

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Cabrera-Ocampo  
(1008), 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.**

### CCCLXVIII 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

1008	CABRERA-OCAMPO	29.9	0.0	1.663783	1.8	28.236217	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 CABRERA-OCAMPO (1008), 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 .....	6
3.4.	Geomorfología .....	6
4.	GEOLOGÍA .....	6
4.1.	Estratigrafía .....	8
4.2.	Geología estructural .....	11
4.3.	Geología del subsuelo .....	13
5.	HIDROGEOLOGÍA .....	13
5.1.	Tipo de acuífero .....	13
5.2.	Parámetros hidráulicos .....	14
5.3.	Piezometría .....	14
5.4.	Comportamiento hidráulico .....	14
5.4.1.	Profundidad al nivel estático .....	14
5.4.2.	Elevación del nivel estático .....	14
5.4.3.	Evolución del nivel estático .....	17
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	17
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....	18
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	18
7.1.	Entradas .....	19
7.1.1.	Recarga vertical (Rv) .....	19
7.1.2.	Entradas subterráneas por flujo horizontal (Eh) .....	20
7.2.	Salidas .....	21
7.2.1.	Salidas subterráneas por flujo horizontal (Sh) .....	21
7.2.2.	Evapotranspiración (ETR) .....	22
7.2.3.	Bombeo (B) .....	23
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	23
8.	DISPONIBILIDAD .....	24
8.1.	Recarga total media anual (Rt) .....	24
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	24
8.3.	Volumen concesionado de agua subterránea e inscrito en el REPDA (VCAS) .....	25
8.4.	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS) .....	25
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	25

## **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 Cabrera-Ocampo, designado con la clave 1008 del Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noroccidental del estado de Durango, entre las coordenadas 26° 02' y 26° 42' de latitud norte y 105° 12' y 115° 48' de longitud oeste, abarcando una superficie de 1689 km<sup>2</sup>.

Limita al norte con el acuífero Jiménez-Camargo, del estado de Chihuahua, al oeste con Providencia y Matalotes-El Oro, al sur con Cabrera y al este con el acuífero Torreón de Cañas, éstos últimos pertenecientes al estado de Durango (figura 1).

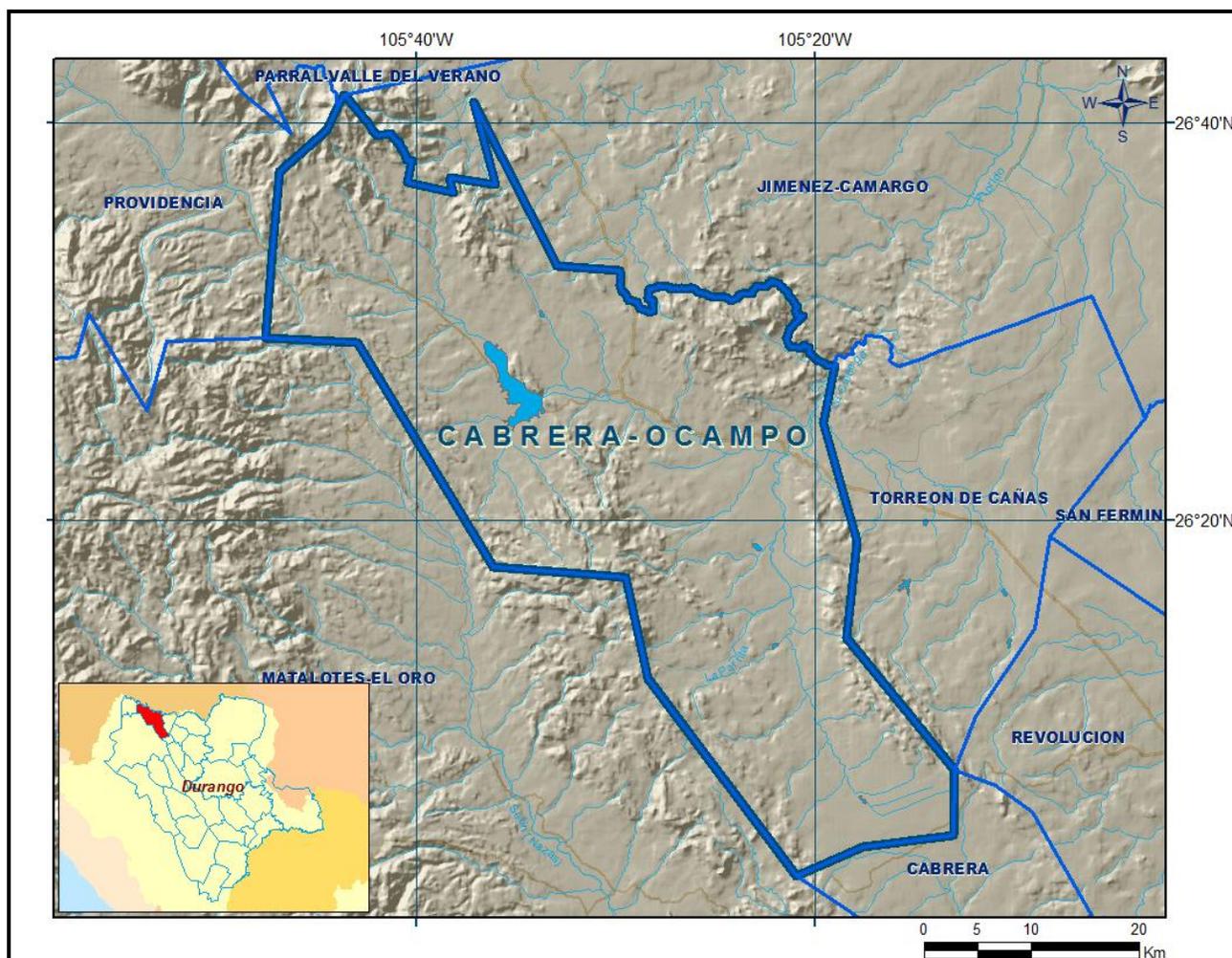


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, el acuífero se localiza casi en su totalidad dentro del municipio de Ocampo, pequeñas porciones de los extremos occidental y sur pertenecen a los municipios San Bernardo, El Oro e Indé.

