

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Laguna la Vieja (0819),  
Estado de Chihuahua***

*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.**

### CCXCIV REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "RÍO BRAVO"

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					

#### ESTADO DE CHIHUAHUA

0819	LAGUNA LA VIEJA	61.5	0.0	36.652708	153.8	24.847292	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 0819 LAGUNA LA VIEJA, ESTADO DE  
CHIHUAHUA***

***México, D.F. Mayo de 2010***

## CONTENIDO

1. GENERALIDADES .....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización .....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	5
3. FISIOGRAFÍA .....	6
3.1. Provincia fisiográfica.....	6
3.2. Clima.....	7
3.3. Hidrografía .....	7
3.4. Geomorfología .....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1. Estratigrafía.....	9
4.2. Geología estructural .....	14
4.3. Geología del subsuelo.....	15
5. HIDROGEOLOGÍA .....	15
5.1. Tipo de acuífero.....	15
5.2. Parámetros hidráulicos .....	16
5.3. Piezometría.....	16
5.4. Comportamiento hidráulico.....	16
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	16
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	18
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	20
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	21
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA .....	22
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS .....	22
7.1. Entradas.....	23
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	23
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	23
7.2. Salidas .....	25
7.2.1. Bombeo (B).....	25
7.3. Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ) .....	25
8. DISPONIBILIDAD .....	27
8.1. Recarga total media anual (Rt).....	27
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	27
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS).....	27
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS).....	28
9. BIBLIOGRAFIA.....	29

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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 de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### **1.1. Localización**

El acuífero Laguna La Vieja, definido con la clave 0819 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noroccidental central del estado de Chihuahua, entre los paralelos 29° 47' 43" y 30° 20' 43" de latitud norte y los meridianos 107° 02' 53" y 107° 31' 10" de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1678 km<sup>2</sup>.

Colinda al norte con el acuífero Laguna Santa María, al sur con el acuífero Santa Clara, al oriente con el acuífero Flores Magón – Villa Ahumada y al occidente con el acuífero Buenaventura, todos ellos pertenecientes al estado de Chihuahua (figura 1).

Geopolíticamente comprende parcialmente a los municipios de Buenaventura y Galeana.

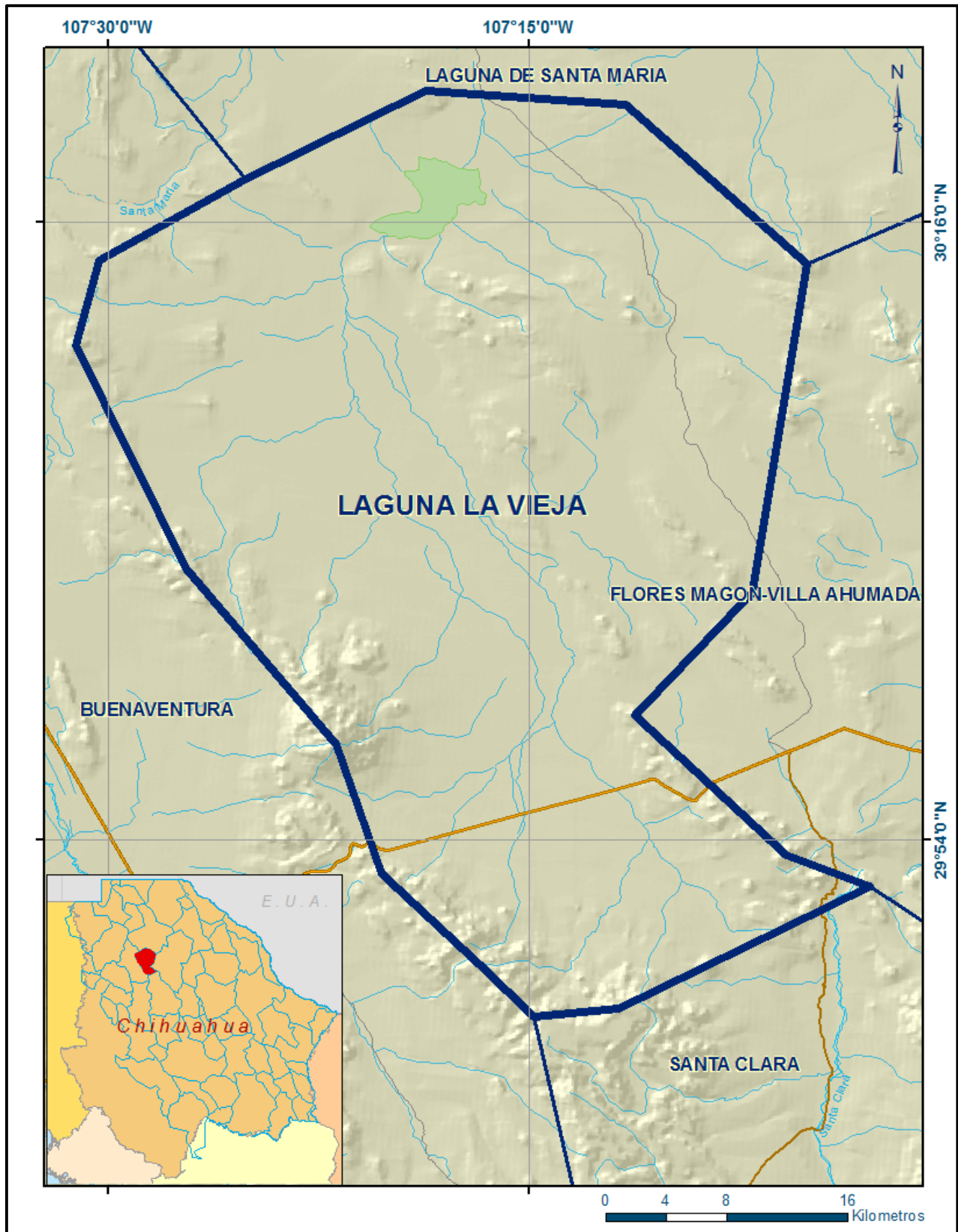


Figura 1. Localización del acuífero Laguna La Vieja

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0819 LAGUNA LA VIEJA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	107	18	43.1	30	20	42.8
2	107	11	35.3	30	20	13.5
3	107	5	7.8	30	14	31.9
4	107	7	4.8	30	2	51.5
5	107	11	15.6	29	58	27.2
6	107	5	52.2	29	53	28.3
7	107	2	53.5	29	52	22.5
8	107	11	49.1	29	48	1.0
9	107	14	52.2	29	47	43.0
10	107	16	48.6	29	49	33.9
11	107	20	16.1	29	52	49.0
12	107	21	53.1	29	57	24.7
13	107	27	15.1	30	3	39.6
14	107	31	10.1	30	11	37.6
15	107	30	20.6	30	14	38.2
16	107	25	7.5	30	17	32.6
1	107	18	43.1	30	20	42.8

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Laguna La Vieja pertenece al Organismo de Cuenca “Río Bravo” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Chihuahua. Una pequeña zona del noroccidente de su territorio se encuentra sujeta a las disposiciones de dos decretos. El primero es el *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del Municipio de Galeana y de las zonas no vedadas por el Acuerdo del 16 junio de 1954, publicado en el Diario oficial el 6 de julio del mismo año en los Municipios de Casas Grandes y Nuevo Casas Grandes, Chih., para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo de dichas zonas, que no quedaron incluidas en la veda impuesta”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 27 de marzo de 1981. Este decreto es tipo II, en el que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos y/o abrevadero por medios manuales.

El segundo decreto rige en una pequeña área del extremo suroriental del acuífero y es el *“Acuerdo que establece el Distrito de Riego de El Carmen, en San Buenaventura y Villa Ahumada, Chih., y declara de utilidad públicas la construcción de las obras que lo formen y la adquisición de los terrenos*

*para alojarlas y operarlas*” publicado en el DOF el 30 de enero de 1957. Este decreto es tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Por otra parte, la superficie restante, aproximadamente el 93% del acuífero, no está regida por decreto de veda alguno.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia del Agua 2010, los municipios Galeana y Buenaventura se clasifican como zona de disponibilidad 5.

El principal usuario del agua es el agrícola. En su territorio se localiza la Unidad de Riego “El Valle” que comprende una superficie de 16,662 hectáreas. No se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

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

En la superficie que cubre el acuífero se ha llevado a cabo diversos estudios geohidrológicos de evaluación. Entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LA ZONA DE PESTAÑAS, MUNICIPIO DE BUENAVENTURA, CHIH, elaborado para la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal de Chihuahua, en 1997.** Como parte de los trabajos fueron inventariados 131 aprovechamientos de agua subterránea de los cuales 78 son de uso agrícola, 8 uso doméstico-abrevadero, 1 público-urbano y 44 inactivas. También se determinó que el acuífero se comporta como libre, la recarga ocurre principalmente a través de la infiltración del agua de lluvia en las sierras circundantes, donde existe una interconexión hidráulica con los sedimentos aluviales en el valle, que forman el acuífero regional. La recarga se presenta en la parte sur, este y oeste del acuífero.

Concluye que la descarga del acuífero es por bombeo, que se encuentra distribuida en las porciones sur y noroeste, así como una salida subterránea en el extremo norte, en una franja no mayor a los 4 km de ancho. No se mostraba una condición de sobreexplotación.

**REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO DE LOS ACUÍFEROS LAGUNA LA VIEJA, LAGUNA DE SANTA MARÍA, LAGUNA DE TARABILLAS, LOS JUNCOS Y FLORES MAGÓN-VILLA AHUMADA, DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado por la empresa Consultores y Constructores del Norte, S.A de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 2005.** Proporciona información referente a la configuración del nivel estático para el año 2005, que se utilizó junto con la generada en el 2009, para el planteamiento del balance de aguas subterráneas. Identifica un cono de abatimiento en la zona de concentración del bombeo, ubicada entre las localidades Pestañas y El Veinticinco. Las profundidades al nivel estático varían de 20 a 105 m.



**ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS LAS PALMAS, PALOMAS-GUADALUPE-VICTORIA, LOS MOSCOS, JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ, EL SAUZ-ENCINILLAS, LAGUNA EL DIABLO, LAGUNA LA VIEJA, Y CHIHUAHUA-SACRAMENTO, EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado por la Universidad Autónoma de Chihuahua por convenio, para la Comisión Nacional del Agua, en 2009.** Este estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, contar con información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

El trabajo constituye la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus resultados y conclusiones se presentan en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1. Provincia fisiográfica**

El acuífero Laguna La Vieja se ubica en la porción noroeste de la provincia fisiográfica Cuencas y Sierras dentro del territorio mexicano, la cual continua hacia Estados Unidos de América con el nombre de "Basin and Range" (Raisz, E., 1964). Hawley, 1969 designa a esta porción de la provincia como "Subsección de Los Bolsones" por la abundancia de extensas llanuras con una suave pendiente que converge hacia una zona central con drenaje endorreico, conocidas en la región como bolsones, caracterizados por suelos arcillosos salinos, denominados localmente como "barreales" debido a extensas zonas lagunares sometidas a una intensa evaporación. Las amplias llanuras, están limitadas normalmente por delgadas unidades serranas de gran longitud, que emergen de manera brusca sobre la llanura como islas, que poseen una orientación aproximada NNO-SSE, siendo frecuentes los depósitos eólicos como dunas o médanos que le imprimen al paisaje cierta particularidad fisiográfica principalmente en la porción noroeste de la provincia Cuencas y Sierras.

Localmente en el occidente se aprecian pequeños lomeríos alargados que apenas sobresalen en una amplia llanura donde se extiende la Laguna La Vieja a la cual confluyen las aguas del arroyo Los Mimbres-EL Zanjón que discurren sobre un largo valle de rumbo NW-SE, limitado al este y oeste por las sierras Malpaises y Orégano respectivamente. El límite sur del valle lo forman las altas elevaciones del flanco oriental de la sierra Las Tunas, y donde destaca notablemente el cerro Grande que constituye la mayor elevación dentro del área de estudio.

El origen de la provincia está relacionado, entre otros eventos, con el plegamiento de las secuencias marinas del mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento paleozoico y precámbrico, así como con el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, que dieron lugar a la formación de cuencas endorreicas.

La morfología es de bolsones, esto es, de cuencas con drenaje interno, más o menos rodeadas de sierras de las que se extienden las amplias bajadas aluviales sobre las llanuras centrales. En ella, alternan llanuras y sierras, más espaciadas éstas en el sureste que en el noroeste. Las sierras son abruptas y se levantan de 500 a 1000 m sobre las llanuras y de 2000 a 3000 m respecto al nivel medio del mar; gran parte de las sierras están rodeadas de amplias bajadas que las semisepultan.

### **3.2. Clima**

El clima de la zona se caracteriza por ser árido y extremo. De acuerdo con la clasificación hecha por Köppen adaptada por E. García para las condiciones de nuestro país, el clima de la región corresponde al tipo muy árido templado (BWkw), con lluvias en verano que se presentan comúnmente en los meses de julio, agosto y septiembre.

Se realizó un análisis climatológico de las estaciones Buenaventura, Galeana, La Trasquilla y Las Lajas, para un periodo de análisis de 1946 a 1999 y se determinó que la precipitación media anual es de 331 mm.

La temperatura media anual es de 16.7 °C y presenta una variación con tendencia parabólica, que se manifiesta con mayor intensidad durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, decreciendo durante el resto del año. Los valores menores registrados corresponden a los meses de diciembre, enero y febrero.

En cuanto a la evaporación potencial, su valor promedio es del orden de 1600 mm/año.

### **3.3. Hidrografía**

El área de estudio se ubica dentro de la Región Hidrológica 34 “Cuencas Cerradas del Norte”, Cuenca del río Santa María, subcuenca Laguna La Vieja. Esta última comprende la mayor parte de la extensión del acuífero y se origina en el extremo norte de la sierra Las Tunas. Sobresalen en la porción sur de acuífero los arroyos de tipo intermitente Sanguijuela, Los Mimbres y El Zanjón que tributan sus aguas a la laguna La Vieja, localizada en el extremo norte, cercano al río Santa María. La mayor parte del recorrido de estos arroyos se desarrolla bajo gradientes topográficos sumamente pequeños.

La región hidrológica 34 es una región constituida por pequeñas cuencas que drenan hacia lagunas. En esta región se agrupan todas las corrientes que se generan al norte del paralelo 28, entre la Sierra Madre Occidental y las cuencas de los ríos Conchos y Bravo. Esta región se caracteriza por su escasa precipitación pluvial, que determina severas condiciones de sequía y de caudales exigüos en las corrientes establecidas, así como otras zonas donde ocasionalmente llegan a producirse escurrimientos.

### **3.4. Geomorfología**

Al término de un amplio valle orientado al noroeste-sureste y limitado al suroeste por las notables estribaciones noroccidentales del extremo noroeste de la sierra Las Tunas, se encuentra la zona agrícola menonita del valle de Pestañas; al noreste del Valle, pasando unas ligeras elevaciones del terreno se llega a la laguna La Vieja, que comprende una zona de topografía baja con una altitud promedio de 1300 msnm donde se distribuyen sedimentos lacustres cuya granulometría se incrementa hacia las márgenes de los cerros vecinos, constituyendo escasos abanicos aluviales.

Las elevaciones topográficas son mayores hacia el oeste y sur de la laguna, variando sus cimas entre los 1450 y 1620 msnm, ésta última se registra en la ex hacienda Ojo Puerco. En general los lomeríos o cerros que rodean a la Laguna La Vieja han desarrollado su relieve sobre rocas volcánicas basálticas y riolíticas terciarias que presentan una ligera inclinación hacia el suroeste y noreste, que denota un sensible plegamiento de la sección volcánica. De esta forma, se observan escarpes tanto en los flancos sureste y este de algunas elevaciones. Por lo que respecta al límite nororiental, las elevaciones son muy bajas y están compuestas por sedimentos continentales granulares de edad cuaternaria y por depósitos vulcanoclásticos y lavas basálticas terciarias, que constituyen lomas muy suaves y planas.

Contrastando con las bajas elevaciones de las vecindades de la laguna La Vieja, que constituyen prácticamente la porción norte del acuífero, al sur de ella y dentro del extenso valle de la colonia Pestañas, se aprecian fuertes elevaciones con topografía accidentada desarrollada principalmente sobre rocas volcánicas; como es el caso de las sierras Malpaises, El Orégano y otras que confinan al valle de Pestañas, con excepción del cerro Grande, que es una notable prominencia topográfica labrada sobre un cuerpo intrusivo monzonítico localizado a pocos kilómetros al NE de Buenaventura.

## **4. GEOLOGÍA**

La región donde se ubica el acuífero Laguna La Vieja consiste en un ambiente geológico principalmente de origen volcánico, representado por una potente secuencia de tobas, flujos piroclásticos, ignimbritas y vulcanoclásticas, cuya composición varía de riolítica a basáltica, y sus edades varían del Eoceno al Mioceno. Hacia su base predominan las andesitas eocénicas, en la porción central las riolíticas oligocénicas y en la superior andesitas y basaltos miocénicos.

Esto se observa en las unidades serranas bajas, tanto hacia el límite suroeste como noreste de la Laguna La Vieja, en donde es posible apreciar una inclinación suave de la sección litológica tanto hacia el noreste como al suroeste, indicando de esta manera una deformación estructural representada por pliegues suaves cuyo eje axial se orienta al noroeste-sureste congruente con las estructuras de plegamiento y fallamiento normal que se manifiestan en la provincia de Cuencas y Sierras.

Adyacente a la margen noroeste de la laguna, se ubica una baja prominencia en la que están expuestas areniscas y conglomerados del Cretácico, sobre las que descansan discordantemente andesitas y basaltos del Oligoceno.

En los terrenos bajos donde se sitúa la laguna y el Valle de Pestañas, afloran depósitos sedimentarios terciarios y cuaternarios consistiendo los primeros en sedimentos conglomeráticos polimícticos y los segundos en depósitos lacustres de grano fino, así como depósitos aluviales más recientes debidos a la actividad fluvial.

Al sur de la laguna La Vieja, después de pasar un estrechamiento topográfico que confina al cauce del arroyo Los Mimbres, se abre un extenso valle, donde se ubica la colonia menonita de Pestañas, limitado por importantes serranías compuestas por la secuencia volcánica antes mencionada con afloramientos, continuos y persistentes a lo largo de varios kilómetros, compuestos por rocas riolíticas, andesíticas y basálticas de edad terciaria, así como la notable presencia de un cuerpo ígneo intrusivo monzonítico eocénico que constituye al Cerro Grande (figura 2).

