

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Palomas-Guadalupe
Victoria (0812), 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.**

CCLXXXVII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "RÍO BRAVO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE CHIHUAHUA							
0812	PALOMAS-GUADALUPE VICTORIA	15.6	2.3	16.102073	28.8	0.000000	-2.802073

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 0812 PALOMAS – GUADALUPE VICTORIA,
ESTADO DE CHIHUAHUA***

México, D.F. Mayo de 2010

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	6
3.1. Provincia fisiográfica.....	6
3.2. Clima.....	6
3.3. Hidrografía	7
3.4. Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1. Estratigrafía.....	9
4.2. Geología estructural	13
4.3. Geología del subsuelo	14
5. HIDROGEOLOGÍA	15
5.1. Tipo de acuífero.....	15
5.2. Parámetros hidráulicos	16
5.3. Piezometría.....	16
5.4. Comportamiento hidráulico.....	16
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	17
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	18
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	20
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS	21
7.1. Entradas.....	22
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	22
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	23
7.1.3. Retorno de riego (Rr).....	25
7.2. Salidas	26
7.2.1. Bombeo (B).....	26
7.2.2. Evapotranspiración (ETR)	26
7.3. Cambio de almacenamiento (ΔVS)	27
8. DISPONIBILIDAD	29
8.1. Recarga total media anual (Rt).....	29
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	29
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	29
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS).....	30
9. BIBLIOGRAFIA.....	31

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 (REPD).

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 Palomas – Guadalupe Victoria, definido con la clave 0812 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se ubica en la porción noroccidental del estado de Chihuahua, entre los paralelos 31°08'19” y 31°41'28” de latitud norte y los meridianos 107°18'01” y 107°59'36” de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1,830 km².

Colinda al norte con el acuífero Josefa Ortiz de Domínguez, al nor-noreste con Las Palmas, al sur con los acuíferos El Sabinal y Laguna de Santa María, al oeste con el acuífero Ascensión, todos ellos pertenecientes al estado de Chihuahua (figura 1).

Geopolíticamente el acuífero se encuentra emplazado totalmente en la parte central del municipio de Ascensión.

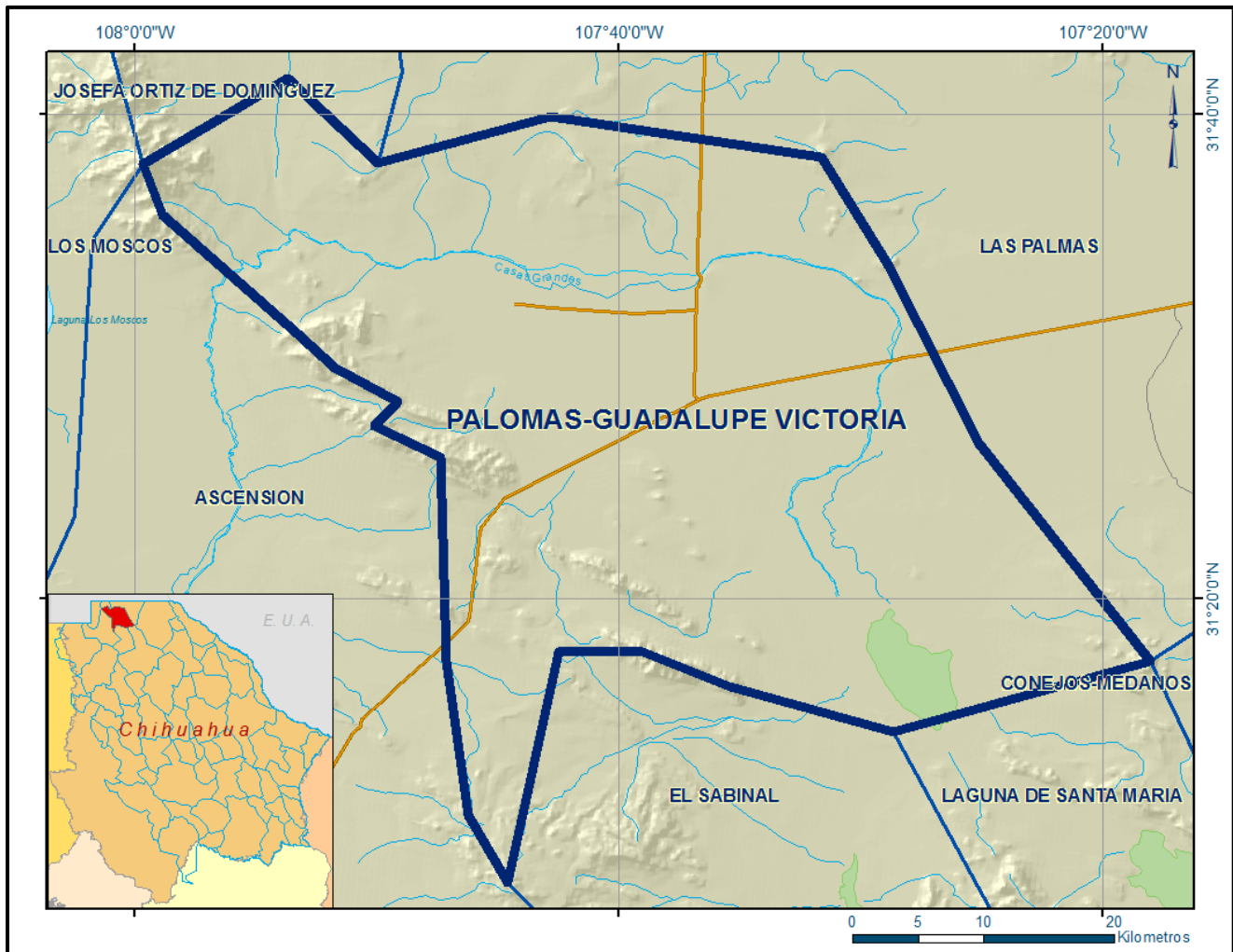


Figura 1. Localización del acuífero Palomas – Guadalupe Victoria

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 0812 PALOMAS-GUADALUPE VICTORIA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	107	46	10.5	31	11	5.0
2	107	47	6.7	31	17	25.4
3	107	47	18.9	31	25	52.0
4	107	50	3.8	31	27	7.8
5	107	49	7.5	31	28	7.7
6	107	51	40.9	31	29	30.7
7	107	53	14.5	31	30	56.7
8	107	58	48.4	31	35	49.7
9	107	59	36.3	31	37	55.9
10	107	53	37.8	31	41	27.9
11	107	49	54.6	31	38	0.3
12	107	42	47.7	31	39	52.9
13	107	31	37.0	31	38	12.7
14	107	28	52.9	31	33	51.1
15	107	25	7.8	31	26	24.3
16	107	18	0.0	31	17	25.0
17	107	28	40.1	31	14	32.3
18	107	35	23.8	31	16	24.4
19	107	39	7.9	31	17	51.2
20	107	42	28.0	31	17	48.0
21	107	44	32.8	31	8	18.6
1	107	46	10.5	31	11	5.0

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Palomas– Guadalupe Victoria 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 DOF el 25 de abril de 1979. Este veda es tipo II, en la 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, a través de los distritos agrícolas de Guadalupe Victoria y Ejido 6 de Enero.

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 ha llevado a cabo diversos estudios geohidrológicos de evaluación. Entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LAS ZONAS DE ASCENSIÓN-JANOS, CHIHUAHUA, elaborado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1991.

Mediante actividades de campo que incluyeron censo e hidrometría de las extracciones y pruebas de bombeo, se planteó el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga media anual que reciben los acuíferos.

MONITOREO PIEZOMÉTRICO DE LOS ACUÍFEROS DE ASCENSIÓN, PALOMAS - GUADALUPE VICTORIA, VALLE DE JUÁREZ Y CHIHUAHUA - SACRAMENTO Y CALIDAD DEL AGUA DE LOS ACUÍFEROS CHIHUAHUA-SACRAMENTO Y TABALAOPA - ALDAMA, DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado por Consultores y Constructores del Norte, S.A de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 2005. En este estudio se determinó un volumen anual de extracción de 22.0 hm³, principalmente para uso agrícola, que tiene como fuentes de recarga los volúmenes provenientes de las sierras del norte y noroeste, además de la infiltración a través del río Casas Grandes, cuando presenta escurrimientos. La relación entre recarga y descarga manifiesta una condición geohidrológica de subexplotado. En el lapso agosto-septiembre de 2005, efectuó un recorrido de mediciones piezométricas en 56 aprovechamientos.

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL ACUÍFERO PALOMAS-GUADALUPE VICTORIA, ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, para la Comisión Nacional del Agua, 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 Palomas–Guadalupe Victoria se ubica en la porción noroeste de la Provincia Fisiográfica Cuencas y Sierras, dentro del territorio mexicano, la cual continua hacia Estados Unidos de América con el nombre de “Basin and Range” (Raisz, E., 1964). Hawley, 1969, designa a esta porción de la provincia como “Subsección de Los Bolsones” por la abundancia de extensas llanuras de suave pendiente que convergen hacia una zona central con drenaje endorreico, conocidas en la región como bolsones, caracterizados por suelos arcillosos salinos, denominados localmente como “barreales”, debido a extensas zonas lagunares sometidas a una intensa evaporación. Estos bolsones son generalmente de mayor extensión hacia la porción centro-oriental del estado de Chihuahua hasta el Río Bravo y el estado de Coahuila.