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

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	105	43	39.6	26	41	22.5	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	105	37	9.0	26	40	59.5	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	105	18	57.9	26	27	43.8	
4	105	19	32.6	26	24	53.3	
5	105	17	53.0	26	18	57.9	
6	105	18	22.9	26	14	5.6	
7	105	12	57.4	26	7	27.1	
8	105	13	1.4	26	4	10.0	
9	105	17	36.2	26	3	34.8	
10	105	20	55.7	26	2	8.2	
11	105	28	22.3	26	12	2.5	
12	105	29	31.2	26	17	6.8	
13	105	36	9.7	26	17	40.6	
14	105	42	58.7	26	28	56.7	
15	105	47	37.3	26	29	11.3	
16	105	47	16.3	26	33	35.1	
17	105	46	55.7	26	37	30.8	
18	105	44	29.7	26	39	36.1	
19	105	43	56.4	26	40	52.8	
1	105	43	39.6	26	41	22.5	

## 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 ninguna veda para la extracción de agua subterránea.

El principal usuario del agua subterránea es el agrícola. Dentro de los límites del acuífero se localiza una porción del Distrito de Riego Río Florido, a la fecha no 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 2010, el municipio de Ocampo se clasifica como zona de disponibilidad 6; los municipios Indé y El Oro se clasifican como zona de disponibilidad 7 y San Bernardo como zona de disponibilidad 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. En algunos acuíferos vecinos se han realizado estudios hidrogeológicos para determinar su recarga media anual. 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. Realizado en Convenio por la Universidad de Sonora (UNISON) para la Comisión Nacional del Agua, 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.

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 acuífero se encuentra ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango. Una muy pequeña zona de la porción oriental del acuífero se ubica en la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, Subprovincia Bolsón de Mapimí

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 la subprovincia Sierras y Llanuras de Durango, conformada por cordones montañosos irregulares, separados por amplios valles, de altitudes variables entre 1700 y 2300 msnm.

### **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 estepario, se presentan las variedades BS1kw(w) y BS1hw(w), siendo la primera la que domina casi la totalidad del acuífero. Este tipo de clima corresponde con el menos seco de los climas secos. El subtipo (1) indica que se trata de un clima semiseco, el cual presenta un grado de humedad mayor que 22.9 (coeficiente que resulta de la relación precipitación/temperatura). La condición de temperatura (k), que es una característica establecida considerando las temperaturas media anual del mes más frío y del más cálido, en los dos primeros casos corresponde con templado con verano cálido, el cual presenta una temperatura media anual entre 12 y 18° C, la media mes más frío entre -3 y 18° C y la del más cálido > 18° C. En caso del clima BS1hw(w) la condición de temperatura (h) corresponde con semicálido con invierno fresco y temperatura media anual entre 18 y 22° C. El régimen de lluvia (w), que define el comportamiento de la lluvia durante el año indicando la temporada en la que se concentra la mayor cantidad, es de verano, cuando el mes de máxima precipitación cae dentro del período mayo – octubre, donde se recibe por lo menos diez veces mayor cantidad de precipitación que el mes más seco del año. El último término indica que el porcentaje de lluvia invernal (cantidad de lluvia que cae en este periodo con respecto a la total anual) en estos tres climas, es < 5.

En una pequeña zona de la porción oriental del acuífero, se presenta el clima templado C(w<sub>0</sub>). En este clima la temperatura media anual se encuentra entre 12 y 18°C, su tipo es subhúmedo (w), ya que su régimen de lluvias es de verano; presenta escasa precipitación todo el año o de invierno. El subtipo (0), implica el grado de humedad, que en este caso corresponde con el menos húmedo, pues su cociente es menor de 43.2. Su porcentaje de lluvia invernal se encuentra entre 5 y 10, mientras que el mes más seco presenta una precipitación > 40 mm.

Para la determinación de las variables climatológicas se tiene información de seis estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Rosario, Villa Hidalgo, Canutillo, Pánuco de Coronado, Sardinias y Santa María del Oro, cuyo registro comprende los periodos 1967-2007, 1967-2007, 1965-2008, 1970-2007, 1961-2006 y 1979-2007, 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 **427.4 mm y 16.3° C**, respectivamente.

De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1802.4 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 norte 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; y 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 región es una meseta, surcada por numerosos cañones que dan la apariencia de sierra. A partir del vulcanismo se depositaron capas de materiales ígneos, como cenizas, gravas y derrames volcánicos, de composición riolítica (rocosa), que forman 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; presenta 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**

Las rocas y secuencias que afloran en el área cubierta por el acuífero presentan una complejidad litológico-estructural muy importante, cuyo origen está asociado a diversos procesos geológicos que se han sucedido en esta porción de la República Mexicana. Es importante establecer que el estado de Durango se ubica morfo tectónicamente justo en la transición entre el dominio geográfico de la Sierra Madre Occidental 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 evidencias geológico-estructurales que obedecen principalmente a la sobreposición de diversos ambientes tectónicos.

