

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Galeana-Quemado
(1011), 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.**

CCCLXXI 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

1011	GALEANA-QUEMADO	23.4	0.0	0.100488	0.1	23.299512	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 GALEANA-QUEMADO (1011), ESTADO DE
DURANGO***

México, D.F., Diciembre de 2010

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	3
Antecedentes	3
1.1. Localización	3
1.2. Situación administrativa del acuífero	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	6
3. FISIOGRAFÍA	6
3.1. Provincia fisiográfica	6
3.2. Clima	7
3.3. Hidrografía	8
3.4. Geomorfología	8
4. GEOLOGÍA	9
4.1. Estratigrafía	10
4.2. Geología estructural	16
4.3. Geología del subsuelo	17
5. HIDROGEOLOGÍA	18
5.1. Tipo de acuífero	18
5.2. Parámetros hidráulicos	18
5.3. Piezometría	18
5.4. Comportamiento hidráulico	18
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	19
7.1. Entradas	20
7.1.1. Recarga vertical	20
7.2. Salidas	25
7.2.1. Bombeo (B)	25
8. DISPONIBILIDAD	26
8.1. Recarga total media anual (Rt)	26
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	26
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	26
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	27
9. BIBLIOGRAFÍA	27

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1. Localización

El acuífero Galeana-Quemado, definido con la clave 1011 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noroccidental del estado de Durango, entre los paralelos 25°10' y 25°46' de latitud norte y los meridianos 105°13' a 105°35' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1808 km².

Limita al norte con el acuífero Matalotes-El Oro, al sur con el acuífero Valle de Santiaguillo, al este con el acuífero San José de Nazareno y al oeste con el acuífero Tepehuanes- Santiago, todos ellos pertenecientes al estado de Durango (figura 1).

