

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Providencia (1007),
Estado de Durango***

*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.**

CCCLXVII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"

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

ESTADO DE DURANGO

1007	PROVIDENCIA	16.3	0.0	0.526194	0.5	15.773806	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 PROVIDENCIA (1007), ESTADO DE
DURANGO***

México, D.F., Diciembre de 2010

CONTENIDO

1.	GENERALIDADES	1
	Antecedentes	1
1.1.	Localización	1
1.2.	Situación administrativa del acuífero	3
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	3
3.	FISIOGRAFÍA	4
3.1.	Provincia fisiográfica	4
3.2.	Clima	5
3.3.	Hidrografía	5
3.4.	Geomorfología	6
4.	GEOLOGÍA	6
4.1.	Estratigrafía	7
4.2.	Geología estructural	11
4.3.	Geología del subsuelo	11
5.	HIDROGEOLOGÍA	12
5.1.	Tipo de acuífero	12
5.2.	Parámetros hidráulicos	12
5.3.	Piezometría	13
5.4.	Comportamiento hidráulico	13
5.4.1.	Profundidad al nivel estático	13
5.4.2.	Elevación del nivel estático	13
5.4.3.	Evolución del nivel estático	15
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	15
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	16
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
7.1.	Entradas	17
7.1.1.	Recarga vertical (Rv)	17
7.1.2.	Entradas subterráneas horizontales (Eh)	18
7.2.	Salidas	19
7.2.1.	Salidas subterráneas por flujo horizontal (Sh)	19
7.2.2.	Evapotranspiración (ETR)	19
7.2.3.	Bombeo (B)	21
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	21
8.	DISPONIBILIDAD	21
8.1.	Recarga total media anual (Rt)	22
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM)	22
8.3.	Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS)	22
8.4.	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS)	22
9.	BIBLIOGRAFÍA	23

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 Providencia, designado con la clave 1007 del Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en el extremo noroccidental del estado de Durango, entre las coordenadas 26° 25' y 26° 49' de latitud norte y 105° 43' y 116° 04' de longitud oeste, abarcando una superficie de 852 km² (figura 1).

Limita al norte con el acuífero Parral-Valle del Verano, al oeste con Bocoyna, ambos pertenecientes al estado de Chihuahua, al sur con Matalotes-El Oro y al este con el acuífero Cabrera-Ocampo, ambos pertenecientes al estado de Durango.

