



***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 0824 LAGUNA DE HORMIGAS, ESTADO DE
CHIHUAHUA***

México D.F., Diciembre de 2008

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA	5
3.1. Provincia fisiográfica	5
3.2. Clima	6
3.3. Hidrografía	6
3.4. Geomorfología	6
4. GEOLOGÍA	7
4.1. Estratigrafía	7
4.2. Geología estructural	11
4.3. Geología del subsuelo	11
5. HIDROGEOLOGÍA	12
5.1. Tipo de acuífero	12
5.2. Parámetros hidráulicos	13
5.3. Piezometría	13
5.4. Comportamiento hidráulico	14
5.4.1. Profundidad al nivel estático	14
5.4.2. Elevación del nivel estático	14
5.4.3. Evolución del nivel estático	15
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	17
7.1. Entradas	18
7.1.1 Recarga vertical (Rv)	18
7.1.2 Retornos de riego (Rr)	18
7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	18
7.2. Salidas	20
7.2.1. Evaporación (ETR)	20
7.2.2. Bombeo	21
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	21
8. DISPONIBILIDAD	22
8.1. Recarga total media anual (Rt)	22
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	22
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	23
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	23
9. BIBLIOGRAFÍA	24

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 de Hormigas definido con la clave 0824 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción centro oriental del Estado de Chihuahua, entre los paralelos 28° 48' 10.6" y 29° 53' 41.6" de latitud norte y los meridianos 106°34' 40.8" y 105°18' 38.6" de longitud oeste; cubre una superficie aproximada de 6 014 km² (figura 1).

Colinda al norte con los acuíferos Laguna Tres Castillos y Laguna de Tarabillas; al este con Bajo Rio Conchos; al sur con Potrero del Llano, Aldama-San Diego, Tabalaopa-Aldama y al oeste con Laguna El Diablo y el Sauz-Encinillas.

Geopolíticamente comprende parcialmente los municipios Chihuahua, Aldama, Ahumada y Coyame del Sotol.

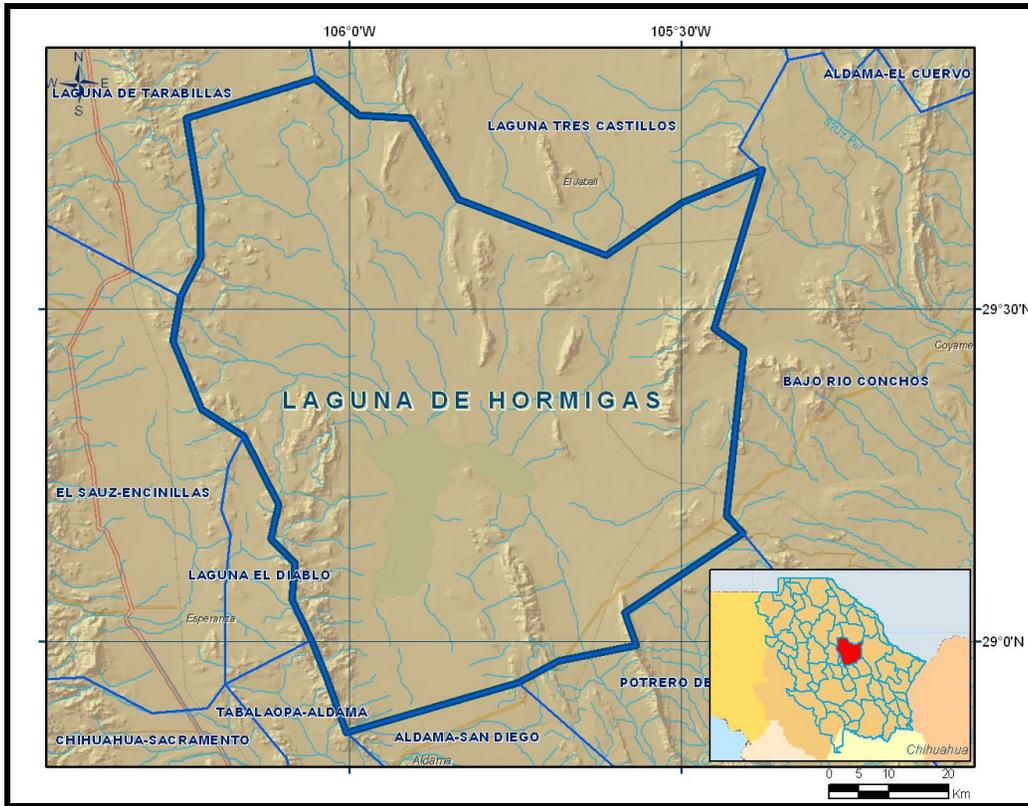


Figura 1. Localización del acuífero

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0824 LAGUNA DE HORMIGAS						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	105	24	30.3	29	9	45.4
2	105	35	9.5	29	2	34.2
3	105	34	7.5	28	59	39.9
4	105	41	10.2	28	58	15.3
5	105	44	48.6	28	56	15.6
6	106	0	19.5	28	51	45.2
7	106	2	7.6	28	56	50.5
8	106	3	29.6	29	0	9.3
9	106	5	14.4	29	3	46.1
10	106	4	54.9	29	7	4.7
11	106	7	8.8	29	9	18.0
12	106	6	25.4	29	12	22.1
13	106	9	34.6	29	18	32.4
14	106	13	24.6	29	20	54.1
15	106	15	59.8	29	27	6.9
16	106	15	15.3	29	31	7.5
17	106	13	28.1	29	34	41.4
18	106	13	26.0	29	39	2.5
19	106	14	45.0	29	47	12.2
20	106	3	8.2	29	50	44.7
21	105	59	13.6	29	47	26.7
22	105	54	30.1	29	47	12.0
23	105	50	11.3	29	39	52.7
24	105	36	51.5	29	34	50.9
25	105	29	59.1	29	39	35.1
26	105	22	46.3	29	42	32.7
27	105	27	6.5	29	28	13.9
28	105	24	24.0	29	26	21.8
29	105	25	57.1	29	11	23.0
1	105	24	30.3	29	9	45.4

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Laguna de Hormigas pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y son jurisdicción territorial de la dirección Local en Chihuahua. El acuífero se encuentra parcialmente vedado por el “*Decreto que establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la región circunvecina de Villa Aldama, Chih*”. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 1953 y clasificado como tipo III, que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2008, los municipios Aldama y Chihuahua se clasifican como zona de disponibilidad 3, Ahumada zona 4 y Coyame zona 6.

El usuario principal del agua es el agrícola. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco 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 han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes podemos encontrar los siguientes:

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DEL CUERVO, ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado por la empresa InGeo, S.C., para la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), en 1981. El objetivo fue investigar las posibilidades de explotación y aprovechamiento del agua subterránea; definir las unidades hidrogeológicas del subsuelo con posibilidades para almacenamiento de agua, localizar zonas para perforación de pozos y elaborar un censo de aprovechamientos. Dentro de las actividades de campo se tomaron muestras de agua de algunos aprovechamientos para análisis físico-químicos, muestreo de rocas para análisis petrográfico, construcción de secciones geológicas y ejecución de sondeos eléctricos verticales. En general se encontró agua de buena calidad para uso potable, abrevadero y riego. Se estableció un flujo subterráneo hacia el centro de la Laguna El Cuervo (Laguna de Hormigas) con niveles que oscilan entre 1,175 a 1,195 msnm. La profundidad promedio al nivel estático oscilaba entre 25 y 50 m, encontrándose profundidades máximas de 125 m.