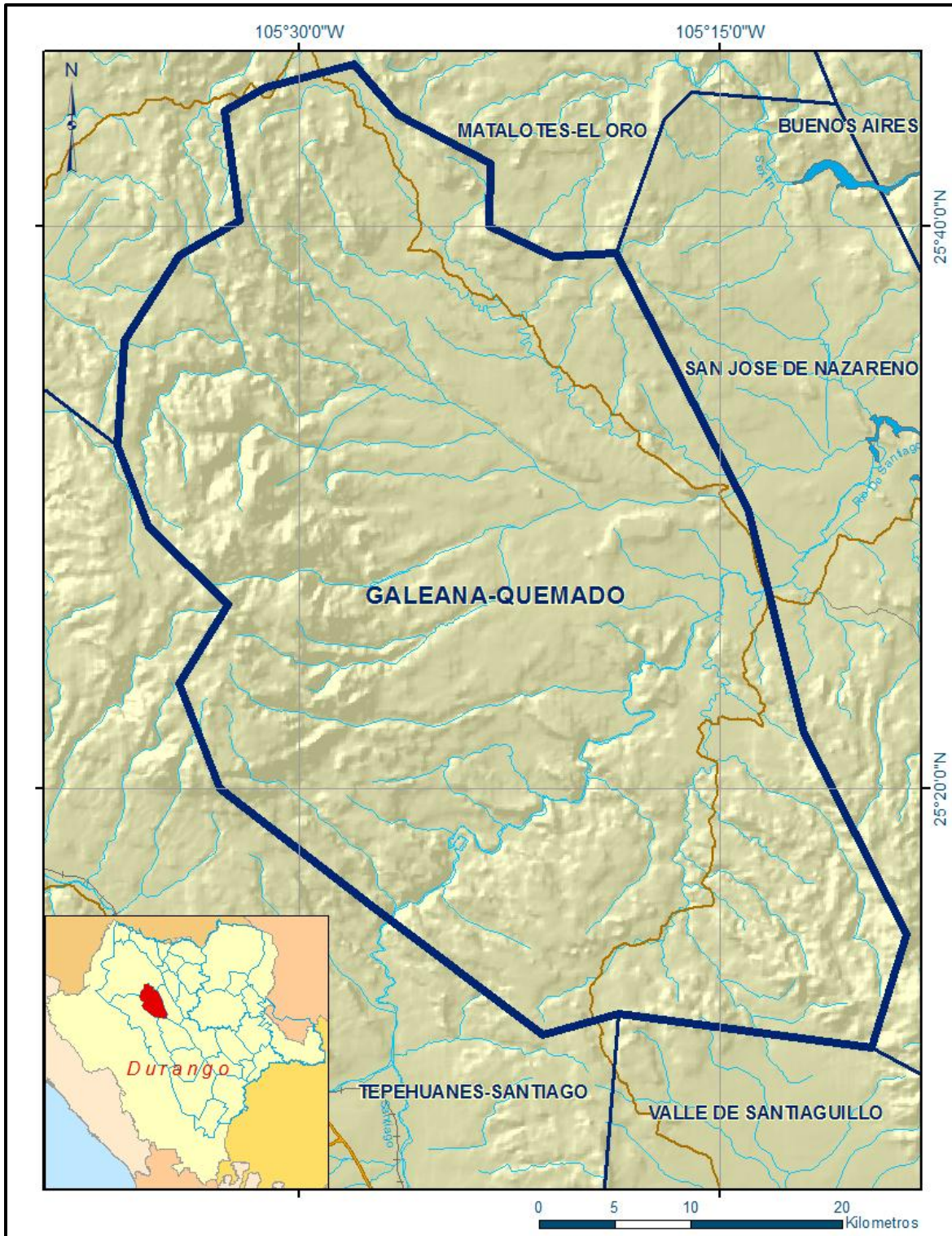


Figura 1. Localización del acuífero Galeana-Quemado

Geopolíticamente se localiza casi en su totalidad en los municipios de El Oro, Santiago Papasquiari y Tepehuanes; y una pequeña porción de su extremo noroccidental en el municipio de Guanaceví.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1011 GALEANA-QUEMADO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	105	18	36.0	25	12	0.0
2	105	21	19.3	25	11	14.6
3	105	27	18.3	25	15	45.8
4	105	32	47.0	25	19	59.5
5	105	34	14.8	25	23	44.5
6	105	32	31.0	25	26	33.6
7	105	35	21.1	25	29	16.7
8	105	36	27.9	25	32	13.4
9	105	36	12.2	25	35	57.0
10	105	34	14.7	25	38	57.6
11	105	32	6.9	25	40	12.7
12	105	32	37.4	25	44	5.7
13	105	31	10.7	25	44	56.4
14	105	28	2.3	25	45	45.8
15	105	26	29.0	25	43	59.9
16	105	23	9.9	25	42	15.2
17	105	23	14.1	25	39	59.8
18	105	20	56.4	25	38	56.0
19	105	18	42.0	25	39	3.5
20	105	14	0.8	25	29	54.7
21	105	12	0.5	25	21	59.6
22	105	8	20.4	25	14	48.5
23	105	9	36.0	25	10	48.0
1	105	18	36.0	25	12	0.0

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VII "Cuencas Centrales del Norte" y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Durango. En su territorio completo no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, vigente para el año 2010, el municipio de Tepehuanes se clasifica como zona de disponibilidad 6, los municipios El Oro y Santiago Papasquiario se clasifica como zona de disponibilidad 7 y el municipio de Guanaceví como zona de disponibilidad 8. El principal usuario es el agrícola. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

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 del estado de Chihuahua 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, elaborado en convenio por la Universidad de Sonora (UNISON), para la Comisión Nacional del Agua, en 2010. El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, obtener información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

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 localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, Subprovincias Gran Meseta y Cañadas Duranguenses, en su porción noroeste, y Sierras y Llanuras de Durango en el resto del área del acuífero; esta última se caracteriza por estar conformada por cordones montañosos irregulares, separados por amplios valles, de altitudes variables entre 1700 y 2300 msnm.

La Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental abarca parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. Es un gran sistema montañoso que tiene sus orígenes en el Paleógeno Inferior o Medio, cuando se inició la extrusión de los gigantescos volúmenes de materiales volcánicos que lo integran, principalmente de composición riolítica y en menor proporción andesítica, cuyos espesores oscilan entre 1500 y 1800 m.

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. Su relieve 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.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la mayor parte del acuífero es dominado por un clima seco estepario de tipo BS₁kw(w), que es el menos seco de los secos. El subtipo es semiseco (₁), el cual presenta un grado de humedad mayor que 22.9 (coeficiente que resulta de la relación precipitación/temperatura). Su condición de temperatura (k), que es una característica establecida considerando las temperaturas media anual del mes más frío y del más cálido, corresponde con templado con verano cálido. Presenta una temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la media del mes más frío entre -3 y 18 °C y la del más cálido > 18 °C. El régimen de lluvia (w), que indica 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 su porcentaje de lluvia invernal (cantidad de lluvia que cae en este periodo con respecto a la total anual) es < 5.

En menor proporción, se presentan los climas templados C(w₀) y C(E)(w₁), principalmente en la porción occidental del acuífero. En el primero la temperatura media anual se encuentra entre 12 y 18°C, y su tipo es subhúmedo (w), pues su régimen de lluvias es de verano, presentando escasa precipitación todo el año o de invierno. El subtipo (₀), considerando el grado de humedad que se obtiene del cociente de la precipitación entre la temperatura, 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. El clima C(E)(w₁) es semifrío, subhúmedo, como humedad media, régimen de lluvias en verano, porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10, precipitación en el mes más seco >40 mm y temperatura media anual entre 5 y 12 °C.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 5 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero y son: Ciénega de Escobar, J. Salomé Acosta, Santa María del Oro, San Bernardo y General Escobedo cuyo registro comprende los periodos 1965-2007, 1969-2007, 1967-2007, 1977-2007 y 1978-2007, respectivamente. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y

temperatura media anual de **475.8 mm** y **17.4 °C** respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2055.5 mm anuales**.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos períodos de ocurrencia uno en verano de junio a septiembre, cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias invernales que abarca de diciembre a febrero, con precipitaciones menos significativas provocadas principalmente por los frentes fríos que afectan la región. Entre los meses de junio a septiembre se presenta el 81.0% de su media anual, siendo el mes de julio el más alto con 118.4 mm; mientras que en el período de octubre a mayo solo se registra el 19 % de la precipitación total (5.1 % de febrero a mayo). En cuanto a la distribución mensual de la temperatura media, junio es el mes más cálido, con una temperatura media de 23.2°C, en tanto que los meses de enero y diciembre registran la menor temperatura media, con 10.8 y 11.4°C, respectivamente.

3.3. Hidrografía

El área cubierta por el acuífero pertenece a la Región Hidrológica 36 denominada Nazas-Aguanaval, Cuenca de los ríos Ramos-Potrillos y Del Oro, los cuales escurren hacia la Presa Lázaro Cárdenas. Esta región hidrológica se encuentra situada al norte del país, en la altiplanicie septentrional; ocupa porciones de los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas, y abarca las cuencas de los ríos Nazas y Agua Naval. Está comprendida entre los meridianos 101°31' y 106°14' de longitud oeste, y los paralelos 22°39' y 26°35' de latitud norte. Su área es de 89,239 km²; 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. Regionalmente, los ríos más importantes son el Nazas, el cual nace en el estado de Durango, y Aguanaval que nace en el estado de Zacatecas.

3.4. Geomorfología

La principal forma del relieve que se presenta en la zona es la sierra, que se levanta hasta los 2 500 ó 3 000 msnm; presenta hacia el occidente un importante escarpe, en tanto que hacia el oriente desciende gradualmente a las regiones llanas del centro. En esta franja oriental existen sierras y valles de orientación NE-SW, producto de los fallamientos que acompañaron a los procesos de levantamiento del Pleistoceno. Sobre el dorso central de la sierra los materiales volcánicos se encuentran en amplios mantos tendidos que dan conformación a las elevadas mesetas que son típicas de la provincia.

