

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Flores Magón-Villa  
Ahumada (0821), 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.**

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

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

#### ESTADO DE CHIHUAHUA

0821	FLORES MAGÓN-VILLA AHUMADA	137.5	0.0	247.884547	208.1	0.000000	-110.384547
------	----------------------------	-------	-----	------------	-------	----------	-------------

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 FLORES MAGÓN – VILLA AHUMADA  
(0821), ESTADO DE CHIHUAHUA***

***México, D.F., noviembre de 2011***

## 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 .....	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía .....	9
4.2 Geología estructural .....	14
4.3 Geología del subsuelo .....	15
5. HIDROGEOLOGÍA .....	16
5.1 Tipo de acuífero.....	16
5.2 Parámetros hidráulicos .....	16
5.3 Piezometría .....	17
5.4 Comportamiento hidráulico .....	17
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	17
5.4.2 Elevación del nivel estático .....	17
5.4.3 Evolución del nivel estático .....	20
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	21
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS .....	21
7.1. Entradas .....	21
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	22
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	22
7.1.3 Recarga inducida (Ri).....	24
7.2. Salidas.....	24
7.2.1. Bombeo (B).....	24
7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	24
7.3. Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ).....	25
8. DISPONIBILIDAD .....	26
8.1. Recarga total media anual (Rt) .....	26
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	26
8.3. Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS) .....	27
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS) .....	27
9. BIBLIOGRAFIA.....	28

## **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 Flores Magón – Villa Ahumada, definido con la clave 0821 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción norcentral del estado de Chihuahua, entre los paralelos 29° 25' y 30° 45' de latitud Norte y entre los meridianos 106° 18' y 107° 12' de longitud Oeste, cubriendo una superficie de 6742 km<sup>2</sup>.

Limita al este norte con el acuífero Laguna de Patos, al este con Laguna de Tarabillas, al sur con El Sauz-encinillas y con Santa Clara y al oeste con los acuíferos Laguna La Vieja y Laguna de Santa María. (Figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente abarca parcialmente los municipios Buenaventura y Villa Ahumada y una pequeña parte de Namiquipa y Chihuahua. 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

**ACUÍFERO 0821 FLORES MAGÓN-VILLA AHUMADA**

VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	106	27	41.8	30	37	57.2
2	106	18	15	30	31	58.9
3	106	20	34.9	30	14	21.4
4	106	23	27.1	30	6	45.9
5	106	26	7.3	30	2	12.1
6	106	33	28.3	30	2	20.2
7	106	30	31.4	29	58	32
8	106	32	7	29	49	55.4
9	106	32	4.4	29	45	22.8
10	106	30	16.4	29	42	52.4
11	106	31	20.6	29	39	41.5
12	106	31	46.7	29	34	8
13	106	36	22.3	29	28	57.6
14	106	36	42.8	29	25	10.4
15	106	43	26.8	29	29	40.5
16	106	48	22.1	29	34	21.2
17	106	57	57.5	29	42	28.8
18	107	0	13.1	29	50	36.6
19	107	2	53.5	29	52	22.5
20	107	5	52.2	29	53	28.3
21	107	11	15.6	29	58	27.2
22	107	7	4.8	30	2	51.5
23	107	5	7.8	30	14	31.9
24	106	58	14.6	30	17	30
25	106	56	10.5	30	25	36.8
26	106	49	17.7	30	23	46.7
27	106	50	39.7	30	36	24.9
28	106	41	28.6	30	41	2.4
29	106	34	4.2	30	44	56.3
1	106	27	41.8	30	37	57.2

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Flores Magón – Villa Ahumada pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Chihuahua. La mayor parte del territorio del acuífero se encuentra sujeta a la disposiciones del “Acuerdo que establece el Distrito de Riego de El Carmen, en San Buenaventura y Villa Ahumada, Chih., y declara de utilidad pública la construcción de las obras

que lo formen y la adquisición de los terrenos para alojarlas y operarlas”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de enero de 1957. Esta veda se clasifica como tipo III en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua de 2011, el municipio de Chihuahua se clasifica como zona de disponibilidad 3, el municipio de Ahumada como zona 4, Buenaventura como 5 y el municipios de Namiquipa como zona de disponibilidad 6.

El uso principal del agua subterránea es el agrícola. En el territorio que cubre el acuífero se localiza el Distrito de Riego 089 El Carmen, ubicado en la parte central de la cuenca, aguas abajo de la presa Las Lajas. A la fecha no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

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

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA ZONA FLORES MAGÓN - VILLA AHUMADA. Elaborado por la empresa Ariel Consultores S. A. para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 1985.** Como objetivos del estudio, se tenía el conocer el funcionamiento geohidrológico de la cuenca del río El Carmen; definir el grado actual de explotación del acuífero; ampliar el conocimiento que se tenía sobre la geometría del acuífero; establecer en forma confiable el balance geohidrológico del acuífero; definir el esquema general del funcionamiento del acuífero y las áreas favorables donde se pueda incrementar la extracción del recurso hidráulico subterráneo. Comprendió actividades como censo de aprovechamientos, realización e interpretación de sondeos eléctricos verticales y pruebas de bombeo, piezometría y balance de agua subterránea.

**REACTIVACIÓN DE LA RED DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO DEL ACUÍFERO FLORES MAGÓN - VILLA AHUMADA, 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.** El objetivo de este estudio era establecer una red de monitoreo simplificada y confiable para la obtención de información hidrogeológica-piezométrica del acuífero en estudio, mediante la ubicación, inspección y selección en campo de pozos de monitoreo; conocer la evolución y condición actual de los niveles de agua subterránea y establecer un marco de referencia actualizado para identificar los cambios que generen los desarrollos futuros sobre las fuentes de agua subterránea. La red de monitoreo quedo integrada por 75 puntos, 57 son pozos piloto y 18 piezómetros y se realizaron los planos correspondientes a profundidades y elevaciones de los niveles estáticos.

**ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS: LAGUNA DE PALOMAS, LLANO DE GIGANTES, LAS PAMPAS, RANCHO EL ASTILLERO, LAGUNA DE**



**JACO, RANCHO LA GLORIA, RANCHO DENTON, LAGUNA LOS ALAZANES, LAGUNA DEL REY, VALLE DEL PESO, FLORES MAGON–VILLA AHUMADA, EL SABINAL Y LOS JUNCOS, ESTADO DE CHIHUAHUA. Elaborado por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) para la Comisión Nacional del Agua en 2010.** El objetivo general de este estudio fue determinar las condiciones geohidrológicas de los acuíferos 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, pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos; en algunos acuíferos fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

De acuerdo con la clasificación fisiográfica del INEGI (1997), la superficie cubierta por el acuífero se encuentra en su mayor parte en la provincia de Sierras y Llanuras del Norte y otra parte menor en la provincia Sierra Madre Occidental y en las subprovincias en orden descendente de Llanuras y Médanos de Norte, Bolsón de Mapimí y Sierras y Llanuras Tarahumaras. La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida, se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila, se orienta más o menos noroeste-sureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua y Coahuila.

El origen de la provincia está relacionado con el plegamiento de las secuencias marinas del Mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento Paleozoico y Precámbrico, así como por el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos; esto dio lugar a la formación de cuencas endorreicas. Dominan rocas volcánicas ácidas en el oeste, calizas en el este y norte, en la región la morfología es de bolsones, esto es, cuencas con drenaje interno donde también se alternan sierras y valles.

#### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Los climas más representativos dentro del polígono del acuífero son “Muy Seco”, “Seco”, “Semiseco” y “Templado” en ese orden de mayor a menor presencia. Dentro del subclima “Muy seco” se encuentra

el subclima “Muy secos templados” con una precipitación invernal de entre 5% y 10% del total, el subclima dentro de los “Secos” esta el subclima “Secos templados” con una precipitación invernal de entre 5% y 10% del total, el subclima presente de los “Semisecos” está el subclima “Semisecos templados” y dentro del clima “Templado” se encuentran los subclimas “Semifríos subhúmedos” con lluvias en verano y “Templados subhúmedos” con lluvias en verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se utilizó la información de las estaciones climatológicas Samalayuca y Las Lajas que tienen influencia en el área del acuífero, cuentan con un periodo de análisis de 1957 a 2005 y a 2008 respectivamente. Con estos datos, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **331 mm y 17 °C** respectivamente. Con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2459.5 mm anuales**, según datos de evaporímetro de la estación climatológica Bismark que se ubica a una distancia un poco superior a los 100 kms con rumbo noroeste y cuenta con periodo de análisis de 1997 a 2008.

### **3.3 Hidrografía**

El área cubierta por el acuífero se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica RH 34 “Cuencas Cerradas del Norte” la cual está localizada en el estado de Chihuahua y en una pequeña porción del noreste de Sonora. 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.

El acuífero pertenece a la cuenca del Río Del Carmen que se encuentra ubicada totalmente en la porción centro-norte del territorio chihuahuense, abarca 7.2% de su área.

Como obra hidráulica está la presa Las Lajas, situada en el río Santa Clara, con capacidad total de 91 hm<sup>3</sup>, aproximadamente. En la parte central de la cuenca, aguas abajo de la presa Las Lajas, se localiza el Distrito de Riego 089, denominado El Carmen, misma que se ubica en el límite suroccidental del acuífero.

### **3.4 Geomorfología**

En el área del acuífero se presenta un relieve originado inicialmente por procesos endógenos, con dominancia de los tectónicos, pero que se encuentran modelado por procesos exógenos destructivo-acumulativos fluviales, eólicos y lacustres. El relieve corresponde a montañas plegadas de orientación al noroeste, localmente distorsionadas por emplazamientos de pequeños cuerpos intrusivos.

Sobrepuesto a este relieve se expone un relieve de montañas y mesas piroclásticas y lávico piroclásticas sumamente disectadas. El conjunto de ambos relieves se presenta en bloques afallados

en dos direcciones regionales, al noroeste y al noreste, provocando frecuentes escarpes. El intenso modelado del relieve es evidentemente notable con la actividad erosivo acumulativa como responsable de la conformación actual del paisaje, a través de la notable disección observada en las montañas y elevaciones, de los persistentes y amplios abanicos aluviales localizados en los pie de monte de la mayoría de ellos, así como por las extensas planicies aluviales, en parte de las cuales se desarrollan depósitos lacustres y eólicos.

De acuerdo al ciclo geomorfológico de Davis, el área se encuentra en una etapa de madurez avanzada.

#### **4. GEOLOGÍA**

Las rocas presentes en el área del acuífero, representan un lapso comprendido entre el Cretácico Inferior y el Reciente. (Figura 2). El Cretácico Inferior está representado, solo su parte superior, por rocas marinas inicialmente detrítico carbonatadas y posteriormente por secuencias calcáreas con interrupciones calcáreo arcillosas; lo cual sugiere una avanzada transgresión marina con pequeñas fluctuaciones, la que regionalmente cubre la paleo isla de Aldama y hasta los terrenos internos de Sonora y Sinaloa (Rangin y Córdoba, 1976). El Cretácico Superior tiene su registro en rocas clásticas gruesas y detríticas carbonatadas que representan la regresión definitiva de las aguas marinas en esta región.

El Paleógeno-Neógeno está representado parcialmente por pequeños cuerpos intrusivos silíceos, emplazados aparentemente solo en rocas cretácicas. La mayor parte de las rocas con registro en este periodo dan testimonio de una intensa actividad volcánica sucedida en una secuencia de emisiones piroclásticas silíceas, seguidas por derrames basálticos e intermedios alcalinos y finalmente por emisiones de tobas, brechas y domos riolíticos.

Esta actividad está datada por métodos de K-Ar efectuados a rocas de la sierra del Gallego, de 45 a 36 ma (Keller et. Al., 1982) es decir, Eoceno-Oligoceno. El Lapso mencionado corresponde al hiatus consignado en la sierra Madre Occidental entre las secuencias volcánicas calco alcalinas, inferior, de composición intermedia y superior silícea (McDowell y Clabaught, 1979) así como que, las rocas volcánicas están dentro de la provincia de transición, propuesta por los autores citados, entre la calco alcalina de la sierra Madre Occidental y la alcalina de trans-Pecos Texas.

Se cuenta para el Paleógeno-Neógeno con la presencia de depósitos clásticos continentales de abanicos aluviales, posteriores a la actividad volcánica, los cuales se continúan formando o reconstruyendo hasta el presente. En el Cuaternario se tienen restringidos derrames basálticos; el desarrollo de extensos depósitos aluviales; depósitos lacustres producidos por el sistema de cuencas endorreicas y depósitos eólicos debidos a la erosión eólica sobre esta árida región.

