

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Huejotitlán (1451),  
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.**

DV      REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA “LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO”							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE JALISCO							
1451	HUEJOTITLÁN	9.6	0.0	8.429565	4.2	1.170435	0.000000

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  
HUEJOTITLAN, ESTADO DE JALISCO***

## DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ACUÍFERO HUEJOTITLAN, ESTADO DE JALISCO

<b>1 Generalidades.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
<b>2 Estudios técnicos realizados con anterioridad.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Fisiografía.....</b>	<b>6</b>
3.1 Provincias fisiográficas.....	6
3.2 Clima.....	6
3.3 Hidrografía.....	9
3.4 Geomorfología.....	9
<b>4 Geología.....</b>	<b>10</b>
4.1 Estratigrafía.....	11
<b>5 Hidrogeología.....</b>	<b>12</b>
5.1 Tipo de acuífero.....	12
5.2 Piezometría.....	12
5.2.1 Niveles del agua subterránea.....	12
<b>6 Censo de aprovechamientos.....</b>	<b>14</b>
<b>7 Balance de aguas subterráneas.....</b>	<b>14</b>
7.1 Entradas.....	14
7.2 Salidas.....	14
7.3 Cambio de almacenamiento.....	17
<b>8 Disponibilidad.....</b>	<b>18</b>
8.1 Recarga total media anual.....	19
8.2 Descarga natural comprometida.....	19
8.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA	19
8.4 Disponibilidad de aguas subterráneas.....	19
<b>9 Bibliografía.....</b>	<b>20</b>

## **1 GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

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

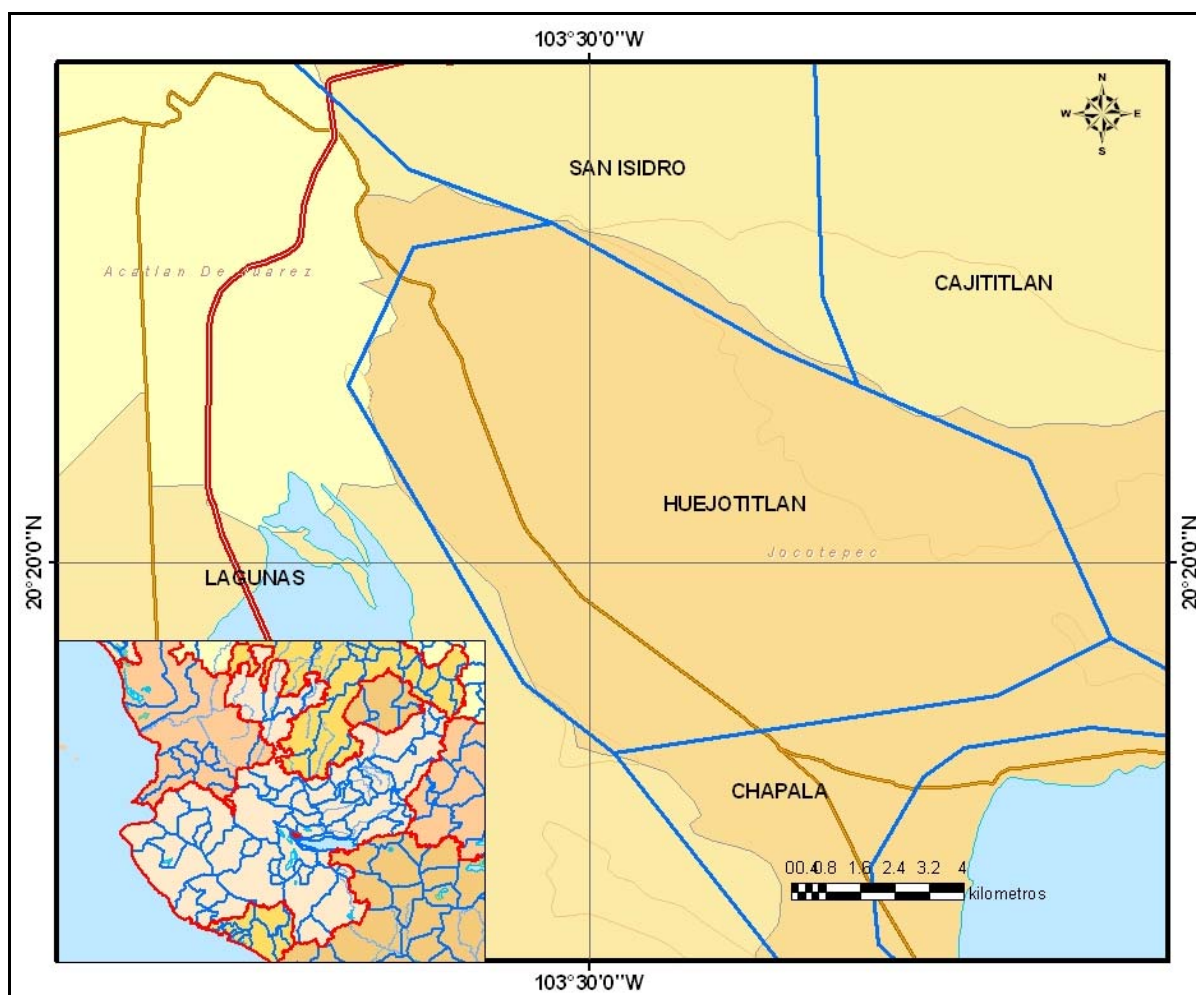
El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas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

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDa. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, 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 “Huejotitlán”, Geográficamente se localiza en la porción central del Estado de Jalisco entre los paralelos 20°24'36” y 20°17'24” y los meridianos 103°33'00” y 103°17'24”. Limita al norte con el acuífero San Isidro, al este Cajitlán, al oeste Lagunas y al sur Chapala, Figura No. 1.

Tiene una extensión superficial de 120.41 km<sup>2</sup>, así como una superficie del valle de 50.03 km<sup>2</sup>.



