

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Cajititlán (1403), 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.**

CDLIX REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE JALISCO							
1403	CAJITILÁN	47.5	0.5	62.263569	37.7	0.000000	-15.263569

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 EN EL ACUÍFERO
CAJITITLÁN, ESTADO DE JALISCO**

1.- GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	5
2. ESTUDIOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	6
3. FISIOGRAFIA.....	9
3.1. Provincias fisiográficas.....	9
3.2. Clima.....	10
3.3. Geomorfología.....	10
3.4. Hidrografía.....	10
4.- GEOLOGÍA.....	11
4.1. Estratigrafía.....	12
4.2. Geología estructural.....	13
4.3. Geología del subsuelo.....	14
5.- HIDROGEOLOGÍA.....	15
5.1. Tipo de acuífero.....	15
5.2. Parámetros hidráulicos.....	15
5.3.-Modelo conceptual del funcionamiento del acuífero.....	16
5.4. Piezometría.....	16
5.5.- Comportamiento hidráulico.....	17
5.5.1 Profundidad al nivel estático.....	17
5.5.2 Elevación del nivel estático.....	18
5.5.3 Evolución del nivel estático.....	20
5.6. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	20
6.- CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	21
7.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
7.1. Entradas.....	22
7.1.1. Entradas horizontales.....	22
7.1.2. Recarga inducida.....	23
7.2. Salidas.....	23
7.2.1 Evapotranspiración.....	23
7.2.2. Manantiales.....	24
7.2.3. Bombeo.....	24
7.2.4. Salidas horizontales.....	24
7.3. Cambio de Almacenamiento.....	25
8.- DISPONIBILIDAD.....	28
8.1. Recarga total media anual.....	29
8.2. Recarga natural comprometida.....	29
8.3. Rendimiento permanente.....	30
8.4. Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	30
8.5. Disponibilidad de aguas subterráneas.....	30
9.- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	31

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO CAJITITLÁN, ESTADO DE JALISCO.

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, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en 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.

El acuífero denominado Cajititlán, se localiza en la porción centro del estado de Jalisco, a 25 km aproximadamente de la ciudad de Guadalajara, entre los paralelos 20° 20' y 20° 29' de latitud norte y los meridianos 103° 32' y 103° 10' de longitud oeste (figura No.

1). Se identifica con la clave geohidrológica JAL03 y la 1403 del SIGMAS (Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas de la CONAGUA).

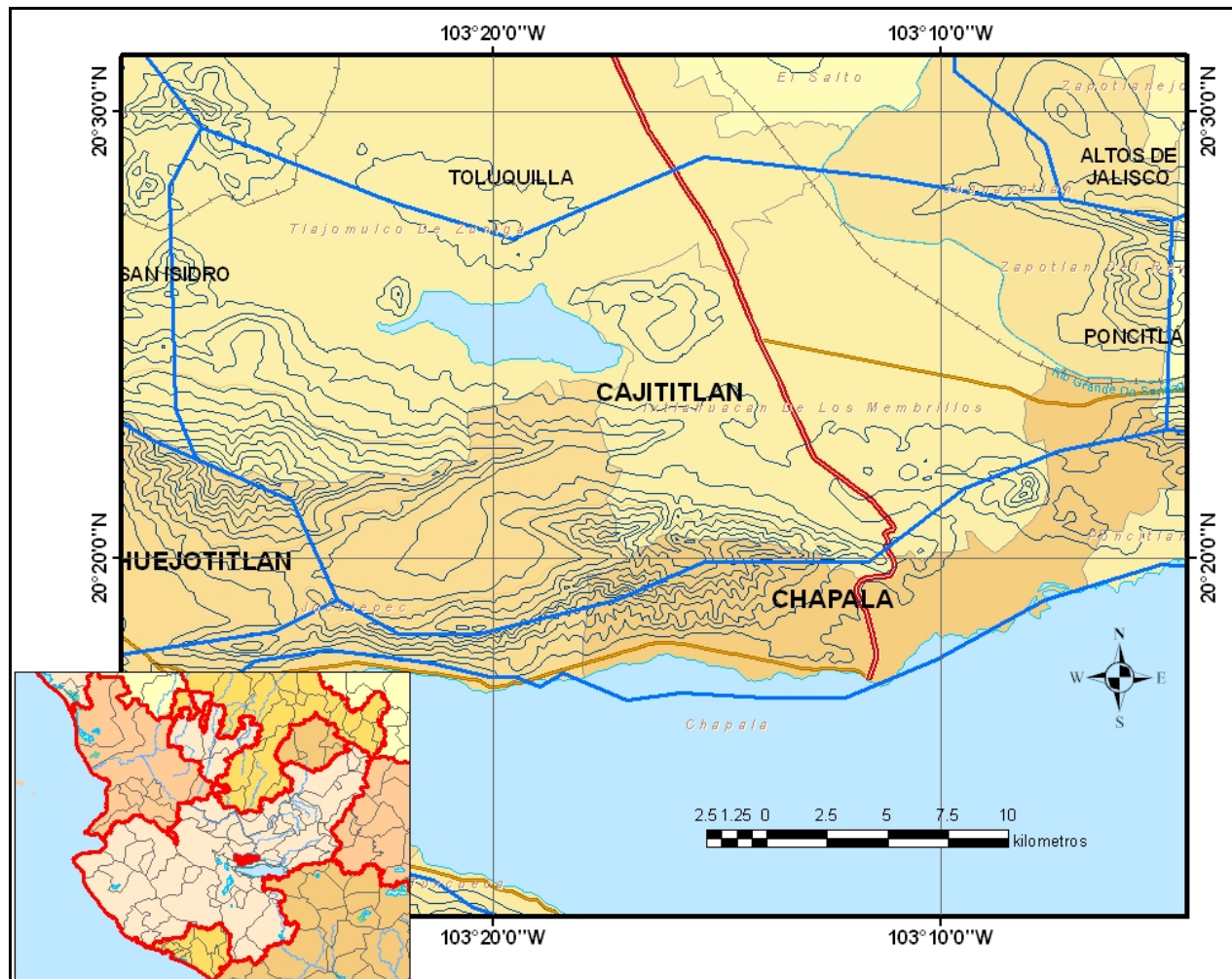


Figura No. 1. Localización del acuífero Cajititlán, Jalisco.

Tiene una extensión superficial aproximada de 566 km² y está delimitada por la poligonal simplificada cuyos vértices geográficos se muestran en la tabla No. 1.

ACUIFERO 1403 CAJITITLAN

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	7	17.2	20	28	4.4
2	103	4	50.5	20	27	33.8
3	103	4	56.6	20	22	52.6
4	103	7	20.3	20	22	25.1
5	103	9	28.7	20	21	33.1
6	103	11	37.1	20	19	55.3
7	103	15	17.2	20	19	55.3
8	103	17	13.3	20	19	3.3
9	103	20	19.8	20	18	17.4
10	103	22	6.8	20	18	17.4
11	103	23	29.4	20	19	3.3
12	103	24	30.5	20	21	17.8
13	103	26	38.9	20	22	12.8
14	103	27	6.4	20	23	20.1
15	103	27	15.6	20	28	19.7
16	103	26	32.8	20	29	39.2
17	103	22	16.0	20	27	58.3
18	103	19	34.0	20	27	9.4
19	103	15	17.2	20	28	59.4
20	103	11	12.6	20	28	31.9
21	103	8	33.6	20	28	4.4
1	103	7	17.2	20	28	4.4

Tabla No. 1. Coordenadas que definen el área que cubre al acuífero.

Políticamente el área del acuífero comprende parcialmente los municipios de Ixtlahuacán de los Membrillos, Tlajomulco de Zúñiga, Jocotepec y Juanacatlán, como se muestra en la figura No. 2.

Las poblaciones más importantes además de las cabeceras municipales anteriores son: San Miguel Cuyutlán, Potrerillos, Cajititlán, La Capilla, Atequiza, Atotonilquillo y San Lucas Evangelista.

