

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Torreón de Cañas
(1014), 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.**

CCCLXXIV 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

1014	TORREÓN DE CAÑAS	15.2	0.0	0.730200	0.8	14.469800	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 TORREÓN DE CAÑAS (1014), 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	5
3.	FISIOGRAFÍA	6
3.1.	Provincia fisiográfica	6
3.2.	Clima	7
3.3.	Hidrografía	7
3.4.	Geomorfología	8
4.	GEOLOGÍA	8
4.1.	Estratigrafía	10
4.2.	Geología estructural	12
4.3.	Geología del subsuelo	14
5.	HIDROGEOLOGÍA	14
5.1.	Tipo de acuífero	14
5.2.	Parámetros hidráulicos	15
5.3.	Piezometría	15
5.4.	Comportamiento hidráulico	15
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	15
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	16
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
7.1.	Entradas	17
7.1.1.	Recarga vertical (Rv)	17
7.2.	Salidas	24
7.2.1.	Bombeo (B)	24
8.	DISPONIBILIDAD	24
8.1.	Recarga total media anual (Rt)	24
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM)	24
8.3.	Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	25
8.4.	Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	25
9.	BIBLIOGRAFÍA	25

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (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 Torreón de Cañas, definido con la clave 1014 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en el extremo norte del estado de Durango, entre los paralelos 26°07' a 26°32" de latitud norte y los meridianos 105°03' a 105°20' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 662 km².

Limita al norte con el acuífero Jiménez Camargo, el cual pertenece al estado de Chihuahua; al este con los acuíferos San Fermín y Revolución y al oeste con el acuífero Cabrera-Ocampo, todos ellos pertenecientes al estado de Durango (figura 1).

Geopolíticamente se localiza totalmente en los municipios de Ocampo e Hidalgo.