**Figura No. 1. Localización del Acuífero Huejotitlán.**

Geográficamente, el área de acuífero se encuentra dentro de la poligonal cuyos vértices se presentan en la tabla No. 1.

**ACUIFERO 1451 HUEJOTITLAN**

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	23	29.4	20	19	3.3
2	103	24	54.9	20	18	20.5
3	103	29	42.3	20	17	37.7
4	103	30	49.6	20	18	29.7
5	103	33	0.0	20	22	12.8
6	103	32	12.1	20	23	56.8
7	103	30	28.2	20	24	15.1
8	103	27	40.0	20	22	40.3
9	103	26	38.9	20	22	12.8
10	103	24	30.5	20	21	17.8
1	103	23	29.4	20	19	3.3

**Tabla No. 1. Vértices de la poligonal del acuífero Huejotitlán, Jal.**

La zona del acuífero comprende parte del municipio de Jocotepec. A grandes rasgos sus límites son:

Al Sur el Cerro el Ixcapil y Cerro los Huajes, al Este Sierra Tapalpa, al Oeste Sierra el Tigre y Sierra la Difunta, al Norte Cerro Coronilla, Cerro Viejo y Cerro el Chino.

Las poblaciones más importantes que se encuentran dentro de los límites del acuífero son: Huejotitlán y Zapotitán de Hidalgo.

## **2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En todos los estudios que a continuación se mencionan se abarcó parte del acuífero Huejotitlán.

**A)** “Evaluación de la calidad del agua en la exploración del Domo Sur de la Primavera para abastecimiento público” Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Jalisco SIAPA. Informe No. DCA 01/90.

El objetivo de este estudio fue determinar la calidad del agua en pozos de exploración y extracción localizados en las cercanías del domo sur de La Primavera, para identificar sitios apropiados para nuevas perforaciones exploratorias, y para verificar que los aprovechamientos en explotación cumplan con las normas de calidad de agua para consumo humano.

Como parte de las actividades relevantes del estudio, se determinó: a) La calidad fisicoquímica y la concentración de arsénico a diferentes profundidades en el pozo exploratorio No. 1 del SIAPA, b) La calidad del agua subterránea en treinta pozos aledaños al pozo exploratorio No. 1 y c) La concentración de arsénico a la profundidad de 290 m en el pozo exploratorio No.4.

Los resultados indican que el agua subterránea en la zona estudiada presenta características de termalismo y es del tipo bicarbonato-sódico-cálcica. Se concluye que el pozo exploratorio No. 1, por las concentraciones de arsénico que presenta, no reúne la calidad requerida para consumo humano (concentración de As = 0.75 mg/l). Asimismo, se concluye que la zona crítica con concentraciones de arsénico por arriba de la norma (0.05 mg/l), corresponde a la parte norponiente del Domo Sur de La Primavera, en el área comprendida entre las comunidades de Las Hormigas, Atarjea del Chino, La Puerta de los Sauces y Tres Palos.

Las principales recomendaciones derivadas del estudio son: a) Realizar una evaluación completa de la calidad química del acuífero del Domo Sur de La Primavera, b) Comprobar la calidad del agua del pozo de exploración No. 4, para definir su posible aprovechamiento mediante la dilución de sus extracciones para abatir al máximo las concentraciones de arsénico, y c) Hacer un estudio Hidrogeoquímico del Domo Sur de

La Primavera para prevenir que con la extracción de agua, no se induzca la migración de arsénico y se estime la vida útil de ese recurso de agua subterránea.

**B)** “Estudio geológico- geoquímico por arsénico del área del Domo de La Primavera”. Permex, S.A. de C.V. (1990).

El objetivo de este estudio fue analizar e interpretar la presencia de arsénico en los recursos de agua subterránea de la subcuenca de San Isidro, Jalisco, en función del contexto geológico definido en estudios previos, y colaborar con el organismo estatal de abastecimiento de agua potable (SIAPA) en la definición de la ubicación adecuada de perforación de baterías de pozos profundos para asegurar la calidad del agua para el abastecimiento a Guadalajara, Jalisco.

Como parte de las actividades relevantes de este estudio, se revisó un informe geológico - geohidrológico desarrollado en junio de 1990 (No se dan las referencias bibliográficas ni la fuente de información correspondiente); en el cual, se definió el ambiente tectónico, estructural y litológico de la zona estudiada. Asimismo, permitió identificar los tipos de acuíferos existentes y su capacidad de almacenamiento. Se efectuó un muestreo integral de los recursos de agua subterránea y superficial en un área de 395 km<sup>2</sup>, obteniéndose 386 muestras. Se analizó la probabilidad de ocurrencia de concentraciones de arsénico para estimar la probabilidad de ocurrencia de concentraciones específicas en sitios determinados.

Los resultados del estudio demostraron que las concentraciones de As medidas definen un porcentaje mínimo de valores por arriba de la norma de la OMS (0.05 mg/l), es decir que más del 91% de las muestras presentaron valores por abajo del límite de la norma. Se encontró que las altas concentraciones de arsénico se correlacionan con patrones de fracturamiento regional y local profundos, que permiten el ascenso de fluidos hidrotermales y, finalmente, se concluye que en la zona estudiada, existe suficiente cantidad de agua subterránea explotable y capacidad de selección de ubicación espacial de baterías de pozos para asegurar niveles no dañinos en concentración de arsénico.

**C)** “Estudio Hidrogeoquímico e Isotópico de la Zona de Toluquilla- Ocotlán La Barca en el Estado de Jalisco”. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Tecnología de Sistemas Hidráulicos. Subcoordinación de Hidrología y Aprovechamientos Hidráulicos. Diciembre de 1993.

Los objetivos del estudio fueron la determinación de dar la posible interconexión hidrológica del lago de Chapala con los acuíferos existentes en la zona de Toluquilla- Ocotlán- La Barca y establecer la posible interacción geohidrológica entre el lago de Chapala y las lagunas de Atotonilco, San Marcos y Zacoalco.

