



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CHINA-GENERAL BRAVO (1913),
ESTADO DE NUEVO LEÓN**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	4
2. FISIOGRAFÍA.....	4
2.1 Provincia fisiográfica.....	4
2.2 Clima.....	5
2.3 Hidrografía.....	6
2.4 Geomorfología.....	7
3. GEOLOGÍA.....	7
3.1 Estratigrafía.....	8
3.2 Geología estructural.....	10
3.3 Geología del subsuelo.....	11
4. HIDROGEOLOGÍA.....	11
4.1 Tipo de acuífero.....	11
5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	11
5.1 Entradas.....	12
5.1.1 Recarga vertical (Rv).....	12
5.2 Salidas.....	18
5.2.1 Bombeo (B).....	18
5.2.2 Descarga por flujo base (Dfb).....	18
6. DISPONIBILIDAD.....	18
6.1 Recarga total media anual (R).....	19
6.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	19
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	19
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	20
7. BIBLIOGRAFÍA.....	21

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 China-General Bravo, definido con la clave 1913 en la Comisión Nacional Del Agua, se localiza en la porción noreste del estado de Nuevo León, entre las coordenadas 25°29' y 26°03' de latitud norte y 99°07' y 99°54' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 2821.64 km² (figura 1).

Limita de norte a este con el acuífero Bajo Río Bravo y al sureste con el acuífero Mendez-San Fernando, ambos pertenecientes al estado de Tamaulipas; Limita al sur

con el acuífero Citrícola Norte, al oeste con el acuífero Campo Papagayos y El Carmen-Salinas-Victoria, al noroeste con Agualeguas-Ramones, pertenecientes al estado de Nuevo León.