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

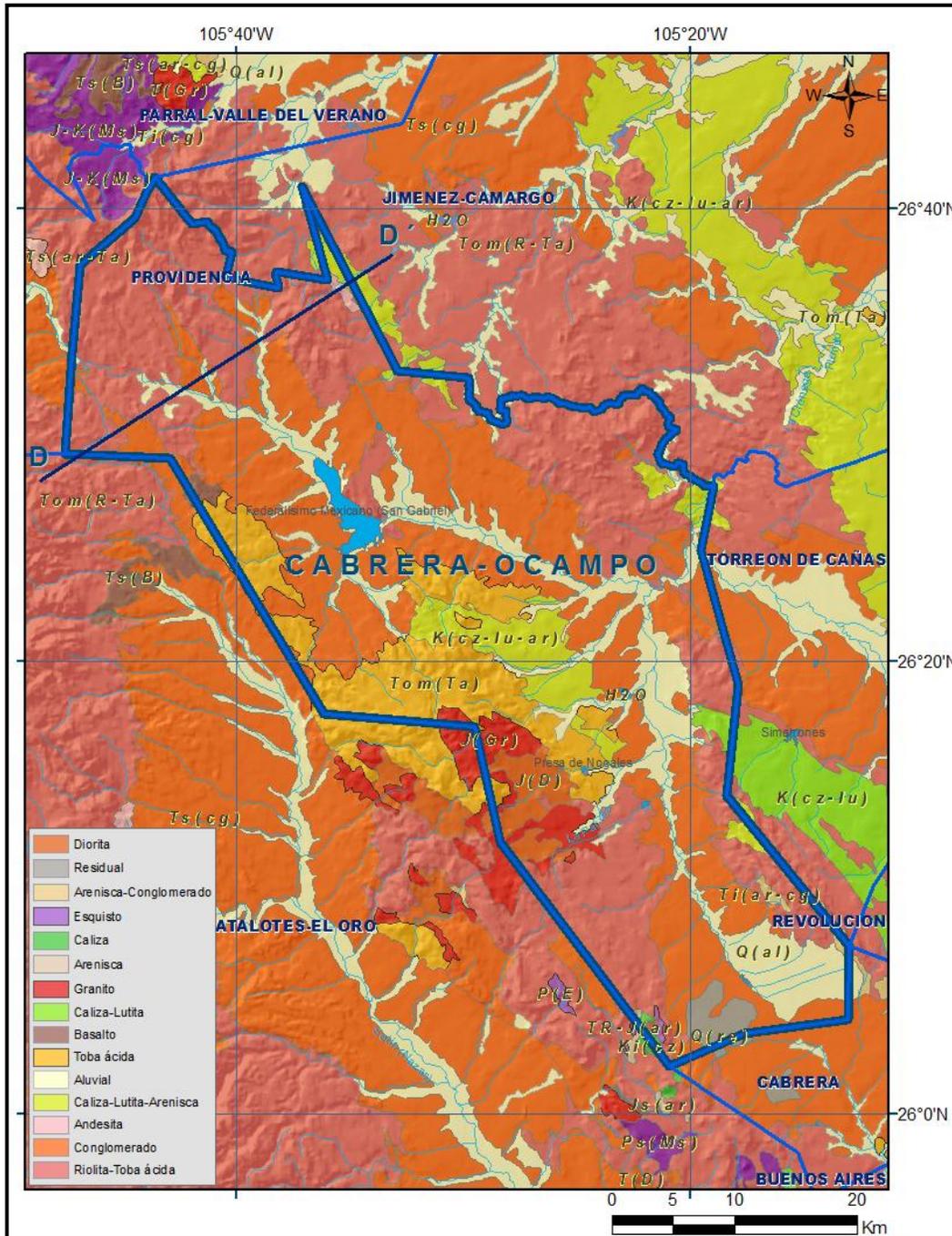


Figura 2. Geología general de acuífero

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 la 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**

El acuífero presenta una litología dominada por rocas volcánicas ácidas paleógenas-neógenas, principalmente tobas riolíticas, riolitas, brechas riolíticas e ignimbritas, así como también por basaltos alcalinos caracterizados por concentraciones locales de megacrístales y xenolitos. Así mismo, se presentan afloramientos de rocas sedimentarias cretácicas y paleógenas-neógenas, y sedimentos continentales cuaternarios.

#### **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

occidente del acuífero, en donde se reconoce una secuencia de esquistos de muscovita 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 muscovita.

Las rocas de ésta 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.

Esta unidad no aflora en el acuífero y su espesor mínimo propuesto por diversos autores que han estudiado el área, es de 150 m.

### **Cretácico Superior**

#### **Grupo Mezcalera (KvapCz-Lu)**

En 1986, Araujo M. y Arenas P. la proponen de manera formal como Formación Mezcalera y en la hoja Indé (G13C19 escala 1:50000) se definieron y cartografiaron cuatro unidades por lo que en términos del Código de Nomenclatura estratigráfico (1983) se conviene denominarla como Grupo Mezcalera. Está representado por una alternancia rítmica tipo flysch de areniscas y lutitas, cuyos afloramientos principales se ubican en las porciones central del acuífero, con afloramientos locales en las regiones norte y noreste. 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 (KaCz-Lu), constituida por calizas, dolomías, pedernal y horizontes arcillosos, que afloran en la sierra La Sierrita y al noroeste en los cerros Andrés y Sotoles.