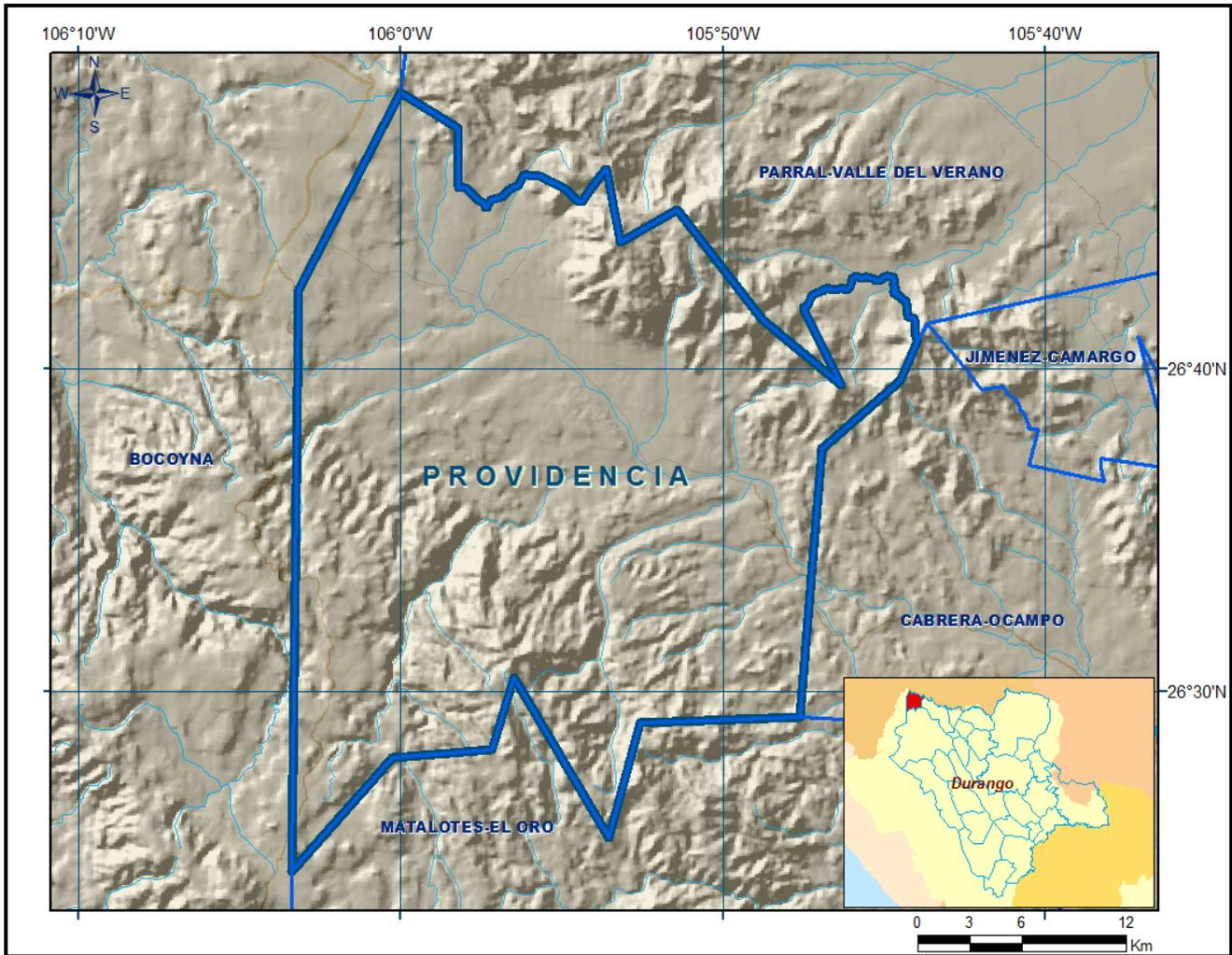


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, el acuífero se localiza casi en su totalidad dentro del municipio de Ocampo y una muy pequeña porción de su extremo sureste en el municipio San Bernardo. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1007 PROVIDENCIA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	106	0	0.0	26	48	32.0	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	105	43	56.4	26	40	52.8	
3	105	44	29.7	26	39	36.1	
4	105	46	55.7	26	37	30.8	
5	105	47	16.3	26	33	35.1	
6	105	47	37.3	26	29	11.3	
7	105	52	34.7	26	29	0.9	
8	105	53	33.1	26	25	28.0	
9	105	56	28.4	26	30	24.4	
10	105	57	9.1	26	28	12.9	
11	106	0	14.9	26	27	57.7	
12	106	3	23.8	26	24	24.8	
13	106	3	10.5	26	42	23.9	
1	106	0	0.0	26	48	32.0	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VII "Cuencas Centrales del Norte" y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Durango. Su territorio completo no se encuentra sujeto a las disposiciones de ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

El principal usuario del agua subterránea es el público-urbano y en menor proporción el agrícola. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). El acuífero pertenece a la Comisión de Cuenca Río Conchos. De acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua vigente para el 2010, el municipio de Ocampo se clasifica como zona de disponibilidad 6 y San Bernardo como zona 8.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero no se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación, sólo algunos con fines de prospección minera. El único estudio que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación:

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS CABRERA-OCAMPO, MATALOTES-EL ORO, SAN JOSÉ DE NAZARENO, GALEANA-EL QUEMADO, LA VICTORIA, BUENOS AIRES, TORREÓN DE CAÑAS, SAN FERMÍN, SAN JUAN DEL RÍO, CABRERA, LA

ZARCA-REVOLUCIÓN Y REVOLUCIÓN, EN EL ESTADO DE DURANGO, elaborado en Convenio por la Universidad de Sonora (UNISON), para la Comisión Nacional del Agua, en 2010. El objetivo general de este estudio fue 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 sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DEL ACUÍFERO PROVIDENCIA, EN EL ESTADO DE DURANGO, elaborado en Convenio por la Universidad de Sonora (UNISON), para la Comisión Nacional del Agua, en 2010. El objetivo del estudio fue el conocer las condiciones geohidrológicas del acuífero mediante el diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, obtener información necesaria para calcular la recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea.

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

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área se encuentra ubicada dentro de la Provincia considerada como Sierra Madre Occidental.

La Sierra Madre Occidental en Durango, por su ubicación dentro del contexto continental, se manifiesta majestuosamente a lo ancho de más de 140 km, con rumbo suroeste, al oeste de la ciudad de Durango donde alcanza su altura media de 2,650 msnm, sus elevaciones máximas son del orden de los 3000 msnm y pueden ser observadas del el Océano Pacífico.

El relieve de esta provincia se caracteriza por presentar cañones profundos y topografía abrupta, donde es factible encontrar pequeños y estrechos valles en los cañones; la topografía tiende a ser más suave hacia el oriente y al sur, en donde se encuentran amplios valles y extensas llanuras. Las máximas elevaciones en la región están representadas por el cerro Blanco (2,300 msnm), y una porción de la Sierra Gamón (2,580 msnm). La zona de menor elevación se representa en el río Peñón Blanco, con una altitud de 1,450 msnm.

El acuífero se ubica en dos subprovincias: la porción noreste pertenece a las Sierras y Llanuras de Durango, conformada por cordones montañosos irregulares, separados por amplios valles, de altitudes variables entre 1700 y 2300 msnm. La porción suroeste pertenece a la Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses, que se caracteriza por presentar algunos de los paisajes más espectaculares del país, entre ellos las Barrancas del Cobre en el estado de Chihuahua. En su morfología muestra una enorme meseta conformada por rocas volcánicas y en la que los ríos de la vertiente occidental han labrado profundos cañones.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el clima que predomina en la zona del acuífero es del tipo C(w0), que corresponde con templado subhúmedo. En este clima la temperatura media anual se encuentra entre 12 y 18°C. El tipo de clima BS1kw(w) semiseco templado se presenta en una porción de la región oriental del acuífero. El clima C(w1) corresponde con templado subhúmedo y se presenta en una franja que va desde los límites del acuífero por su lado oeste, en una dirección sureste. En la porción sur del acuífero se presenta el tipo de clima C(E)(w₂) que corresponde al tipo de clima semifrío subhúmedo. Finalmente, en una pequeña área del norte del acuífero se presenta el tipo de clima C(E)(w₁) que pertenece a semifrío subhúmedo. Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de tres estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Pánuco de Coronado, Rosario y Cendradillas, cuyo registro comprende los periodos 1967-2007, 1965-2008 y 1961-2008, respectivamente. De acuerdo con estos datos y utilizando el método de los polígonos de Thiessen, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **509.5 mm y 14.7° C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1,819.7 mm anuales**.

3.3. Hidrografía

El área pertenece a la Región Hidrológica No. 24a denominada Río Conchos, cuenca del Río Florido, esta región está situada dentro del estado de Chihuahua ocupando las porciones central, oriente y sur, además de una pequeña porción del estado de Durango.

Los ríos más importantes son el Conchos y sus afluentes y formadores: Balleza, El Porvenir, Nonoava, Florido, Parral, San Pedro y Chuviscar. Entre los cuerpos de agua destacan las presas La Boquilla y Luis León sobre el río Conchos, Francisco I. Madero sobre el río San Pedro.

El río Florido, es el único río de Durango que pertenece a la vertiente del Golfo de México, nace en la Sierra de Santa Bárbara, en el estado de Chihuahua, recorre gran parte del municipio de Ocampo, Dgo., penetra de nuevo al estado de Chihuahua, donde se une al Río Conchos, vierte sus aguas en el Río Bravo y finalmente desemboca en el Golfo de México.

