

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Las Palmas (0811),  
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.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
<b>ESTADO DE CHIHUAHUA</b>							
0811	LAS PALMAS	4.2	0.8	0.970500	2.9	2.429500	0.000000

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales “3” y “4” de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



**Comisión Nacional del Agua**  
**Subdirección General Técnica**  
**Gerencia de Aguas Subterráneas**  
**Subgerencia de Evaluación y**  
**Ordenamiento de Acuíferos**

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN  
EL ACUÍFERO 0811 LAS PALMAS, ESTADO DE  
CHIHUAHUA***

***México, D.F. Mayo de 2010***

## CONTENIDO

1.	GENERALIDADES .....	2
	Antecedentes .....	2
1.1	Localización .....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero .....	4
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	4
3.	FISIOGRAFÍA .....	5
3.1	Provincia fisiográfica .....	5
3.2	Clima .....	6
3.3	Hidrografía .....	6
3.4	Geomorfología .....	7
4.	GEOLOGÍA .....	8
4.1	Estratigrafía .....	9
4.2	Geología estructural .....	12
4.3	Geología del subsuelo .....	12
5.	HIDROGEOLOGÍA .....	14
5.1	Tipo de acuífero .....	14
5.2	Parámetros hidráulicos .....	14
5.3	Piezometría .....	14
5.4	Comportamiento hidráulico .....	15
5.4.1	Profundidad al nivel estático .....	15
5.4.2	Elevación del nivel estático .....	16
5.4.3	Evolución del nivel estático .....	18
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA .....	18
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS .....	19
7.1	Entradas .....	20
7.1.1	Recarga vertical (Rv) .....	20
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	20
7.1.3	Retornos de riego (Rr) .....	22
7.2	Salidas .....	23
7.2.1	Bombeo (B) .....	23
7.2.2	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	23
7.3	Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ) .....	24
8.	DISPONIBILIDAD .....	24
8.1	Recarga total media anual (Rt) .....	25
8.2	Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	25
8.3	Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS) .....	25
8.4	Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS) .....	25
9.	BIBLIOGRAFIA .....	26

## **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 Las Palmas, definido con la clave 0811 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noroccidental del estado de Chihuahua, entre los paralelos 31°17'25" a 31°47'07" de latitud norte y los meridianos 107°06'00" a 107°50'00" de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1691 km<sup>2</sup>.

Colinda al norte con los Estados Unidos de América, al oeste con el acuífero Josefa Ortiz de Domínguez, al sur y suroeste con el acuífero Palomas–Guadalupe Victoria y al este con el acuífero Conejos–Médanos, todos ellos pertenecientes al estado de Chihuahua (figura 1).

Geopolíticamente el acuífero se encuentra emplazado totalmente en la porción norte del municipio de Ascensión.

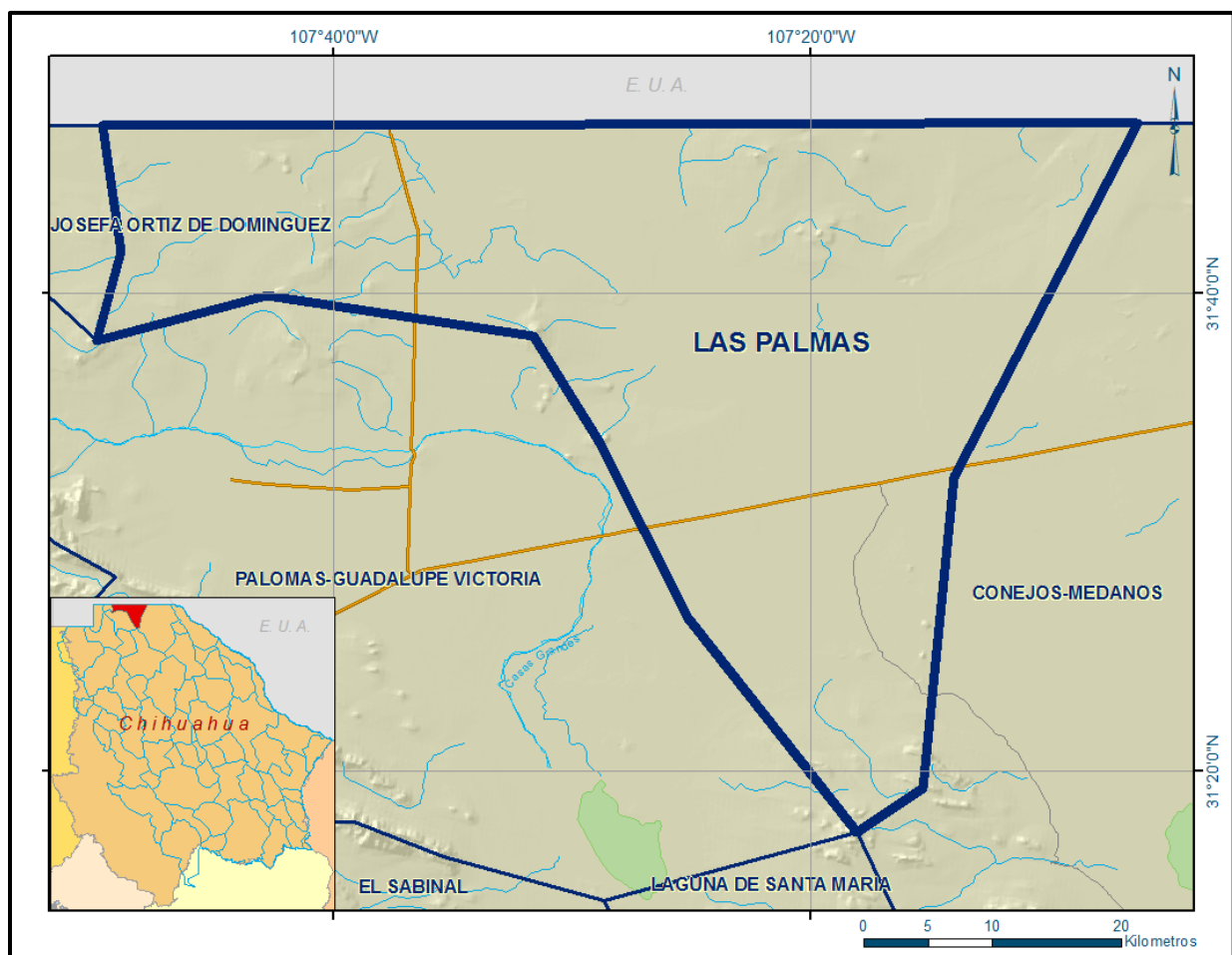


Figura 1. Localización del acuífero Las Palmas

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0811 LAS PALMAS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	107	31	37.0	31	38	12.7	
2	107	42	47.7	31	39	52.9	
3	107	49	54.6	31	38	0.3	
4	107	48	53.5	31	41	45.5	
5	107	49	40.7	31	47	1.3	DEL 5 AL 6 POR EL LIMITE ESTATAL
6	107	6	14.9	31	47	6.8	
7	107	13	58.8	31	32	17.8	
8	107	15	17.0	31	19	14.3	
9	107	18	0.0	31	17	25.0	
10	107	25	7.8	31	26	24.3	
11	107	28	52.9	31	33	51.1	
1	107	31	37.0	31	38	12.7	

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Las Palmas pertenece al Organismo de Cuenca “Río Bravo” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Chihuahua. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en una superficie comprendida en los límites geopolíticos de los Municipios de Ascensión y Janos, Chih., y establece veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento del subsuelo en la región mencionada”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 25 de abril de 1979. Este decreto es tipo II, en el que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2010), el municipio de Ascensión se localiza en la zona de disponibilidad 4.

El usuario principal del agua subterránea es el agrícola. En su territorio 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 diversos estudios geohidrológicos de evaluación. Entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

**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., para la Comisión Nacional del Agua, en 2005.** Sus objetivos fueron llevar a cabo el censo de aprovechamientos para cuantificar el volumen de extracción por usos, actualizar el conocimiento de la posición de los niveles del agua subterránea en pozos seleccionados, así como su evolución en el tiempo. Como resultado de esto, se censaron un total de 39 aprovechamientos de los cuales 21 estaban activos y los 18 restantes inactivos. El volumen de extracción se cuantificó en 2.9 hm<sup>3</sup> anuales, 2.4 se destinaban a las actividades agrícolas. Con los datos piezométricos fue posible elaborar las configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático.

**ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL ACUÍFERO LAS PALMAS, ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado mediante convenio celebrado entre Comisión Nacional del Agua y Universidad Autónoma de Chihuahua, en 2009.** Este estudio tuvo como objetivos generales el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico de la

evolución de los niveles del agua, obtener información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo y reconocimientos geológicos, 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 se analizan y discuten en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

El acuífero se ubica en la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, que se caracteriza por ser una región árida y semiárida que se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila. Tiene como frontera al norte al Río Bravo, al oeste la Sierra Madre Occidental, al este la Sierra Madre Oriental y tiene un punto de contacto en el extremo sur con la Mesa del Centro. Se orienta más o menos noroeste-sureste y abarca parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila y Durango. Continúa hacia Estados Unidos de América con el nombre de "Basin and Range" (Raisz, E., 1964). Hawley, 1969 designa a esta porción de la provincia como "Subsección de Los Bolsones" por la abundancia de extensas llanuras con una suave pendiente que convergen hacia una zona central con drenaje endorreico, conocidas en la región como bolsones, caracterizados por la presencia de suelos arcillosos salinos, denominados localmente como "barreales", debido a extensas zonas lagunares sometidas a una intensa evaporación.

Las amplias llanuras, están limitadas normalmente por delgadas unidades serranas de gran longitud, orientadas en sentido NNW-SSE, que emergen de manera brusca sobre la llanura como islas. Son frecuentes los depósitos eólicos en forma de dunas o médanos que le imprimen al paisaje cierta particularidad fisiográfica, principalmente en la porción noroeste de la provincia Cuencas y Sierras.

Localmente no se observan rasgos fisiográficos importantes, salvo pequeños lomeríos de escasa altura que limitan una zona de relieve muy bajo, cuya pendiente disminuye sensiblemente hacia la laguna Los Juguetes, y otra serie de pequeñas depresiones que se inundan temporalmente convirtiéndose en humedales. El origen de la provincia está relacionado, entre otros eventos, con el plegamiento de las secuencias marinas del mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento, paleozoico y precámbrico, así como con el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, esto dio lugar a la formación de cuencas endorreicas.



### 3.2 Clima

El clima de la zona, de acuerdo con clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García para las condiciones de la República Mexicana, presenta el subtipo:

**BWk(x')**: que corresponde a un clima muy árido, templado, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C; lluvias repartidas todo el año y precipitación invernal mayor al 18% del total anual.

Para el análisis climatológico se utilizó la información de las estaciones climatológicas cuyo nombre y periodo de registro se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Estaciones Climatológicas usadas para análisis de la unidad hidrogeológica Las Palmas

Clave	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Registros
8110	Palomas, Ascensión	31.783	107.583	1995	1961 – 1987
-----	Columbus, Nuevo México	31.833	107.633	1223	1971 – 2000
8370	Bizmark, Ascensión	31.233	107.566	1260	2004 - 2008

Con base en sus registros, se determinó que la precipitación media anual para la zona de estudio es de 311.4 mm. La temperatura media anual es de 17.1 °C y presenta una variación con tendencia parabólica, que se manifiesta con mayor intensidad durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, decreciendo durante el resto del año. Los valores menores registrados corresponden a los meses de diciembre, enero y febrero. En cuanto a la evaporación potencial, su valor es del orden de 1686 mm/año.

### 3.3 Hidrografía

El acuífero Las Palmas se ubica en la Región Hidrológica 34 denominada “Cuencas Cerradas del Norte”, Cuenca Río Casas Grandes- Laguna de Guzmán, que es una región constituida por pequeñas cuencas endorréicas que descargan hacia lagunas. En esta región se agrupan todas las corrientes que se generan al norte del paralelo 28, entre la Sierra Madre Occidental y las cuencas de los ríos Conchos y Bravo. Esta región muestra amplias zonas de escasa precipitación pluvial, que determinan severas condiciones de sequía y de caudales exiguos en las corrientes establecidas, así como otras zonas donde ocasionalmente llegan a producirse escurrimientos. Asimismo, se emplaza en la cuenca Río Casas Grandes, y dentro de las subcuencas Hacienda San Francisco, Laguna Palomas y Laguna Guzmán.

La cuenca Río Casas Grandes se localiza en la porción noroeste del estado de Chihuahua, en esta región el cauce del río se estrecha notablemente al circular entre el extremo sur de la Sierra Alta (Palomas) y el norte de la Sierra Boca Grande, para después abrirse ampliamente en la planicie de Guadalupe Victoria. El río Casas Grandes es de carácter intermitente, pero en gran parte es efímero.

En el área de estudio no se encuentran arroyos o ríos de importancia, debido al estado avanzado de evolución geomorfológica, que se manifiesta como una extensa llanura, sujeta en la mayor parte de su superficie a inundación temporal efímera que forma extensas zonas lagunares que se convierten en “barreales”, como el Llano de Los Acebuches, ubicado en la porción nororiental del acuífero, que comparte su superficie con Nuevo México; la Laguna de Palomas, y otras más al sureste de ésta última, para culminar en la zona de El Barreal, localizada en el acuífero conejos-Médanos, una de las más extensas del estado de Chihuahua, la cual se prolonga hacia territorio estadounidense en una amplia planicie conocida como “Bolsón de La Mesilla”.

### **3.4 Geomorfología**

El acuífero Las Palmas se distribuye en la porción sur de una extensa zona de terreno llano limitada al norte por las montañas “Tres Hermanas - West Lime Hills” y por las “West Potrillo Mountains” en territorio de EUA. Entre ellas se desarrolla un extenso valle justamente al este del “Bolsón de la Mesilla”. Al sur, el acuífero está limitado por el “Campo Volcánico de Palomas”, observándose la disminución de la pendiente hacia varias zonas bajas, que comprenden casi toda el área de estudio donde finalmente convergen la mayor parte de los arroyos. La laguna de Los Juguetes con una altitud de 1267 msnm, y otras extensas depresiones al sureste de la población de Palomas, se alojan en las depresiones sujetas a inundación temporal, donde se han acumulado suelos limo-arcillosos cubiertos de abundante matorral, que continúan en dirección SE hasta la proximidades de “El Barreal” y Bolsón de Los Muertos, que forman parte de la continuidad sur del Bolsón de La Mesilla en territorio mexicano.

Sobre el llano de la Laguna Los Juguetes, al sur de la localidad de Las Palmas, apenas destacan los suaves lomeríos que constituyen a los cerros La Montura (1360 msnm) y los cerros El Ponchado y El Gato con 1480 y 1380 msnm respectivamente. Todas estas elevaciones constituyen un relieve suave labrado en rocas volcánicas de composición basáltica que están expuestas como flujos o como productos piroclásticos que desarrollan principalmente zonas de drenaje radial, que finalmente confluyen en la laguna Los Juguetes.

En la porción sur del acuífero se aprecian moderadas elevaciones, compuestas por sierras longitudinales de rumbo NW-SE, labradas principalmente en calizas, que normalmente presentan flancos escarpados, debido a la presencia de fallas de tipo normal.

#### 4. GEOLOGÍA

El acuífero se ubica en un contexto geológico esencialmente volcánico, en donde están expuestas rocas ígneas de tipo extrusivas, principalmente de composición basáltica y en menor proporción andesítica y riolítica (figura 2). Las emisiones volcánicas basálticas tuvieron lugar en el Plioceno–Cuaternario y se consideran el producto de un vulcanismo fisural profundo que cubrió una gran extensión en el Noroeste de Chihuahua, originando lo que se conoce en la literatura geológica del Estado de Chihuahua como “Campo Volcánico Palomas”. Parte del mismo continúa hacia territorio estadounidense en donde se le determinó una edad 2.9 – 5.7 Ma, de ahí que a la zona de Palomas se le asigne una edad Plioceno–Cuaternario.