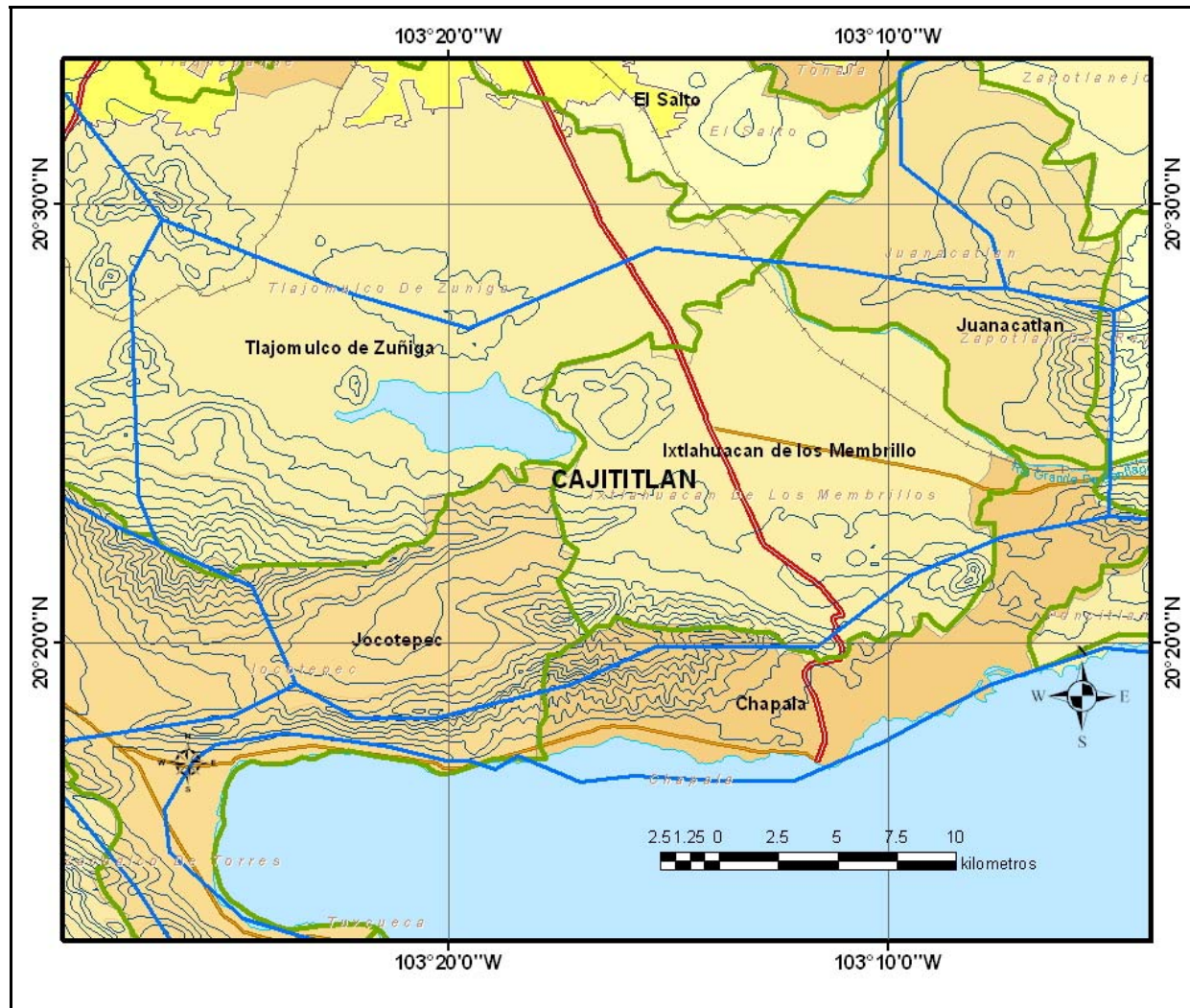


Figura No. 2. Municipios dentro del área del acuífero.

Las poblaciones más importantes que se encuentran en el acuífero Cajititlán son las cabeceras municipales de Tlajomulco de Zúñiga, Ixtlahuacán de Los Membrillos, así como las poblaciones de San Miguel Cuyutlán, Potrerillos, Cajititlán, La Capilla, Atequiza, Atotonilquillo y San Lucas Evangelista.

1.2 Situación administrativa del acuífero.

La región se encuentra sujeta a los decretos de veda tipo II “Valles Atemajac, Tesistán y Toluquilla” y “Ampliación de la Zona circunvecina de los Valles de Atemajac, Tesistán y Toluquilla”, publicadas en el DOF el 3 de febrero de 1951 y 7 de abril de 1976, respectivamente.

Ambos decretos son por tiempo indefinido y establecen veda de control para prevenir perjuicios al abastecimiento de agua potable y usos domésticos de la ciudad 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 otorgarán 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 2007 el municipio de Tlajomulco se localiza dentro de la zona 5, Ixtlahuacán de los Membrillos y Jocotepec en la zona 6 y Juanacatlán en la zona 7.

Organización de usuarios: El 21 de abril de 1997, se integró la mesa de trabajo del Río Santiago, con el objeto de promover integrar e instalar el Consejo de Cuenca, quedando formalmente instalada el 17 de septiembre del mismo año, con los siguientes objetivos: Ordenamiento y regularización 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 con los usuarios es importante que se realice en los Comités estatales y en el seno del Consejo de la Cuenca, ya que se han marcado como objetivos 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 (Comité Técnico de Aguas Subterráneas) del acuífero.

Los sectores usuarios mayores de aguas subterráneas son el Agrícola, Público-Urbano e Industrial.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.

En todos los estudios que a continuación se mencionan se abarcó el acuífero Cajititlán o se trataron aspectos relevantes de este acuífero.

a).- Reactivación de la Red de Medición Piezométrica en el Acuífero Cajititlán, Jal. Elaborado por la empresa Hidroconstrucción y Consultoría S. A de C. V; diciembre de 2004.

Las configuraciones de las curvas piezométricas, no se encuentran apoyadas en nivelaciones de precisión en los brocales de los nodos (pozos), el procedimiento de interpolación de las curvas topográficas con algunos apoyos físicos de pozos ya nivelados en estudios anteriores y procesamiento en Autocad detallado, fue suficiente para proporcionar una buena base para las curvas y las direcciones de los flujos subterráneos. Para estudios de mayor exactitud sería recomendable una nivelación.

Se realizó la medición de niveles piezométricos en 54 pozos agrícolas, industriales y municipales estableciendo una red de medición piezométrica. Con esta información se elaboró el plano de configuración del nivel estático.

Se recomienda localizar, revisar y determinar si pueden tener continuidad de monitoreo piezométrico los pozos piloto que se señalan en los estudios de Geoex-1996.

Dado que la gran parte de los nodos de la red son pozos de agua potable y su régimen de operación es prolongado y cada día será más exigido, lo que reduce el tiempo de su recuperación adecuado para lograr mediciones de niveles piezométricos veraces es recomendable realizar el monitoreo en por lo menos dos fechas al año previamente establecidas y previa recuperación del nivel estático durante 24 horas.

b).- Estudio Geohidrológico para el Plan de Expansión del Grupo de Embotelladoras Unidas S. A de C. V. Elaborado por la empresa Hidroconstrucción y Consultoría S.A. de C. V.; septiembre de 2001.

Se estudiaron 5 acuíferos entre ellos Cajititlán; se determinaron las condiciones de explotación y comportamiento del agua subterránea como resultado de los esfuerzos hidrodinámicos inducidos por las condiciones de recarga y extracción a que están sujetos, así como el análisis de la disponibilidad, de las demandas de uso y el costo para su extracción

c).- Informe Técnico de Disponibilidad de aguas subterráneas de la Unidad Hidrogeológica “Cajititlán”, estado de Jalisco, GRLSP/99/03, realizado en el año de 1999 por la Jefatura de Departamento de Aguas Subterráneas de la Gerencia Regional Lerma Santiago Pacífico.

Contiene una amplia compilación de información. Se describen las características hidrogeológicas del área en estudio, las zonas de recarga y descarga natural, cuantificación y clasificación de las extracciones por bombeo, el comportamiento de los niveles piezométricos y la dirección del flujo subterráneo, describiendo un modelo conceptual del funcionamiento del acuífero y la determinación de manera preliminar del balance y disponibilidad del agua subterránea.

El padrón de usuarios con que se cuenta en la Subgerencia Técnica Regional Lerma-Santiago-Pacífico, después de la depuración realizada a principios del año 2000, incluyendo los inventarios de campo de estudios anteriores y de los que generó el REPDA hasta agosto de 1999, resultando 253 aprovechamientos, de los cuales 194 son pozos y 59 norias, que en conjunto extraen un volumen de 20.33 millones de metros cúbicos.

Las entradas están representadas en parte por el flujo subterráneo horizontal (R_{fhz}) proveniente de las zonas de recarga localizadas al NW y SW de la zona de estudio. Con apoyo de las curvas equipotenciales de máximo valor, se calculó una entrada por flujo horizontal del orden de 8.26 hm^3

Las salidas por bombeo, es a través de 253 aprovechamientos es del orden de 20.33 Hm³/año. Las salidas por flujo subterráneo son de 14.38 hm³/año

El cambio de almacenamiento se determinó a partir del plano de curvas de evolución de los niveles estáticos del agua subterránea correspondiente a un intervalo de tiempo de 5 años (1995-2000), resultando un valor del volumen drenado de 13.24 hm³/año.

La Disponibilidad de agua subterránea, 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.

Disponibilidad = Rendimiento Permanente – Volumen Concesionado = 34.59 - 18 = 16.59 hm³/año.

d).- Actualización del Estudio Geohidrológico de la Zona Conurbada de Guadalajara, cuencas: Toluquilla, Atemajac y Cajititlán. Elaborado por GEOEX, S.A. de C. V; 1996.

Las actividades realizadas incluyeron recorridos piezométricos, aforo de manantiales, pruebas de bombeo, toma de muestras de agua para análisis físico-químicos, representación hidrogeoquímica de los resultados, geoposicionamiento de pozos piloto, ejecución e interpretación de pruebas de bombeo. Con toda esta información se planteó el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos estudiados, determinando las condiciones geohidrológicas a la fecha del estudio.

e).- Piezometría y Monitoreo de la contaminación en el valle de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco; elaborado por GEOEX, S. A de C. V; 1994

Se realizó la medición de niveles piezométricos en 20 pozos agrícolas y municipales, configurando las curvas de profundidad al nivel estático, así como la determinación de calidad del agua de los mismos pozos.

f).- Estudio Isotópico e Hidrogeoquímico de los Acuíferos Toluquilla-Ocotlán-La Barca en el estado de Jalisco; Elaborado por el IMTA. 1992.

Los objetivos principales del estudio fueron dilucidar a cerca de la posible interconexión desde el punto de vista hidráulico entre el Lago de Chapala y los Acuíferos Toluquilla-La Barca-Ocotlán, determinar las áreas de recarga, dirección de flujo, tiempo de residencia, vulnerabilidad y calidad química del agua subterránea.

g).- Estudio Geohidrológico de la zona Tesistán-Atemajac, estado de Jalisco; Elaborado por Ariel Consultores, S.A., 1989-1990.