3.4. Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, la superficie del acuífero presenta una meseta, surcada por numerosos cañones que le dan la apariencia de sierra. A partir del vulcanismo se depositaron capas de materiales ígneos, como cenizas, gravas y derrames volcánicos de composición riolítica que formaron una gigantesca meseta en esta porción occidental del país.

El terreno es abruptamente escarpado en varias regiones, lo que hace que las variaciones de temperatura sean extremas. Geomorfológicamente el área se encuentra en una etapa de madurez inicial, presentando un drenaje dendrítico a dendrítico subparalelo bien integrado, regido principalmente por los sistemas estructurales (fallas y fracturas) con orientación predominante noroeste-sureste y en menor proporción noreste-suroeste.

4. GEOLOGÍA

La geología de la región está representada por rocas que varían en edad del Paleozoico, hasta el Holoceno (Reciente) (figura 2).

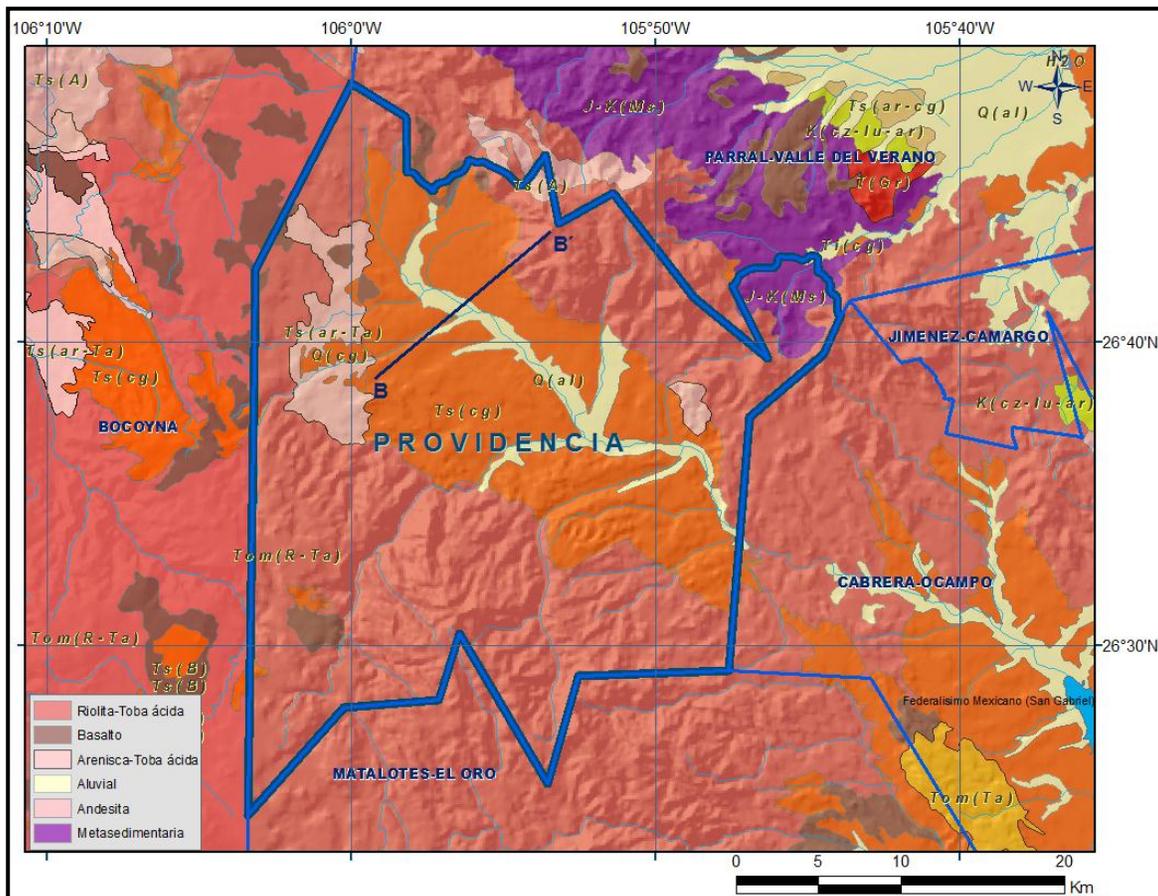


Figura 2. Geología general de acuífero

La unidad más antigua que se conoce en el área está representada por una alternancia micaesquistos, metalavas y calizas, del Paleozoico Superior, seguidas por la secuencia rítmica de areniscas y lutitas de edad Jurásico Superior.

Del Cretácico Inferior afloran de lutitas y calizas, sobreyacidas por una unidad de andesitas masivas.

En el Oligoceno, se desarrolla el vulcanismo riolítico que descansa discordantemente sobre la secuencia volcánica inferior. La secuencia riolítica está constituida por diferentes facies de vulcanismo riolítico, manifestado inicialmente por emplazamiento de grandes masas riolíticas porfídicas, seguida de una fase explosiva durante la cual se emitieron grandes cantidades de material piroclástico con flujos riolíticos; posterior a este vulcanismo ocurrieron eventos volcánicos en forma de riolitas fluidales que se emplazaron a través de fallas; finalmente toda la secuencia es intrusionada por riolitas fluidales que se manifiestan en forma de cuellos riolíticos, a los que se asocian las principales zonas mineralizadas.

El emplazamiento de estos cuerpos riolíticos tiene como producto la formación de brechas volcánicas riolíticas.

Durante las últimas etapas del vulcanismo de la secuencia volcánica superior se inicia el depósito de conglomerados polimícticos, con la depositación de una unidad areno-tobácea con intercalaciones de conglomerado, que posteriormente se constituyen en conglomerados polimícticos que cubren discordantemente a las secuencia riolítica y contemporáneamente a este evento inicia el vulcanismo básico que aparece intercalado en los conglomerados a los cuales finalmente los cubre. Los basaltos se manifiestan en forma de una estructura volcánica.

Por último, durante en el Cuaternario, se depositan los sedimentos areno-arcillosos de poco espesor, originados por la depositación de sedimentos arcillosos en las márgenes de los arroyos, formando planicies de inundación, finalmente producto de la erosión de las unidades preexistentes de depositan arenas y gravas mal clasificados en los cauces de los arroyos, que son depositados por las corrientes fluviales de ríos y arroyos.