Esta unidad es la de mayor distribución espacial en el acuífero y se presentan como una intercalación heterolítica de caliza y lutita, con cambios laterales de facies a una intercalación de arenisca y lutita. La edad de esta unidad se considera del Neocomiano- Aptiano.

#### **Formación Aurora**

El nombre Formación Aurora fue propuesto por Burrows (1910) para aquellas rocas que afloran en la porción noreste del estado de Chihuahua, donde están constituidas por capas gruesas de calizas fosilíferas, que presentan abundantes nódulos de pedernal.

Está constituida por calizas de estratificación media a gruesa con diversos desarrollos arrecifales y algunos horizontes de calcarenitas. Presenta una coloración de tonalidad gris a oscura, escasos nódulos de pedernal y hematita hacia la cima. Presenta fracturamiento general que varía de

moderado a intenso, estructuralmente forma pliegues anticlinales cuyo eje se orienta al noroeste-sureste y echados suaves más o menos uniformes.

## **Paleógeno**

### **Paleoceno-Oligoceno**

#### **Secuencia volcánica inferior andesítica y brechas andesíticas (TpaeA- BvA)**

Es considerada de manera informal en el área de Tayoltita por Henshaw (1953), Randall y compañía Minas de San Luis (1975), posteriormente es estudiada sobre la carretera del Mezquitil, Dgo. (Keizer, 1974) y sobre la carretera a Mazatlán por McDowell y Clabaugh (1976); los primeros autores la mencionan constituida por riolitas, toba andesítica y andesitas con un espesor de 800 m; en Topia, Dgo. Lemish (en Clark y otros, 1977), reporta un espesor de 1400 m en una alternancia de andesitas y tobas en la Sierra de Registro y Sierra Colorada, ubicadas al Suroeste de la Cd. de Durango. La litología está constituida por andesitas y brechas andesíticas; megascópicamente las andesitas presentan una textura afanítica de color gris, gris claro, verde oscuro y rojiza; las brechas andesíticas están conformadas por fragmentos angulosos de andesitas y riolitas de pequeñas dimensiones de color variable con tonalidades de púrpura al gris claro. Generalmente esta secuencia tiene la característica especial de presentarse en forma de pseudoestratos de 0.5 a 1.5 m y se encuentra aflorando en forma de ventanas estructurales debido a la tectónica y a la erosión. Se consideran espesores de hasta 700 m en la zona de Tayoltita y Bacís y espesores de 250 m en Tejámen, Alamito, Coneto de Comonfort y San Lucas de Ocampo. La andesita fue datada por el método de K-Ar en la localidad de San Lucas de Ocampo reportando una edad de 38.8 m.a. (Damon, 1975). Otra datación en la carretera Durango - Mazatlán arrojó una edad de 52 m.a. (McDowell y Clabaugh, 1976); por lo que la andesita queda ubicada en el Paleoceno - Eoceno Temprano a Tardío.

#### **Intrusivo granítico eocénico (TeGr)**

Está caracterizado por cuerpos ígneos de composición granítico a granodiorítico que se encuentran intrusionando al grupo Mezcalera en la porción centro-oriental del acuífero.

#### **Grupo Carpintero (To Ig-TR)**

Esta unidad fue definida por Swanson et al. (1978) en la localidad del arroyo del Carpintero, al NW de la ciudad de Durango, relacionándolo con la Formación de la Caldera de Chupaderos. Consiste de las Formaciones El Águila, Cacaria y Santuario, además de una serie de domos y estructuras tipo plugs latíticos, traquíticos y riolíticos, rocas volcánicas ácidas como tobas riolíticas, riolitas, brechas riolíticas e ignimbritas. La edad de esta unidad se tiene en el Oligoceno Medio, a partir de datación radiométrica por el método K-Ar de 28.3 Ma a 31.4 Ma.

#### **Formación Metates (TmB)**

Definida como unidad informal por Córdoba (1963) en las inmediaciones del poblado de Metates en el km 20 de la carretera Durango-Mazatlán. Litológicamente está constituido por basaltos alcalinos

caracterizados por un color gris oscuro a pardo rojizo, textura vesicular a amigdaloidal con relleno de calcita y olivino. Las edades reportadas para estos basaltos se tienen entre 11.7 y 12.6 Ma, ubicándolos en el Mioceno.

## **Cuaternario**

### **Holoceno. Limos (Qholm)**

Se define como limos a los sedimentos transportados de poco espesor, originados por corrientes fluviales formadoras de terrazas y depósitos areno-conglomeráticos cementados o no cementados por arcillas o caliche, mal clasificada. Constituido principalmente por depósitos arcillosos y areno – conglomeráticos mal clasificados, que pueden estar cementados por arcilla o caliche, los espesores medidos en los diferentes afloramientos son variables, de 1 a 10 m.

La característica de esta unidad, se manifiesta como la acumulación progresiva de sedimentos continentales, producto de la erosión sobre las diferentes unidades rocosas del área, transportada y depositada a las márgenes y cambios de dirección de las corrientes fluviales, formando bancos o terrazas de sedimentos mal clasificados

**Aluvión.** Sedimentos cuaternarios transportados por corrientes fluviales de ríos y arroyos que drenan toda el área. Esta unidad queda restringida a las márgenes y lechos de ríos y arroyos. Constituida por gravas, arenas, arcillas y limos no consolidados, mal clasificados, de composición variada, observándose principalmente clastos redondeados de tobas, riolitas, basaltos, conglomerados y ocasionalmente rodados de la Formación Mezcalera. Son el producto de la erosión y arrastre de las unidades preexistentes, por efecto de los ríos y arroyos en un ambiente continental.

