



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CAJITILÁN (1403), ESTADO DE
JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1. GENERALIDADES..... | 2 |
| Antecedentes..... | 2 |
| 1.1 Localización | 3 |
| 1.2 Situación Administrativa del acuífero | 5 |
| 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD | 6 |
| 3. FISIOGRAFÍA | 9 |
| 3.1 Provincia fisiográfica | 9 |
| 3.2 Clima | 10 |
| 3.3 Geomorfología | 10 |
| 3.4 Hidrografía..... | 10 |
| 4. GEOLOGIA..... | 12 |
| 4.1 Estratigrafía..... | 12 |
| 4.2 Geología estructural..... | 13 |
| 4.3 Geología del subsuelo | 14 |
| 5. HIDROGEOLOGÍA | 16 |
| 5.1 Tipo de acuífero..... | 16 |
| 5.2 Parámetros hidráulicos..... | 16 |
| 5.3 Piezometría..... | 18 |
| 5.4 Comportamiento hidráulico | 18 |
| 5.4.1 Profundidad al nivel estático..... | 18 |
| 5.4.2 Elevación del nivel estático..... | 19 |
| 5.4.3 Evolución de los niveles estáticos..... | 21 |
| 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea | 22 |
| 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA..... | 22 |
| 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS..... | 23 |
| 7.1 Entradas..... | 23 |
| 7.1.1 Entradas subterráneas horizontales..... | 23 |
| 7.1.2 Recarga inducida | 24 |
| 7.2 Salidas..... | 25 |
| 7.2.1 Evapotranspiración..... | 25 |
| 7.2.2 Manantiales (Dm)..... | 25 |
| 7.2.3 Bombeo (B)..... | 25 |
| 7.2.4 Salidas subterráneas horizontales (Sh) | 25 |
| 7.3 Cambio de Almacenamiento | 26 |
| 8. DISPONIBILIDAD | 29 |
| 8.1 Recarga total media anual (R) | 29 |
| 8.2 Descarga natural comprometida (DNC) | 29 |
| 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) | 29 |
| 8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)..... | 30 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA..... | 31 |

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, definido con la clave 1403 por la Comisión Nacional del Agua, 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 1).