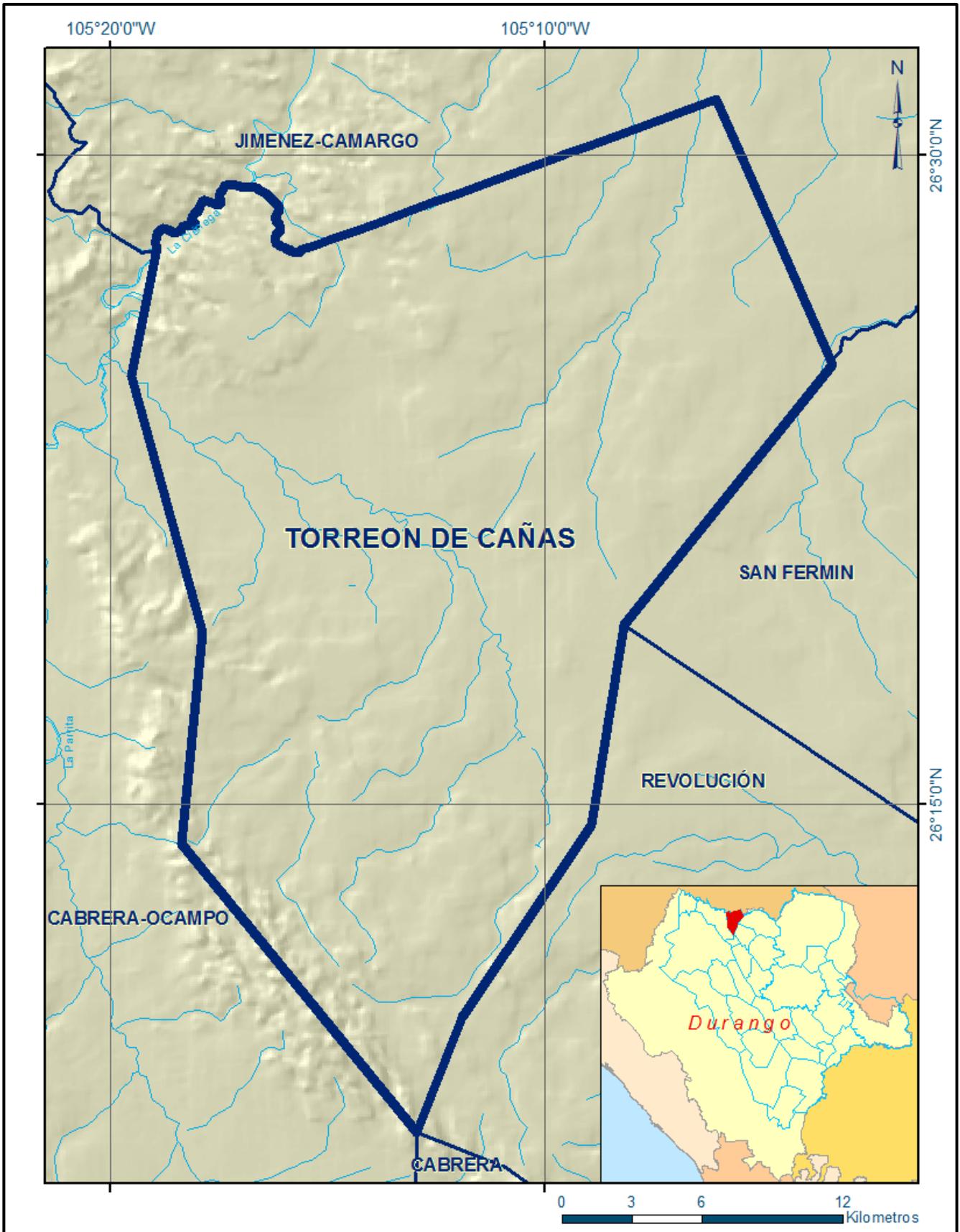


Figura 1. Localización del acuífero Torreón de Cañas

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 1014 TORREON DE CAÑAS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	105	3	22.2	26	25	8.8	
2	105	8	11.8	26	19	8.9	
3	105	8	55.8	26	14	32.2	
4	105	11	55.0	26	10	6.4	
5	105	12	57.4	26	7	27.1	
6	105	18	22.9	26	14	5.6	
7	105	17	53.0	26	18	57.9	
8	105	19	32.6	26	24	53.3	
9	105	18	57.9	26	27	43.8	del 9 al 1 por el límite estatal
1	105	3	22.2	26	25	8.8	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Torreón de Cañas 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, el municipio de Ocampo se clasifica como zona de disponibilidad 6 y el municipio de Hidalgo como zona de disponibilidad 7. El principal usuario es 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), la porción centro y norte del acuífero se encuentran dentro de la Provincia Fisiográfica de Sierras y Llanuras del Norte, Subprovincia Bolsón de Mapimí; la región sur se ubica en la provincia Sierra Madre Occidental, subprovincia Sierras y Llanuras de Durango.

La provincia de la Sierra Madre Occidental se extiende desde la frontera con Estados Unidos hasta los límites con la provincia del Eje Neovolcánico. Abarca parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. Es un gran sistema montañoso con elevaciones hasta los 3000 m.s.n.m. constituido principalmente por rocas ácidas e intermedias. En la parte occidental el relieve es muy escarpado y en el oriente va bajando gradualmente, con la presencia de cadenas y valles con orientación NE-SW, producidos por la actividad tectónica de la región. En la parte central de la sierra se forman elevadas mesetas constituidas por rocas volcánicas, mientras que principalmente en la parte occidental de la provincia, fueron excavados profundos cañones como consecuencia de varios procesos como la actividad tectónica, la litología y la erosión hídrica. La subprovincia Sierras y Llanuras de Durango se caracteriza por estar conformada por cordones montañosos irregulares, separados por amplios valles, de altitudes variables entre 1700 y 2300 msnm.