Este estudio abarca una parte del actual acuífero Cajititlán. Se realizó la depuración del censo de pozos, determinando la existencia de 2244 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 1267 son pozos, 771 norias, 201 manantiales y 5 galerías filtrantes en los valles de Atemajac, Toluquilla y Cajititlán. Adicionalmente, se llevaron acabo estudios de prospección geofísica a 500 m de profundidad para la investigación

de los dos primeros valles, nivelación de 42 brocales, monitoreo de la red piezométrica, configuración de la elevación del nivel estático, muestreo y análisis de 60 aprovechamientos para la caracterización de la calidad del agua, ejecución de 15 pruebas de bombeo, determinación de la transmisividad, así como un balance del agua subterránea para los acuíferos estudiados.

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

Las actividades consistieron en un censo de aprovechamientos subterráneos, nivelación de 163 brocales, piezometría, ejecución de 30 pruebas de bombeo, toma de 127 muestras de agua para su análisis, aforo de manantiales, cálculo de extracciones, determinación de parámetros hidráulicos, familias del agua y balance de agua subterránea.

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

Las actividades realizadas fueron: Censo de aprovechamientos subterráneos, nivelación de brocales, hidrología y geoquímica, apreciación muy preliminar de los recursos hídricos subterráneos.

3. FISIOGRAFÍA.

3.1 Provincia fisiográfica.

Desde un punto de vista fisiográfico regional, el área de interés pertenece a la zona de traslape de las dos provincias geológicas de origen volcánico más importante del país: Las Fajas Ignimbrítica y Volcánica Transmexicana. La primera faja (o Sierra Madre Occidental) está constituida por un apilamiento de materiales vulcano sedimentarios, piroclásticos y magmáticos de composición ácida; alojados a lo largo de una gran franja de 250 km de ancho en promedio, con una extensión de 1,200 km, desde Jalisco hasta la frontera con los Estados Unidos. Constituye la mayor exposición de tobas ácidas en el mundo, con una superficie de 300 mil km². Este paquete de edad cenozoica, es producto del ambiente geotectónico de arco, propio del borde occidental mexicano.

La segunda provincia comprende una gran franja magmática básica del Cenozoico, compuesta por un sin número de edificios volcánicos, alojados en una franja orientada NW de costa a costa del país, en traslape con la Sierra Madre Occidental en la zona de interés. Este accidente fisiográfico regional, obedece al origen geotectónico de arco continental, producto de un estado de esfuerzo cortante lateral izquierdo, de carácter continental, entre las latitudes 19° a 21°

Localmente, el valle queda dentro de la provincia fisiográfica llamada Fosas Tectónicas, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) que cruza a la República Mexicana desde las costas de Colima, Jalisco y Nayarit en el oeste, hasta la costa de Veracruz.

3.2 Clima.

El clima de la zona se clasifica como subhúmedo templado, con lluvias en verano.

Temperatura media anual: La temperatura más cálida se registra entre los meses de mayo y junio, con una temperatura máxima de 28° C, y mínima es de 8° C en enero. De manera general, la temperatura media anual varía de 18° C a 20° C, según los criterios de Köppen y modificados por Enriqueta García.

Precipitación media anual: Las lluvias se presentan de junio a septiembre y la precipitación media anual del área oscila entre los 700 mm y 900 mm, con una media de 827 mm, siendo julio el mes más lluvioso

Evaporación potencial media anual: La evaporación potencial media anual fue estimada en 2085 mm y se presenta un exceso de humedad de julio a septiembre.

La evapotranspiración potencial se estima en 697 mm/año.

3.3 Geomorfología.

Morfológicamente limita al norte con la sierra El Sacramento, al noroeste la sierra La Cruz, Latillas y Patomo que rodean a la población de Tlajomulco de Zúñiga. Al sur la sierra Las Vigas y El Travesaño, al sureste el estrechamiento fisiográfico de Atequiza y al este el cerro El Molino.

La zona de recarga está formada por derrames de basalto antiguo muy alterado en ciertas zonas. Estos rodean a la pequeña cuenca de Cajititlán con escurrimientos superficiales originados sobre esta zona y se presenta infiltración en buena medida a través de las fracturas de las rocas y de los depósitos de pie de monte que conforman una gran extensión como zona de recarga, alimentado a las unidades o espesores acuíferos por una gran cantidad corrientes superficiales y al pie de los abanicos aluviales en contacto directo con el subsuelo y posteriormente alimentando al acuífero en los depósitos lacustres.

3.4 Hidrografía.

La zona pertenece a la Región Hidrogeológica No. 12, Cuenca de los Ríos Lerma-Santiago, subcuenca alta del Río Santiago, en el valle de El Salto-Atequiza. En este tramo el cauce es somero, con una profundidad promedio de 3 m y las aportaciones más importantes son de los afluentes Arroyo El Ahogado, Arroyo Santa Rosa y Los Sabinos, todos por margen izquierda.

La Laguna Cajititlán, microcuenca a la cual pertenece el área, se localiza en una cuenca cerrada, y el agua almacenada se utilizada para riego principalmente, además de otras actividades como la pesca, ganadería y recreativas. Tiene una longitud de 7.5

km, un ancho promedio de 2.0 km y una profundidad media de 2.5 m, su capacidad es 45 millones de metros cúbicos en un área de embalse de 1700 ha a una altitud media de 1551 msnm.

La laguna recibe varias corrientes entre las que destacan al SW: Arroyo Grande, San Lucas y Los Sauces; al Sur, los arroyos El Temporal y La Tamina. Al norte y sur varios arroyos de corta longitud con un patrón de drenaje paralelo que contribuyen al almacenamiento del vaso natural.

Es de suma importancia desde el marco hidrogeológico el comportamiento hidráulico del Río Santiago entre Ocotlán y el Salto de Juanacatlán (78 km de longitud), ya que ha sido un cuerpo de agua permanente desde la construcción de las presas Poncitlán y la derivadora Corona en el año de 1927. Este río y su estructura de control “presa Poncitlán” es una de las obras por donde se constituyen actualmente parte de las salidas de agua superficial del lago de Chapala, dependiendo de los niveles de almacenamiento y de los escurrimientos del río Zula, tanto del temporal de lluvias como los perennes en tiempo de estiaje, convierten al río Santiago en un cuerpo regulador de agua superficial, de niveles freáticos someros y de recarga al subsuelo en zonas colindantes por ambos márgenes y, con seguridad también por las fracturas del basalto que conforman el lecho del río y que aflora en varios tramos.

Las aguas superficiales de la cuenca alta del río Santiago se utilizan para riego agrícola, por más de 30 años se utilizaron como fuente abastecimiento de agua a la Ciudad de Guadalajara y actualmente se utiliza en casos de emergencia a través del canal de Atequiza que se inicia a la presa derivadora Corona. Por otra parte, también existe infraestructura hidráulica para generación eventual de energía eléctrica en las plantas Colimilla y Las Juntas.

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. RH 12 Lerma Santiago

4. GEOLOGIA.

Localmente el área es un reflejo del marco geológico general, mostrando un ambiente completamente volcánico, propio de la Faja Volcánica Transmexicana (Figura No. 3), aunque con algunas particularidades como son los depósitos lacustres continentales del Terciario, cubriendo una extensión considerable del área del acuífero y un domo remanente de origen ácido (Tqdr) en las inmediaciones del poblado Cedros.

