



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CARICHI-NONOAVA (0846), ESTADO
DE CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
2	FISIOGRAFÍA.....	5
2.1	Provincia fisiográfica.....	5
2.2	Clima.....	6
2.3	Hidrografía.....	7
2.4	Geomorfología.....	7
3	GEOLOGÍA.....	7
3.1	Estratigrafía.....	8
3.2	Geología estructural.....	10
3.3	Geología del subsuelo.....	10
4	HIDROGEOLOGÍA.....	11
4.1	Tipo de acuífero.....	11
5	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	12
5.1	Entradas.....	12
5.1.1	Recarga vertical (Rv).....	12
5.2	Salidas.....	19
5.2.1	Descarga a través de manantiales (Dm).....	19
5.2.2	Bombeo (B).....	19
6	DISPONIBILIDAD.....	19
6.1	Recarga total media anual (R).....	20
6.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	20
6.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	20
6.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	21
7	BIBLIOGRAFÍA.....	22

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-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y 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 de extracción de aguas subterráneas.

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 Carichi-Nonoava, definido con la clave 0846 en la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur del estado de Chihuahua, entre las coordenadas geográficas 26° 51' y 28° 07' de latitud norte y 107° 55' y 106° 34' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 6994.4 km².

Limita al norte con los acuíferos Guerrero-Yepomera y Laguna de Mexicanos; al noreste con Alto Río San Pedro; al este con San Felipe de Jesús; al sureste con Bocoyna, pertenecientes al estado de Chihuahua; al suroeste con Río Fuerte, perteneciente al estado de Sinaloa (figura 1).