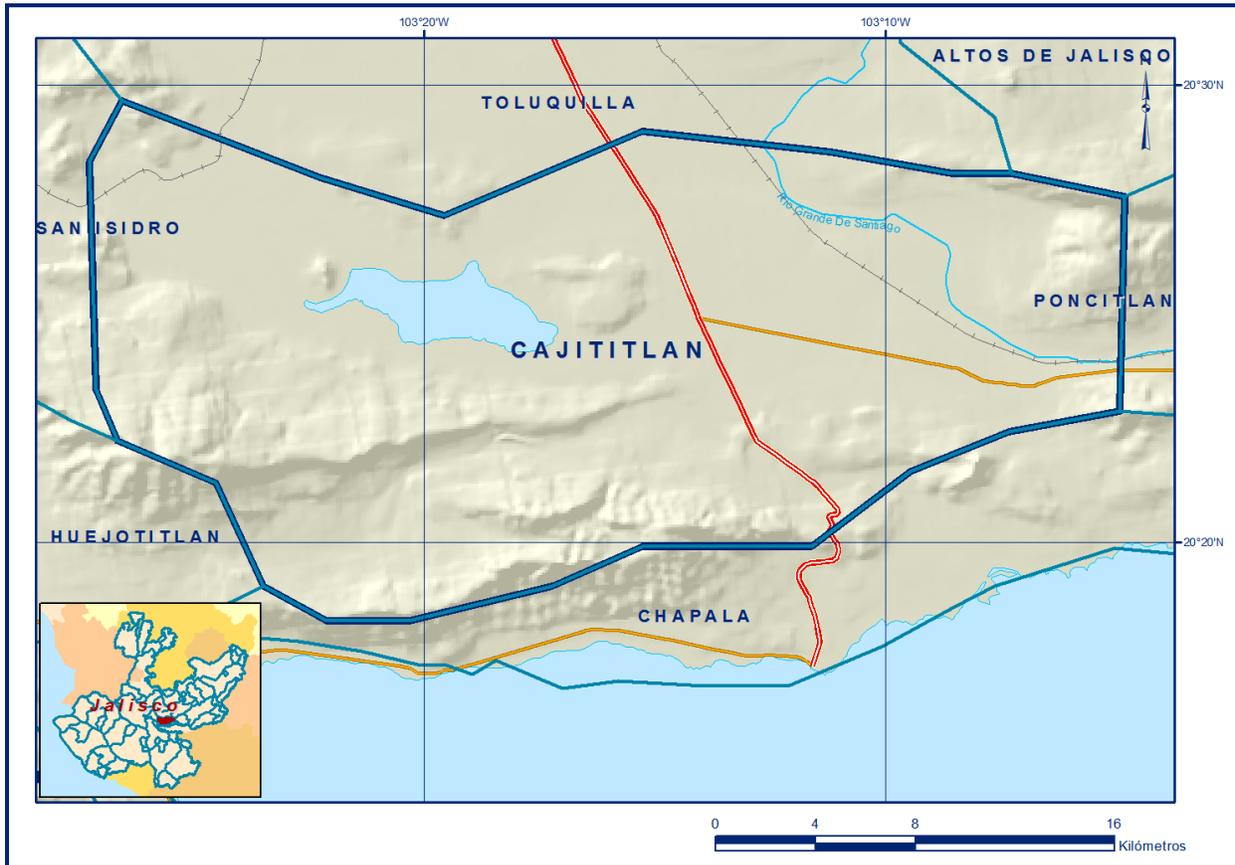


Figura 1. Localización del acuífero

Tiene una extensión superficial aproximada de 566 km² y está delimitada por la poligonal simplificada cuyos vértices geográficos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

| ACUÍFERO 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 |

Políticamente el área del acuífero comprende parcialmente los municipios de Ixtlahuacán de los Membrillos, Tlajomulco de Zúñiga, Jocotepec y Juanacatlán.

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

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

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 (Rfhz) 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 hm³.

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 fisicoquímicos, 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 2,244 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 1,267 son pozos, 771 norias, 201 manantiales y 5 galerías filtrantes en los valles de Atemajac, Toluquilla y Cajititlán. Adicionalmente, se llevaron a cabo 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 1,700 ha a una altitud media de 1,551 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 ambas 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. 2), 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.