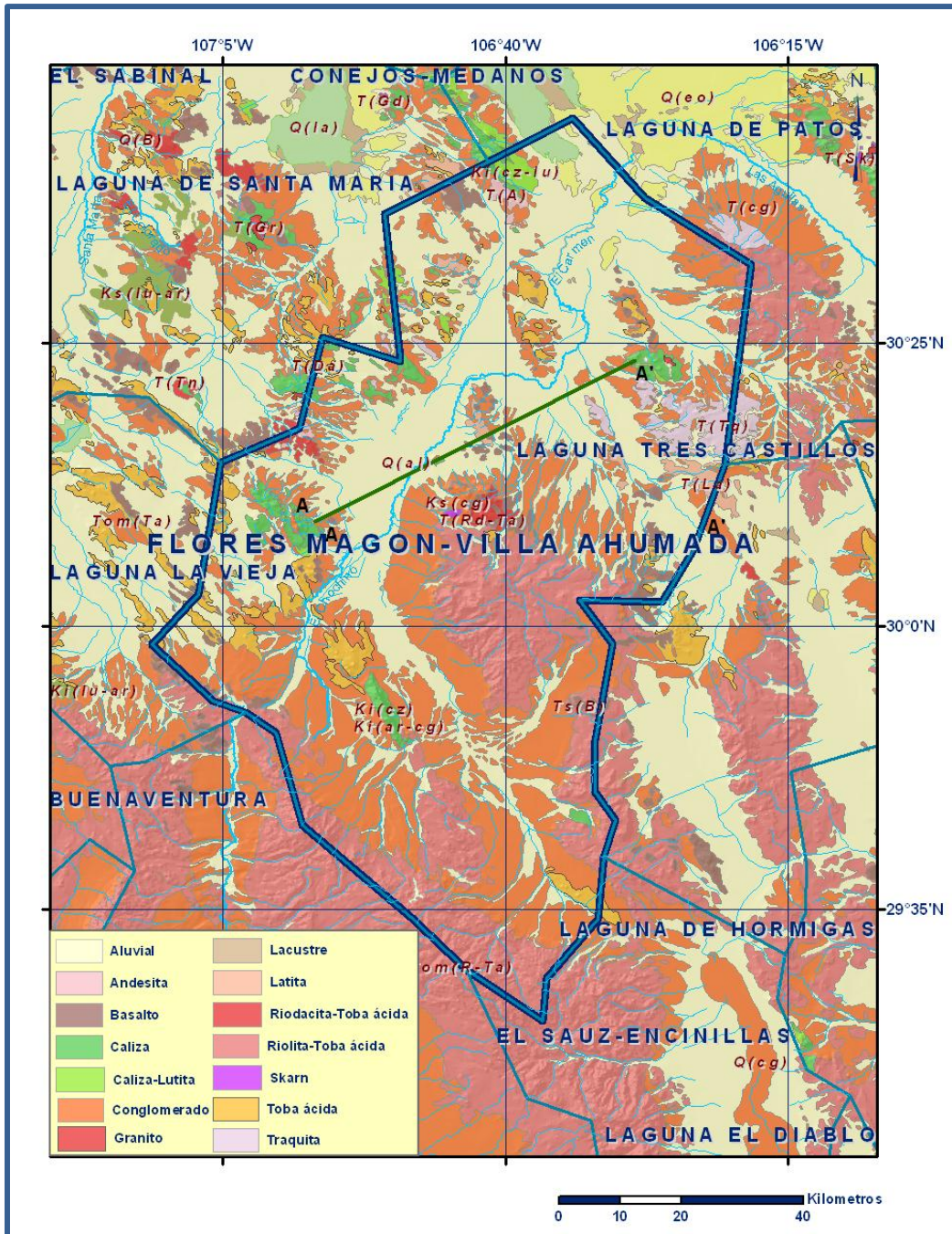


Figura 2. Geología general del acuífero

#### 4.1 Estratigrafía

##### Cretácico Inferior

**Lutita-Arenisca Ki (lu-ar).** Secuencia de lutitas calcáreas, areniscas y delgadas capas de caliza arcillosa, hacia su parte inferior presenta yeso que se explota comercialmente. Esta litología sugiere un depósito en aguas marinas someras inicialmente de salmueras. Los yesos se encuentran

recristalizados por efecto de un cuerpo intrusivo que también es causante de mineralización hidrotermal, con sulfuros de cobre y hierro en esta unidad.

Esta secuencia está infrayaciendo a la unidad de calizas del Cretácico Inferior y se presenta en gran medida cubierta discordantemente por conglomerados del paleógeno-Neógeno, los cuales cubren por completo a los yesos. Por sus características litológicas y posición estratigráfica, esta unidad es equivalente a la formación Cuchillo (Burrows, 1910), que pertenece al Aptiano. Morfológicamente constituye parte de una ladera de sierra con perfil semicóncavo.

**Caliza Ki (Cz).** Dentro de esta unidad se cartografiaron dos paquetes calcáreos separados por la unidad Ki (Cz-Lu). El paquete inferior que sobreyace a la unidad de lutitas y areniscas del Cretácico Inferior, consta de calizas de estratificación media a gruesa que alternan con algunas capas de caliza arcillosa, como se observa en las partes bajas de las sierras ubicadas al oeste de Benito Juárez y al noroeste de Villa Ahumada; la caliza es de textura micrítica y biomicrítica con escasos miliolidos, orbitolina sp y fragmentos de espículas de equinodermos, en ocasiones se presentan bancos de pelecípodos y escasos nódulos de pedernal café, indicando con ello un ambiente marino de plataforma de aguas relativamente someras de facies lagunar y postarrecifal. Por sus características este paquete puede considerarse equivalente a la formación Benigno (Haengi, 1966) situada dentro del Albiano Inferior.

El paquete superior situado infrayacente a las lutitas y areniscas del Cretácico Superior y sobreyacente a la unidad Ki (Cz-Lu) presenta comúnmente en su base calizas masivas formadoras de riscos Como en las partes altas de las mencionadas sierras, y estratos gruesos y medianos de caliza alternante con caliza arcillosa como se presenta en la sierra de Ranchería al noroeste de la zona; las calizas masivas, de textura biointramicrítica son biohermas de gasterópodos no identificados, rudistas y otros pelecípodos de los géneros toucasia, caprinuloidea, exogyra, ostrea y griphaea; en otros sitios las calizas son biomicríticas y bioespatíticas. Las características de este paquete indican un ambiente marino de arrecifal a borde de plataforma que puede correlacionarse con las formaciones Finlay (Brunson, 1954) y Benavides (Ambsburg, 1957), ubicadas dentro del Albiano Medio.

**Caliza Lutita Ki (Cz-Lu).** Unidad que consiste de una alternancia de lutitas calcáreas, margas y calizas en estratos delgados y escasamente gruesos como se pueden observar en la sierra La Mojina al sur; las margas y calizas de estratos delgados son de texturas micríticas y biomicríticas, lo cual indica un ambiente marino de borde de plataforma con predominante aporte de terrígenos y restringidos desarrollos arrecifales.

Por lo general estas capas se encuentran separando la unidad de calizas del Cretácico Inferior en dos paquetes, mostrando afloramientos angostos, dado su delgado espesor, el cual se ve incrementado

en algunos sitios aparentemente por varios pliegues extendidos. La unidad equivale a la formación Lagrima (Córdoba, 1968), situada en la parte central del Albiano Medio. Su expresión morfológica es en laderas cóncavas de puertos de erosión suave y en lomeríos bajos de poca pendiente en los que destacan pequeños crestones de las capas calcáreas más gruesas.

### **Cretácico Superior**

**Lutita Arenisca Ks (Lu-Ar).** Unidad que incluye calcarenitas gris rosado, limolitas y lutitas laminares calcáreas, areniscas rojizas calcáreas y escasas margas y calizas blanquecinas, los estratos son delgados y medianos con las litologías mencionadas. Esta unidad sobreyace a las calizas del Cretácico Inferior y se presenta parcial y discordantemente cubierta por tobas ácidas y basaltos del Paleógeno-Neógeno, y por conglomerados Cuaternarios y del Paleógeno-Neógeno. Litoestratigráficamente es correlacionable con el grupo Ojinaga, asignada del Albiano Superior al Cenomaniano, o bien con las formaciones Del Río y Buda de posiciones estratigráficas similares. Morfológicamente la unidad se expresa en lomas y cerros redondeados de poca altura y pendientes suaves.

**Conglomerado Ks (cg).** Ortoconglomerado petromíctico de clastos de caliza sostenidos entre sí, muy bien consolidado y compactado con cementante calcáreo; los fragmentos están redondeados y subredondeados, por lo general bien clasificados uni y bimodales con diámetros promedio de 4 a 10 cm y/o de 40 a 30 cm; la caliza que constituye los clastos es de textura mudstone y packstone que incluye fragmentos de pelecípodos y nódulos de pedernal café y proviene de las unidades de caliza y lutita del Cretácico Inferior; este conglomerado presenta estratificación gruesa bien definida que se observa claramente plegada. Localmente contiene mineralización hidrotermal de fluorita en pequeños cristales cúbicos, asociada al afloramiento de un pequeño dique no cartografiado de composición diorítica.

Se le considera del Cretácico Superior, dada sus mencionadas características que sugieren un depósito en un ambiente litoral y la evidente existencia de un período compresivo causante del plegamiento; infrayace discordantemente a rocas volcánicas y conglomerados del Paleógeno-Neógeno. Morfológicamente constituye una elevación topográfica prominente de pendientes fuertes.

### **Paleógeno-Neógeno**

**Conglomerado Ts(cg).** Conglomerado polimíctico bien compactado y moderadamente cementado con carbonato de calcio y o sílice; sus clastos son subangulosos, se encuentran en ocasiones sostenidos entre sí y en ocasiones incluidos en una matriz arenosa; su granulometría es variable de 6 a 30 cm de diámetro en promedio. Son producto de la consolidación de depósitos de grava proluviales formados a partir de la erosión sobre los cerros y montañas de rocas sedimentarias cretácicas y pirovolcánicas paleógeno-neógenas a las que cubre discordantemente, por lo que sus clastos están constituidos de uno o de los dos tipos de roca; presentan una morfología bien definida

de lomas suaves regularmente disectadas, dispuestas a manera de abanicos aluviales intercrecidos alrededor, o bien ya alejados, de las elevaciones señaladas; en varias ocasiones se encuentran ya erosionadas de tal manera que a su vez dan lugar a la formación de abanicos aluviales recientes los que los cubren discordantemente.

### **Cuaternario**

**Conglomerado Q (cg).** Depósitos proluviales y coluviales de grava arenosos polimícticos, deficientemente compactados y cementados; su granulometría es variable pero generalmente predominan tamaños de grava finos menores a 15 cm, los cuales son angulosos y consisten de rocas carbonatadas e ígneas extrusivas. Se encuentran cubriendo discordantemente a rocas cretácicas y paleógeno-neógenas, constituyendo en ocasiones claros conos de deyección; pero por lo general presentan una morfología poco definida consistente de laderas o lomas muy bajas sin o con muy poca disección.