APROVECHAMIENTOS Y MONITOREO PIEZOMÉTRICO DE LOS ACUÍFEROS EL SABINAL, LAGUNA TRES CASTILLOS, LOS MOSCOS, JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ, LAS PALMAS, EL CUARENTA, LOS LAMENTOS, LAGUNA DE HORMIGAS Y ALDAMA EL CUERVO, EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado por la empresa Estudios y Proyectos en Agua Subterránea S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 2005. Se efectuó un recorrido de mediciones piezométricas en 145 aprovechamientos. Se reportaron profundidades al nivel estático

entre 5 y 130 m, presentándose los valores mínimos por el extremo norte, en los límites con la porción occidental del acuífero Laguna Tres Castillos, asociados a un sistema de flujo local; la profundidad máxima se localiza por el norte del acuífero, en el valle estrecho situado entre la Sierra La Sonoreña, al poniente y Cerros Colorados al oriente de la zona. La extracción media anual ascendía a 12.2 hm³.

ESTUDIO DE RESPALDO PARA EL CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO LAGUNA DE HORMIGAS, ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado por el Servicio Geológico Mexicano (SGM) para la Comisión Nacional de Agua, en 2006. El objetivo principal fue elaborar un balance de aguas subterráneas y establecer la disponibilidad media anual de aguas subterráneas. Incluyó un censo selectivo de aprovechamientos hidráulicos, mediciones piezométricas y la ejecución de pruebas de bombeo.

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

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

La Laguna de Hormigas se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica *Sierras y Llanuras del Norte* (Raisz, 1964), caracterizada por topofomas bajas y abruptas, en general tienen orientación noroeste-sureste, dentro de las estructuras de sierra hay asociaciones de bajadas y llanuras. Al oriente se localiza la Subprovincia de Sierras Plegadas del Norte, mientras que al poniente del área se ubica la Subprovincia del Bolsón de Mapimí.

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 con el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, lo cual dio lugar a la formación de cuencas endorreicas. Al poniente de la zona dominan rocas volcánicas ácidas, calizas en el oriente y norte con dos grandes unidades. Los aluviones en general cubren los llanos, los cuales en ocasiones tienen acumulaciones salitrosas (barrales).

La subprovincia Sierras Plegadas del Norte, presenta una orientación preferencial noroeste – sureste y está constituida por sierras alargadas, las cuales están formadas por estructuras anticlinales de rocas carbonatadas cuya edad va desde el Paleozoico al Cretácico. Este tipo de topofomas tienen la característica de tener extensas bajadas y algunos lomeríos. Otra de sus características es que forman escarpes y presentan ramificación. Las llanuras de esta subprovincia, al igual que la subprovincia Bolsón de Mapimí, son de relleno aluvial y están asociadas con algunos lomeríos, como los que se pueden observar al centro de la zona.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García (1964), el clima que predomina en la zona es árido y extremoso. En la zona centro norte del acuífero tiene un clima seco templado (BWkw), con una temperatura media anual entre 12° y 18° C. La zona centro sur presenta un clima seco semicálido (BWhw), con temperatura media anual entre 18° y 22° C, mientras que al oeste y suroeste predomina un clima tipo seco templado (BS_okw), con verano cálido y temperatura media anual entre 12° y 18° C.

El valor de la temperatura media anual y de la precipitación se determinó a partir del análisis de temperaturas medias mensuales para las estaciones meteorológicas contempladas en el área, dando como resultado una temperatura media anual de 16.3° C.

Las lluvias se caracterizan por ser aisladas, de alta intensidad y de poca duración, ocurriendo con mayor frecuencia en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre. En los meses de diciembre, enero y febrero se presentan lluvias intensas y agua nieve originadas por masas de aire frío, de baja intensidad, provenientes de la zona norte. La precipitación media anual es de 321.8 mm.

3.3. Hidrografía

El Acuífero se ubica en la Región Hidrológica 34, Cuencas Cerradas del Norte, constituida por pequeñas cuencas que depositan el agua pluvial en lagunas. Pertenece al a la Subregión Cuencas Cerradas del Norte y a la cuenca hidrológica Arroyo El Carrizo y otros, la cual tiene una superficie de 21,450 km² y a la subcuenca Laguna el Cuervo (Laguna de Hormigas).

La infraestructura hidráulica en la zona es escasa y se concentra en el extremo sur del acuífero. Se refiere a sistemas de riego ubicados en la zona de cultivo de Aldama, donde se encuentran presas pequeñas y una serie de canales no revestidos que transportan agua a las zonas de cultivo, entre los que predomina el nogal. Existen algunos sistemas de riego por aspersión y tanques elevados para la distribución de agua potable.

3.4. Geomorfología

El área se caracteriza por mostrar relieves de planicies aluviales, planicies de origen lacustre rodeadas por sierras de carácter volcánico y sierras alargadas.

Las sierras de carácter volcánico están asociadas a la Falla Juárez, de movimiento sinextral, provocando, así, zonas de fracturamiento favorables para el emplazamiento fisural de rocas extrusivas (Eguiluz, S., 1984). Presentan permeabilidad que varía de baja a media.

Las sierras alargadas están asociadas a la Orogenia Laramide, conformando anticlinales y sinclinales, orientados en dirección norte-sur y noroeste-sureste. Estas estructuras se caracterizan por tener una permeabilidad media debido al fracturamiento y condiciones de alteración.

La planicie aluvial se caracteriza por estar rellena de acumulaciones de sedimentos, con permeabilidad media, en términos generales, especialmente hacia las márgenes de las sierras y en la zona centro-este del área. La planicie lacustre está representada por la Laguna de Hormigas ubicada en la parte centro-sur, de tipo intermitente, por lo que sólo contiene agua en época de lluvias. En su superficie se encuentran depósitos de arena y limo, lo que genera una zona de baja permeabilidad.

4. GEOLOGÍA

La zona se caracteriza por diversas litologías y edades, tal es el caso de una secuencia transgresiva que corresponde al Jurásico Superior, con facies clásticas en la base, mismas que varían a carbonatos y terrígenos en la parte superior.

El Cretácico Superior se caracteriza por depósitos terrígenos y zonas aisladas donde abundan los carbonatos. El Paleógeno-Neógeno está representado por derrames de composición riolítica, andesítica y basáltica, además del emplazamiento de cuerpos ígneos de diferente composición y morfología. En este apartado se describen las unidades geológicas que se encuentran dentro la zona (figura 2).

4.1. Estratigrafía

A continuación se describe la estratigrafía compuesta por una serie de unidades litológicas ígneas intrusivas, volcánicas y sedimentarias que afloran en el área. Las unidades se describen de la más antigua a la más reciente y su distribución se observa en el plano geológico mostrado en la figura 2.

PRECÁMBRICO

Las rocas más antiguas consisten de un complejo de rocas metamórficas compuestas por gneises, anfibolita-cuarcita que afloran como bloques alóctonos de proporciones pequeñas (Handschy, *et al*, 1987), en el flanco oriental de la Sierra El Carrizalillo; localmente se conoce como gneis Filtros. Por su litología se correlaciona con las anfibolitas precámbricas de la Sierra del Cuervo (Mauger, *et al.*, 1983).

JURÁSICO

Formación La Casita. (Jkpo Cz-Lu). Caliza-Lutita

Constituida por sedimentos jurásicos, tales como lutitas, areniscas e intercalaciones de calizas con abundantes amonitas, yeso y localmente sal; en su base presenta conglomerado polimíctico.