En este campo volcánico se han identificado más de 30 conos cineríticos de forma de herradura debido a la presencia de flujos lávicos que destruyeron parcialmente la estructura (Aranda-Gómez et al., 2005). También se reportan diques de rumbo N-S y otros curvilíneos. Algunos de los volcanes se encuentran en la intersección de diques. Las andesitas y traquitas al parecer son más antiguas que los basaltos, y en algunas localidades se han reportado xenolitos que provienen del manto.

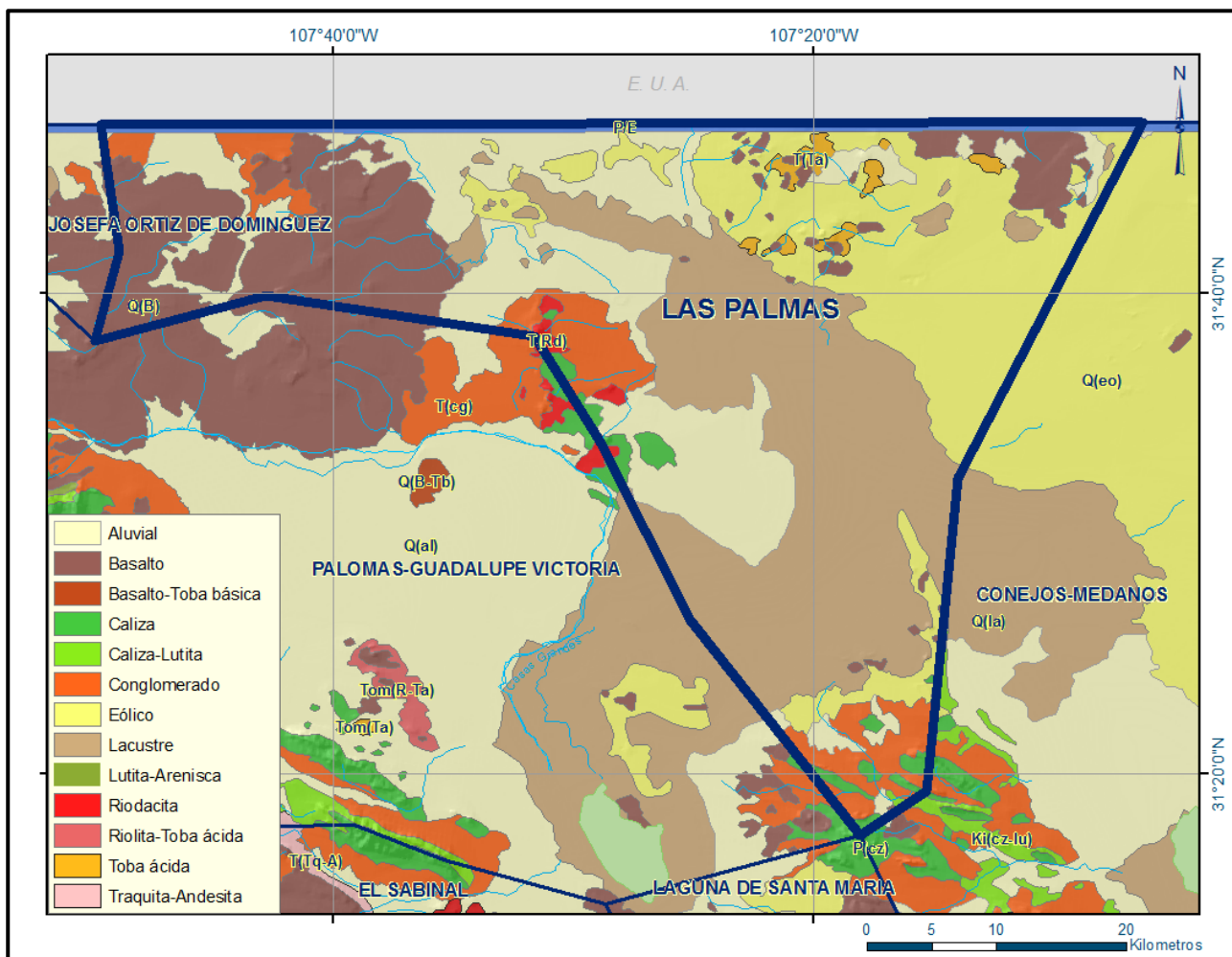


Figura 2. Plano Geológico del acuífero

## 4.1 Estratigrafía

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

### ***Rocas Sedimentarias***

#### ***Jurásico Superior***

Al SE del Cerro del Águila, afloran rocas sedimentarias del Jurásico, compuestas por areniscas y lutitas correlacionables con la Formación La Casita. Morfológicamente constituyen una serie de lomeríos suaves, que se alinean con rumbo SSE-NNW a lo largo de 2 km y que apenas sobresalen sobre el terreno. Las areniscas y lutitas presentan una clara estratificación, que en general muestra un echado muy suave buzante al SW. Hacia la margen NE de estos lomeríos circula el río Casas Grandes; pero, con un cauce muy estrecho, limitado al NE por las estribaciones más meridionales del Cerro del Águila, donde se localizan reducidos afloramientos de la Formación La Casita que muestra un echado hacia el NE. Con esto último se infiere que el cauce, en éste sitio se desarrolla a lo largo del eje de un anticlinal. Siguiendo su desarrollo, un poco más al sur, el río vuelve a ensanchar notablemente su cauce, hasta 5 km, y también su llanura de inundación: adquiriendo nuevamente una amplia red sinuosa de multicanales trenzados que dirigen su aporte a la Laguna de Guzmán.

#### ***Cretácico Inferior***

En los cerros El Águila y La Rosina, localizados en el límite suroccidental del acuífero, está expuesta una secuencia calcáreo-lutítica, que parece corresponder con las formaciones Las Vigas-Navarrete (KbehCz-Lu), Cuchillo (KbapCz-Lu) y Grupo Aurora (KaimCz-Lu) que descansan sobre areniscas y lutitas de la Formación La Casita. La secuencia se presenta deformada mostrando echados suaves del orden de 20° buzantes de manera preferencial al SE, sin embargo, en algunos sitios el buzamiento es al S, o bien al E-NE. Probablemente, la deformación local, se deba a la intrusión de cuerpos riolíticos-riodacíticos subvolcánicos; pero la deformación mayor es provocada por eventos laramídicos así como los inherentes a la distensión tectónica oligoceno-miocénica, que dio origen a la provincia fisiográfica Sierras y Cuencas.

Al oriente del Cerro El Águila y, separado por un pequeño valle, se localiza una secuencia predominantemente calcárea (KaimCz-Lu) que aflora mediante una serie de lomas de escasa altura en donde se aprecia una estratificación bien definida que muestra un echado suave hacia el NE. Esta secuencia aparentemente se ve afectada por una falla de desplazamiento lateral de rumbo NW-SE, que provoca un estrecho valle orientado con el mismo rumbo, entre la secuencia mencionada.

En la porción sur del acuífero se encuentran pequeñas sierras de forma alargada y de composición calcárea con rumbo NW-SE; que muestran un echado suave hacia el SW; aunque en la Sierra San Blas el buzamiento es más variable.

## **Rocas Ígneas Extrusivas**

### **Paleógeno – Cuaternario**

#### **Oligoceno (ToR-Rd, ToA, ToTq)**

Durante el Oligoceno se inicia un evento volcánico de tipo félsico representado por varios cuerpos subvolcánicos de composición riolítica y riodacítica (ToR-Rd); éstos se encuentran principalmente afectando a las secuencias calcáreo-lutíticas del Cretácico Inferior, expuestas tanto en los cerros La Rosina y El Águila, localizados en la porción suroccidental del acuífero Las Palmas, así como en los cerros Venancio y Venado ubicados en el NE, cerca de la frontera con EUA. Las riolitas y riodacitas en los cerros La Rosina y El Águila afloran normalmente mediante un relieve accidentado con numerosos crestones de color rojizo, que ocupan las mayores elevaciones del Cerro La Rosina.