#### **4.1. Estratigrafía**

El registro estratigráfico de la región abarca del Cretácico al Reciente. Las unidades se describen a continuación de la más antigua a la más reciente:

##### ***Cretácico Superior***

##### ***Formación Progreso (KmAr-Cgp)***

Las rocas más antiguas que están expuestas en el área de estudio corresponden a una sección compuesta por areniscas, calizas, conglomerados polimícticos y tobas, asignadas a la Formación Progreso (KmAr-Cgp), descritas por el Servicio Geológico Mexicano (2002), en las inmediaciones del rancho El Palmar del Berrendo; que afloran en el cerro Los Embudos, ubicado al noroeste de la Laguna La Vieja, donde el camino que conduce de El Venado al rancho San Luís cruza parcialmente un afloramiento que apenas destaca sobre la suave llanura. Torres (1987) reporta una sección de aproximadamente 400 m al suroeste del rancho El Encanto, compuesta por una alternancia de conglomerados polimícticos y areniscas arcillosas y conglomeráticas con madera petrificada que se intercalan con tobas litocristalinas.

Esta unidad es correlacionable con el Conglomerado Consolación de la región de Ojinaga y con la Formación Javelina del oriente de Chihuahua y el “Big Bend” en Texas, EUA. Las características litológicas y paleontológicas de esta unidad indican un medio de depósito continental con facies fluviales y lacustres.

### ***Paleógeno, Eoceno***

#### ***Rocas Volcánicas, Andesitas (PeA) y Tobas Andesíticas (PeTA)***

El volcanismo del Paleoceno-Eoceno, se expresa fundamentalmente por una secuencia volcánica correlacionable con la designada por Mc Dowell y Clabaugh (1979) como “Complejo Volcánico Inferior” para la Sierra Madre Occidental. Se compone por rocas andesíticas del Paleógeno, que en el área de estudio están presentes en varios lugares al sur del cerro Los Embudos, limitando por el oeste a la Laguna La Vieja, donde se levantan unos lomeríos suaves compuestos por rocas compactas de color café oscuro- rojizo y con textura fluidal.

En la porción sur del acuífero, que corresponde a las tierras bajas del extremo NW de la sierra las Tunas, entre el manantial de Ojo Caliente y al este del cerro Grande, afloran tobas andesíticas (PeTA) de color gris oscuro con tonos azules y con fuertes variaciones texturales, pues se observan unidades de grano fino hasta brechoides. Aparentemente constituyen la unidad más antigua que está expuesta en la zona del acuífero. Al menos en el área de la sierra Las Tunas esta unidad subyace a una persistente unidad compuesta por rocas andesíticas (PeA-B), que a su vez subyace a la potente secuencia volcánica oligocénica (PoTR-Ig) que comprende la mayor parte de las sierras que limitan al acuífero.

### ***Oligoceno***

El Oligoceno está representado por una secuencia volcánica riolítica (PoTR-Ig) correlacionable con la “Secuencia Volcánica Superior” (Mc Dowell y Clabaugh, 1979) de la Sierra Madre Occidental. En el área que comprende el acuífero, se han reconocido diferentes unidades litológicas con fuertes variaciones texturales, ya sea como tobas vítreas, vitrocristalinas, líticas e ignimbríticas con distintos grados de soldamiento. La unidad se encuentra descansando discordantemente sobre las andesitas (PeA) y (PeA-B), y constituye la unidad litológica predominante en el área de estudio, ya que en la porción norte del acuífero se encuentra formando gran parte de los cerros de moderada altura que constituyen alineaciones de rumbo noroeste-sureste representados por bajas elevaciones al noreste de la laguna La Vieja, conocidos como Caña Agria, y por otras prominencias mayores que se ubican al sur de la mencionada laguna, que comprenden desde el rancho La Nariz hasta la ex hacienda Ojo Puerco.

Esta secuencia presenta en su mayor parte un echado entre 15° y 20° con buzamiento generalmente al suroeste; sin embargo, localmente el buzamiento es al noreste, como se observa al sureste del rancho La Nariz.

Al sur de la laguna La Vieja se abre un extenso valle longitudinal con un rumbo norte, noreste, sur y sureste y unos 30 km de largo, con aprox. 20 km de ancho en su porción norte y unos 10 km en su porción sur. En la porción norte se distribuyen los campos menonitas que constituyen la colonia Pestañas. En las sierras adyacentes a este valle aflora extensamente la secuencia volcánica riolítica (PoTR-Ig) que constituye el cuerpo principal de la sierra Malpaíses y la sierra El Orégano, la primera limita al Valle por su lado oriental, en tanto que la segunda por el lado occidental. En ambas destaca la morfología compuesta por laderas con numerosos escalones muy continuos compuestos por unidades riolíticas con textura diferente provocadas por la alternancia de tobas e ignimbritas, que le imprimen un aspecto de una clara pseudoestratificación, que en la Sierra Malpaíses y El Orégano muestra un suave echado hacia el suroeste.

En la primera sierra es notable la intercalación de lavas basálticas (PoB) que constituyen cantiles continuos que se extienden prolongadamente con las elevaciones topográficas hasta las vecindades orientales de la colonia Pestañas. Sin embargo en la sierra El Orégano la secuencia volcánica riolítica se intercala además de los basaltos (PoB), con importantes espesores de tobas y flujos andesíticos (Poa) que comprenden casi la totalidad de la secuencia que aflora en esta sierra.

Sobre la unidad anteriormente descrita (PoTR-Ig) y hacia su cima, descansa una unidad compuesta por flujos basálticos (PoB) de color negro con tonalidades rojizas debido a oxidación, de textura amigdaloides, compacta, masiva y de aspecto fluidal. Los basaltos se encuentran coronando los cerros que se localizan al noroeste de los ranchos La Nariz-El Venado, y al suroeste de la ex hacienda Ojo Puerco, mostrando en esta última localidad flujos con inclinaciones suaves hacia el suroeste, en tanto que más hacia el suroeste la inclinación cambia al noreste, denotando una estructura sinclinal suave. En el flanco nororiental de la sierra El Orégano afloran ampliamente andesitas (PoA), afectadas por cuerpos subvolcánicos riolíticos (PoR) que afloran principalmente en el flanco suroeste de dicha sierra. Sobre estas unidades descansan flujos basálticos oligocénicos (PoB).

### ***Eoceno – Oligoceno***

#### ***Rocas Ígneas Intrusivas***

En la porción suroeste del acuífero, entre las sierras Las Tunas y El Orégano se encuentra una notable prominencia topográfica conocida como Cerro Grande, con una elevación máxima de 2500 msnm y de forma más o menos circular con un diámetro en su base de 5 km, compuesto en su totalidad por un intrusivo pórfido monzonítico (Pm) que varía sensiblemente a pórfido granítico hacia el centro. Se encuentra afectando a rocas andesíticas (PeTA y PeA) que en ocasiones presentan un buzamiento periférico suave. Sin embargo, también afecta a depósitos conglomeráticos de edad probable Cretácico-Paleoceno correlacionables posiblemente con el Conglomerado Pozos de la sierra Peña Blanca en la región de Aldama. El intrusivo presenta fracturas persistentes de rumbo preferencial NNW-SSE, así como otras transversales que prácticamente atraviesan todo el afloramiento.

### ***Neógeno, Mioceno***

Finalmente, en el cerro los Embudos y los cerros Caña Agria y La Tijera se encuentran bien expuestos derrames basálticos del Mioceno (TmB) que se encuentran sobreyaciendo a la secuencia de tobas e ignimbritas riolíticas (PoTR-Ig). Los derrames basálticos, normalmente en los cerros Caña Agria presentan una inclinación de unos 15° buzando al suroeste, sin embargo en la porción norte del cerro Los Embudos, el buzamiento es hacia el sur.

### ***Cuaternario, Holoceno***

#### ***Rocas Sedimentarias, Conglomerado Polimíctico (QhoCgp)***

Esta unidad se distribuye ampliamente en el área de estudio, sobre todo hacia el sur, este y noreste de la Laguna La Vieja, es decir, hacia las faldas de los cerros Caña Agria y sobre la cuenca del arroyo El Mormón. Se compone de un conglomerado de cantos variables en su composición, derivados de los cerros adyacentes a la laguna. Los fragmentos varían en angulosidad y redondeamiento, en una matriz arcillo-arenosa, con partículas variables en tamaño desde menos de 1 hasta 50 cm. En ocasiones, se intercalan horizontes arenosos con estratificación cruzada. Normalmente estos conglomerados polimícticos son formados por depósitos de abanico aluvial. Este tipo de depósitos también comprende gran parte del valle de Pestañas, al sur de la Laguna La Vieja, sobre todo en las zonas de pie de monte de las sierras Malpaises, Las Tunas y El Orégano, con las características litológicas antes señaladas.

#### ***Limo-Arena (Qholm-ar)***

Un delgado espesor de limos y arenas se extiende hacia las partes bajas y planas que convergen a la Laguna La Vieja en la porción norte del acuífero. Su espesor se estima de unos cuantos centímetros a unos 5 m y yacen discordantemente sobre el conglomerado polimíctico (QhoCgp). Su origen se considera debido a la descomposición y erosión de las rocas infrayacentes. Igualmente, en el valle de Pestañas se distribuyen ampliamente estos depósitos, donde desarrollan sus cauces los arroyos intermitentes Los Mimbres-Zanjón, que junto con sus tributarios ocasionales conducen sus aguas a la Laguna La Vieja.