La provincia de Sierras y Llanuras del Norte, subprovincia Del Bolsón de Mapimí, cubre la mayor superficie del acuífero. Está constituida por sierras bajas y abruptas con elevaciones entre 1590 a 1950 m.s.n.m. con orientación nornoroeste-sursureste, separadas por grandes bajadas y llanuras rellenas de material aluvial. La región muestra un estado de erosión avanzado con grandes cuencas continentales rellenas de sedimentos aluviales y lacustres, también llamados bolsones. La subprovincia está constituida por extensas llanuras aluviales o salinas, con lomeríos ramificados, sierras plegadas y campos de dunas. En las llanuras dominan suelos profundos de origen aluvial o lacustre, de textura media o fina.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el clima que predomina en la zona del acuífero, es el BS₁kw(w) que es un clima seco estepario (BS), el cual corresponde con el más seco de los climas secos. Es de subtipo semiseco (1), con 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 mes más frío entre -3 y 18 °C y la del más cálido > 18 °C. El régimen de lluvia (w), que define el comportamiento de la lluvia durante el año indicando la temporada en la que se concentra la mayor cantidad, es de verano, cuando el mes de máxima precipitación cae dentro del período mayo – octubre, donde se recibe por lo menos diez veces mayor cantidad de precipitación que el mes más seco del año. El último término (w) indica que su 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 tres estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Villa Hidalgo (DGE), Canutillo y Santa María del Oro, cuyo registro comprende los periodos 1975-2007, 1979-2007 y 1967-2007, respectivamente. Con estos datos y utilizando el método de los polígonos de Thiessen, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **458.8 mm y 18.0 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2492.0 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 provocadas principalmente por los frentes fríos que afectan la región.

3.3. Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 24a Río Conchos, cuenca del Río Florido. Esta Región está situada dentro del estado de Chihuahua ocupando las porciones central, oriente y sur, además

de una pequeña porción del estado de Durango. Se inicia en el origen del Bravo en Ciudad Juárez y termina en Ojinaga. Está comprendida entre los meridianos 104°10' y 107°39' de longitud oeste, y los paralelos 25°58' y 31°47' de latitud norte.

El área de esta región hidrológica es de 87,673 km²; limita al norte con los Estados Unidos, al noroeste con la región hidrológica 34, al noreste con la región hidrológica 24b, al oriente con la región hidrológica 35, al sur con la región hidrológica 36 y al occidente con las regiones hidrológicas 9 y 10. Los ríos más importantes en la región son el río Conchos, sus afluentes y formadores: Balleza, El Porvenir, Nonoava, Florido, Parral, San Pedro y Chuiscar. Entre los cuerpos de agua destacan las presas La Boquilla y Luis León sobre el río Conchos; y Francisco I. Madero sobre el río San Pedro.

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

3.4. Geomorfología

El relieve se caracteriza por fosas originadas por la erosión en la zona de los valles fluviales, presentes tanto en la planicie como en la sierra. También por pilares causados por esfuerzos de tensión en la sierra de Atotonilco.

Existe en el paisaje sierras plegadas que se encuentran enclavadas en una extensa planicie. Estas sierras son bajas y estrechas, con valles intermontanos orientados en sentido NW-SE, ligeramente arqueadas y con altitudes de hasta 2150 msnm. La planicie presenta taludes que forman pie del monte.

El área presenta rasgos de madurez morfológica en su última etapa. Los tipos de drenaje varían de subparalelo a angular principalmente.

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; Eguluz 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.

Tanto la porción oriental como occidental están dominadas por afloramientos de rocas sedimentarias cretácicas, mientras que en la porción norte se tiene una dominancia de afloramientos de rocas volcánicas félsicas del terciario. Las partes bajas de la porción central del acuífero están representadas por afloramientos de rocas sedimentarias conglomeráticas terciarias y sedimentos fluviales cuaternarios. El Cretácico está representado por estructuras que forman las sierras que delimitan el extremo occidental, las cuales presentan una orientación NW-SE, controladas por anticlinales buzantes (figura 2).