Aflora principalmente en la Sierra La Plomosa. Tiene un espesor parcial de 600 m. Su contacto inferior con la Formación Plomosas es discordante y el superior con la Formación Navarrete es transicional. La lutita es de color verde grisáceo que intemperiza a gris oscuro, de estratificación delgada. La arenisca se presenta de color café claro que intemperiza a café rojizo, constituida por clastos de grano medio a grueso de cuarzo, con cementante silíceo-calcáreo, en estratos medianos a delgados.

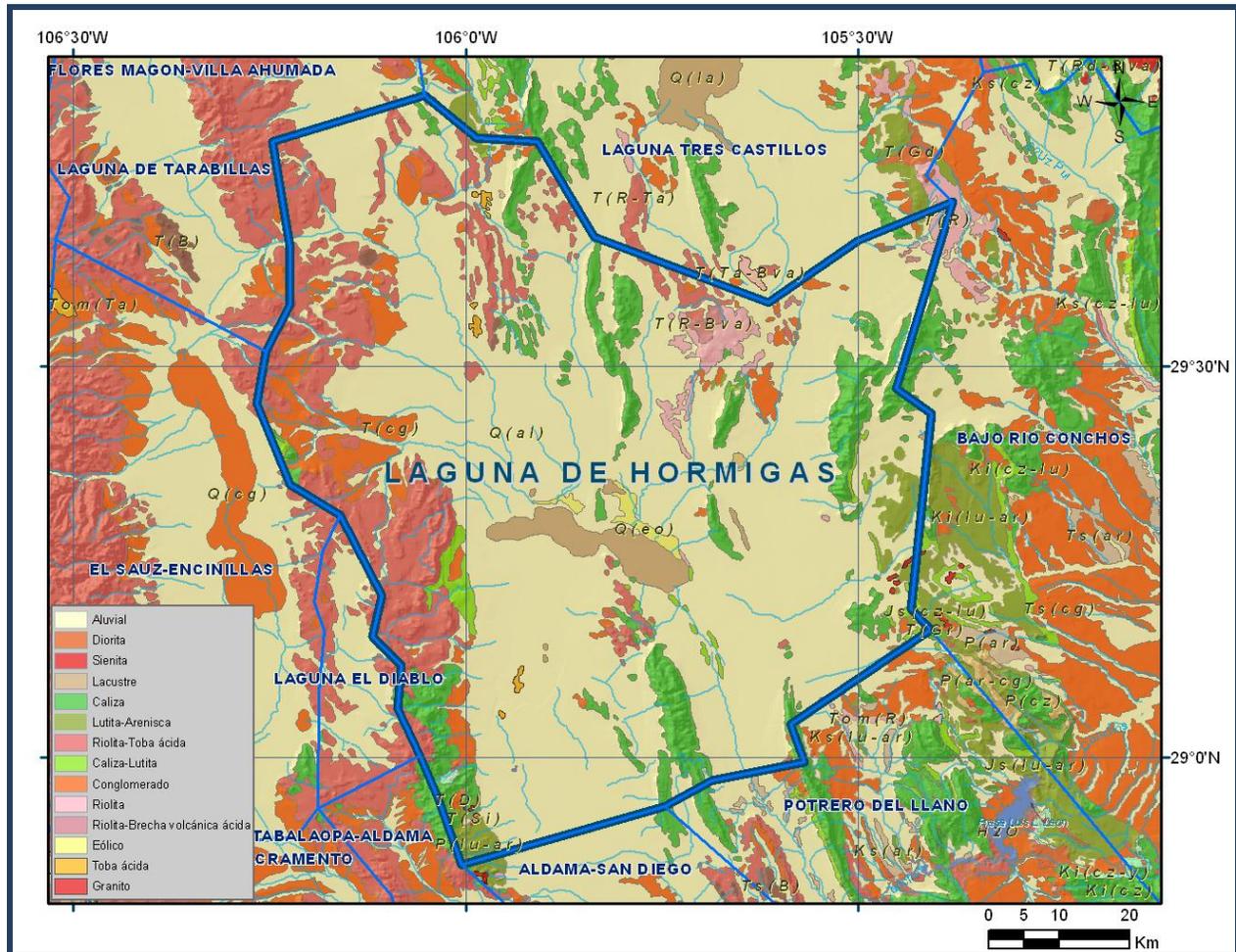


Figura 2. Geología general del acuífero

CRETÁCICO

Formación Las Vigas (Kvh Ar-Lu). Arenisca- Lutita

Dentro del área la Formación Las Vigas aflora en la porción suroccidental; en los cortes de la carretera que conduce de Coyame a Aldama, en el tramo situado entre las rancherías de Santa Anita y San Francisco, en las zonas adyacentes al Cerro El Tecolote y en la Sierra La Esperanza.

Está constituida principalmente por arenisca de cuarzo y ocasionalmente calcárea, de grano fino a grueso, en colores marrón y verde, con tramos en color gris claro a café claro; sus estratos varían entre 0.1 y 1.0 m de espesor, con algunas capas de 5 cm; las cuales presentan intercalaciones de horizontes de lutita y limolita en colores gris, verde y café rojizo y con espesores de 1 a 7 cm.

Grupo Aurora (Kaim Cz-Lu). Caliza-Lutita

El Grupo Aurora está conformado por los sedimentos de plataforma de las siguientes formaciones: Coyame, Benigno, Walnut y Finlay; situadas estratigráficamente bajo la Formación Benavides, o equivalentes, y sobre la Formación La Peña (miembro superior del Grupo Cuchillo), en aquellas localidades donde la diferenciación formacional sea factible, y conservar el término de Formación Aurora para aquella secuencia no diferenciable.

La parte media del Grupo Aurora está constituida por las formaciones Benigno y Walnut; la primera de ellas, hacia la base, está formada por calizas color gris y gris claro con peletoides, en estratos gruesos y masivos con intemperismo del mismo color; en la parte media afloran calizas arcillosas y lutitas de color gris con bioclastos, ostrácodos, equinodermos; en estratos delgados y medianos; hacia la cima se compone de caliza gris con moluscos, equinodermos, foraminíferos bentónicos, caprínidos, en estratos gruesos y masivos.

Formación Benavides (Kams Lu-Cz). Lutita-Caliza

La Formación Benavides consiste en una secuencia de 50 m de lutita de color gris oscuro y calcarenita café amarillento, localizada entre las formaciones Finlay y Loma de Plata que afloran cerca del Rancho Benavides y en Cañón del Pinto, Condado de Presidio, Texas. Está constituida básicamente de lutita calcárea color gris claro, de estructura laminar, asociada con radiolarios, presenta intercalaciones de caliza arcillosa de color gris claro que intemperiza a gris amarillento, en estratos delgados; se observan bioclastos, caprínidos, peletoides y toucasias; también se han identificado Colomiella Recta y Colomiella Mexicana en la porción inferior, ocasionalmente se observan esporádicos horizontes de arenisca calcárea de grano fino y color gris (Consejo de Recursos Minerales 2000).

Formación Loma de Plata (Kas Cz). Caliza

Litológicamente se encuentra constituida por calizas color gris y café, de estratificación gruesa y masiva del orden de 4 a 5 m, con nódulos de pedernal y líneas estilolíticas; contiene bioclastos, caprínidos, miliólidos, peletoides y toucasias. Ocasionalmente presenta fracturas rellenas de calcita. Se presenta ampliamente distribuida en la zona, siendo sus afloramientos principales los siguientes: la porción central de la zona y al oriente en la Sierra Tasajera, así como con afloramientos en los alrededores de la ranchería El Saucito; en el sector norte aflorando en el Cerro Las Peñitas y las sierras La Tinaja y El Morrión; mientras que al sureste de la zona con amplias exposiciones que cubren buena parte de las sierras Matasaguas y Morrión.