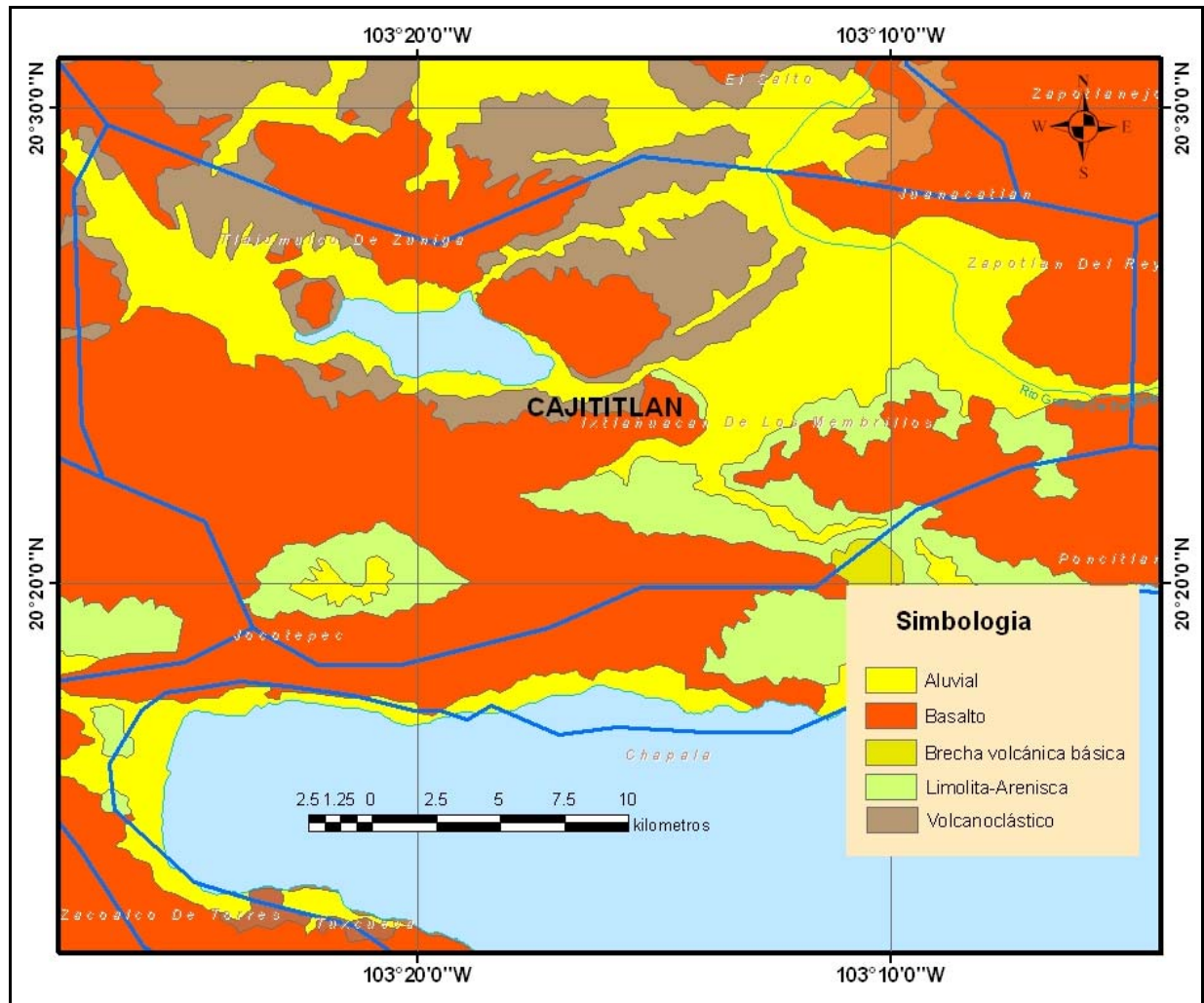


Figura No. 3. Mapa Geológico

4.1 Estratigrafía.

En la zona del acuífero afloran las siguientes unidades:

Unidad Capulín (Tiic).- Es un paquete de tobas lítico-arcillo-arenosa de tonos gris, crema, café, rosa y rojizo que afloran en las proximidades del Capulín (Cuenca Toluquilla y Cajititlán), son de permeabilidad media, forman un acuífero libre que es explotado mediante norias.

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. Forma mesetas con espesores promedio de 50 m. Aflora en Tonalá, Zapotlanejo, Tlaquepaque, El Salto, La Capilla, Buenavista, La Cañada e Ixtlahuacán de los Membrillos. Es considerada de permeabilidad baja debido a que las fracturas se cierran a profundidad.

Suelos Residuales (Qre).- Son suelos formados por alteración química de las lavas y tobas en las cuencas de Atemajac, Toluquilla y Cajititlán.

Depósitos Aluviales y Lacustres (Qla).- Corresponden a depósitos fluvio-lacustres; por el gran volumen de arcilla que poseen tienen permeabilidad baja. Su espesor llega a ser mayor a 40 m en la cuenca de Cajititlán.

Rocas Volcánicas (tbasg).- Son rocas intermedias, andesitas basálticas que afloran en la base de la sierra El Madroño y Tlajomulco. El derrame tabular en ocasiones pasa de 150 m de espesor y conforma el paleorelieve donde fueron depositadas las emisiones del volcanismo de FVT son de tonos gris oscuro verdoso de textura afanítica muy alterada, las fracturas presentan mineralización secundaria por clorita, calcita y zeolitas.

4.2. Geología estructural.

El estado macroestructural del área es complejo; asociado a un ambiente geotectónico de borde continental activo, propio del Pacífico Occidental Mexicano; además de la condición tectónica continental de esfuerzos cortantes en la región, Por si esto fuera poco también se encuentra asociado a una condición singular, de una potencial triple unión continental, dando origen a una microplaca, geobloque Jalisco.

Estas condiciones macroestructurales complejas, rebasan los alcances de este trabajo; sin embargo, se mencionan aquí sólo para dar pie a una breve explicación de los rasgos macroestructurales derivados de este complejo estado de esfuerzos en la región. Así pues se evidencia una serie de alineamientos de aparatos volcánicos de la ribera del Lago de Chapala, en las inmediaciones del poblado de San Juan Cosalá, hasta converger al centro caldérico La Primavera; integrado por aparatos volcánicos, entre otros: (algunos sin nombre formal y otros se denominaron de acuerdo a los arroyos más cercanos) Jaltepec, Juanote, Colorado, Patomo, La Cruz, El conjunto Las Latillas y Totoltepec. Estos macizos rocosos orientados NW-SE, a su vez aíslan zonas topográficamente deprimidas, igualmente alargadas en la misma orientación, que comprenden fosas tectónicas. Las fosas orientadas en esta dirección, se denominan en este trabajo, informalmente como fosas El Ahogado, Santa Cruz Buenavista, Tlajomulco-Cuyutlán, Cajititlán y Zapotitán. Las fosas mayores, con orientación E-W y N-S, corresponden a los Lagos Chapala y Atotonilco-San Marcos-Sayula respectivamente; aisladas por los pilares de las sierras el Travesaño y la Difunta, también respectivamente. Así pues, desde el punto de vista macroestructural, se puede decir que el área se encuentra en una provincia de pilares y fosas (horsts y grabens).

La última macroestructura singular del área, corresponde a la caldera La Primavera, constituye una estructura volcánica semicircular de casi 30 mil Has, de superficie, y representa el pivote de las macroestructuras alargadas de fosas y pilares regionales. Por último, cabe anotar que la presencia de puntos calientes, desde los balnearios en San Juan Cosalá, al SE del área, hasta el gran centro geotérmico de la caldera La Primavera, representan la condición activa del contexto geotectónico antes esbozado.

4.3. Geología del subsuelo.

El subsuelo de la zona se definió con apoyo a la geología superficial, recopilación de información, datos geológicos obtenidos en campo y mediante la interpretación y correlación de los registros geofísicos de pozos que proporciona de manera confiable los espesores de las unidades geológicas.

De acuerdo a la interpretación de los registros geofísicos, el pozo Santa Isabel, en Tlajomulco de Zúñiga, porción sureste del sistema acuífero de Cajititlán; las resistividades presentan valores de 140 ohms-metro, las riolitas e ignimbritas de 200 ohms-metro y las arcillas cortadas a profundidad definidas por la curva del registro gamma es de 50 ohms-metro.

De 0 a 50 m existe una zona conformada por arcillas y limos depositados en un medio acuoso que cubren la cuenca de Cajititlán, por su comportamiento desde el punto de vista hidráulico se considera que funciona como acuitardo.

Las arcillas que la conforman presentan alto contenido de materia orgánica por lo que el agua extraída de ciertos pozos tiene olor pútrido, un claro ejemplo es el agua extraída de los pozos Municipales ubicados en las demarcaciones de Tlajomulco de Zúñiga.

Por su posición topográfica y cercanía con los principales cuerpos de agua superficial (laguna de Cajititlán, Río Grande de Santiago) los aprovechamientos típicos son las norias.

Las rocas que afloran en el área se restringen a basamentos fracturados en la porción superior, descansando sobre un potente paquete de tobas básicas, con una cobertura generalizada de aluvión cubriendo a las litologías inferiores, las que corresponden a tobas y depósitos lacustres.

La cuenca es inminentemente lacustre, así lo demuestra los grandes espesores de arcilla (>125 metros) encontrados en los pozos perforados en las industrias de celulosa de Derivados, Aguas Minerales de Occidente, Euzkady, Gosa, Mosa Aralmex y La Herradura.

Los Basaltos y andesitas están por debajo de las arcillas, se encuentran muy alterados y ocasionalmente metamorfoseados, contiene clorita, zeolita y pirita.

Un grueso paquete de arcilla cloritizada con horizontes de lutitas lacustres habidas de agua aparecen por debajo de los basaltos y andesitas; deducidos de los cortes litológicos de los pozos CRYSEL, Gosa, Mosa, Euzkady, Embotelladora de Aguas Minerales y San Miguel Cuyutlán.

Cabe resaltar que pasando de las arcillas lacustres en el fondo de la laguna de Cajititlán se encuentran basaltos con un espesor promedio de 120 metros.

Al oriente de la cuenca, se localizan los pozos Aralmex, Gosa, El Charandero y La Herradura donde se presenta el espesor más potente de arenas, arcillas y gravas. Las arcillas superficialmente se comportan como un acuitardo cuyo volumen de agua resulta importante.

Este paquete de materiales granulares (Q1a) permite solamente en esta zona, la salida subterránea del agua hacia el Río Grande de Santiago.

5 HIDROGEOLOGÍA.

5.1 Tipo de acuífero.

En función de la geología del acuífero y de su comportamiento hidrodinámico, se define una zona conformada por arcillas y limos depositados en un medio acuoso que funcionan como acuitardo (0 a 50 m).

Por la presencia de arcillas interestratificadas con las arenas poco consolidadas, se puede inferir que esta unidad litológica constituye un acuífero libre superior (50 a 160 m) y otro inferior, en partes confinado o semiconfinado por la alternancia de horizontes arcillosos y derrames lávicos fracturados (160 a 200 m).

5.2 Parámetros hidráulicos.

El conocimiento de los parámetros hidráulicos y su distribución espacial son indispensables para conocer el comportamiento hidrodinámico del acuífero.

Para la obtención de dichos parámetros fueron realizadas prueba de bombeo y aforos (GEOEX, 1996), entre las que están incluidas mediciones de caudal constante-tiempo-abatimiento y aforos escalonados y a caudal variable.

Las pruebas de bombeo a caudal constante fueron interpretadas por el método de Jacob y Coopen, mientras que las de caudal variable por el método de Jacob en etapas escalonadas.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, considerando el tipo y características de los materiales que sustituyen el subsuelo de la región se adaptó un valor de 0.017 el cual queda dentro del rango de los acuíferos libres,

Zona	Tipo de suelo	Ss
El Salto	Arcilla y arena	00.01
Tlajomulco e Ixtilahuacan	Arcilla y Limo	0.02

Tabla 2. Coeficiente de almacenamiento (Ss).

