometida	Volumen - concesionado de agua subterránea
---	------------------------------	---------------------------------	--

### 8.1. Recarga total media anual (Rtma).

Es igual a la suma de recargas consideradas (23.0) más la recarga vertical (124.3) determinada en la ecuación de balance que se planteó y para un intervalo de un año, resultando igual a **147.3 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

### 8.2. Descarga natural comprometida (Dnc).

Es la suma de volúmenes de agua concesionados (utilizados) de los manantiales y del caudal de los ríos alimentados por una unidad hidrogeológica, que están comprometidos como agua superficial para diversos usos y de las descargas que deban de conservare para no afectar unidades hidrológicas aguas abajo o destinados para sostener el gasto ecológico. **Dnc. = 9.0 +16.7 = 25.7 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales)..

### 8.3. Rendimiento permanente (Rp).

Se le denomina a la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. **Rp = Rtma - Dnc = 147.3 – 25.7 hm³/año. = 121.6 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

### 8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas (VConc).

Se determinó sumando los volúmenes de agua asignada y concesionada por CNA, mediante títulos registrados en el REPDA. Para el caso de este acuífero la información proporcionada por la Subgerencia de Administración del Agua al 31 de mayo de 2005 es de **123.013137 hm³/año**.

### 8.5. Disponibilidad de aguas subterráneas (Disp).

Es la determinación de volúmenes medios anuales de agua disponibles, que tendrán derecho a explotar, usar o aprovechar los interesados, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro los ecosistemas.

$$(Disp.) = Rp - VConc. = 121.6 - 123.013137 = - 1.413137 \text{ hm}^3/\text{año}.$$

El valor indica que no existe disponibilidad de aguas subterráneas. Por lo tanto, no podrán otorgarse nuevas concesiones o asignaciones para extraer volúmenes adicionales, a fin de lograr la estabilización del acuífero mediante el manejo racional del recurso.

## **9. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.**

- 1 Estudio Geohidrológico de los Valles Atemajac, Tesistán, Ameca, Ahualulco y San Marcos, Jal., 1973. Ariel Construcciones, S.A., Dirección General de Estudios de la SRH.
- 2 Actualización del Estudio Geohidrológico de los Valles de Tesistán-Atemajac-Ocotlán, Jal., 1981. Geocalli, S.A., Subdirección de Geohidrología y zonas áridas de la SARH.
- 3 Boletín Hidrológico 51 y 52, Región Hidrológica N° 12 (parcial), SRH., Subdirección de Planeación, Dirección de Hidrología.
- 4 Censo de aprovechamientos de aguas subterráneas en los valles de Tesistán y Atemajac, 1984-1985, inédito. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación de la SARH.
- 5 Estudio Geohidrológico en la zona de Tesistán-Atemajac estado de Jalisco. 1990. Ariel Consultores, S. A. de C. V. Contrato SGA-89-47. SARH.
- 6 Actualización del estudio Geohidrológico zona conturbada de Guadalajara, Cuencas: Toluquilla, Atemajac, Cajititlán., Geoex, S. A de C. V., SIAPA, 1996.
- 7 Estudio para la Rehabilitación de Pozos Profundos, Lesser y Asociados, S. A de C. V., Contrato SIAPA-APA-097-010, SIAPA, 1997.