Las actividades de gabinete permitieron establecer una red de muestreo piloto que permitiera caracterizar isotópica e hidrogeoquímicamente el sistema hídrico de la región de estudio, mediante la recopilación y el análisis de la información existente.



Las actividades incluyeron la selección de 105 sitios de monitoreo con 21 parámetros químicos para una primera etapa, mientras que para una segunda etapa y considerando los resultados de la primera, se muestrearon 47 sitios. Los parámetros medidos in situ fueron el pH, temperatura y conductividad eléctrica.

Los parámetros químicos analizados en el laboratorio fueron el calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, sílice, fosfatos, boro, arsénico, cadmio, flúor, sólidos totales disueltos, alcalinidad y dureza. Se realizaron además los análisis isotópicos de los contenidos de deuterio, oxígeno 18, tritio ambiental, carbono 13 y carbono 14.

Las conclusiones obtenidas en el estudio fueron que el lago de Chapala no recarga a los acuíferos localizados en las zonas de Toluquilla-Guadalajara, Mezcala-Jocotepec y Ocotlán. Los acuíferos emplazados en estas zonas se recargan con agua de precipitación local.

Por influencia del bombeo, algunos pozos localizados cerca del perímetro oriental del lago manifiestan hidrogeoquímicamente una similitud con las aguas del citado lago. No existen evidencias sobre la interacción del lago de Chapala con las lagunas de San Marcos, Atotonilco y Zacoalco. Algunos de los pozos del SIAPA que alimentan al sistema Toluquilla y suministran agua potable a la zona metropolitana de Guadalajara, pueden estar influenciados por fluidos geotermales de la Caldera de la Primavera.

### **3 FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincias fisiográficas**

El estado de Jalisco se encuentra dividido por cuatro de las varias provincias que conforman el Territorio Nacional (III Sierra Madre Occidental, IX Mesa del Centro, X Eje Neovolcánico y XII Sierra Madre del Sur). La zona del acuífero se encuentra localizada en la provincia denominada EJE NEOVOLCANICO, cubriendo un 34.98% del total del territorio estatal, por su parte este último se divide en subprovincias perteneciendo a la denominada subprovincia de CHAPALA (con un 17.32% de área del total de ocupación de la provincia en el Estado).

#### **3.2 Clima**

La climatología tiene que explicar, como las condiciones astronómicas, geográficas y meteorológicas influyen en los elementos climáticos. Estos factores externos son, latitud geográfica, la altitud, la capa vegetal, si es que existe. Otros factores meteorológicos pueden ser: dependencia del viento, con respecto a la distribución de presión, radiación solar, temperatura atmosférica, etc. Otro factor importante son los asentamientos humanos.

Los factores que pueden afectar al clima de la zona, son los accidentes naturales y su ubicación geográfica. Procedentes del Océano Pacífico. Los vientos monzónicos tienen

una gran influencia al producir la mayoría de las corrientes húmedas de la región. Los ciclones provenientes del Océano Pacífico generan la mayor parte de las lluvias de la zona. La Fisiografía, vegetación y sus charcas pueden influir también.

Se puede catalogar al clima que predomina en la zona como semiseco y semicálido, generalmente las estaciones secas son en otoño e invierno, aunque en algunos sectores de la cuenca la primavera transcurre sin precipitación. El régimen de lluvias sucede entre los meses de junio a agosto, sin embargo el temporal se puede extender hasta octubre e incluso podemos tener lugares en donde llueve en diciembre. La temperatura promedio mensual más alta registrada en la cuenca es de 30.4° y la mínima de 12.1°.

En cuanto a la flora, el tipo de vegetación dominante en la serranía son pinos y encinos con hojas verdes todo el año o que sólo permanecen sin follaje durante un corto periodo en la época seca. Así como arbustos que corresponden al tipo de vegetación en las partes bajas, donde predominan los cultivos principalmente maíz y otros granos.

En lo que respecta a la fauna nativa se encuentran diversas especies, entre las que destacan el venado, el coyote, la liebre, el conejo, el armadillo, etc., y en algunos lugares encontramos grandes felinos como el puma además de contar en toda la zona con varias especies de aves, insectos y peces.

**Temperatura media anual.-** La temperatura media anual es de 19.35° C, siendo el mes de junio en que se registran las temperaturas más elevadas, y en el mes de enero el mes más frío. Como reportan para un periodo de 12 años (1986-1997), las estaciones climatológicas más cercanas a la zona de estudio y que a continuación se mencionan.

Estación	Municipios	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Acatlán	Acatlán de Juárez	20°26'	103°35'	1361
Tlajomulco	Tlajomulco	20°28'	103°27'	1650
Jocotepec	Jocotepec	20°15'	103°26'	1537

**Precipitación media anual.-** La precipitación se divide en tres componentes analizables, ellas son: evapotranspiración, escurrimiento e infiltración. Para el análisis cuantitativo de cualquiera de estos elementos es necesario primero obtener los volúmenes precipitados dentro de la cuenca de estudio y para determinar tales volúmenes existen diversos métodos:

a)Polígono de Thiessen.- Este método consiste en unir en un plano las estaciones climatológicas implicadas en el estudio mediante líneas rectas, formando triángulos, para después trazar líneas rectas que bisecten los lados de los triángulos y por geometría elemental, estas convergieran en un punto, formando así polígonos dentro de los cuales se encontrará una estación climatológica. Su fórmula es:

$$hp = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi}$$

donde: hp = Altura de precipitación media.

h<sub>pi</sub> = Altura de precipitación registrada en la estación i.

n = Número de estaciones bajo análisis.

A<sub>i</sub> = Área de influencia de la estación i.

A<sub>T</sub> = Área total de la cuenca.

A continuación se muestran los resultados de la aplicación de éste método.