#### ***Lacustre (Qhola)***

Son sedimentos lagunares y lacustres sometidos a alta evaporación que constituyen intercalaciones de arenas finas, limos y arcillas en estratos muy delgados, cuyo espesor es mayor hacia el centro de los valles o cuencas endorréicas como es el caso de la Laguna La Vieja en la porción norte del acuífero.

#### ***Eólico (Qhoeo)***

Esta unidad se compone de sedimentos eólicos arena-limo-arcilla depositados en las zonas bajas cercanas a la Laguna La Vieja, pero sobre todo hacia las faldas del sur de los cerros Caña Agria.

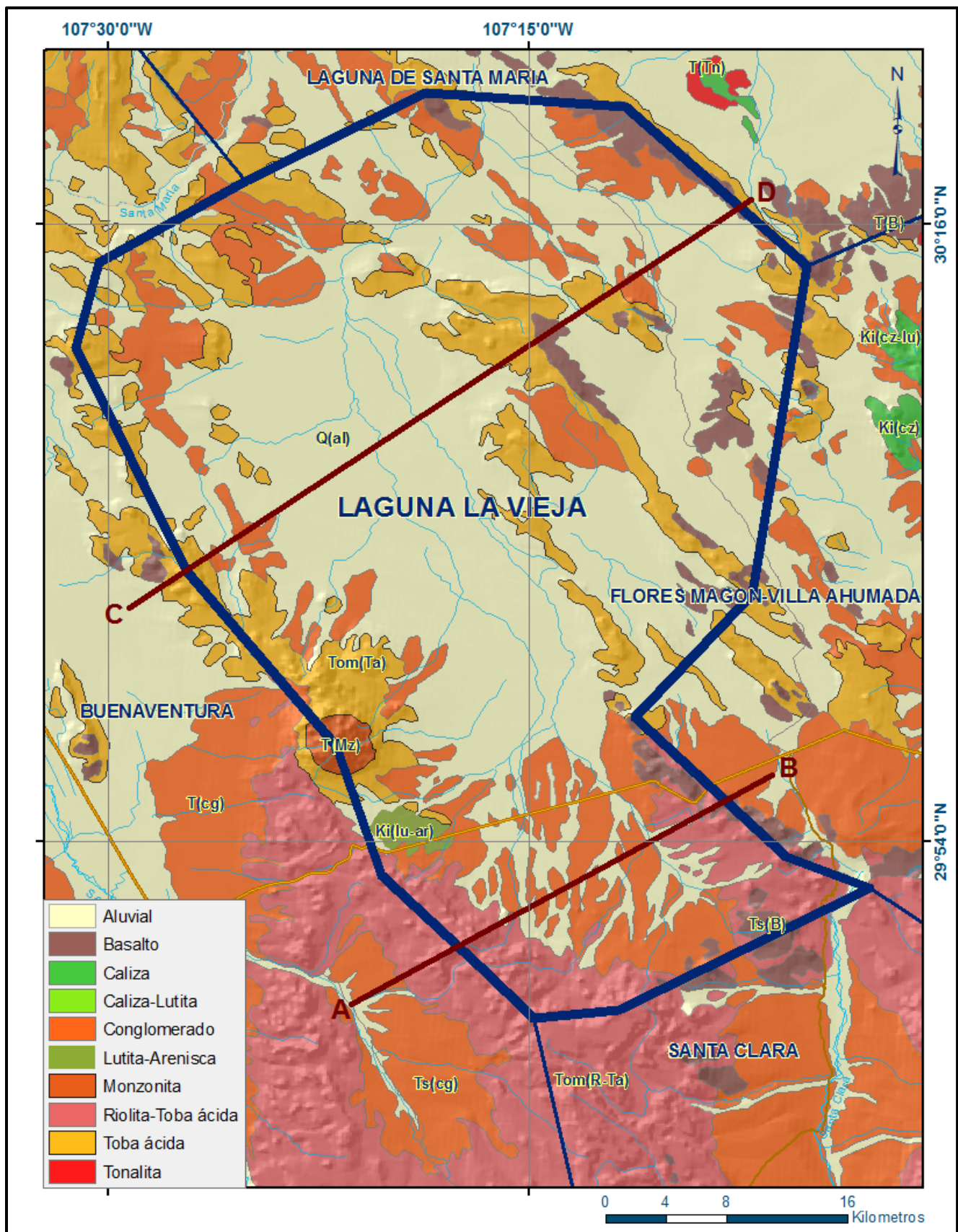


Figura 2. Geología del acuífero Laguna La Vieja



## 4.2. Geología estructural

Regionalmente, el origen de las estructuras está determinado por los esfuerzos compresionales laramídicos ocurridos durante el Cretácico Superior-Paleoceno, que provocaron el intenso plegamiento de las unidades litológicas mesozoicas en un trend estructural noroeste, sureste asociado a numerosas fallas y a lineamientos estructurales de mayores dimensiones.

Los rasgos geomórficos-estructurales dominantes actualmente en el paisaje que comprende el área de estudio, son aquellos que fueron ocasionados principalmente por la formación de la provincia de Cuencas y Sierras, de acuerdo con el evento de distensión tectónica del Oligoceno–Mioceno. De esta manera se observan rasgos geomorfológicos de rumbo noroeste, sureste, que se expresan como fallas normales y fracturas a partir de las cuales se generó un vulcanismo importante (figura 3).

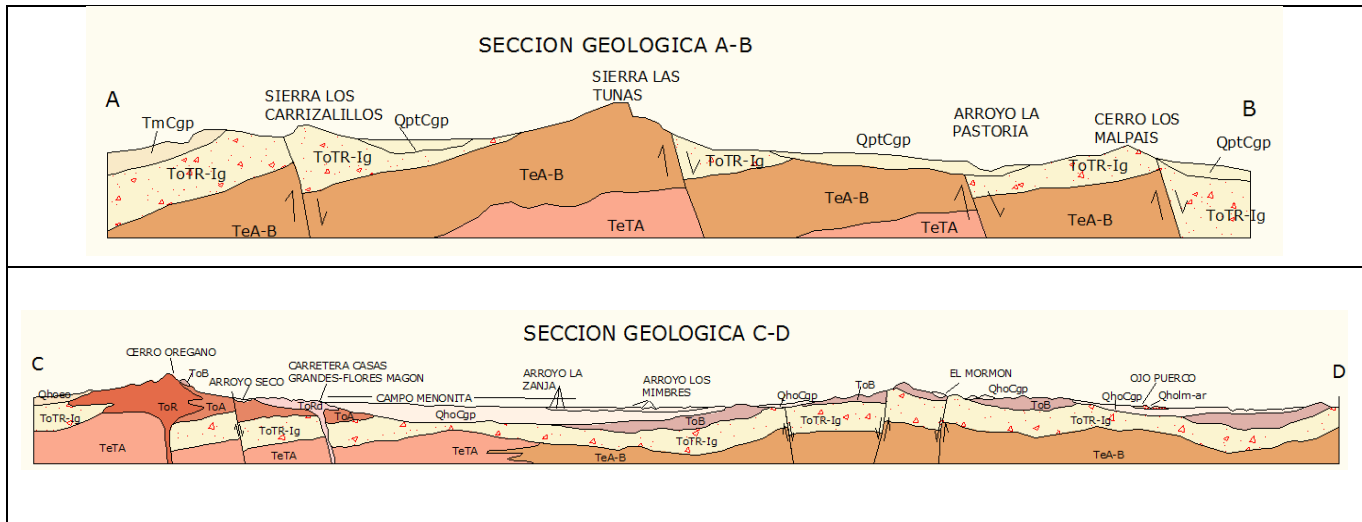


Figura 3. Secciones geológicas dentro del acuífero Laguna La Vieja

Destacan sobre el valle de relleno aluvial de Pestañas, los bloques tectónicos levantados que forman las sierras de Las Tunas y Malpaíses principalmente, así como el notable intrusivo de Cerro Grande.

La sección AB se ubica en la porción sur del acuífero, y se desarrolla con un rumbo suroeste, noreste. Destacan en casi toda la sección, las unidades volcánicas oligocénicas (PeTA, PeAB, PoTR-Ig) afalladas y basculadas hacia el suroeste, con echado suave entre 10° y 20°. El fallamiento es de tipo normal, mostrando los bloques hundidos hacia el noreste de las fallas. Aparentemente los bloques con mayor hundimiento son los ubicados entre las sierras Las Tunas (de mayor altura) y Los Malpaíses; de esta manera constituyen un valle tectónico relleno con moderado espesor de sedimentos clásticos aluviales y lagunares que comprenden el cuerpo principal del acuífero.

La sección geológica CD surca la porción norte del acuífero con un rumbo SO-NE, desde la sierra El Orégano hasta los cerros Caña Agría. En el extremo suroeste de la sección se observa el Cerro El Orégano, compuesto por un cuerpo subvolcánico dómico riodacítico (ToRd) que afecta a la secuencia

volcánica oligocénica (PeTA, PoTR-Ig y PoA), que a su vez se encuentra afallada y basculada hacia el suroeste, formándose una fosa tectónica en el valle de Pestañas, compuesta por el hundimiento de varios bloques. En la porción central de la sección se puede observar un moderado espesor de sedimentos conglomeráticos (QhoCgp), sobre los cuales se depositaron sedimentos finos de facies lagunar (Qholm-ar).

