

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Buenos Aires (1013),  
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.**

### CCCLXXIII 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

1013	BUENOS AIRES	14.9	0.0	0.329793	0.6	14.570208	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 BUENOS AIRES (1013), ESTADO DE  
DURANGO***

**México D.F., Diciembre de 2010**

## CONTENIDO

1.	GENERALIDADES .....	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.....	6
4.2.	Geología estructural .....	10
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.....	16
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	16
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....	17
7.	BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	17
7.1.	Entradas.....	18
7.1.1.	Recarga vertical (Rv) .....	18
7.1.2.	Entradas subterráneas por flujo horizontal (Eh) .....	19
7.2.	Salidas .....	20
7.2.1.	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	20
7.2.2.	Evapotranspiración (ETR) .....	20
7.2.3.	Bombeo (B).....	22
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	22
8.	DISPONIBILIDAD .....	22
8.1.	Recarga total media anual (Rt).....	23
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	23
8.3.	Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS).....	23
8.4.	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS) .....	23
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	24

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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 Buenos Aires, designado con la clave 1013 del Sistema de Información Geográfica para el Manejo de Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se ubica en la porción norte del Estado de Durango, entre las coordenadas 25°27' y 26°0' latitud norte y 104° 55' y 105° 15' longitud oeste; abarcando una superficie de 1110 km<sup>2</sup>.

Limita al norte con los acuíferos Revolución y Cabrera, al sur con San José de Nazareno, al sureste con La Victoria, al este con La Zarca–Revolución, y al oeste con el acuífero Matalotes-El Oro, todos ellos pertenecientes al estado de Durango (figura 1).