La topografía abrupta es característica, producto de la disección de corrientes jóvenes sobre una gran meseta riolítica en la que los procesos mecánicos predominan sobre los químicos. Los procesos

endógenos más importantes son ígneos volcánicos y fuertes fallamientos de tipo normal; mientras que el proceso exógeno más sobresaliente es la erosión fluvial. En cuanto a hidrografía, el patrón de drenaje es subparalelo a dendrítico.

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 del país. 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.

Las rocas más antiguas que afloran en el área y conforman el basamento, pertenecen al Grupo Mezcalera que aflora en la región del poblado del Mineral de Santa Cruz (Carta Geológica–Minera G13-C28 “Ignacio Manuel Altamirano”). Se define como una alternancia de calizas arcillosas, margas, areniscas y lutitas, depositadas por corrientes turbidíticas, probablemente en un ambiente de cuenca post-arco. En el área se ubicó como Cretácico inferior (Valanginiano-Hauteriviano) en el arroyo de Tijeras, se observó con pequeñas cabalgaduras consecuencia de la Orogenia Laramide, la cual culmina durante el Eoceno tardío.

El Grupo Mezcalera está cubierto discordantemente por una secuencia andesítica del Paleoceno-Eoceno. En la zona de Santa Cruz afloran los conglomerados de la Formación Ahuichila, la cual se presenta subyaciendo en discordancia angular al Grupo Mezcalera y está expuesta también en pequeños afloramientos en la misma zona del poblado Mineral de Santa Cruz: ambos afloramientos fueron expuestos por la presencia de fallas normales de tendencia NW-SE conjugadas con fallamientos NE-SW, que levantaron estas rocas antiguas formando una ventana estructural. Estas rocas están intrusionadas por cuerpos volcánicos (pórfidos, riolíticos, dacíticos y andesíticos).

Como consecuencia de una intensa actividad volcánica, se originó el depósito de rocas piroclásticas y derrames andesíticos correlacionables con el Grupo Volcánico Inferior, que tiene un rango de edad entre 45 y 100 Ma, (McDowell y Keizer 1977). Otro evento posterior es el depósito de material volcánico brechoso, ignimbrítico y en derrames riolíticos, a este grupo se le conoce como Grupo Volcánico Superior, de edad 27 a 34 Ma, este evento culminó manifestándose en forma esporádica en el Mioceno con depósitos tobáceos soldados de composición riolítica y con la construcción de uno de los rasgos geológicos-volcánicos más extensos de México: La Sierra Madre Occidental.

Como producto de la erosión y posterior acumulación de fragmentos de rocas preexistentes, se formó un conglomerado continental rellenando fosas tectónicas como la del Quemado y Las Mesas. Esta unidad comprende un conglomerado polimíctico con clastos de riolita, toba riolítica, caliza e intervalos de areniscas mal clasificada. Los clastos son subredondeados a redondeados, su tamaño varía de 1 a 40 cm de diámetro, éstos están empotrados en una matriz arenosa y débilmente cementados con arcilla y caliche. La estratificación por lo general es masiva y en algunos intervalos de arenisca presenta estratificación cruzada. El espesor es variable, ya que está asociada a semi-fosas tectónicas, pudiendo alcanzar un espesor aproximado a los 100 m dentro del área.

El volcanismo basáltico se desarrolla durante el Pliocuaternario, acompañado de numerosas extrusiones pirolásticas. Los materiales sueltos producto de la erosión gradual conforman las planicies y abanicos aluviales principalmente, así como diversas acumulaciones lacustres, residuales y de origen eólico. En muchos sitios el vulcanismo y fallamiento fueron simultáneos o el fallamiento siguió después del vulcanismo. Ambos fenómenos sucedieron en toda la región en al menos tres pulsos de actividad: 32-27 Ma, 24-20 Ma y <5 Ma. En el área que abarca el acuífero afloran sobre todo rocas ígneas extrusivas de tipo riolíticas, depositadas durante el Paleógeno. En la parte central afloran rocas sedimentarias, principalmente un conglomerado polimíctico con clastos de riolita, toba riolítica, caliza e intervalos de arenisca que se emplazaron durante el Neógeno.

4.1. Estratigrafía

La estratigrafía está representada por unidades litológicas cuyo rango de edad varía del Cretácico Inferior al Reciente, comprende rocas metasedimentarias, ígneas (intrusivas y extrusivas) y sedimentarias (figura 2). A continuación se hace una breve descripción de las unidades geológicas que se encuentran en el área, de la más antigua a la más reciente:

Cretácico Inferior

Formación Mezcalera

Es la unidad más antigua y está representada por una alternancia rítmica tipo flysch de areniscas y lutitas, cuyos afloramientos principales se localizan en la porción nororiental 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 ampliamente en las sierras que conforman los límites oriental y occidental del acuífero, en forma de anticlinales.

Sobreyaciendo discordantemente a la Formación Mezcalera se presenta una secuencia calcárea de edad Albiano. En la Cuenca Mesozoica se lleva a cabo un cambio de facies con la Formación Taraises, la cual consiste de una secuencia de calizas y lutitas. Sobreyaciendo discordantemente a

esta formación, se presenta la Formación Caracol, la cual consiste de una secuencia de areniscas y lutitas. Durante el Cretácico Superior, se presenta una intrusión de un cuerpo de composición diorítica a granodiorítica, que afecta a las unidades descritas. Esta secuencia no aflora en la región cubierta por este acuífero.

Formación Aurora

El nombre Formación Aurora fue propuesto por Burrows (1910) para aquellas rocas que afloran en la porción noreste del estado de Chihuahua, que 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. No aflora en la superficie de este acuífero.