**Eólico Q (eo).** Depósitos de arena y de partículas floculadas (del tamaño de arena) de limo y arcilla; su origen es eólico y constituyen dunas longitudinales en el sentido noreste-suroeste a casi este-oeste que muestran alturas de 1 a 3 m aproximadamente. Las dunas tienden a ser inestables hacia el norte y en los depósitos más alejados hacia el sur se observan dunas ya establecidas gracias a la introducción natural de vegetación. Estos depósitos se localizan en las áreas de pendientes menores, al oriente y sur de los suelos lacustres; hacia sus contactos con el aluvión se observa interacción de procesos eólicos y aluviales predominando en algunos sitios uno u otro.

**Aluvial Q (al).** Suelos arcillosos, limosos y arenosos de origen aluvio - deluvial que conforman la mayor parte de las áreas planas o de poca pendiente. Constituyen los típicos suelos claros con poco contenido de materia orgánica de los desiertos, en los pequeños valles y hondonadas, donde hay más humedad, son más arcillosos y oscuros, y sostienen vegetación más densa; en los sitios sometidos a riego resultan muy fértiles e igualmente se desarrollan más arcillosos.

**Lacustre, Q (la).** Depósitos de facies continentales lacustres que forman una secuencia alternante de arenas de grano fino, limo y principalmente arcilla la cual da origen a los llamados barreales. Estos depósitos afloran en las depresiones que dan origen a zonas de inundación.

### **Rocas Ígneas Intrusivas**

**Granito T (Gr).** Esta unidad consiste de granito de muscovita, de textura holocristalina equigranular. Es de color gris claro con tonos de verde en superficie fresca, mientras que en superficie intemperizada, presenta tono marrón. La unidad se presenta poco fracturada. Se presenta como un gran promontorio de peñascos redondeados que contrasta con las ricas circundantes.

## **Rocas Ígneas Extrusivas**

**Andesita T (A).** Son derrames andesíticos de color gris y gris rosáceo de frecuente textura vesicular. Su textura es porfídica en la que se observan cristales de plagioclasa y piroxeno, identificados por estudios petrográficos como andesita y augita, en una matriz vítrea de composición relativamente más silíceo; se reporta además la presencia de apatito, hematita, calcita y sílice secundarios. Esta unidad asignada al Paleógeno-Neógeno, se encuentra cubierta por tobas ácidas y derrames riolíticos y se presenta afectada por un fracturamiento intenso a moderado. Su expresión morfológica es de aparatos volcánicos que constituyen cerros de pendientes abruptas.

**Toba Ácida T (Ta).** Más abundantes al sur del área, esta unidad comprende tobas de composición riolítica a riolítica, líticas, cristalinas e ignimbritas; muestran colores grises y gris rosado con frecuencia bandeados. Son faneríticas y afaníticas con textura piroclástica holo y mero cristalina; contienen cuarzo, feldespatos potásico, plagioclasa sódica, fragmentos líticos, a veces en una matriz microcristalina con vidrio y, como accesorios magnetita y hematita.

**Latita T (La).** Latita afanítica de color gris pardo a rojo, ocasionalmente porfídica o con estructura vesicular. Su textura es holocristalina traquítica, contiene plagioclasa sódica en mayor proporción que feldespatos potásico, augita, pigeonita, hematita, apatito, circón, hiperstena y antigonita, magnetita y calcita secundaria. Sus posiciones relativas parecen indicar que cubren parcialmente a tobas ácidas y localmente también a basaltos; se le sobreponen claramente conglomerados paleógeno-neógenos y cuaternarios. Morfológicamente conforma pequeñas elevaciones orientadas al noroeste.

**Traquita (Tq).** Unidad que abarca traquitas afaníticas. Presenta color café, rosa y rojo y textura por lo regular holocristalina traquítica, con feldespatos potásico, plagioclasa sódica, augita, egiarina, hematita, apatito, actinolita y magnetita. En ocasiones muestra textura vesicular y amigdaloidal con desarrollo de geodas localmente. La traquita parece estar cubriendo tobas ácidas y a basaltos; el pórfido traquítico se encuentra emplazado en basaltos. Se sobreponen característicamente a esta unidad riolitas y tobas ácidas. Su expresión morfológica consiste en una importante sierra de mediana elevación y en pequeños cerros y lomas alineadas en el sentido noroeste-sureste.

**Riolita-Toba Ácida T (R-Ta).** Es la unidad más extendida hacia el sur de la zona, formando en gran parte las sierras de Los Arados, El Pastor y El Pajarito. Esta unidad contiene intercalaciones de tobas cristalinas e ignimbritas de composición riolítica y derrames de riolita porfídica, a veces esfeulítica. Estas rocas son de color café rosado, rosa y rojo con frecuentes bandas blancas o rojas. Las tobas son de textura piroclástica holo a merocristalina, en ocasiones perítica; contienen cuarzo, feldespatos potásico (sanidino) y plagioclasa sódica en una matriz cripto o microcristalina con la presencia de biotita, circón, apatito, hematita, magnetita y a veces pirita o sericita y calcita secundaria. La unidad está asociada con arcillas de reciente depósito. Se le observan muy esporádicamente pseudoestratos



horizontales. Está coronada, al occidente, por unidades e tobas y brechas volcánicas ácidas; cubre a basaltos, traquitas y tobas intermedias y está parcialmente cubierta por conglomerados terciarios.

En los sitios donde dominan las tobas e ignimbritas, la unidad, que constituye los edificios de sierras elevadas, se modela en escarpes verticales y cuando aumenta el contenido de derrames se expresa en formas topográficas más suaves y sub-redondeadas.

**Basalto T (B).** Con afloramientos no muy grandes en toda la zona, principalmente al norte y este de la sierra de Los Arados, son basaltos de olivino y piroxenos a andesíticos de color gris pardo a negro con tonos rojos de estructura vesicular, con desarrollo de geodas. Su textura es afanítica y porfídica con menos frecuencia, contiene labradorita, augita, pigeonita, olivino, hiperstene, hematita, apatito, en ocasiones plagioclasa sódica, sericita y muy escasos fragmentos líticos.

Estos basaltos se encuentran moderadamente fracturados y se presentan en pequeños afloramientos ampliamente distribuidos sobre unidades de tobas ácidas, riódacitas-tobas ácidas y rocas cretácicas y cubiertas en parte por conglomerados terciarios y cuaternarios, rocas de la unidad riolitas-tobas ácidas y localmente por traquitas y latitas. Morfológicamente se presentan en pequeños cerros y lomas de poca elevación y pendientes moderadas a bajas, orientados en el sentido noroeste-sureste.

### **Rocas Metamórficas**

**Skarn T (Skarn).** Rocas calcáreas afectadas por metamorfismo de contacto compuestas por silicatos de calcio, con textura granoblástica, con granate, epidota, actinolita, wollastonita y sílice, cuyo conjunto ofrece un color gris pardo con vivos verdes. Esta unidad aflora al oeste del cerro La Vinata y se le asigna una edad Paleógeno-Neógeno, dada la evidente relación de los cuerpos intrusivos paleógeno-neógenos con el metamorfismo y se encuentran restringidamente cubiertas por conglomerados paleógeno-neógenos. Su expresión morfológica es la correspondiente a la roca madre, calizas y conglomerados cretácicos.

## **4.2 Geología estructural**

Dentro de los límites del área del acuífero se observan plegamientos que involucran a las rocas sedimentarias cretácicas, los cuales son simétricos y asimétricos recostados hacia el noreste, en la porción oriental se observan moderadamente apretados, y ligeramente recostados hacia el suroeste, en la parte centro-occidental del área; estos pliegues se ven afectados por fracturamiento y fallamiento normal de igual orientación, por algunas fallas transcurrentes de dirección este-oeste y por el emplazamiento de pequeños cuerpos intrusivos.

