

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero La Victoria (1012),  
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.**

### CCCLXXII 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

1012	LA VICTORIA	18.6	0.0	1.083820	1.1	17.516180	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 LA VICTORIA (1012), ESTADO DE  
DURANGO***

**México, D.F., Diciembre de 2010**

## CONTENIDO

1.	GENERALIDADES .....	1
	Antecedentes .....	1
1.1.	Localización .....	1
1.2.	Situación administrativa del acuífero .....	3
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	3
3.	FISIOGRAFÍA .....	4
3.1.	Provincia fisiográfica .....	4
3.2.	Clima .....	5
3.3.	Hidrografía .....	6
3.4.	Geomorfología .....	6
4.	GEOLOGÍA .....	7
4.1.	Estratigrafía .....	9
4.2.	Geología estructural .....	12
4.3.	Geología del subsuelo .....	14
5.	HIDROGEOLOGÍA .....	15
5.1.	Tipo de acuífero .....	15
5.2.	Parámetros hidráulicos .....	15
5.3.	Piezometría .....	16
5.4.	Comportamiento hidráulico .....	16
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	16
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....	18
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	18
7.1.	Entradas .....	18
7.1.1.	Recarga vertical (Rv) .....	19
7.2.	Salidas .....	24
7.2.1.	Bombeo (B) .....	25
8.	DISPONIBILIDAD .....	25
8.1.	Recarga total media anual (Rt) .....	25
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	25
8.3.	Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS) .....	25
8.4.	Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS) .....	26
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	26

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

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

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

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

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

### **1.1. Localización**

El acuífero La Victoria, definido con la clave 1012 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la parte centro-norte del estado de Durango, entre los paralelos 25°10' a 25°48" de latitud norte y los meridianos 104°35' a 105°02' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1419 km<sup>2</sup>.

Limita al norte con el acuífero La Zarca-Revolución, al sur con el acuífero San Juan del Río, al este con el acuífero Nazas y al oeste con los acuíferos San José de Nazareno y Buenos Aires, todos ellos pertenecientes al estado de Durango (figura 1). Geopolíticamente se localiza casi en su totalidad en los municipios de Indé y El Oro; una pequeña porción de su extremo sur se localiza en el municipio de Coneto de Comonfort.