Estación	Área ponderada km <sup>2</sup>	Porcentaje del área total %	Altura de precipitación mm	Volumen m <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup>
Jocotepec	89.49	69.63	802.93	71,854.21
Tlajomulco	18.56	14.44	897.76	16,662.43
Acatlán	20.47	15.93	816.10	16,705.57
Totales	128.52	100		105,222.20

$$hp = \frac{105,222.20}{128.52} = 725.63 \text{ mm}$$

b) Método de Isoyetas.- Se basa en trazar líneas de igual altura de precipitación (Isoyetas) en base a las alturas registradas de las estaciones implicadas, una vez colocadas en un plano de escala adecuada. En este método se debe tomar en cuenta la Fisiografía y topografía del lugar; por ejemplo, en una serranía lloverá más que en una planicie de baja altitud. La precipitación promedio se evaluará ponderando a dos Isoyetas sucesivas (tomando el promedio) por el área entre Isoyetas. Su fórmula es:

$$P = \sum (A_i/A) P_i$$

donde: P = Precipitación promedio de la cuenca.

A<sub>i</sub> = Área entre dos Isoyetas dentro de la cuenca.

A = Área total de la cuenca.

P<sub>i</sub> = Precipitación media entre esas dos Isoyetas.

En nuestro caso hemos calculado la precipitación media de la cuenca por los dos métodos, para comparar resultados y optar por un valor de acuerdo a un criterio tomado.

Orden de isoyetas	Área ponderada km <sup>2</sup>	Porcentaje del área total %	Volumen M <sup>3</sup> X 10 <sup>3</sup>
900-1000	24.98	19.44	23,731.00
800-900	24.87	19.35	21,139.50
700-800	41.37	32.19	24,142.50
600-700	37.30	29.02	24,245.00
TOTALES	128.52	100	93,258.00

$$p = \frac{93,258.00}{128.52} = 818.72 \text{ mm}$$

Alturas de altura de precipitación adoptadas.-

Subcuenca	Thiessen	Isoyetas	A. Adoptadas
Huejotitán	818.72	725.63	772.18

NOTA.- Los valores se encuentran en mm.

En este acuífero, sucede algo similar que el acuífero Lagunas, es decir, generalmente llueve menos en las partes bajas, en el valle; además se suma el hecho de que la topografía del acuífero es muy contrastante y el método de Thiessen no toma en cuenta este factor importante, además de que la altura adoptada aparentemente va más de acuerdo con la configuración de Isoyetas (la curva de 700 mm pasa por el centro del acuífero).

**Evaporación potencial media anual.-** La evaporación media anual es del orden de 166.23 mm, presentando los meses con el mayor índice desde marzo hasta junio. Como reportan las tablas climatológicas de evaporación de las estaciones climatológicas ubicadas en la zona del acuífero.

### 3.3 Hidrografía

El acuífero se encuentra en su totalidad en la zona denominada REGION HIDROLOGICA LERMA-SANTIAGO (RH12) formado por una cuenca cerrada.

### 3.4 Geomorfología

El relieve de la zona obedece tanto al acomodamiento constante del suelo como a la acción del Eje Neovolcánico y a otros elementos como son la lluvia, la radiación solar, el frío, los vientos, la erosión, etc.

Se puede distinguir en la parte central de la cuenca una extensa llanura, misma que fue conformando a través de los años por sedimentos en su mayoría de origen aluvial. Otras partes de la zona deben su forma actual a una intensa actividad volcánica, tal es el caso de la parte norte de la cuenca, donde se localiza La Sierra de la Primavera y

zonas circundantes a volcanes apagados (Totepec, Mazatepec, etc.). Posteriormente el paisaje se ha ido remodelando por efectos de la erosión.

La zona es una serie de valles, cuencas y montañas en bloque, constituidas en su mayoría por rocas ígneas.

Debido a su origen, los tipos de suelos que conforman las zonas altas de la cuenca son adecuados para la presencia de bosque de pino y encino; sin embargo en las partes bajas las prácticas agrícolas son muy comunes. De acuerdo con estudios realizados para el INEGI, podemos distinguir en la zona varios tipos de suelos, sin embargo, cuatro tipos son los más frecuentes: el Solonchank Gléyico, el Solonchank Mólico, el Solonchank Ortico y el Vertisol Pélico.