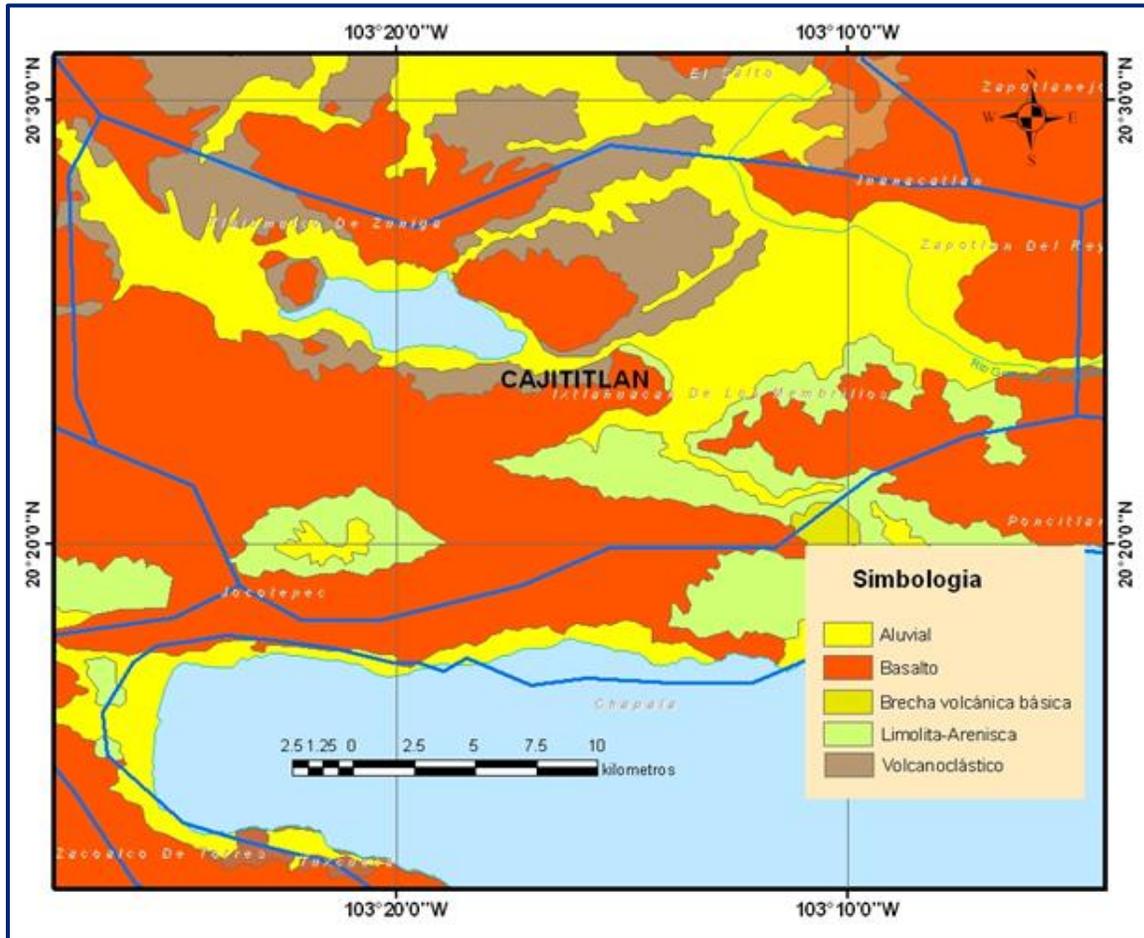


Figura 2. Geología general del acuífero

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 (Tmb1).- 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 (tibasg).- 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 (Q_{1a}) 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.

Tabla 2. Coeficiente de almacenamiento (Ss).

| Zona | Tipo de suelo | Ss |
|--------------------------|-----------------|-------|
| El Salto | Arcilla y arena | 00.01 |
| Tlajomulco e Ixtlahuacan | Arcilla y Limo | 0.02 |

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.

5.3 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.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

En la figura 4 se presenta la configuración de las curvas de igual valor de profundidad al nivel estático, correspondiente a octubre de 2004.