4.1. Estratigrafía

Paleozoico Superior

Formación Gran Tesoro. Son las rocas más antiguas de la región y están compuestas por micaesquistos, metalavas y calizas que fueron definidas formalmente en la localidad de Santa María del Oro. Aflora en el extremo nororiental del acuífero, en donde se reconoce una secuencia de esquistos de moscovita y augen gneis de facies de esquistos verdes intercalados, posiblemente en contacto tectónico con filitas de sericita, areniscas y meta andesitas. La edad es del Carbonífero,

definida con fenestélidos y crinoides en las calizas y por radiometría se dató el metamorfismo en los esquistos con método de K-Ar en moscovita. Las rocas de esta unidad fueron descritas por primera vez por Russell R.W. (en Berumen E.R. y Pavón L.R. 1983) de manera informal, utilizando el nombre de Gran Tesoro y considerándolas de edad Permo-Triásico; posteriormente varios autores la mencionan y suponen la presencia del Paleozoico. Garduño M. y Zaldívar R. 1983, las consideran como base del conjunto petrotectónico Santa María.

Cretácico Superior

Formación Mezcalera. Está representada por una alternancia rítmica tipo flysch de areniscas y lutitas, que no aflora dentro de la superficie cubierta por el acuífero. Litológicamente está constituida por una secuencia rítmica de areniscas de grano fino y lutitas intercaladas con horizontes gruesos de calizas y limolita. Como cambio de facies de esta secuencia, se presentan rocas calcáreas de la Formación Aurora constituida por calizas, dolomías, pedernal y horizontes arcillosos.

Paleógeno

Paleógeno-Neógeno

Serie Volcánica Inferior. Formada por dos miembros: el primero y más antiguo sobreyace en discordancia a la Formación Mezcalera, compuesto por un conglomerado de color café con fragmentos subangulosos de lutita calcárea, mal clasificada. El segundo miembro descansa sobre el anterior y está compuesto por tobas arenosas y aglomerados de composición intermedia (andesítica), de color gris verdoso en donde se puede apreciar la presencia de componentes arenosos por lo que se infiere un aumento de actividad volcánica.

Serie Volcánica Intermedia. Sobreyace a la anterior, representada por un grupo de rocas de composición intermedia (andesita -basalto) con horizontes de vitrófidos de unos centímetros hasta dos metros de espesor, de color variante que varía del gris oscuro a pardo rojizo, de textura porfídica, con abundantes plagioclasas sódicas (andesina-oligoclasa), ferromagnesianos (hornblenda) y hematita como mineral accesorio. En ocasiones se observa abundante sericita y propilitización. Para esta serie la roca fue clasificada como pórfido andesítico, indicando la relación que guardan con respecto a los intrusivos del área.

Serie Volcánica Superior. Esta secuencia de rocas sobreyace a las dos series antes descritas, su composición es más ácida que las rocas subyacentes y presenta una fisiografía diferente debido a su variada litología. El espesor calculado es de 112 m. El Grupo o Serie Volcánica Escobedo mide en total 665 m de espesor y presenta su contacto inferior como discordancia erosional con las rocas cretácicas, el contacto superior está definido por la presencia de derrames ácidos ampliamente distribuidos por toda el área. Las primeras manifestaciones de la Serie Escobedo comienzan hacia el Eoceno Superior y continuaron durante el Oligoceno.

Derrames Andesíticos. El área donde están expuestas tiene un marcado contraste con las rocas sedimentarias subyacentes ya que se presentan como escarpes y formas abruptas. Según su descripción, las andesitas presentan una textura afanítica a porfídica, de color gris azulado en diferentes tonos que varían del blanco al violeta oscuro. Estos derrames incluyen variaciones traquita - dacita - riocacita, el espesor calculado para esta sección es de 275 m.

Derrames Riolíticos. Constituido por derrames ácidos. Se diferencian litológicamente asociaciones y alternancia de riolitas porfídicas, corrientes de flujo, tobas soldadas, tobas de caída libre, variando su composición de riolita a riocacita en zonas de corrientes de flujo y hacia la transición a rocas andesíticas.

Tobas Horizontales. Se caracteriza por estar cubriendo a las riolitas y tobas fluidales y por su disposición horizontal. Presenta horizontes de vidrio y están compuestos principalmente por tobas y piroclastos. Tienen un color blanco amarillento y en ejemplares de mano son poco compactas. El espesor de los derrames ácidos se estima en unos 350 a 400 m. Esta unidad, se encuentra ampliamente distribuida, conforma las sierras alargadas que corren en forma paralela entre ellas formando valles y sierras muy típicas en la región. Dentro de esta sierra se tienen variaciones laterales de roca que varía en composición aunque se comporta como un solo paquete. Esta unidad comprende una secuencia de tobas soldadas y sin soldar de composición riolítica con intercalaciones de riolitas. Las tobas presentan fragmentos subangulosos de tamaño fino (aproximadamente 2 cm), de color blanquecino, crema amarillenta a rojizo.

La secuencia forma largas sierras, que se observan con una pseudoestratificación que dan la apariencia de ser grandes bloques que bordean valles. Otro de los aspectos se refleja en la pendiente que adopta la pseudoestratificación, la cual se observa como basculada, pero observaciones de campo definieron que esta disposición se debe al acuñamiento de las tobas riolíticas. La coloración rojiza que se aprecia, es debido a la alteración de los ferromagnesianos que contiene la roca en su composición, acompañada generalmente por alteraciones argilíticas y en ocasiones caoliníticas.

Mioceno

La transición del Oligoceno al Mioceno está marcada por una disminución en el vulcanismo intenso, en un ambiente subacuoso de cuencas cerradas o depresiones, donde se acumularon los grandes depósitos continentales de conglomerado polimíctico. La secuencia litológica del Mioceno, está representada por un conglomerado polimíctico y vulcanismo básico en forma de derrames y diques.