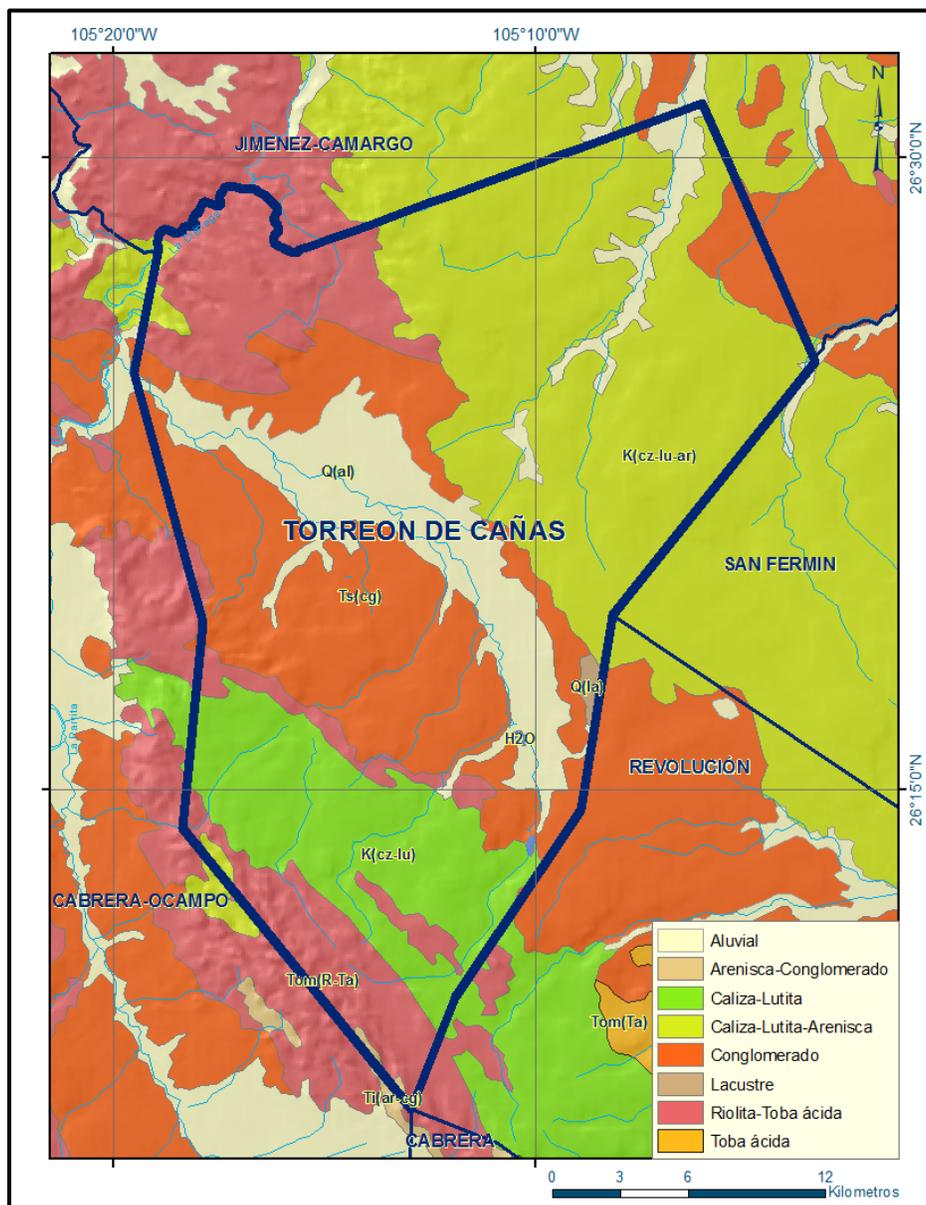


Figura 2. Mapa geológico del acuífero

4.1. Estratigrafía

La estratigrafía está representada por unidades litológicas cuyo rango de edad varía del Cretácico Inferior al Reciente, que comprende rocas 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

Grupo Mezcalera (KvapCz-Lu)

Esta unidad tiene los afloramientos más ampliamente distribuidos en la porción central del acuífero, con afloramientos locales en la parte norte y noreste del mismo. Está constituida por una intercalación heterolítica de caliza y lutita, con cambios laterales de facies a una intercalación de arenisca y lutita. La edad de esta unidad se considera del Neocomiano- Aptiano.

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.

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 Tejamén, 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.

La litología predominante de este complejo en el área consiste de flujos de andesitas y brechas andesíticas de color gris morado. Las andesitas presentan una textura afanítica y generalmente con una alteración principalmente propilítica. 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 limolítica, 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.

Grupo Carpintero (Tolg-TR)

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

Formación Metates (TmB)

Definida como unidad informal por Córdoba (1963) en las inmediaciones del poblado de Metates en el km 20 de la carretera Durango-Mazatlán. Litológicamente está constituido por basaltos alcalinos caracterizados por un color gris oscuro a pardo rojizo, textura vesicular a amigdaloidal con relleno de calcita y olivino. Las edades reportadas para estos basaltos se tienen entre 11.7 y 12.6 Ma, ubicándolos en el Mioceno. Esta unidad no aflora en la superficie cubierta por el acuífero.