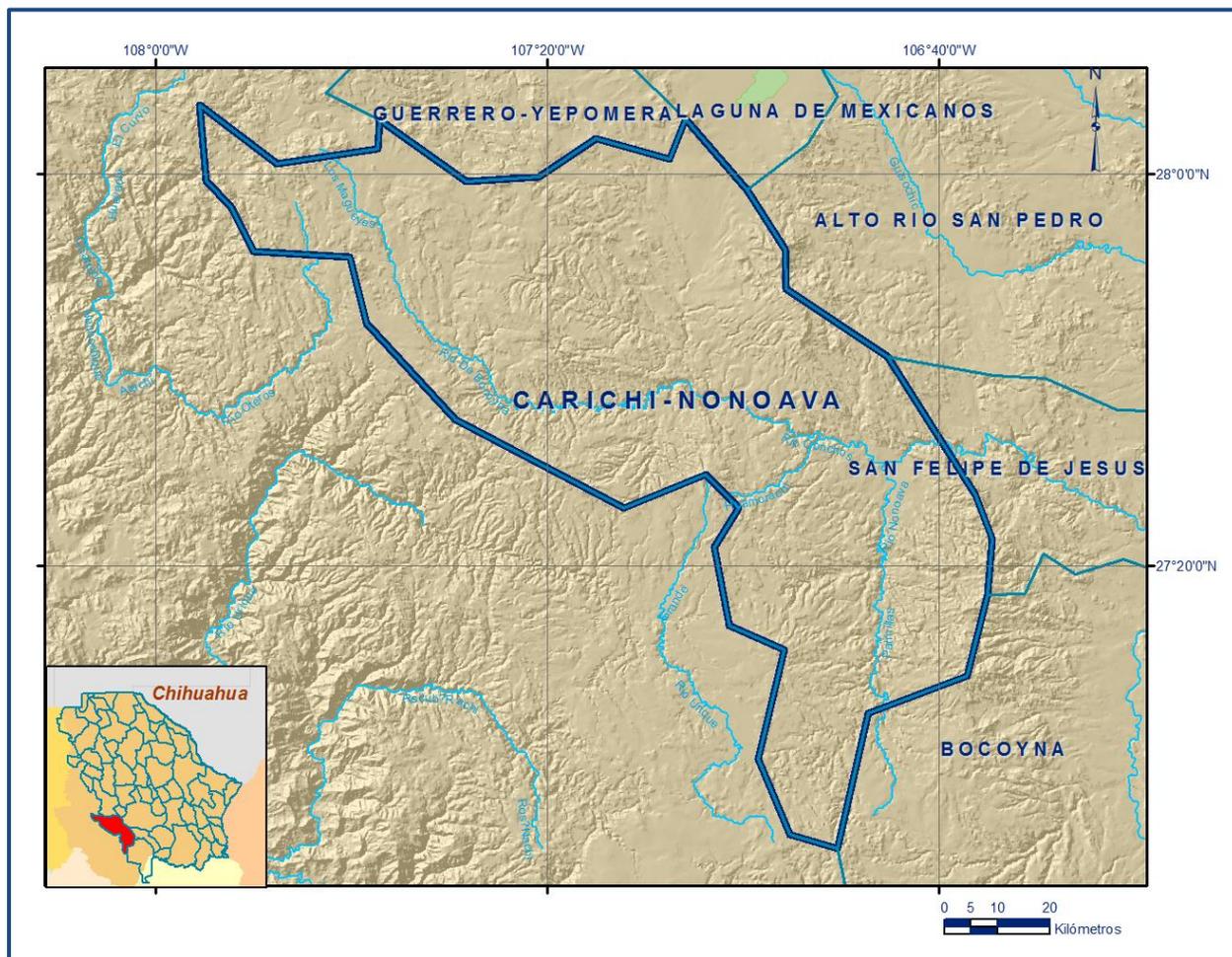


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, comprende la superficie parcial de los municipios Carichí, Bocoyna, y Nonoava; así como una porción menor de Guacohi, Balleza, y Ocampo; Además de áreas mínimas de Maguarichi, Guerrero, San Francisco de Borja, Cusihuirachi y Rosario. 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 0846 CARICHI-NONOAVA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	106	55	15.7	26	52	40.9
2	106	58	27.4	27	0	24.6
3	106	55	51.3	27	11	28.9
4	107	1	26.8	27	14	1.5
5	107	3	0.0	27	21	57.7
6	107	0	29.2	27	26	0.9
7	107	3	50.4	27	29	25.8
8	107	12	9.9	27	25	58.6
9	107	29	22.7	27	34	58.1
10	107	38	29.5	27	44	50.0
11	107	40	8.6	27	51	34.2
12	107	49	57.4	27	52	10.9
13	107	52	12.0	27	56	37.0
14	107	54	47.3	27	59	25.1
15	107	55	31.2	28	7	5.6
16	107	47	35.9	28	1	7.2
17	107	37	16.2	28	2	38.5
18	107	37	7.3	28	5	34.6
19	107	28	13.7	27	59	16.0
20	107	20	52.8	27	59	46.1
21	107	15	5.2	28	3	39.9
22	107	7	31.4	28	1	34.4
23	107	5	53.1	28	5	39.0
24	106	59	35.4	27	58	23.0
25	106	55	44.6	27	52	19.5
26	106	55	38.8	27	48	21.0
27	106	45	17.3	27	41	25.9
28	106	36	18.4	27	27	18.3
29	106	34	33.8	27	22	53.0
30	106	35	6.6	27	17	6.9
31	106	37	10.1	27	8	50.7
32	106	47	16.7	27	5	4.4
33	106	50	21.4	26	51	14.0
1	106	55	15.7	26	52	40.9

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Carichi-Nonoava pertenece al Organismos de Cuenca VI “Río Bravo”, al Consejo de Cuenca “Río Bravo”, instalado el 21 de enero de 1999. Su territorio se encuentra parcialmente vedado sujeto a las disposiciones de un decreto de veda en

un área muy pequeña en la frontera norte del acuífero, el cual es el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido, para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona conocida como región de Cuauhtémoc, del Estado de Chihuahua.” publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de octubre de 1967. Esta veda se clasifica como tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

La porción no vedada del acuífero Carichi-Nonoava, clave 0846, se encuentra sujeta a las disposiciones del “ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. No se han constituido ningún Distrito de Riego ni Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2001), el acuífero se ubica en su totalidad dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, subprovincias Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses y un área muy pequeña al norte en Sierras y Llanuras Tarahumaras.

La Sierra Madre Occidental se extiende en parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. Es un gran sistema montañoso

que tiene su origen en el Cenozoico Inferior o Medio, cuando se inició la extrusión de gigantescos volúmenes de los materiales volcánicos que lo integran, cuyos espesores oscilan entre 1500 y 1800 m; en ella predominan rocas ácidas, ricas en sílice, e intermedias.

La subprovincia Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses, que se caracteriza por presentar algunos de los paisajes más espectaculares del país, entre ellos las Barrancas del Cobre en el estado de Chihuahua. En su morfología muestra una enorme meseta conformada por rocas volcánicas y en la que los ríos de la vertiente occidental han labrado profundos cañones.