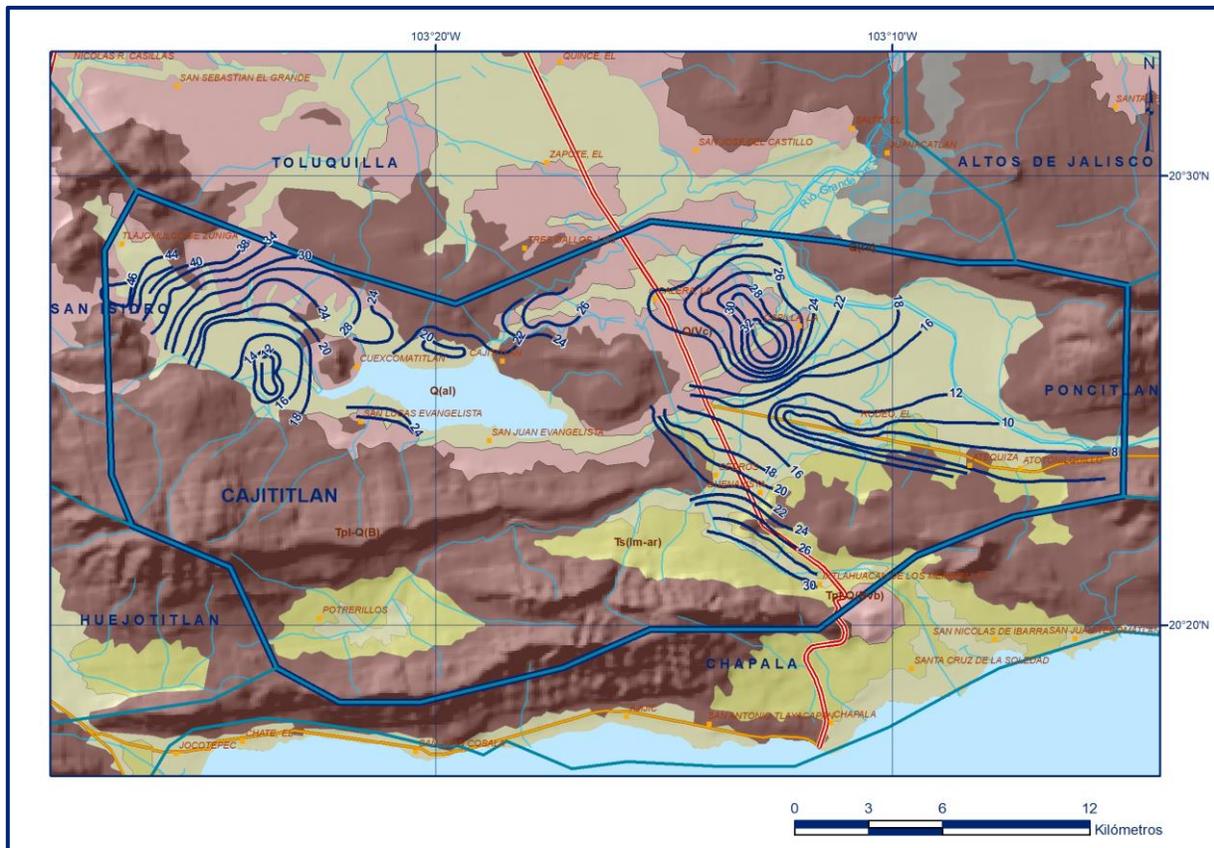


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2004)

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, confirmándose la depresión piezométrica en el área entre La Calera, La Capilla y Estancia de Guadalupe.

5.4.2 Elevación del nivel estático

En las figuras. 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 1,552 a 1,422 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 1,552 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 1,500 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 1,550 msnm y al sur de la sierra del Madroño del orden de 1,544 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 1,538 hasta 1,518 msnm. Hacia el acuífero San Isidro.