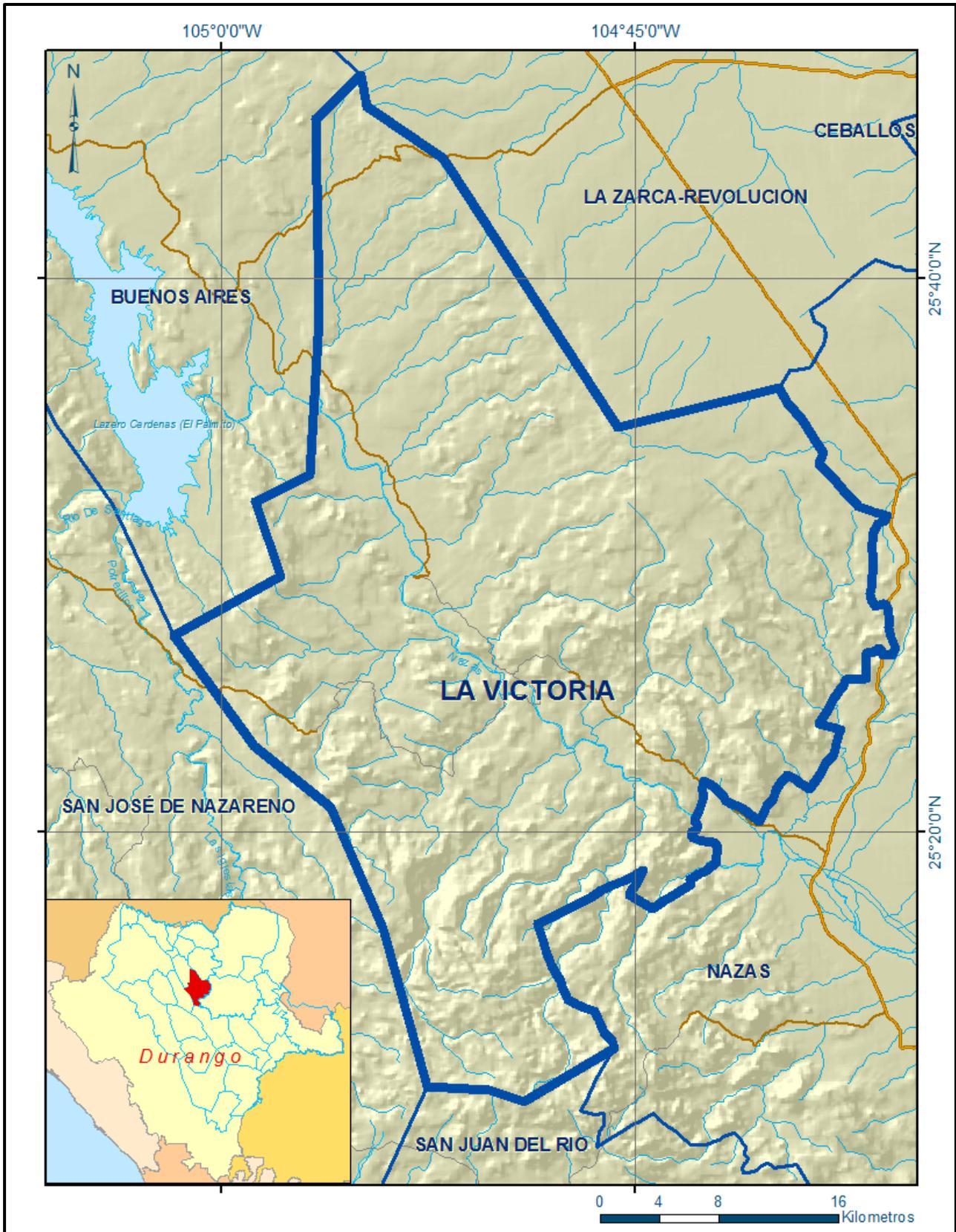


Figura 1. Localización del acuífero La Victoria

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 1012 LA VICTORIA							
VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	104	52	32.3	25	10	48.2	
2	104	54	9.6	25	16	30.7	
3	104	56	2.2	25	20	54.8	
4	104	58	49.1	25	23	8.3	
5	105	1	42.2	25	27	6	
6	104	57	49.4	25	29	15.7	
7	104	58	46.1	25	31	57.6	
8	104	56	47.4	25	32	54.3	
9	104	56	28	25	38	39.7	
10	104	56	33.9	25	45	45.9	
11	104	54	56.5	25	47	21.7	
12	104	54	43.3	25	46	12.9	
13	104	51	58.7	25	44	19.6	
14	104	45	39.8	25	34	38.1	
15	104	39	50.2	25	36	3.4	Del 15 al 16 por el límite municipal
16	104	45	48.4	25	12	12.8	
17	104	49	3.2	25	10	16.5	
18	104	50	16.1	25	10	48.2	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero La Victoria pertenece al Organismo de Cuenca VII “Cuencas Centrales del Norte” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Durango. En el territorio completo del acuífero 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, los municipios de Indé, El Oro y Coneto de Comonfort se clasifican como zona de disponibilidad 7. 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, Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango, que se caracteriza por estar conformada por cordones montañosos irregulares, separados por amplios valles, de altitudes variables entre 1700 y 2300 msnm. Una pequeña zona de la porción nororiental del acuífero, se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, Subprovincia Bolsón de Mapimí.

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 sudoeste, 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), el clima que predomina en todo el acuífero es el seco estepario (BS), que el menos secos de los climas secos; se presenta en las variedades de BS<sub>1</sub>kw(w), BS<sub>0</sub>kw(w) y BS<sub>0</sub>hw(w), distribuidos en función de la topografía, de las regiones más elevadas a las más bajas, respectivamente, a lo largo de franjas orientadas en dirección noroeste – sureste.

El clima BS<sub>1</sub>kw(w), que predomina en el acuífero, presenta un subtipo semiseco (<sub>1</sub>), con grado de humedad mayor que 22.9 (coeficiente que resulta de la relación precipitación/temperatura), mientras en los dos restantes el término (<sub>0</sub>) indica que su subtipo 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, representa un clima templado con verano cálido. 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 el 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 se ubica 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 (w) indica que el porcentaje de lluvia invernal (cantidad de lluvia que cae en este periodo con respecto a la total anual) es < 5.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 6 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: El Palmito, El Mirador, 5 de Mayo, Rodeo, Coneto de Comonfort y El Casco, cuyo registro comprende los periodos de 1938-2007, 1979-2006, 1964-2006, 1976-2007, 1976-2007 y 1979-2006, respectivamente.

Con estos datos y utilizando el método de los polígonos de Thiessen, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **383.0 mm y 19.3 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2411.5 mm anuales**.

El régimen pluvial presenta en términos generales dos períodos de ocurrencia, uno de julio a septiembre correspondiente a la temporada de verano que es cuando se registran los valores más altos y otro de lluvias invernales que abarca de diciembre a febrero, con precipitaciones menos

significativas, las cuales son provocadas principalmente por los frentes fríos que afectan la región. Entre los meses de junio a septiembre se presenta el 79% de su media anual, siendo el mes de agosto el más alto con 96 mm; mientras que en el período de octubre a mayo solo se registra el 21 % de la precipitación total (8.5 % 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 25.3°C, en tanto que los meses de enero y diciembre registran la menor temperatura media, con 12.4 y 12.9°C, respectivamente.

### **3.3. Hidrografía**

El área cubierta por el acuífero pertenece a la Región Hidrológica 36 denominada Nazas-Aguanaval, Cuenca denominada Río Nazas-Rodeo, subcuenca Nazas-El Peñón. 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 Aguanaval.

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 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. 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. El acuífero La Victoria se encuentra ubicado en la cuenca del río Nazas, el cual descarga sus aguas en la Presa Lázaro Cárdenas.

### **3.4. Geomorfología**

La principal forma del relieve que se presenta en la zona es la sierra, que se levanta hasta los 2500 msnm; presenta hacia el occidente un importante escarpe, en tanto que hacia el oriente desciende gradualmente a las regiones llanas del centro, el promedio de altitudes de las sierras en las porciones occidental y sur oscila entre los 2000 y 2400 m.s.n.m. separadas por cuencas-subcuencas intermontanas y de pie de monte.