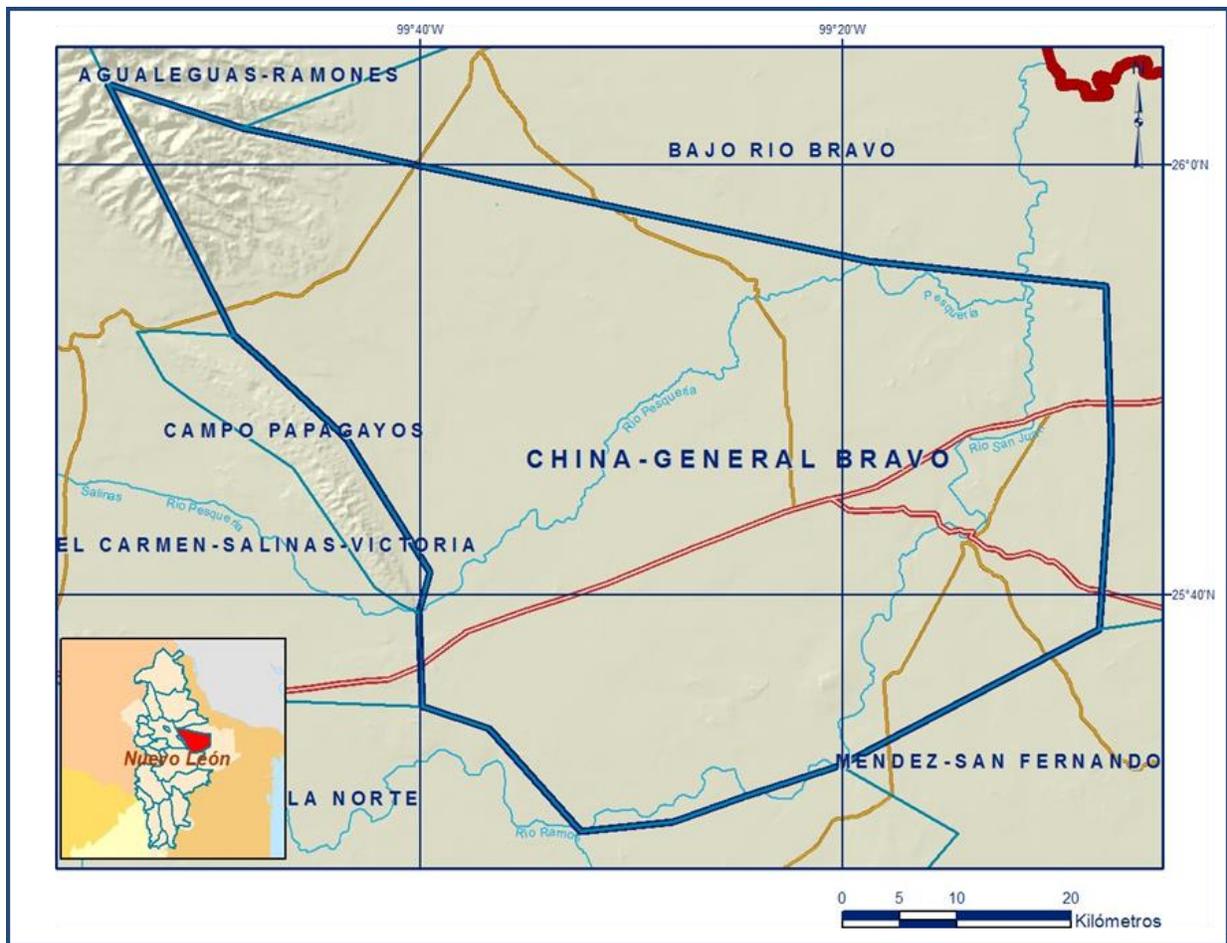


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el acuífero se localiza en los municipios del estado de Nuevo León los cuales son: Agualeguas, Paras, Aldamas, General Treviño, Cerralvo, Higueras y Salinas Victoria.

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero

ACUIFERO 1913 CHINA-GENERAL BRAVO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	99	20	7.7	25	32	5.9
2	99	24	35.4	25	30	41.0
3	99	28	0.8	25	29	27.3
4	99	32	24.5	25	29	2.2
5	99	36	44.9	25	33	48.4
6	99	39	51.7	25	34	48.8
7	99	40	2.6	25	39	9.1
8	99	39	32.7	25	41	5.1
9	99	43	27.9	25	47	15.9
10	99	47	34.4	25	51	3.0
11	99	48	47.1	25	52	2.9
12	99	54	45.4	26	3	43.7
13	99	48	24.4	26	1	41.0
14	99	18	46.7	25	55	30.3
15	99	7	32.9	25	54	21.4
16	99	7	17.4	25	46	42.9
17	99	7	52.9	25	38	24.4
1	99	20	7.7	25	32	5.9

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero China-General Bravo pertenece al Organismo de Cuenca VI, “Río Bravo” y al Consejo de Cuenca del “Río Bravo” instalado el 21 de enero de 1999.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

2. FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1964), la superficie del acuífero se ubica en tres provincias fisiográficas, “Sierra Madre Oriental”, “Llanura Costera del Golfo Norte” y “Grandes Llanuras de Norteamérica”.

La provincia Sierra Madre Oriental es un sistema montañoso, constituido principalmente de rocas mesozoicas sedimentarias plegadas, extendido desde el norte de Coahuila hasta el paralelo 20 en la costa de Veracruz. Aunque la estructura geológica es homogénea en toda su extensión, el relieve presenta diferencias notables debido a las condiciones climáticas que son gradualmente húmedas hacia el Sur. Por esto, en el Norte son comunes los relieves de crestas alargadas limitadas con

pedimentos o disecadas por valles intermontanos, controlados por la estructura geológica.