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

Dentro de esta provincia, el acuífero está ubicado en la subprovincia Llanuras y Médanos del Norte, en la cual las llanuras, las amplias bajadas, las pequeñas sierras escarpadas y los campos de dunas (médanos) que caracterizan a la región, se extienden hacia el vecino país del norte, de donde la subprovincia en forma digitada se introduce también en el estado de Sonora.

Los ríos Casas Grandes y Santa María penetran por el sur a la subprovincia, para extinguirse en ella. Los aluviones recientes y algunos antiguos (conglomerados) cubren gran parte de las bajadas y de las llanuras, aunque hay importantes afloramientos dispersos de rocas volcánicas ácidas en las sierras y lomeríos y en menor cantidad, rocas basálticas en el centro de la subprovincia; también afloran calizas en las sierras y lomeríos. Localmente, el área de estudio comprende un terreno de topografía suave y baja que origina un rasgo fisiográfico importante que da origen al “Campo Volcánico de Palomas” con presencia de conos volcánicos de escasa altura.

3.2. Clima

El clima de la zona, de acuerdo con la clasificación hecha por Köppen y adaptada por E. García para las condiciones de la República Mexicana, corresponde al tipo BWk(x'), clima muy árido, templado, cuyas características generales son 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 Ascensión, Palomas y Bismark, que cuenta con registro para el periodo 1903 a 2008.

Con base en ellos, se determinó que la precipitación media anual para la zona de estudio es de 318 mm. La temperatura media anual es de 17.3 °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 de 1686 mm/año.

3.3. Hidrografía

El acuífero Palomas-Guadalupe Victoria se ubica en la Región Hidrológica 34 “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, Río Casas Grandes, Laguna Guzmán y Laguna Palomas.

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.

El acuífero es cortado de oeste a este por el río Casas Grandes, cerca de la población Guadalupe Victoria, para doblar su curso hacia el sur cerca del cerro El Águila y desaparecer mucho más al sur en la Laguna de Guzmán, situada en la porción sur del acuífero. En su tramo oeste-este el río Casas Grandes adquiere nuevamente características trezadas, mostrando una densa red de multicanales con una achura variable, mucho más en su tramo de rumbo sur, antes de su descarga en la Laguna de Guzmán. En su mayoría, los multicanales discurren de forma meándrica, en casi todo su desarrollo, debido al escaso gradiente topográfico.

3.4. Geomorfología

El área del acuífero se encuentra limitada hacia el noroeste por el terreno suave y bajo compuesto de una serie de conos volcánicos basálticos pliocénicos-cuaternarios de escasa altura, que constituyen el campo volcánico Palomas, cuyas cimas se elevan poco más de 200 m sobre el piso del valle (1240 msnm), predominando elevaciones del orden de 50 m o menores. El límite suroeste del acuífero está

definido por la sierra Boca Grande que es la unidad serrana de mayor altitud (1820 msnm), con rumbo NW-SE que se localiza dentro del área de estudio, la cual emerge bruscamente sobre el piso del valle hasta alcanzar unos 700 m de altura, mostrando un relieve abrupto y escarpado, desarrollado sobre dolomías y areniscas pérmicas, calizas y lutitas cretácicas. Esta sierra continúa hacia el SE constituyendo la sierra Las Lilas y otras elevaciones menores de litología similar. El límite oriental del área de estudio se define por un terreno sumamente bajo en el que destaca aisladamente el cerro La Rosina, con una altura de unos 200 m sobre el valle, mostrando un relieve desarrollado sobre rocas volcánicas riolíticas terciarias y rocas calcáreas cretácicas.

Al sureste de la población Palomas, el terreno bajo converge hacia la laguna Palomas, donde se encuentran depósitos sedimentarios principalmente lacustres.

4. GEOLOGÍA

El acuífero se ubica en un contexto geológico esencialmente volcánico, en donde están expuestas rocas ígneas de tipo extrusivas, variando en composición y por orden de abundancia de basálticas, andesíticas a riolíticas (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 pueden observar varios conos volcánicos con forma de herradura generalmente debido a las múltiples erupciones de lavas basálticas, a través del cráter, que muestran un patrón de drenaje radial.

Como productos de la erosión, en las zonas de terreno bajo, se encuentran depósitos sedimentarios de edad cuaternaria, compuestos por limos, arenas y gravas con cantidades variables de arcillas sobre todo en las zonas topográficamente más bajas sujetas a efímeras inundaciones.

En la sierra Las Lilas están expuestas las rocas más antiguas del área de estudio; se trata de dolomías y areniscas pérmicas que constituyen el cuerpo litológico principal de la sierra que consiste en el flanco de un pliegue recostado con recumbencia hacia el NE, el cual se muestra completo en la sierra Boca Grande por medio de una falla de desplazamiento lateral de rumbo NE-SW. Al NE de la sierra Las Lilas se encuentran algunas elevaciones menores como el cerro La Capilla donde afloran rocas calcáreas del Cretácico Inferior cubiertas parcialmente en discordancia erosional por rocas volcánicas riolíticas terciarias. Misma constitución litológica se observa en los cerros El Águila y La Rosina, ubicados al SE de la localidad de Palomas.

4.1. Estratigrafía

El registro estratigráfico de la región abarca del Paleozoico al Reciente. En la figura 2 se muestra la distribución de las distintas litologías y en la figura 3 una sección geológica. Las rocas más antiguas corresponden a una secuencia sedimentaria pérmica, en sentido estratigráfico ascendente tenemos una secuencia sedimentaria calcárea de edad cretácica, bajo una sección de rocas ígneas volcánicas e intrusivas del Terciario-Cuaternario.

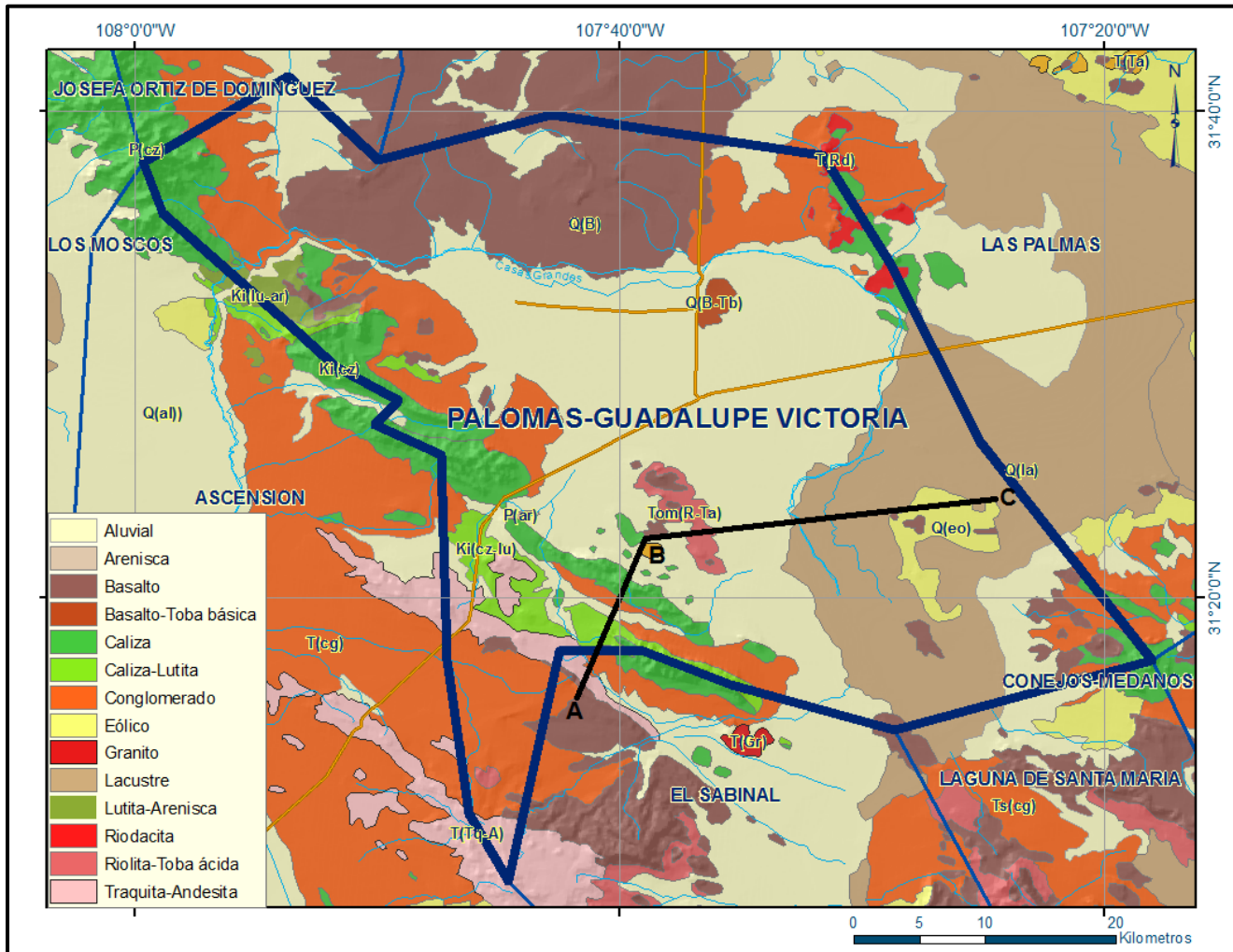


Figura 2. Mapa Geológico del acuífero

Las unidades se describen a continuación de la más antigua a la más reciente:

Paleozoico Superior

Pennsylvánico-Pérmico Inferior

En el extremo noroeste de la sierra Boca Grande y en las faldas del cerro La Cueva del flanco NE, afloran calizas y areniscas con crinoides, corales y ostrácodos (PpiCz-Ar) del Grupo Hueco. Sobre esta secuencia de calizas y areniscas descansa discordantemente una unidad compuesta por

dolomitas y areniscas (PpipsDo-Ar) asignadas a la Formación Concha. En el cerro La Cueva esta última unidad se encuentra en contacto por falla normal con la unidad inferior (PpiCz-Ar), y a su vez desplazada por una falla lateral de rumbo SW-NE que sigue el cauce del río Casas Grandes. A la sierra Boca Grande en su parte más suroccidental se le conoce también como sierra El Chino, y está compuesta en su totalidad por la Formación Concha que constituye estructuralmente un anticlinal recostado hacia el NE (anticlinal Boca Grande).

Mesozoico Inferior

Cretácico Inferior

El extremo noroeste de la sierra Boca Grande presenta un relieve mucho más bajo donde se expone una secuencia de calizas arcillosas, calizas biógenas y lutitas pertenecientes a la Formación Cuchillo (KbapCz-Lu). Sobre esta última unidad descansa una potente secuencia de calizas, calizas arcillosas, calizas dolomitizadas y lutitas, que pueden formar unidades diferenciables, pero que en la sierra Boca Grande se asignaron en su conjunto al Grupo Aurora (KaimCz-Lu). La sierra Los Chinos (anticlinal Boca Grande) continúa hacia el SE, aunque desplazada por una falla lateral, en una unidad orográfica conocida como sierra Las Lilas o Santa Rita, delgada y de gran longitud (16 km), que emerge bruscamente sobre la llanura oriental, de igual litología (Formación Concha) aunque en la cima de esta unidad afloran areniscas cuarcíferas asignadas a la Formación Santa Rita (López-Doncel, R. et al 2005).

Al suroeste de la sierra Las Lilas y cruzando un valle de mediana anchura, se encuentra la sierra El Cartucho, compuesta por una secuencia sedimentaria calcáreo-arenosa pertenecientes al Cretácico Inferior; la parte inferior de esta secuencia se ha definido informalmente como “Secuencia Neocomiana Bismark” y sobre ella descansa la secuencia Aptiano-Albiana (KbapCz-Lu y KaimCz-Lu) que agrupa a la formación Cuchillo. Por sus características litológicas, la “Secuencia Neocomiana Bismark” podría corresponder con las formaciones Navarrete y Las Vigas, está expuesta tanto en las faldas del nororiente de la sierra El Cartucho como en su extremo noroeste.

Hacia el NE de la sierra Las Lilas se encuentran dos cerros aislados: Santa Rita y La Capilla, en ambos están expuestas calizas y lutitas correspondientes a las formaciones Cuchillo (KbapCz-Lu) y Benigno (KaimCz-Lu). La secuencia calcárea presenta un echado suave hacia el SW y en algunas partes se encuentra afectada por riolitas y riodacitas subvolcánicas. Una situación geológica similar ocurre en los cerros El Águila y La Rosina, localizados en el límite oriental del acuífero, donde la secuencia calcáreo-lutítica descansa 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 y al E-NE. Probablemente, la deformación local, se deba al intrusión de cuerpos de rocas riolíticas-riodacíticas subvolcánicas aunque la deformación mayor es provocada por eventos laramídicos, así como los inherentes a la distensión tectónica oligoceno-miocénica originadora de la provincia fisiográfica “Basin and Range”.

Paleógeno

Paleoceno (PpaGr)

Al este del rancho Las Lilas, en la porción suroccidental del acuífero, aflora un intrusivo granítico (PpaGr) que corta las secuencias sedimentarias paleozoicas y cretácicas; estas últimas presentan un relieve sumamente suave expresado por lomas bajas redondeadas, que contrasta un poco con el relieve del intrusivo, que es ligeramente más pronunciado y de mayor altura, conocido en la localidad como Cerro Palomas. Posee una altura de casi 200 m sobre el piso del valle, cubriendo una extensión aproximada de 30 km², que se distribuye bajo una forma elipsoidal. Labarthé, H. G. et al., 1997 asignan para este intrusivo un fechamiento de 62.9 Ma.

Oligoceno (PoR-Rd, PoTR, PoA, PoB)

Durante el Oligoceno se inicia un evento volcánico de tipo félsico representado por varios cuerpos subvolcánicos de composición riolítica y riodacítica (PoR-Rd), que 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 oriental del acuífero, así como, en los cerros Santa Rita y La Capilla, localizados en la porción suroriental del área de estudio. Afloran normalmente mediante un relieve accidentado con numerosos crestones de color rojizo, que ocupan las mayores elevaciones del cerro La Rosina.

Durante el Oligoceno continúa la extravasación de tobas riolíticas (PoTR) que están expuestas únicamente hacia el SE de la sierra El Cartucho y del rancho Las Lilas (porción suroeste del acuífero). Al suroeste de este último y al NW del cerro Mohíno, se observa que hacia la cima de las tobas riolíticas, la secuencia volcánica se torna andesítica (PoA), mostrando en conjunto un echado suave sensiblemente buzante al SW. Aparentemente, hacia el SE del cerro Mohíno las andesitas se acuñan, dando lugar a la presencia de flujos basálticos (PoB), que descansan sobre las tobas riolíticas (PoTR); igualmente con una suave inclinación hacia el SW, desarrollando morfológicamente un escalón, con rumbo NW-SE, ligeramente basculado hacia el SW, angosto y continuo por unos 15 km, que sobresale ligeramente sobre el terreno bajo del valle.

Neógeno

Mioceno (NmB)

El Mioceno está representado por reducidos afloramientos de flujos basálticos (NmB) localizados en la porción SE del acuífero, precisamente al N y E de la Laguna de Guzmán, es decir, en las vecindades de Loma Colorada.

Plioceno-Pleistoceno (NplQptB)

Sobre las rocas paleozoicas y mesozoicas del extremo NW de la sierra Boca Grande descansan discordantemente rocas volcánicas basálticas pertenecientes al Campo Volcánico Palomas (NplQptB), que se distribuyen notablemente entre esta localidad y la población de Palomas, siendo el límite sur del campo volcánico, el río Casas Grandes, al sur del cual se localiza el poblado Guadalupe

Victoria. El campo volcánico basáltico de Palomas comprende una extensión aproximada de 400 km², de los cuales prácticamente la mitad sur correspondería al área del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, de acuerdo con su divisoria hidrográfica.

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; parte del cual continúa hacia territorio estadounidense en donde se le determinó una edad 2.9 – 5.7 Ma; debido a eso se le asigna al Campo Volcánico 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). Este autor también menciona 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 del manto.

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, de esta manera las “West Potrillo Mountains” estarían situadas dentro del rift. Las unidades basálticas más antiguas incluyen picritas y basaltos de olivino que subyacen a traquibasaltos, hawaitas, mugaritas y tristanitas.

Cuaternario

Holoceno

Conglomerado polimíctico (QhoCgp)

Normalmente en los terrenos bajos que rodean a las sierras y prominencias menores del área de estudio, se encuentran numerosos abanicos aluviales compuestos por conglomerados polimícticos que se extienden ampliamente sobre el valle, siendo más notables los abanicos que descienden de las sierras Boca Grande y Las Lilas.

Limo-Arena (QhoLm-Ar)

En la mayor parte de las planicies y ocupando una mayor extensión, se desarrollan suelos limo arenosos producto de arrastre de finos y descomposición de las rocas subyacentes. Sin embargo, el cauce del río Casas Grandes presenta una anchura muy grande (entre 2 y 5 km) donde se desarrolla una red de multicanales trenzados de alta sinuosidad, con granulometría ligeramente mayor (arenas, gravillas).

Lacustre (Qhola)

Este tipo de depósitos de grano fino, arena-limo-arcilla y evaporitas, originados en medios lagunares con alta evaporación, se localizan al sureste del poblado Palomas, rodeando extensamente a la Laguna de Guzmán.

4.2. Geología estructural

El área de estudio comprende tres unidades montañosas fuertemente deformadas tanto por fallamiento como por intenso plegamiento: Sierra Alta o de Palomas, sierra Boca Grande y sierra Las Lilas o Santa Rita. Las estructuras dominantes son las que se observan en la sierra Boca Grande, que corresponde al “anticlinal Boca Grande” de rumbo NNW-SSE, formado en rocas paleozoicas, en contacto por falla inversa con las rocas cretácicas de la porción NE de dicha sierra.