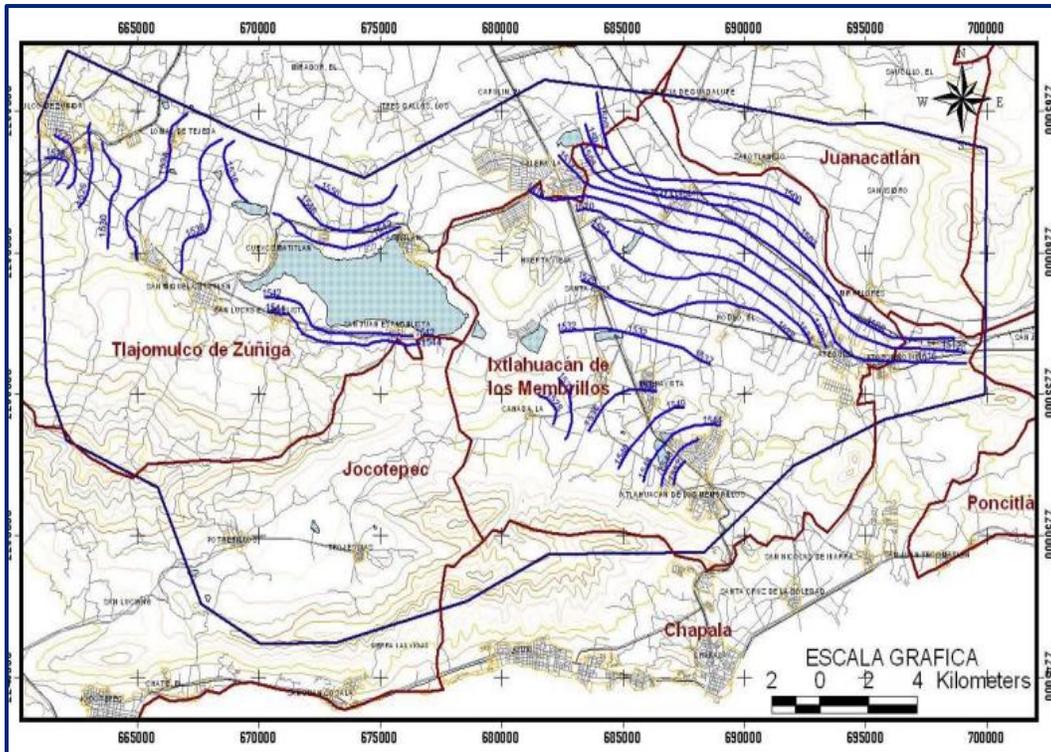


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2004)

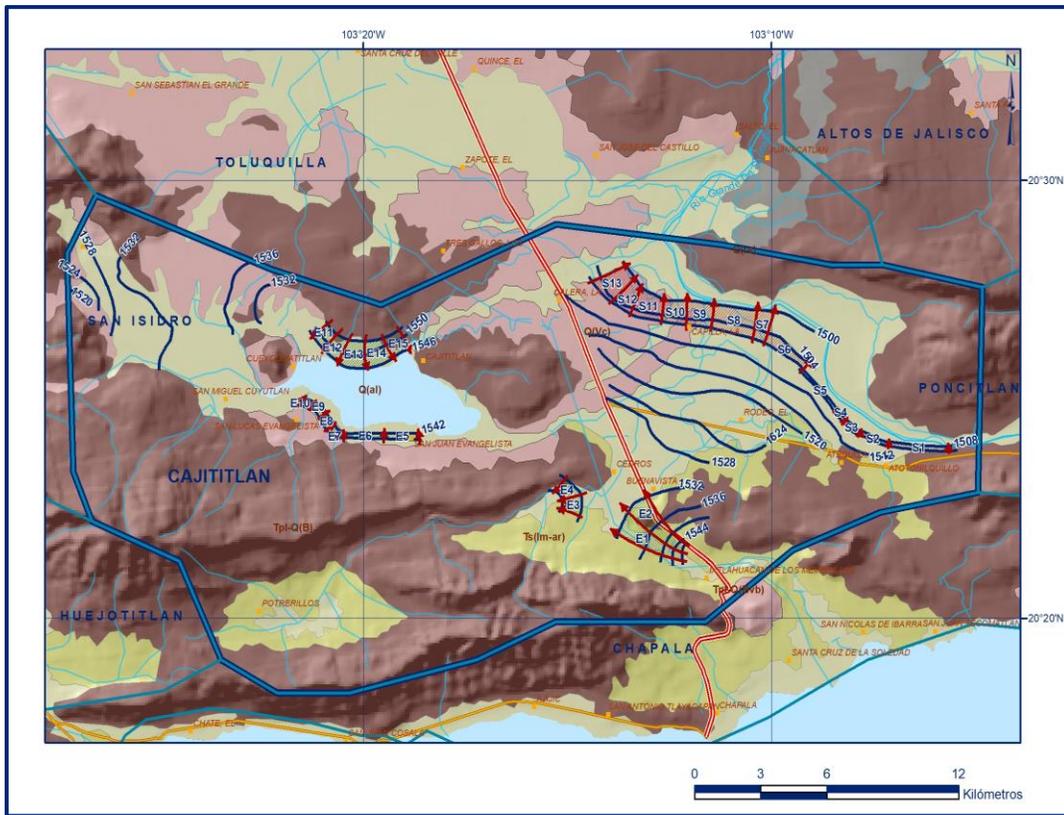


Figura 6. Elevación del nivel estático en msnm (2006)

5.4.3 Evolución de los niveles estáticos

En la figura 7, se determina la evolución del nivel estático para el periodo 2004-2006, donde se observan abatimientos: para la zona noroeste, entre los poblados de Tlajomulco y San Miguel Cuyutlán se presentan evoluciones negativas de 3 a 6 m, dando como resultado un abatimiento promedio que fluctúa entre 1 y 1.25 m/año.