La subprovincia Sierras y Llanuras Tarahumaras se caracteriza principalmente por sierras altas que se alternan con llanuras aluviales con lomerío y por lomerío con bajadas. En general la subprovincia Sierras y Cañadas del Norte es caracterizada por un relieve no muy accidentado, y por lomeríos ramificados y llanuras aluviales, por lo que se han podido generar suelos de mediano desarrollo y profundidad.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García, en 1981, con aportaciones del INEGI, para las condiciones particulares de la República Mexicana, dentro del área del acuífero tenemos los siguientes tipos de climas: Semifrío subhúmedo con las claves C(E)(w2), C(E)(w1) y C(E)(w2)(x'), Templado subhúmedo con las claves C(w0), C(w1) y C(w2)(x') y por último Semiseco Templado con clave BS1kw(w), Para los climas tipo C templados húmedos, la (E) indica que son climas muy fríos, la (w) indica que es subhúmedo con lluvias de verano y sequía en invierno con un % de lluvia invernal entre 5 y 10.2, el subtipo (0) indica que son los más secos de los subhúmedos con un cociente P/T (precipitación total en mm, sobre temperatura media anual °C) menor de 43.2, el subtipo (1) abarca a los intermedios en cuanto a grado de humedad con un cociente P/T entre 43.2 y 55.0 y el subtipo (2) indica que son los más húmedos de los subhúmedos con un coeficiente P/T mayor de 55.0, el (w2)(x') indica que es subhúmedo con lluvias de verano y sequía en invierno con un % de lluvia invernal menor de 10.2 del total anual con un coeficiente de P/T mayor de 55.0. En cuanto al clima BS1kw(w) la BS1 indica climas secos de estepa con un cociente P/T mayor de 22.9, la k indica que es templado con verano cálido con una temperatura media entre 12° y 18°C, la temperatura del mes más frío varía entre -3° y 18°C y la del

mes más cálido es mayor a 18°C, y la w(w) indica que el régimen de lluvias es en verano con un porcentaje de lluvias invernal menor al 5% respecto al total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 3 estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero pertenecientes al estado de Chihuahua y son: Carichi-Chih, Creel (CFE)-Chih y Norogachi (CFE)-Chih. Con los registros obtenidos para el periodo 1962 a 1981 y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores medios anuales de precipitación y temperatura de **561.0 mm y 12.0 °C** respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en la Región Hidrológica No. 24 Bravo-Conchos y en menor medida la No. 10 Sinaloa, abarca la cuenca del Río Conchos 1 y un área muy pequeña de Río Fuerte 1, abarca en su mayoría a las subcuencas Río Bocoyna, Río San Ignacio, y Río Nonoava y parcialmente a Río Conchos – Valle de Zaragoza. Su corriente principal es el Río Conchos, el cual nace en las faldas de la Sierra madre Occidental en el municipio de Bocoyna, se forma con precipitación proveniente del océano Pacífico, en su trayecto dentro del área del acuífero Carichi-Nonoava recibe las aguas del Río Nonoava, además de arroyos menos importantes. La mayoría de los arroyos no son perennes, únicamente en temporada de lluvias conducen aguas pluviales, localmente forman un patrón de tipo dendrítico

2.4 Geomorfología

El sistema de topoformas del acuífero Carichi-Nonoava se constituye en su mayoría por una superficie de gran meseta con cañadas, en la frontera norte del acuífero podemos encontrar valles intermontanos con lomeríos y llanuras aluviales con lomeríos, en la zona este predomina un valle abierto de montaña con mesetas y en la confluencia de los ríos Conchos y Nonoava se forma un Valle intermontano.

3 GEOLOGÍA

La geología de la región está compuesta por rocas ígneas y sedimentarias, que varían desde el periodo Cenozoico al Cuaternario, las rocas más antiguas se encuentran distribuidas en toda el área del acuífero siendo de tipo ígneo, como riolita, esta pertenece al Cenozoico (figura 2).