La sierra Boca Grande, corresponde con el flanco afallado del anticlinal. Muestra solamente un notable escarpe al SW, en donde es posible observar la secuencia calcárea inclinada hacia el NE. Sin embargo, en su extremo norte la deformación es más intensa manifestada por plegamientos anticlinales y sinclinales cuyos ejes se orientan entre el WNW-ESE y NNO-SSE. Tiene continuidad en dirección NW hacia la Sierra Alta, pasando un puerto topográfico, donde circula el río Casas Grandes a lo largo de una falla de desplazamiento lateral que disloca ambas sierras. De la misma manera se pueden citar la falla normal NNW-SSE que se encuentra en el faldeo bajo del flanco NE del cerro La Cueva, en el extremo SE de la Sierra Alta.

Otras estructuras importantes, como fallas y plegamientos que se desarrollan con un rumbo preferencial NW-SE, se observan en las sierras Las Lilas y EL Cartucho, esta última situada paralelamente al SW de la primera.

La sección geológica ABC mostrada en la figura 3 se desarrolla en dos rumbos, el sector AB de rumbo casi SW-NE, y el BC de rumbo W-E. En el sector AB se muestran las estructuras dominantes compuestas por un anticlinal y un sinclinal en la sierra El Cartucho compuesto por rocas sedimentarias cretácicas, que descansan discordantemente sobre un basamento del Paleozoico que se enlaza con la sierra Las Lilas mediante una falla normal. A su vez, la sierra Las Lilas se sobrepone por medio de una falla inversa sobre la secuencia sedimentaria cretácica plegada, siendo esta última la que constituye la mayor parte del subsuelo en el sector BC de la sección.

Esta secuencia subyace a las rocas volcánicas oligoceno-miocénicas (PoA, TmB) y ambos conjuntos rocosos se ven afectados por la intrusión de cuerpos dómicos representados en los cerros Medrano y Loma Colorada (PoR-Rd). El río Casas Grandes en su curso hacia la Laguna de Guzmán ha depositado un moderado espesor de sedimentos fluviales con abundancia de facies de llanura de inundación y lagunares (QhoLa, TplAr-Lm).

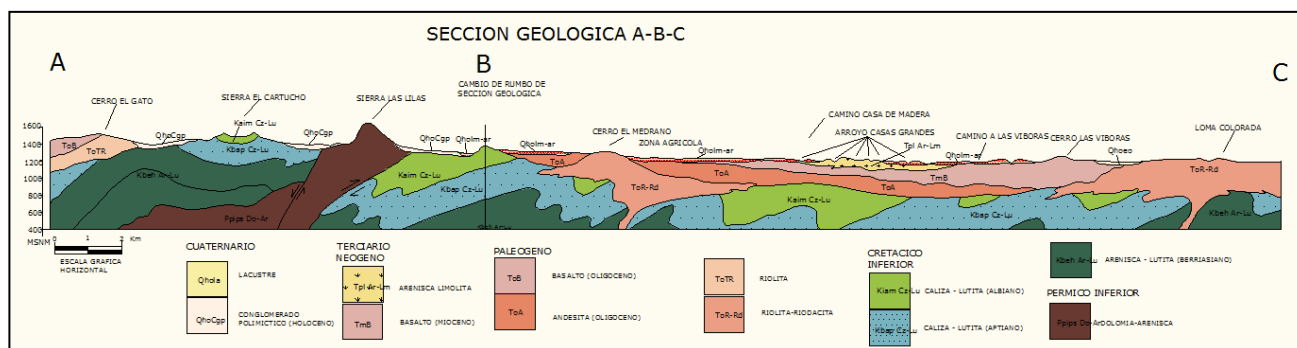


Figura 3. Sección geológica esquemática del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria

4.3. Geología del subsuelo

Para la interpretación de la geología del subsuelo, se tomó en cuenta, además de los datos geológicos y geofísicos obtenidos durante las actividades realizadas por el estudio de 2009, información complementaria procedente de varias fuentes. De esta manera, se consideró tanto la información obtenida en el área de estudio como la correspondiente de los acuíferos adyacentes que se encuentran en un ambiente geológico semejante a nivel regional.

En la parte sur del acuífero, concretamente en la margen norte de la Laguna de Guzmán y transversalmente a la misma entre las sierras Las Lilas y San Blas -al oeste y este respectivamente- se extiende una cubierta de sedimentos de grano fino en varias facies de tipo lacustres y eólicas (UH5), que alcanzan espesores de 100 m; hacia el oeste de la laguna se interdigitan sedimentos de grano grueso (grava-arena) depositados por el ancestral río Casas Grandes, pasando a sedimentos de pie de monte en las cercanías de las sierras antes mencionadas. Bajo esta cubierta existe un fuerte espesor de sedimentos de relleno de valle (UH4) de 400 m de espesor que disminuye a 200 m hacia las cercanías de la sierra San Blas. Esta unidad UH4 (correlacionable con el Grupo Gila de Nuevo México) contiene o se intercala con flujos basálticos pliocuaternarios del “campo volcánico Palomas”.

Debajo de esta unidad sedimentaria-volcánica, y a una profundidad de unos 500 m (en las cercanías con la sierra Las Lilas), se encuentra el basamento volcánico oligocénico que aparentemente se acuña hacia el oriente, de manera que la UH4 descansa sobre el basamento calcáreo a una profundidad de 200 m (cerca de la sierra San Blas). El acuífero se encuentra en las unidades UH4 y UH5.

Hacia la porción N-NW del acuífero, el valle tectónico se ensancha, disminuyendo relativamente el espesor de las unidades UH4 y UH5 a unos 200-300 m (hacia el cerro El Águila), para aumentar nuevamente a unos 500 m al sur de la población de Guadalupe Victoria, siendo más abundantes las intercalaciones con los flujos basálticos pliocuaternarios. De acuerdo con las condiciones de fallamiento, se espera cortar el basamento calcáreo-volcánico (UH2 y UH3) a una profundidad entre unos 300 y 500 m.

El límite norte del acuífero se encuentra dentro del campo volcánico Palomas, siendo el parteaguas entre este acuífero y el de Las Palmas hacia el norte; es decir, de Guadalupe Victoria hacia el norte, el terreno es basáltico, constituyendo un medio de alta permeabilidad.

Con base en los resultados de la geología del subsuelo: descripción de cortes litológicos; interpretación de sondeos geofísicos, el análisis hidrogeomorfológica, hidrología superficial y la interpretación de pruebas de bombeo, entre otros, fue posible definir un sistema acuífero heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, con condiciones locales de semiconfinamiento, conformado por un medio granular, hacia la parte superior, y otro fracturado subyacente. El medio granular es el que corresponde a la UH4 que son conglomerados y limos-arenas del holoceno y el fracturado a la UH3 que son basaltos fracturados correspondientes al campo volcánico palomas del plioceno-pleistoceno.

Con la información geológica, geofísica y de cortes litológicos de pozos, 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 en la zona aledaña a la Laguna de Guzmán, 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 hacia la Laguna de Guzmán. El acuífero está conformado por sedimentos aluviales y lacustres cuyo espesor alcanza los 500 m, intercalados con rocas volcánicas basálticas fracturadas. La porción superior se aloja en sedimentos evaporíticos y eólicos.

Las rocas calcáreas y volcánicas antiguas de baja permeabilidad que subyacen al acuífero representan a profundidad el basamento hidrogeológico y ocasionalmente constituyen sus fronteras laterales.

La recarga al acuífero ocurre por la infiltración de agua de lluvia en las áreas montañosas que bordean la planicie, por la infiltración del agua de las corrientes superficiales provenientes de las sierras, en menor proporción por infiltración de agua de lluvia directa sobre el valle y por flujo subterráneo proveniente de acuíferos adyacentes. La descarga ocurre a través del bombeo y por evapotranspiración en la zona de influencia de la Laguna de Guzmán.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades desarrolladas en el estudio de 2009, se realizaron 8 pruebas de bombeo, tanto en la etapa de abatimiento como de recuperación, cuya duración varió de 21 a 48 horas. De su interpretación por diversos métodos, se deduce que los valores de transmisividad varían de 35 a 668 m²/d con un valor promedio de 243 m²/d (2.81×10^{-3} m²/s), en tanto que la conductividad hidráulica presenta valores que oscilan entre 0.4 y 0.7 m/d. Los valores más bajos se asocian a los sedimentos eólicos finos y lacustres que se presentan en las inmediaciones de la Laguna de Guzmán y los más altos a los sedimentos aluviales.

Ninguna prueba contó con pozo de observación, por lo que no fue posible obtener el valor del coeficiente de almacenamiento de la manera tradicional. Sin embargo, el valor de rendimiento específico S_y se estimó variando de 0.10 a 0.19 bajo la interpretación de método alternativo de dos capas, teniendo un promedio de 0.15, valor que por correlación hidrogeológica coincide con los acuíferos vecinos que presentan geología similar.