Areniscas y Conglomerado Polimíctico. Se estableció para el Mioceno a una secuencia de poco espesor de tobas-arenosas, representadas por estratos de 30 a 40 cm que sobreyacen al paquete riolítico y subyacen al conglomerado polimíctico. De forma errática se aprecia en lugares aislados o en forma muy local, por su posición litológica en la secuencia estratigráfica se le asignó como la base

del Mioceno. Se trata de una secuencia de estratos areno–tobáceos con horizontes conglomeráticos, que se encuentran en la base de una secuencia conglomerática. Compuesto por arenas-tobáceas, en una matriz de cenizas de grano fino (0.1 mm y 0.3 mm), intercalados en ocasiones por horizontes de conglomerados en forma alterna. El espesor de las capas varía entre 30 a 40 cm.

Conglomerado Polimíctico. Secuencia conglomerática que rellena las depresiones de los valles y que presenta intercalaciones de basaltos. El conglomerado está constituido por clastos de roca mal clasificados de variada composición y tamaño (1 a 20 cm). La composición de los clastos está en función del paquete rocoso que lo delimita, se aprecia cierta gradación y alternancia en la secuencia de depósito que gradada de finos a gruesos, aunque en la mayoría de los casos se manifiesta un depósito caótico. Está compuesto por fragmentos líticos mal clasificados, de color gris claro-amarillento a rojizo, la forma de estos clastos es angulosa y subangulosa de tamaño variable, cementados por una matriz areno-arcillosa, areno-tobácea y carbonatada de pigmentación rojiza. La secuencia de conglomerados presenta intercalaciones de basalto, que varía en espesor de 10 a 30 m y una longitud aflorante que varía de algunos cientos de metros hasta más de 1 km.

Considerando su posible correlación con la Formación Baucarit, su origen se puede considerar que la secuencia pertenece a una facies clástica que comprende conglomerados polimícticos y areniscas, asociados a la formación de un abanico aluvial. Por otro lado su origen también se asocia al proceso distensivo que dio origen a las depresiones y por consiguiente a los clásticos que rellenan estas depresiones.

Basaltos. La última actividad volcánica del Neógeno está representada por emisiones basálticas que cubrieron grandes extensiones de terreno, por su color y forma son fáciles de identificar en campo. Se define como Basalto San Juan a las manifestaciones en forma de derrames intercalados en el Conglomerado Polimíctico; volcanes y conos cineríticos. Los basaltos son de color gris oscuro a negro de textura afanítica que varía a fanerítica, puede ser compacta o vesicular dependiendo de su génesis, contiene plagioclasa sódica (andesina–Labradorita) (Labradorita-bytownita), con cristales de olivino y ferromagnesianos.

La última manifestación del volcanismo continental en el área, está representada por las emisiones Intermitentes de basalto que originalmente cubrieron una extensión considerable de terreno.

Cuaternario

Holoceno

Está representado por sedimentos aluviales, de diferente granulometría, desde gravas, arenas, arcillas y limos no consolidados, mal clasificados y de composición variada, producto de la erosión de las rocas que afloran en la región, que han sido transportadas por las corrientes de los ríos y arroyos hasta las regiones topográficamente más bajas. Su espesor varía de 1 a 10 m.

4.2. Geología estructural

Las rocas y secuencias presentes dentro del área estudiada cuentan con una complejidad litológico-estructural muy importante, de tal forma que están genéticamente asociadas a diversos procesos geológicos que se han sucedido en esta porción de la República Mexicana. Es importante establecer el estado de Durango se presenta en una ubicación morfotectónica que lo coloca justo en la transición entre el dominio geográfico de la Sierra Madre Occidental (SMO) y el dominio geográfico de la Plataforma Coahuila (López-Ramos, 1981; Eguiluz de Antuñano y Campa-Uranga, 1982). En este contexto, las litologías presentan una mezcla de evidencia geológico-estructural que obedece principalmente a la sobreposición de diversos ambientes tectónicos.

Los eventos tectónicos de los que se tiene registro para este rango de edades en la región corresponden principalmente a aquellos relacionados con: a) el desarrollo de una cuenca mesozoica asociada a la apertura del Golfo de México (Rueda-Gaxiola, 2004), b) un proceso de subducción a lo largo de la margen pacífica de Norteamérica desde el Mesozoico y hasta el Cenozoico Tardío (Ferrari et al., 2005), c) la presencia de un evento compresivo en el marco de un ambiente de retro-arco a finales del Cretácico e inicios del Terciario (Eguiluz de Antuñano et al., 2000), y d) la distensión cortical asociada a la provincia extensional del *Basin and Range* (Henry y Aranda-Gómez, 1992).

Estructuralmente el área está definida por dos sistemas preferentes de orientación noroeste-sureste y noreste-suroeste que condicionaron la evolución del vulcanismo y las geoformas en el área. El sistema principal noroeste-sureste, se manifiesta como grandes fallas producto de la fase distensiva, las cuales conformaron y delimitaron los cordones montañosos. El sistema noreste-suroeste se presenta en el área como el fracturamiento asociado a la etapa distensiva, controla la red de drenaje en forma más local, guardando un paralelismo entre los afluentes de los arroyos secundarios, en menor proporción la composición de las unidades litológicas influyen en este sistema.

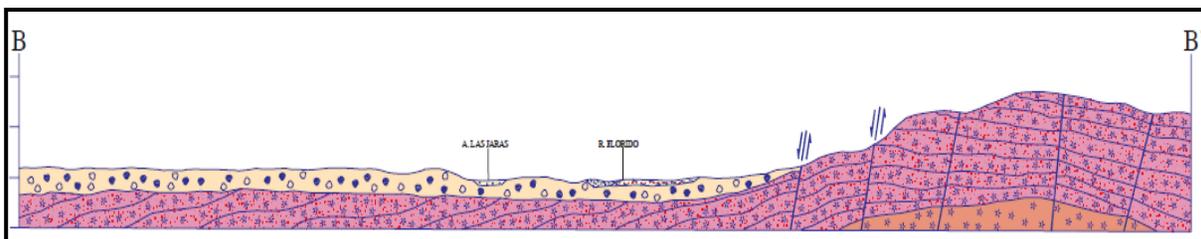
4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos fluviales que constituyen el lecho y la llanura de inundación del río Florido y arroyos tributarios así como en los depósitos de conglomerados. Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la región.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas como son las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas y en menor proporción basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas volcánicas, al desaparecer el fracturamiento, y a mayor profundidad las lutitas que forman parte de la secuencia que constituye la Formación Mezcalera (figura 3).