En la zona colindante a la laguna de Cajititlán se observan evoluciones positivas.

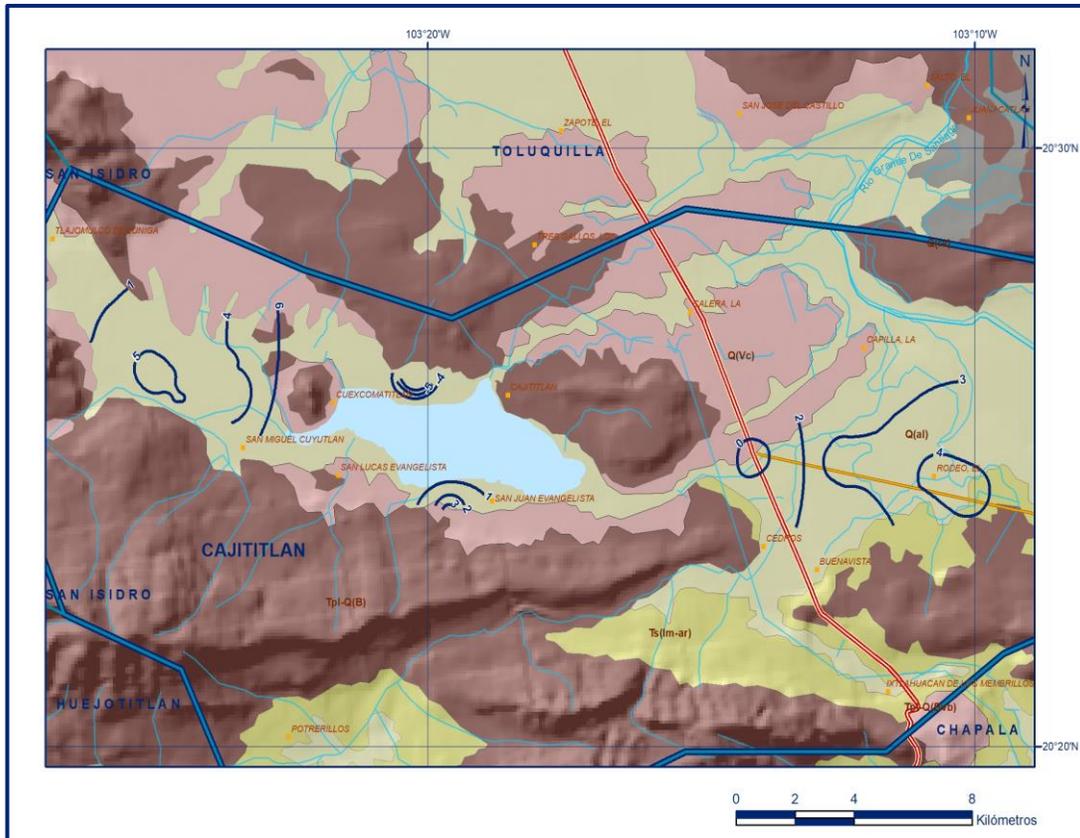


Figura 7. Evolución del nivel estático en m (2004-2006)

Al sureste del cruce de Santa Rosa (carretera Guadalajara-Chapala y Guadalajara-Ocotlán) y en la planicie entre Atotonilquillo-El Rodeo-Santa Rosa-La Capilla y Estancia de Guadalupe, los datos muestran resultados variables y puntuales con algunas evoluciones positivas en el periodo considerado.

Para el resto de la zona no se registran cambios significativos en la posición del nivel estático, asumiendo que la recarga es igual a la extracción en esta porción del acuífero.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Del estudio de actualización geohidrológica de la zona conurbada de Guadalajara realizado por GEOEX, S. A de C. V. para el SIAPA en el año de 1996, se tomó la información sobre las características físico-químicas del agua del subsuelo en el acuífero Cajititlán.