5.3. Modelo conceptual del funcionamiento del acuífero.

Al norte del área, el límite del acuífero corresponde a la porción sur del acuífero Toluquilla, formado principalmente por basaltos antiguos.

Al sur limita por la sierra del Madroño, misma que sirve de parteaguas geohidrológico con la cuenca propia del Lago de Chapala; Consideración que refiere el estudio isotópico e hidrogeoquímico elaborado por el IMTA en el año de 1992, en el cual se demuestra que no existe interconexión entre el Lago de Chapala y los acuíferos colindantes de Toluquilla y Ocotlán.

Al poniente el parteaguas geohidrológico lo forman los cerros La Cruz y el Patomo, unidos por una toba con ligeras incrustaciones de pómez.

La recarga natural del acuífero se debe a la infiltración del agua pluvial que provienen del NW-SW de un frente localizado en las estribaciones de los cerros de La Cruz y El Patomo, al NE del cerro Cajete y del SE de las sierras El Travesaño y el Ixtle, todas con flujo hacia el valle.

El sentido del flujo subterráneo presenta varias tendencias. La primera en la porción sureste de la población de Tlajomulco de Zúñiga, hacia el puerto que forman los cerros La Cruz y El Patomo el gradiente hidráulico es hacia la subcuenca de Santa Cruz de Las Flores, que pertenece al acuífero denominado San Isidro, lo que da origen a una salida por flujo subterráneo horizontal.

Otra zona de recarga se localiza en la porción norte y NW de la laguna de Cajititlán, en el cerro Sacramento, conformado por basaltos fracturados y alterados y tobas de talud donde el flujo sigue una dirección S-SW hacia la laguna y hacia el acuífero San Isidro.

La segunda zona de recarga de importancia se presenta al S-SE del acuífero, donde se localizan los cerros Chihue y el faldón oriente de la sierra El Travesaño con dirección N-NW, que se intercepta con otro flujo proveniente del oriente de las sierras El Madroño y El Travesaño con dirección NE. Estos dos flujos se extienden entre los poblados Santa Rosa, Cedros y Buenavista, siguiendo una dirección N-NE hasta Atequiza y Atotonilquillo, hacia la margen izquierda del Río Grande de Santiago, identificada como salida del flujo de agua subterránea en las cercanías de los poblados La Capilla y La Estancia de Guadalupe.

Actualmente el acuífero alojado en los depósitos aluviales, Tobas y los espesores superiores de roca volcánica fracturada, que subyace a las anteriores es el más explotado en la zona, a una profundidad que varía entre 200 y 250 m.

5.4. Piezometría.

Con la información del estudio de GEOEX de 1996, la información piezométrica realizada por la empresa Hidroconstrucción y Consultoría S.A. de C. V. en el 2004 y de un recorrido piezométrico realizado por Subgerencia Técnica Regional Lerma-Santiago-

Pacífico en el mayo de 2006, se define la evolución de los niveles estáticos de 2004 a 2006

5.5 Comportamiento hidráulico.

5.5.1 Profundidad al nivel estático.

En la figura No. 4 se presenta la configuración de las curvas de igual valor de profundidad al nivel estático, correspondiente a Octubre de 2004.

Los niveles estáticos en la zona S-SE de la población de Tlajomulco y hasta la población de San Miguel Cuyutlán, varían de los 12 a 46 m, influenciados por la concentración del bombeo de los pozos para abastecimiento de agua potable, tal como lo demuestra la presencia de conos de abatimiento en dicha zona.

En el pie de monte del cerro El Sacramento los niveles se manifiestan entre los 24 a 28 m de profundidad. Al SW del cruce de Santa Rosa (carretera Guadalajara-Chapala y Guadalajara-Ocotlán), los niveles varían entre los 16 a los 22 m de profundidad, conforme se asciende a las partes topográficas altas.

En la planicie que abarca las poblaciones de Atotonilquillo-El Rodeo-Santa Rosa-La Capilla y Estancia de Guadalupe, por la margen izquierda del Río Santiago, las curvas de niveles estáticos no guardan una configuración uniforme, sin embargo muestra una progresión descendente que va de los 6 a los 28 m de profundidad con dirección de S a N, confirmando la depresión piezométrica en el área entre La Calera, La Capilla y Estancia de Guadalupe.

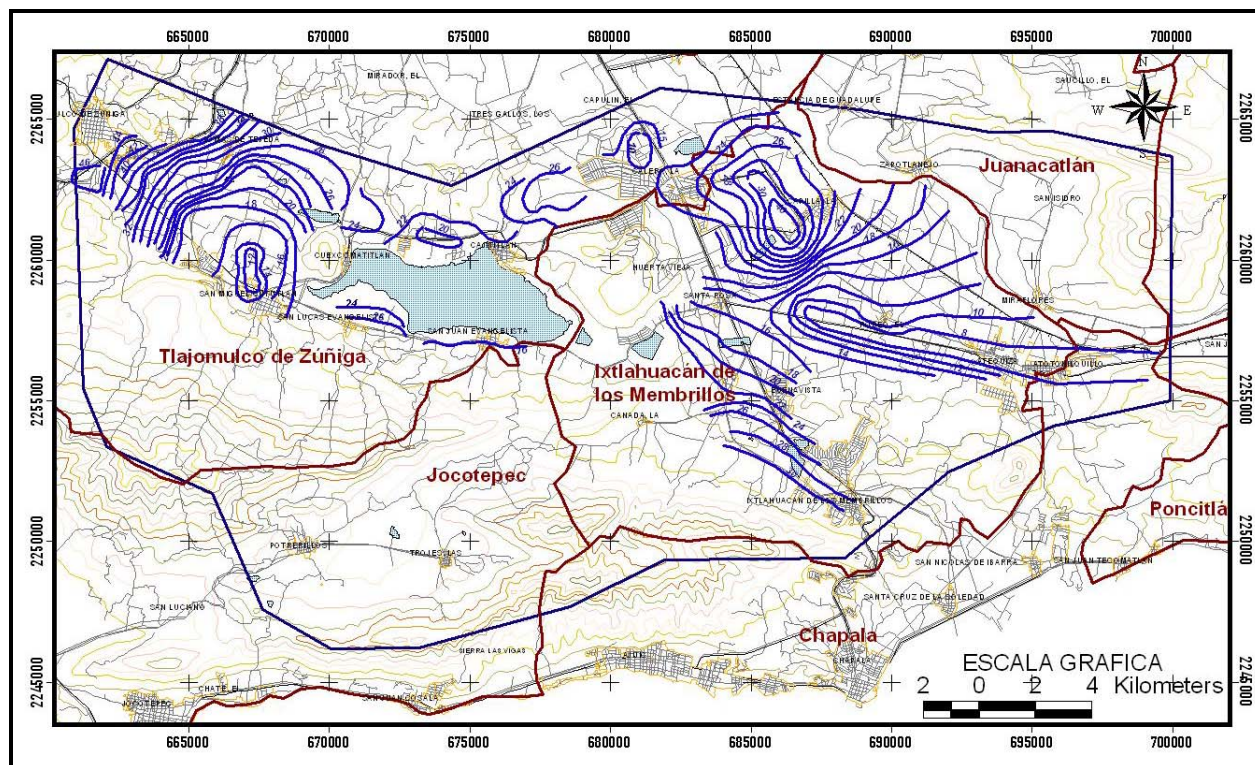


Figura No. 4. Profundidad al nivel estático 2004.

5.5.2 Elevación del nivel estático.

En las figuras Nos. 5 y 6, se muestran las configuraciones de las elevaciones del nivel estático para 2004 y 2006, las altitudes del nivel estático en el acuífero para el 2004 son del orden de 1552 a 1422 msnm se observan entradas de flujo subterráneo en la porción sureste, en los alrededores del poblado de Ixtlahuacán de los Membrillos con valores del orden 1552 msnm con flujo subterráneo con dirección Noreste y salidas el flujo subterráneo hacia donde fluye el Río Grande de Santiago con valores del orden de 1500 msnm; y en la porción central donde se localiza la Laguna de Cajititlán se observan entradas de flujo subterráneo al norte proveniente del cerro Sacramento del orden de 1550 msnm y al sur de la sierra del Madroño del orden de 1544 msnm. En la zona oeste del acuífero donde se encuentra la población de Tlajomulco de Zúñiga el flujo subterráneo se comporta en dirección este-oeste provenientes del cerro Cuexcomatitlán con valores del orden 1538 hasta 1518 msnm. Hacia el acuífero San Isidro.