5.3. Piezometría

Con la información piezométrica generada en el 2009 se definió una red de monitoreo piezométrico utilizando 34 pozos que cubren la mayor superficie de explotación del acuífero, 22 de ellos contaban ya con una nivelación de brocal así como registros piezométricos anteriores.

5.4. Comportamiento hidráulico

Las configuraciones piezométricas del 2005 y 2009 en el acuífero de Palomas - Guadalupe Victoria muestran que en el sistema acuífero se presentan dos subsistemas separados por un parteaguas dinámico, generado a partir de la explotación intensiva del agua subterránea a través de pozos. El primer subsistema se encuentra en la parte norte del acuífero, en el que el flujo es radial convergente hacia un cono de depresión piezométrica formado en una zona de concentración de pozos, el flujo de entrada de agua subterránea ocurre de las porciones oriente y poniente de este subsistema y proviene de acuíferos adyacentes y de las elevaciones situadas al noroeste del acuífero, esto es de la porción más noroccidental de la sierra Boca Grande. El segundo subsistema presenta un flujo radial convergente hacia el área de influencia de la Laguna de Guzmán con entradas principalmente a

través de sus fronteras oriental y occidental. Las salidas se producen hacia la Laguna de Guzmán por evaporación.

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2005 muestra que los valores varían de 10 a 60 m, desde las zonas aledañas a la Laguna de Guzmán hacia las estribaciones de las sierras, conforme se asciende topográficamente. Las mayores profundidades se registran al centro y occidente del valle mientras que al oriente los valores disminuyen (figura 4).

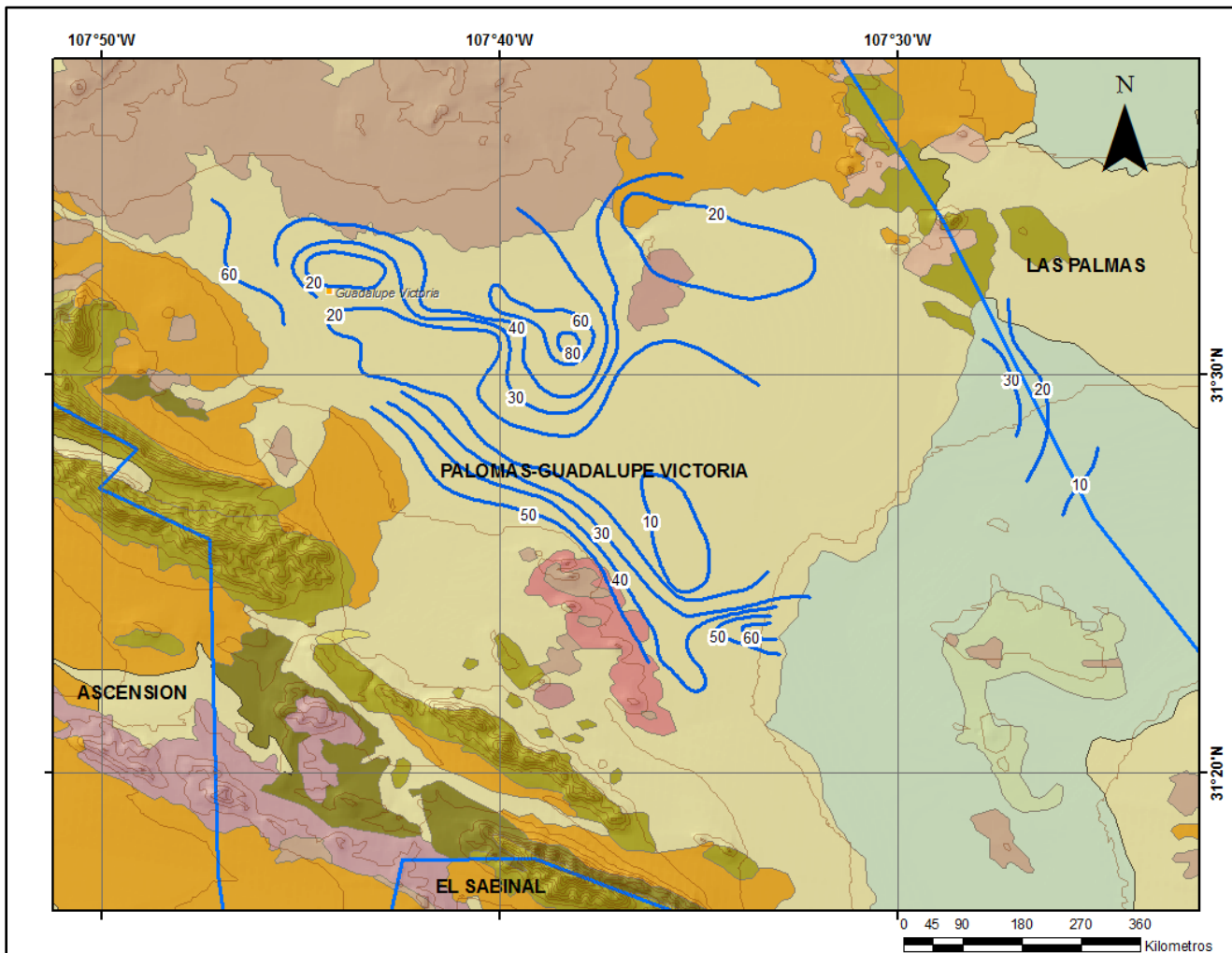


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2005)

La profundidad al nivel estático para el año 2009 se presenta en la figura 5. En ella se observa que los valores varían de 10 a 70 m. Al igual que en 2005, las mayores profundidades se localizan en el centro y occidente del valle, al sur de San José, en Los Sauces y al suroeste de Tres Papalotes; mientras que al oriente, cerca del poblado Veracruz, se registraron profundidades de 30 m, que

disminuyen hacia el sur-sureste hasta los 8 m que se registran al norte de Colonia Benito Juárez así como al norte de la Laguna Guzmán.

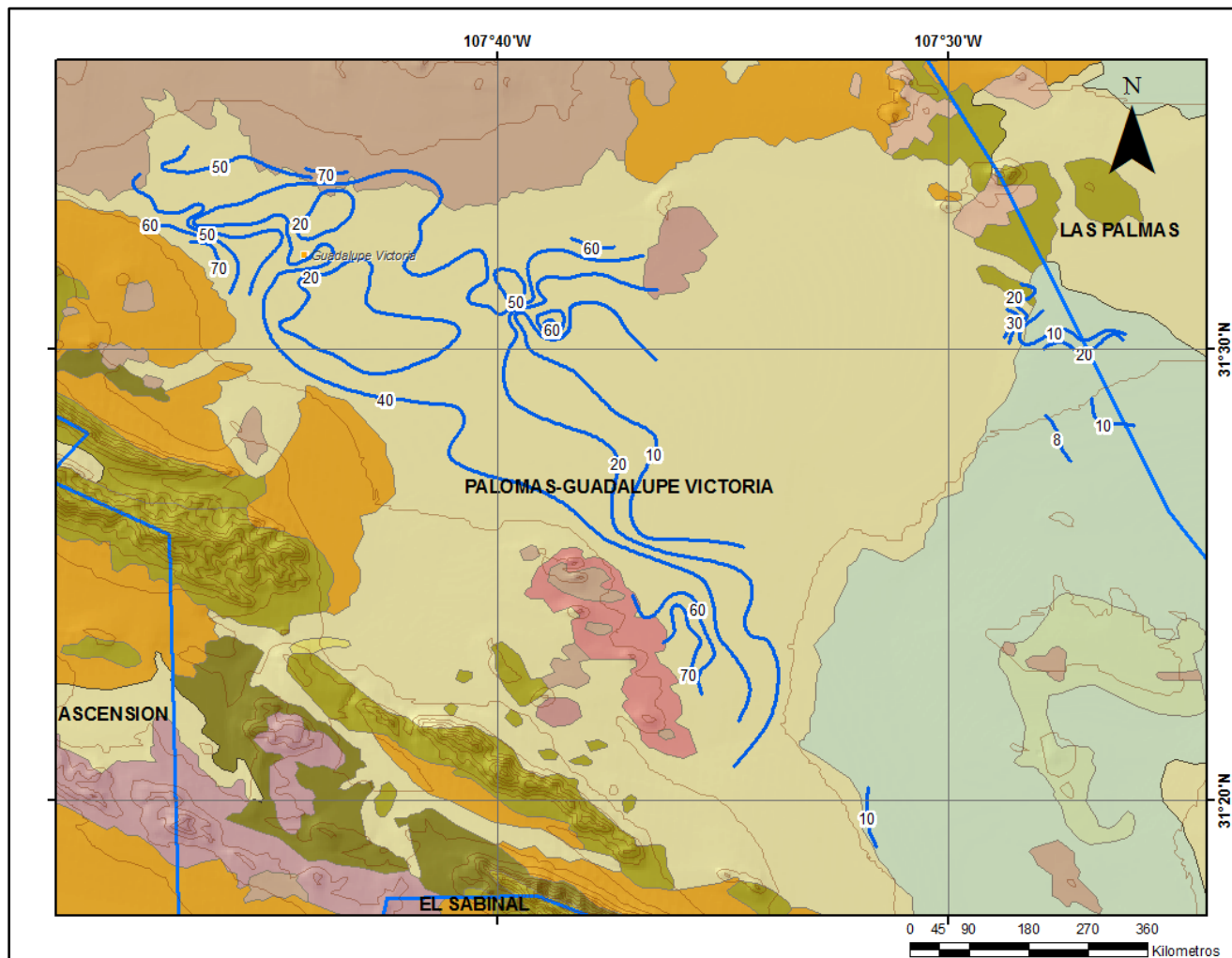


Figura 5. Profundidad al nivel estático en m (2009)

5.4.2. Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de la elevación del nivel estático para el año 2005, mostrada en la figura 6, se observa que las curvas varían de 1220 a 1140 msnm; las más bajas definen conos depresivos que corresponden a las zonas de mayor abatimiento causados por la extracción intensiva para uso agrícola en la zona ubicada entre los poblados San Isidro, San Juan y San José principalmente.