Igualmente en la porción sur del acuífero, en la vecindad de la localidad Loma Colorada, se aprecian afloramientos de riolitas y riodacitas, que se expresan bajo la forma de lomas onduladas de altura tan escasa que apenas sobresalen sobre el terreno. De la misma manera, al SE de Loma Colorada y al NE de la Laguna de Guzmán afloran rocas volcánicas andesíticas (ToA), al parecer más jóvenes que las riolitas y riodacitas.

En la porción NE del acuífero Las Palmas, al SW de los cerros Venancio, se localiza un reducido afloramiento de traquitas (ToTq) consideradas entre las más jóvenes en la secuencia volcánica oligocénica; se destacan sobre el terreno como una loma baja, aislada y de forma elipsoidal, de coloraciones oscuras, que la hacen contrastar con las tonalidades amarillentas claras del terreno circundante.

#### **Mioceno (TmB)**

El Mioceno está representado únicamente en la porción sur del acuífero, entre las localidades Loma Colorada, Laguna de Guzmán, Santa Anita y la Sierra San Blas, compuesto por flujos basálticos (TmB) que constituyen lomas o mesetillas de escasa altura, que sobresalen como islas, rodeadas de sedimentos lacustres y eólicos principalmente.

#### **Plioceno-Pleistoceno (TpiQptB)**

En la porción occidental del acuífero, se pueden observar varios conos volcánicos con forma de herradura generalmente, debido a las extravasaciones de lavas basálticas a través del cráter, en los que se ha desarrollado una red de drenaje principalmente de tipo radial. Se observan algunas depresiones tal vez ya muy erosionadas que pudieran corresponder a xalapazcos o maars. Los basaltos (TpiQptB) forman parte del “campo volcánico basáltico de Palomas” que comprende una extensión aproximada de 400 km<sup>2</sup>, de los cuales la mitad norte corresponde al área de estudio del acuífero Las Palmas.

En el campo volcánico están expuestas rocas de tipo tanto extrusivo piroclástico como lávico, variando en composición desde andesíticas hasta basálticas, predominando las segundas. Estas

emisiones volcánicas tuvieron lugar en el Plioceno–Cuaternario, consideradas como vulcanismo fisural profundo que cubrió una gran extensión en el NW de Chihuahua, se le determinó una edad 2.9–5.7 Ma; debido a eso se le asigna al Palomas una edad Plioceno – Cuaternario. En este campo volcánico se han identificado más de 30 conos cineríticos de forma de herradura debido a la presencia de flujos lávicos que destruyeron parcialmente la estructura (Aranda-Gómez et al. 2005).

De acuerdo con Hoffer, J. M. (1981), los basaltos del área de Palomas muestran un mayor grado de diferenciación que los del “Rift del Río Grande” por situarse en el flanco occidental del mismo. Seager y Morgan (1979) colocan el límite occidental del rift, al este de las poblaciones de Deming y Columbus en Nuevo México y, por lo tanto, al este del Campo Volcánico de Palomas. De esta manera, los basaltos de las “West Potrillo Mountains” que penetran en territorio mexicano y afloran en la porción nororiental del acuífero Las Palmas (alrededores de los cerros Venancio), estarían situadas dentro del rift. Las unidades basálticas más antiguas incluyen picritas y basaltos de olivino que subyacen a traquibasaltos, hawaitas, mugaritas y tristanitas.

### ***Plioceno (TplAr-Lm)***

En la porción oriental del acuífero están expuestas areniscas y limolitas (TplAr-Lm) que constituyen suaves terrazas en una franja alabeada de rumbo casi N-S, cubierta parcialmente por sedimentos arenosos de origen eólico.

### ***Cuaternario***

#### ***Holoceno***

#### ***Conglomerado polimíctico (QhoCgp)***

Al oriente de la localidad Las Palmas se observan depósitos conglomeráticos que constituyen pequeñas lomas redondeadas que descienden en su pendiente desde territorio de Nuevo México hacia el cerro La Montura, éste último, ya dentro del estado de Chihuahua. Se aprecian bien disectados por un sistema de drenaje dendrítico. Los conglomerados constituyen gran parte de los alrededores de los cerros Venancio, localizados en la porción oriental del acuífero.

#### ***Limo-Arena (QhoLm-Ar)***

Como productos de la erosión, en las zonas de terreno bajo, se localizan depósitos sedimentarios granulares de edad Cuaternaria, compuestos por limos y arenas, con cantidades variables de arcillas sobre todo en las zonas más bajas sujetas a efímeras inundaciones, como es el caso de la laguna Los Juguetes y las extensas zonas bajas situadas desde el poblado Palomas y prácticamente toda la porción este y sur del acuífero.

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

Éste tipo de depósitos de grano fino originados en medios lacustres se localiza al sureste de la población de Palomas, rodeando extensamente a la Laguna de Guzmán, así como también en las grandes planicies ubicadas al NE, E y SE de los cerros La Rosina y El Águila.

### **Eólico (Qhoeo)**

Depósitos de origen eólico se ubican hacia el SE del cerro El Águila y al norte de la localidad de Santa Anita, en la porción sur del acuífero

## **4.2 Geología estructural**

El área de estudio posee los rasgos estructurales característicos de la provincia Cuencas y Sierras, que es la continuidad hacia el sureste en territorio mexicano de “Basin and Range” desde Arizona y Nuevo México. Así, las sierras presentes en el área constituyen bloques levantados que emergen sobre la amplia llanura lagunar que se desarrolla desde la Laguna de Guzmán hasta aquella situada al oriente de los cerros La Rosina y El Águila, en la porción oriental del área de estudio, que también tiene continuidad hacia el SE hacia la extensa llanura conocida como “El Barreal”, indicando un relleno sedimentario de fosa tectónica, conformada predominantemente por rocas basálticas hacia fines del Terciario y principios del Cuaternario. Las fallas y pliegues tienen una orientación general NW-SE, congruente con las unidades geomorfológicas que distinguen a la región.

En general, la porción noroeste del estado de Chihuahua, en la frontera con EUA, comprende una serie de unidades geomórficos-estructurales, compuestas litológicamente por secuencias sedimentarias marinas plegadas del Mesozoico, depositadas sobre rocas sedimentarias paleozoicas, las cuales descansan a su vez sobre un basamento cristalino del Precámbrico, que de acuerdo con un fechamiento radiométrico en el pozo Los Chinos de PEMEX se reporta una edad de 1327 Ma (López Doncel, Labarthé Hernández, Mata Segura, 2005).

Durante el Mesozoico se desarrolla la extensa y continua “Cuenca de Chihuahua” con el consiguiente depósito de sedimentos marinos del Jurásico y Cretácico, que fueron fuertemente afectados por la orogenia Laramide, formando estructuras plegadas y afalladas de rumbo casi NW-SE. A esta época de deformación tectónica hay que agregar también los esfuerzos tensionales que sufrieron tanto las unidades sedimentarias mesozoicas como las unidades volcánicas del Terciario, durante el Oligoceno-Mioceno, generadores de la provincia fisiográfica Sierras y Cuencas, cuyos rasgos geomórficos-estructurales dominan actualmente en el paisaje de la región, junto con los efectos del desarrollo del cercano “Rift del Río Grande”.

## **4.3 Geología del subsuelo**

Para la interpretación de la geología del subsuelo, se tomó además del estudio de 2009, información complementaria procedente de varias fuentes.

Al sur del acuífero se interpreta un fuerte espesor de los depósitos sedimentarios aluviales y lacustres debidos a la fosa “El Barreal” que se intercalan con las rocas volcánicas basálticas del “campo volcánico Palomas”, constituyendo las unidades hidroestratigráficas UH2 y UH3, que a su vez

conforman el acuífero principal de la región. Al oriente de la Sierra San Blas, y mediante falla normal, se desarrolla la fosa “El Barreal”, con un posible relleno sedimentario mayor de 700 m, que descansa sobre basamento calcáreo-volcánico (UH1). La parte superior del relleno presenta un moderado espesor de sedimentos lacustres en sus diferentes facies de playa, con sedimentos evaporíticos y eólicos. El desarrollo de facies arcillosas puede ocasionar confinamientos y semi confinamientos del acuífero. A una profundidad de poco más de 200 m se encuentran sedimentos de grano más grueso, grava–arena, originados por depósitos de piedemonte, que pueden correlacionarse con los sedimentos de Grupo Gila del Neógeno del vecino estado de Nuevo México.