#### **4 GEOLOGÍA**

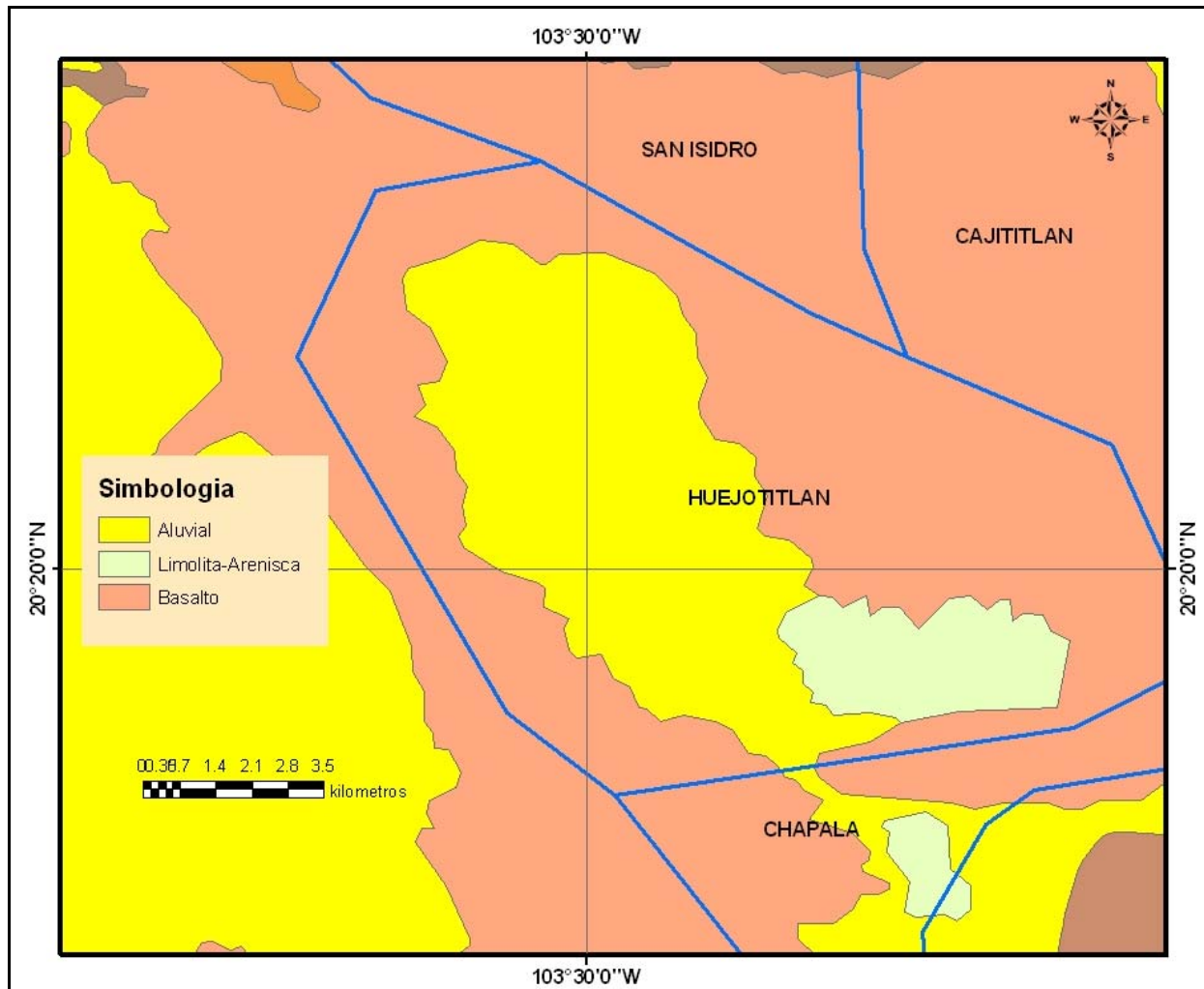
En el estado de Jalisco las principales estructuras geológicas son: aparatos volcánicos, derrames de lava, fracturas y fallas, que han dado origen a los valles y las fosas tectónicas, como por ejemplo la Laguna de Chapala. Los tres tipos de rocas conocidos (ígneas, sedimentarias y metamórficas) afloran dentro del estado, sus edades varían desde el Triásico hasta el Cuaternario.

Las rocas más antiguas que se observan en la entidad son ígneas intrusivas a las que se les ha determinado una edad cretácica, estas rocas volcánicas se pueden observar en las sierras de la Laja y Tapalpa; subyaciendo a unas rocas sedimentarias marinas compuestas por calizas y areniscas con un espesor aproximado de 500 m, figura No. 2.

En general las principales unidades fisiográficas del estado surgieron entre los Periodos Oligoceno y Mioceno y fueron producto de una serie de fenómenos volcánicos y tectónicos, dando como resultado infinidad de emisiones de rocas ígneas, así nacieron las principales sierras: la Madre Occidental, la de Tapalpa, la Primavera, Las Galeras, La Mojonera, los Verdines, el cañón del Río Grande Santiago y diferentes fosas tectónicas que con el tiempo ocuparon los lagos de Sayula, Atotonilco, San Marcos, Zacoalco, Cajititlán y Chapala.

La Sierra Madre Occidental surgió como respuesta a la intensa actividad volcánica durante el Oligoceno- Mioceno, en el Periodo Terciario, resultando enormes emisiones de rocas ignimbríticas y piroclásticas, lavas basálticas y domos riolíticos.

Dentro del estado se han diferenciado cuatro provincias geológicas: La Sierra Madre Occidental, Mesa del Centro, Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur.



**Figura No. 2. Mapa Geológico**

#### 4.1 Estratigrafía.

En ésta zona las rocas que afloran principalmente son del tipo ígneo extrusivo y sedimentarias aluviales y lacustres.

Terciario Medio.- En la parte central y pequeñas porciones al norte se tienen varias formaciones riolíticas dispuestas en forma de derrames con presencia de obsidiana y esferas de ortoclasta esferulíticas. En las partes supuestamente enfriadas con rapidez, presentan planos de fluidez, siendo de los cuerpos líticos más alterados de la zona, su color es pardo rosáceo claro, su estructura compacta, textura fluidal, y su mineralogía: cuarzo, feldespato y minerales arcillosos.

Tobas del Terciario.- Formado por tobas pumíticas poco consolidadas, constituidas por vidrios volcánicos de color que varía de gris amarillento a café grisáceo oscuro.

**Vidrios Riolíticos del Terciario.-** Son perlitas y obsidianas que varían de color gris claro a negro, se encuentran en forma de vidrios volcánicos, esta unidad aflora principalmente en la Sierra de la Primavera.

**Basaltos del Cuaternario-Pleistoceno.-** Basalto moderno, distribuido por la zona, caracterizado por derrames de lava en todas direcciones, con variaciones estructurales de compacta a vesicular, de textura afanítica, presenta una coloración gris oscura generalmente. Dentro de esta misma clasificación podemos situar a conos volcánicos compuestos por materiales piroclásticos de diferentes tamaños que comprenden cenizas y arenas.

**Aluvión del Cuaternario.-** Constituidos por materiales limosos, arenosos, gravas, arcillas plásticas, cantos rodados de acarreo y sueltos fósiles.

La región se encuentra alterada por movimientos tectónicos que provocaron una orogenia constituida por depresiones y limitadas por cadenas montañosas que se separan entre sí, formando una serie de fosas que afectaron el basamento original, constituido por calizas y sedimentos marinos.