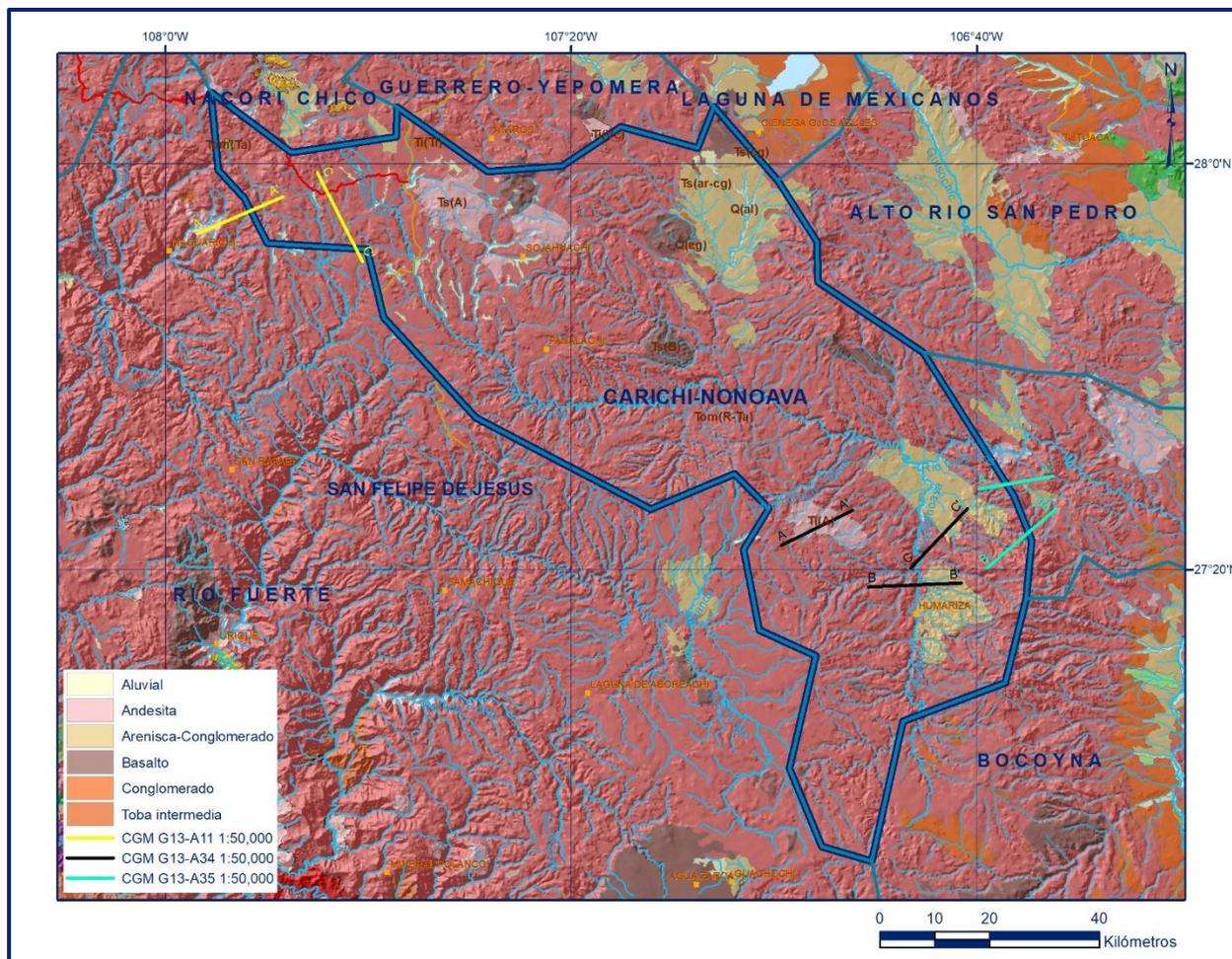


Figura 2. Geología general de acuífero

3.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica está conformada por rocas sedimentarias e ígneas, cuyo registro comprende edades que varían del Eoceno al Holoceno. A continuación, se presenta de manera breve la descripción de las rocas más antiguas a las más recientes, con base en información del Servicio Geológico Mexicano:

CENOZOICO

Paleógeno Eoceno

Andesita

Esta unidad está constituida por derrames y tobas de composición andesítica de color gris oscuro a claro y en porciones con tonalidades violáceas y rojizas por efecto de caolinización y oxidación. Se presenta con texturas tobáceas, afaníticas y porfídicas, en algunas porciones se observan a simple vista cristales de oligoclasa algo argilitizados.

La estratificación presenta una orientación NE20°-45°SW con flujos de 12° a 20° de inclinación hacia el NW y el SE.

Oligoceno

Ignimbrita, Toba Riolítica

La unidad está constituida por una serie de tobas riolíticas, ignimbritas, tobas líticas, tobas arenosas ácidas, tobas andesíticas y tobas brechadas así como algunas intercalaciones de lavas de composición andesítica de espesores pequeños.