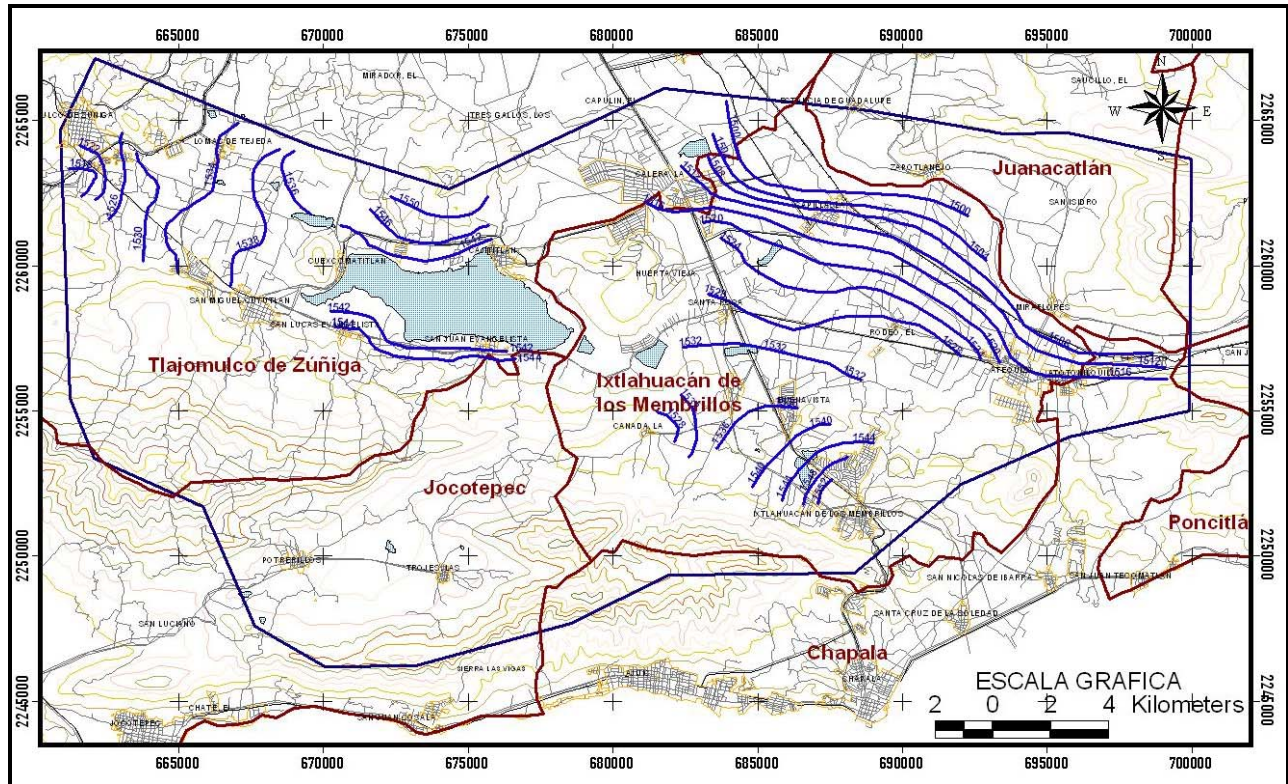


Figura No. 5 Curvas de igual elevación del nivel estático 2004.

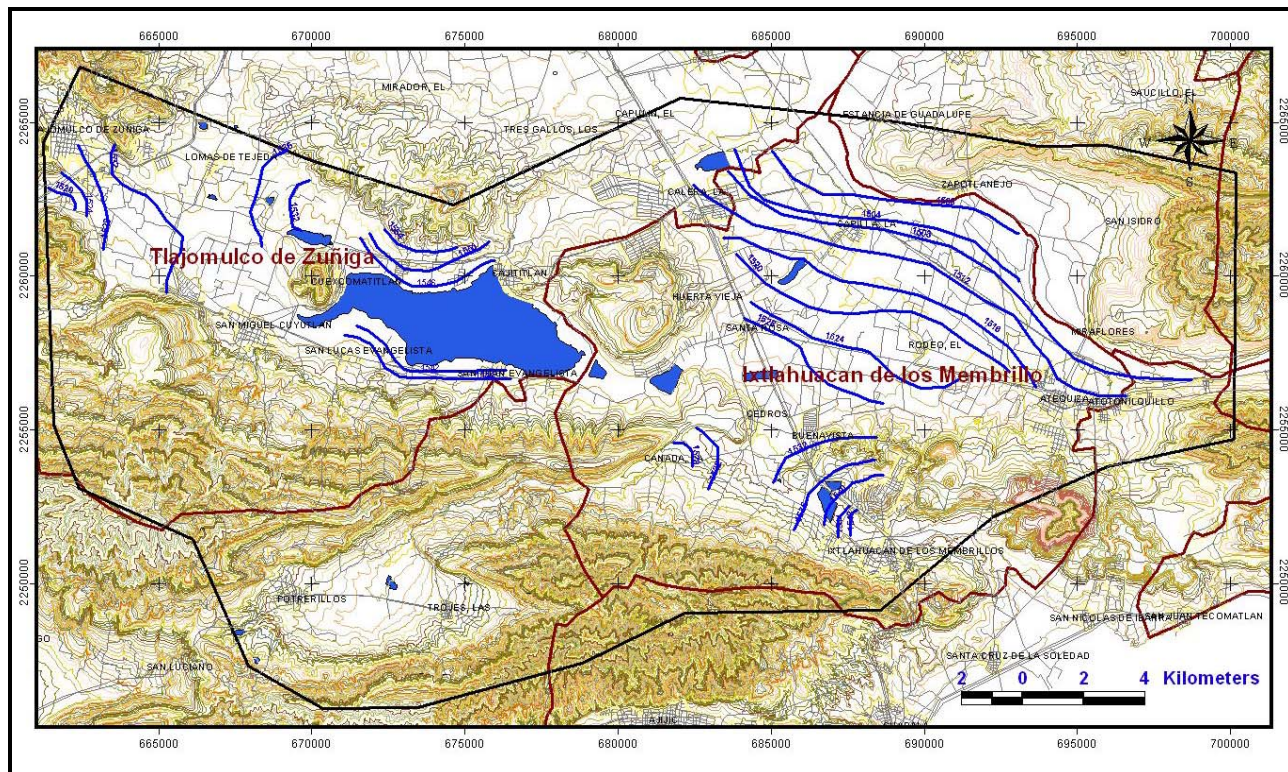


Figura No. 6. Curvas de igual elevación del nivel estático 2006.

De acuerdo a la naturaleza de las rocas volcánicas que afloran en la región, por la que circula el agua subterránea, es común la presencia de sodio, calcio, magnesio y potasio, como iones mayoritarios.

El Magnesio y el Calcio son dos elementos que encabezan el grupo de metales alcalinos y que junto con el Hierro están más extendidos en las rocas ígneas básicas de la corteza terrestre.

En la mayor parte del acuífero el agua subterránea se clasifica como Cálcico-Bicarbonatada (CaHCO_3) y Magnésico-Bicarbonatada (MgHCO_3) ya que proviene de las zonas de recarga ubicadas en las sierras circundantes, las cuales están constituidas por rocas basálticas y andesíticas. Hacia las cercanías de la población El Salto y Juanacatlán el agua se clasifica como Sódica-Bicarbonatada (NaHCO_3).

Los pozos de Los Olivos, La Calera, Tlajomulco y al SW del cerro La Silleta tienen altas concentraciones de Magnesio cuyo origen se asocia al metamorfismo de las rocas basálticas y andesíticas, generando una arcilla verde a lo largo del tramo de la carretera El Salto-Ixtlahuacán de los Membrillos.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.

De acuerdo con las cifras del Registro Público de Derechos del Agua de la Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico, con fecha de corte al 31 de Mayo de 2006, se reporta la existencia de 1239 aprovechamientos, de los cuales 639 son de uso agrícola, 186 son de uso público urbano y 114 son para la actividad industrial y servicios, y el resto son destinados para otros usos (múltiple, recreativo, y doméstico), que en conjunto extraen un volumen de $37.7 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Del volumen extraído 14.48 hm^3 son destinados para el uso agrícola, 11.28 hm^3 para el uso público urbano, 8.58 hm^3 para la actividad industrial y servicios, y el resto 3.36 hm^3 es destinado para otros usos.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado anualmente por el almacenamiento del acuífero.

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \quad \dots (1)$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa, por el cambio de almacenamiento de un acuífero, queda representada como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en el acuífero} \quad \dots(2)$$

7.1 Entradas.

7.1.1 Entradas subterráneas horizontales

Las entradas subterráneas horizontales (**Eh**) provienen de las zonas de recarga localizadas al NW y SW de la zona en un frente de 6.0 km, localizado en las estibaciones de los cerros de Tlajomulco, La Cruz y Patomo, en las estibaciones al NE del cerro Cajete, en un frente de aproximadamente 4.5 km, así como al SE de la zona de estudio, en las estibaciones de las cierras El Travesaño y El Ixtle, en un frente de cuando menos 6 km. Con apoyo de las curvas equipotenciales (Figura No. 7), las transmisividades y las celdas de flujo definidas, se calculó una entrada por flujo horizontal del orden de **11.8 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales), tabla (3)