Los depósitos granulares y conglomeráticos tienen varios cientos de metros de espesor y fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas que se produjeron durante la revolución Laramídica.



Fuente: Carta Geológica-Minera G13-A67 "La Providencia" Esc. 1:50.000 (SGM, 2005)

Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un **acuífero tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar varios metros en el centro del valle. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas y en menor proporción basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

5.2. Parámetros hidráulicos

No fue posible realizar pruebas de bombeo, debido a que los aprovechamientos censados están equipados con Papalotes, los cuales no son adecuados para efectuar este tipo de pruebas. Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son valores promedio obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en acuíferos vecinos, adaptadas al espesor saturado en cada zona y correlacionadas hidrogeológicamente debido a que tanto el origen como la evolución geológica son comunes en esta región del país.

Los valores de transmisividad varían de **0.3 a $1.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , Para el caso de las entradas por flujo subterráneo horizontal se utilizaron valores entre 0.3 y $0.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y para el cálculo de las salidas por flujo subterráneo horizontal varía entre 1.0 y $1.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Estos valores son consistentes con

los obtenidos en pruebas de bombeo realizadas en los acuíferos vecinos. Los valores más bajos están relacionados a la presencia dominante de sedimentos más finos y los más altos a depósitos aluviales de mayor granulometría que conforman las pequeñas planicies de inundación y subálveos de los principales escurrimientos superficiales.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada como parte de las actividades del estudio realizado en el año 2010.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de la profundidad al nivel estático para el año 2010, mostrada en la figura 4, los valores varían desde algunos metros, a lo largo de cauce del río Florido y arroyos tributarios, hasta los 40 m, aumentando gradualmente hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero conforme se asciende topográficamente.

5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5, se observa que los valores varían de 1890 a 2020 msnm, mostrando el reflejo de la topografía, al igual que los valores de profundidad, lo que indica que el flujo subterráneo no ha sufrido alteraciones causadas por la concentración de pozos o del bombeo. Los valores más bajos se localizan a lo largo del cauce del río Florido, desde donde se incrementan por efecto de la topografía hacia el extremo noroeste.

De esta manera, es posible identificar direcciones preferenciales del flujo subterráneo de noroeste a sureste, de sur a norte y de norte a sur, hacia el centro del valle, con alimentaciones procedentes de las sierras hacia el valle, para finalmente confluir en la porción sureste del acuífero.