### **4.3. Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información de sondeos geofísicos, cortes litológicos de pozos y de la geología superficial, es posible definir que el acuífero se aloja, en su porción superior en sedimentos clásticos aluviales de granulometría variable, y en su porción inferior por sedimentos vulcanoclásticos y rocas volcánicas fracturadas. En su porción norte, donde se localiza la laguna, el espesor del relleno sedimentario es menor a 200 m, predominando en su parte superior sedimentos de grano fino como arcillas, limos y agua de mala calidad, aunque a profundidad tal vez no mayor de 50 m se corten gravas y arenas saturadas (localidad "Ojo Puerco", sección geológica CD). Debajo de ella a profundidad moderada se encuentran rocas basálticas o andesíticas con buena permeabilidad.

Al sur de la Laguna La Vieja, pasando un estrecho y suave puerto topográfico (rancho La Nariz), se abre un extenso valle que comprende al amplio campo menonita de Pestañas. En esta región el espesor de los materiales granulares es de aproximadamente 300 (sección geológica CD). En su parte superior presenta sedimentos finos como limos y arcillas, depositadas en ambientes lagunares y de llanura de inundación, que localmente podrían contener agua de mala calidad; sin embargo, es posible a profundidad una mayor abundancia de sedimentos de grano grueso de antiguos abanicos aluviales, sobre todo acercándose a los flancos de las sierras adyacentes al valle. El basamento y las fronteras impermeables están conformados por rocas volcánicas de composición andesítica, basáltica y riolítica, a mayor profundidad cuando no presentan fracturamiento.

Hacia la porción sur del acuífero, entre las sierras Las Tunas, cerro Grande y Malpaíses, se interpreta un espesor de relleno sedimentario más pequeño, quizás no mayor de 50 m. compuesto por sedimentos de grano grueso como gravas y en algunos casos constituyendo conglomerados moderadamente consolidados (NmCgp), que pueden incrementar su espesor. Estos descansan sobre un basamento andesítico (PeTA), que en superficie presenta fracturamiento y brechamiento.

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1. Tipo de acuífero**

El acuífero regional es de **tipo libre**, con presencia de condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes de sedimentos arcillosos. Se desarrolla en un medio poroso constituido por material clástico y conglomerático que rellena el valle y la secuencia volcánica que lo

subyace conformado por tobas, ignimbritas, flujos basálticos y vulcanoclásticos intercalados. Este conjunto poroso (depósito sedimentario y rocas volcánicas), presenta buena permeabilidad bajo niveles de saturación y constituye un excelente acuífero, que a su vez es interdigitado con sedimentos de baja permeabilidad de facies lagunares y de llanura de inundación ocasionan condiciones de semiconfinamiento y/o niveles someros del acuífero.

El espesor del acuífero es variable, pero alcanza su mayor desarrollo en el valle de Pestañas pudiendo alcanzar los 500 m. En la parte oriental del acuífero, su espesor es menor debido a la presencia más somera del basamento.

## **5.2. Parámetros hidráulicos**

Como parte de las actividades desarrolladas en el estudio de 2009, se ejecutaron 6 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, cuya duración varió de 12 a 48 horas. De su interpretación por diversos métodos, se deduce que los valores de transmisividad varían de 227 a 822 m<sup>2</sup>/día, con un promedio de **500 m<sup>2</sup>/d ó 5.8 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s**, que al considerar un valor de espesor saturado de 60 m se traduce en un valor promedio de conductividad hidráulica de **8.3 m/día**. En ambos casos los valores más bajos se asocian a los sedimentos eólicos finos y lacustres que se presentan en las inmediaciones de la laguna y los más altos a los sedimentos aluviales.

En lo que respecta al coeficiente de almacenamiento S para la zona central del valle el valor promedio es **1.9 x10<sup>-2</sup>** y para el rendimiento específico los valores encontrados varían de **0.10 a 0.19**.

## **5.3. Piezometría**

Aunque existe información piezométrica dispersa en tiempo y espacio, no es precisa su correlación de una toma de niveles a otra, por lo que se presentan las condiciones en algunos sitios de monitoreo para los años de 2005 y 2009.

## **5.4. Comportamiento hidráulico**

### **5.4.1. Profundidad al nivel estático**

De acuerdo con la configuración de la profundidad al nivel estático para el año 2005, mostrada en la figura 4, los valores varían de 10 a 100 m, las más someras se registran en el extremo norte del acuífero, en torno de la Laguna La Vieja, aumentando gradualmente hacia la estribaciones de las sierras que lo delimitan conforme se asciende topográficamente. Las mayores profundidades se presentan en los extremos sur y suroeste del acuífero.

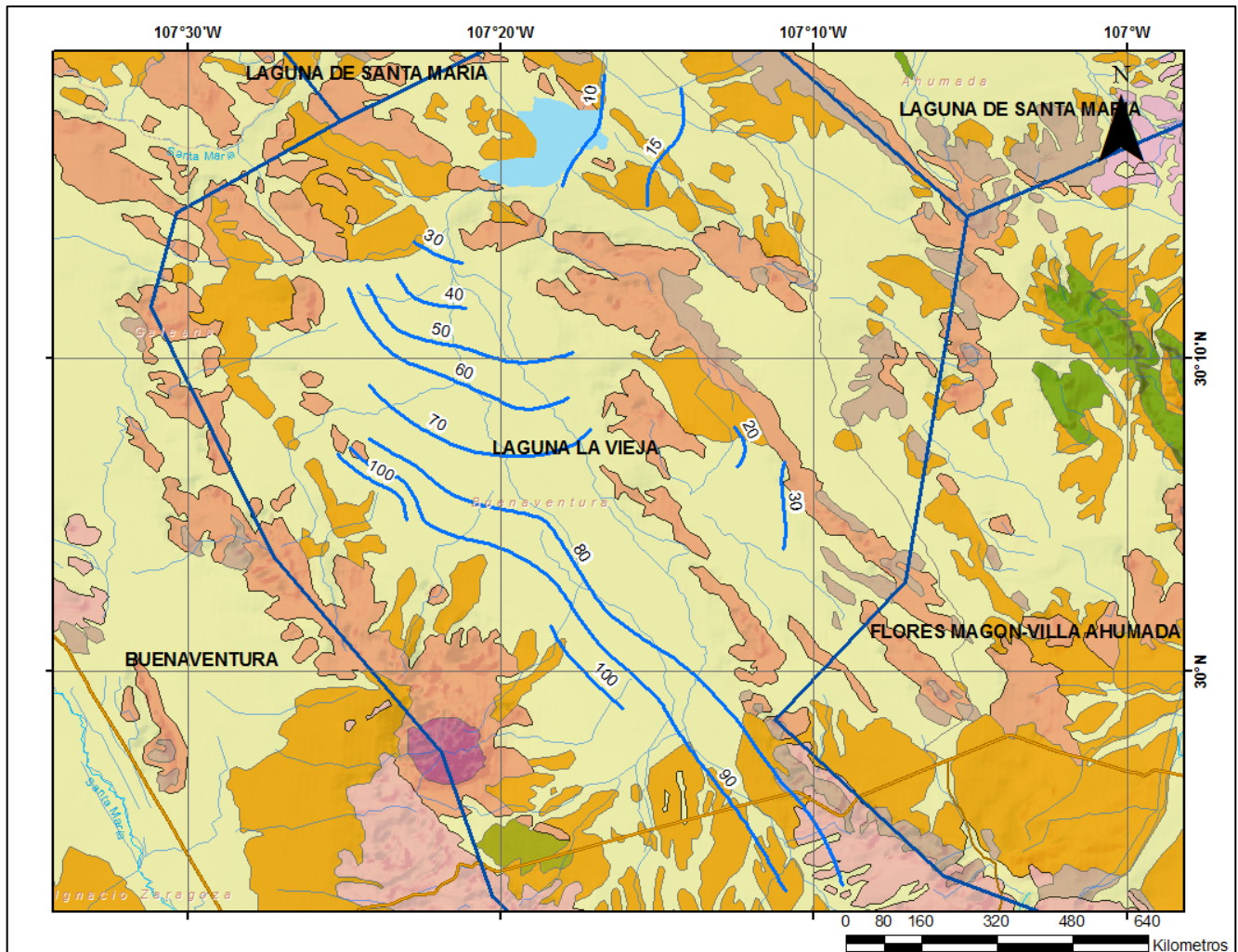


Figura 4. Profundidad al nivel estático en metros (2005)

Para el año 2009 los valores varían de 10 a 120 m. De igual manera, las profundidades someras corresponden a captaciones situadas en las proximidades de la laguna La Vieja y a las situadas en la porción suroriental del acuífero, esto es, en el área de la comunidad denominada El Trece.

En la zona del valle de Pestañas predominan las profundidades comprendidas entre 20 y 100 m, las primeras se presentan en la porción norte y las segundas en las estribaciones de las elevaciones que limitan el valle al suroeste. Valores de 110 a 120 m se registran entre los campos El Cinco, El Nueve y El Siete (figura 5).