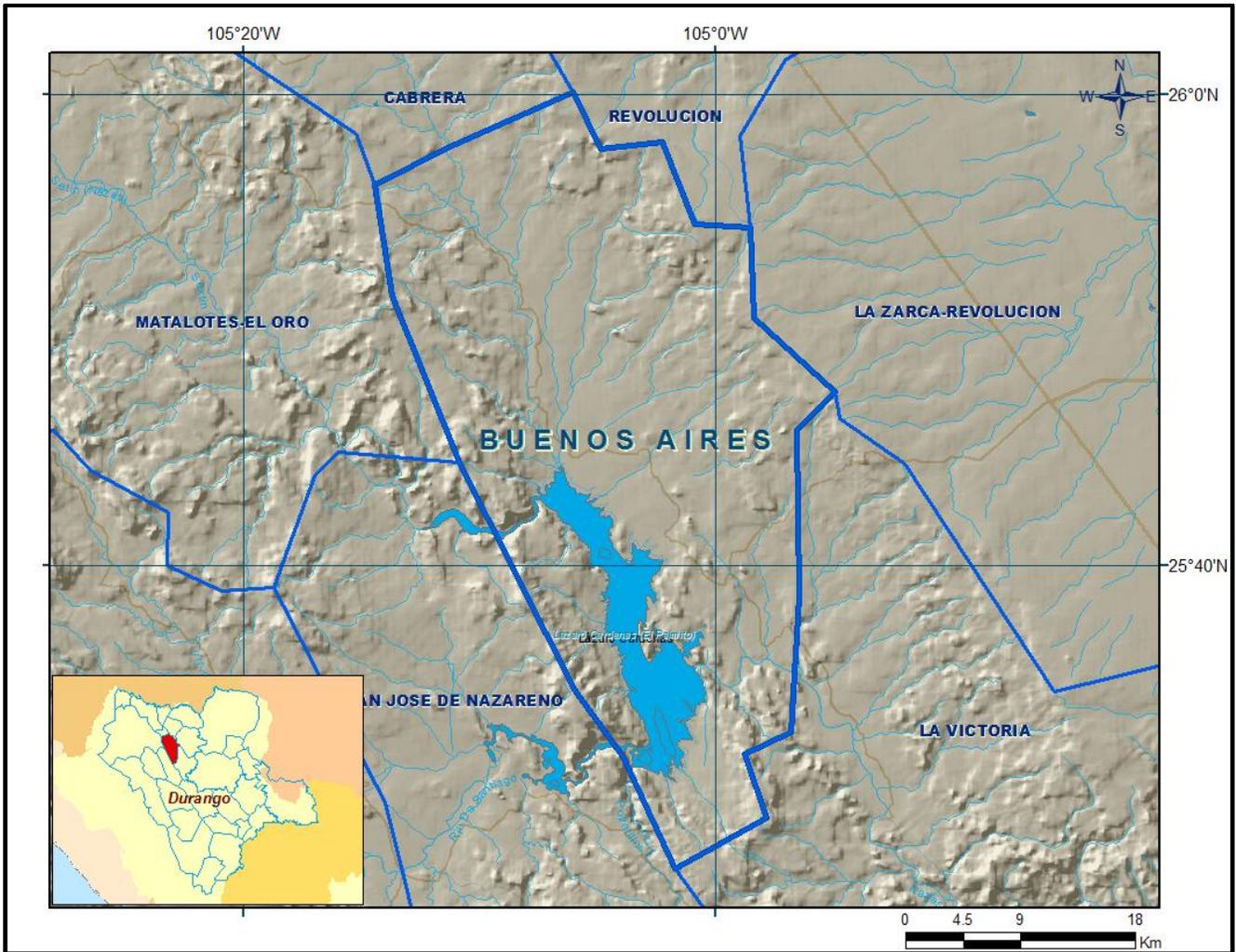


Figura 1 Localización del acuífero

Geopolíticamente el acuífero se encuentra ubicado en su totalidad dentro del municipio de Indé, pequeñas porciones de los extremos suroccidental y oriental pertenecen a los municipios El Oro e Hidalgo, respectivamente.

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 1013 BUENOS AIRES**

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	104	58	23.5	25	50	29.7
2	104	54	56.5	25	47	21.7
3	104	56	33.9	25	45	45.9
4	104	56	28.0	25	38	39.7
5	104	56	47.4	25	32	54.3
6	104	58	46.1	25	31	57.6
7	104	57	49.4	25	29	15.7
8	105	1	42.2	25	27	6.0
9	105	3	56.2	25	31	51.7
10	105	5	59.7	25	34	44.5
11	105	10	51.1	25	44	23.0
12	105	13	41.6	25	51	27.2
13	105	14	26.0	25	56	8.7
14	105	11	15.9	25	57	46.9
15	105	6	3.3	26	0	6.4
16	105	4	52.4	25	57	41.5
17	105	2	16.3	25	57	58.4
18	105	0	51.7	25	54	28.7
19	104	58	30.1	25	54	21.0
1	104	58	23.5	25	50	29.7

**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 en Durango. Su territorio completo no se encuentra sujeto a la disposición de ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos de Materia de Agua 2010, los municipios Indé, El Oro e Hidalgo se clasifican en zona de disponibilidad 7. El uso principal del agua subterránea es 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).

**2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En la zona que comprende el acuífero solo se ha realizado un estudio del tipo geohidrológico de evaluación, con el objetivo de evaluar las condiciones de disponibilidad de agua, además de otros estudios del mismo tipo en acuíferos vecinos. A continuación se resume cada uno de ellos:

**ESTUDIOS DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LA ZONA DE LLANOS DE LA ZARCA, ESTADO DE DURANGO, elaborado por la empresa Servicios Geológicos, S.A., para la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos en el año 1986.** El objetivo general de este estudio fue la definición de las unidades litoestratigráficas que constituyen el subsuelo, su permeabilidad, posición topográfica y estructural, que permitan identificar las condiciones geohidrológicas más favorables de la zona para la perforación de pozos exploratorios.

**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 Buenos Aires se encuentra ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964), Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango.

Esta provincia fisiográfica abarca parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. En ella predominan rocas ácidas (ricas en sílice) e intermedias (contenido medio de sílice). La sierra, que se levanta hasta los 2500 ó 3000 msnm; presenta, hacia el occidente, una importante escarpe, en tanto que hacia el oriente desciende gradualmente a las regiones llanas del centro. En esta franja oriental se tienen cadenas y valles de orientación NE-SW producto de los fallamientos que acompañaron a los procesos de levantamiento ocurridos durante el pleistoceno. Sobre el dorso central de la sierra los materiales volcánicos se encuentran en amplios mantos tendidos que conforman las elevadas mesetas que son típicas de la provincia. Una particular

conjunción de actividad tectónica, rasgos litológicos, distribución de fracturas y procesos erosivos hídricos propició la excavación de profundos cañones cuyos ejemplos más espectaculares se presentan sobre las vertientes occidentales de la sierra.

### **3.2. Clima**

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el acuífero Buenos Aires se presentan climas secos esteparios (BS), principalmente de dos tipos: BS<sub>1</sub>kw(w), BS<sub>0</sub>kw(w) y BS<sub>0</sub>hw(w), que son los menos secos. El primero el que predomina en más de la mitad del acuífero y se manifiesta principalmente en la porción norte. El subtipo (<sub>1</sub>) en el primer caso 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). Por otro lado, el subtipo (<sub>0</sub>) indica que es seco, pues su grado de humedad es menor de 22.9.