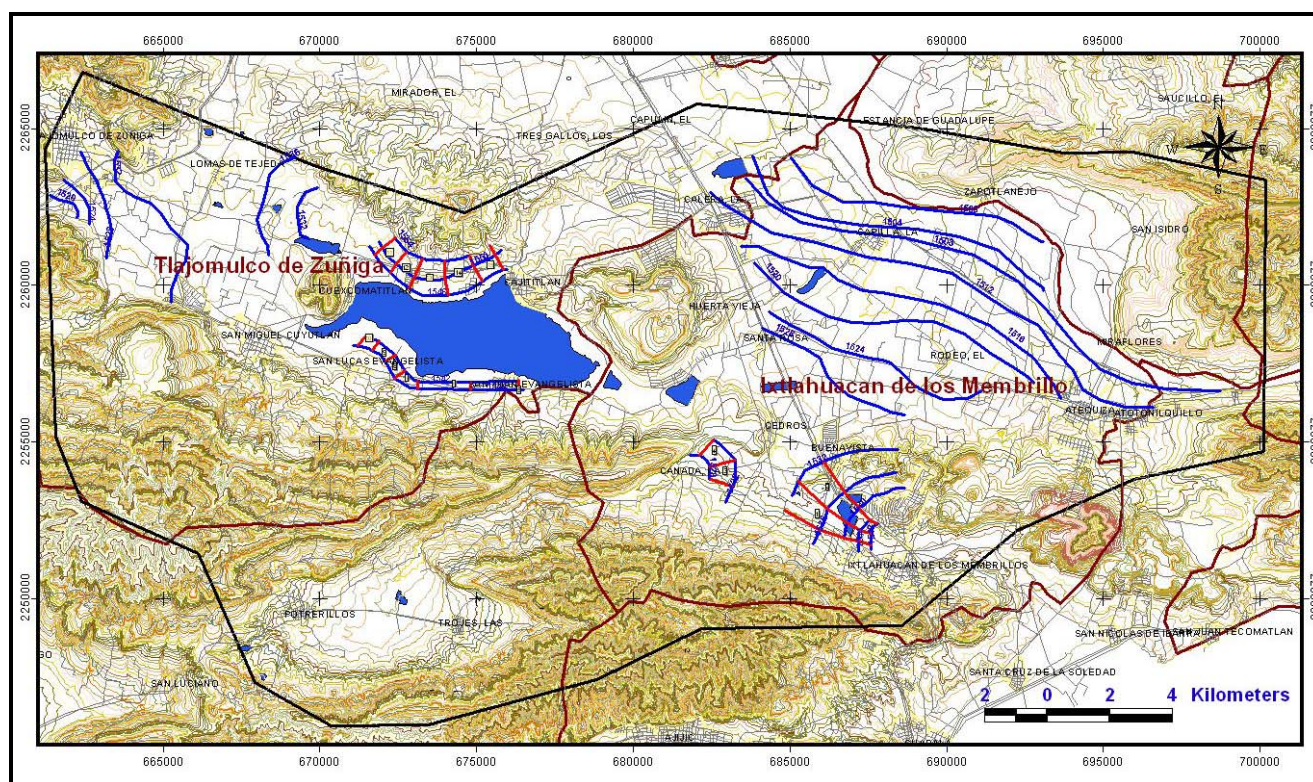


Figura. 7. Canales de entradas por flujo subterráneo.

Otras componentes de la recarga vertical al acuífero es la aportada por cuerpos de agua y cauces de agua superficial y, para el caso que nos ocupa, la laguna de Cajititlán se considera que puede tener alguna comunicación con el acuífero local; sin embargo, los cortes litológicos manifiestan la presencia de un espesor de arcillas que descansan sobre tobas, formando un acuitardo en la parte central del valle, se considera que la interrelación se limita sólo a las zona perimetral y por lo tanto la recarga natural se considera reducida. En virtud de lo anterior y no contar con información histórica

confiable y suficiente para la determinación del balance hidráulico para deducir el volumen infiltrado, su valor formará parte de la Recarga Vertical.

Canal	Ancho (m)	Desnivel (m)	Espesor (m)	Gradiente (m)	Transmisividad (m ² /s)	Gasto (m ³ /s)	Gasto (hm ³ /año)
1	662,69	16	2889,56	0,00553718	0,0041	0,015045	0.5
2	740,07	16	2761,49	0,00579397	0,0041	0,017581	0.6
3	649,22	4	815,62	0,00490424	0,0041	0,013054	0.4
4	718,78	4	681,72	0,00586751	0,0041	0,017292	0.5
5	1548	2	283,87	0,00704548	0,0041	0,044717	1.4
6	1698,3	2	200,06	0,009997	0,0041	0,069611	2.2
7	633,36	2	353,05	0,00566492	0,0041	0,014711	0.5
8	614,7	2	404,06	0,00494976	0,0041	0,012475	0.4
9	619,3	2	312,41	0,00640184	0,0041	0,016255	0.5
10	479,26	2	353,2	0,00566251	0,0041	0,011127	0.3
11	647,35	8	685,12	0,01167679	0,0041	0,030992	1.0
12	681	8	951,12	0,00841114	0,0041	0,023485	0.7
13	958,41	8	1121,35	0,00713426	0,0041	0,028034	0.9
14	1018,6	8	1041,12	0,00768403	0,0041	0,03209	1.0
15	759,88	8	875,74	0,00913513	0,0041	0,028461	0.9
							11.8

Tabla No. 3. Cálculo del volumen de entradas por flujo subterráneo.

7.1.2 Recarga inducida

Se tienen aportaciones por fugas de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la zona urbana de Tlajomulco y considerando que el espesor no saturado está constituido por arcillas poco permeables, se considera despreciable este factor. Sin embargo se consideran los retornos por riego en la zona ya que no se cuenta con sistemas de uso eficiente del agua, se considera que se retorna al acuífero del 20 al 30% del volumen aplicado en el uso agrícola. Si consideramos que son utilizados 14.48 hm³ anuales para la agricultura y aplicamos el 30%, se tiene un volumen de **4.3 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales) que retornan al acuífero debido a los excedentes del riego.

Rr = 4.3 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

7.2 Salidas.

7.2.1 Evapotranspiración.

En este acuífero no se consideran las pérdidas por evapotranspiración ya que la profundidad de los niveles estáticos generalmente es mayor de los 10 m. Existen pequeñas zonas en las inmediaciones de Atequiza y Atotonilquillo donde se detectan

profundidades inferiores a los 10 metros pero con áreas muy reducida por lo que se consideran inapreciables.

7.2.2 Manantiales (Dm)

Como salida del acuífero por descargas de manantiales se consideran **0.5 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales) de 7 manantiales registrados en la zona del acuífero.

7.2.3 Bombeo (B)

Los usuarios potenciales son los de uso agrícola y en segundo lugar el uso publico urbano, seguidos por el industrial y de servicios. La extracción total a través de 1239 aprovechamientos es del orden de **37.7 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

7.2.4 Salidas subterráneas horizontales (Sh).

Esta descarga se presenta hacia el río Santiago y se determinó con apoyo de las curvas de elevación de nivel estático Figura No. 8, valores que se presentan en la tabla No. 4.

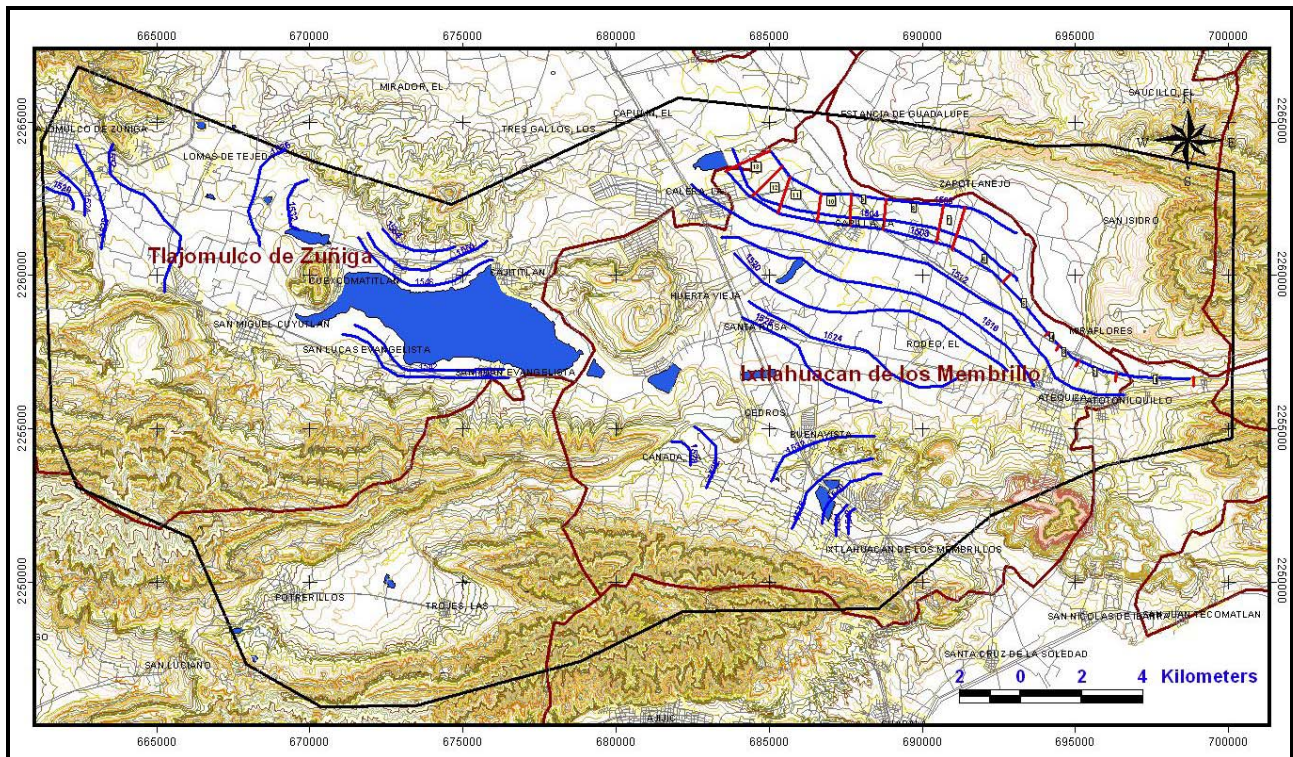


Figura No. 8. Canales de salida de flujo subterráneo.