La provincia Llanura Costera del Golfo Norte se distribuye en parte de los estados de Tamaulipas, Veracruz y Nuevo León. Presenta las características de una costa emergida y se ve interrumpida por unas sierras aisladas como la de Tamaulipas, de San Carlos y Cruillas, la Serranía del Burro, entre otras. Hacia el noroeste hay una alternancia de lomeríos con extensas llanuras. En esta provincia es posible encontrar intrusiones de rocas ígneas ácidas e intermedias, rocas de origen volcánico y básicas, del Cenozoico al Cuaternario, distribuidas al norte de Tamaulipas y cerca de Ciudad Mante.

Así mismo la zona del acuífero se encuentra entre tres subprovincias “Llanuras de Coahuila y Nuevo León”, “Llanuras y Lomeríos” y “Sierras y Llanuras Coahuilenses”, en las Llanuras de Coahuila y Nuevo León. Los sistemas de topofomas que predominan son los lomeríos muy suaves, asociados a llanuras. En la porción sur de la subprovincia existen sierras bajas, mesetas y valles.

La subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses está constituida por sierras de carbonatos plegados, con pendientes escarpadas la mayoría de ejes están orientados de noroeste a sureste. Sus ejes estructurales están bien definidos y, especialmente en el sur, se presentan anticlinales alargados con las crestas erosionadas.

La subprovincia Llanuras y Lomeríos se localiza desde la frontera norte del país hasta la zona de Nautla, Veracruz, en una franja paralela a la costa del Golfo de México. Los materiales dominantes, de edades decrecientes rumbo a la costa, son sedimentos antiguos (mesozoicos y cenozoicos) arcillosos y arenosos; sin embargo, también hay importantes afloramientos de rocas lávicas basálticas. Característica donde la topografía es monótona con suave declive hacia el nivel del mar, los sistemas de topofomas son: lomerío suave, lomerío suave con bajadas, llanura salina con lomeríos, pequeña llanura aluvial con lomeríos, gran llanura aluvial con lomeríos, valle y valle con llanuras.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García (1981), para las condiciones de la República Mexicana, existen dos tipos de climas predominantes en

el acuífero el semiárido cálido BS1(h') (x'), con temperatura media anual mayor a los 22 °C y 18 °C de temperatura del mes más frío, las lluvias en la zona son repartidas todo el año y el porcentaje de la lluvia invernal es 18% mayor del total anual y el semiárido cálido (BS1(h')w), con temperatura media anual mayor a los 22 °C y 18 °C de temperatura del mes más frío, las lluvias corresponden a lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2 % del total anual, otros climas que se registran en las inmediaciones del acuífero corresponden al árido cálido (BS0(h')(x')), que presenta condiciones de precipitación y temperatura similares al clima predominante y el semiárido semicálido que en condiciones de temperatura y precipitación se ajusta al segundo clima predominante en la región del acuífero.

Para la determinación de las variables climatológicas se analizó la información de 6 estaciones climatológicas que tienen influencia en la superficie del acuífero determinada por medio del método de polígonos de Thiessen, estas estaciones son: Los Herreras (19041), El Cuchillo (19016), Los Ramones (19042), General Bravo (19074), Las Enramadas (19039) e Higuera DGE (19125) todas en el estado de Nuevo León, con registros para el periodo 1950-1983 (33 años), donde se determinan los valores ponderados promedio anuales de precipitación y temperatura que corresponden a **263 mm** y **24 °C** respectivamente.

2.3 Hidrografía

El área cubierta por el acuífero se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica No. 24 "Bravo Conchos", que cubre más del 50 % de la superficie del estado Nuevo León, pertenece a la subregión Hidrológica Río San Juan y cuenca Río Bravo-San Juan. Al mismo tiempo la zona pertenece a las subcuencas El Castillo-Jesús Martínez, Río Medio Pesquería, Bajo San Juan, El Cerrito-Rene Álvarez, Bonanza-El Coyote, Alto Pesquería, Carricitos-La Concepción y Medio San Juan. Dentro de los límites del acuífero se albergan dos ríos de importancia por sus características hidrológicas, Río Pesquería y Río San Juan.