## **4.2. Geología estructural**

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).

En el área las rocas de la Formación Mezcalera están fuertemente afectadas por la Orogenia Laramide y debido a que se comportan plásticamente, esta deformación se caracteriza por la abundancia de pliegues muy cerrados, que incluyen formas en “*chevron*”, con ejes axiales orientados de manera general NW-SE e inclinados hacia el NE; esto último sugiere que los esfuerzos compresivos hayan actuado del SW al NE.

La Orogenia Laramide dio como resultado estructuras orientadas NW-SE con una vergencia predominantemente hacia el NE. En el área, las rocas de la Formación Mezcalera son fuertemente afectadas por esta orogenia, y debido a que se comportan plásticamente, esta deformación se caracteriza por la abundancia de pliegues muy cerrados, que incluyen formas en “chevron”, con ejes axiales orientados de manera general NW-SE e inclinados hacia el NE; esto último sugiere que los esfuerzos compresivos hayan actuado del SW al NE.

La deformación anterior está estrechamente ligada a la historia de la subducción de la placa Farallón bajo Norteamérica, ya que es detrás del arco desarrollado por este evento donde se dio la deformación Laramídica. Particularmente en la región del acuífero, este proceso es el responsable de la historia magmática de la Sierra Madre Occidental (SMO).

Las secuencias ignimbríticas del Supergrupo Volcánico Superior dentro de la SMO están coronadas por rocas volcánicas de composición andesítico-basáltico, a las que se les ha denominado andesitas SCORBA. Estas rocas tienen un gran significado tectónico ya que marcan el cambio de un ambiente en subducción a otro de distensión intraplaca (Cameron et al., 1989). Este evento extensional debió haber iniciado a principios del Mioceno y generó una serie de cuencas continentales, cuyo relleno sedimentario, para aquellas desarrolladas en la región, está representado por las secuencias conglomeráticas que incluyen actividad volcánica sincrónica dentro de éstas. A finales del Mioceno, después de los 12 Ma, de nuevo una actividad tectónica distensiva provoca el basculamiento de las rocas del relleno sedimentario antes mencionado y la reactivación del volcanismo (Ferrari et al., 2005; Henry y Aranda-Gómez, 2000). Finalmente, los procesos de erosión y depósito dentro de cuencas continentales actuales permiten el depósito de sedimentos en ambientes predominantemente continentales.

Las estructuras más antiguas detectadas en el área son algunas de las que afectan a las rocas de la Formación Gran Tesoro. Estas estructuras consisten en pliegues muy cerrados de tipo “chevrón”, en zigzag, cabalgaduras de poca extensión y foliación subparalela a la estratificación. Posterior a las estructuras que afectan la Formación Gran Tesoro, se detectan las deformaciones y fallamientos que actuaron sobre las rocas filíticas y sobre las rocas del Grupo Mezcalera, siendo el contacto de entre estas dos últimas formaciones una cabalgadura vergiendo hacia el oriente. Dichas estructuras consisten en pliegues anticlinales, sinclinales, pliegues muy cerrados tipo chevrón y zigzag.

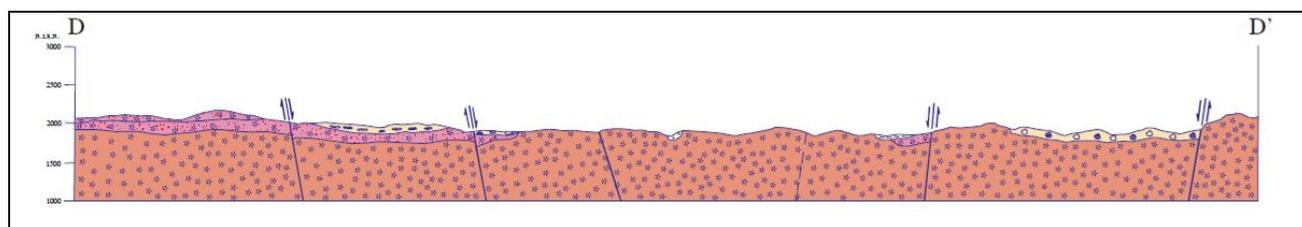
Afectando a todas las unidades que afloran en el área, se presenta un fallamiento normal con direcciones preferenciales NW y echados NE, con fallas menores asociadas de rumbo NE a EW. Las fallas normales forman un conjunto de fosas y pilares, orientados norte-noroeste y paralelos entre sí. Otro sistema de menor de fallamiento, burdamente perpendicular al sistema NW-SE, tiene dirección NE con algunas fallas que delimitan al norte y al sur a las fosas o bajos estructurales formados por las fallas NW-SE.

### 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. 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. A mayor profundidad las rocas calizas representan un acuífero potencial que aún no ha sido explorado.

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: Porción sur de la 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. A mayor profundidad las rocas calizas representan un acuífero potencial que aún no ha sido explorado. A mayor profundidad las rocas calizas representan un acuífero potencial que aún no ha sido explorado y que puede estar confinado por la presencia de lutitas.