Canal	Ancho (m)	Desnivel (m)	Long (m)	Gradiente (m)	T (m ² /s)	Gasto (m ³ /s)	Gasto (Hm ³ /s)
1	2300	1	216,25	0.00462428	0.00095	0.01010405	0.3
2	1100	1	197,3	0.00506842	0.00095	0.00529650	0.2
3	700	1	178,11	0.00561451	0.00095	0.00373365	0.1
4	400	1	165,2	0.00605327	0.00095	0.00230024	0.1
5	2200	1	101,59	0.00984349	0.0013	0.2815238	0.9
6	2100	4	477,96	0.0083689	0.0013	0.02284710	0.7
7	600	8	1269,97	0.00629936	0.0013	0.00491350	0.2
8	1800	8	1089,18	0.00734498	0.0031	0.04098499	1.3
9	1000	8	993,62	0.00805137	0.0031	0.02495925	0.8
10	1000	8	978,95	0.00817202	0.0031	0.02533326	0.8
11	1100	8	1095,86	0.0073002	0.0031	0.02489368	0.8
12	600	8	1284,59	0.00622767	0.0031	0.01158347	0.4
13	850	8	1491,8	0.00536265	0.0031	0.01413058	0.4
							6.9

Tabla No. 4. Cálculo del volumen de salidas por flujo subterráneo.

En el tramo del Río Santiago de la estación Presa Corona al Salto, se han determinado salidas del acuífero por flujo horizontal, volúmenes que no se consideran comprometidos o concesionados, pues no se tiene registro de ello, además de que parte de estos se ven contaminados por las aportaciones de descargas de aguas residuales de uso doméstico, público-urbano e incluso de algunas industrias.

Por lo anterior, este volumen de agua subterránea es susceptible de aprovecharse antes de su salida del acuífero, mediante la perforación de pozos estratégicamente localizados en la zona del flujo con dirección al río Santiago.

7.3. Cambio de Almacenamiento.

Para la determinación de este término se considero la evolución piezométrica del acuífero en el intervalo de tiempo de 2004 a 2006, en base a la cual se realizó la configuración de las curvas de igual evolución del nivel estático. Determinado la variación del almacenamiento con la siguiente expresión: $\Delta V(s) = S \cdot A \cdot h$

Donde:

$\Delta V(s)$: cambio de almacenamiento en el periodo analizado

S: Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance

A: Área entre curvas de igual evolución del nivel estático

h: Valor medio de la variación piezométrica en el periodo

A consecuencia de la explotación del recurso, la posición de los niveles piezométricos han descendido en algunas zonas puntuales dando el siguiente resultado.

$\Delta V(s) = S \cdot \text{Volumen drenado}$

$\Delta V(s) = 0.017 \cdot (292.129/2)$

$\Delta V(s) = 2.4$

Área (m ² x 10 ⁶)	valor medio entre curvas (m ²)	volumen drenado (m ³ x10 ⁶)
4,672204	3	14,016612
17,351569	4,5	78,0820605
1,018578	5,5	5,602179
1,422308	5,5	7,822694
0,06782	6	0,40692
5,072882	3,5	17,755087
2,956398	-1	-2,956398
0,562902	-3,5	-1,970157
0,25057	-4,5	-1,127565
0,17143	-6	-1,02858
0,999321	1,5	1,4989815
0,241035	2,5	0,6025875
7,483099	2,5	18,7077475
0,59531	-0,5	-0,297655
0,326938	-1	-0,326938
20,479115	2,5	51,1977875
26,154315	3,5	91,5401025
3,150908	4	12,603632
		292,129098

Tabla No.5 calculo del volumen drenado

En la tabla No. 6, se presenta un resumen del balance de aguas subterráneas.

RECARGA					
		Área de Valle		km ²	556
Rv	Recarga natural por lluvia			hm ³ /año	31.4
Eh	Entradas Horizontales			hm ³ /año	11.8
	total de recarga natural			hm ³ /año	43.2
		publico urbano		l2	
	Retorno del uso Publico urbano			hm ³ /año	0
		Agrícola agua subterránea		l2	0.3
	Retorno de riego por agua sub		14,47	hm ³ /año	4.3
		Agrícola agua superficial		l2	
	Retorno de riego por agua sup			hm ³ /año	
Rr	Retorno Total			hm ³ /año	4.3
RECARGA TOTAL					47.5
DESCARGA					
Sh	Salidas Horizontales			h/año	6.9
Dm	Manantiales			h/año	0.5
Ev	Evapotranspiración			hm ³ /año	0
B	Extracción total bruta			hm ³ /año	37.7
		Agrícola		hm ³ /año	14.48
		Publico Urbano		hm ³ /año	11.28
		Industrial		hm ³ /año	8.58
		Otros		hm ³ /año	3.36
DESCARGA TOTAL				hm ³ /año	45.1
CAMBIO DE ALMACENAMIENTO					
	coeficiente de almacenamiento				0.017
	volumen drenado			hm ³ /año	2.4
	Área			km ²	146,06454
	abatimiento m/año			m	

Tabla No. 6 Balance de Aguas Subterráneas en el Acuífero Cajititlán, Jalisco.

ECUACIÓN DE BALANCE

Cambio de
Almacenamiento en = Recarga Total - Descarga Total
Acuífero (suma de entradas) (suma de salidas)

Entradas:

Rt = Eh+Rv+Rr

Eh = 11.8 hm³ /año

Rr = 4.3

Rv = Incógnita

Salidas:

$$B = 37.7 \text{ hm}^3/\text{año}$$

$$Sh = 6.9 \text{ hm}^3/\text{año}$$

$$Dm = 0.5 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, aplicando la ecuación de balance tenemos:

$$2.4 = Rv + 11.8 + 4.3 - 37.7 - 6.9 - 0.5$$

$$Rv = 31.4 \text{ h}^3/\text{año}.$$

$$\text{De donde: } Rt = Eh + Rv + Rr$$

$$Rt = 47.5 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales)}$$

8. DISPONIBILIDAD

De acuerdo con la Norma Oficial NOM-011-CNA-2000, la disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica, se determina por medio de la siguiente expresión:

$$DAS = R - DNCOM - VCAS$$

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica.

R = Recarga total media anual.

DNCOM = Descarga natural comprometida.

VCAS = volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA.

Disponibilidad Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2007

Recarga total media anual (R).

Es igual a la suma de recargas consideradas más la recarga vertical determinada en la ecuación de balance que se planteó y para un intervalo de un año, resultando igual a **41.0 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Descarga natural comprometida (DNCOM).

Es la suma de volúmenes de agua concesionados (utilizados) de los manantiales y del caudal de los ríos alimentados por un acuífero, que están comprometidos como agua superficial para diversos usos y de las descargas que deban de conservarse para no afectar acuíferos aguas abajo o destinados para sostener el gasto ecológico. Para este caso **DNCOM = 0.5 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales), que corresponde a las salidas por manantiales.

Rendimiento permanente (Rp).

Se le denomina a la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. $R_p = R - DNCOM = 41.0 - 0.5 = 40.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales).

Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS).

Se determinó sumando los volúmenes de agua concesionada e inscrita por la CNA, mediante títulos registrados en el REPDA. Para el caso de este acuífero la información proporcionada por el REPDA central, con fecha de corte al 31 de mayo de 2005 es de **29.715876 hm³ anual**.

Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS).

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.

$DAS = R_p - VCAS. = 40.5 - 29.715876 = 10.784124 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales).

La cifra indica que aún existe disponibilidad de aguas subterráneas para otorgar nuevas concesiones.

Actualización Técnica y Administrativa de la Disponibilidad al 31 de diciembre de 2007

8.1 Recarga total media anual (R).

Es igual a la suma de recargas consideradas más la recarga vertical determinada en la ecuación de balance que se planteó y para un intervalo de un año, resultando igual a **47.5 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

8.2 Descarga natural comprometida (DNCOM).

Es la suma de volúmenes de agua concesionados (utilizados) de los manantiales y del caudal de los ríos alimentados por un acuífero, que están comprometidos como agua superficial para diversos usos y de las descargas que deban de conservarse para no afectar acuíferos aguas abajo o destinados para sostener el gasto ecológico. Para este caso **DNCOM = 0.5 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales), que corresponde a las salidas por manantiales.

8.3 Rendimiento permanente (Rp).

Se le denomina a la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. **$R_p = R - DNCOM = 47.5 - 0.5 = 47.0 \text{ hm}^3/\text{año}$** (Millones de metros cúbicos anuales).

8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS).

Se determinó sumando los volúmenes de agua concesionada e inscrita por la CNA, mediante títulos registrados en el REPDA. Para el caso de este acuífero la información proporcionada por el REPDA central, con fecha de corte al 31 de diciembre de 2007 es de **45.695278 hm^3 anual**.

8.5 Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS).

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.

$DAS = R_p - VCAS. = 47.0 - 45.695278 = 1.304722 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales).

La cifra indica que aún existe disponibilidad de aguas subterráneas para otorgar nuevas concesiones.

9. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

1. Actualización del Estudio Geohidrológico de la zona conurbada de Guadalajara, Cuencas: Toluquilla, Atemajac, Cajititlán., GEOEX, S.A. de C. V., SIAPA, 1996.
2. Actualización del Estudio Geohidrológico de los valles de Tesistán-Atemajac-Ocotlán, Jal., Geocalli, S.A., Subdirección de Geohidrología y zonas áridas de la SARH., 1981.
3. Boletín Hidrológico 51 y 52, Región Hidrológica No. 12 (parcial), SRH., Subdirección de Planeación, Dirección de Hidrología.
4. Censo de aprovechamientos de aguas subterráneas en los valles de Tesistán y Atemajac, Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación de la SARH, 1984-1985, inédito.
5. Estudio Geohidrológico de los valles Atemajac, Tesistán, Ameca, Ahualulco y San Marcos, Jal., Ariel Construcciones, S.A., Dirección General de Estudios de la SRH, 1973.
6. Estudio Geohidrológico en la zona de Tesistán-Atemajac estado de Jalisco., Contrato SGA-89-47. SARH, 1989-1990.