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 HIDROMETRÍA

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 1,239 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:

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

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:

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

7.1 Entradas

7.1.1 Entradas subterráneas horizontales

Las entradas subterráneas horizontales (**E_h**) 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 6), 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). 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.

| CELDA | LONGITUD B (m) | ANCHO a (m) | h_2-h_1 (m) | Gradiente i | T (m^2/s) | CAUDAL Q (m^3/s) | VOLUMEN ($hm^3/año$) |
|--------------|----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|------------------------|
| E1 | 662.69 | 2889.56 | 16 | 0.0055 | 0.0041 | 0.0150 | 0.5 |
| E2 | 740.07 | 2761.49 | 16 | 0.0058 | 0.0041 | 0.0176 | 0.6 |
| E3 | 649.22 | 815.62 | 4 | 0.0049 | 0.0041 | 0.0131 | 0.4 |
| E4 | 718.78 | 681.72 | 4 | 0.0059 | 0.0041 | 0.0173 | 0.5 |
| E5 | 1548 | 283.87 | 2 | 0.0070 | 0.0041 | 0.0447 | 1.4 |
| E6 | 1698.3 | 200.06 | 2 | 0.0100 | 0.0041 | 0.0696 | 2.2 |
| E7 | 633.36 | 353.05 | 2 | 0.0057 | 0.0041 | 0.0147 | 0.5 |
| E8 | 614.7 | 404.06 | 2 | 0.0049 | 0.0041 | 0.0125 | 0.4 |
| E9 | 619.3 | 312.41 | 2 | 0.0064 | 0.0041 | 0.0163 | 0.5 |
| E10 | 479.26 | 353.2 | 2 | 0.0057 | 0.0041 | 0.0111 | 0.4 |
| E11 | 647.35 | 685.12 | 8 | 0.0117 | 0.0041 | 0.0310 | 1.0 |
| E12 | 681 | 951.12 | 8 | 0.0084 | 0.0041 | 0.0235 | 0.7 |
| E13 | 958.41 | 1121.35 | 8 | 0.0071 | 0.0041 | 0.0280 | 0.9 |
| E14 | 1018.6 | 1041.12 | 8 | 0.0077 | 0.0041 | 0.0321 | 1.0 |
| E15 | 759.88 | 875.74 | 8 | 0.0091 | 0.0041 | 0.0285 | 0.9 |
| TOTAL | | | | | | | 11.8 |

Tabla 3. Cálculo del volumen de entradas por flujo subterráneo horizontal

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.

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 hm^3 anuales para la agricultura y aplicamos el 30%, se tiene un volumen de **$4.3 \text{ hm}^3/año$** (Millones de metros cúbicos anuales) que retornan al acuífero debido a los excedentes del riego.

$R_r = 4.3 \text{ hm}^3/año$.

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** 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 público urbano, seguidos por el industrial y de servicios. La extracción total a través de 1,239 aprovechamientos es del orden de **37.7 hm³/año**.

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 6, valores que se presentan en la tabla 4.

| CELDA | LONGITUD B (m) | ANCHO a (m) | h_2-h_1 (m) | Gradiente i | T (m ² /s) | CAUDAL Q (m ³ /s) | VOLUMEN (hm ³ /año) |
|--------------|-------------------|----------------|------------------|-------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| S1 | 2300 | 216.25 | 1 | 0.0046 | 0.00095 | 0.0101 | 0.3 |
| S2 | 1100 | 197.3 | 1 | 0.0051 | 0.00095 | 0.0053 | 0.2 |
| S3 | 700 | 178.11 | 1 | 0.0056 | 0.00095 | 0.0037 | 0.1 |
| S4 | 400 | 165.2 | 1 | 0.0061 | 0.00095 | 0.0023 | 0.1 |
| S5 | 2200 | 101.59 | 1 | 0.0098 | 0.0013 | 0.0282 | 0.9 |
| S6 | 2100 | 477.96 | 4 | 0.0084 | 0.0013 | 0.0228 | 0.7 |
| S7 | 600 | 1269.97 | 8 | 0.0063 | 0.0013 | 0.0049 | 0.2 |
| S8 | 1800 | 1089.18 | 8 | 0.0073 | 0.0031 | 0.0410 | 1.3 |
| S9 | 1000 | 993.62 | 8 | 0.0081 | 0.0031 | 0.0250 | 0.8 |
| S10 | 1000 | 978.95 | 8 | 0.0082 | 0.0031 | 0.0253 | 0.8 |
| S11 | 1100 | 1095.86 | 8 | 0.0073 | 0.0031 | 0.0249 | 0.8 |
| S12 | 600 | 1284.59 | 8 | 0.0062 | 0.0031 | 0.0116 | 0.4 |
| S13 | 850 | 1491.8 | 8 | 0.0054 | 0.0031 | 0.0141 | 0.4 |
| TOTAL | | | | | | | 6.9 |