Hacia el oeste de la fosa, en las inmediaciones de los cerros El Águila, el espesor del relleno sedimentario se adelgaza y alcanza 200 m, predominando en su parte superior sedimentos de grano fino de facies lacustres con sedimentos evaporíticos intercalados, derivando a sedimentos eólicos. En su porción occidental, el relleno sedimentario comprende depósitos del ancestral río Casas Grandes. Los espesores variables del relleno sedimentario se deben al fallamiento normal extensional que los afectó, a excepción del relleno sedimentario Cuaternario-pleioceno.

Se trazó una sección con rumbo aproximado NW-SE. En su porción NW corta rocas basálticas (Campo Volcánico Palomas), hasta la vecindad del Cerro La Rosina, compuesto por flujos, piroclastos y sedimentos clásticos intercalados (TplQptB), apenas cubiertos por una delgada capa de suelo y sedimentos lagunares. Bajo los basaltos se estima la presencia de rocas volcánicas Oligoceno-Miocénicas que descansan sobre un basamento sedimentario plegado del Mesozoico, que junto con las rocas volcánicas, se ve afectado por varios cuerpos subvolcánicos dómicos, como se observa claramente en el Cerro La Rosina y en las zonas cercanas al mismo.

Hacia la porción SE de la sección se estima un espesor mayor de sedimentos clásticos mayormente lagunares (QhoLm-Ar, QhoCgp y TplAr-Lm) que cubren a las rocas volcánicas. En la sección se pueden observar numerosos diques alimentadores de los productos volcánicos que constituyen el Campo Volcánico Palomas, que pudieron haber reactivado las fallas ocasionadas durante la distensión tectónica del Paleógeno y Neógeno.

Es posible definir que el acuífero está conformado, en su porción superior, por un medio granular y en su porción inferior por un medio fracturado. El medio granular está constituido por materiales granulares finos a gruesos. Los de menor granulometría, se localizan hacia las zona topográficamente más bajas que alojan las lagunas, que por su baja permeabilidad favorece las condiciones de confinamiento y semiconfinamiento del agua subterránea contenida en los materiales granulares subyacentes. Los materiales granulares de mayor granulometría, principalmente arenas, arcillas, gravas y conglomerados, constituyen el acuífero regional que actualmente se explota. Esta unidad aflora ampliamente, presenta permeabilidad media y puede alcanzar espesores de varios cientos de metros en el centro del valle.



El medio fracturado está formado principalmente rocas ígneas del Paleógeno y Neógeno como basaltos, tobas riolíticas, andesitas y calizas del Cretácico que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. El conjunto de estas rocas bordean al acuífero, conformando las sierras que lo delimitan. La permeabilidad que presentan estas rocas es de media a baja.

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 Tipo de acuífero

El sistema acuífero es heterogéneo y anisótropo, en general de **tipo libre**, con condiciones locales de semiconfinamiento, debido a la presencia de sedimentos arcillosos. Se aloja en un medio sedimentario continental de relleno de valle, de mediana a baja permeabilidad intercalado con un paquete volcánico de basaltos Pliocénicos-cuaternarios de alta porosidad, que en conjunto tiene un espesor promedio que varía de 400 a 700 m.

Las rocas sedimentarias y volcánicas de Jurásico (calizas, lutitas, areniscas, basaltos, tobas y riolitas) que subyacen al acuífero, cuando no presentan fracturamiento, constituyen a profundidad el basamento hidrogeológico y ocasionalmente constituyen sus fronteras laterales. Estas rocas afloran aisladamente en pequeñas elevaciones topográficas tanto al noreste como sureste del acuífero y presentan en general baja permeabilidad.

### 5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades desarrolladas en el 2009, sólo fue posible realizar 3 pruebas de bombeo en etapa de abatimiento, cuya duración fue de 24 horas. De su interpretación por diversos métodos, se deduce que los valores de transmisividad varían de 35 m<sup>2</sup>/d a 330 m<sup>2</sup>/d (**4.0 x 10<sup>-4</sup> a 3.8 x 10<sup>-3</sup> m/s**), con un valor promedio de 186 m<sup>2</sup>/d (**2.1 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s**), en tanto que la conductividad hidráulica presenta valores que oscilan entre 0.4 y 0.7 m/d (**4.6 x 10<sup>-6</sup> a 8.1 x 10<sup>-6</sup> m/s**). Los valores más bajos se asocian a los sedimentos eólicos finos y lacustres que se presentan en las inmediaciones de las lagunas y los más altos a los sedimentos aluviales.

Los valores de rendimiento específico  $S_y$  varían de 0.09 a 0.12, congruentes con el acuífero. El coeficiente de almacenamiento  $S$  muestra resultados cuyo promedio es 0.0004.

### 5.3 Piezometría

Con la información piezométrica generada en el 2009 se definió una red de monitoreo piezométrico utilizando 10 pozos que cubren la mayor superficie de explotación del acuífero.

## 5.4 Comportamiento hidráulico

### 5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de la profundidad al nivel estático para el año 2005 se muestra en la figura 3. Las mayores profundidades se localizan en la porción noroccidental del acuífero y varían entre de 60 a 100 m, mientras que las menores se ubican en la porción colindante con el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, entre los poblados Veracruz y Seis de Enero, con valores menores a 20 m.

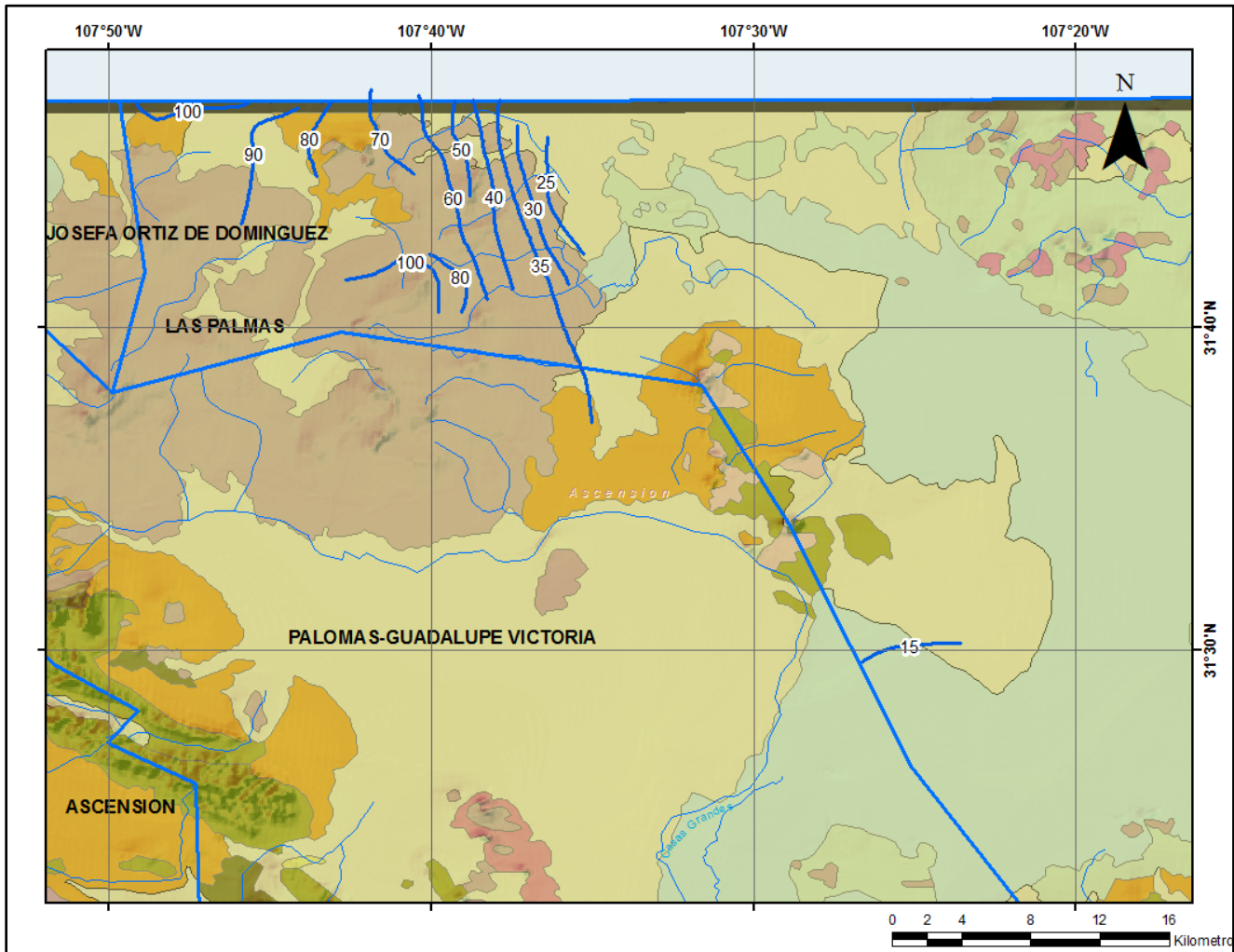


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2005)