Como consecuencia al debilitamiento de las zonas corticales, se produjeron una serie de fallas y fracturas paralelas que fueron conducto para liberar las presiones del magma en la zona, provocando emisiones de lava en gran parte de la zona.

Se han encontrado fallas y fracturas que tienen direcciones N-S, NW-SE, NE-SW y E-W; además de que estructuralmente se tienen rasgos circulares.

## **5 HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de Acuífero**

Está constituido por sedimentos lacustres del Cuaternario y con espesores que llegan hasta mil metros, la dirección preferente del flujo subterráneo es obviamente hacia las partes bajas y circula a través de los depósitos aluviales junto con arcillas y limos, todo esto en las partes bajas del acuífero, mientras que en las partes altas el flujo subterráneo transita en boleos y estratos de basalto alterados.

### **5.2 Piezometría**

Con base en la red de pozos piloto se obtuvo un conocimiento de la distribución de niveles piezométricos o niveles estáticos, con la interpretación de los valores de elevación del nivel estático trazando curvas de igual elevación a cada 10 m; esta metodología se utilizó para configurar los datos de 2005.

#### **5.2.1 Niveles del agua subterránea**

**Profundidad al nivel del agua subterránea.** De acuerdo con la configuración piezométrica correspondiente al año de 2005, los niveles del agua subterránea se



encuentran a profundidades que van de 1.50 a 41.50 m, los niveles someros se localizan hacia la parte central del valle, profundizándose hacia las estribaciones de las sierras.

### Elevación del nivel del agua subterránea.

Los valores van de alrededor de 1560 en la porción noroeste, a los 1590 al sureste del acuífero, figura No. 3.

Referente al flujo subterráneo, éste tiene una dirección que va de las partes altas que circundan al valle, al noroeste del acuífero.

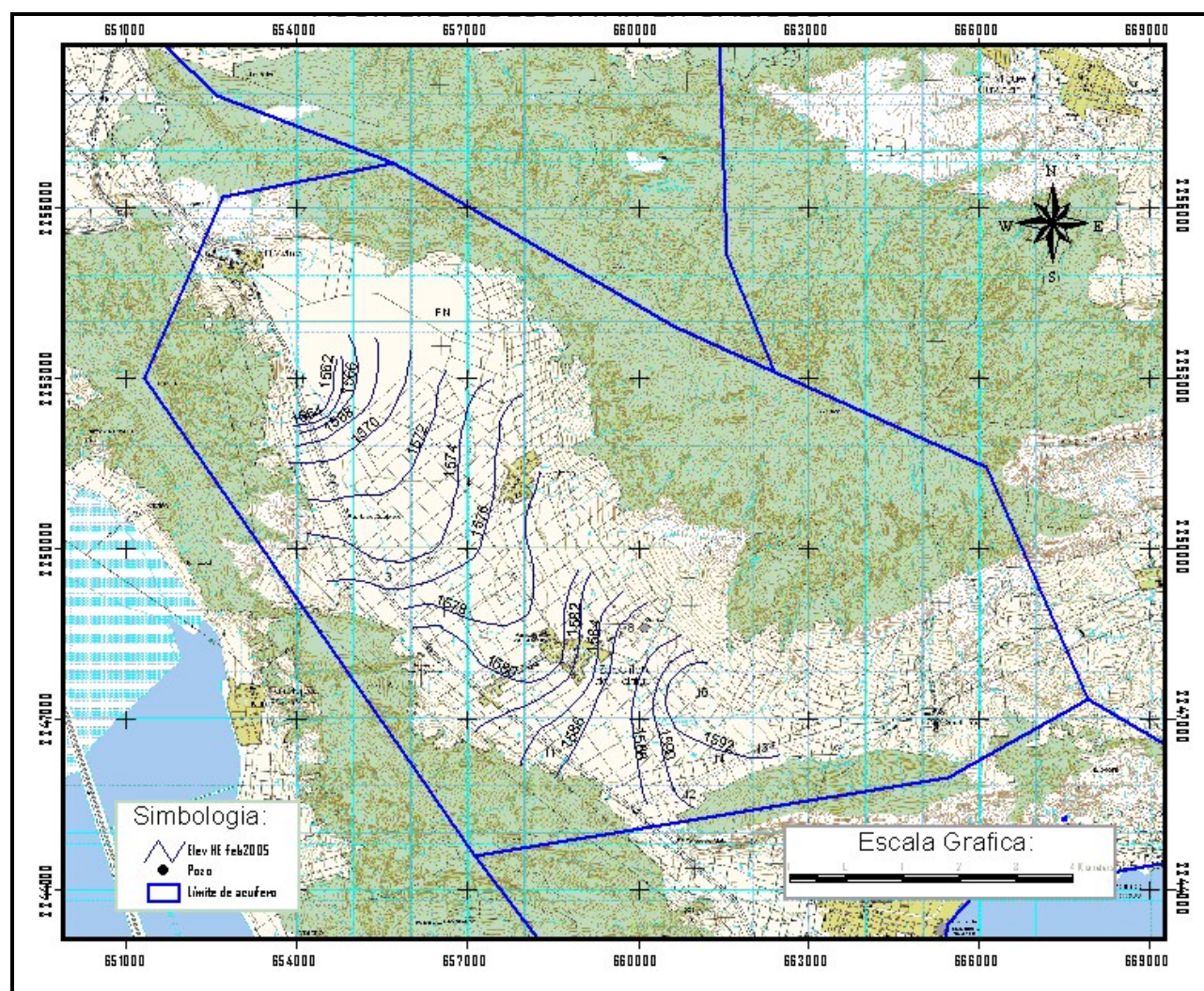


Figura No. 3. Elevación del nivel del agua subterránea.



## 6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA DE CAPTACIONES

El Volumen Concesionado en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa) se tienen concesionados 4.2 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales), volumen al 31 de diciembre de 2004.

## 7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Tomando en consideración lo anterior, tenemos que la ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de almacenamiento  $\Delta V(s)$

### 7.1 Entradas

La recarga total esta constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterránea.