Riolita

Es una roca de color gris rosado a rosa, de estructura compacta a bandeada y esferulítica, con textura porfídica y fenocristales de cuarzo, feldespato, hornblenda y micas; su espesor varía de 100 a 400 m.

Andesita

Es una andesita de anfíbol y piroxenos, en la carta Chihuahua han sido reconocidas y establecidas por Kemper (1986).

Basalto

La mayoría de estos derrames son de color gris oscuro a café, con algunas variaciones a tonalidades claras debido a la alteración de las plagioclasas, de textura afanítica, presentando algunas zonas amigdaloides rellenas por óxidos, calcita o sílice; su comportamiento estructural es variado ya que en partes su apariencia es masiva, con ligero fracturamiento, o pseudoestratificada con fracturamiento normal.

CUATERNARIO

Holoceno

Conglomerado Polimíctico

Esta unidad está constituida principalmente por intercalaciones mal clasificadas, de conglomerados, arenas conglomeráticas y arenas de color café constituidas por fragmentos de andesitas, tobas riolíticas, riolitas y basaltos envueltos en una matriz arcillo-arenosa no consolidada de la misma composición; su espesor varía de unos cuantos centímetros hasta 10 m.

Aluvión

Estos sedimentos están constituidos por una gran variedad de fragmentos de rocas, tanto ígneas como sedimentarias; sus fragmentos varían del tamaño de las arcillas a cantos rodados, de subangulosos a subredondeados, su espesor es variable de unos centímetros hasta varios metros.

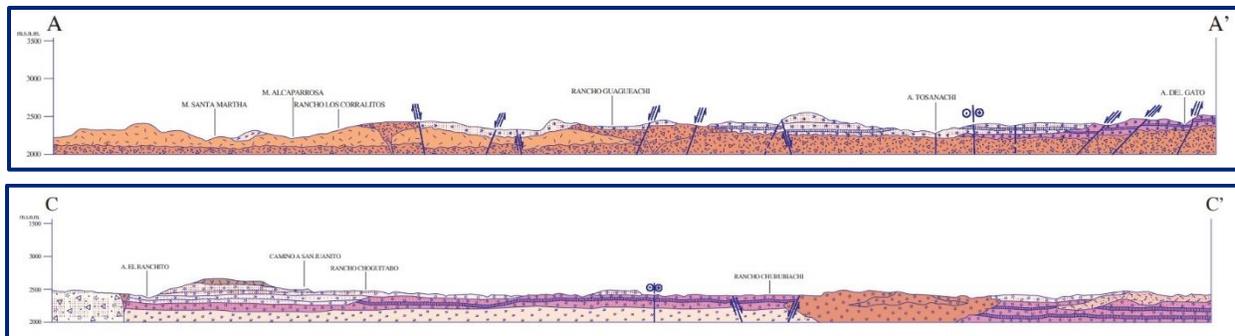
3.2 Geología estructural

La gran mayoría de rocas que afloran en la superficie del acuífero son rocas ígneas extrusivas que definen el relieve junto con el proceso de erosión que existe en la zona, las primeras etapas ocurrieron durante el Eoceno con un vulcanismo andesítico compuesto principalmente por derrames con poca extensión. Posteriormente hasta el Oligoceno temprano se produce un magmatismo intrusivo con cuerpos subvolcánicos (pórfidos riolíticos) y plutónicos (granodiorita, diorita), en las siguientes etapas del oligoceno se manifestó un vulcanismo piroclástico regional con espesores de hasta 800 metros, se considera que es un evento nombrado como la orogenia del Cenozoico (Damon et al., 1981). Por último, durante el Cuaternario se desarrollan depósitos superficiales como consecuencia de la desintegración de las rocas preexistentes formando Conglomerados polimícticos, brechas no consolidados y aluviones.