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 BS<sub>0</sub>hw(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.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de cuatro estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: El Palmito, Indé, El Mirador y General Escobedo, cuyo registro comprende los periodos 1938-2007, 1979-2007, 1979-2006 y 1978-2007, 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 **399.2 mm y 18.3°C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2196.3 mm anuales**.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica RH36 Nazas – Aguanaval, Cuenca de la Presa Lázaro Cárdenas, subcuenca de los ríos Ramos y El Oro. Esta Región se encuentra situada al norte del país, en la altiplanicie septentrional; ocupando porciones de los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas. Está comprendida entre los meridianos 101°31' y 106°14' de longitud oeste, y los

paralelos 22°39' y 26°35' de latitud norte, abarcando una superficie de . 89,239 km<sup>2</sup>; limita al norte con la región hidrológica 35, al noroeste con la región hidrológica 24c, al este con la región hidrológica 37, al sur con la región hidrológica 12, al suroeste con la región hidrológica 11, al oeste con la región hidrológica 10, y al noroeste con la región hidrológica 24a.

Los ríos más importantes en la región son el Nazas, el cual nace en el estado de Durango, y Agua Naval, que nace en el estado de Zacatecas. Localmente, el acuífero Buenos Aires se encuentra ubicado en la cuenca del arroyo Grande, donde se localiza la Presa Lázaro Cárdenas.

### **3.4. Geomorfología**

El área está comprendida en la provincia de la Sierra Madre Occidental, en la subprovincia de Sierras y Llanuras de Durango, el promedio de altitudes de las Sierras en la parte norte oscila entre los 2100 y 2960 m.s.n.m. separadas por cuencas–subcuencas intermontanas y de pie de monte. Hacia la parte centro, las Sierras y mesetas son más altas, del orden de 2600 a 3230 m.s.n.m. separados por la cuenca del Río Santiago – Río Chico.

## **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.

### **4.1. Estratigrafía**

La estratigrafía está representada por unidades litológicas cuyo rango de edad varía del Paleozoico al Reciente, que comprende rocas metasedimentarias, ígneas (intrusivas y extrusivas) y sedimentarias (figura 2). Se describen a continuación de acuerdo a su posición estratigráfica:

#### **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 noroeste del acuífero, sobre el Arroyo Pescaditos, 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 metaandesitas. 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 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. El espesor mínimo propuesto por diversos autores que han estudiado el área, es de 150 m.

## **Cretácico Superior**

### **Grupo Mezcalera**

En 1986, Araujo M. y Arenas P. la proponen de manera formal como Formación Mezcalera y en la hoja Indé (G13C19 escala 1:50,000) 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 suroriental y oriental del 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 (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.

### **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 Mezquital, 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.

### **Grupo Carpintero (Tolg-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.

### **Granodiorita (TeGd)**

En la carta geológica-minera "Indé" (escala 1:50,000) afloran dos cuerpos importantes de granodiorita. En la esquina nororiental (norte del acuífero Buenos Aires) aflora un tronco intrusivo conocido como Cerro Blanco que está emplazado en la secuencia pelítico-calcárea del Grupo Mezcalera y cubierto por tobas e ignimbritas de la Formación Indé. Corresponde a un afloramiento casi circular de aproximadamente 3 km de diámetro. Este tronco está constituido de una granodiorita de textura equigranular gruesa, constituida por cuarzo, albita, oligoclasa microclina, biotita y pirita. Se observa alteración débil de cuarzo, epidota, sericita, magnetita y clorita. Es típica su exfoliación en "cebolla". El segundo cuerpo se localiza al suroeste del poblado de Indé, corresponde a un afloramiento irregular más pequeño formando una anomalía topográfica invertida. Se trata de una granodiorita de biotita.

### **Cuaternario**

#### **Conglomerado polimíctico Formación Santa Inés (TnCgp)**

Fue propuesto por E. de la Vega (1968) para designar a depósitos clásticos continentales que afloran al surponiente y suroriente de Cuencamé, Durango, con un espesor de 5 a 30 m. Consiste de clastos

de roca volcánica ácida subredondeados a subangulosos del tamaño de guijas finas a cantos rodados medianos que varían de no consolidados a bien cementados, en una matriz de grava y arena. La litología consta de fragmentos líticos de rocas volcánicas ácidas como tobas riolíticas, riolitas, brechas riolíticas e ignimbritas con un grado de esfericidad de subredondeado a subanguloso, mal clasificados, con diámetros variables de 1 a 40 cm, semicompactos a cementados en una matriz arenosa, constituyendo en ocasiones estratificación mientras que en otros sitios se encuentran en forma caótica. Por la similitud litológica y relación estratigráfica que se aprecian, estos depósitos se correlacionaron con la Formación Los Llanos, asignándole una edad correspondiente al Plioceno Tardío.

Los depósitos aluviales se presentan a lo largo de los arroyos, en las planicies de inundación y en torno del vaso de la presa Lázaro Cárdenas. Están constituidos por sedimentos de granulometría variable, de gravas a arcillas.