## 5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, solo fue posible realizar una prueba de bombeo en la noria con clave CNA-1008-059 ubicada al noroeste del poblado de Villa Ocampo. La prueba fue de corta duración en etapa de abatimiento y de recuperación, los resultados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la prueba de bombeo

ABATIMIENTO		RECUPERACIÓN	
T(m <sup>2</sup> /s)	K(m/s)	T(m <sup>2</sup> /s)	K(m/s)
2.93 X10 <sup>-3</sup>	8.34 X10 <sup>-4</sup>	4.11 X10 <sup>-3</sup>	9.15 X10 <sup>-4</sup>

## 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 2 m, a lo largo de los principales escurrimientos y arroyos tributarios, hasta los 60 m, aumentando gradualmente hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero conforme se asciende topográficamente.

### 5.4.2. Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5, se observa que los valores varían de 1690 a 1890 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, desde donde se incrementan por efecto de la topografía hacia el extremo noroeste y sureste. De esta manera, es posible identificar las direcciones preferenciales del flujo subterráneo de norte a sur y de sur a norte, en la porción norte del acuífero, para confluir hacia la presa Federalismo Mexicano o San Gabriel. En la porción sur del acuífero, la dirección preferencial del flujo subterráneo es sureste-noroeste, desde el parteaguas con el acuífero Cabrera, paralela a la dirección de escurrimiento del río y alimentada desde los flancos oriental y occidental a lo largo de su curso.