La recarga la dejamos como incógnita dentro de la ecuación.

### 7.2 Salidas

#### Bombeo

La única salida del acuífero es por medio del volumen extraído total del acuífero a través del bombeo, para todos los usos, resultó de 4.2 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales). Las salidas por bombeo son consideradas las de mayor importancia para este acuífero, esto derivado de la información generada por el REPDA.

#### Evapotranspiración. (Método utilizado.- Balance hídrico – edafológico).

Fue propuesto por Thornthwaite y determina el balance entre entradas al acuífero por precipitación y salidas de la misma por evapotranspiración, infiltración y escurrimiento. En éste método se necesitan básicamente los datos de precipitación y capacidad de campo.

Capacidad de Campo.- sus valores son estimativos, determinan la capacidad de retención de humedad de un suelo; se expresan en % del peso del suelo seco, sin embargo se pueden manejar en mm y se estima de acuerdo a su textura, esta se puede obtener según su clasificación edafológica observando la siguiente relación.

Textura	Capacidad de campo (Cc)
Arenosa	5 a 15
Franco-arenosa	10 a 20
Franca	15 a 30
Franco arcillosa	25 a 35
Arcillosa	35 a 70

En el acuífero se encuentran suelos tipo vertisol pélico que contiene aproximadamente un 60% de arcillas por lo que tomamos un valor de capacidad de Campo igual a 30.

### Tipo de cultivo: Maíz

#### Mese de cultivo: 6 (mayo a octubre)

Mes	Temperatura	P	f	Kt	Kc	ETP
Mayo	21.7	9.16	16.60	0.92	0.49	41.80
Junio	22.0	9.02	16.46	0.92	0.66	56.88
Julio	20.5	9.26	16.28	0.88	0.91	74.05
Agosto	20.6	8.97	15.80	0.88	1.08	88.68
Septiembre	19.8	8.30	14.31	0.86	1.06	84.58
Octubre	18.9	8.17	13.75	0.83	0.90	69.46
F = 93.19						

### Tipo de cultivo: Garbanzo

#### Meses de cultivo: 5 (noviembre a marzo)

Mes	Temperatura	P	f	Kt	Kc	ETP
Noviembre	17.1	7.57	12.11	0.77	0.42	19.48
Diciembre	15.4	7.65	11.64	0.72	0.69	29.80
Enero	14.5	7.73	11.45	0.69	0.84	34.70
Febrero	16.0	7.25	11.24	0.74	0.80	35.45
Marzo	17.5	8.41	13.61	0.78	0.59	27.66
F = 60.06						

### Tipo de cultivo: pasto (mes sin cultivo)

#### Meses de cultivo: 1 (abril)

Mes	T	P	f	Kt	Kc	ETP
Abril	20.5	8.57	15.06	0.88	0.90	11.90
F = 15.06						

## Evapotranspiración Potencial.-

### Método de Thornthwaite—Valores medios mensuales

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temp. Media Mensual	14.50	16.00	17.50	20.50	21.70	22.00	20.50	20.60	19.80	18.90	17.10	15.40
$i = (S/T)^{1.514}$	5.00	5.80	6.70	8.50	9.20	9.40	8.50	8.50	8.00	7.50	6.40	5.50
I = Si	89.10											
A	1.95											
Constante de latitud (Ka)	0.95	0.90	1.30	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.91
$ETP = 1.6 (10 T/I)^a$	3.93	4.51	7.77	8.56	10.30	10.39	9.30	9.13	7.76	6.94	5.31	4.23

## Evapotranspiración Real

### Balance hídrico parcial método de Thornthwaite

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Evapotranspiración Potencial	39.28	45.12	77.72	85.57	102.96	103.92	92.98	91.32	77.62	69.43	53.07	42.34	881.33
Precipitación Media mensual	0.00	0.00	16.70	0.00	0.00	199.90	170.90	144.00	196.60	2.00	2.00	5.50	737.60
Variación reserva	-39.28	-45.12	-61.02	-85.57	-102.96	95.98	77.92	52.68	118.98	-67.43	-51.07	-36.84	
Capacidad de campo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	0.00	0.00	
Evapotranspiración Real (etr)	0.00	0.00	16.70	0.00	0.00	103.92	92.98	91.32	77.62	32.00	2.00	5.50	422.04
Déficit	-39.28	-45.12	-61.02	-85.57	-102.96	0.00	0.00	0.00	0.00	-37.43	-51.07	-36.84	-459.29
Excedente	10.82	5.41	2.71	1.36	0.68	65.98	110.91	108.14	173.05	86.52	43.26	21.63	
Escorrentamiento e Infiltración	5.41	2.71	1.36	0.68	0.68	32.99	55.45	54.07	86.52	43.26	21.63	10.82	315.58

capacidad de campo: 30

Precipitación media anual: 737.60 100%  
 Evapotranspiración real: 422.04 57.22%  
 Escorrentamiento + infiltración: 315.57 42.78%

Secuencia de cálculo.-

Observando las tablas de resultados podemos explicar la siguiente secuencia:

FILA 1.- Estos valores representan la Evapotranspiración Potencial calculada por los métodos de Thornthwaite o Blaney- Criddle.

FILA 2.- La Precipitación Media Mensual registrada en alguna estación implicada en la cuenca cuyo valor promedio anual más se aproxime al resultado del calculado por Thiessen o Isoyetas.

FILA 3.- La Variación de la Reserva resulta de la suma algebraica entre los dos valores anteriores.

FILA 4.- Capacidad de Campo, cuyo valor puede variar desde cero hasta el valor tomado de acuerdo al tipo de suelo y se obtiene de acuerdo a la humedad disponible.

FILA 5.- El valor de la ETR puede variar desde cero hasta ETP. Esto es:

si:  $P=0 \Rightarrow ETR=0$   
 si:  $ETP > P > 0 \Rightarrow ETR=P$   
 si:  $ETP > P \Rightarrow ETR=ETP$

FILA 6.- El déficit es la suma algebraica entre ETR y ETP.