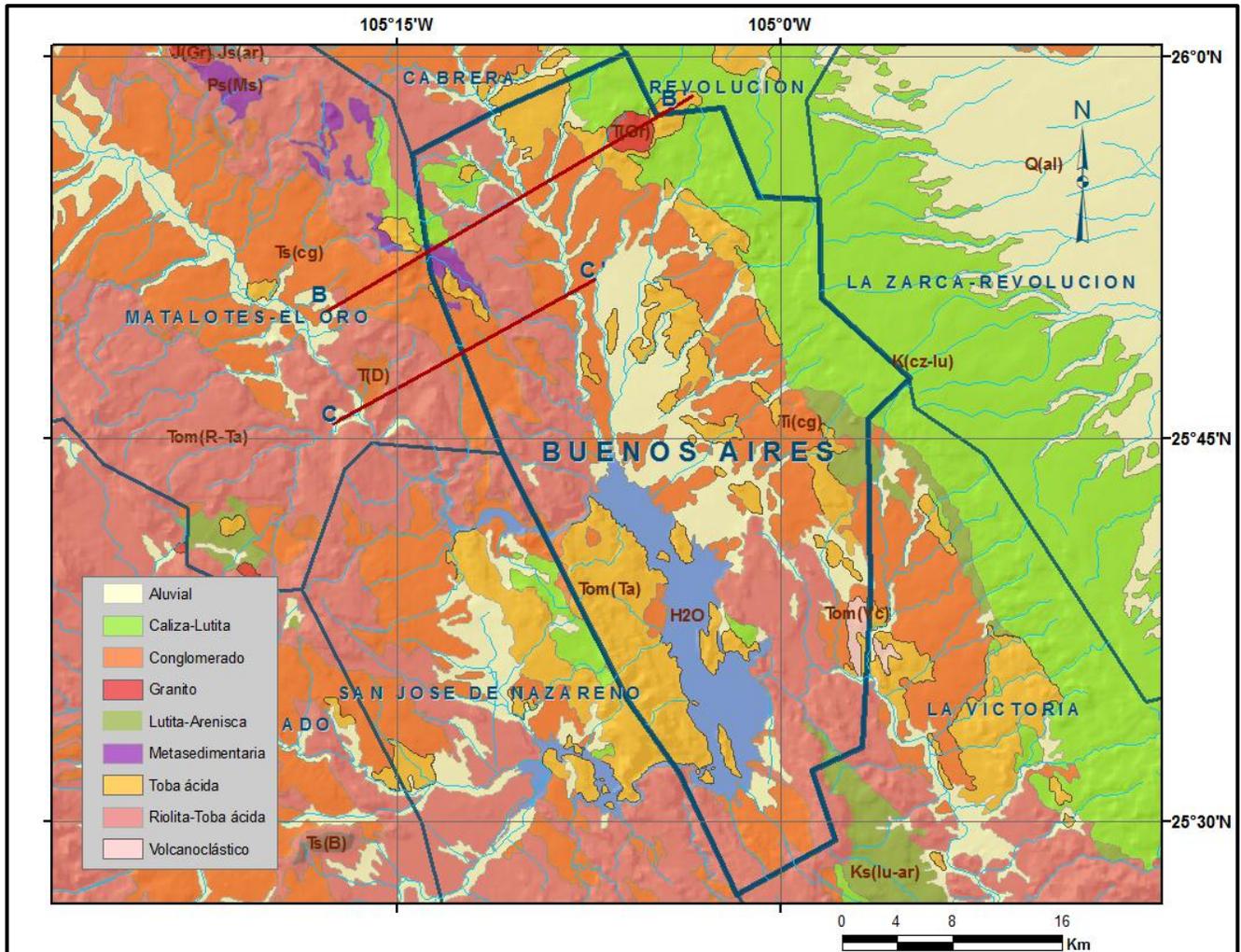


Figura 2 Geología del Acuífero

## 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 Paleógeno-Neógeno (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 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 presentó la deformación laramídica. Particularmente en la región estudiada, este proceso es el responsable de la historia magmática de la Sierra Madre Occidental.

En un contexto general, la evolución del magmatismo se inserta en el patrón de migración del arco volcánico hacia el interior del continente y su posterior regreso hacia la trinchera entre el Cretácico Tardío y el presente (Damon *et al.*, 1983). Durante este periodo ocurre la Orogenia Laramide. Una vez cesada la contracción, a finales del Eoceno, inicia el regreso del arco a medida que la placa subducida aumenta su ángulo. Esta evolución tectónica deja dos productos importantes dentro del área. Por una lado, permite el desarrollo del volcanismo intermedio a félsico del Complejo Volcánico Inferior durante el Eoceno; y por otro, los grandes volúmenes de rocas principalmente piroclásticas félsicas del Supergrupo Volcánico Superior.

Las secuencias ignimbríticas del Supergrupo Volcánico Superior 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 la secuencias conglomeráticas que incluyen actividad volcánica sincrónica dentro de éstas. 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, ocurrieron 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.