Cenozoico, Paleógeno

Paleoceno-Oligoceno

Complejo Volcánico Inferior (TpaeA-BvA)

Es considerado 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 a 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 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 pseudoestratos de 50 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 Tejamen, 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). Se tiene otra datación en la carretera Durango - Mazatlán que 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. Esta unidad se encuentra aflorando de manera diseminada principalmente al norte del acuífero. La litología predominante de este complejo en el área consiste de flujos de andesitas y brechas andesíticas de color gris morado. Los derrames de andesita y brechas

andesíticas están compuestas por fragmentos de andesita con alteración clorítica a veces pseudoestratificada que presenta variación litológica a dacitas con espesor variable de 100 a 350 m. Principalmente la unidad está expuesta en forma de ventanas erosionales.

Eoceno-Oligoceno

Formación Ahuichila

Definida formalmente por Rogers (1981), en los afloramientos expuestos en el “Frontón de Ahuichila”, ubicado en el límite donde convergen los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas, está constituida por depósitos clásticos de origen continental (conglomerados y brechas) conformados por fragmentos de caliza, calcarenitas, calculadita y de rocas volcánicas, con matriz calcárea y limo lítica, que se presentan en bancos gruesos y masivos; de colores que varían de gris al rojizo. Debido a su posición estratigráfica y su origen, el cual se relaciona con los primeros depósitos de características continentales, formados como consecuencia de la emersión del continente generada por la Orogenia Laramie, su edad se considera del Eoceno-Oligoceno.

Formación Las Palmas, Conglomerado polimíctico (Teo?Cgp)

Fue definido por Davison (1932), Henshaw (1953) y Smith y Hall (1974), al noroeste de Tayoltita y sur de esta población en la localidad de Las Palmas. La litología está constituida por fragmentos riolíticos y andesíticos subredondeados con diámetros menores de 2 cm y máximos a 1 m con un espesor aproximado de 30 a 60 m. Por la posición estratigráfica se le asigna una edad del Oligoceno Temprano (Davison, 1932). Esta unidad corresponde a un depósito continental que representa un período de quietud magmática y marca una fuerte discontinuidad en la secuencia estratigráfica de la carta definiendo claramente los límites de la secuencia volcánica inferior con la superior.

Oligoceno-Mioceno

Supergrupo Volcánico Superior (ToTR-Ig, TomIg-TR, TomRP)

Una extensa secuencia de ignimbritas intercaladas con flujos de lavas y sedimentos epiclásticos tobáceos sobreyacen el Complejo Volcánico Inferior y forman la capa superior de la Sierra Madre Occidental. Esta gran acumulación de rocas volcánicas del Terciario Medio ha sido designada como el “Supergrupo Volcánico Superior” (McDowell y Keize, 1977). Éste es comparable con depósitos piroclásticos de flujo de cenizas y rocas asociadas de edad similar que cubren áreas amplias del occidente de los Estados Unidos (McDowell y Clabaugh, 1979). En el occidente de México estos dos grupos ígneos ocupan áreas similares y se pueden identificar a través de la mayor parte de la Sierra Madre Occidental. Ambos están aproximadamente paralelos a la margen occidental del continente.

La Sierra Madre Occidental es una gran región con elevaciones y depresiones topográficas que forman la margen occidental del altiplano central mexicano. En la región de Durango está profundamente disectada por ríos que fluyen hacia el este y que descienden rápidamente al nivel del mar. La parte superior está compuesta por rocas volcánicas del Terciario Medio, donde se pueden

apreciar ignimbritas riolíticas espectacularmente expuestas. Ésta es probablemente la secuencia de ignimbritas continua más grande del mundo (McDowell y Clabaugh, 1979; Swanson y McDowell, 1984), distribuida en un cinturón con orientación sureste con aproximadamente 200-500 km ancho y al menos 1200 km de largo, extendiéndose desde la frontera de México con Estados Unidos, hasta su intersección con la provincia de la Faja Volcánica Trans-Mexicana. Las rocas dominantes en esta secuencia son ignimbritas riolíticas a riodacíticas con un grado de soldamiento de moderado a alto. Cantidades menores de rocas máficas están usualmente presentes hacia la cima de las secuencias (McDowell y Clabaugh, 1979). Las rocas dominantes en esta secuencia son ignimbritas riolíticas a riodacíticas con un grado de soldamiento de moderado a alto. Cantidades menores de rocas máficas están usualmente presentes hacia la cima de las secuencias (McDowell y Clabaugh, 1979).

El Supergrupo volcánico superior fue emplazado durante un periodo de convergencia entre la placa Farallón y la placa Norteamericana (McDowell y Clabaugh, 1979; Aguirre-Díaz y McDowell, 1991). Este periodo de vulcanismo paroxístico ha sido relacionado con pulsos de extensión en la porción meridional de la provincia de Cuencas y Sierras (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991,1993; Aranda-Gómez *et al.*, 2000). Por otro lado, Nieto-Samaniego *et al.* (1999) consideran que el volcanismo silícico del “*flareup*” fue disparado por el efecto combinado de un emplazamiento extensivo de magmas básicos en la base de la corteza (*mafic underplating*) y el comienzo de extensión en la parte superior de la placa, inducida por el retroceso de la trinchera. En la superficie cubierta por el acuífero, su litología consiste de tobas de flujos de ceniza y lapilli color grisáceo claro a crema, poco compactados, pseudoestratificadas a masivos con gradación, estratificación cruzada y horizontes basales compuestos de fragmentos subangulosos de ignimbritas de 1-20 cm de diámetro (bloques), en una matriz tobácea. Probablemente corresponde a un depósito de nube ardiente. Su espesor alcanza hasta 200 m y por sus relaciones de campo se le asigna una edad que corresponde al Oligoceno Temprano.