Plioceno-Cuaternario

Formación Santa Inés, Conglomerado polimíctico (Tm Cgp)

Consiste de una matriz arenosa con clastos de roca volcánica ácida subredondeados a subangulosos del tamaño de guijas finas a cantos medianos, que varía de no consolidado a bien cementado. 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. En los afloramientos se tiene un espesor de 20 a 200 m y en la región se encuentra cubriendo discordantemente a las formaciones Mezcalera, Baluarte, Grupo Registro, Grupo Carpintero, Grupo Rio Chico y Formación Metates; mientras que infrayace concordantemente a los basaltos Guadiana.

Cuaternario

Depósitos lacustres (Qhola)

Constituyen una alternancia de arenas finas, limos y arcillas con laminaciones delgadas de 0.5 a 2 cm de espesor, semicompactados, con algunos horizontes de sales y carbonatos acumulados. Este material se ha formado a partir de la erosión de las rocas volcánicas con su transporte y depósito hacia grandes valles. Se le ha asignado una edad del Holoceno.

Depósitos fluviales (Qhoal)

Constituyen grandes acumulaciones de material de origen fluvial, producto de la intensa erosión de las formaciones sedimentarias cretácicas, volcánicas terciarias y cuaternarias con su posterior transporte y depósito, lo cual ha originado la formación de extensas planicies aluviales y lacustres. Está formando por clastos a redondeados con un rango granulométrico muy amplio de gravas a arcillas. Se ha asignado a esta unidad una edad del 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.

Los dominios estructurales son de tipo dúctil-frágil y frágil; el primero se observa en las formaciones constituidas por secuencias de calizas y lutitas, mientras que el dominio frágil se manifiesta en las secuencias calcáreas, arenosas y calcáreo-arenosas. Se observan dos efectos de deformación, uno de ellos corresponde a las estructuras anticlinales y sinclinales que fueron afectados por fallas y de desplazamiento y cabalgaduras, originados por los esfuerzos de compresión que ocurrieron a finales del Cretácico y principios del Terciario durante la Orogenia Laramide.

Otro evento de deformación corresponde a una fase tectónica extensional representada por fallamiento normal y lateral orientado NW-SE y NE-SW) que se llevó a cabo del Oligoceno Tardío a Mioceno Temprano, asociada a la apertura del Golfo de California y manifestada por una serie de fallamientos normales de tipo transtensional dextral a lo largo del margen pacífico en el noroeste y sinistral en el sureste de México que dieron origen a la provincia morfotectónica de Cuencas y Sierras (*Basin and Range*). Se presentan estructuras anticlinales y sinclinales abiertas y recumbentes, cabalgaduras, fallamientos normales y laterales.

En la porción occidental, en la sierra de Atotonilco se observan dos cabalgaduras importantes, la primera denominada Cabalgadura Atotonilco, está orientada en sentido NW-SE y vergencia hacia el

SW, mientras que la segunda se denomina Boquilla de Fernández-Bellavista, está orientada NW-SE con vergencia al NE. Es importante mencionar que entre dichas estructuras se presenta un anticlinal recumbente (denominado Atotonilco) el cual está orientado NW-SE y verge al SW.

En la porción suroriental se presenta la Sierra Agua Puerca, que es un anticlinal recumbente, orientado NW-SE con vergencia al NE, el cual es afectado por la falla sinistral Agua Puerca y al oriente de ésta se presenta la Cabalgadura Lomas Las Cuatas, la cual está orientada NW-SE, con vergencia al SW, misma que en su porción sur es afectada por la falla dextral El Caracol.

También se infiere la cabalgadura San Felipe, propuesta por Eguiluz A.(1988), la cual presenta una orientación NW-SE y verge al NE, así como dos cabalgaduras principales (Acebuches y Ceja Colorada), las cuales están orientadas NW-SE con vergencia al SW. En la porción sur se presenta la Fosa Santo Domingo-La Parrita, la cual está limitada por fallas normales y laterales.