Conglomerado Polimíctico-Arenisca. (KmTpa Cgp-Ar)

Se ubican principalmente en los sectores norte y oriente de la zona, de manera particular sobre el flanco poniente de la Sierra el Venado, y la Sierra Peña Blanca. Constituida principalmente por fragmentos subredondeados de caliza y en menor grado de arenisca, moderadamente consolidados dentro de una matriz calcáreo-arenosa, de formas subangulosas a subredondeadas y en tamaños de 1 a 13 cm de diámetro, constituyendo estratos medianos de 2 a 4 m de espesor.

PALEÓGENO-NEÓGENO

Andesitas (To A)

Constituida por rocas en forma de derrame, mismos que conforman lomeríos de pendiente suave. En la zona los afloramientos están ubicados únicamente en la porción norte y en el extremo noreste de la subcuenca; sobre las lomas La Víbora, Cerro El Mezquite y al noroeste en los ranchos El Agua de La Loca y El Álamo. Presenta un espesor máximo de 50 m, caracterizada por andesitas de color café rojizo y gris oscuro con tonalidades verdosas; megascópicamente presenta una estructura compacta, masiva con textura porfídica, presenta feldespatos, ferromagnesianos y vidrio volcánico.

Basaltos (To B)

Aflora en forma de derrame de origen fisural, conformando lomeríos de pendiente suave. Sus principales afloramientos se ubican en el sector noroeste del área, en las cercanías del Ejido Estación Ojo Laguna en los cerros El Puerto, El Miramón, y Sierra Tinaja Lisa. El espesor de esta unidad es de 70 m. Cubre de manera discordante a las formaciones Las Vigas (Kvh Ar-Lu), Benavides (Kams Lu-Cz) y Loma de Plata (Kas Cz), así como a la riolita y toba riolítica (To R-TR); esta unidad se encuentra cubierta de forma discordante por conglomerado polimíctico del Cuaternario (Qho Cgp) y limo y arena (Qho lm-ar). Considerando su posición estratigráfica a esta unidad se le asigna una edad correspondiente al Oligoceno.

ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS

Granito (To Gr)

Está constituida por cuerpos ígneos intrusivos de color gris claro, de estructura compacta y masiva, con textura fanerítica; megascópicamente se observan feldespatos, cuarzo, micas y óxidos de hierro. Se encuentra intrusionando a las formaciones Las Vigas (Kvh Ar-Lu) y Loma de Plata (Kas Cz). Con la base en el origen de estos cuerpos ígneos, así como la edad de las unidades litoestratigráficas que intrusiona, se considera de edad oligocénica.

MIOCENO

Conglomerado polimíctico-arenisca (Tm Cgp-Ar).

Con esta nomenclatura se agrupa a un conglomerado polimíctico con potentes niveles de arenisca, estratificado y compacto, que se presenta principalmente en zonas topográficamente bajas, delimitadas por las diferentes sierras.

Litológicamente se encuentra constituido básicamente por conglomerado polimíctico, el cual presenta un color café claro a gris claro, bien consolidado, con gradación moderada; en ocasiones con estratificación gruesa, de hasta 3 m de espesor y en otras masivas. Conformado principalmente por clastos de caliza, arenisca y rocas intrusivas, en menor proporción andesita y toba riolítica, de forma subredondeada a subangulosa, en tamaños que varían principalmente entre 1 y 15 cm, llegando a tener de 20 a 50 cm de diámetro, dentro de una matriz arenosa.

CUATERNARIO

Conglomerado polimíctico (Qho Cgp)

Unidad conformada por conglomerado polimíctico semiconsolidado que se encuentra ampliamente distribuido en toda la zona, en forma de antiguos abanicos aluviales al pie de las sierras; está constituido por fragmentos líticos de roca caliza y arenisca, volcánicas extrusivas e intrusivas, con grado de redondez de subanguloso a subredondeado, y tamaños de 1 a 50 cm, embebidos en una matriz arenosa con escaso cementante calcáreo; su espesor se estima de 50 m (COREMI, 2000).

Lacustre (Qho la)

Acumulaciones compuestas por limo y arena, de color oscuro, originadas por el depósito en lagunas intermitentes que actualmente se han secado por evaporación y las bajas precipitaciones pluviales. Se localiza hacia los sitios delimitados por las lagunas San Pablo, El Cuervo, El Uno y La Escondida; se conforma principalmente por limo y en menor proporción arenas y gravas.

4.2. Geología estructural

En la zona que delimita el acuífero se aprecian lineamientos de carácter regional que delimitan bloques tectónicos. El estilo de deformación es el resultado de los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide, originando sierras alargadas de orientación preferencial noroeste-sureste y en ocasiones norte-sur. Los esfuerzos compresionales ocurridos en la Cuenca de Chihuahua motivaron el desarrollo de un sistema de fallamiento normal, así como inverso de bajo ángulo o cabalgaduras.

La zona se caracteriza por la presencia de fallamiento normal, el cual forma de manera aislada fosas, pilares y sistemas escalonados derivados del proceso distensivo de cuencas y sierras; las fallas normales presentan una orientación preferencial noroeste-sureste y buzamientos tanto al noreste como al suroeste, con longitudes que varían desde 1.5 hasta 25 km.

4.3. Geología del subsuelo

Con base en los resultados geofísicos realizados en estudios previos, se concluye que la zona se caracteriza por tener un relleno de sedimentos aluvio – fluviales, característicos de las zonas de cuencas y valles.

El espesor de sedimentos es variable llegando alcanzar espesores de 100 a 250 m; estos sedimentos se consideran, de manera general, de buena permeabilidad así como también una buena porosidad, considerando que el acuífero granular es un medio no homogéneo que presenta cambios en su porosidad y permeabilidad en las distintas áreas de la zona. Dicho Acuífero constituye la fuente de explotación actual y está compuesto principalmente de gravas, arenas de grano grueso, arenas de grano medio a fino, limos y arcillas. La mayoría de los aprovechamientos se localizan en este material.

Las unidades que se consideran impermeables y constituyen barreras y fronteras al flujo subterráneo son las formaciones de edad Paleozoica; Sóstenes, Monillas y Plomosas; y las formaciones La Casita, Las Vigas y Cuchillo que son las que constituyen el sello confinante inferior del acuífero. Dentro de las unidades que también se consideran impermeables se tienen a la Formación Benavides que está compuesta por lutitas así como las formaciones Del Río y Ojinaga y el depósito de tobas de la Formación El Cuervo.

Las rocas ígneas extrusivas presentan baja permeabilidad, aunque en algunos casos el fracturamiento le permite funcionar como acuífero de bajo rendimiento, para el uso doméstico. Desde el punto de vista geohidrológico, son de gran importancia los fenómenos tectónicos que se originaron durante el Cretácico Tardío, los cuales dieron lugar a la creación de cuencas por efecto del plegamiento que afectó a las rocas sedimentarias del Cretácico.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Se trata de la presencia de un sistema acuífero compuesto por dos medios con características hidráulicas diferentes, pero conectados entre sí. Un medio granular, con materiales considerados de manera general de buena permeabilidad, que se encuentra rellenando los valles, es donde se ubican la mayoría de los aprovechamientos de la zona. Un segundo medio acuífero lo componen unidades fracturadas con permeabilidad de media a alta, tal es el caso de las formaciones Aurora, Benigno y Finlay.