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 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.

Con base en la clasificación de terrenos tectonoestratigráficos, el área del acuífero se encuentra ubicada en el límite del terreno Guerrero y Sierra Madre cuyos contactos y basamentos no afloran dentro de él. La formación más antigua que aflora en la carta es la Formación Mezcalera (Carta Geológica–Minera G13-D31 “San Francisco de Asís”), representada por una secuencia continental, constituida principalmente de conglomerado polimíctico y arenisca (KbevCgp-Ar), compuesto de rocas volcánicas y sedimentarias, areniscas y limolitas. La fauna determinada en el cuerpo de caliza contenida en el conglomerado (*Caliponellites dardieri*, *Calpionella alpina* y *Remaniella cadischiana*), indica una edad muy probable del Valanginiano Superior, le sobreyace, en un cambio de facies vertical, un paquete de areniscas y limolitas (KvaAr-Lm), cuya edad, en base a microfauna representada por *Hamites sp.* y pelecípodos, se considera del Aptiano Superior-Albiano Inferior. Esta unidad es sobreyacida, concordantemente, por calizas y lutitas de la misma Formación Mezcalera (KaCz-Lu), con microfauna recolectada, al sureste del cerro La Trasquila, con ejemplares de *Biospella ornelasae sp.*, ubicándola dentro del Albiano.

Durante la Orogenia Laramide la secuencia sedimentaria de la Formación Mezcalera fue intensamente deformada y fallada por esfuerzos compresionales de W- SW a E-NE. Estas unidades son sobreyacidas, discordantemente, por el comienzo de la actividad volcánica en el área, en la carta corresponde a derrames de andesitas, brechas y tobas de composición andesítica (TeA-Bva). Dentro de la carta San Francisco de Asís se realizaron dos dataciones en esta unidad, una en el arroyo Torreones con edad de  $51.9 \pm 0.8$  Ma, y otra en el arroyo El Chivato con una edad de  $51.2 \pm 1.2$  Ma, que la ubican en el Eoceno. Al terminar el Eoceno se presenta la intrusión de un cuerpo hipabisal dacítico (ToPDa), que afecta a las unidades cretácicas y volcánicas de la secuencia inferior. Cubriendo discordantemente a las unidades sedimentarias y volcánicas eocénicas, durante el Oligoceno Medio a Tardío, se constituyó el edificio volcánico de la Sierra Madre Occidental, representado en la carta por emisiones de latita y riolita (ToLa-R), andesita- basalto (ToA-B), y una gran distribución de tobas riolíticas coronadas por ignimbritas (ToTR-Ig).

Afectando a las rocas antes descritas se presentan cuerpos subvolcánicos de composición cuarzolítica (ToPqLa), pórfidos riolíticos (ToPR) y finalizando la actividad volcánica se tienen domos de composición riolítica (ToR). Durante el Mioceno se depositó, a lo largo de los grandes bloques fallados e inclinados rellenando las fosas tectónicas, un conglomerado continental (Formación Santa Inés), que contiene fragmentos de todas las unidades volcánicas terciarias y en menor grado de las unidades cretácicas (TmCgp). Además, debido al desplazamiento de Baja California hacia el noroeste, probablemente estén asociadas las emisiones basálticas alcalinas, a través de fisuras representadas en la carta como andesitas basálticas (TmA-B), las cuales se encuentran intercaladas en el conglomerado Santa Inés y sobre él. Cubriendo, discordantemente, a las unidades anteriores se tiene conglomerado (QptCgp), y depósitos aluviales (Qhoal), del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno) (figura 2).