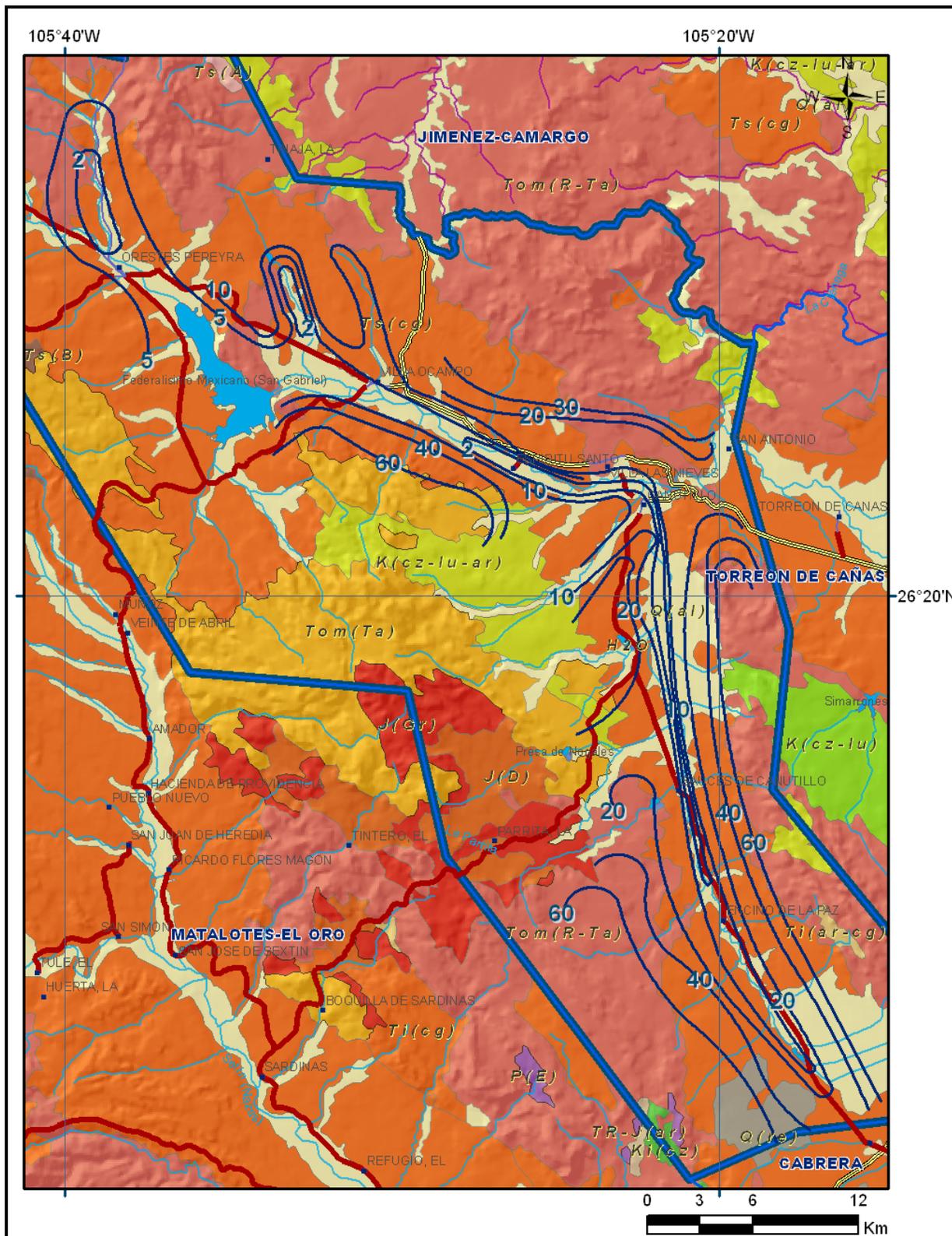


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 2010

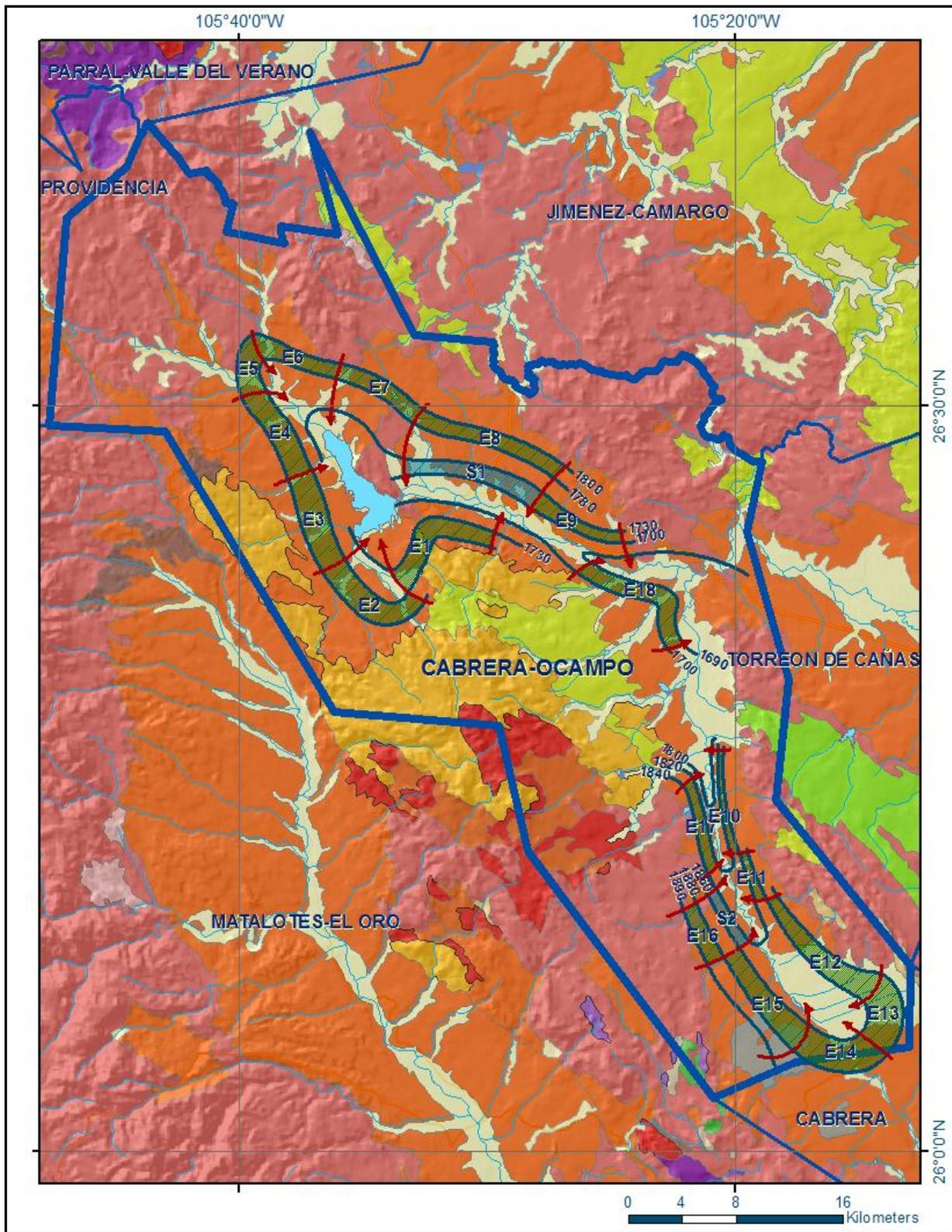


Figura 5. Elevación de nivel estático (msnm), 2010

### **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 6 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (6 pozos), para su análisis fisicoquímico correspondiente (tabla 3). 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 **138 a 240** 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 sur del acuífero, mientras que los mayores se registran en la porción central, reflejando de esta manera las direcciones preferenciales del flujo subterráneo.

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 media ( $C_2$ ) 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 bicarbonatada-cálcica, que corresponde a agua de reciente infiltración que ha circulado principalmente a través de rocas volcánicas y sedimentarias.

Tabla 3. Aprovechamientos muestreados

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD	CE (µs/cm)	STD (ppm)	pH	T °C	ALK (ml de HCl)
A-1008-065	449761	2923990	26.43678	-105.50386	306	138	9.42	26.6	2.5
A-1008-049	461412	2919617	26.39766	-105.38688	534	240	8.26	25.36	4.3
A-1008-056	453479	2921420	26.41370	-105.46640	350	157	8.32	23.52	3.4
A-1008-031	464650	2901308	26.23242	-105.35391	360	166	8.75	19.13	4.1
A-1008-020	467091	2893358	26.16069	-105.32927	380	171	7.97	20.7	4.3
A-1008-009	474343	2881361	26.05251	-105.25647	379	170	7.78	20.4	4.2

## 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 67 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 43 son pozos y los 24 restantes norias; todos ellos activos.