Grupo Carpintero (Tolg-TR)

Fue definida por Lyons (1975), en la localidad del arroyo del Carpintero, al NW de la ciudad de Durango y está relacionado con la Formación de la Caldera de Chupaderos, Está constituida por ignimbritas brechoides y tobas riolíticas. Este Grupo consiste de las Formaciones El Águila, Cacaria y Santuario, además de una serie de domos y estructuras tipo plugs latíticos, traquíticos y riolíticos. Este grupo fue datado por Swanson por el método K-Ar con un intervalo de 30.3 a 31.2 m. a. que se ubica en el Oligoceno Medio al Superior

Domos (ToRp)

Esta unidad, está representada por domos de composición riolítica con minerales de cuarzo, feldespatos y vidrio las cuales fueron descritas por McDowell y Keizer (1977). Las estructuras tienen un espesor varían de 50 a 200 m. Debido a que se encuentran cortando a las rocas volcánicas se les asigna una edad del Oligoceno.

Oligoceno-Mioceno

Formación El Salto Espinazo (Tomlg-TR)

Fue definida por Waitt (1970) y reconocida por McDowell y Clabaugh (1976) sobre la carretera Durango-Mazatlán. Las unidades litológicas son ignimbritas cristalino-vítreas masivas, tobas de cenizas y horizontes andesíticos y dacíticos con un espesor de 800 m. Las rocas expuestas sobreyacen concordantemente al Grupo Rio Chico y a la secuencia de brechas riolíticas e ignimbritas de Tayoltita, Bacís y Otáez. Los afloramientos antes descritos se correlacionan con los de la localidad tipo en donde han sido datadas por el método K-A resultando una edad de 21.5 ± 0.5 a 27.9 ± 0.4 m.a., que la sitúa en el Oligoceno-Mioceno (McDowell y Keizer, 1977).

Granodiorita (TeGd)

Está representado por cuerpos ígneos de composición granítica a granodiorítica que se encuentran intrusionando al grupo Mezcalera en el extremo norte del acuífero, entre los límites con el acuífero Matalotes-El Oro.

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 amigdaloides 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.

Plioceno-Cuaternario

Formación Santa Inés, Conglomerado polimíctico (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 al Plioceno Tardío.

Holoceno

Aluvión (Qhoal)

Constituyen grandes acumulaciones de material de origen fluvial, producto de la intensa erosión de las formaciones volcánicas terciarias y cuaternarias con su posterior transporte y depósito, lo cual ha

originado la formación de planicies aluviales. 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. Se le ha asignado a esta unidad una edad del Cuaternario Holoceno.

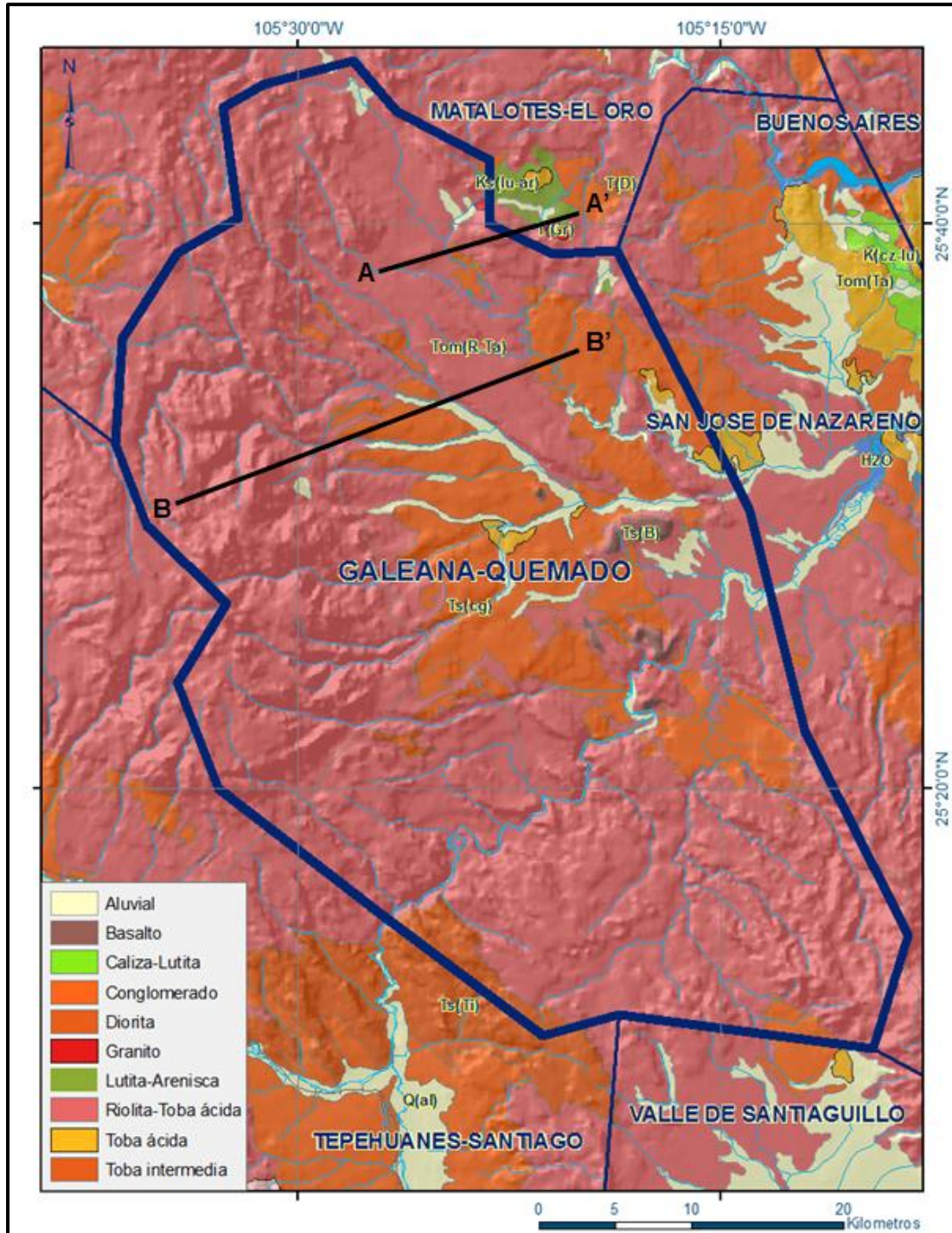


Figura 2. Mapa geológico del acuífero.