Tabla 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 consideró 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.

En la tabla 6, se presenta un resumen del balance de aguas subterráneas.

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

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

$$\Delta V(s) = 2.4$$

Tabla 5 Cálculo del volumen drenado

| Área | valor medio entre curvas | volumen drenado |
|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| (m ² x 10 ⁶) | (m ²) | (m ³ x10 ⁶) |
| 4,672,204 | 3 | 14,016,612 |
| 17,351,569 | 4,5 | 780,820,605 |
| 1,018,578 | 5,5 | 5,602,179 |
| 1,422,308 | 5,5 | 7,822,694 |
| 0,06782 | 6 | 0,40692 |
| 5,072,882 | 3,5 | 17,755,087 |
| 2,956,398 | -1 | -2,956,398 |
| 0,562902 | -3,5 | -1,970,157 |
| 0,25057 | -4,5 | -1,127,565 |
| 0,17143 | -6 | -102,858 |
| 0,999321 | 1,5 | 14,989,815 |
| 0,241035 | 2,5 | 0,6025875 |
| 7,483,099 | 2,5 | 187,077,475 |
| 0,59531 | -0,5 | -0,297655 |
| 0,326938 | -1 | -0,326938 |
| 20,479,115 | 2,5 | 511,977,875 |
| 26,154,315 | 3,5 | 915,401,025 |
| 3,150,908 | 4 | 12,603,632 |
| | | 292,129,098 |

Tabla 6 Balance de Aguas Subterráneas en el Acuífero Cajititlán, Jalisco.

| 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 | |

ECUACIÓN DE BALANCE

$$\text{Cambio de Almacenamiento} = \text{Recarga Total} - \text{Descarga Total}$$

(suma de entradas) (suma de salidas)

Entradas:

$$R_t = E_h + R_v + R_r$$

$$E_h = 11.8 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

$$R_r = 4.3$$

Salidas:

$$B = 37.7 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

$$S_h = 6.9 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

$$D_m = 0.5 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

Por lo tanto, aplicando la ecuación de balance tenemos:

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

$$R_v = 31.4 \text{ h}^3 / \text{año.}$$

Dónde:

$$R = E_h + R_v + R_r$$

$$R = 47.6 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA} & = & \text{RECARGA} & - & \text{DESCARGA} & - & \text{EXTRACCIÓN DE} \\ \text{ANUAL DE AGUA DEL} & & \text{TOTAL MEDIA} & & \text{NATURAL} & & \text{AGUAS} \\ \text{SUBSUELO EN UN} & & \text{ANUAL} & & \text{COMPROMETIDA} & & \text{SUBTERRÁNEAS} \\ \text{ACUÍFERO} & & & & & & \end{array}$$

Donde:

- DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R = Recarga total media anual
DNC = Descarga natural comprometida
VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **47.6 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para este caso, su valor es **DNC = 0.5 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **64,045,238 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 47.6 - 0.5 - 64.045238 \\ \text{DMA} &= -16.945238 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **16,945,238 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Actualización del Estudio Geohidrológico de la zona conurbada de Guadalajara, Cuencas: Toluquilla, Atemajac, Cajititlán., GEOEX, S.A. de C. V., SIAPA, 1996.

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.

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.

Estudio Geohidrológico en la zona de Tesistán-Atemajac estado de Jalisco., Contrato SGA-89-47. SARH, 1989-1990.