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **1.8 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales **1.0 hm<sup>3</sup>** (55.6%) se destinan al uso agrícola, **0.6 hm<sup>3</sup>** (33.3%) para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región, y los **0.2 hm<sup>3</sup>** restantes (11.1%) 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 420 km<sup>2</sup> 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:

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

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 de un acuífero:

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

## 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 (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola 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 (Ri). 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 (Rv)

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:

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

Dónde:

**Rv**= Recarga vertical;

**Eh**= 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:

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

### 7.1.2. Entradas subterráneas por flujo horizontal (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:

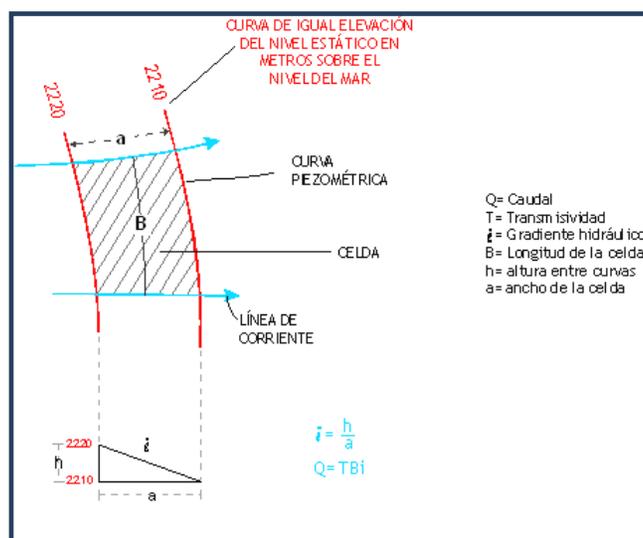
$$Q = B * i * T$$

Donde:

**B**= Largo del canal de flujo;

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

**T**= Transmisividad ( $m^2/día$ );



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, obtenidas tanto en este acuífero como en los 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.

La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 4 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de **28.7 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 4. 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	8400	1400	50	0.0357	0.0005	0.1500	4.7
E2	6070	1870	20	0.0107	0.0005	0.0325	1.0
E3	7000	1400	20	0.0143	0.0005	0.0500	1.6
E4	6070	1400	20	0.0143	0.0005	0.0434	1.4
E5	3270	1870	20	0.0107	0.0005	0.0175	0.6
E6	6070	1400	20	0.0143	0.0005	0.0434	1.4
E7	5600	1870	20	0.0107	0.0005	0.0299	0.9
E8	10730	1630	20	0.0123	0.0005	0.0658	2.1
E9	8400	1400	30	0.0214	0.0005	0.0900	2.8
E10	7000	1170	20	0.0171	0.0005	0.0598	1.9
E11	7000	930	20	0.0215	0.0005	0.0753	2.4
E12	6530	1630	20	0.0123	0.0010	0.0801	2.5
E13	4670	2330	20	0.0086	0.0010	0.0401	1.3
E14	6070	2800	20	0.0071	0.0005	0.0217	0.7
E15	5600	1400	10	0.0071	0.0005	0.0200	0.6
E16	5130	1870	10	0.0053	0.0005	0.0137	0.4
E17	7470	930	20	0.0215	0.0003	0.0482	1.5
E18	10730	1870	10	0.0053	0.0005	0.0287	0.9
<b>Total entradas</b>							<b>28.7</b>

## 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 de elevación del NE del año 2010, mostrada en la figura 5. Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación. El valor total estimado de **9.9  $hm^3$  anuales** se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. 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	8865	1865	30	0.0161	0.0008	0.1141	3.6
S2	4665	1400	20	0.0143	0.0030	0.1999	6.3
<b>Total salidas</b>							<b>9.9</b>

## 7.2.2. Evapotranspiración (ETR)

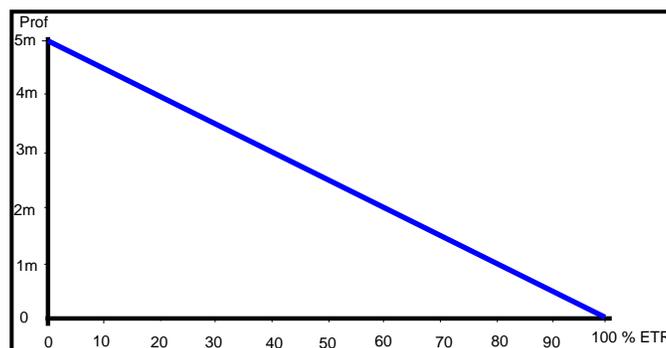
Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera 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) =	16.3		
P(mm) =	427.4	P <sup>2</sup> =	182670.76
L =	924.03735	L <sup>2</sup> =	853845.024
ETR (mm)	405.0		

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 90 km<sup>2</sup> en la que la profundidad media al nivel del agua subterránea es de 2.5 m y una lámina de evapotranspiración obtenida de 405.0 mm (con valores de 427.4 mm anuales para la precipitación y 16.3° C de temperatura).

$$\text{ETR} = 90 \text{ km}^2 (0.405 \text{ m}) (0.5) = 18.2$$

Por lo tanto; **ETR = 18.2 hm<sup>3</sup>/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 **1.8 hm<sup>3</sup> 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.

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

$$R_v = 9.9 + 1.8 + 18.2 - 0.0 - 28.7$$

$$R_v = 1.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\begin{aligned}Rt &= Rv + Eh \\Rt &= 1.2 + 28.7 \\Rt &= 29.9 \text{ hm}^3\end{aligned}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

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

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

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 **29.9 hm<sup>3</sup>/año**.

### 8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que 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 de este acuífero, 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 e inscrito en el REPDA (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2010 es de 1'837,468 m<sup>3</sup>**.

### 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.

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

$$DAS = 29.9 - 0.0 - 1.837468$$

$$\mathbf{DAS = 28.062532 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **28'062,532 m<sup>3</sup> 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.

Servicio Geológico Mexicano, 2005. Carta Geológica-Minera G13-A67 "La Providencia", escala 1:50.000.