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 de los arroyos 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), 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 areniscas y lutitas, 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.

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, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. A mayor profundidad las rocas calizas representan un acuífero potencial que aún no ha sido explorado y que puede estar confinado por la presencia de lutitas.

5.2. Parámetros hidráulicos

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 11 aprovechamientos que fue posible censar durante el estudio realizado en el año 2010, 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

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2010, se tomaron 2 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (2 pozos), para su análisis fisicoquímico correspondiente (tabla 2).

Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, Fe, Mn, coliformes fecales y totales, etc.

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 185 a 335 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.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad media (C_2) y contenido bajo de sodio intercambiable (S_1), lo que indica que es apropiada para su uso en riego sin restricciones.

De acuerdo a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificaron dos familias de agua que son bicarbonatada-cálcica y bicarbonatada sódica, que corresponde a agua de reciente infiltración que ha circulado principalmente a través de rocas vulcanosedimentarias.

Tabla 2. Aprovechamientos muestreados en el acuífero Torreón de Cañas

APROVECHAMIENTOS	X	Y	LATITUD	LONGITUD	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	STD (ppm)	pH	T °C	ALK (ml de HCl)
CNA-1014-11	478263	2912734	26.33587	-105.21782	412	185	9.32	17.59	3.9
CNA-1014-TC	473337	2918209	26.38373	-105.26729	745	335	8.58	16.39	4.5

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, sólo fue posible registrar la existencia de 11 aprovechamientos, todos ellos son pozos.

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **0.8 hm³ anuales**, de los cuales 0.75 hm³ (93.8%) se destinan al uso agrícola, 0.04 más (5.0 %) para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región, y los 0.01 hm³ restantes (1.2 %) se utilizan 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 Torreón de Cañas 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 (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 (662 km²) por la lámina de precipitación media anual (458.8 mm): 662 km² (0.4588 m) = 303.7 hm³ 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 458.8 mm y temperatura de 18 °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 438.6 mm anuales.

$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$	
T (°C) =	18
P(mm) =	458.8 P ² = 210497.44
L =	1041.6 L ² = 1084930.56
ETR (mm)=	438.6

Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

COUTAGNE

$$ETR = P - \chi P^2$$

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 395.4 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 395.4 mm anuales, por lo que el volumen de la ETR es: $ETR = 662 \text{ km}^2 (0.3954 \text{ m}) = 261.8 \text{ hm}^3$ 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 3 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 (Ce), 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,

$$Ce = K (P-250) / 2000;$$

Si K es mayor que 0.15,

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

Tabla 3. 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		

De acuerdo con la cartografía del INEGI escala 1:250,000 para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos rendzina, chernozem, feozem, vertisol y xerosol (figura 3). En cuanto al uso de suelo (figura 4), un 87 % 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; el matorral se presenta en 10.2 % del acuífero, suelo tipo B, con cobertura menor del 25 %, por lo que K=0.28; el bosque se presenta en 2.2 % de la superficie del

acuífero, suelo tipo C, con cobertura mayor del 75%, por lo que $K=0.24$; finalmente, un 0.6 % del área del acuífero tiene uso de suelo agrícola, tipo A, por lo que $K= 0.24$.

$$K \text{ ponderado} = 0.24 (0.87) + 0.28 (0.102) + 0.24 (0.022) + 0.24 (0.006) = 0.244$$

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.244, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$
$$C_e = 0.0881$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento: $0.0881 (303.7 \text{ hm}^3) = 26.8 \text{ hm}^3$ anuales.

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

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}$$
$$V_{INF} = 303.7 - 261.8 - 26.8$$
$$V_{INF} = 15.2 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de $303.7 \text{ hm}^3/\text{año}$, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.050.