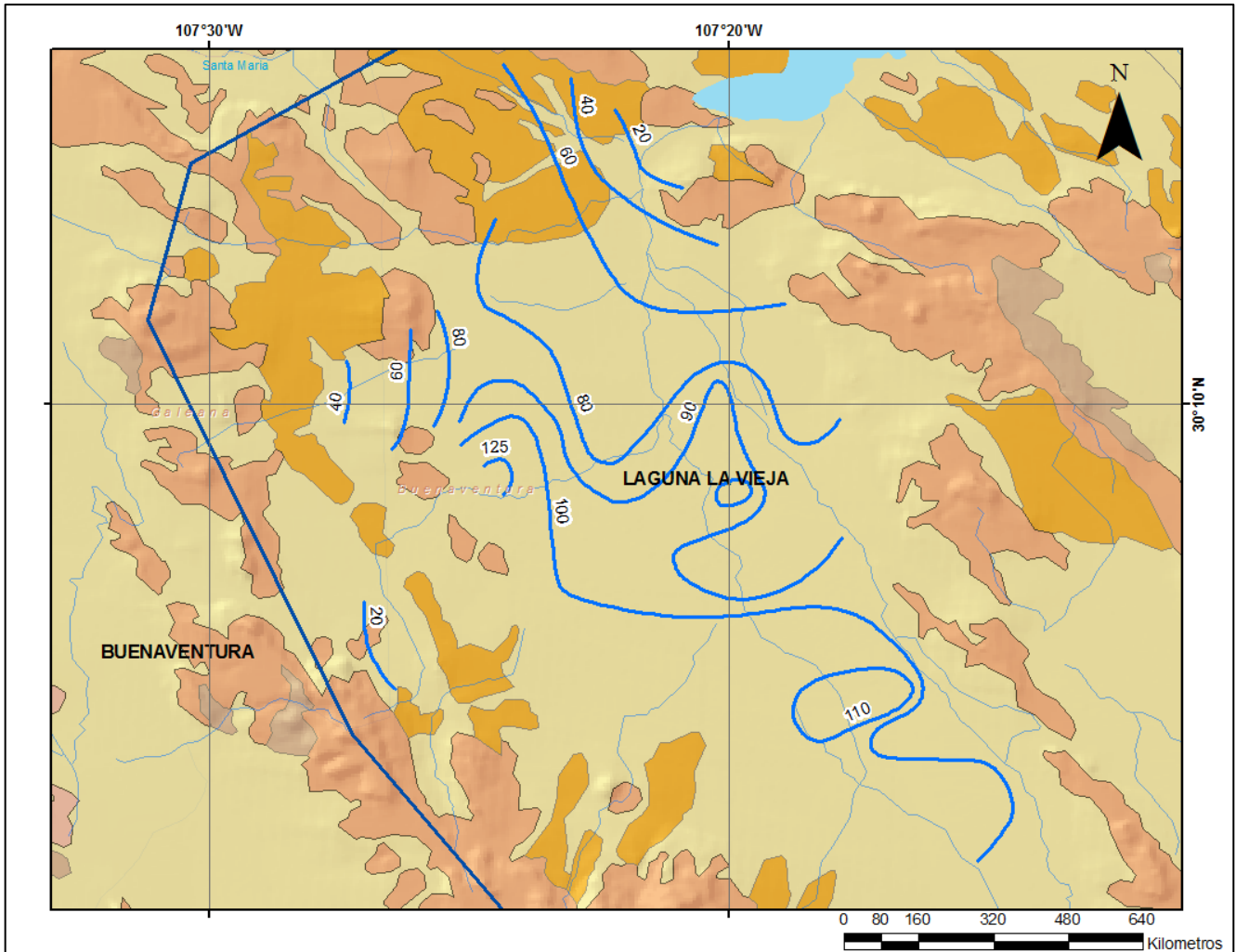


Figura 5. Profundidad al nivel estático (m) (2009)

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 6, se observa que los valores varían de 1480 a 1305 msnm, desde la porción sur hacia la Laguna La Vieja, mostrando de esta manera la dirección preferencial del flujo subterráneo de sur a norte. En la parte central del acuífero, dentro del valle de Pestañas, se identifican dos conos de abatimiento definidos por las curvas de 1305 msnm.

Las mayores elevaciones se registran, por efecto de la topografía, en la porción suroriental, hacia la comunidad El Trece, y al sur del valle de Pestañas.

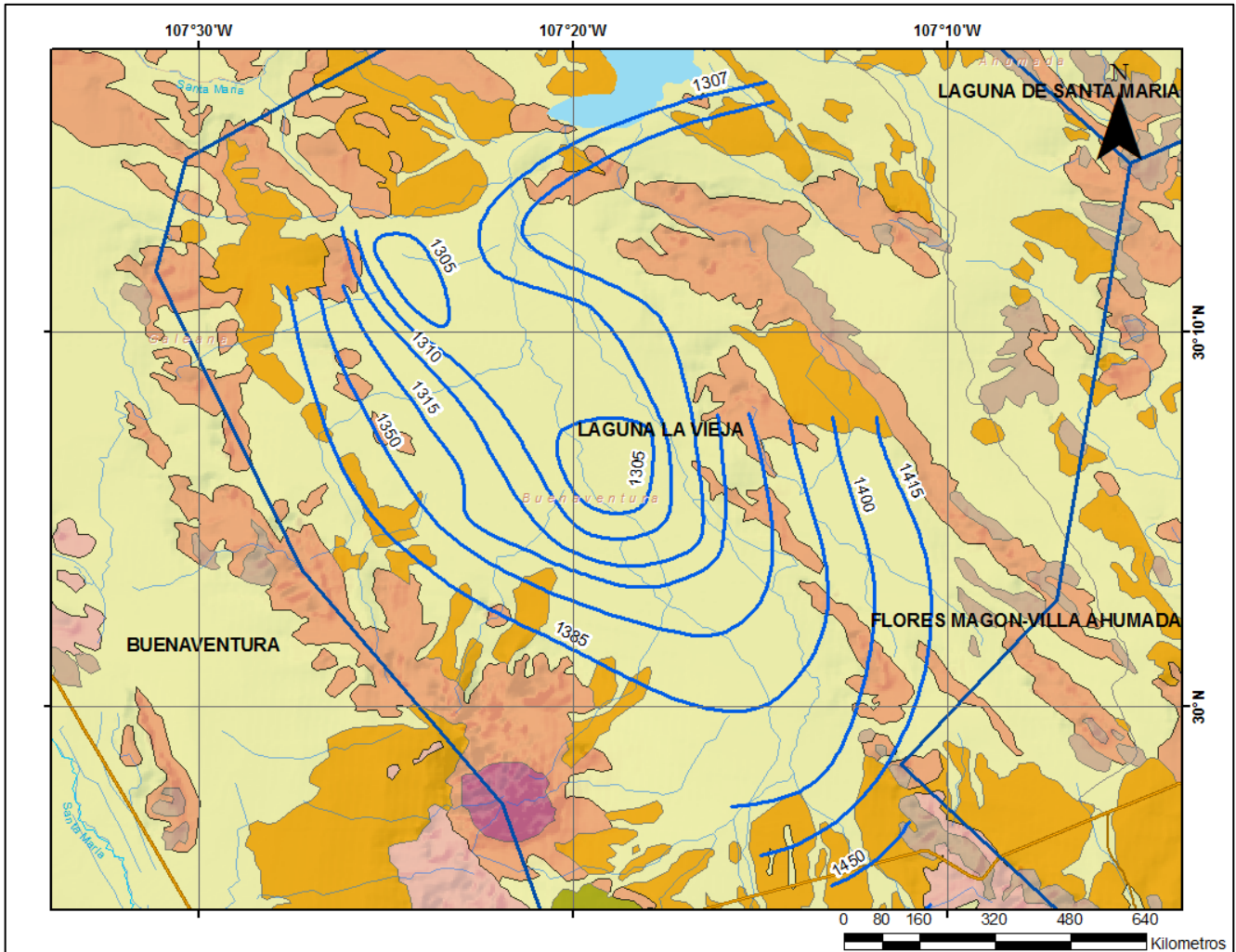


Figura 6. Elevación del nivel estático en msnm (2005)

Para el año 2009 se registran muy pocas lecturas en las proximidades de la laguna La Vieja así como en la porción suroriental del acuífero (figura 7). Las menores elevaciones definen el cono de abatimiento situado al sureste de Colonia Pestañas con un valor de 1260 msnm, hacia donde convergen los flujos de las elevaciones topográficas que rodean el valle. Las mayores elevaciones se registran en el extremo sur, con un valor de 1600 msnm.