Existe comunicación hidráulica en ambos medios acuíferos a través de un sistema de fallas y fracturas, por lo que se trata de un acuífero **libre**, que presenta zonas de semiconfinamiento local. La recarga al acuífero se efectúa por infiltración del agua de lluvia que se precipita sobre la superficie del valle, piedemonte y sierras con permeabilidad adecuada. Existen aportaciones laterales procedentes de zonas serranas con permeabilidad media. A través de estructuras de carácter regional que manifiestan nuevamente la comunicación hidráulica entre ambos medios, existe aportación ascendente de la unidad fracturada hacia la unidad granular.

El acuífero se caracteriza por tener varios niveles piezométricos, el somero se encuentra en los primeros 30 m de profundidad, seguido por un nivel piezométrico que puede alcanzar hasta los 200 m, donde actualmente se extrae la mayor cantidad de agua en el sistema acuífero, posteriormente un nivel profundo, relacionado a un medio acuífero compuesto en su mayoría por rocas carbonatadas. La disposición espacial del material que rellena la cuenca del valle y la permeabilidad secundaria que pueda presentar el medio fracturado, son el principal control del régimen de flujo subterráneo. Se propone la existencia de tres sistemas o regímenes de flujo:

Flujo local.

Asociado a la infiltración de agua meteórica de reciente precipitación. Se refiere a flujo que viaja en forma vertical y alimenta principalmente el nivel freático. Cabe mencionar que, cuando su descenso no es interrumpido por unidades con permeabilidad baja, alimenta sus diferentes niveles piezométricos.

Flujo intermedio.

Asociado a la recarga que se origina en las partes topográficamente altas de las sierras que circundan el valle, siempre y cuando posean características de permeabilidad apropiadas para infiltrar el agua de lluvia y permitir su tránsito hacia el acuífero. Gran parte del volumen de agua que recibe el acuífero está sustentado en un régimen tipo intermedio.

Flujo regional.

Asociado al agua subterránea que circula por estructuras con presencia en la zona y que se evidencian por altas temperaturas que presentan algunos aprovechamientos, ya sea de este acuífero o de acuíferos vecinos, como es el caso del Acuífero El Sauz-Encinillas, donde se presentan temperaturas en el agua subterránea de hasta 39° C (SGM, 2007), además de condiciones isotópicas que así lo evidencian.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2006, se ejecutaron 6 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, cuya duración varió de 5 a 8 horas, para la etapa de abatimiento y de 3 a 6 horas para la recuperación. De acuerdo con los resultados de su interpretación, se observa que valores representativos de Transmisividad oscilan entre 139 y 646 m²/día para el medio granular, es decir entre **1.6 y 7.5x10⁻³ m²/s.** No se identificaron aprovechamientos que actualmente exploten las rocas fracturadas. Los valores mayores a zonas de abanicos aluviales, mientras que valores mínimos se relacionan a la influencia del cuerpo arcilloso en la zona lagunar.

En relación a la conductividad hidráulica, se estimó un valor medio de 3.59 x10⁻⁶ (0.304 m/día). Debido a la falta de pozos de observación durante la realización de las pruebas de bombeo, no fue posible determinar el coeficiente de almacenamiento del acuífero.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se consideró la información disponible para 1981, 2005 y 2006.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático en 2006 (figura 3) en la parte central y sureste presenta valores entre 35 y 40 m, mismos que se van profundizando en dirección al norte, donde se presentan valores incluso de 70 y 118 m, sin embargo no son representativos del acuífero.

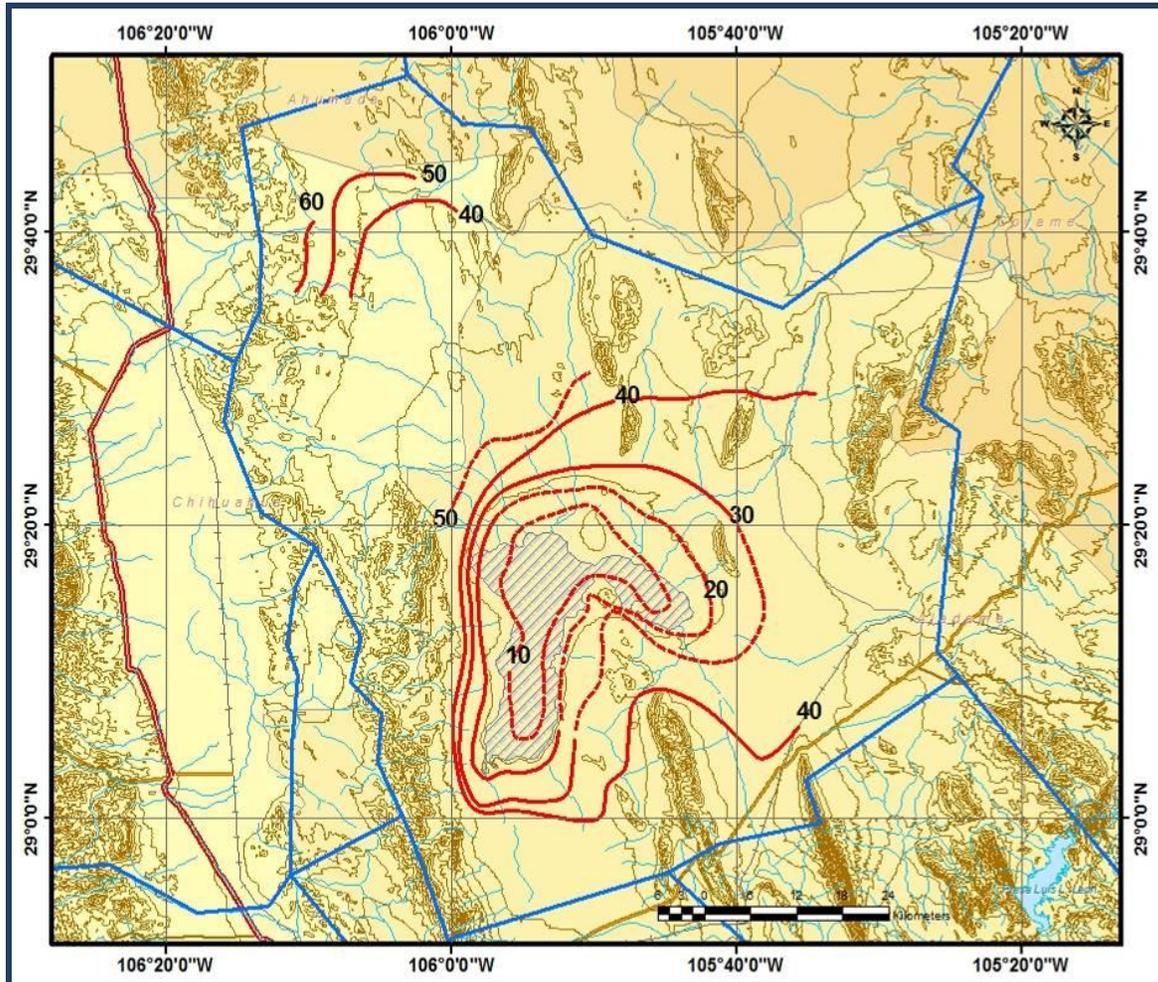


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2006)

5.4.2. Elevación del nivel estático

El nivel estático presenta valores que varían entre 1 190 y 1 250 msnm, que se ubican tanto en la parte centro sur del acuífero como al sureste del mismo. En la zona oriente los valores fluctúan entre 1 270 y 1 360 msnm, y es precisamente en esta zona donde el sistema acuífero tiene una de las entradas principales, misma que se evidencia por la diferencia de carga hidráulica en la zona. En la parte norte del acuífero la elevación del nivel estático se incrementa a medida que las condiciones

topográficas hacen lo propio, mostrando valores que oscilan entre 1 220 hasta 1 240 msnm (figura 4). La misma configuración de equipotenciales de elevación de nivel estático confirma la presencia de un sistema cerrado, es decir, no existen salidas subterráneas hacia acuíferos o cuencas vecinas.