El fallamiento normal se presenta más extensamente en la carpeta volcánica, donde se presenta además en otras direcciones oblicuas de sentido noreste-suroeste. Las rocas volcánicas conforman

elevaciones alargadas también de orientación al noroeste y en ellas se observa con frecuencia pseudoestratificación ligeramente buzante hacia el suroeste y más escasamente hacia el noreste.

Las estructuras descritas pueden interpretarse como producto de dos fases tectónicas consecutivas, la primera compresiva y la última distensiva. La fase compresiva ocurrida durante el intervalo de la parte alta del Cretácico Inferior al Paleógeno, está relacionada con el choque y hundimiento de la placa Paleopacífica Farallón bajo la placa continental norteamericana. Esta fase es responsable del plegamiento de las rocas cretácicas en el que sus recumbencias en sentidos opuestos han sido interpretadas como un arqueamiento de la banda central a nivel del basamento, lo que originó el desplazamiento hacia ambas direcciones noreste y suroeste (Gries y Haenggi, 1970). La fase culmina con la actividad volcánica Paleógeno-Neógena, la que por su tiempo de emisión y características químicas mencionados anteriormente, indican probablemente cambios importantes en la inclinación del plano de “Benioff” con respecto a la superficie y relacionado a una diferente velocidad de colisión entre las placas mencionadas. Una vez terminada esta primera fase con el cese de la colisión; hace 29 Ma según Atwater (1970) o hace 26 según interpretaciones de Mc Dowell y Clabaugh (1979), a partir de datos de Handsshumacher (1976); se inicia una fase distensiva responsable del fallamiento normal y de las últimas emisiones basálticas.

### **4.3 Geología del subsuelo**

La delimitación de este acuífero comprende a dos valles separados por un sistema de sierras y cerros, hidrológicamente estos dos valles drenan hacia el norte donde se pierden los arroyos en zonas lacustres. En la sección transversal este-oeste, se puede observar la distribución de la litología en el subsuelo así como sus espesores y profundidades de contactos estimados.

La mayor parte del área corresponde a depósitos granulares recientes, principalmente aluvión, algo de conglomerado hacia los piedemontes y lacustres en las zonas bajas de inundación. Según la distribución de los afloramientos en superficie, se estima que los espesores de aluvión llegan a ser hasta de unos 200 m hacia las partes centrales de los valles y sobreyacen principalmente a derrames volcánicos como basalto, latitas y tobas, que en conjunto también pudieran alcanzar espesores de casi 200 m. Estos derrames volcánicos a su vez sobreyacen a rocas sedimentarias carbonatadas del Cretácico y en algunas zonas, también a un conglomerado de la misma edad.

Por la distribución de los derrames volcánicos se puede mencionar que el subsuelo está compuesto de un apreciable espesor de relleno granular que correspondería principalmente al aluvión y algo de conglomerado del Cuaternario y Paleógeno-Neógeno en los valles, sobreyaciendo a un medio fracturado, en este caso roca de origen volcánico, principalmente basalto, latita y riolita. (Figura 3).

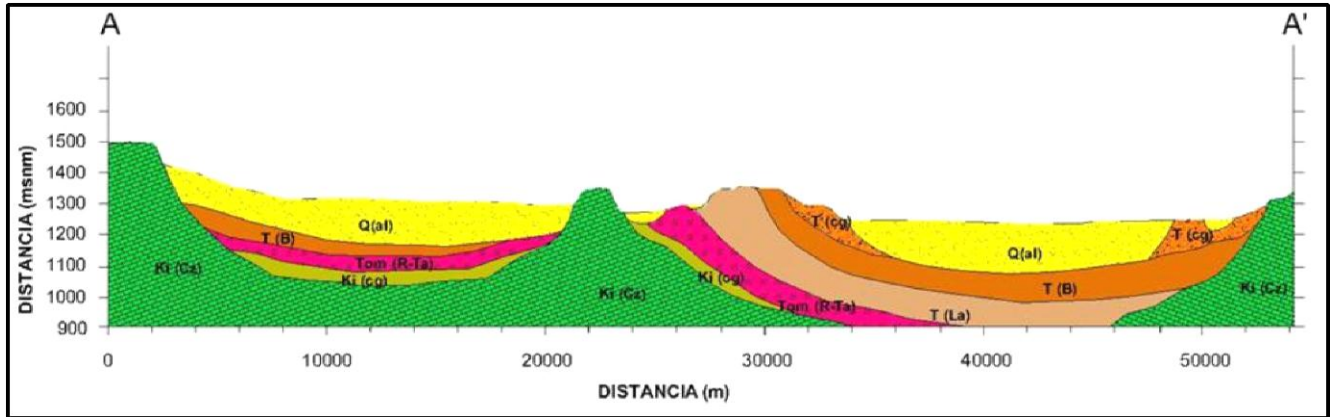


Figura 3. Sección geológica

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 Tipo de acuífero

El acuífero en la región, se desarrolla en un depósito sedimentario aluvial y conglomerático, de mediana permeabilidad que se intercala con rocas volcánicas basálticas. Este relleno, de espesor medio, en la parte superior presenta un moderado espesor de sedimentos lacustres con contenido de sedimentos evaporíticos y eólicos, las rocas calcáreas y volcánicas antiguas de baja permeabilidad que subyacen al acuífero representan a profundidad el basamento del mismo y las elevaciones funcionan como áreas de recarga; las rocas volcánicas a profundidad por su permeabilidad pueden formar parte del acuífero. Por lo anterior el acuífero se considera de tipo **libre**.

### 5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades desarrolladas en el 2010, se realizaron 8 pruebas de bombeo, en la etapa de abatimiento, cuya duración varió de 4 a 12 horas. De su interpretación por diversos métodos, se deduce que los valores de transmisividad varían de  $15 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $0.038 \text{ m}^2/\text{s}$ , con un valor promedio de  $0.95 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ; en tanto que la conductividad hidráulica presenta valores que oscilan entre  $9.25 \times 10^{-6}$  y  $2.2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ , teniendo como valor promedio  $6.1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ .

Ninguna prueba contó con pozo de observación, por lo que no fue posible obtener el valor del coeficiente de almacenamiento de la manera tradicional. El valor de rendimiento específico  $S_y$  estimado es de 0.11 a 0.22, obtenido mediante la interpretación de las pruebas de bombeo por el modelo numérico de dos capas de Rathod y Rushton, con un valor promedio de 0.15, que por correlación hidrogeológica coincide con los acuíferos vecinos que presentan una geología similar.

### **5.3 Piezometría**

Se cuenta con información piezométrica generada en 2005 y la más reciente de 2010 que pertenece a una red de monitoreo de 90 pozos distribuidos en la mayor superficie de explotación del acuífero.

### **5.4 Comportamiento hidráulico**

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

En 2005 la profundidad del nivel estático en la zona noreste, cerca de Villa Ahumada, es de 10 m en promedio, incrementándose hacia la parte central donde es de 80 y 90 m. En la porción sur - central los niveles de profundidad van de 40 a 80 m.

En 2010 los niveles más someros se encuentran en la parte norte del acuífero con 10 m de profundidad, hacia la laguna El Barreal y cerca del poblado Miguel Ahumada. En la porción nororiental se tienen profundidades de 100 m, cerca de La Esmeralda. Hacia la parte central del acuífero las profundidades son de 40 m en promedio y en la porción suroccidental, de 10 hasta 50 m, cerca del poblado Flores Magón y hacia el sur, cerca de Constitución, las profundidades son de 60 a 100 m (figura 4).