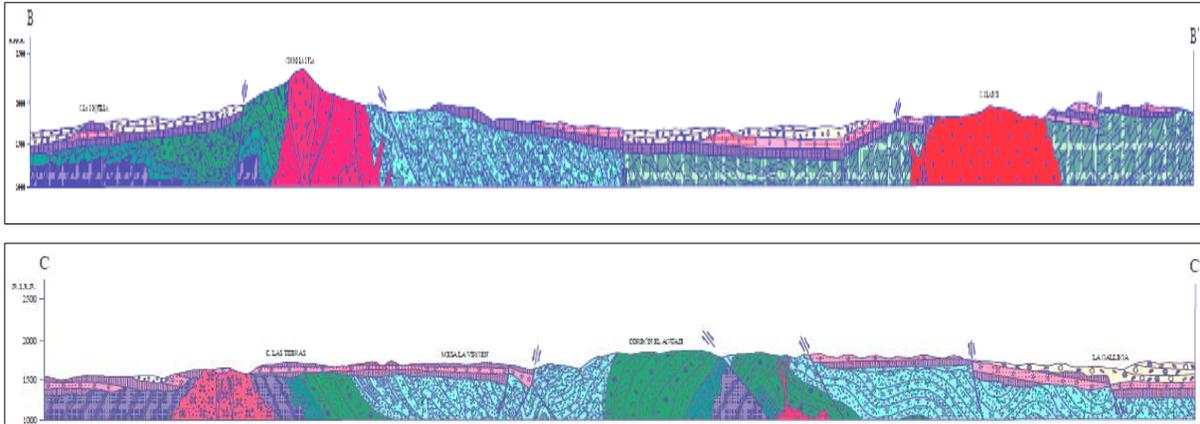
Otro sistema de menor de fallamiento, burdamente perpendicular al sistema NW-SE, tiene dirección NE con algunas fallas que delimitan al norte y al sur a las fosas o bajos estructurales formados por las fallas NW-SE.

### **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 de los arroyos 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, 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: Carta Geológica-Minera G13-C19 "Indé" Esc. 1:50 000 (SGM, 2005)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

## 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 cientos de metros en el centro de los valles, principalmente los de origen tectónico. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. 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 del estudio realizado en el año 2010, se realizaron dos pruebas de bombeo de corta duración en etapas de abatimiento y de recuperación. Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos de Theis y Theis & Jacob. El primero se utilizó para los datos tomados en abatimiento y el segundo para los de recuperación (tabla 2).

De los resultados de la interpretación por métodos analíticos, se establece que los valores de transmisividad varían entre  $5.58$  y  $3.51 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  con un valor promedio de  $4.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ; los valores de conductividad varían de  $6.20 \times 10^{-6}$  y  $1.13 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  con un valor promedio de  $5.2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ .

Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no se pudieron obtener valores del coeficiente de almacenamiento.

Tabla 2 Parámetros hidráulicos del acuífero

Aprovechamiento	Tipo	Abatimiento		Recuperación	
		T(m <sup>2</sup> /s)	K(m/s)	T(m <sup>2</sup> /s)	K(m/s)
CNA-1013-017	Pozo	5.58 X10 <sup>-4</sup>	6.37 X10 <sup>-6</sup>	5.43 X10 <sup>-4</sup>	6.20 X10 <sup>-6</sup>
CNA-1013-003	Noria	3.51 X10 <sup>-4</sup>	8.37 X10 <sup>-5</sup>	4.74 X10 <sup>-4</sup>	1.13 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 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, que se muestra en la figura 4, los valores de profundidad varían desde algunos metros, a lo largo de los arroyos, hasta los 50 m, aumentando gradualmente hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero.

#### 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 entre 1730 a 1440 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 en la porción centro y sureste del acuífero, en las inmediaciones de la presa Lázaro Cárdenas y hacia el Río Nazas Zarqueños, desde donde se incrementan gradualmente por efecto de la topografía hacia los extremos norte y sur.