Las mayores elevaciones registradas se presentan al centro del valle con una orientación NW-SE, generando un parteaguas hidrodinámico que desvía el flujo subterráneo, desde elevaciones de 1220 msnm hacia las zonas noroeste y sureste.

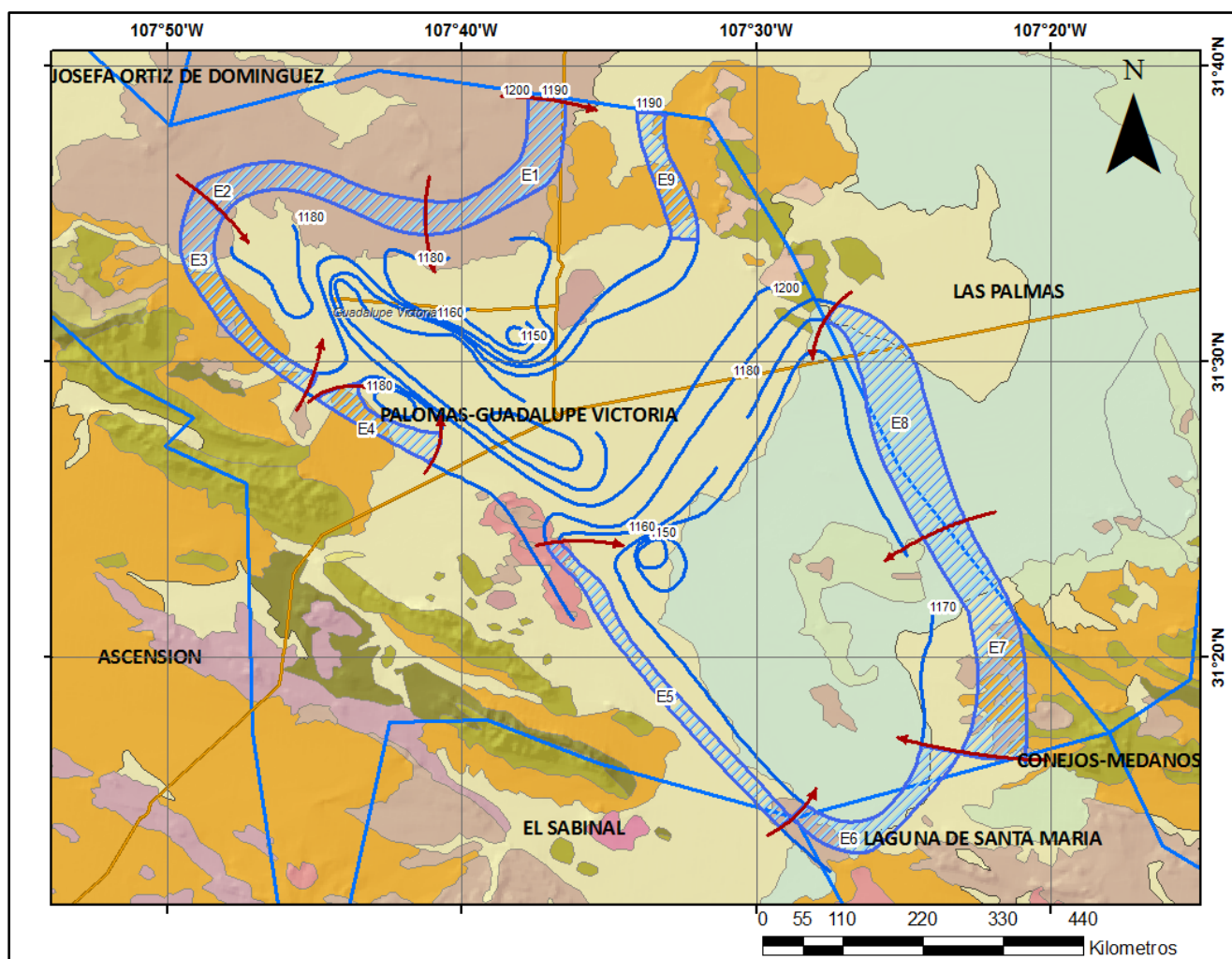


Figura 6. Elevación del nivel estático en msnm (2005)

Para el año 2009 (figura 7) se enfatiza el parteaguas hidrodinámico generado a partir de una topografía plana en el valle y la presencia de los conos de abatimiento originados por el bombeo intenso en los poblados San Isidro, San Juan, San José y Ejido Ley 6 de Enero.

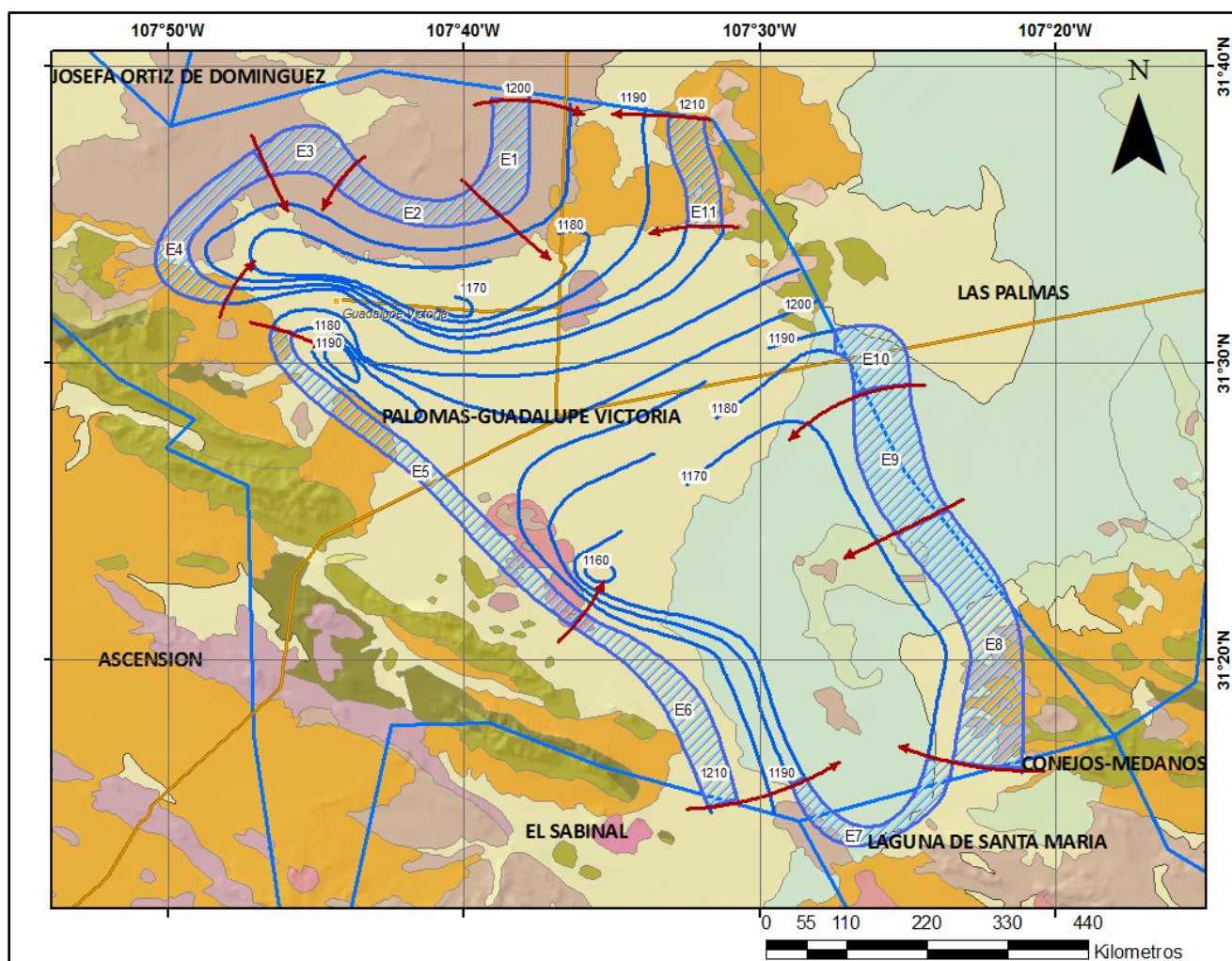


Figura 7. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

5.4.3. Evolución del nivel estático

La configuración de evolución anual del nivel estático para el periodo 2005-2009 (figura 8) muestra valores negativos de 3 a 7 m en la zona comprendida entre los poblados Los Tríos y Ejido Ley 6 de Enero, que representan un ritmo anual de abatimiento de 0.75 a 1.75 m. Por otra parte, también se observan recuperaciones puntuales de hasta 2 m en las inmediaciones de la localidad Veracruz, así como en la porción centro-norte del acuífero.