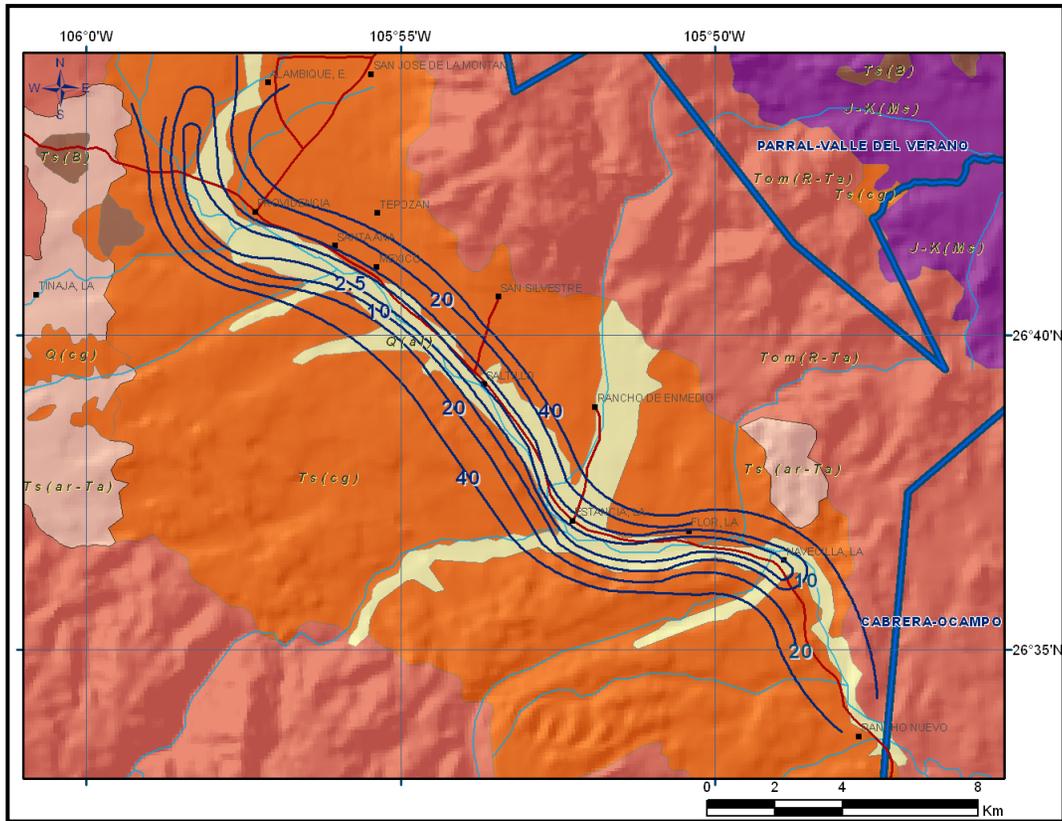


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 2010

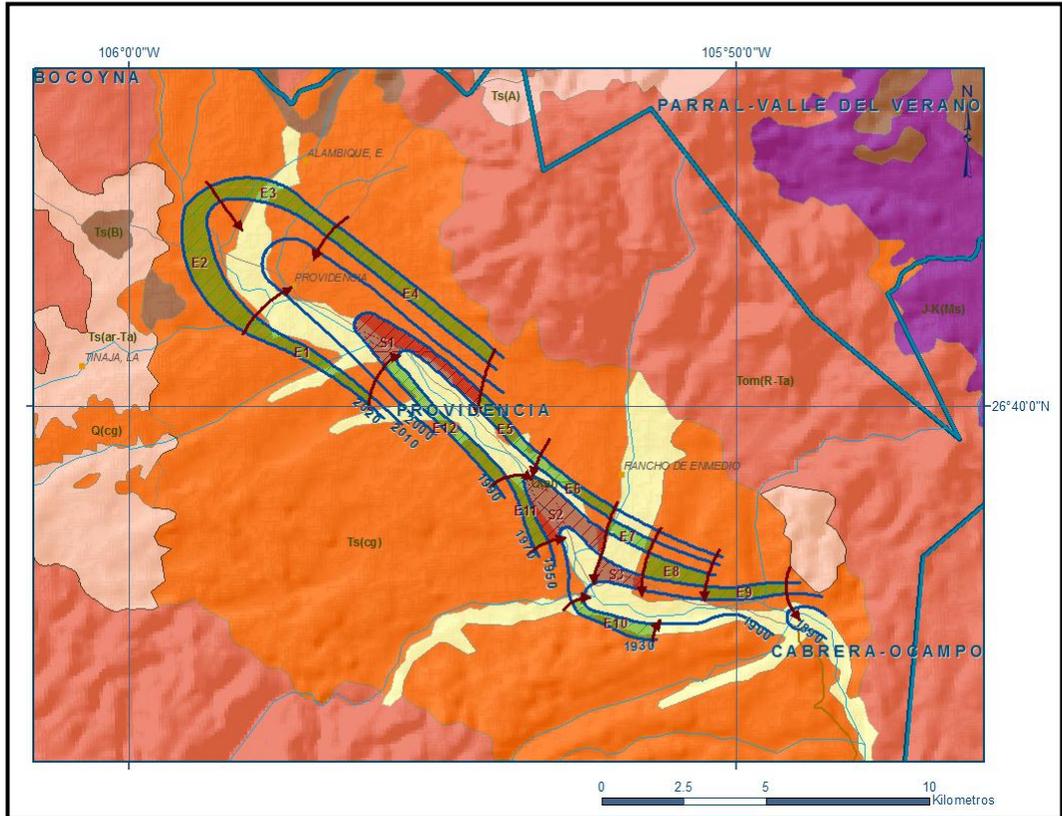


Figura 5. Elevación de nivel estático (msnm), 2010

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Las mediciones realizadas en el año 2010 serán el punto de partida para el establecimiento del monitoreo de los niveles del agua subterránea.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2010, se tomaron 3 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (3 pozos), para su análisis fisicoquímico correspondiente (tabla 2). Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, Fe, Mn, coliformes fecales y totales, etc, para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 36 a 96 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano. Los valores más bajos se ubican en los aprovechamientos ubicados hacia las partes topográficamente más altas, ubicadas en los extremos norte y occidental del acuífero, mientras que los mayores se registran en la porción central, reflejando de esta manera las direcciones preferenciales del flujo subterráneo.

Tabla 2. Aprovechamientos muestreados en el acuífero Providencia

APROVECHAMIENTOS	X	Y	LATITUD	LONGITUD	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	STD (ppm)	pH	T °C	ALK (ml de HCl)
CNA-1007-006	405031	2953057	26.69692	-105.95461	214	96	8.62	15.82	2.9
CNA-1007-009	406646	2951966	26.68718	-105.93829	189	85	8.74	18.26	2.2
CNA-1007-001	403245	2954440	26.70928	-105.97266	78	36	8.57	19.69	2.3

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad baja (C_1) y contenido bajo de sodio intercambiable (S_1), lo que indica que es apropiada para su uso en riego sin restricciones.

En cuanto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó como familia dominante la bicarbonatada-cálcica, que corresponde a agua de reciente infiltración que ha circulado principalmente a través de rocas sedimentarias y volcánicas.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró a existencia de 22 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 18 son pozos y los 4 restantes norias; todos ellos activos.

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **0.5 hm³ anuales**, de los cuales **0.2 hm³** (40.0%) se destinan al uso agrícola, **0.2 hm³** (40.0%) para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región, y los **0.1 hm³** restantes (20.0%) se utilizan para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para 2010 en una superficie de **110 km²** que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localiza la gran mayoría de los aprovechamientos.

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 como sigue:

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

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

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita sobre los depósitos aluviales y conglomerados que conforman los valles, así como la infiltración que se produce a lo largo de los escurrimientos superficiales (R_v), 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 fuentes 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 y el riego agrícola es incipiente, se considera que no existe recarga inducida.

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

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

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

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

Dónde:

R_v = Recarga vertical;

E_h = Entradas subterráneas por flujo horizontal;

B = Bombeo;

Sh = Salidas subterráneas por flujo horizontal;

ETR = Evapotranspiración;

$\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento;

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene la siguiente ecuación:

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

7.1.2. Entradas subterráneas horizontales (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemonte, para posteriormente llegar a recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2010, mostrada en la figura 5. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

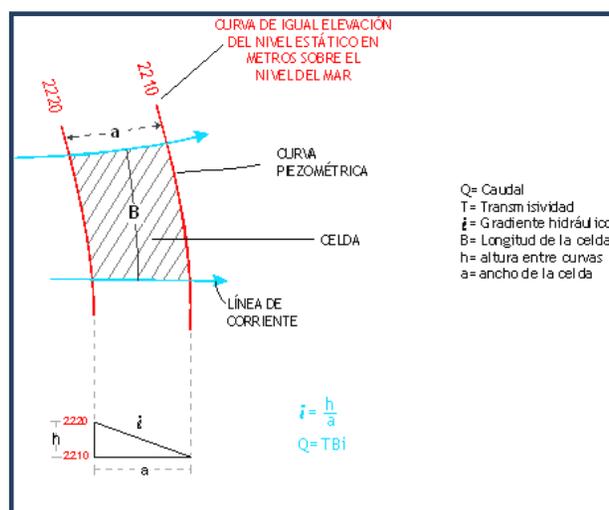
$$Q = B * i * T$$

Donde:

B= Largo del canal de flujo;

i= Gradiente hidráulico ($i = h_2 - h_1 / a$;

T= Transmisividad ($m^2/día$);



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 3 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de **14.0 hm³/año**.