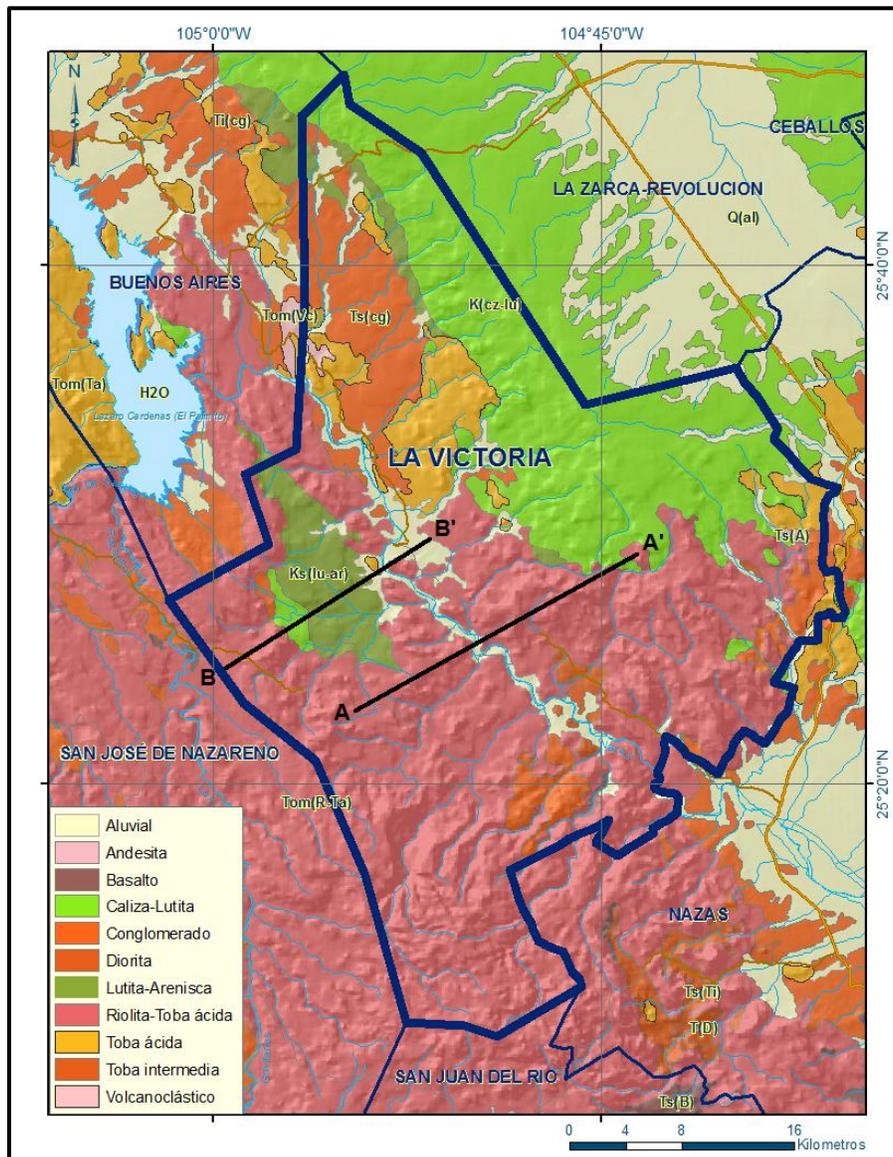


Figura 2. Geología general del acuífero

#### **4.1. Estratigrafía**

La estratigrafía está representada por unidades litológicas cuyo rango de edad varía del Cretácico Inferior al Reciente, que comprende rocas 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 las porciones norte y occidental 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 orientales 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.

###### **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.

##### **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 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 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 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). Se tiene otra datación en la carretera Durango - Mazatlán que arrojó una edad de 52 Ma (McDowell y Clabaugh, 1976); por lo que la andesita queda ubicada en el Paleoceno - Eoceno Temprano a Tardío.

## **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 Laramide, su edad se considera del Eoceno-Oligoceno.

## **Oligoceno-Mioceno**

### **Supergrupo Volcánico Superior (ToTR-Ig, Tomlg-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 vulcanismo 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 aflora ampliamente en las porciones centro y sur; 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 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 que varía de 50 a 200 m debido a que se encuentran cortando a las rocas volcánicas se les asigna una edad del Oligoceno.

### **Mioceno-Plioceno**

#### **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 correspondiente al Plioceno Tardío.

### **Cuaternario**

#### **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.

## **4.2. Geología estructural**

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.

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).

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.

Estructuralmente, dentro de lo que se denomina deformación dúctil-frágil, se tiene, en las secuencias sedimentarias arenosas y calcáreas, una serie de plegamientos recumbentes, cerrados y de chevrón con orientación NW-SE y vergencia al NE; como consecuencia, en algunas localidades de la carta, por ser demasiada la fuerza de compresión, se presenta el rompimiento de los ejes de los pliegues, derivando así a fallas de tipo inverso con orientación casi N-S, también se representan estos esfuerzos en la cabalgadura Picacho Yescas, la cual pone, en contacto tectónico, a la unidad de arenisca-limolita (KvaAr-Lu), sobre la caliza-lutita (KaCz-Lu), esta cabalgadura tiene vergencia al NE. Dentro de la deformación frágil, se presentan dos fosas y dos pilares, relacionadas con el fallamiento, tanto normal como lateral (dextral y sinistral), derivado del proceso de extensión ocurrido entre el Oligoceno y el Mioceno.

En la porción centro-sur de la carta se presenta el pilar La Paloma, al noreste se encuentra el pilar Mesas Blancas, en la parte central de estos dos pilares se presenta la fosa del río Nazas, con un rumbo general NW-SE, delimitada por fallas normales del mismo rumbo que presenta un escalonamiento hacia el centro de la fosa; por último, en la parte del límite poniente se encuentra la fosa del río Las Iglesias, con un rumbo general casi N-S, delimitada por fallamiento normal de escala regional. La evolución tectónica de la región se inicia con la subsidencia del basamento paleozoico constituido por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. Dicha subsidencia originó la Cuenca Mesozoica del Centro de México, inicialmente conocida como Mar Mexicano, la cual probablemente corresponda a una cuenca de postarco.

El rompimiento del complejo basal se manifestó en el margen continental de México por el arco volcánico Tarahumara. Durante el Cretácico Inferior (Neocomiano-Aptiano), hacia el occidente de la cuenca mesozoica del centro de México las condiciones son de mares abiertos, donde se inició el depósito de la Formación Mezcalera.