FILA 7.- El temporal de lluvias comienza en el mes en el que la precipitación rebasa el valor de la evapotranspiración (generalmente junio), aquí comienza a acumularse un excedente y su valor se obtiene de la diferencia del volumen reservado (reserva) y la

humedad que puede contener el suelo (Capacidad de campo), esto es: Excedente = Variación de reserva – Capacidad de campo.

Para los meses posteriores en los cuales la reserva tiene signo positivo, el excedente se obtiene sumando el valor que se escurre e infiltra (fila 8) + la variación de reserva.

FILA 8.- Se estima que el 50% del excedente se escurre y/o infiltra, ya que según su autor se detiene en el subsuelo, en el agua subterránea, en las depresiones superficiales y/o en los cauces y aparece contribución al mes siguiente, que nuevamente vuelve a distribuir, así, en los meses consecuentes, en los que  $P > ETR$ , el excedente se obtiene como ya se mencionó, sumando el valor escurrido e infiltrado + la variación de reserva y para el mes en el que ésta última tiene signo negativo, el valor escurrido e infiltrado pasa directamente a la celda de excedente del mes siguiente.

Se utilizo el método de Thornthwaite donde resulto un valor de 422.04 mm, que multiplicado por el área donde aflora el material aluvial, y donde se presentan los niveles más someros, nos da como resultado:

$$422.04 \text{ mm} \times 42.8 \text{ km}^2 = 18.06 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

Y tomando un valor promedio de 7 m de profundidad al nivel estático  
 $18.06 \times 0.3 = 5.4 \text{ hm}^3/\text{año}$  (Millones de metros cúbicos anuales).

### 7.3 Cambio de almacenamiento

Tomando en consideración los valores de las entradas y las salidas del sistema acuífero el valor de este parámetro es de cero.

#### Ecuación de balance.-

Cambio de almacenamiento en el acuífero	=	Recarga total (suma de entradas)	-	Descarga total (suma de salidas)
---	---	----------------------------------	---	----------------------------------

#### SALIDAS

Sumando Salidas en  $\text{hm}^3/\text{año}$  (Millones de metros cúbicos anuales):

Salidas por bombeo = 4.2  
 Evapotranspiración = 5.42  
 Total de Salidas = 9.6

De la ecuación General despejamos el valor de la recarga

Recarga = Bombeo + Evapotranspiración  
 Recarga = Bombeo + Evapotranspiración  
 Recarga = 4.2 + 5.4

**Recarga total = 9.6 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

En la tabla No. 2, se presenta un resumen con los valores del balance de aguas subterráneas.

Área total del acuífero			km <sup>2</sup>	120.41
RECARGA TOTAL				
		Área del valle	km <sup>2</sup>	50.03
		Coeficiente		
		Precipitación	mm/año	772.18
Recarga natural por lluvia			hm <sup>3</sup> /año	
Entradas naturales			hm <sup>3</sup> /año	
Total de recarga natural			hm <sup>3</sup> /año	
RECARGA TOTAL			hm <sup>3</sup> /año	9.6
DESCARGA TOTAL				
Salidas horizontales			hm <sup>3</sup> /año	
Caudal base			hm <sup>3</sup> /año	
Evapotranspiración			hm <sup>3</sup> /año	5.4
	Extracción total		hm <sup>3</sup> /año	4.20
	Manantiales comprometidos		hm <sup>3</sup> /año	
	Agrícola		hm <sup>3</sup> /año	
	Público		hm <sup>3</sup> /año	
	Urbano		hm <sup>3</sup> /año	
	Industrial		hm <sup>3</sup> /año	
	Otros		hm <sup>3</sup> /año	
DESCARGA TOTAL			hm <sup>3</sup> /año	9.6
Cambio de almacenamiento			hm <sup>3</sup> /año	0.00
Coeficiente de almacenamiento				
Volumen drenado				
AGUA SUPERFICIAL				
Agrícola				
Público Urbano				
Industrial				

**Tabla No. 2. Balance de aguas subterráneas**

## 8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece que se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{Disponibilidad} \\ \text{media anual de} \\ \text{agua} \\ \text{subterránea en} \\ \text{una Unidad} \\ \text{Hidrogeológica} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Recarga} \\ \text{total} \\ \text{media} \\ \text{anual} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Descarga natural} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Volumen anual de} \\ \text{aguas} \\ \text{subterráneas} \\ \text{concesionado e} \\ \text{inscrito en el} \\ \text{REPDA} \end{array}$$

### 8.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga por infiltración por lluvia. La recarga total resultó de 9.6 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales).

El cambio de almacenamiento se considero cero, ya que los niveles no han variado.

### 8.2 Descarga natural comprometida

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a los acuíferos adyacentes. Para el caso de la zona del acuífero no se considera descarga natural comprometida.

### 8.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 31 de mayo de 2005 es de 4.229578 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales).

### 8.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA, resultó ser de 5.39 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales).

$$\text{DAS} = \text{RECARGA} - \text{DNC} - \text{REPDA}$$

$$\text{DAS} = 9.6 - 0.0 - 4.229578 = 5.370422 \text{ hm}^3/\text{año}.$$

$$\text{DAS} = 5.370422 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de 5.370422 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales), para nuevas concesiones en el Acuífero denominado Huejotitlán, Jalisco.

## **9 BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua. 1994. Manual para evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos.

Comisión Nacional del Agua. 1996. Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Pruebas de bombeo.

Comisión Nacional del Agua. 2007. Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de Aguas Nacionales.

David Keith Todd, Ph. D; Paraninfo. Hidrología (Aguas Subterráneas).-

Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática. Síntesis Geográfica de Jalisco.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática Información Bibliográfica Municipal.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática Atlas Agropecuario de Jalisco.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Manual de Pequeños Almacenamientos.