Para la superficie restante del valle no se registran variaciones importantes en la posición de los niveles del agua subterránea.

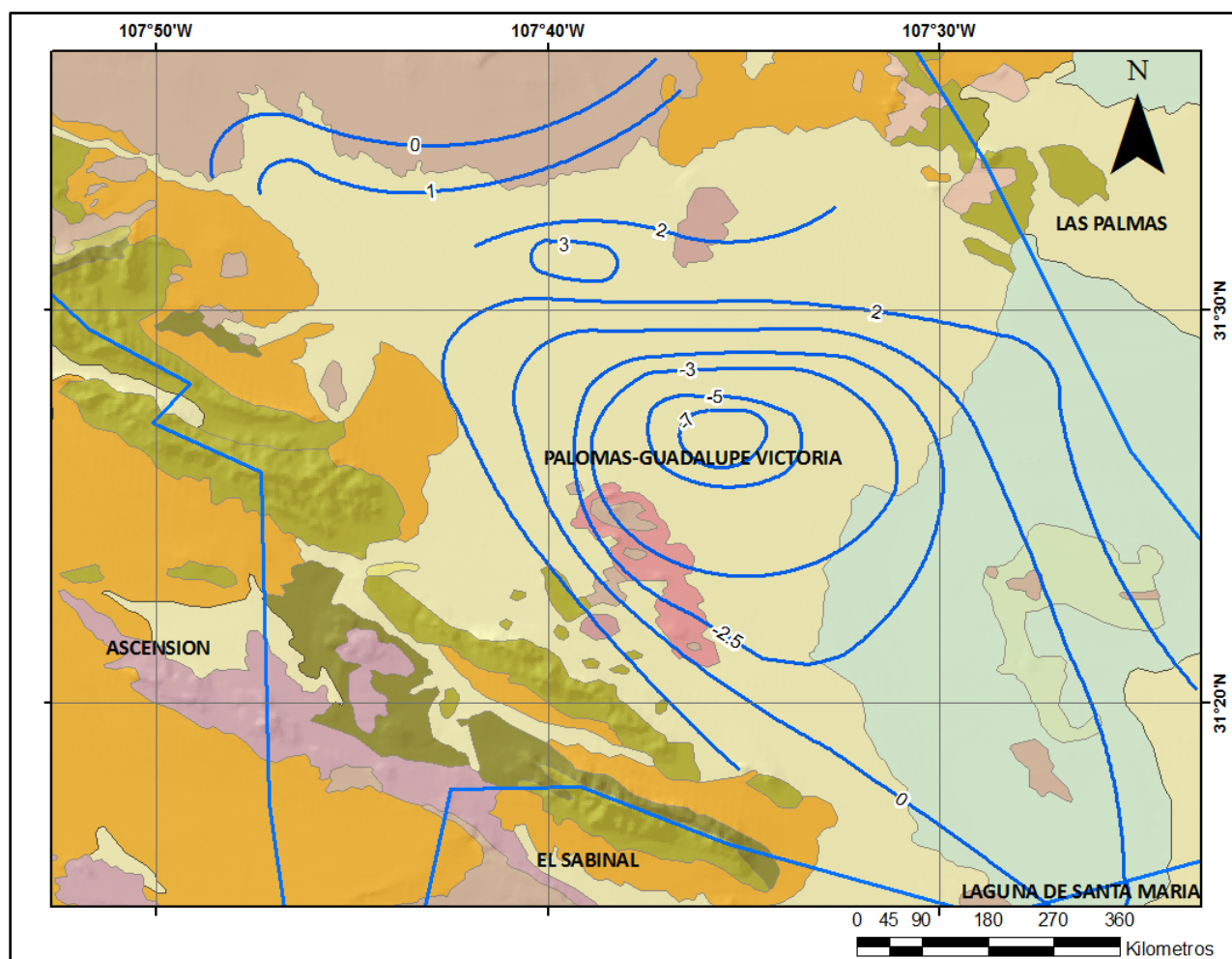


Figura 8. Evolución anual del nivel estático en m (2005-2009)

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en el 2009, existen en el acuífero un total de 297 aprovechamientos de los cuales 270 son pozos y 27 son norias. Del total de captaciones encontradas, 105 están activas, 39 inactivas y las 153 restantes se encuentran abandonadas.

El volumen de extracción estimado asciende a **28.8 hm³ anuales**, de los cuales 28.7 hm³ (99.7%) se destinan a las actividades agrícolas y los 0.1 hm³ restantes (0.3%) para dotación de agua potable a 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:

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

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

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

El balance se planteó para el periodo del 2005 al 2009, en una superficie de 1121 km², que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y donde se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. La ecuación de balance propuesta para el acuífero es:

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

Donde:

R_v= Recarga vertical por lluvia;

E_h= Entradas subterráneas por flujo horizontal;

R_r= Retornos de riego;

ETR= Descarga natural por evapotranspiración;

B= Bombeo;

ΔV(S)= Cambio en el volumen de almacenamiento;

7.1. Entradas

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

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

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de

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

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

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

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del 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 6 y 7), mediante la siguiente expresión:

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

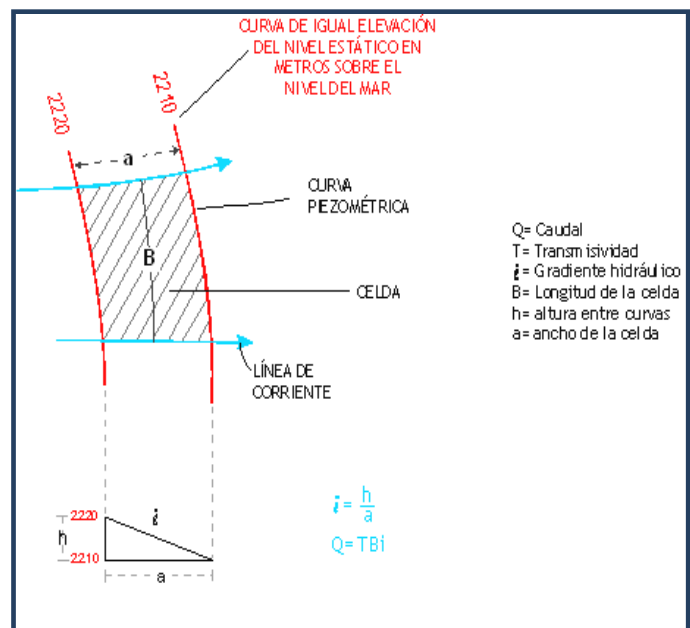
Donde:

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 2 y 3.

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas (2005)

Celda	Longitud B (m)	Ancho a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T (m ² /s)	Caudal Q (m ³ /s)	Volumen V (hm ³ /año)
E1	10381	2507	10	0.0040	0.0004	0.0166	0.5
E2	12536	1941	10	0.0052	0.0004	0.0258	0.8
E3	12959	1773	10	0.0056	0.0004	0.0292	0.9
E4	6972	1775	10	0.0056	0.0004	0.0157	0.5
E5	21627	1233	10	0.0081	0.0004	0.0702	2.2
E6	10056	1824	10	0.0055	0.0004	0.0221	0.7
E7	14763	2914	10	0.0034	0.0004	0.0203	0.6
E8	15002	3281	10	0.0030	0.0004	0.0183	0.6
E9	8132	1677	10	0.0060	0.0004	0.0194	0.6
Total Entradas							7.5

Tabla 3. Cálculo de entradas subterráneas (2009)

Celda	Longitud B (m)	Ancho a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T (m ² /s)	Caudal Q (m ³ /s)	Volumen (hm ³ /año)
E1	6062	2967	10	0.0034	0.0004	0.0082	0.3
E2	7949	1985	10	0.0050	0.0004	0.0160	0.5
E3	3924	2904	10	0.0034	0.0004	0.0054	0.2
E4	10042	1976	10	0.0051	0.0004	0.0203	0.6
E5	23500	1447	10	0.0069	0.0004	0.0650	2.0
E6	13016	2387	10	0.0042	0.0004	0.0218	0.7
E7	10487	1633	10	0.0061	0.0004	0.0257	0.8
E8	15703	3546	10	0.0028	0.0004	0.0177	0.6
E9	8624	3807	10	0.0026	0.0004	0.0091	0.3
E10	3877	3195	10	0.0031	0.0004	0.0049	0.2
E11	6648	2247	10	0.0045	0.0004	0.0118	0.4
Total Entradas							6.0

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 de **6.8 hm³ anuales**.