#### **5.4.2 Elevación del nivel estático**

En 2005 el flujo presenta una dirección preferencial del sur al noreste; las elevaciones varían de 1470 a 1190 msnm en la parte norte del acuífero. Existe un cono de abatimiento entre los poblados Miguel Ahumada y El Chichonal, con niveles inferiores a 1180 msnm.

Para 2010 el flujo del agua subterránea tiene la misma dirección preferencial que en 2005, la diferencia es que para 2010 se observan conos de abatimiento más extendidos. Los niveles inferiores a 1165 msnm se encuentran cerca de El Chichonal. Los conos de abatimiento más importantes se localizan cerca de Flores Magón y al este de Constitución, siendo este último el más prominente (Figura 5).

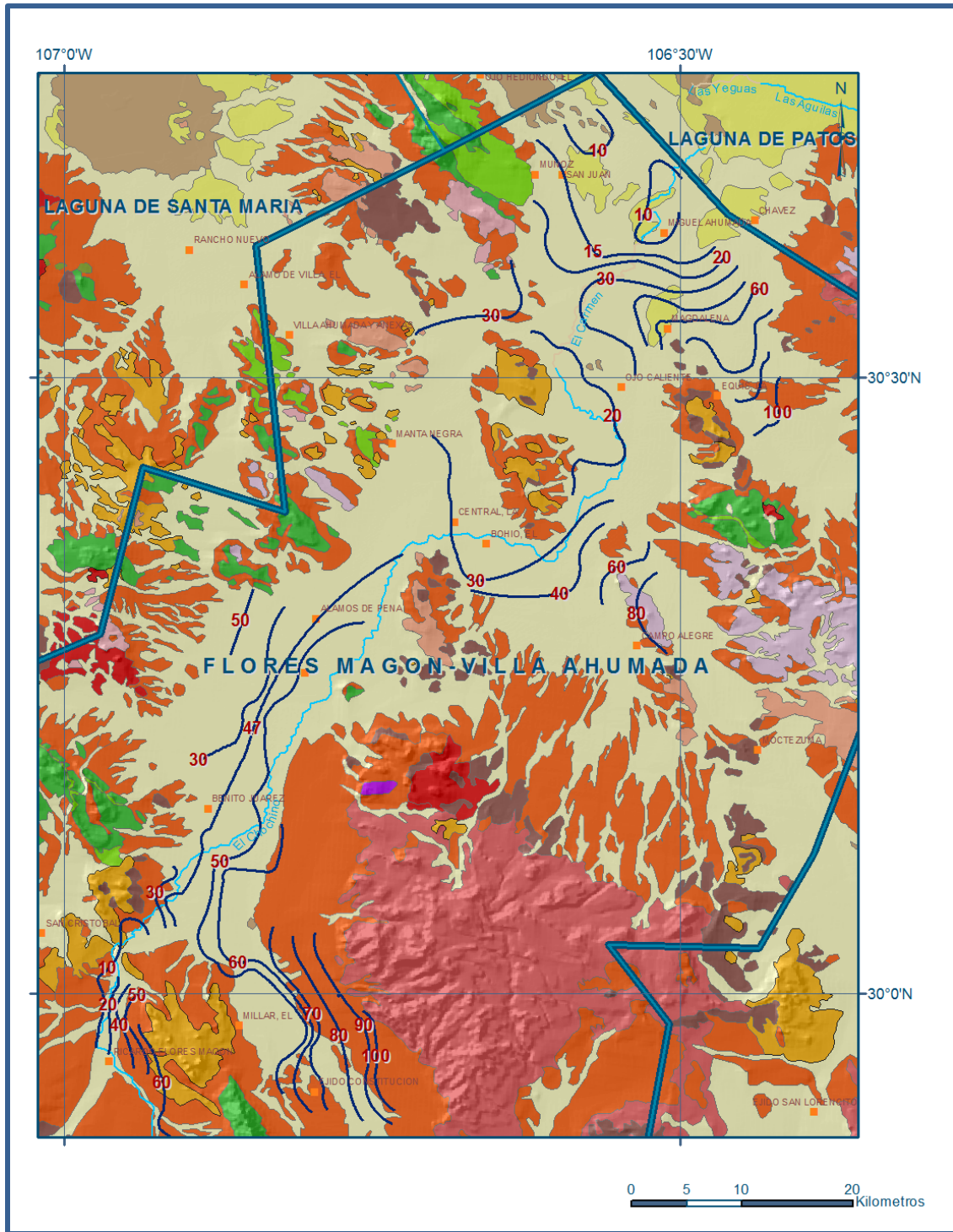


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2010)

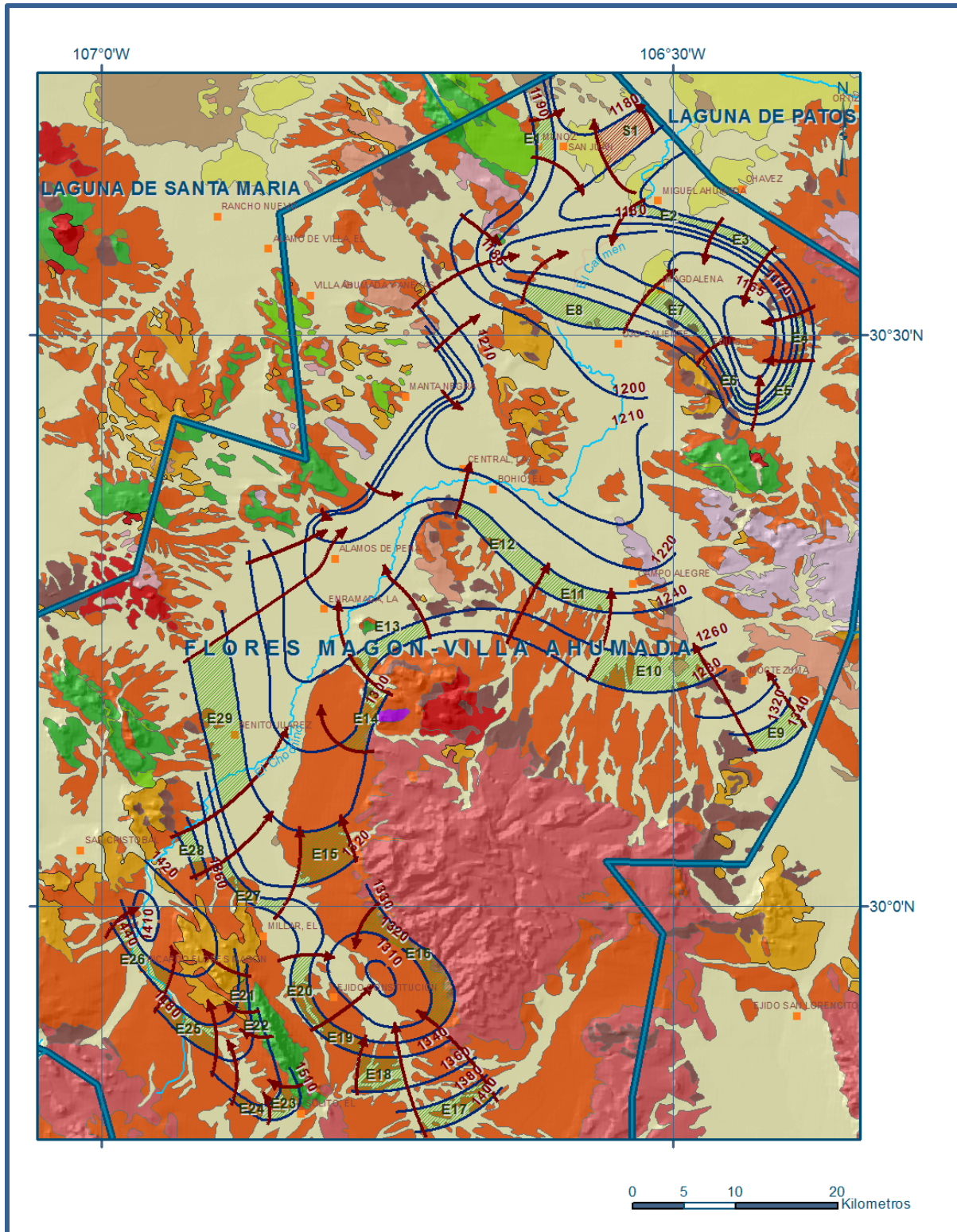


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

### 5.4.3 Evolución del nivel estático

De 2005 a 2010 la evolución anual del nivel estático fue negativa (Figura 6), pues los niveles de agua subterránea descendieron durante el periodo analizado. En la mayor parte del acuífero se tienen evoluciones de -0.5 a -1 m por año. Sin embargo algunas zonas tuvieron evoluciones mayores. Por ejemplo en Constitución el ritmo fue -2 m anuales, al norte de Benito Juárez -3 m anuales, hacia el este en Moctezuma hubo evoluciones de -1.5 m y en El Chichonal de -4 m anuales.