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 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).

El origen de las estructuras identificadas se pueden atribuir a dos procesos principales, uno de compresión y otro de distensión; el primero ocurrió a mediados y finales del Cretácico y el segundo durante el Paleógeno que generó Cuencas y Sierras. Se presentan estructuras producto de deformación dúctil, representadas por las foliaciones de rumbo NW-SE con inclinación al suroeste y noreste, que se presentan en las rocas sedimentarias de la Formación Mezcalera, en las que el plegamiento de las foliaciones genera una serie de micropliegues muy cerrados.

Las deformaciones generadas como consecuencia de la subducción de la Placa del Pacífico Oriental, que se manifestó en el margen occidental de México hacia el oriente, generó esfuerzos compresivos de W-SW a E-NE, iniciando la denominada Orogenia Laramide desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno Tardío en varios episodios, (Araujo y Arenas, 1983); las rocas fueron comprimidas casi perpendicularmente contra la paleopenínsula de Coahuila, resultando una serie de pliegues angostos y alargados con dirección NW-SE en la región. Con la culminación de esta orogenia finaliza la deformación compresiva, y se desarrolla el vulcanismo riolítico de la Sierra Madre Occidental (Demant y Robin, 1975). Posteriormente se genera un periodo distensivo que originó una serie de fosas y pilares, acompañada con la erosión consecuente de las rocas deformadas que dieron origen a los depósitos continentales.

El fallamiento normal de dirección NW-SE construyó en el Grupo Volcánico Superior, una serie de pilares y fosas tectónicas posiblemente resultado de la deformación distensiva del sistema Golfo de California-San Andrés, el cual comenzó a fines del Mioceno. Otras direcciones de fallamiento normal son norte-sur. Las fallas más importantes son La India, La Bandera, Las Mesas y Picacho entre otras. Las semi-fosas rellenas con fragmentos volcánicos formando el conglomerado Santa Inés, también están orientadas al NW-SE (Las Mesas y El Quemado).

Otro tipo de estructuras son los domos, los cuales tienen su origen al finalizar la compresión; se origina un adelgazamiento cortical que da como resultado una amplia zona influenciada por esfuerzos de tensión y acompañamiento de vulcanismo; estos materiales aprovecharon las zonas de debilidad para inyectarse hacia la superficie. Su ocurrencia varía entre los 30-28 Ma.

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 poca presencia de basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

A mayor profundidad las rocas calizas y areniscas representan un acuífero con características confinantes cuyo potencial que aún no ha sido explorado, pero que puede ser escaso debido a que estas rocas sólo se presentan en pequeños afloramientos en la porción norte del acuífero.

5.2. Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero. Los escasos aprovechamientos ubicados en la superficie que cubre el acuífero, de acuerdo con el estudio realizado en el año 2010, no tienen las características y equipo adecuados para la ejecución de dichas pruebas.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, no se cuenta con información piezométrica, ya que de los 5 aprovechamientos que fue posible censar durante el estudio realizado en el año 2010, únicamente en dos de ellos se pudo obtener la profundidad al nivel estático, uno a 3 m y el otro a 49 m. Algunos pozos se encontraban sellados, otros con presencia de abejas y en otros no se obtuvo el permiso de los propietarios para su ingreso a ellos.

5.4. Comportamiento hidráulico

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas durante los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Debido al escaso número de aprovechamientos existentes en el área que cubre el acuífero y al incipiente volumen de extracción, 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.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Debido al escaso número de aprovechamientos y a las dificultades de acceso a ellos, no fue posible obtener muestras de agua para su análisis fisicoquímico. Sin embargo, por correlación hidrogeológica con los acuíferos vecinos Matalotes-El Oro, Tepehuanes-Santiago y La Victoria, es posible suponer buena calidad del agua, con concentraciones de STD menores a las 1000 ppm que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 como límite máximo permisible para el agua destinada al consumo humano, consistente con el agua de la familia bicarbonatada-cálcica que representa la típica agua de reciente infiltración con tiempo muy cortos de residencia, que ha circulado a través de rocas volcánicas.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró un total de 5 aprovechamientos, de los cuales 3 son pozos y 2 son norias.

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **0.1 hm³ anuales**, de los cuales 0.09 hm³ (90%) se destinan al uso agrícola y los 0.01 hm³ restantes (10 %) se utilizan para satisfacer el abastecimiento de agua potable a los centros de población de la región.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 del acuífero:

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

7.1. Entradas

Las entradas al acuífero Galeana-Quemado están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

No existe información piezométrica actual, ni histórica en la superficie que cubre el acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo hechos por la Dirección Local, se encuentra dispersa en tiempo y espacio, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolar la información para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas. Aunado a esto, existen pocos aprovechamientos del agua subterránea y se presentaron diferentes problemas para la medición de sus niveles; la superficie del acuífero está conformada en su mayor parte por sierras entre las cuales existen pequeños valles intermontanos en los que se localizan los escasos aprovechamientos.

Por todas estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 1808 km² del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

7.1.1. Recarga vertical

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

V_{LL} = Volumen de lluvia;

V_{ETR} = Volumen evapotranspirado;

V_{ESC} = Volumen escurrido;

V_{INF} = Volumen infiltrado;

Por lo tanto despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (1808 km²) por la lámina de precipitación media anual (475.8 mm):

$$V_{LL} = 1808 \text{ km}^2 (0.4758 \text{ m}) = \mathbf{860.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizaron las ecuaciones empíricas de Turc y Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 475.8 mm y temperatura de 17.4 °C.