7.1.3. Retorno 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 aplicado.

En Palomas – Guadalupe Victoria, existe una zona agrícola cuya superficie aproximada es de 3304 ha. Los cultivos principales son chile (78.8%), Alfalfa (5.4%), Frutales y otros forrajes (3.2%), Maíz (2.4%), Frijol (2.3%), Algodón (1.9%), Avena (1.5%), Sorgo (1.3%). El uso consuntivo promedio (\overline{UC}) se calculó como:

$$\overline{UC} = \frac{\sum_1^n A_i UC_i}{\sum_1^n A_i}$$

Donde A_i y UC_i son el área y el uso consuntivo del cultivo i . La estimación del uso consuntivo por cultivo se realizó mediante la fórmula de Blaney–Criddle modificada por Phelan (Aguilera y Martínez, 1996) y sus resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Uso consuntivo por cultivo

Cultivo	UC (mm/a)	ha	hm ³ /año
Alfalfa	1401.0	180	2.5
Algodón	888.0	62	0.6
Avena	342.0	48	0.2
Chile	912.0	2605	23.8
Frijol	752.0	76	0.6
Frutales	1533.0	106	1.6
Maíz	679.0	78	0.5
Otros forrajes	423.0	107	0.5
Sorgo	557.0	42	0.2
Totales		3304	30.4

A partir de la información de la tabla 4 se obtiene el uso consuntivo promedio:

$$UC = \frac{30.4 \text{ hm}^3/\text{año}}{3304 \text{ ha}} = 920 \text{ mm}$$

Por el método de balance hídrico, la recarga por retorno de riego (Rr), se calcula como:

$$Rr = P + Lr - \overline{UC}$$

En donde P es la precipitación (318 mm) y el término Lr es la lámina aplicada para el riego. la cual se obtiene como el cociente del uso volumen para uso agrícola (28.6 hm³ anuales) y la superficie regada (3304 ha). De esta manera la Lr = 865.6 mm, por lo tanto:

$$Rr = 318 + 865.6 - 920 = 263.6 \text{ mm}$$

Esta lámina de recarga se aplica a la superficie de riego de 3,304 ha, con lo que se obtiene un volumen de **Rr = 8.7 hm³/año**.

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y a través de evaporación directa en las zonas de niveles freáticos someros (Ev). No existen descargas por flujo base ni manantiales. Las salidas por flujo subterráneo (Sh) no se presentan, ya que la cuenca es endorreica. Por lo que **Sh = 0**.

7.2.1. Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, la estimación de extracción para el año 2009 es de **28.8 hm³ anuales**.

7.2.2. Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real). Esta componente se presenta únicamente en lugares donde existen niveles freáticos someros. Para este caso particular, hacia la Laguna de Guzmán. Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación:

$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$			
T (°C) =	17.3		
P(mm) =	318	P ² =	101124
L =	991.38585	L ² =	982845.904
ETR (mm)	317.5		

El fenómeno presente en el área es la evaporación directa del agua freática somera, debido a la ausencia de cobertura vegetal. Para la observación del comportamiento del fenómeno de evapotranspiración se considera el tanque evaporímetro expresado como un porcentaje de evapotranspiración, donde la evaporación es comparativamente más alta, en los niveles freáticos < 100 cm de la superficie del suelo, posteriormente disminuye hasta hacerse despreciable, para las zonas donde los niveles freáticos son > 300 cm, según White citado por Keith (1973), figura 9.

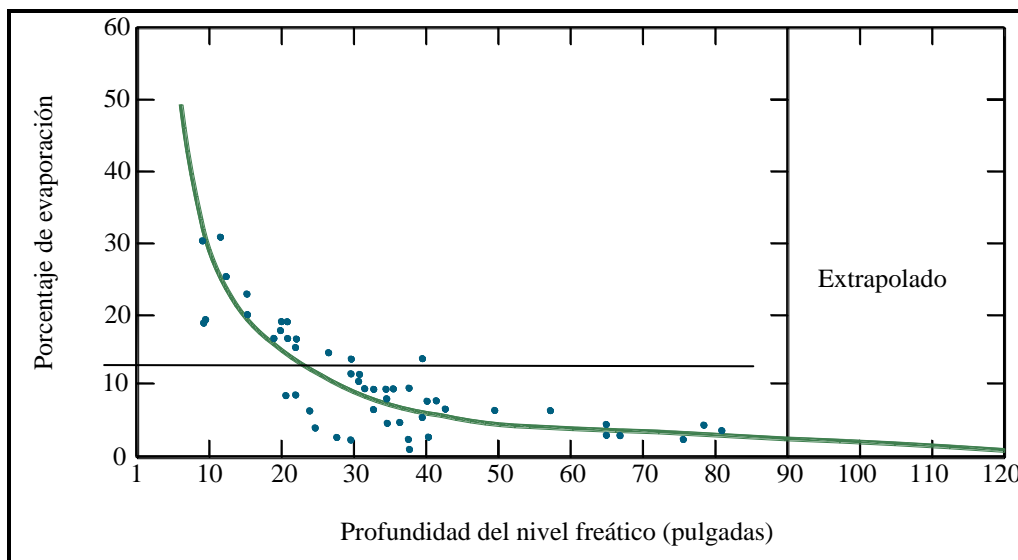


Figura 9. Evaporación del agua freática en función de la profundidad al nivel estático (White)

De esta manera, la estimación del valor de la evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno (profundidad al NE menor a 2m, dentro del área de balance) por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial media en las estaciones climatológicas (1686 mm anuales, CONAGUA Dirección Local Chihuahua). El valor de esa fracción varía entre un máximo de uno, cuando el nivel freático aflora, y cero cuando éste se halla a profundidades mayores a la altura de la franja capilar de los materiales predominantes entre la superficie del terreno y el nivel freático. De la figura 9 se deduce que para una profundidad promedio al nivel del agua subterránea de 2 m (80 pulgadas) el % de evaporación es del 2%.

Considerando una superficie de 68 km² en la zona de influencia de la laguna de Guzmán, donde la profundidad al nivel estático se infiere menor a los 2 m y un 2% de la evaporación potencial, se obtiene que la evaporación es del orden de **ETR = 2.3 hm³ anuales**.

7.3. Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución anual del nivel estático 2005 - 2009 mostrada en la figura 8. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico S_y de 0.15 se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

ΔVS = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

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

A = Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km²);

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

Como consecuencia de la explotación del recurso para el uso agrícola, la posición del nivel piezométrico ha descendido en algunas zonas y aumentado en otras, propiciando variaciones tanto positivas como negativas del almacenamiento, el detalle de cálculo se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Cálculo del cambio de almacenamiento anual (2005 - 2009)

Curva de igual evolución anual (m)	Area de influencia (km ²)	Volumen (hm ³)	Sy	$\Delta V(S)$ (hm ³ /a)
0	432	0	0.15	0.0
1	125	125	0.15	18.8
2	291	583	0.15	87.5
3	10	31	0.15	4.7
-2.5	140	-350	0.15	-52.5
-3	72	-217	0.15	-32.6
-5	36	-177	0.15	-26.6
-7	14	-98	0.15	-14.7
			Total	-15.5

El cambio de almacenamiento para el periodo de evolución 2005-2009 es de $\Delta VS = -15.5 \text{ hm}^3$.

Solución a la ecuación de balance

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

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

$$Rv = 28.8 + 2.3 - 15.5 - 6.8 - 8.7$$

$$Rv = 0.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$Rt = Rv + Eh + Rr$$

$$Rt = 0.1 + 6.8 + 8.7$$

$$Rt = 15.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

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, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso su valor es **15.6 hm³/año**, de los cuales 6.9 corresponden a la recarga natural y los 8.7 hm³ 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 Palomas–Guadalupe Victoria se considera una descarga natural comprometida de 2.3 hm³/año que corresponde a las salidas por evaporación hacia la zona de influencia de la Laguna de Guzmán. Por lo que **DNCOM = 2.3 hm³/año**.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

El volumen concesionado de agua subterránea, se determina sumando los volúmenes anuales de agua, asignados y concesionados por la Comisión Nacional del Agua mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) para la explotación, uso o aprovechamiento de agua

en una unidad hidrogeológica, adicionando, de ser el caso, los volúmenes correspondientes a reservas y reglamentos conforme a la Programación Hidráulica.

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2010, es de 14'724, 432 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.

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

$$\text{DAS} = 15.6 - 2.3 - 14.724432$$

$$\text{DAS} = - 1.424432 \text{ hm}^3/\text{año}$$

El resultado actual indica que no existe disponibilidad de agua subterránea para otorgar nuevas concesiones. Por el contrario **el déficit es de 1'424,432 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero. Además, es necesario considerar que el volumen de extracción real es mayor que el volumen concesionado, por lo que el déficit es mayor.

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. Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos de Ascensión, Palomas-Guadalupe Victoria, Valle de Juárez y Chihuahua-Sacramento y Calidad del Agua de los Acuíferos Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama, del estado de Chihuahua. Elaborado por Consultores y Constructores del Norte, S.A de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2009. Actualización Geohidrológica del Acuífero Palomas – Guadalupe Victoria, estado de Chihuahua. Realizado por la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1991. Actualización del Estudio Geohidrológico de las Zonas de Ascensión-Janos, Chihuahua”