La subducción de la placa oceánica del Pacífico Oriental, debajo de la placa de Norteamérica, y la emersión continua del arco volcánico Tarahumara, generaron esfuerzos compresionales de W-SW a E-NE, con lo cual se inició el período de deformación conocido como orogenia Laramide que comprendió del Cretácico Tardío al Eoceno Tardío. El vulcanismo del Eoceno estuvo probablemente asociado a subducción a lo largo del margen occidental de México, por lo cual este episodio representa un régimen de arco continental asociado a subducción. La Sierra Madre Occidental generalmente es considerada producto del paroxismo ignimbrítico. Este evento sucedió en el lapso de 32 a 28 Ma en el borde oriental del campo volcánico. Está caracterizado por una extensa y voluminosa secuencia de tobas de ceniza félsicas, generalmente de 1 km de espesor, que fueron emitidas desde grandes calderas y estructuras vulcano-tectónicas.

El fallamiento normal en la zona se inició hace aproximadamente 29.5 Ma, en tanto que la extensión E-NE a NE comenzó en el lapso de 32 a 27 Ma. Derivado de la extensión se depositó la Formación Santa Inés. El episodio volcánico final en el área, el cual es simultáneo a otra etapa de fallamiento, está representado por la erupción de andesitas basálticas de 24-20 Ma que sobreyacen o están intercaladas en el conglomerado Santa Inés. Las andesitas ocurren adyacentes a fallas normales y pueden corresponder al episodio de fallamiento normal del evento de Cuencas y Sierras.

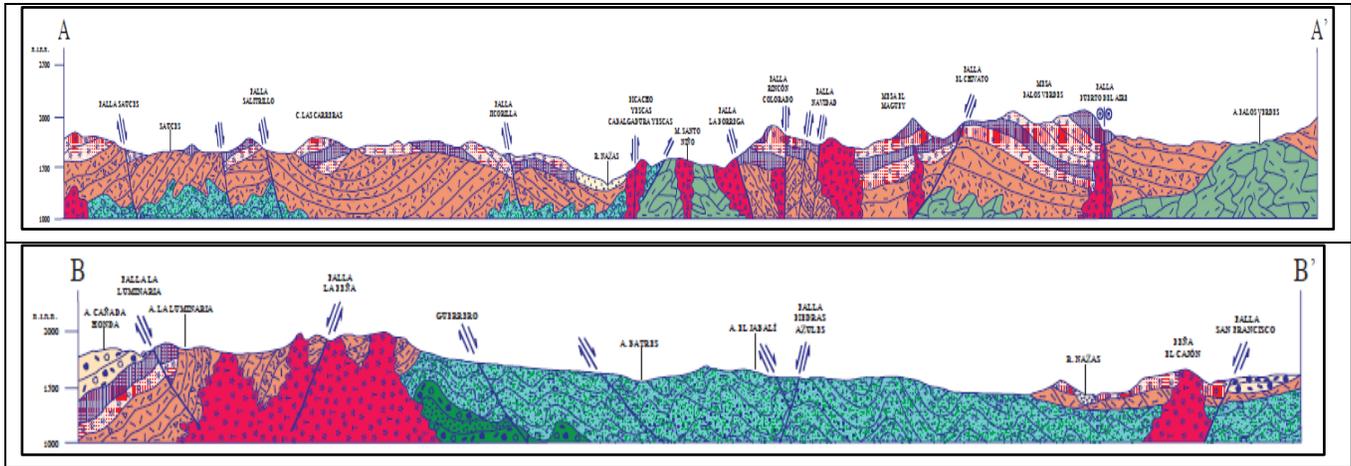
### **4.3. Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información geológica y geofísica recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos fluviales que constituyen el lecho y la llanura de inundación del río Nazas Zarqueños y de los arroyos tributarios, así como en los depósitos de conglomerados. Este 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 sedimentarias terrígenas (areniscas y lutitas), y 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 sedimentarias y volcánicas, al desaparecer el fracturamiento, y a mayor profundidad las lutitas que forman parte de la secuencia que constituye la Formación Mezcalera.

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 (figura 3).



Fuente: Carta Geológica-Minera G13-D31 "San Francisco de Asís" Esc. 1:50.000 (SGM, 2002)

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 metros en el centro del valle. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan tobas ácidas, riolitas e ignimbritas, 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.

### 5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte del estudio realizado en el año 2010, se realizaron tres pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, cuyos resultados se presentan en la tabla 2. Para el análisis e interpretación de las pruebas de bombeo, los métodos utilizados para determinar la transmisividad y conductividad hidráulica fueron el de Theis y el de Theis & Jacob. El primero se utilizó para los datos tomados en abatimiento y el segundo para los de recuperación.