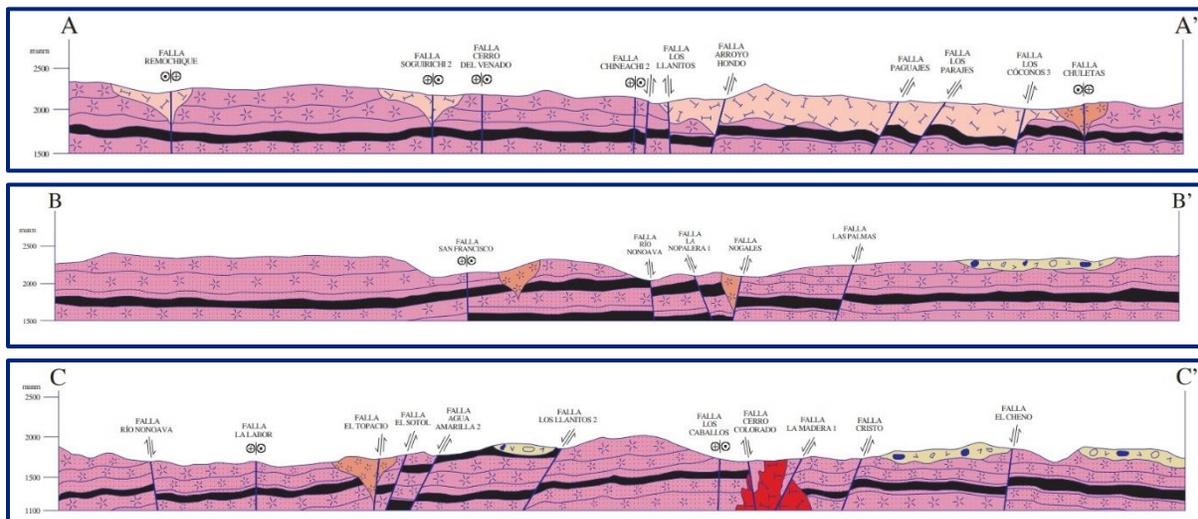
3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos fluviales que constituyen el lecho y la llanura de inundación de los ríos que recorren el acuífero como el río Conchos y arroyos tributarios y en el conglomerado polimíctico constituido por las rocas más antiguas. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas que, de acuerdo con la columna estratigráfica, está compuesta por basalto con fracturamiento, andesita, riolita, ignimbrita y toba riolítica siendo esta última la de mayor extensión superficial.

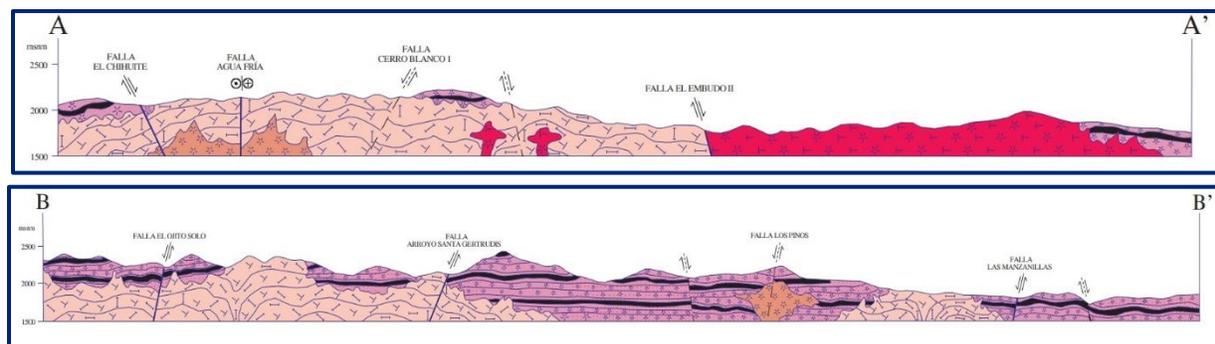
Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico se pueden inferir a partir de la geología regional de acuíferos vecinos y están representados por una unidad de Andesita con espesor máximo de 700 m que sobreyace a paquetes de rocas sedimentarias principalmente Caliza lutita, que se divide en varias formaciones como la Formación Ojinaga (Burrows, 1910), Grupo Washita (Humphrey, 1956), entre otras (figura 3).



Fuente: Carta Geológico-Minera G13-A11 “Maguarichic”. Esc. 1:50,000 (SGM, 2001)



Fuente: Carta Geológico-Minera G13-A34 “Nonoava”. Esc. 1:50,000 (SGM, 2016)



Fuente: Carta Geológico-Minera G13-A345 “El Durazno”. Esc. 1:50,000 (SGM, 2014)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica, es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales y fluviales, de granulometría variada, además de tobas riolíticas,

y conglomerados. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas que pueden presentar permeabilidad secundaria por fracturamiento. El basamento del acuífero está compuesto por una serie de rocas ígneas y sedimentarias en las que no existe porosidad secundaria por fracturamiento.

5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Debido a la poca información piezométrica actual e histórica en la superficie que cubre el acuífero y a que se encuentra dispersa en espacio y tiempo; hace imposible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas tradicional. Por lo tanto, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en el área de balance de **6,991.9 km²** del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

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:

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

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:

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

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Carichi-Nonoava están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (R_v).