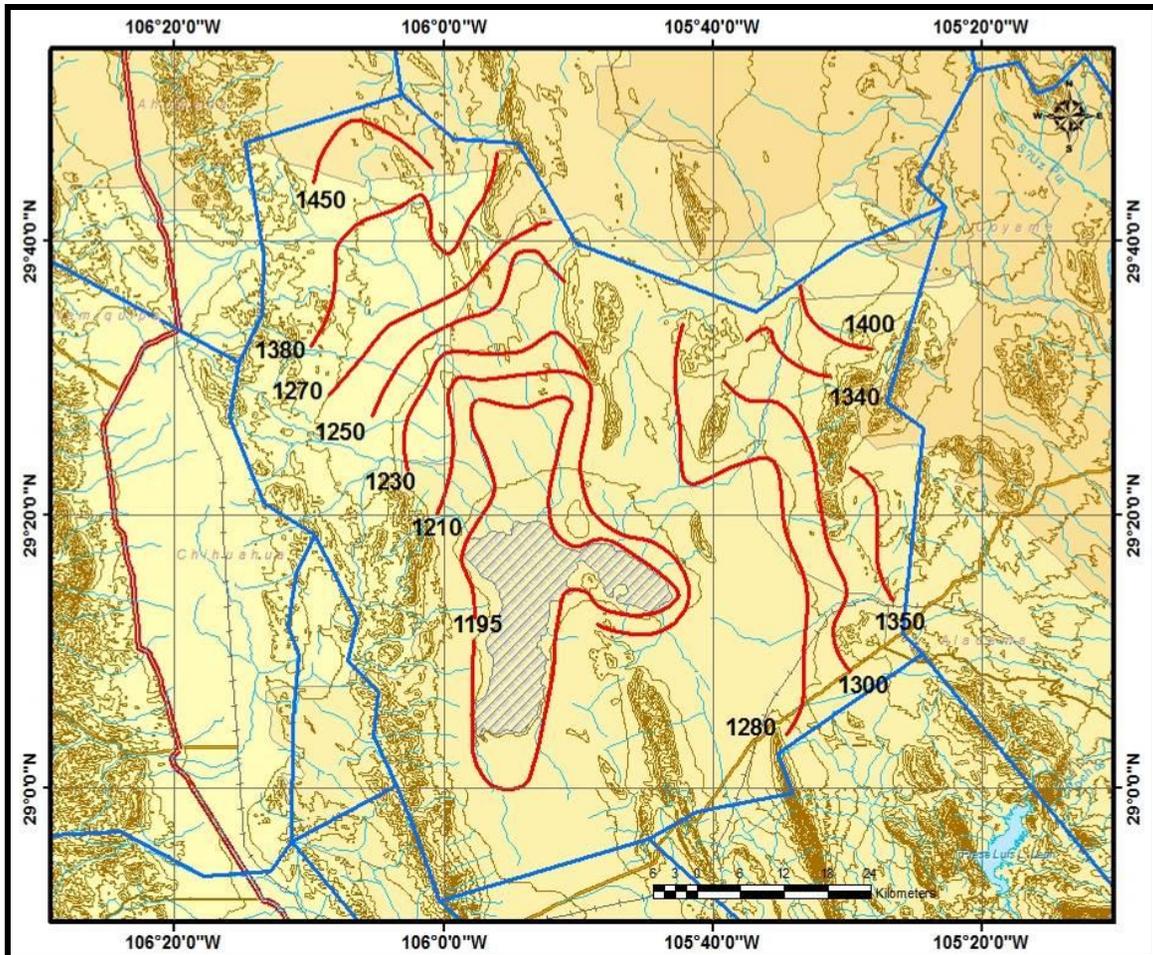


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2006)

5.4.3. Evolución del nivel estático

Para determinar la evolución de niveles piezométricos con respecto al tiempo fueron tomados en cuenta valores de profundidad para el periodo 2004 y 2006. En la parte central del acuífero se observan valores tanto negativos como positivos, que se incrementan al oriente y sur del acuífero. Al noroeste de la comunidad Nuevo Porvenir, se presentan valores negativos de 1.4 m, al noreste de la zona se muestran descensos de hasta 2 m. De manera general las evoluciones de niveles estáticos son positivas, varían de 1 a 10 m.

De lo anterior se puede concluir el nivel estático no muestra aún alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de

pozos. Por lo que se puede afirmar que el nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser **nulo**.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2006, se tomaron muestras de agua para su análisis físicoquímicos correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos totales disueltos.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis físicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de manera general, entre 200 a 800 mg/l, por lo que se puede afirmar que el agua subterránea es apta para el consumo humano, ya que la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 contempla un máximo permisible de 1000 mg/l para STD. La distribución de estos valores se presenta en la figura 6.

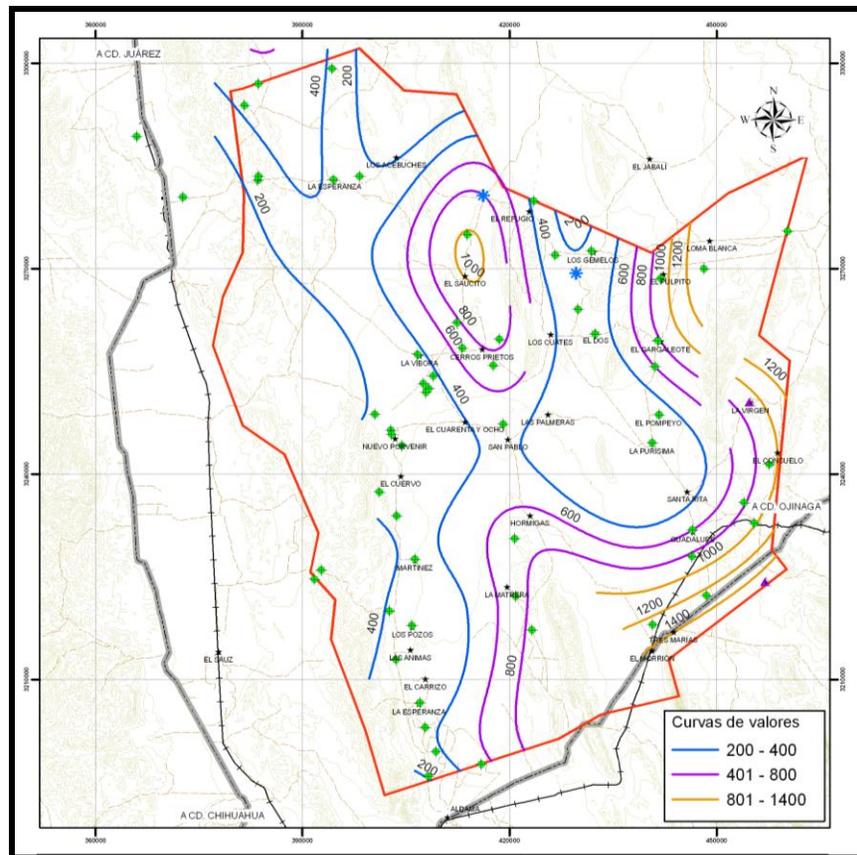


Figura 5. Concentración de sólidos totales disueltos (STD) en mg/l (2006)