De los resultados de la interpretación por los métodos analíticos, se establece que los valores de transmisividad varían entre  $3.64 \times 10^{-5}$  y  $1.04 \times 10^{-3}$  [ $m^2/s$ ], con un valor promedio de  $1.03 \times 10^{-3}$  [ $m^2/s$ ]; los valores de conductividad hidráulica varían de  $1.45 \times 10^{-7}$  y  $2.59 \times 10^{-6}$  [ $m/s$ ] con un valor promedio de  $2.59 \times 10^{-6}$  [ $m/s$ ] (tabla 2). 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( $m^2/s$ )	K( $m/s$ )	T( $m^2/s$ )	K( $m/s$ )
Pozo administrativo	Pozo	$4.09 \times 10^{-5}$	$1.64 \times 10^{-7}$	-----	-----
Pozo Tatalucas	Pozo	$3.64 \times 10^{-5}$	$1.45 \times 10^{-7}$	-----	-----
WW10-006	Pozo	$1.04 \times 10^{-3}$	$2.59 \times 10^{-6}$	$3.00 \times 10^{-3}$	$7.49 \times 10^{-6}$

### 5.3. Piezometría

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

### 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

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2010, se tomaron 15 muestras de agua subterránea en diferentes aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (9 en manantiales, 4 norias y 2 pozos), para su análisis fisicoquímico correspondiente (tabla 3). Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza

total, sólidos totales disueltos, Fe, Mn, coliformes fecales y totales, etc, para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

Tabla 3. Aprovechamientos muestreados

MUESTRA	LATITUD	LONGITUD	Tipo de Aprovechamiento	pH	C.E (μS/cm)	STD (ppm)	T (°C)
M2	25.4348	-104.9521	Manantial 2	7.73	1347	607	21.74
M3	25.4374	-104.9516	Manantial 3	7.37	3261	2575	14.08
M4	25.4387	-104.9492	Manantial 4	7.76	2996	1355	20.71
M5	25.4078	-104.9296	Manantial 5	7.68	575	258	23.43
M6	25.3921	-104.9286	Manantial 6	7.74	357	173	23.82
M7	25.3901	-104.94	Manantial 7	8.46	551	249	23.82
MAP1	25.4158	-105.0078	Manantial de agua potable 1	8.11	421	190	20.78
MAP2	25.4178	-105.0044	Manantial de agua potable 2	8.27	334	151	21.68
N1	25.441	-104.9492	Noria 1	7.62	2805	1265	19.76
N3	25.4353	-104.9395	Noria 3	7.55	2055	934	17.67
N4	25.4423	-104.9382	Noria 4	7.89	1785	801	19.26
N5	25.4405	-104.9252	Noria 5	7.72	1652	743	17.7
PA	25.4331	-104.8472	Pozo artesiano	8.03	2168	976	30.58
240	25.4271	-104.9389	Rampa 240	7.92	734	331	26.24
320	25.4271	-104.9609	Rampa 320	7.82	825	371	25.04

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 151 a 2575 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, mientras que los mayores se registran en la porción central, reflejando de esta manera las direcciones preferenciales del flujo subterráneo.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad alta ( $C_3$ ) y contenido bajo de sodio intercambiable ( $S_1$ ). El agua del pozo con clave (PA) tuvo un índice RAS de  $C_3S_3$  (alta salinidad y alto contenido de sodio), lo que indica que es apropiada para su uso en riego sin restricciones. Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó como familia dominante sulfatada cálcica, que corresponde a aguas más evolucionadas que tuvieron intercambio iónico con las rocas que conforman el medio geológico.

## 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 8 aprovechamientos, de los cuales 5 son pozos y 3 son norias. Adicionalmente se identificaron 9 pequeños manantiales de escaso gasto de descarga. El volumen de extracción conjunto de los 8 aprovechamientos se ha estimado en **1.1 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 1.05 hm<sup>3</sup> (95.5 %) se destinan al uso agrícola, 0.04 hm<sup>3</sup> (3.6 %) para abastecimiento de agua potable a los centros de población de la región y los restantes 0.01 (0.9%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico –abrevadero.

## 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 la siguiente:

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

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

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

### 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 1419 km<sup>2</sup>

del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

### 7.1.1. Recarga vertical (Rv)

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 (1419 km<sup>2</sup>) por la lámina de precipitación media anual.

$$V_{LL} = 383 \text{ mm}) : 1419 \text{ km}^2 (0.383 \text{ m}) = \mathbf{543.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizaron las ecuaciones empíricas de Turc y Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 383 mm y temperatura de 19.3 °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**=  $300 + 25T + 0.05T^3$ ;

**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 380.6 mm anuales.

Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

<b>COUTAGNE</b>	$ETR = P - \chi P^2$
Donde:	
ETR= Evapotranspiración m/año	
P = precipitación en m/año	
$\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$	
t = temperatura en °C	

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  $1/8\lambda$  la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que  $1/2\lambda$  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 341.1 mm anuales.

Se optó por la estimación conservadora de la infiltración que se obtiene al tomar en cuenta la lámina de evapotranspiración obtenida con la fórmula de Coutagne, que es de 341.1 mm anuales, por lo que el volumen de la ETR es:

$$V_{ETR} = 1419 \text{ km}^2 (0.3411 \text{ m}) = \mathbf{484.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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, de fecha 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 4 y se determina el uso actual del suelo.