El Río Pesquería nace en el municipio de García, Nuevo León, los arroyos que dan origen a este río se originan principalmente en el área natural protegida de cumbres de Monterrey y la Sierra El Fraile y San Miguel. La extensión del río es de aproximadamente 170 km y su cauce corre de poniente a nororiente, cruzando al norte del área metropolitana de Monterrey y finaliza en el municipio de Los Herrera, donde deposita sus aguas en el río San Juan. La mayor parte del año este río es una corriente

intermitente, sobre todo a partir de que ingresa al área Metropolitana de Monterrey.

El Río San Juan es denominado como el río más importante de Nuevo León, nace con el nombre de Río Santa Catarina en la Sierra de Potrero de Abrego en la comunidad de Ciénega de González en el municipio de Santiago, su recorrido aproximadamente es de poco más de 100 km. En su recorrido cruza la ciudad de Monterrey y su área metropolitana hasta la presa El Cuchillo en el municipio de China, Nuevo León.

2.4 Geomorfología

El paisaje montañoso de la Sierra Madre constituida por sierras con pendientes escarpadas y anticlinales alargados con crestas erosionadas se unen con las llanuras de las complementarias subprovincias de la zona, en estas predominan las topofomas de lomeríos muy suaves, asociados a llanuras, sierras bajas, mesetas y valles. En las llanuras costeras la alternancia de lomeríos con extensas llanuras son característica principal de las formaciones del terreno del acuífero.

3. GEOLOGÍA

El acuífero litológicamente se encuentra constituido por estratos de diferentes espesores, comenzando por algunos delgados de lutitas y areniscas con horizontes de calizas, seguidos de formaciones compuestas por caliza igualmente de estratos delgados a medianos, con nódulos de pedernal y algunos horizontes delgados arcillosos, materiales de lutita-calcárea, lutita-limolítica con fósiles mal preservados, nódulos de hematita, caliza-arcillosa, arenisca-yeso, arenisca y lutita, con horizontes de piroclastos finos y cubriendo algunas partes bajas depósitos de aluvión (figura 2).