Turc a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas por todos los climas del mundo, reporta la expresión siguiente:

$$ETR = \frac{P}{\left[0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración real, en mm;

P= Precipitación media anual, en mm;

L= 300 + 25T + 0.05T³;

T= Temperatura media anual, en °C;

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc es que la precipitación no debe ser menor a la relación 0.31L. En caso contrario se obtiene una ETR > P y para estos caso se debe considerar a ETR = P. De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de 448.2 mm anuales.

Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

<p>COUTAGNE ETR = P - χP²</p> <p>Donde: ETR= Evapotranspiración m/año P = precipitación en m/año χ = 1/(0.8 + 0.14 t) t = temperatura en °C</p>

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que 1/8λ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que 1/2λ la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por ETR = 0.20 + 0.035 T.

Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de 405.8 mm anuales.

Si consideramos el valor promedio de la ETR obtenida por ambos métodos empíricos (427 mm anuales), el volumen de la ETR es:

$$V_{ETR} = 1808 \text{ km}^2 (0.427 \text{ m}) = \mathbf{772.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Por otra parte aunque se dispone de información de los escurrimientos generados por cuenca propia, estos se refieren a toda la cuenca que drena hacia la Presa Lázaro Cárdenas, dentro de la cual se localiza el acuífero Galena-Quemado. Por ello, para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, defecha 17 de abril de 2002, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento. El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

El coeficiente de escurrimiento (C_e) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado. Dependiendo del valor obtenido para K , el coeficiente de escurrimiento (C_e), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

Si K resulta menor o igual que 0.15, $C_e = K (P-250) / 2000$;

Si K es mayor que 0.15, $C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$;

De acuerdo con la cartografía del INEGI escala 1:250,000, para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos vertisol, litosol y feozem (figura 4). En cuanto al uso de suelo (figura 5), un 83.5 % de la superficie del acuífero está cubierta por bosques en los que el suelo es tipo B, cubiertos del 50 al 75%, por lo que $K=0.22$; 10.7% del acuífero presenta pastizal, suelo tipo B, con cobertura regular del 50 al 75%, por lo que $K=0.24$; el chaparral se presenta en 3.7% de la superficie del acuífero, suelo tipo B, con cobertura menor del 25%, por lo que $K=0.28$. Finalmente, un 2.1 % del área del acuífero tiene uso de suelo agrícola, tipo A, por lo que $K= 0.26$.

$$K \text{ ponderado} = 0.22 (0.835) + 0.24 (0.107) + 0.28 (0.037) + 0.26 (0.021) = 0.2252$$

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERISTICAS		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.225, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 = 0.0754$$

$$Ce = 0.0754$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$V_{esc} = 0.0754 (860.2 \text{ hm}^3) = 64.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

$$V_{INF} = 860.3 - 772.0 - 64.9$$

$$V_{INF} = 23.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 860.3 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.027. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 23.4 hm³/año en los 1808 km² de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 23.4 hm³/año**.