5.1.1 Recarga vertical (R_v)

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 de balance del acuífero, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

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 6,991.9 km² por la lámina de precipitación media anual 561 mm:

$$V_{LL} = 6,991.9 \text{ km}^2 (0.561 \text{ m}) = 3,922.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando el valor medio anual de precipitación de 561 mm y temperatura de 12 °C.

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

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$$

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 (280.6). En caso contrario se obtiene una $ETR > P$ y para estos casos se debe considerar a $ETR = P$. De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de **448 mm anuales**.

Por lo tanto, el volumen de ETR es:

$$V_{ETR} = 6,991.9 \text{ km}^2 (0.448 \text{ m}) = 3,132.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 27 de marzo del 2015, 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.

Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{VOLUMEN ANUAL DE} & & \text{PRECIPITACION} & & \text{AREA DE LA} & & \text{COEFICIENTE DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO} & = & \text{ANUAL DE LA} & * & \text{CUENCA} & * & \text{ESCURRIMIENTO} \\ \text{NATURAL DE LA} & & \text{CUENCA} & & & & \\ \text{CUENCA} & & & & & & \end{array}$$

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, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que, en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado.

Dependiendo del valor obtenido para K , el coeficiente de escurrimiento (C_e), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

$$\begin{array}{ll} \text{Si } K \text{ resulta menor o igual que } 0.15 & C_e = K (P-250) / 2000 \\ \text{Si } K \text{ es mayor que } 0.15 & C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5 \end{array}$$

Donde:

P = Precipitación anual;

C_e = Coeficiente de escurrimiento anual;

K = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:			
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pasizal:			
% 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 de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), escala 1:1,000,000 en la zona que comprende el acuífero Carichi-Nonoava, predominan los siguientes tipos de suelo: Cambisol, Feozem, Litosol, Regosol y Vertisol que se clasifican en dos tipos de suelo: A y C (figura 4).