Tabla 4. Valores de  $k$  en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO
	A	B	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	CARACTERÍSTICAS		
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		

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 (Ce), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

$$\begin{aligned} \text{Si K resulta menor o igual que 0.15,} & \quad \text{Ce} = \text{K} (\text{P}-250) / 2000; \\ \text{Si K es mayor que 0.15,} & \quad \text{Ce} = \text{K} (\text{P}-250) / 2000 + (\text{K} - 0.15) / 1.5; \end{aligned}$$

De acuerdo con la cartografía del INEGI escala 1:250,000, para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos Litosol, Rendzina, Regosol y Feozem (figura 4). En cuanto al uso de suelo (figura 5), un 75.5 % de la superficie del acuífero está cubierta por pastizal, en los que el suelo es tipo B, cubiertos del 50 al 75%, por lo que  $K=0.24$ ; 12.7 % del acuífero presenta bosque, suelo tipo B, con cobertura regular del 50 al 75%, por lo que  $K=0.22$ ; el matorral se presenta en 7.8 % de la superficie del acuífero, suelo tipo B, con cobertura menor del 25%, por lo que  $K=0.28$ ; el chaparral se presenta en 2.7 % de la superficie del acuífero, suelo tipo B, con cobertura menor del 25%, por lo que  $K=0.18$ ; finalmente, un 1.3 % del área del acuífero tiene uso de suelo agrícola, tipo A, por lo que  $K= 0.26$ .

$$\text{K ponderado} = 0.24 (0.755) + 0.22 (0.127) + 0.28 (0.078) + 0.18 (0.027) + 0.26 (0.013) = 0.239$$

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.239, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$\begin{aligned} \text{Ce} &= \text{K} (\text{P}-250)/2000 + (\text{K}-0.15)/1.5 \\ \text{Ce} &= 0.0752 \end{aligned}$$

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

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.0752 (543.5 \text{ hm}^3) = 40.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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

$$\begin{aligned} \mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)} \\ V_{INF} &= 543.5 - 484.0 - 40.9 \\ \mathbf{V_{INF} = 18.6 \text{ hm}^3/\text{año}} \end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de  $543.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ , se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.034.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de  $18.6 \text{ hm}^3/\text{año}$  en los  $1419 \text{ km}^2$  de superficie del acuífero.