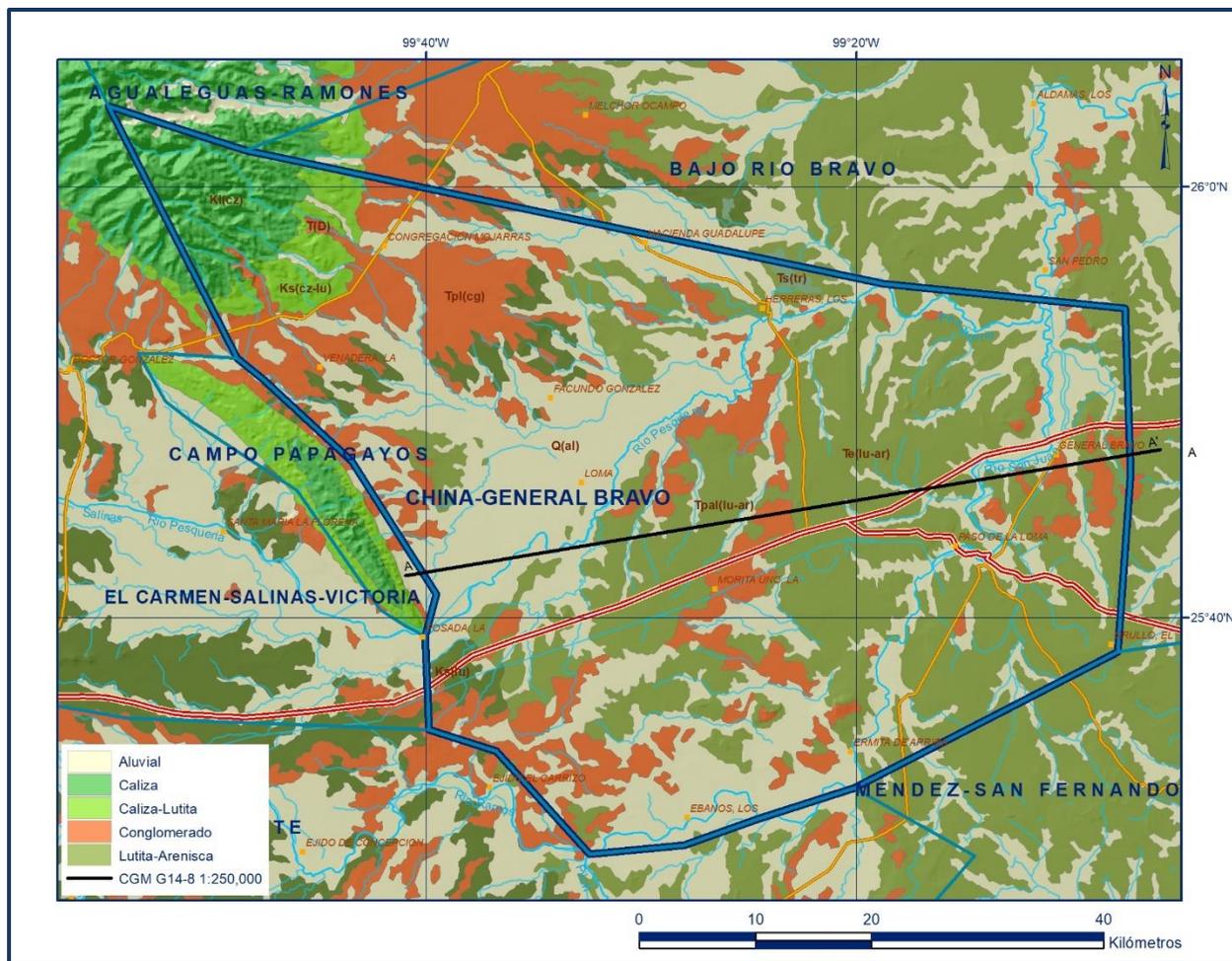


Figura 2. Geología general del acuífero

3.1 Estratigrafía

A continuación, se describen brevemente las unidades litológicas presentes en la superficie del acuífero.

Jurásico Superior

Oxfordiano-Kimmeridgiano

Las unidades más antiguas afloran en el terreno de la Sierra Madre, iniciando desde el Jurásico superior con la Formación Zuloaga (JoKCz) constituida por caliza de textura mudstone a wackestone, con horizontes muy delgados de lutita, del Oxfordiano-Kimmeridgiano; Sobreyaciendo concordantemente se encuentra la Formación La Casita (JktLu-Ar) representada por una secuencia de lutita y arenisca con horizontes de caliza de edad Kimmeridgiano-Tithoniano.

Cretácico Inferior

Hauteriviano-Aptiano

Le sobreyace concordantemente la Formación Taraises (KbehCz-Lu) compuesta por caliza de estratos delgados arcillosa y nodular, en alternancia con lutita, del Berriasiano-Hauteriviano. Sobreyaciendo concordantemente se depositó la Formación Cupido (KhapCz) constituida por caliza de estratos delgados a medianos, con nódulos de pedernal y algunos horizontes delgados arcillosos de Hauteriviano-Aptiano; Se encuentra sobreyaciendo concordantemente a la Formación la Peña (KapCz-Lu), compuesta por una secuencia de caliza-arcillosa y lutita-calcárea, del Altiplano.

Sobreyaciendo concordantemente se depositó la formación Aurora (kaCz-Do) que consiste de caliza de textura mudstone a wackestone con líneas estilolíticas, pedernal negro y horizontes dolomitizados del Albiano. Sobreyaciendo a esta formación se depositaron lutita-calcárea, lutita-limolítica con fósiles mal preservados y nódulos de hematita y caliza-arcillosa de la Formación Kiamichi (KaLu-Cz) de edad Albiano medio-superior. Sobreyaciendo concordantemente se depositó Grupo Washita (KaceCz-Lu) de edad Albiano-Cenomaniano.