Para el 2009, la configuración presenta prácticamente los mismos valores extremos, de 60 a 105 m, que se observan principalmente en la porción noroccidental del acuífero (figura 4). Las menores profundidades, de 20 a 35 m, se registraron en la parte central del valle, hacia el poniente, entre los poblados Seis de Enero y Veracruz, éste último dentro del acuífero adyacente Palomas – Guadalupe Victoria.

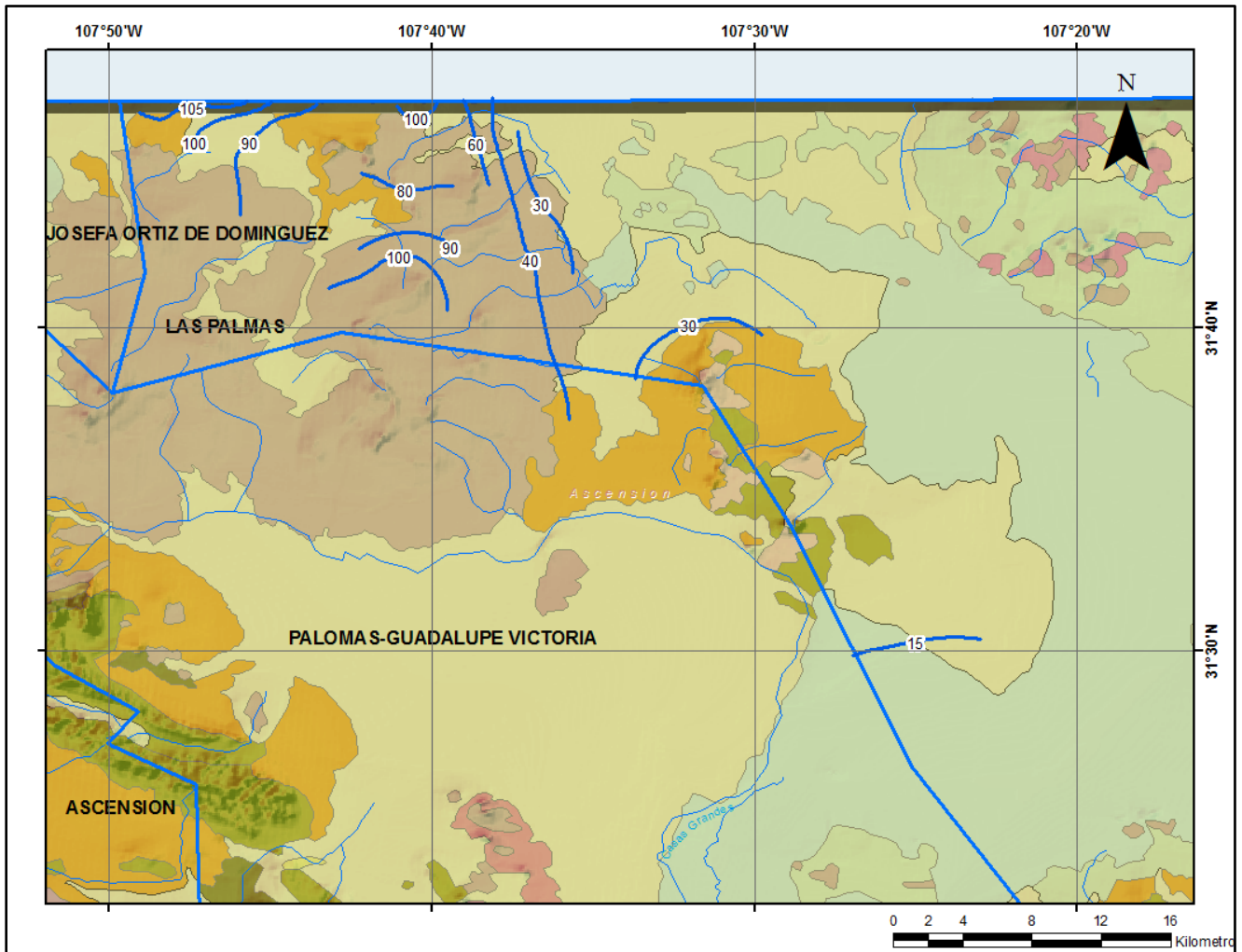


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2009)

#### 5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de elevación del nivel estático para el año 2005, mostrada en la figura 5, los valores varían de 1160 a 1210 msnm, las mayores elevaciones se registran en la porción noroccidental del acuífero en donde se observa también un cono depresivo. Niveles de 1180 a 1200 msnm se infieren en la sección norte y noreste, con flujo hacia los EUA. Por último, en el extremo suroccidental se presenta flujo subterráneo hacia el acuífero vecino Palomas – Guadalupe Victoria.

Las elevaciones mayores, de 1190 y 1210 msnm, se definen en las porciones oriental y occidental del extremo norte del acuífero, y bordeando algunas otras zonas de topografía elevada.