Por lo que la  $R_v = 18.6 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

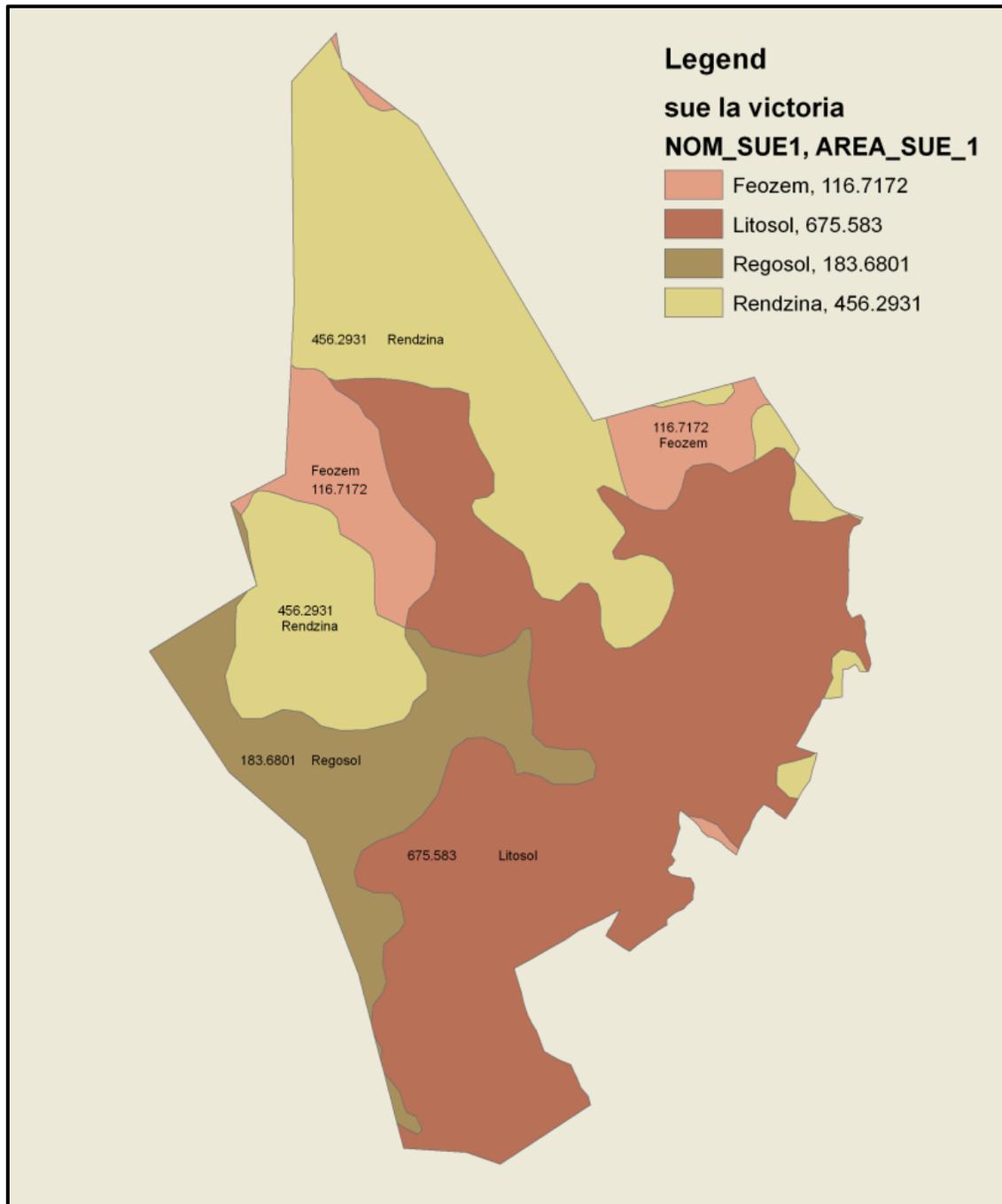


Figura 4. Tipo de suelo

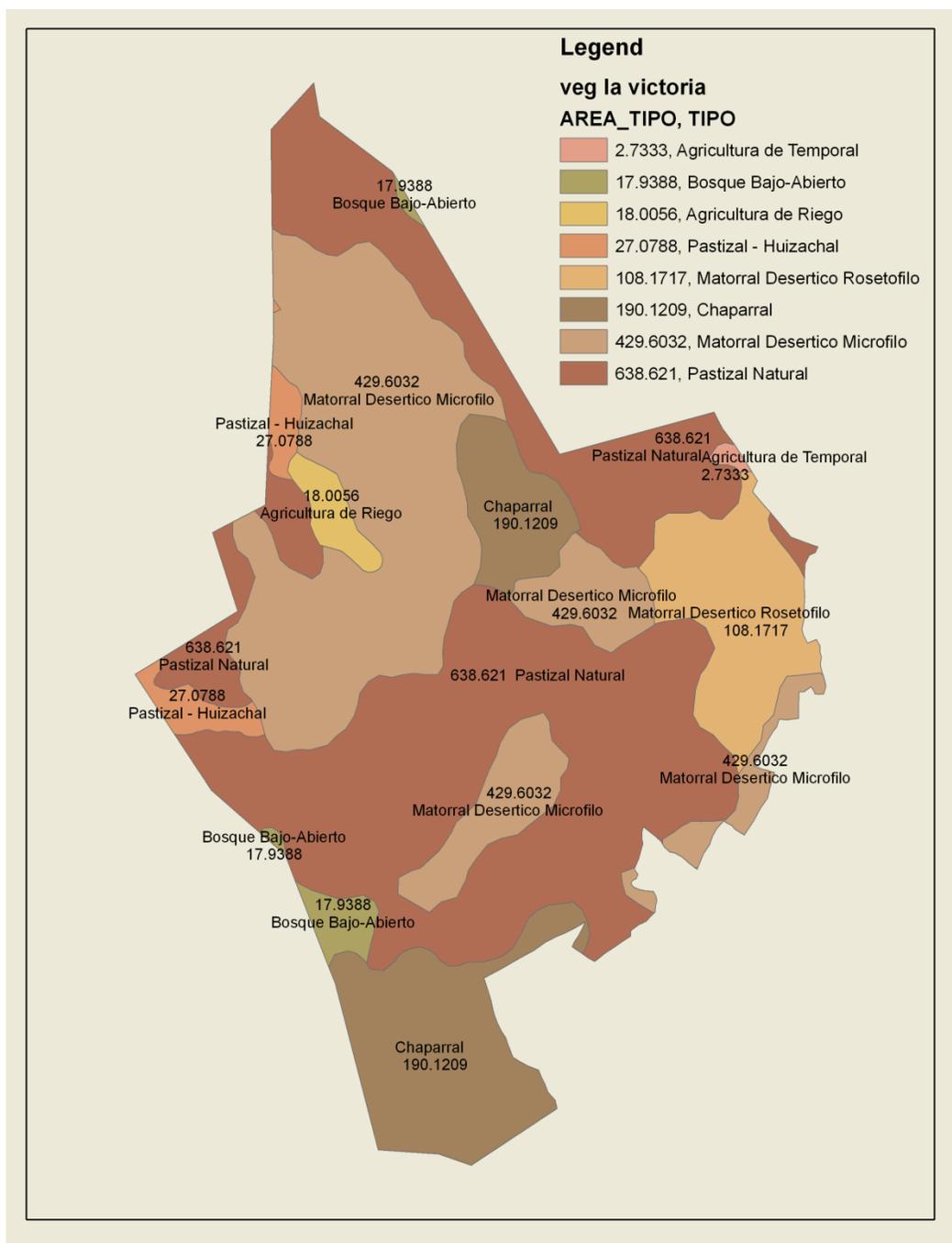


Figura 5. Uso de suelo

## 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 **1.1 hm<sup>3</sup>/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:

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

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 en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es de **18.6 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 La Victoria, 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 1'086,558m<sup>3</sup>/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, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA.

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

$$\text{DAS} = 18.6 - 0.0 - 1.086558$$

$$\text{DAS} = 17.513442 \text{ hm}^3/\text{año}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **17'513,442 m<sup>3</sup> anuales** para otorgar nuevas concesiones.

#### 9. BIBLIOGRAFIA

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-D31 "San Francisco de Asís", escala 1:50,000.