Cretácico Superior

Campaniano-Maastrichtiano

En cambio, de facies, en el Cenomaniano-Turoniano se depositó lutita-calcárea interestratificada con caliza-arcillosa de la Formación Eagle Ford (KcetLu-Cz). Sobre estas formaciones se depositó caliza compacta con lutita y bentonita del Coniaciano-Santoniano de la Formación San Felipe (KcossLu-Cz). Esta Formación es sobreyacida transicional y concordantemente por Formación Austin (KcossCz-Lu) que consiste de caliza-arcillosa con intercalaciones de lutita-calcárea y marga de edad Coaniciano-Santoniano. Sobreyaciendo concordantemente se encuentra la Formación Méndez (KcmLu-Mg) constituida por lutita-calcárea con intercalaciones de marga del Campaniano- Maastrichtiano.

CENOZOICO

Paleoceno-Eoceno

La Formación Midway (TpaLu-Ar) es una secuencia de litarenita intercalada con lutita de edad Paleoceno. Suprayaciendo se encuentran sedimentos del Eoceno que es Formación Wilcox (TeAr-Lu) consiste de una secuencia rítmica de arenisca micacífera

con estratificación cruzada y lutita. En la parte media contiene horizontes de yeso y caliza con textura boundstone. Sobreyaciendo concordantemente aflora la Formación carrizo (TeAr) que consiste en una secuencia rítmica de arenisca y lutita. Sobre ésta y en contacto normal de encuentra la Formación Big Ford (TeAr-Lm), compuesta de arenisca, limolita y lutita interestratificadas. Subyace a la Formación Pico Clay (TeLu), representada por lutita e intercalaciones de arenisca; subyace a la Formación Laredo (TeLu-Ar) compuesta por lutita-arenosa y arenisca con glauconita.

Oligoceno-Mioceno

Sobreyaciendo a la Formación Jackson afloran formaciones del Oligoceno como la Formación Vicksburg (ToAr-Lu) compuesta por una alternancia de arenisca y lutita, con horizontes de piroclastos finos. La Formación Frío (ToLu-Ar) constituida por lutita y arenisca, con lentes de bentonita sobreyace concordantemente. En esta edad se depositó el Conglomerado Norma (ToCgp) constituido por clastos de caliza, arenisca, rocas ígneas, en algunos lugares presenta madera fósil, cubierto por Formación Catahoula (TomAr-Lu) formada por arenisca en estratos delgados y lutita, presenta algunos horizontes laminares de material tobáceo del Oligoceno-Mioceno.

Subyace a la formación Oackville-Lagarto (TmAr-Cgp) del Mioceno, constituida por arenisca de estratificación cruzada con interestratificación de horizontes conglomeráticos; sobreyaciendo discordantemente afloran depósitos conglomeráticos del Conglomerado de Reynosa (TplCgp) compuesto por fragmentos redondeados a subredondeados de caliza, arenisca, rocas volcánicas en matriz areno-arcillosa. Esta unidad cubre discordantemente formando mesetas a la mayoría de las formaciones del Cenozoico.

En el Pleistoceno se deposita un paquete de travertino, correlacionado con la formación Mayrán, del estado de Coahuila. Por último, en el Holoceno y cubriendo las partes bajas se deposita aluvión.