El comportamiento de la conductividad eléctrica es similar a los sólidos totales disueltos, las concentraciones menores se encuentran en la parte centro y oriente del acuífero, mientras que valores máximos (mayores a 1,500 mg/l) se concentran al extremo oriente del acuífero. La mayor parte del área tiene valores de pH neutros o cercanos a la neutralidad.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados reportados en el último censo realizado en el año 2005, se registraron un total de 145 obras en el acuífero que aprovechan las aguas subterráneas, de cuales 98 están activas y las 47 restantes inactivas. De los 98 aprovechamientos activos, 44 de ellos (45%) se destinan al uso agrícola, 51 (52 %) para doméstico abrevadero y los 3 restantes (3%) se utilizan para uso público-urbano. El volumen de extracción conjunto estimado asciende a **12.2 hm³ anuales**, de los cuales 11.6 hm³ (95.0 %) se destinan a la actividades agrícolas, 0.5 más (4.0%) para uso doméstico-abrevadero y los 0.1 hm³ restantes (1.0 %) para satisfacer las necesidades del uso público-urbano.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado 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:

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

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

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

El balance de aguas subterráneas se definió en una superficie de **3,675 km²**, que corresponde a la zona donde se localizan gran parte de los aprovechamientos de agua subterránea. De esta manera la ecuación de balance propuesta es la siguiente:

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

Donde:

R_v: Recarga vertical;

E_h: Entradas por flujo subterráneo horizontal;

R_r: Retornos de riego;

B: Bombeo;

ETR: Evapotranspiración;

ΔV(S): Cambio de almacenamiento;

7.1. Entradas

La recarga total que recibe un acuífero está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua que se destina a las actividades agrícolas, principalmente, ya que es esta región no existen centros de población importantes, que estén ocasionando fugas en las redes de abastecimiento de agua potable o del drenaje.

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero Laguna de Hormigas, las entradas están integradas por la recarga vertical (Rv) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en 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 (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola constituye otra fuente de recarga al acuífero. Este volumen se integra en la componente de recarga inducida (Ri) como recarga por retornos de riego (Rr).

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), 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 se obtiene lo siguiente:

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

7.1.2 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. 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. Para este caso, se consideró que un 20% de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida. En el acuífero Laguna de Hormigas se utilizan 11.6 hm³/año para uso agrícola, por lo que **2.3 hm³/año** representan el volumen de retornos de riego.

7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

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 tienen su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2006 (figura 4), mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

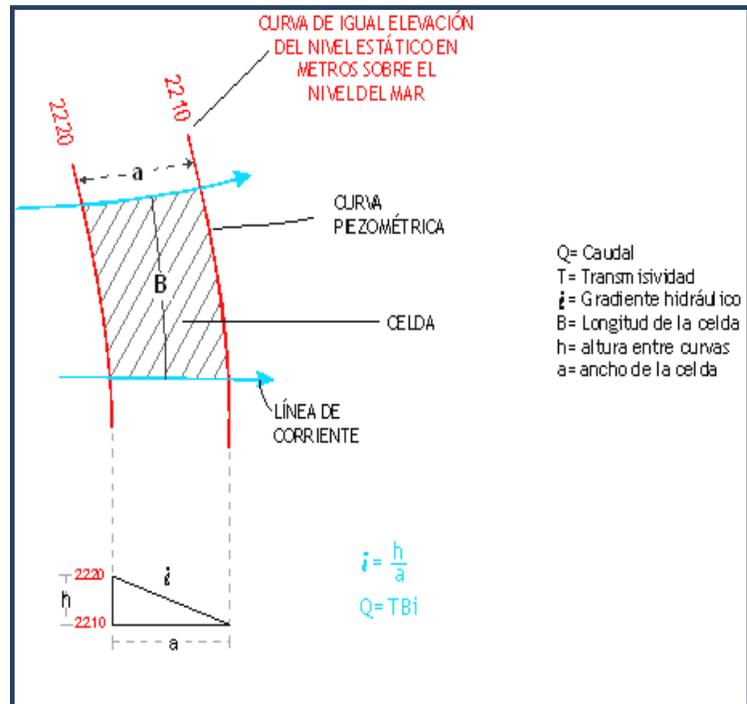
Donde:

Q = Gasto [m^3/s];

T = Transmisividad [m^2 /s];

B = Longitud de la celda [m];

i = Gradiente hidráulico;



Utilizando los valores de transmisividad (55, 90 y 185 $m^2/día$), obtenidos de las pruebas de bombeo de 2006, obtenemos como resultado un valor de **20.0 $hm^3/año$** que representa las entradas por flujo horizontal a la zona de balance de aguas subterráneas.

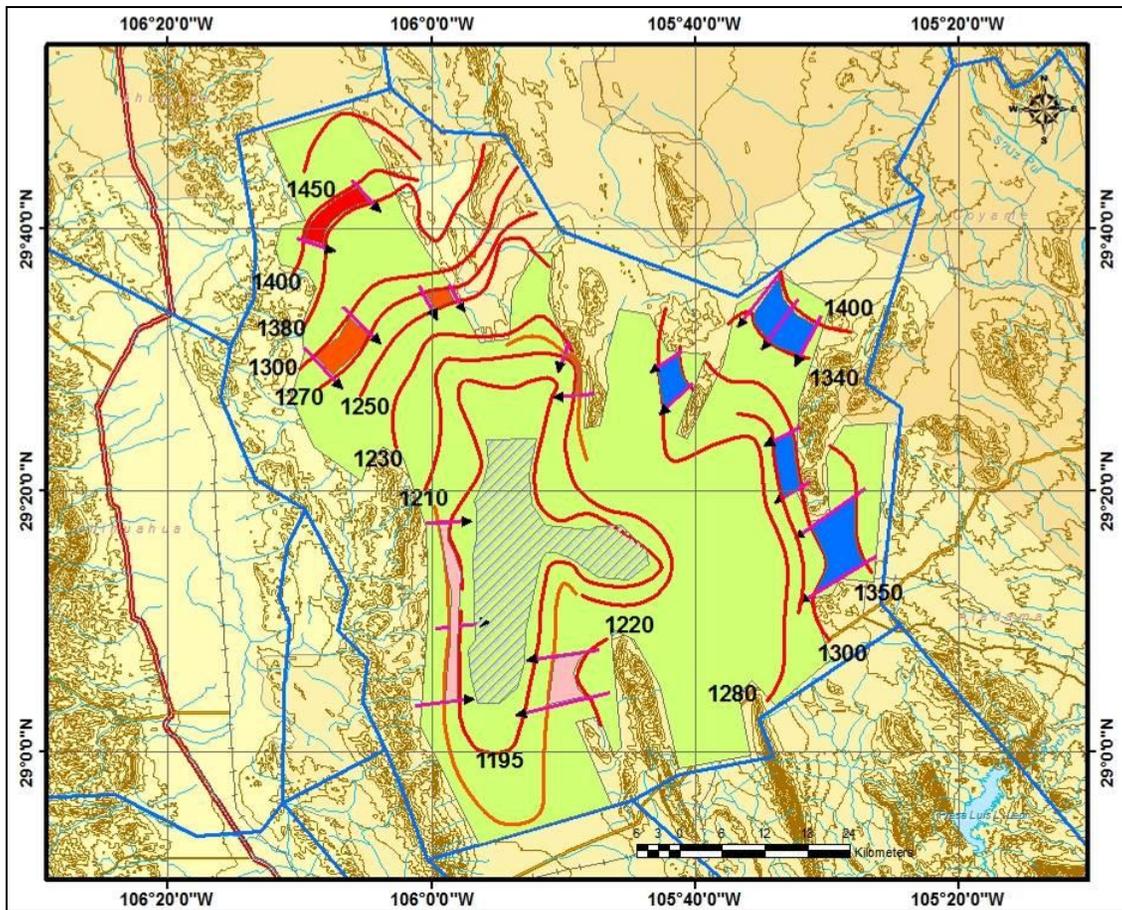


Figura 6. Celdas de flujo entradas horizontales

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), la evapotranspiración directa en las zonas de niveles freáticos someros (ETR). Por tratarse de un sistema cerrado (cuenca endorréica) no existen salidas por flujo subterráneo horizontal, ni descarga de flujo base a través de ríos o manantiales. Por lo tanto $S_h = 0$.