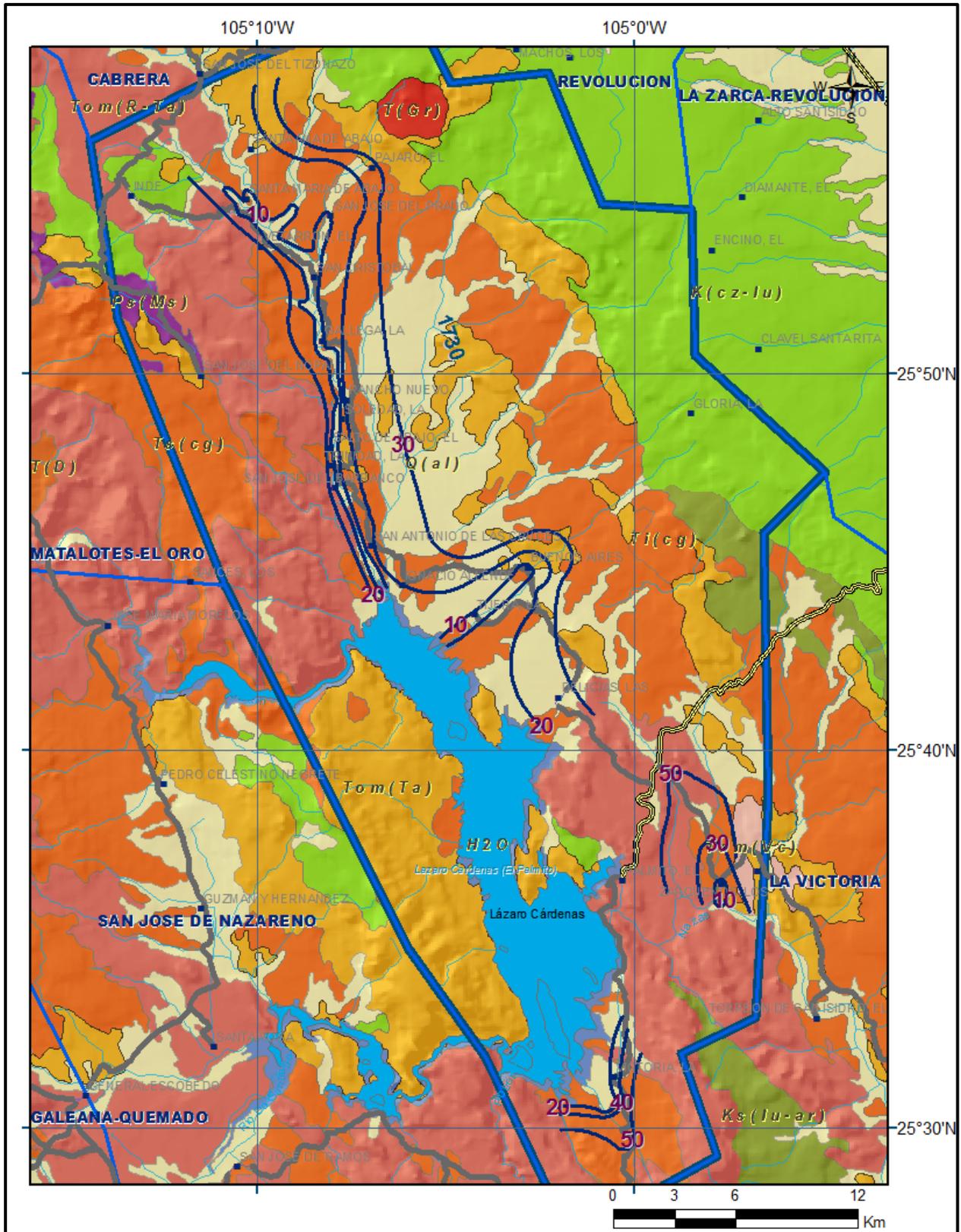


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m(2010)