3.2 Geología estructural

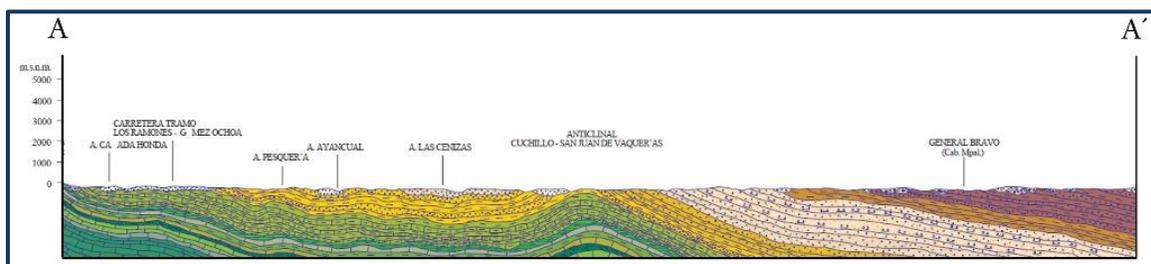
Los rasgos estructurales de la región son pliegues, cabalgaduras y desplazamientos laterales fueron causados por efecto de la Orogenia Laramide. El rasgo estructural más notable dentro de lo que delimita la Cuenca de Burgos, es una depresión de gran extensión que produjo un sistema de fallamiento normal muy intenso que en superficie no se expone claramente ya que se encuentran cubiertas por sedimentos

recientes. El rumbo preferencial es NW con inclinaciones no mayores de 10° al NE o SW.

3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la geología superficial y la información de cortes litológicos (figura 3) se determina que el acuífero está constituido de la siguiente manera:

El acuífero se encuentra en material de rocas calizas compuestas en diferentes espesores estratigráficos de lutita-caliza, caliza-lutita, arenisca-lutita, arenisca-yeso, cubiertas por más estratos de formaciones compuestas de arenisca, limolita y lutita con madera fósil, depósitos conglomeráticos de fragmentos de caliza, arenisca, rocas volcánicas en matriz arena-arcillosa relleno en algunas partes con aluvión.



Fuente: Carta Geológico-Minera G14-8 "Rio Bravo". Esc. 1:250,000 (SGM, 2008)

Figura 3. Sección geológica esquemática

4. HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten establecer que el sistema del acuífero es de **tipo libre a semiconfinado**, debido a que los estratos de la zona en la parte oeste, corresponden a estratos de rocas calizas, lutitas y capas de lutita-arenisca, esta condición propicia que exista poca o nula interconexión en sentido lateral (horizontal) entre los diferentes sistemas acuíferos, que ofrecen acuitardos de aguas de mala calidad, sin embargo, se han reconocido y clasificado algunas zonas de producción de agua subterránea, en cantidad y calidad que se encuentran emplazadas en los depósitos aluviales.

5. 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:

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

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

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

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero China-General Bravo están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (R_v). No existe información piezométrica actual ni histórica que cubra la zona del acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo hechos se encuentra dispersa en tiempo y espacio, de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas.

Por estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de **2,703.0 km²** del acuífero para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

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 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 (2,703.0 km²) por la lámina de precipitación media anual (263 mm):

$$V_{LL} = 2,703.0 \text{ km}^2 (0.263 \text{ m}) = 710.89 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por otro lado, para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando los mismos valores de PMA y TMA.

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 1/8λ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que 1/2λ la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por: $ETR = 0.20 + 0.035 T$. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de **246 mm anuales**.

De esta forma, multiplicando el área del acuífero (**2,703.0 km²**) por la lámina de evapotranspiración anual (**0.246 m**), el volumen evapotranspirado es de **664.94 hm³ 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 de 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 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 de 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:

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

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:

Si K resulta menor o igual que 0.15

$$C_e = K (P-250) / 2000$$

Si K es mayor que 0.15

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

Donde:

P = Precipitación anual;

Ce = Coeficiente de escurrimiento anual;

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

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 China-General Bravo predominan los siguientes tipos de suelo: Castañozem, Feozem, Litosol, Rendzina, Vertisol y Xerosol que se clasificaron en tres tipos de suelo: A, B y C (figura 4).