7.2.1. Evaporación (ETR)

La descarga por evaporación de agua subterránea en la zona de la laguna se estima ocurre dentro de la isolínea de valor máximo 5 m de profundidad, que define una superficie de 756 km² y representa el área de inundación de la laguna mostrada en la figura 6.

Debido a que sobre esta superficie no existe cobertura vegetal, se optó por utilizar un método que involucra el % de evaporación potencial de la zona (EP) con respecto a la profundidad al nivel estático (figura 7). De ella se observa que por debajo de los 2.5 ó 3.0 m, no se produce la evaporación de agua subterránea.

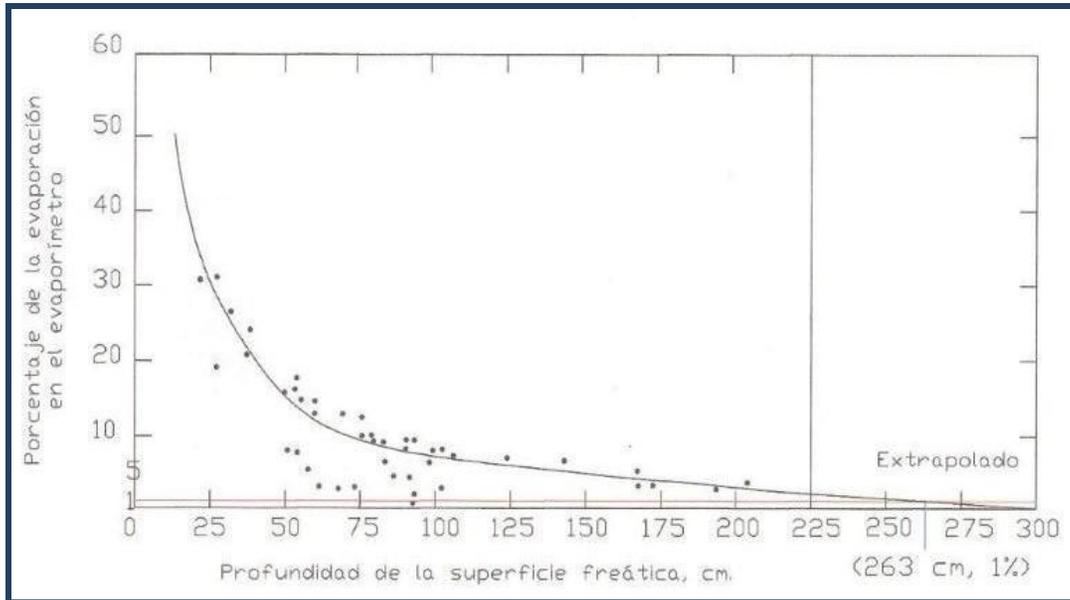


Figura 7. Porcentaje de evaporación en función de la profundidad a la superficie freática

Si consideramos una profundidad promedio del agua subterránea en el área sujeta a evapotranspiración de 2.5 m, la evaporación a través del suelo se calcula multiplicando la evaporación potencial (1765 mm, CONAGUA, 2006) registrada en el tanque por el factor de 0.01 (CNA, 1994), como muestra a continuación:

$$\begin{aligned}
 \text{ETR} &= (\text{EP}) (0.01) \text{ (área de evaporación)} \\
 \text{ETR} &= (1.765 \text{ m}) (0.01) (756 \text{ km}^2) = 13.3 \\
 \text{ETR} &= \mathbf{13.3 \text{ hm}^3/\text{año}}
 \end{aligned}$$

7.2.2. Bombeo

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción calculado es de **12.2 hm³/año**.

7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$

Las escasas mediciones piezométricas recabadas en estudios previos se encuentran dispersas en tiempo y espacio, no cubren en su totalidad la extensión del acuífero. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo, ni conos de abatimiento, por lo tanto, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes, por lo que para fines del balance se considera que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. **$\Delta V(S) = 0$** .

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la infiltración por precipitación (R_v), por lo que despejando este término de la ecuación de balance (1) definida, se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} R_v &= B + ETR - \Delta V(S) - E_h - R_r \quad (2) \\ R_v &= 12.2 + 13.3 - 0.0 - 20.0 - 2.3 \\ \mathbf{R_v} &= \mathbf{3.2 \text{ hm}^3/\text{año}} \end{aligned}$$

Por lo tanto la recarga total es igual a:

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + E_h + R_r \\ R_t &= 3.2 + 20.0 + 2.3 \\ \mathbf{R_t} &= \mathbf{25.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}} \end{aligned}$$

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 expresión siguiente:

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

Donde:

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

R_t = 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_t)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R_t), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **25.5 hm³/año**, de los cuales 23.2 son recarga natural y los 2.3 hm³ restantes corresponden a la recarga por retornos de riego.

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 está comprometido como agua superficial,

alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para el caso del acuífero Laguna de Hormigas no se consideran descargas naturales comprometidas ya que no existen salidas subterráneas ni descarga a través de caudal base y además, en la zona de evaporación localizada en el acuífero, es probable que el agua subterránea contenga altas concentraciones de sales que impondrían serias restricciones para su aprovechamiento. Por lo que la **DNCOM = 0**.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

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 **30 de septiembre de 2008**, es de **16'873,336 m³/año**.

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.

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

$$\mathbf{DAS = 25.5 - 0.0 - 16.873336}$$

$$\mathbf{DAS= 8.626664}$$

La cifra indica que existe volumen disponible, para otorgar nuevas concesiones, de **8'626,664 m³** anuales.

Cabe aclarar que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que el valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo en pozos cercanos a los piedemonte, será posible hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2006. Elaboración del Estudio de Respaldo para el Cálculo de la Disponibilidad Media Anual de Aguas Subterráneas del Acuífero Laguna de Hormigas, Estado de Chihuahua. Elaborado por el Servicio Geológico Mexicano.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2005. Estudio Geohidrológico del Acuífero Laguna de Patos, estado de Chihuahua. Elaborado por por la empresa Estudios y Proyectos en Agua Subterránea, S. A. de C.V.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2005. Censo de Aprovechamientos y Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos El Sabinal, Laguna Tres Castillos, Los Moscos, Josefa Ortiz de Domínguez, Las Palmas, El Cuarenta, Los Lamentos, Laguna de Hormigas y Aldama El Cuervo, en el Estado de Chihuahua. Elaborado por la empresa Estudios y Proyectos en Agua Subterránea S.A. de C.V.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS, 1981. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos de la Cuenca de la Laguna del Cuervo, Estado de Chihuahua. Elaborado por la empresa InGeo, S.C.