Tabla 3. Cálculo de entradas subterráneas por flujo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2 - h_1$ (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	4180	740	10	0.0135	0.0003	0.0169	0.5
E2	5415	615	10	0.0163	0.0003	0.0264	0.8
E3	3690	740	10	0.0135	0.0003	0.0150	0.5
E4	4920	615	10	0.0163	0.0003	0.0240	0.8
E5	4430	490	20	0.0408	0.0003	0.0542	1.7
E6	2460	490	20	0.0408	0.0003	0.0301	0.9
E7	1480	740	20	0.0270	0.0006	0.0240	0.8
E8	1230	615	20	0.0325	0.0003	0.0120	0.4
E9	2710	490	30	0.0612	0.0003	0.0498	1.6
E10	3690	490	30	0.0612	0.0005	0.1130	3.6
E11	2710	615	20	0.0325	0.0003	0.0264	0.8
E12	4180	490	20	0.0408	0.0003	0.0512	1.6
Total entradas							14.0

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son valores promedio obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo en los acuíferos vecinos Matalotes-El Oro y Cabrera-Ocampo, adaptadas al espesor saturado en cada zona y correlacionadas hidrogeológicamente debido a que tanto el origen como la evolución geológica son comunes en esta región del país.

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por salidas horizontales (Sh), a través de evaporación directa en las zonas de niveles freáticos someros (Ev) y por Bombeo (B). No existen manantiales, ni flujo base en ríos, ya que ambos son de régimen intermitente.

7.2.1. Salidas subterráneas por flujo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración del elevación del NE del año 2010, mostrada en las figura 5.

Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación. El valor total estimado de **12.6 hm³** anuales se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de salidas subterráneas por flujo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	2955	740	20	0.0270	0.0010	0.0799	2.5
S2	3690	470	20	0.0426	0.0010	0.1570	5.0
S3	1475	490	30	0.0612	0.0018	0.1626	5.1
Total entradas							12.6

7.2.2. Evapotranspiración (ETR)

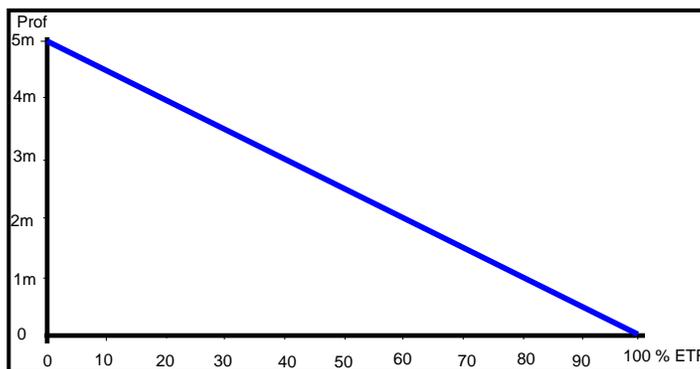
Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real).

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) =	14.7		
P(mm) =	509.5	P ² =	259590.25
L =	826.32615	L ² =	682814.906
ETR (mm)	450.3		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 5 m, hasta la que penetra la vegetación en este tipo de climas, bajo el siguiente proceso: En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 5 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 5 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 5 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 4 m el 20%, a 2 m el 60% etc.



De esta manera, la estimación del valor de la evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno por la lámina de evapotranspiración obtenida y por el 50 % que le corresponde de acuerdo con la gráfica anterior. Tomando en cuenta una superficie de 14 km² en la que la profundidad media al nivel del agua subterránea es de 2.5 m y una lámina de evapotranspiración obtenida de 450.3 mm (con valores de 509.5 mm anuales para la precipitación y 14.7° C de temperatura).

$$ETR = 14 \text{ km}^2 (0.4503 \text{ m}) (0.5) = 3.2$$

Por lo tanto; **ETR = 3.2 hm³/año.**

7.2.3. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es del orden de los **0.5 hm³ anuales**.

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes recabados en recorridos de campo se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento.

Bajo estas consideraciones, 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 esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero; es decir, **$\Delta V(S) = 0$** .

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se procedió a evaluar la recarga vertical por lluvia.

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

$$R_v = 12.6 + 0.5 + 3.2 - 0.0 - 14.0$$

$$R_v = 2.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$R_t = R_v + E_h$$

$$R_t = 2.3 + 14.0$$

$$R_t = 16.3 \text{ hm}^3$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

Rt = Recarga total media anual;

DNCOM = Descarga natural comprometida;

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

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto de manera natural como inducida. Para este caso particular, su valor es de **16.3 hm³/año**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

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

Para el caso del Cuauhtémoc, la descarga por flujo subterráneo ocurre dentro del acuífero, por lo que no se consideran descargas naturales comprometidas. Por lo tanto la **DNCOM = 0**.

8.3. Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2010 es de 530,665 m³**.

8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, 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.

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

$$DAS = 16.3 - 0.0 - 0.530665$$

$$\mathbf{DAS = 15.769335 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **15'769,335 m³ anuales** disponibles para otorgar nuevas concesiones.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio para Determinar la Disponibilidad de los acuíferos Cabrera-Ocampo, Matalotes-El Oro, San José de Nazareno, Galena-El Quemado, La Victoria, Buenos Aires, Torreón de Cañas, San Fermín, San Juan del Río, Cabrera, La Zarca-Revolución y Revolución, estado de Durango. Realizado por convenio con la Universidad de Sonora.

Comisión Nacional del Agua 2010. Estudio para Determinar la Disponibilidad del acuífero Providencia, en el estado de Durango. Realizado por convenio con la Universidad de Sonora.

Servicio Geológico Mexicano, 2005. Carta Geológica-Minera G13-A67 "La Providencia", escala 1:50,000