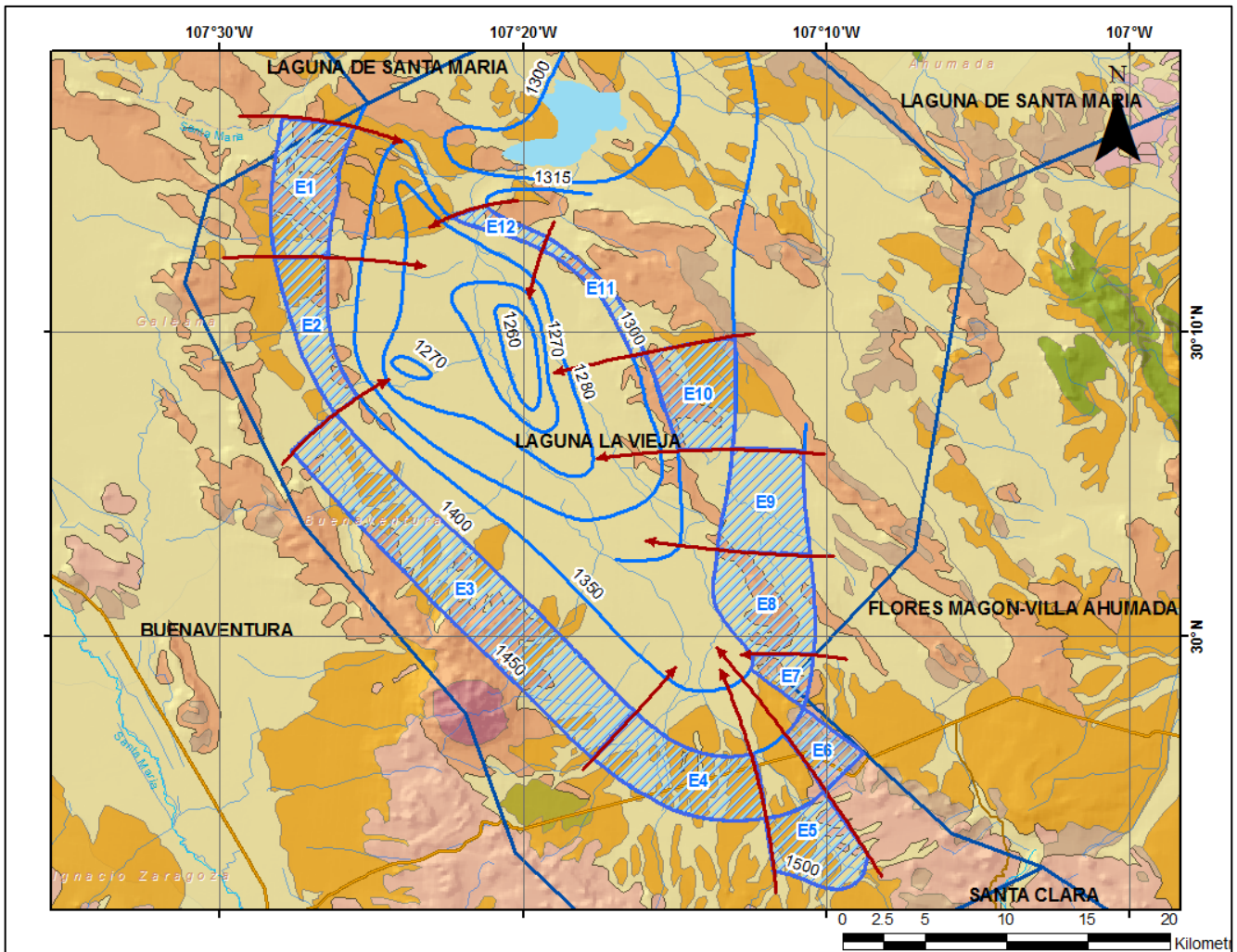


Figura 7. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

#### 5.4.3. Evolución del nivel estático

Con la información piezométrica correspondiente a los años 2005 y 2009, se elaboró la configuración de la evolución del nivel estático mostrada en la figura 8. En ella se muestra que valores que varían de 2 a 4 metros, que representan un ritmo anual de abatimiento de aproximadamente 3 m. Se observan además abatimientos de hasta 8 m que se acusan a la concentración de pozos en dicha zona.

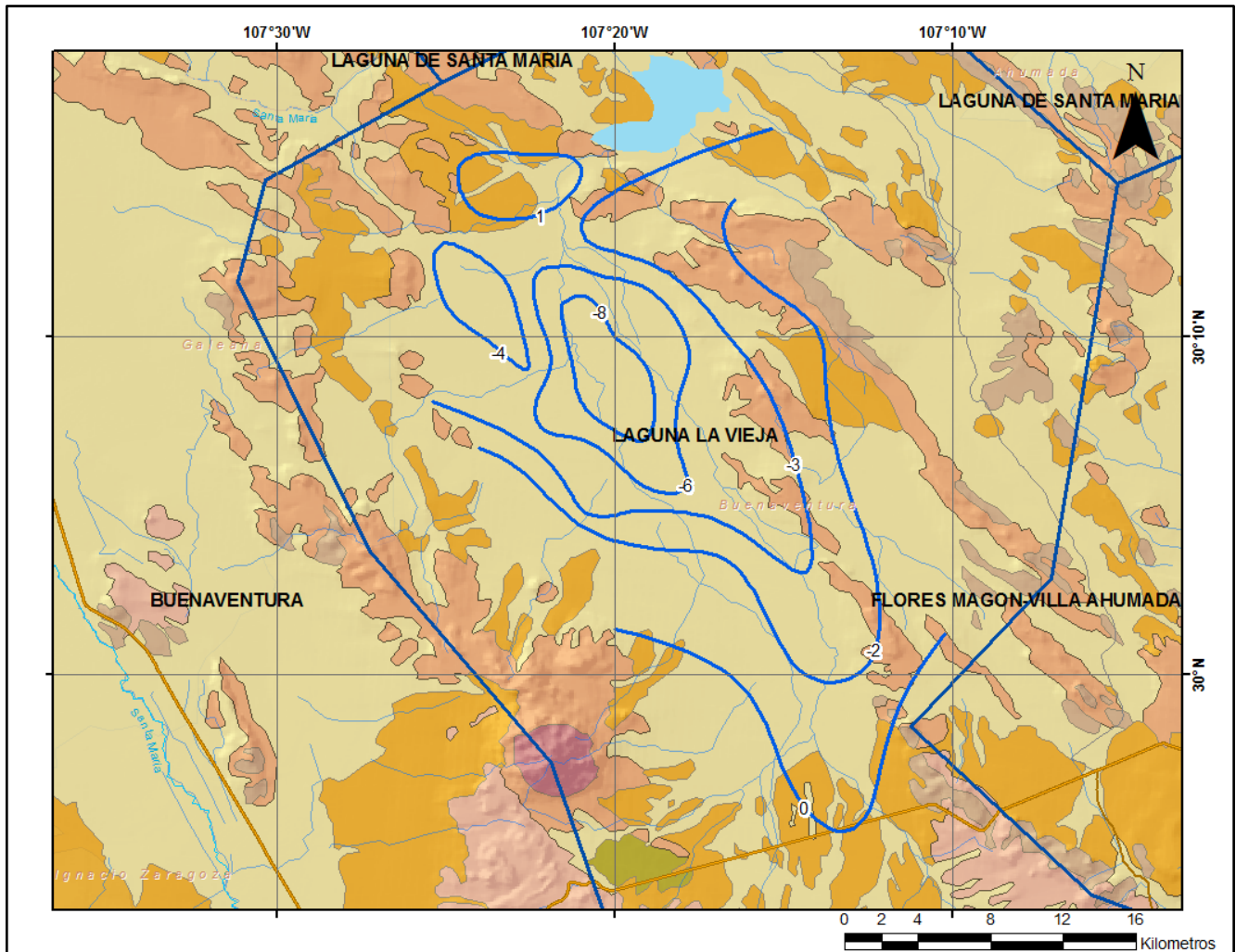


Figura 8. Evolución anual del nivel estático en m (2005 a 2009)

### 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

No existe información referente a la calidad del agua subterránea en la región que cubre el acuífero. Durante los trabajos de campo realizados en el 2009 se obtuvo información de la salinidad del agua subterránea. Con base en las concentraciones de Sólidos Disueltos Totales (STD), se establece que el agua es apta para uso potable ya que su concentración varía de 200 a 500 mg/l, inferior a los 1000 mg/l que establece la norma oficial mexicana.

Valores de 200 a 300 mg/l de STD se registran en los aprovechamientos ubicados en los extremos oriental y occidental del acuífero, que representan zonas de recarga importante, en tanto que las mayores concentraciones se ubican hacia la porción central, corroborando la trayectoria preferencial del flujo subterráneo de sur a norte, con alimentaciones procedentes de los extremos oriental y occidental.



## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en el 2009, existen en el acuífero un total de 353 aprovechamientos, de los cuales 351 son pozos y 2 manantiales. Del total de obras, 320 se encuentran activas, 8 están catalogadas como inactivas y las 25 restantes están abandonadas.

El volumen de extracción estimado asciende a **153.8 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 153.6 hm<sup>3</sup> (99.9%) se destinan para uso agrícola y los 0.2 hm<sup>3</sup> restantes (0.1 %) para satisfacer la necesidades del uso doméstico-abrevadero.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

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 por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de masa se expresa como:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de masa}$$

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 una unidad hidrogeológica:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2005-2009, en una superficie de 695 km<sup>2</sup>, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. De esta manera la ecuación de balance propuesta para éste acuífero es la siguiente:

$$R_v + E_h + R_r - B = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

**R<sub>v</sub>**= Recarga vertical;

**E<sub>h</sub>**= Entradas por flujo horizontal;

**R<sub>r</sub>**= Retorno de riego;

**B**= Bombeo;

**ΔV(S)**= Cambio en el volumen almacenado;

## 7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural ( $R_v$ ) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita directamente sobre el valle y a lo largo de los escurrimientos, y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo ( $E_h$ ).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida ( $R_i$ ). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes solo se consideran los retornos del riego agrícola ( $R_r$ ).