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

Por lo que la **$R_v = 15.2 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

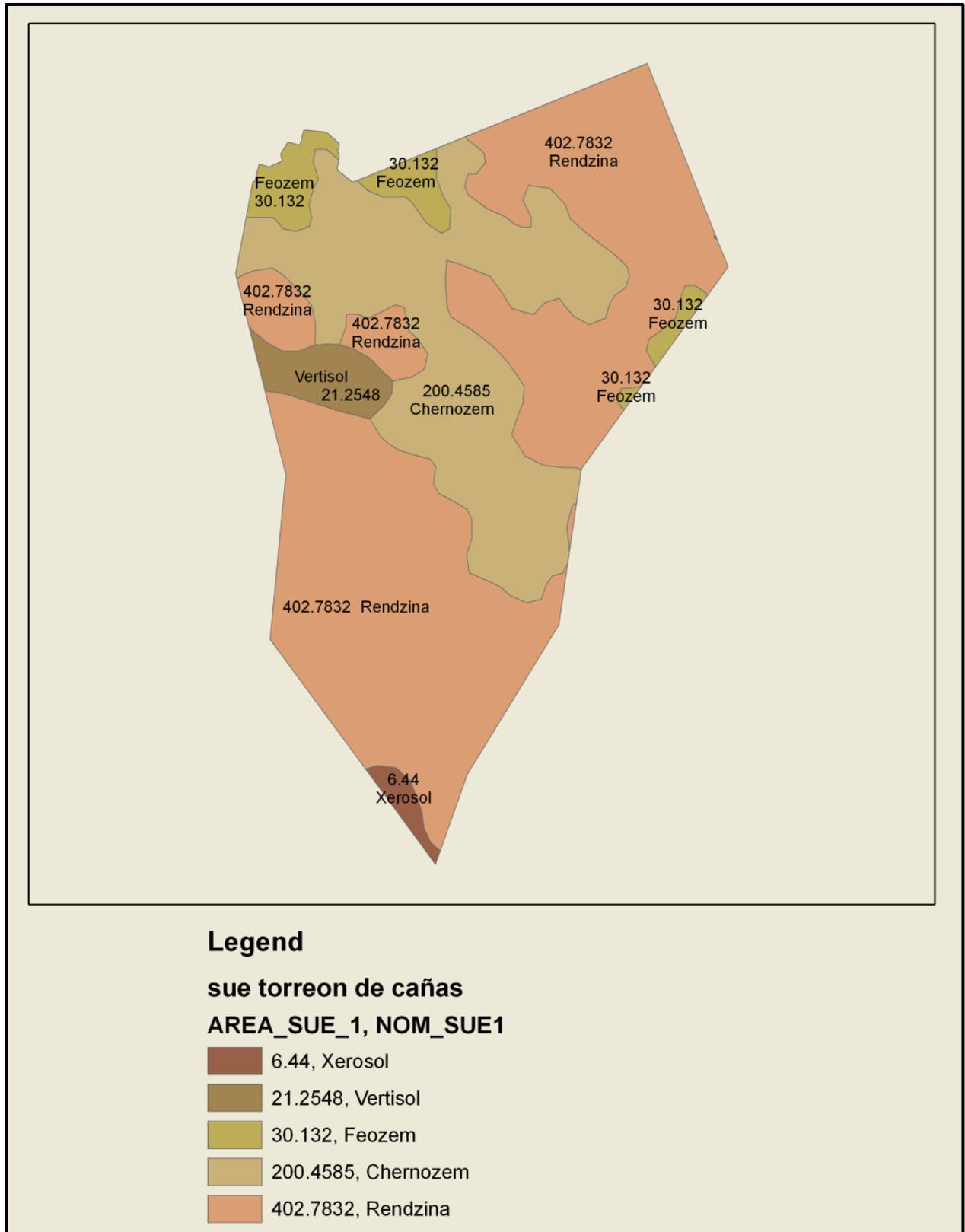


Figura 3. Tipo de suelo

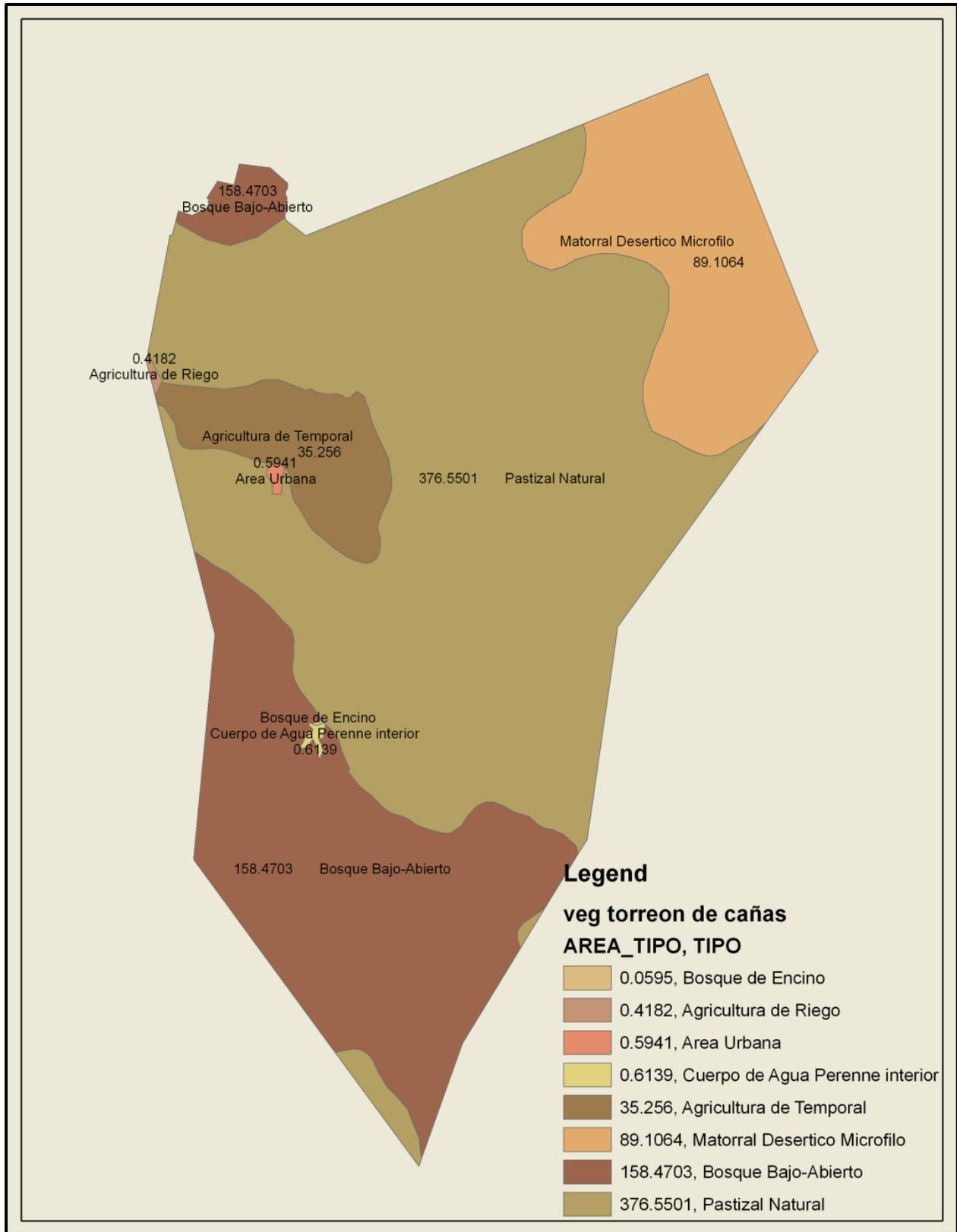


Figura 4. Uso de suelo

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 **0.8 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:

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

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 **15.2hm³/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 Torreón de Cañas, se considera que no existe descarga natural comprometida. Por lo tanto, la **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 (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte **al 31 de marzo de 2010, es de 843,543 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 REPGA.

$$\begin{aligned} \mathbf{DAS} &= \mathbf{Rt} - \mathbf{DNCOM} - \mathbf{VCAS} & \mathbf{(3)} \\ \mathbf{DAS} &= 15.2 - 0.0 - 0.843543 \\ \mathbf{DAS} &= \mathbf{14.356457 \text{ hm}^3/\text{año}} \end{aligned}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **14'356,457 m³ 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. Realizado por convenio con la Universidad de Sonora (UNISON).

Servicio Geológico Mexicano, 2002, Carta Geológica-Minera G13-B82 "Atotonilco", escala 1:50,000.