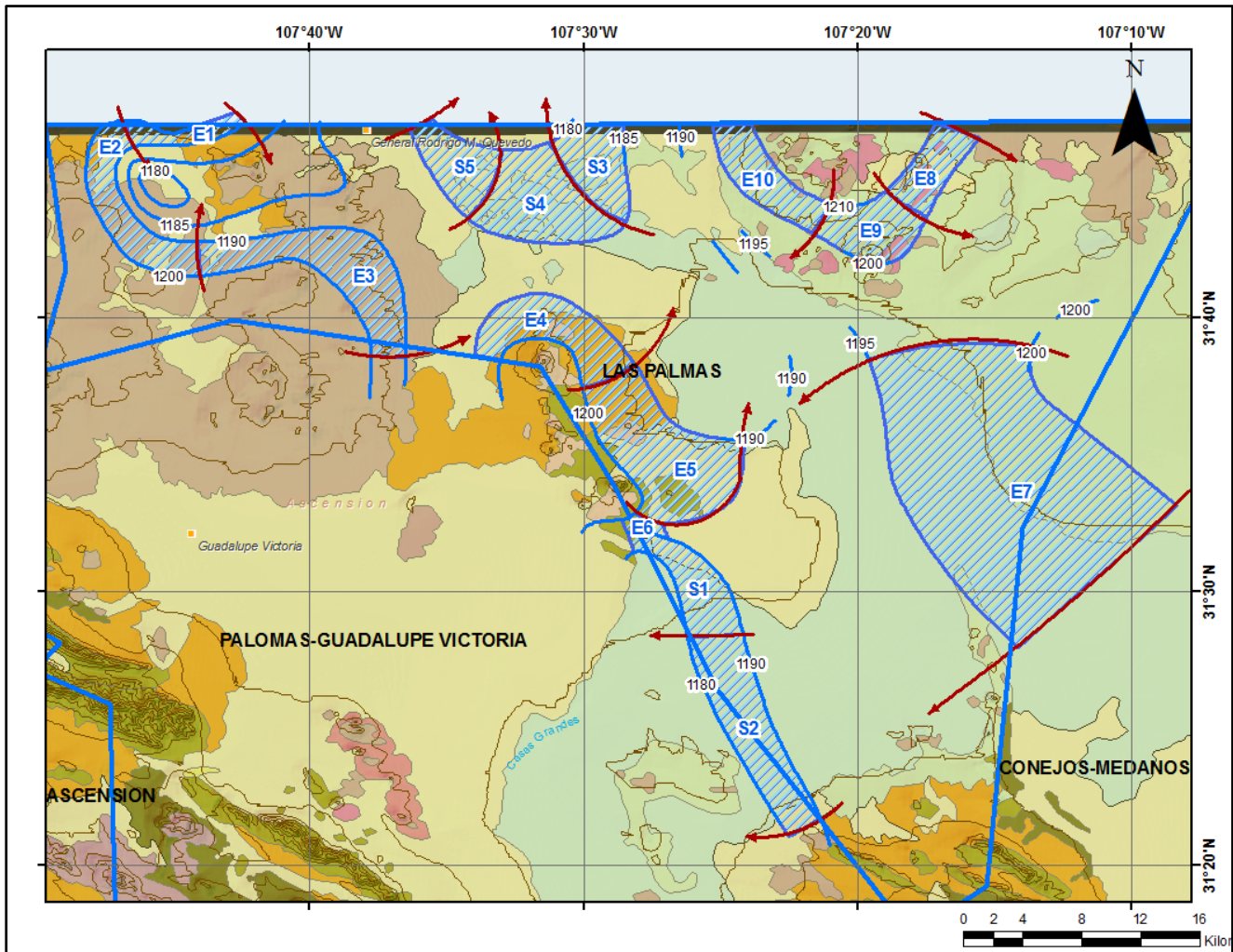


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2005)

Para el año 2009 (figura 6) en la parte noroeste del acuífero, las curvas son concéntricas con valores de 1200 a 1150m formando un cono de depresión generado por la concentración del bombeo. En el resto del acuífero con la configuración inferida, las curvas de mayores elevaciones se ubican, por efecto de la topografía, en las estribaciones de las elevaciones topográficas que se localizan en las porciones centro-noroccidental y nororiental del acuífero.

Se identifican salidas por flujo subterráneo hacia los EUA y en el sur hacia el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria.

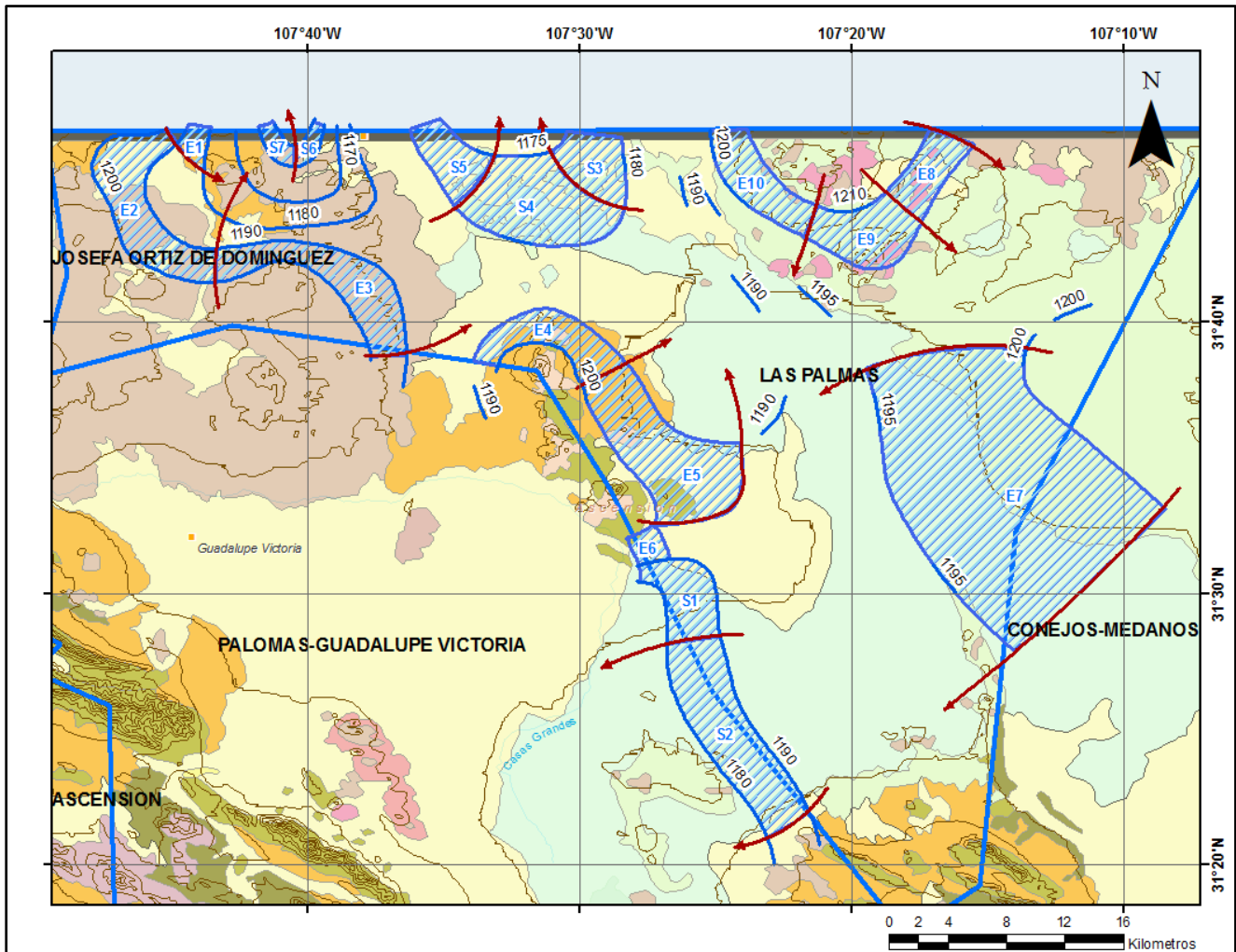


Figura 6. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

### 5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2005 – 2009 registra valores puntuales de abatimiento que varían entre 1 y 6 metros en la porción noroccidental del acuífero, que representan un ritmo anual de abatimiento de 0.2 a 1.5 m. Al oeste de poblado Seis de Enero se registran recuperaciones de hasta 1 metro anual.

La zona con información piezométrica es muy pequeña, en la superficie restante del acuífero no existen aprovechamientos, por lo que se estima que no existe variación en la posición de los niveles del agua subterránea.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en el 2005, existen en el acuífero un total de 39 aprovechamientos de los cuales 35 son pozos y 4 son norias. Del total de captaciones encontradas

21 están activas y 18 restantes inactivas. De las obras activas, 7 se destinan a uso doméstico, 5 para uso agrícola, 4 para agua potable, 3 para uso ganadero y las 2 restantes para uso recreativo.

El volumen de extracción estimado para 2005 es de **2.9 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 2.3 hm<sup>3</sup> (79.3%) se destinan al uso agrícola y los 0.6 hm<sup>3</sup> (20.7%) restantes se destinan al abastecimiento de agua potable de las comunidades de la región y para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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:

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

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo del 2005 al 2009, en una superficie de 1042 km<sup>2</sup>, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

De esta manera la ecuación de balance propuesta para éste acuífero es la siguiente:

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

Donde:

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

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

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

**B**= Bombeo;

**S<sub>h</sub>**= Salidas por flujo horizontal;

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

## 7.1 Entradas

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

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

### 7.1.1 Recarga vertical ( $R_v$ )

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

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

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

### 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 piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para los años 2005 y 2009 (figuras 5 y 6), mediante la siguiente expresión:

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

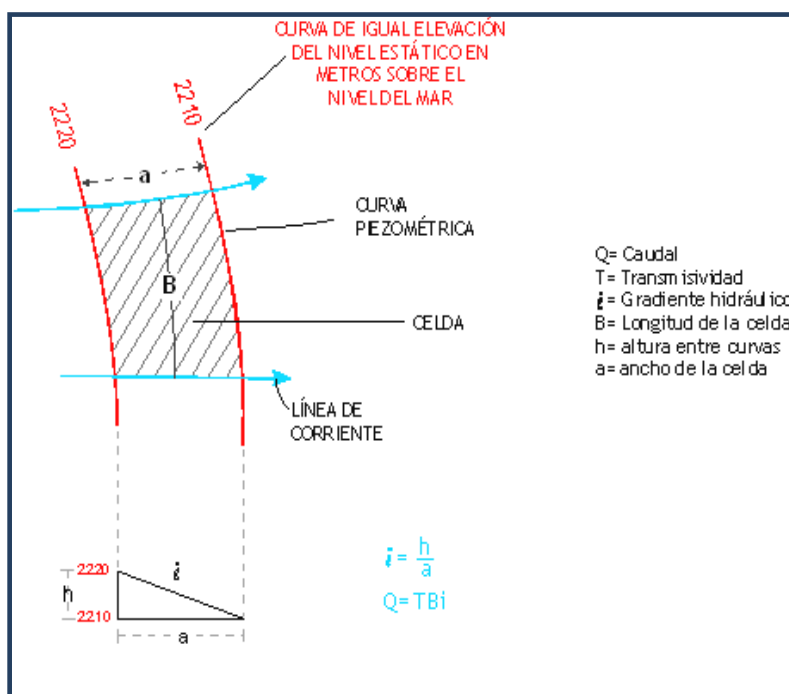
Donde:

$Q$ = Gasto;

$T$ = Transmisividad;

$B$ = Longitud de la celda;

$i$ = Gradiente hidráulico;



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

El cálculo de las entradas subterráneas para el año 2005 y 2009 se presenta en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Cálculo de entradas subterráneas (2005)

Celda	Longitud B (m)	Ancho a (m)	$h_2-h_1$	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)
E1	6496	1849	10	0.0054	0.000	0.0141	0.4
E2	10074	2535	10	0.0039	0.000	0.0079	0.3
E3	11760	3255	10	0.0031	0.000	0.0072	0.2
E4	7974	2931	10	0.0034	0.000	0.0109	0.3
E5	9595	5097	10	0.0020	0.000	0.0075	0.2
E6	1926	1687	10	0.0059	0.000	0.0046	0.1
E7	18363	12017	5	0.0004	0.000	0.0031	0.1
E8	5425	2695	10	0.0037	0.000	0.0040	0.1
E9	5889	3503	10	0.0029	0.000	0.0034	0.1
E10	7541	2846	10	0.0035	0.000	0.0053	0.2
<b>Total Entradas</b>							<b>2.1</b>



Tabla 4. Cálculo de entradas subterráneas (2009)

Celda	Longitud B (m)	Ancho a (m)	$h_2-h_1$	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)
E1	2429	1770	10	0.0056	0.0004	0.0055	0.2
E2	13188	2821	10	0.0035	0.0002	0.0093	0.3
E3	10480	2699	10	0.0037	0.0002	0.0078	0.2
E4	7510	2481	10	0.0040	0.0004	0.0121	0.4
E5	10450	3665	10	0.0027	0.0004	0.0114	0.4
E6	1825	2864	10	0.0035	0.0004	0.0025	0.1
E7	18600	1151	5	0.0004	0.0004	0.0032	0.1
E8	5425	2695	10	0.0037	0.0002	0.0040	0.1
E9	5889	3338	10	0.0030	0.0002	0.0035	0.1
E10	7541	2846	10	0.0035	0.0002	0.0053	0.2
<b>Total Entradas</b>							<b>2.0</b>

Los valores de T utilizados corresponden al promedio de los obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptados al espesor saturado de las celdas de flujo.

De los resultados mostrados en las tablas anteriores, se observa que el valor promedio para las entradas por flujo subterráneo es de **2.1 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.1.3 Retornos de riego (Rr)

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

Debido a la falta de información de láminas de riego por cultivo y a la correlación entre acuíferos, se consideró un 20% del volumen aplicado al uso agrícola que retorna al acuífero en forma de recarga inducida, considerando la profundidad al nivel del agua subterránea mayor a los 40 m en la zona agrícola y la presencia de estratos de baja permeabilidad en el subsuelo.

Por lo que el volumen de entradas por retornos de riego asciende a **Rr = 0.5 hm<sup>3</sup> anuales**.

## 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B). No existen descargas por flujo base, evapotranspiración ni manantiales. Las salidas por flujo subterráneo (Sh) ocurren en la porción norte del acuífero, hacia los EUA, y en el extremo sur, hacia el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria.

### 7.2.1 Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción anual es de **2.9 hm<sup>3</sup> anuales**.

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

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático, mostradas en las figuras 5 y 6. Su valor promedio es de **1.3 hm<sup>3</sup> anuales**, tal como se muestra en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Cálculo de salidas subterráneas (2005)

Celda	Longitud B (m)	Ancho a (m)	$h_2-h_1$	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)
S1	7029	3281	10	0.0030	0.000	0.0086	0.3
S2	14325	2914	10	0.0034	0.000	0.0197	0.6
S3	5144	5354	5	0.0009	0.000	0.0029	0.1
S4	5496	6170	5	0.0008	0.000	0.0027	0.1
S5	5579	4248	5	0.0012	0.000	0.0039	0.1
<b>Total Salidas</b>							<b>1.2</b>

Tabla 6. Cálculo de salidas subterráneas (2009)

Celda	Longitud B (m)	Ancho a (m)	$h_2-h_1$	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)
S1	5871	3807	10	0.0026	0.0004	0.006	0.2
S2	13615	3195	10	0.0031	0.0004	0.017	0.5
S3	4098	4261	5	0.0012	0.0006	0.003	0.1
S4	7581	6225	5	0.0008	0.0006	0.004	0.1
S5	4518	3564	5	0.0014	0.0006	0.004	0.1
S6	2748	1174	5	0.0043	0.0006	0.007	0.2
S7	2755	1409	5	0.0035	0.0006	0.006	0.2
<b>Total Salidas</b>							<b>1.5</b>

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

Debido a que sólo en la porción noroccidental del acuífero existe escasa información piezométrica y a que los valores de evolución sólo permiten identificar cambios puntuales tanto positivos como negativos en una superficie pequeña del acuífero, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

Por lo tanto, para fines del balance  $\Delta V(S) = 0$ .

#### Solución a la ecuación de balance

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

$$\begin{aligned} R_v &= S_h + B \pm \Delta V(S) - E_h - R_r \quad (2) \\ R_v &= 1.3 + 2.9 + 0.0 - 2.1 - 0.5 \\ R_v &= 1.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + E_h + R_r \\ R_t &= 1.6 + 2.1 + 0.5 \\ R_t &= 4.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

## 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 siguiente expresión:

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

Donde:

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

**Rt**= Recarga total media anual;

**DNCOM**= Descarga natural comprometida;

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

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

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso su valor es **4.2 hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales 3.7 corresponden a la recarga natural y los 0.5 hm<sup>3</sup> restantes a la recarga inducida.

### **8.2 Descarga natural comprometida (DNCOM)**

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes, sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para el caso del acuífero Las Palmas se considera un volumen de descarga natural comprometidas de 0.8 hm<sup>3</sup> anuales que corresponden a la salidas promedio por flujo subterráneo hacia el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria. Las salidas hacia EUA no se consideran comprometidas porque no existe infraestructura hidráulica para su aprovechamiento.

Por lo tanto **DNCOM = 0.8 hm<sup>3</sup> anuales**.

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

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

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2010, es de 1'150,500 m<sup>3</sup>/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 REPDA.

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

$$DAS = 4.2 - 0.8 - 1.150500$$

$$\mathbf{DAS = 2.249500 \text{ hm}^3/\text{año.}}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **2'249,500 m<sup>3</sup> anuales** disponibles para otorgar nuevas concesiones. Sin embargo, es necesario considerar que el volumen de extracción real es mayor que el volumen concesionado.

Cabe hacer la aclaración de 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 su 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, se podrá hacer una evaluación posterior.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

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. Realizado por la empresa Estudios y Proyectos en Agua Subterránea S.A de C.V

Comisión Nacional del Agua, 2009. Actualización Geohidrológica del acuífero Las Palmas, estado de Chihuahua (2009). Realizado por la Universidad Autónoma de Chihuahua