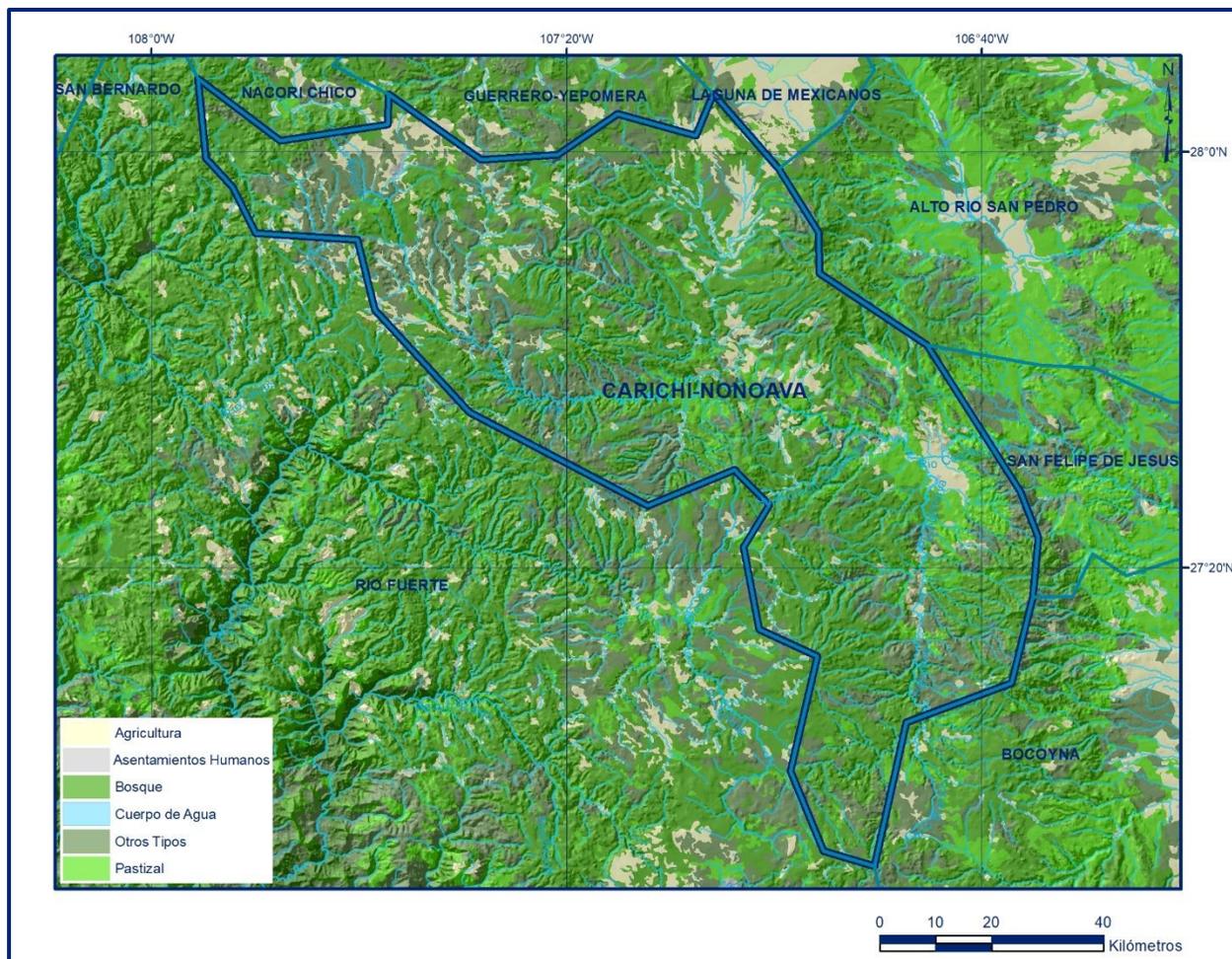


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.23, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

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

$$C_e = 0.138$$

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

$$V_{ESC} = 0.138 (3,922.5 \text{ hm}^3) = 541.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\begin{aligned}V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2) \\V_{INF} &= 3,922.5 - 3,132.4 - 541.3 \\V_{INF} &= 249.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}\end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es 4,338.6 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.13. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 603.7 hm³/año en la superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 249.0 hm³ anuales**

5.2 Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes:

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), por manantiales (Dm) flujo base (Dfb) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración, pero no se cuenta estaciones hidrométricas ni información piezométrica para su estimación.

5.2.1 Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con información del 2017, se identificó la existencia de 493 manantiales, que en conjunto descargan **0.3 hm³ anuales**.

5.2.2 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se tiene registrado un volumen de extracción de **4.8 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

5.2.3 Descarga por flujo base (Dfb)

No existen estaciones hidrométricas o información cercana o dentro de los límites del acuífero que permita realizar el cálculo del flujo base.

6 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar 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 expresión siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{DISPONIBILIDAD} \\ \text{MEDIA ANUAL DE} \\ \text{AGUA DEL SUBSUELO} \\ \text{EN UN ACUÍFERO} \end{array} = \begin{array}{l} \text{RECARGA} \\ \text{TOTAL} \\ \text{MEDIA} \\ \text{ANUAL} \end{array} - \begin{array}{l} \text{DESCARGA} \\ \text{NATURAL} \\ \text{COMPROMETIDA} \end{array} - \begin{array}{l} \text{EXTRACCIÓN DE AGUAS} \\ \text{SUBTERRÁNEAS} \end{array}$$

Donde:

DMA= Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

6.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **249.0 hm³ anuales**.

6.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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 este caso, su valor es de **187.5 hm³ anuales**, que corresponde a la descarga de manantiales y al flujo base de los ríos.

6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre

alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **4,809,225 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre del 2022**.

6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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 extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 249.0 - 187.5 - 4.809225 \\ \text{DMA} &= 56.690775 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible de **56,690,775 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

7 BIBLIOGRAFÍA

Servicio Geológico Mexicano, 1999. Informe de Carta San Juanito Clave G13-1 Estado de Chihuahua. Escala 1:250,000

Servicio Geológico Mexicano, 2020. Informe De La Carta Geológico-Minera Río Grande G13-A24 Escala 1:50,000 Estado de Chihuahua

Servicio Geológico Mexicano, 2017. Informe De La Carta Geológico-Minera Nonoava G13-A34 Escala 1:50,000 Estado de Chihuahua

Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA), 2020, Regiones Hidrológicas, Cuencas, Ríos Principales; 2018-2019, Distritos de Riego; 2010, Regiones Hidrológico-Administrativas, Distritos de Riego.

Simulador de Flujo de Agua de Cuencas Hidrográficas (INEGI), 2010 Subcuencas.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018, Municipios; Subprovincias Fisiográficas; 2017, Uso de Suelos; 2008, Unidades climáticas; 2002, Fallas; 2001; Sistema de Topoformas; 2001, Sistema de Topoformas, Provincias Fisiográficas.