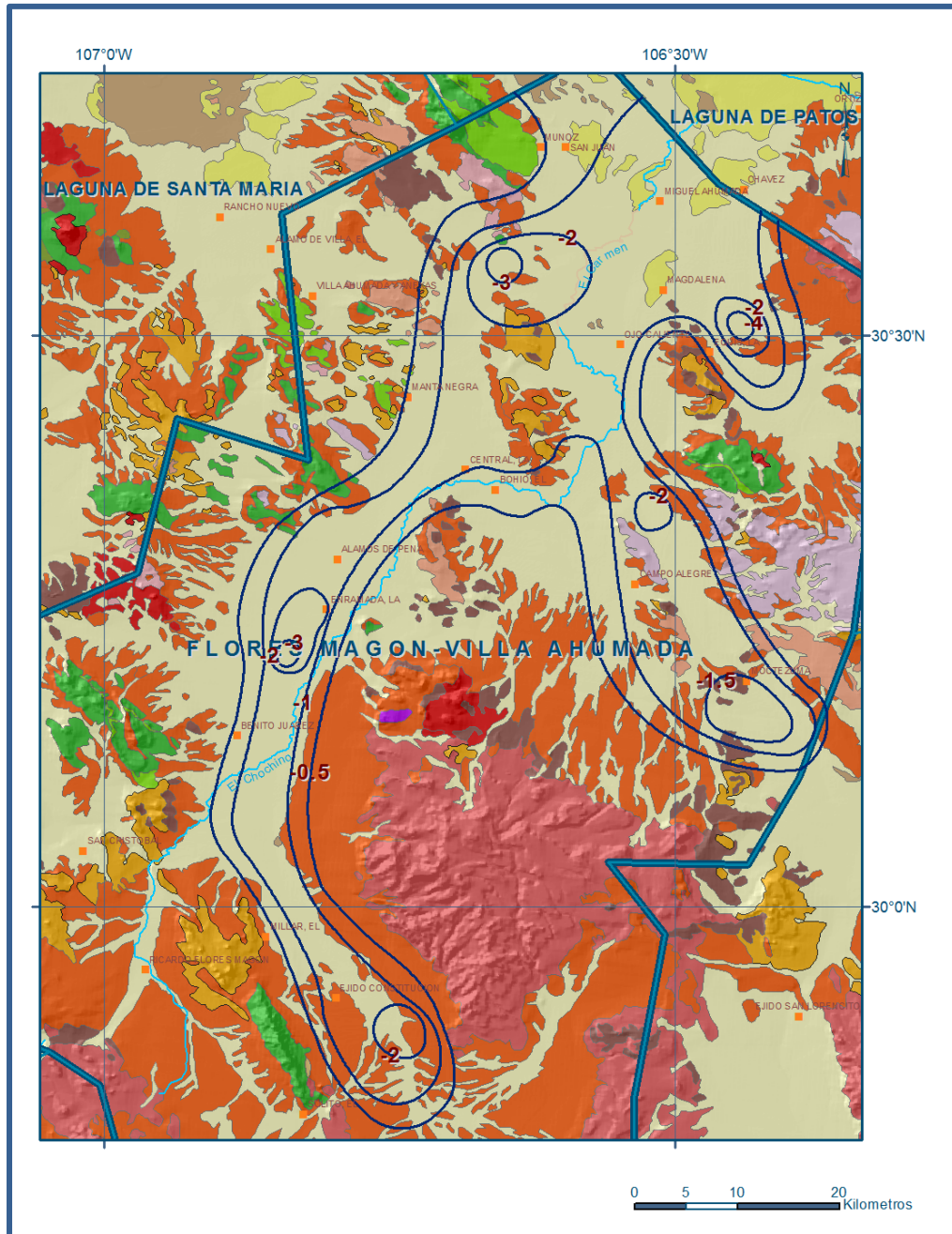


Figura 6. Evolución del nivel estático en m, (2005 – 2010)

## 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

A la fecha no se ha realizado un estudio con carácter hidrogeoquímico. Durante recorrido de campo realizado en 2010, fue posible obtener algunos parámetros físico - químicos del agua en los pozos visitados, obteniendo como promedio: pH= 7.9; SDT= 305 ppm; CE= 1080  $\mu$ S/cm y T= 26.3 °C.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2010, se registró la existencia de 833 aprovechamientos, de los cuales 815 son pozos y el resto norias. Del total de aprovechamientos, 493 se encuentran activos, 87 inactivos y 253 en situación de abandono.

El volumen de extracción total calculado es de **208.1 hm<sup>3</sup>** anuales, de los cuales, 205.3 hm<sup>3</sup> (98.6%) se destinan para uso agrícola y los 2.8 hm<sup>3</sup> restantes (1.4%) para usos doméstico - pecuario.

## 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 la masa es la siguiente:

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

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 del acuífero:

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

El balance de aguas subterráneas se definió en una superficie de 1 842 km<sup>2</sup>, que corresponde a la zona donde se localizan los aprovechamientos de agua subterránea de donde se obtuvo información

### 7.1. Entradas

Las entradas al acuífero están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv), y las entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).



De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola ( $R_r$ ), que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; 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 ( $R_i$ ).

### 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.

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:

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

Donde:

**$E_h$ :** Entrada por flujo subterráneo horizontal

**$R_v$ :** Recarga vertical

**$R_i$ :** Recarga Inducida

**$B$ :** Bombeo

**$S_h$ :** Salida por flujo subterráneo horizontal

**$\Delta V$ :** Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + S_h - E_h - R_i \pm \Delta V(S) \quad (2)$$

### 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. Las entradas al acuífero, tienen su origen en la zonas de recarga localizadas en las sierras que rodean al valle. 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 2010, mediante la siguiente expresión

$$Q = T * B * i$$

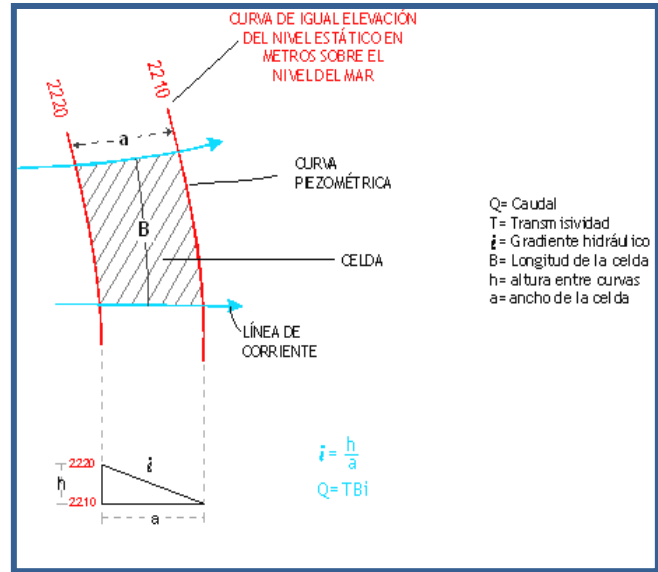
Donde:

Q = Caudal

T = Transmisividad en el canal de flujo

B = Largo del canal de flujo

i = Gradiente hidráulico (i)



El cálculo de las entradas subterráneas para 2010 se presenta en la tabla 2, el volumen calculado es de **75.9 hm<sup>3</sup> anuales**.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal (2010)

Canal	Longitud B (m)	Ancho a (m)	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> /años)
E1	2445	1110	5	0.004505	0.0016	0.0176	0.6
E2	7780	1000	5	0.005000	0.0012	0.0467	1.5
E3	6665	1330	5	0.003759	0.0012	0.0301	0.9
E4	2220	1330	5	0.003759	0.0012	0.0100	0.3
E5	5550	890	5	0.005618	0.0017	0.0530	1.7
E6	7110	665	5	0.007519	0.0017	0.0909	2.9
E7	7780	1550	5	0.003226	0.0017	0.0427	1.3
E8	10000	2445	5	0.002045	0.0030	0.0614	1.9
E9	6220	2220	20	0.009009	0.0017	0.0953	3.0
E10	11110	3330	20	0.006006	0.0017	0.1134	3.6
E11	7110	2220	10	0.004505	0.0020	0.0641	2.0
E12	10665	2665	10	0.003752	0.0020	0.0800	2.5
E13	7780	2220	20	0.009009	0.0020	0.1402	4.4
E14	6220	2000	20	0.010000	0.0010	0.0622	2.0
E15	5555	4890	20	0.004090	0.0010	0.0227	0.7
E16	13330	2220	10	0.004505	0.0015	0.0901	2.8
E17	8000	2000	20	0.010000	0.0015	0.1200	3.8
E18	5550	2220	20	0.009009	0.0017	0.0850	2.7
E19	5110	2000	10	0.005000	0.0017	0.0434	1.4
E20	7550	1780	10	0.005618	0.0017	0.0721	2.3
E21	3555	665	40	0.060150	0.0005	0.1069	3.4
E22	3110	890	20	0.022472	0.0005	0.0349	1.1
E23	4000	2000	10	0.005000	0.0010	0.0200	0.6
E24	4890	1110	10	0.009009	0.0010	0.0441	1.4
E25	6665	1330	40	0.030075	0.0005	0.1002	3.2
E26	8000	1550	10	0.006452	0.0010	0.0516	1.6
E27	8220	1550	10	0.006452	0.0012	0.0636	2.0
E28	5110	1780	20	0.011236	0.0012	0.0689	2.2
E29	14445	3330	20	0.006006	0.0012	0.1041	3.3
E30	4890	2890	20	0.006920	0.0012	0.0406	1.3
E31	3555	780	10	0.012821	0.0010	0.0456	1.4
E32	6220	890	10	0.011236	0.0010	0.0699	2.2
E33	11110	1110	10	0.009009	0.0012	0.1201	3.8
E34	5780	890	10	0.011236	0.0012	0.0779	2.5
E35	4445	1780	20	0.011236	0.0012	0.0599	1.9
E36	6000	2220	10	0.004505	0.0012	0.0324	1.0
E37	5925	1110	5	0.004505	0.0010	0.0267	0.8
Total							<b>75.9</b>

### 7.1.3 Recarga inducida (Ri)

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 las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. A 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.

En el estudio de Actualización Geohidrológica realizado en 2010 se cuantificaron 237.6 hm<sup>3</sup> como requerimiento de los cultivos, siendo 205.3 hm<sup>3</sup> de origen subterráneo y el resto de agua superficial. Para este caso, se consideró que un 20 % de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, considerando una profundidad media al nivel del agua subterránea de 80 m en la zona agrícola y la presencia de estratos de baja permeabilidad en el subsuelo.

$$Ri = (0.20) (237.6 \text{ hm}^3)$$

$$Ri = 47.5 \text{ hm}^3/\text{año}$$

## 7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y a través de salidas subterráneas (Sh). No existen manantiales, ni flujo base en ríos.

### 7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **208.1 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

De la misma manera que se evaluaron los flujos a través de las celdas de entrada al área de balance, se identifica una celda con flujos de salida (Figura 5). El volumen calculado es de **1.9 hm<sup>3</sup> anuales** (Tabla 3.)

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal (2010)

Canal	Longitud B (m)	Ancho a (m)	$h_2-h_1$ (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> /años)
S1	665	555	5	0.009009	0.0010	0.0060	1.9
Total							<b>1.9</b>

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

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático 2005 - 2010 (Figura 6). Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico  $S_y$  de 0.03 se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

**$\Delta VS$ :** Cambio de almacenamiento en el período analizado

**$S_y$ :** Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance

**A:** Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático

**h:** Valor de la variación piezométrica en el período

Como consecuencia de la explotación del recurso para el uso agrícola, la posición del nivel piezométrico ha descendido en toda la zona de balance, propiciando variaciones negativas del almacenamiento. El detalle de cálculo se presenta en la tabla 4, en la que se puede observar que el cambio neto de almacenamiento es de **-72.5 hm<sup>3</sup>/año**

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento anual (2005 - 2010)

Evolución (m)	Abatimiento (m)	Area (km <sup>2</sup> )	$S_y$	$\Delta V(S)$ (hm <sup>3</sup> /año)
-0.5 a -1	-0.75	665.5	0.03	-15.0
-1 a -2	-1.5	1029.4	0.03	-46.3
-2	-2	26.6	0.03	-1.6
-2 a -3	-2.5	89.8	0.03	-6.7
-3	-3	26.2	0.03	-2.4
-4	-4	4.5	0.03	-0.5
Total				<b>-72.5</b>

#### 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 (1) que fue establecida con anterioridad:

$$R_v = B + S_h - E_h - R_i \pm \Delta V(S) \quad (2)$$

$$R_v = 208.1 + 1.9 - 75.9 - 47.5 - 72.5$$

$$R_v = 14.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical, las entradas horizontales subterráneas y los retornos.

$$R_t = R_v + E_h + R_r = 14.1 + 75.9 + 47.5$$

$$R_t = 137.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

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

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS \quad (3)$$

Dónde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea

R<sub>t</sub> = 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 (R<sub>t</sub>)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R<sub>t</sub>), 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 **137.5 hm<sup>3</sup>/año**.

### 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 Flores Magón – Villa Ahumada no existen descargas naturales comprometidas. Por lo tanto **DNCOM = 0**.

### 8.3. Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)

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, con fecha de corte al **31 de marzo de 2011** es de **251'162,457 m<sup>3</sup>/año**.

### 8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (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, 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.

Por lo tanto la disponibilidad de aguas subterráneas, de acuerdo a la expresión (3), es:

$$\begin{aligned} \text{DAS} &= R_t - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \\ \text{DAS} &= 137.5 - 0.0 - 251.162457 \\ \text{DAS} &= -113.662457 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado actual indica que no existe disponibilidad de agua subterránea para otorgar nuevas concesiones. Por el contrario su déficit es de **113'662,457 m<sup>3</sup> anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

Comisión Nacional Del Agua (2005). Reactivación de la Red de Monitoreo Piezométrico Del Acuífero Flores Magón - Villa Ahumada, Estado De Chihuahua, Realizado por Consultores y Constructores del Norte S. A. de C. V.

Comisión Nacional del Agua (2010). Estudio para Determinar la Disponibilidad de los Acuíferos: Laguna de Palomas, Llano de Gigantes, Las Pampas, Rancho El Astillero, Laguna de Jaco, Rancho la Gloria, Rancho Denton, Laguna los Alazanes, Laguna del Rey, Valle del Peso, Flores Magón – Villa Ahumada, El Sabinal y Los Juncos, estado de Chihuahua. Realizado por la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1985). Estudio Geohidrológico de la zona Flores Magón - Villa Ahumada. Realizado por Ariel Consultores S. A.