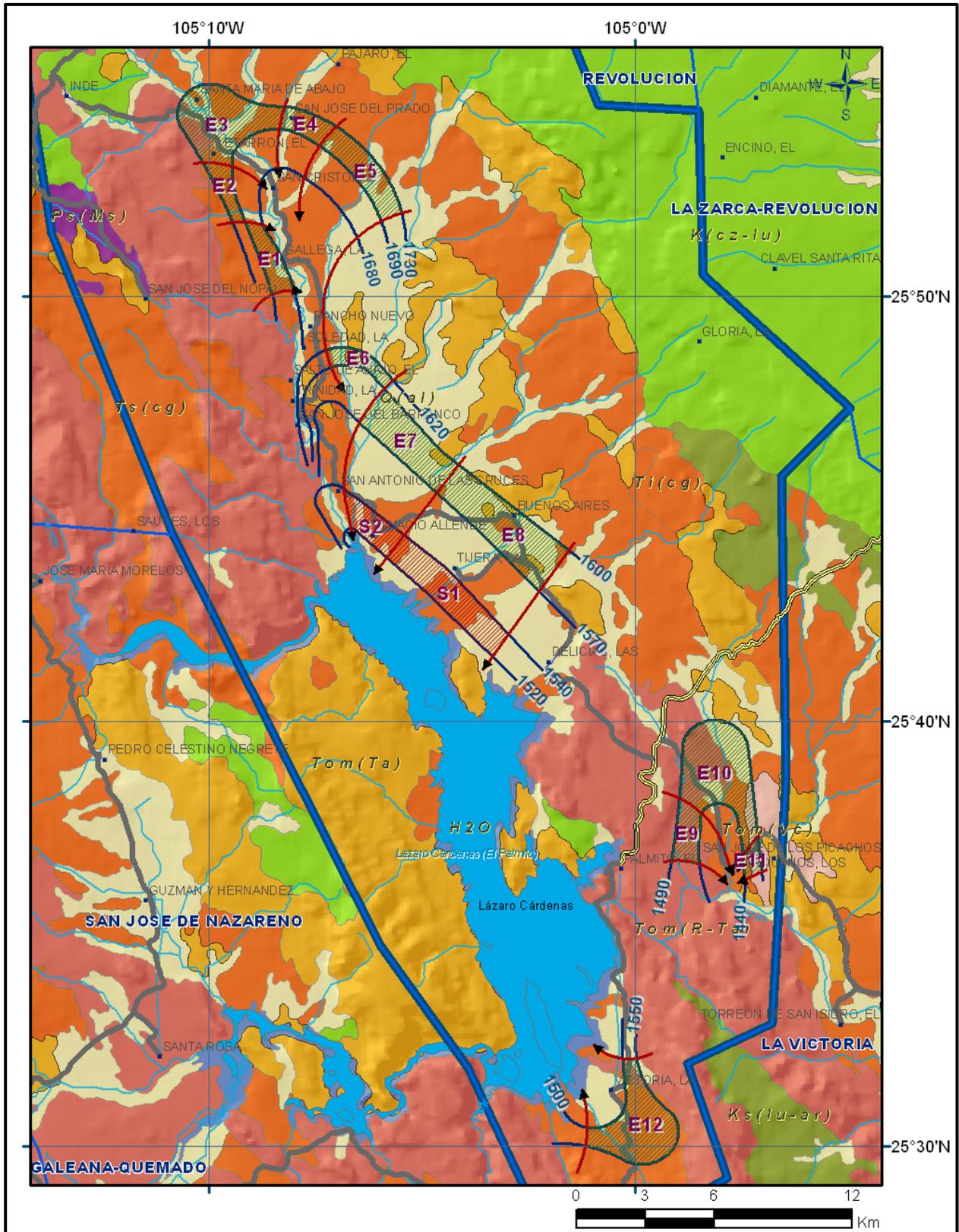


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

### **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 5 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (2 pozos y 3 norias), para su análisis fisicoquímico correspondiente. 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 90 a 657 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 el extremo norte, mientras que los mayores se registran en la porción central, reflejando de esta manera la dirección preferencial 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 solo uno de estos aprovechamientos CNA-1013-015 presenta salinidad alta ( $C_3$ ), el contenido de sodio intercambiable es bajo ( $S_1$ ), 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-magnésica, que corresponde a agua un poco mas evolucionada.

Tabla 3 Aprovechamientos muestreados en el acuífero Buenos Aires

APROVECHAMIENTOS	X	Y	Lat.	Long.	CE (µs/cm)	STD (ppm)	pH	T °C	ALK (ml de HCl)
CNA-1013-015	495215	2847585	25.745911	105.047259	1460	657	7.67	24.34	5.4
CNA-1013-017	488091	2848976	25.758432	105.118303	615	277	7.61	25.82	5.3
CNA-1013-021	486789	2851664	25.782695	105.131312	418	187	7.82	22.04	3.5
CNA-1013-027	485576	2861792	25.874144	105.143521	583	263	7.72	24.68	5.6
CNA-1013-034	498837	2830849	25.594782	105.011131	193	90	9.03	20.04	2.5

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró la existencia de 36 aprovechamientos en el acuífero, de los cuales 23 son pozos y 13 norias, todos ellos activos.

El volumen de extracción se ha estimado en **0.6 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 0.5 hm<sup>3</sup> (83.3 %) se destinan al uso agrícola, y los 0.1 hm<sup>3</sup> restantes (16.7%) se utilizan para abastecimiento de agua potable a los centros de población. Un volumen muy pequeño se utiliza para satisfacer las necesidades del uso Doméstico.

## 7. BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA

El balance de aguas subterráneas se planteó para 2010 en una superficie de 200 km<sup>2</sup> que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localizan 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 del tiempo establecido.

La ecuación de balance de aguas subterráneas, de acuerdo con la ley de conservación de la masa, se expresa:

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

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

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

## 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:

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

Donde:

$R_v$ = Recarga vertical;

$E_h$ = Entradas subterráneas por flujo horizontal;

$B$ = Bombeo;

$Sh$ = Salidas subterráneas por flujo horizontal;

$ETR$ = Evapotranspiración real;

$D_m$ = Descarga natural por manantiales;

$\Delta V(S)$ = Cambio en el volumen almacenado;

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 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 la 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:

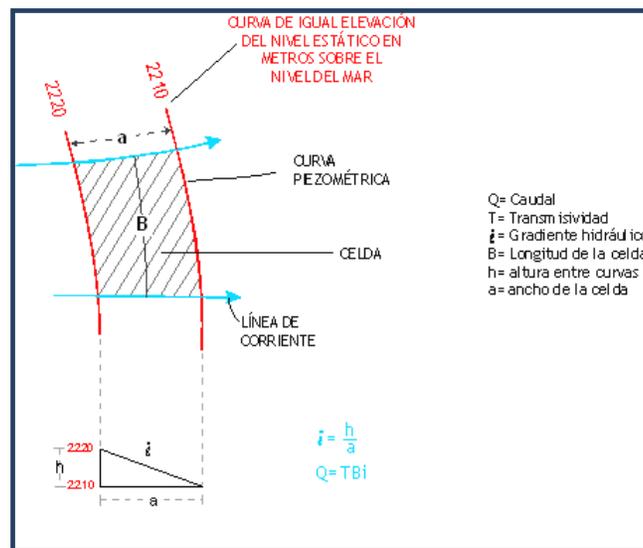
$$Q = T * B * i$$

Donde:

**T** = transmisividad (m<sup>2</sup>/día);

**B** = ancho de la celda;

**i** = gradiente hidráulico ( $i = \frac{h_2 - h_1}{a}$ );



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 **14.5 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	2610	650	10	0.0154	0.0003	0.0120	0.4
E2	4245	815	40	0.0491	0.0003	0.0625	2.0
E3	2610	1960	40	0.0204	0.0005	0.0266	0.8
E4	1960	1305	40	0.0307	0.0003	0.0180	0.6
E5	4570	980	40	0.0408	0.0003	0.0560	1.8
E6	3920	980	20	0.0204	0.0005	0.0400	1.3
E7	4900	1960	30	0.0153	0.0006	0.0450	1.4
E8	6200	1630	20	0.0123	0.0006	0.0456	1.4
E9	2610	1470	50	0.0340	0.0004	0.0355	1.1
E10	4245	1960	50	0.0255	0.0003	0.0325	1.0
E11	1960	650	50	0.0769	0.0003	0.0452	1.4
E12	5880	2120	50	0.0236	0.0003	0.0416	1.3
<b>Total entradas</b>							<b>14.5</b>

## 7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por salidas horizontales (Sh), evapotranspiración (ETR) y Bombeo (B). No existen manantiales, ni flujo base en ríos.

### 7.2.1. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración del 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 **10.4  $hm^3$  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	9670	1330	10	0.0075	0.0030	0.2181	6.9
S2	3670	1000	10	0.0100	0.0030	0.1101	3.5
<b>Total entradas</b>							<b>10.4</b>

### 7.2.2. Evapotranspiración (ETR)

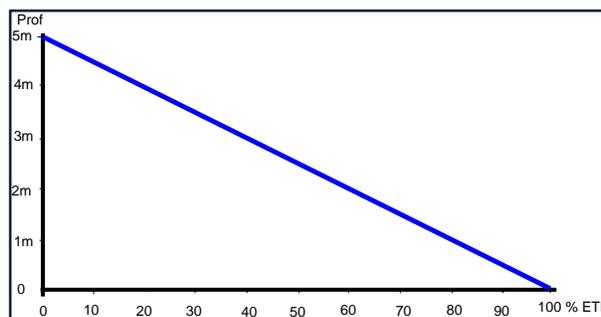
Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera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

Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR). Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración. 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) =	18.3		
P(mm) =	399.2	P <sup>2</sup> =	159360.64
L =	1063.92435	L <sup>2</sup> =	1131935.02
ETR (mm)	391.3		

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 evapotranspiración 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 60 km<sup>2</sup> en la que la profundidad media al nivel del agua subterránea es de 2.5 m y la lámina de evapotranspiración obtenida de 391.3 mm (con valores de 399.2 mm anuales para la precipitación y 18.3 °C de temperatura). ETR = 20 km<sup>2</sup> (0.3913 m) (0.5) = 3.9.

Por lo tanto; **ETR = 3.9 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 **0.6 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 no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. De esta forma, 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 de la ecuación de balance

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

$$\begin{aligned} R_v &= S_h + B + ETR - \Delta V(S) - E_h \quad (2) \\ R_v &= 10.4 + 0.6 + 3.9 - 0.0 - 14.5 \\ R_v &= 0.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la recarga total es igual a la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + E_h \\ R_t &= 14.5 + 0.4 \\ R_t &= 14.9 \text{ hm}^3 \end{aligned}$$

## 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:

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

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 **14.9 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 del acuífero Buenos Aires, la descarga por flujo subterráneo ocurre dentro del acuífero hacia la Presa Lázaro Cárdenas, pero no se considera descarga natural comprometida, **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 del Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo del 2010, es de 612,442 m<sup>3</sup>/año**.

### 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.

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

$$DAS = 14.9 - 0.0 - 0.612442$$

$$\mathbf{DAS = 14.287558 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **14'287,558 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.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1986. Estudio de Prospección Geohidrológica de la Zona de Llanos de la Zarca, Estado de Durango. Realizado por la empresa Servicios Geológicos S. A.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y Consejo de Recursos Minerales, 1998. Informe sobre la Cartografía Geológico-Minera y Geoquímica de la Hoja "Indé" G13C19. Realizado por la empresa Minera Cascabel, S.A. de C.V.