### 7.1.1. Recarga vertical ( $R_v$ )

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña. En la provincia fisiográfica de Sierras y Cuencas, la recarga de frente de montaña tiene dos componentes: el flujo subterráneo que proviene de las sierras que delimitan el valle, a través de fracturas y/o conductos de disolución, que se dirige hacia los sedimentos que rellenan la cuenca; y la infiltración en los cinturones de piedemonte. A su vez, en estos últimos la recarga se efectúa por medio de la infiltración que se produce a lo largo de los arroyos que drenan las sierras y también de manera difusa.

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ( $\Delta V$ ), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance (1).

De esta manera, despejando la recarga vertical ( $R_v$ ) se obtiene lo siguiente:

$$R_v = B \pm \Delta V(S) - E_h - R_r \quad (2)$$

### 7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal ( $E_h$ )

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2009 (figura 7), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T \cdot B \cdot i$$

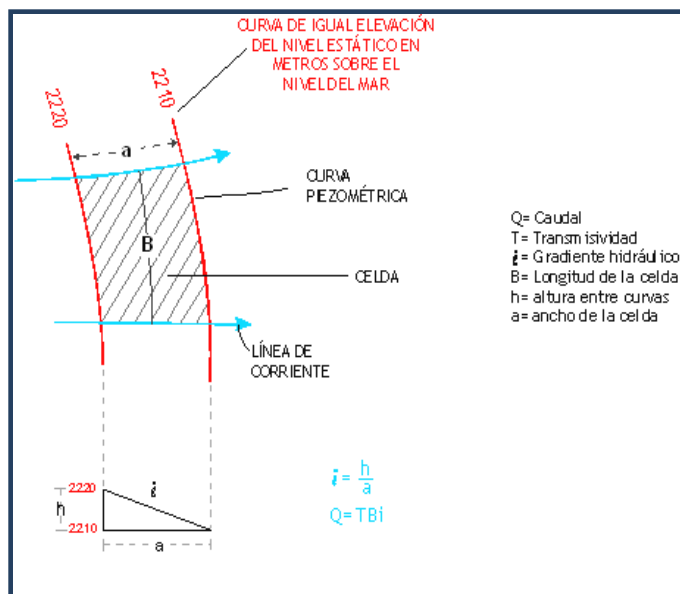
Donde:

**Q**= Gasto;

**T**= Transmisividad;

**B**= Longitud de la celda;

**i**= Gradiente hidráulico;



Debido a que las configuraciones del nivel estático para los años 2005 y 2009 muestran una red de flujo con la misma disposición de sus curvas equipotenciales, para el cálculo de las entradas subterráneas únicamente se considera la más reciente que corresponde al 2009.

Partiendo de esta configuración se seleccionó un canal de flujo para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero (figura 7). La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas (tabla 4).

Tabla 3. Cálculo de entradas subterráneas (2009)

Celda	Longitud B (m)	k (m/d)	Espesor saturado b (m)	Gradiente i (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Volumen V (hm <sup>3</sup> /año)
E1	8015	2	30	0.0138	0.0007	6636.4	2.4
E2	9589	2	30	0.0168	0.0007	9665.7	3.5
E3	24700	2	30	0.0111	0.0007	16450.2	6.0
E4	6969	2	30	0.0122	0.0007	5101.3	1.9
E5	5200	2	30	0.0105	0.0007	3276.0	1.2
E6	2956	2	30	0.0127	0.0007	2252.5	0.8
E7	2995	2	30	0.0140	0.0007	2515.8	0.9
E8	5241	2	30	0.0098	0.0007	3081.7	1.1
E9	7536	2	30	0.0106	0.0007	4792.9	1.7
E10	5661	2	30	0.0078	0.0007	2649.3	1.0
E11	7995	2	30	0.0155	0.0007	7435.4	2.7
E12	4120	2	30	0.0083	0.0007	2051.8	0.7
<b>Total Entradas</b>							<b>24.1</b>

El valor de transmisividad utilizado fue estimado con base resultados de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas como parte del estudio de 2009.

El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **24.1 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.1.3. Retornos de riego (Rr)

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Debido a la falta de información confiable de láminas de riego por cultivo, por correlación con acuíferos vecinos, se consideró un 20% del volumen aplicado al uso agrícola que retorna al acuífero en forma de recarga inducida, considerando la profundidad al nivel del agua subterránea mayor a los 40 m en la zona agrícola y la presencia de estratos de baja permeabilidad en el subsuelo. Por lo tanto el volumen por retornos de riego asciende a **Rr = 30.7 hm<sup>3</sup>/ año**.

## 7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B). No existen descargas por flujo base ni manantiales. En cuanto a las salidas por flujo subterráneo (Sh), no se presentan ya que la cuenca es endorreica, por lo que **Sh = 0**.

Para la evapotranspiración (ETR), debido a que los niveles más someros se localizan a 20 m, se considera que no se presenta evapotranspiración a partir de niveles freáticos someros, por lo que **ETR = 0**.

### 7.2.1. Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, la estimación de extracción para el año 2009 es de **153.8 hm<sup>3</sup> anuales**.

## 7.3. Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ )

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución anual del nivel estático 2005 - 2009 mostrada en la figura 8. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico  $S_y$  de 0.06, que se adopta por correlación hidrogeológica con acuíferos vecinos, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta VS = S * A * h$$

Donde:

$\Delta VS$ = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

$S$ = Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

$A$ = Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km<sup>2</sup>);

$h$ = Valor de la variación piezométrica en el período (m);

Como consecuencia de la explotación del recurso para el uso agrícola, la posición del nivel piezométrico ha descendido en algunas zonas y aumentado en otras, propiciando variaciones tanto positivas como negativas del almacenamiento, el detalle de cálculo se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento anual (2005 - 2009)

Curva de igual evolución (m)	Area de influencia (km <sup>2</sup> )	Volumen (hm <sup>3</sup> )	Sy	$\Delta V(Sy)$ (hm <sup>3</sup> /a)
1	35.4	35.4	0.06	2.1
2	129.6	0	0.06	0.0
-2	173.2	-346.5	0.06	-20.8
-3	176	-528	0.06	-31.7
-4	54.6	-218.5	0.06	-13.1
-6	50	-299.4	0.06	-18.0
-8	22.6	-181	0.06	-10.9
<b>Total</b>				<b>-92.3</b>

El cambio neto de almacenamiento es de  $\Delta V(S) = -92.3 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

### Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

$$Rv = B \pm \Delta V(S) - Eh - Rr \quad (2)$$

$$Rv = 153.8 - 92.3 - 24.1 - 30.7$$

$$Rv = 6.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por lo tanto el valor de la recarga total (Rt) es igual a la suma de todas las entradas:

$$Rt = Rv + Eh + Rr$$

$$Rt = 6.7 + 24.1 + 30.7$$

$$Rt = 61.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular 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 siguiente expresión:

$$\text{DAS} = \text{Rt} - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \quad (3)$$

Donde:

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

**Rt**= Recarga total media anual;

**DNCOM**= Descarga natural comprometida;

**VCAS**= Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA;

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

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso su valor es **61.5 hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales 30.8 corresponden a la recarga natural y los 30.7 hm<sup>3</sup> restantes a la recarga inducida.

### 8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos 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 el caso del acuífero Laguna La Vieja no se consideran descargas naturales comprometidas. Por lo tanto **DNCOM = 0**.

### 8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

El volumen concesionado de agua subterránea, se determina sumando los volúmenes anuales de agua, asignados y concesionados por la Comisión Nacional del Agua mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) para la explotación, uso o aprovechamiento de agua en una unidad hidrogeológica, adicionando, de ser el caso, los volúmenes correspondientes a reservas y reglamentos conforme a la Programación Hidráulica.

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2010 es de 24'789,708**.

Sin embargo existe un volumen de 85'975,000 m<sup>3</sup> anuales concedidos mediante constancias, ya que en casi la totalidad de la superficie que cubre el acuífero no rige ningún decreto de veda. Por lo tanto el valor total asciende a **110'764,708 m<sup>3</sup> anuales**.

#### **8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)**

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, de acuerdo con la expresión 3, 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 REPGA.

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM - VCAS \quad (3)}$$

$$DAS = 61.5 - 0.0 - 110.764708$$

$$\mathbf{DAS = - 49.264708 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

El resultado actual indica que no existe volumen disponible para otorgar nuevas concesiones. Por el contrario, **el déficit es de 49'264,708 m<sup>3</sup> anuales** que están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero. Además, es necesario considerar que el volumen de extracción real es mayor que el volumen concesionado, aún considerando el volumen que se extrae en zona no vedada.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal de Chihuahua, 1997. Estudio Geohidrológico Preliminar de la zona de Pestañas, municipio de Buenaventura, Chih. 1997.

Comisión Nacional del Agua, 2005. Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos Laguna La Vieja, Laguna de Santa María, Laguna de Tarabillas, Los Juncos y Flores Magón-Villa Ahumada, del estado de Chihuahua. Realizado por la empresa Consultores y Constructores del Norte, S.A de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2009. Actualización Geohidrológica de los Acuíferos Las Palmas, Palomas-Guadalupe-Victoria, Los Moscos, Josefa Ortiz de Domínguez, El Sauz-Encinillas, Laguna El Diablo, Laguna La Vieja, y Chihuahua-Sacramento, en el estado de Chihuahua. Realizado por la Universidad Autónoma de Chihuahua.