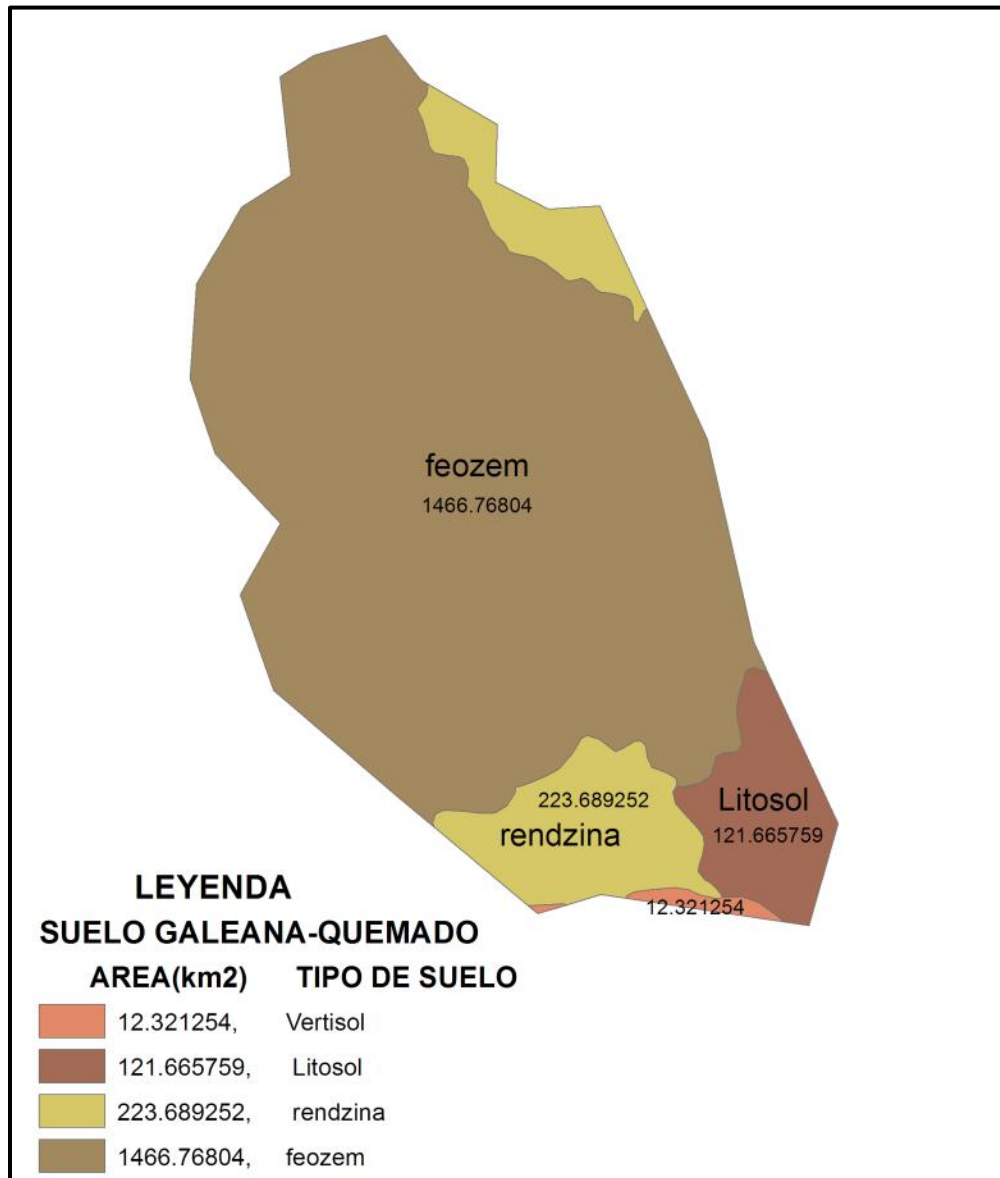


Figura 4. Tipo de suelo

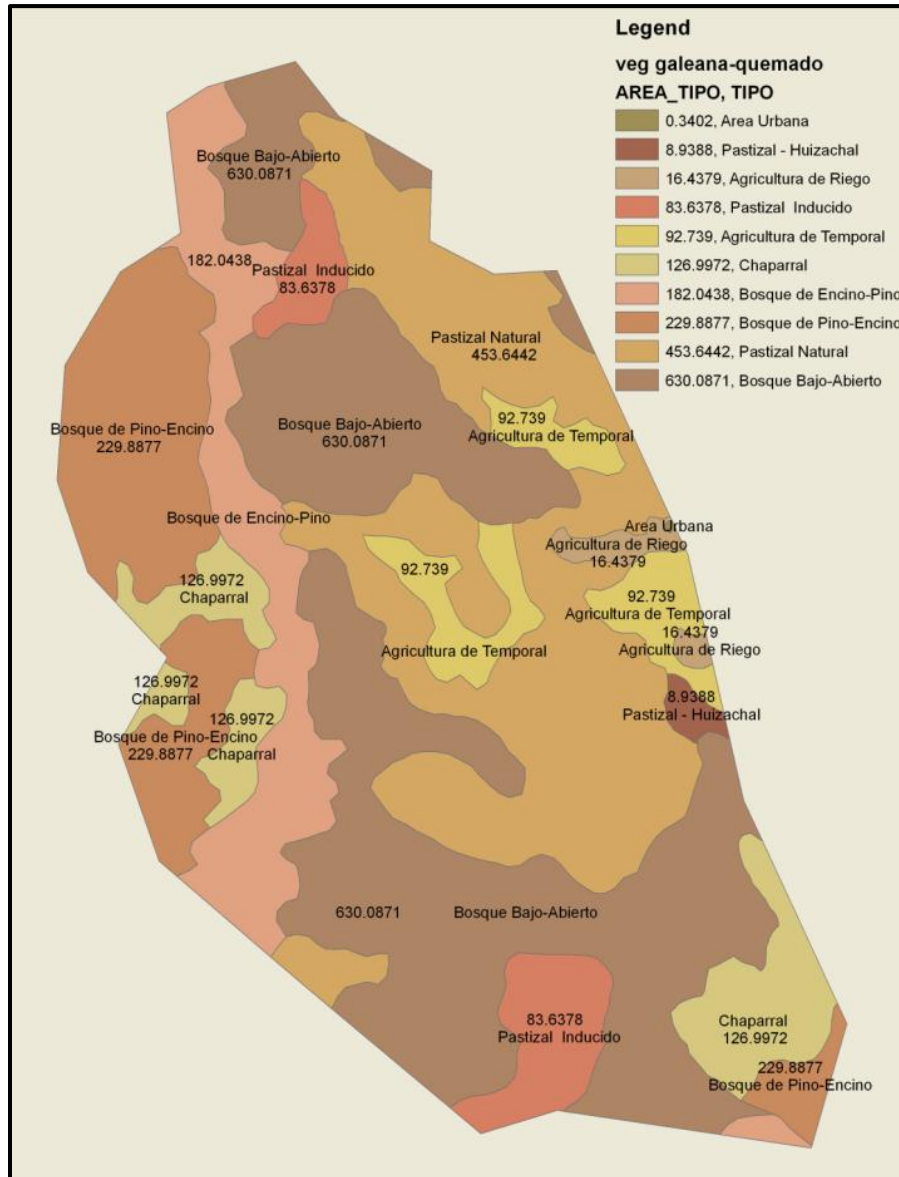


Figura 5. Uso de suelo

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración pero no se cuenta información piezométrica para su estimación. No existen manantiales, ni flujo base en ríos, ya que ambos son de régimen intermitente.

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **0.1 hm³/año**.

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), en este caso, corresponde únicamente con los volúmenes que ingresan al acuífero en forma de recarga vertical. Para este caso, su valor es de **23.4hm³/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 Galeana-Quemado, se considera que no existe descarga natural comprometida. Por lo que **DNCOM = 0**.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (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 100,488 m³/año**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)

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

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

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

$$DAS = 23.4 - 0.0 - 0.100488$$

$$\mathbf{DAS = 23.299512 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **23'299,512 m³ anuales** 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, Galeana-El Quemado, La Victoria, Buenos Aires, Torreón de Cañas, San Fermín, San Juan del Río, Cabrera, La Zarca-Revolución y Revolución, en el estado de Durango, elaborado por convenio con la Universidad de Sonora (UNISON).

Servicio Geológico Mexicano, 2002, Carta Geológica-Minera G13-C82 "Ignacio Manuel Altamirano", escala 1:50,000 (SGM, 2002).