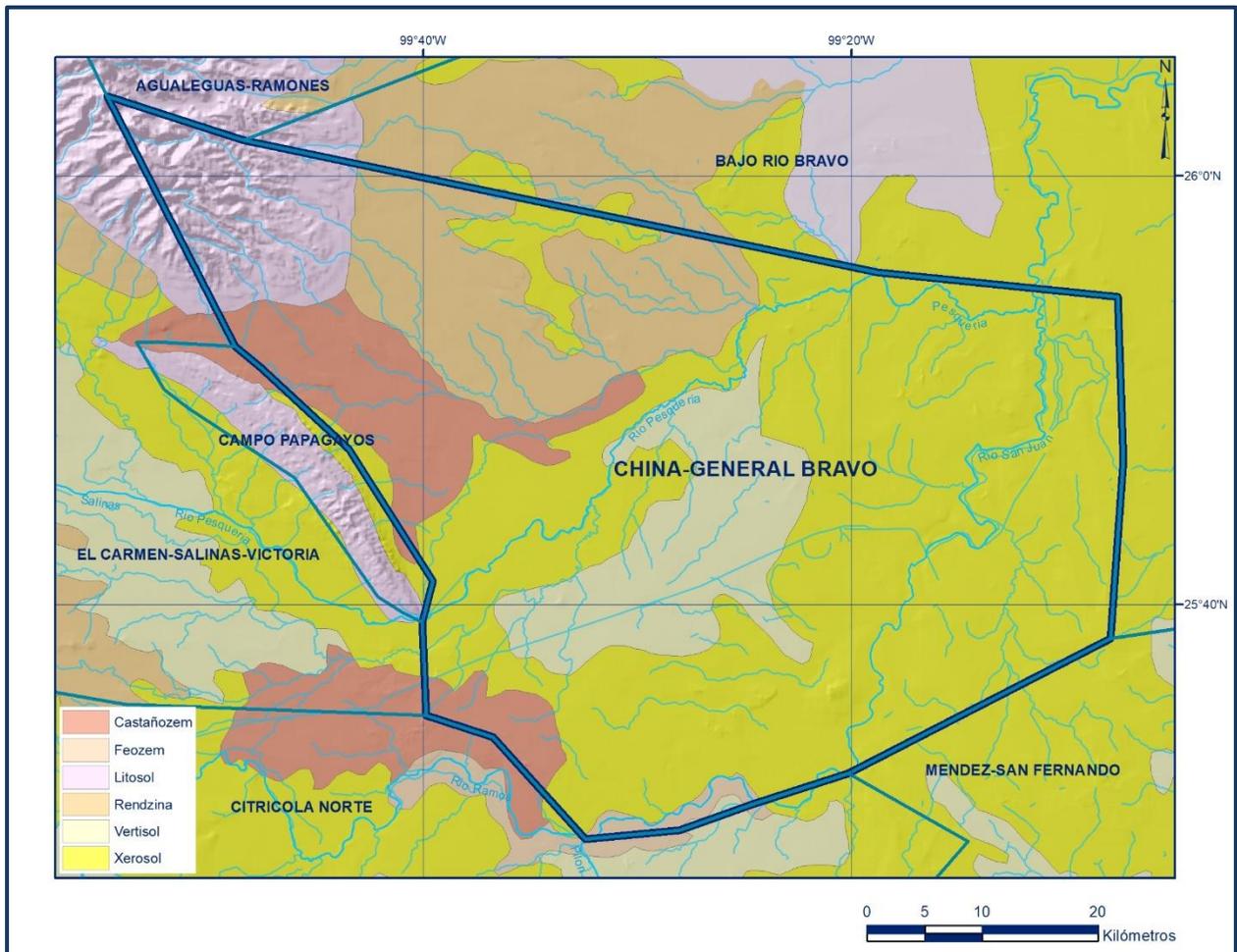


Figura 4. Tipo de suelo

En cuanto al uso de suelo, de acuerdo con la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) escala 1: 250,000, en el área donde se localiza el acuífero hay al menos ocho usos de suelo diferentes: agricultura, asentamientos humanos, bosque, cuerpos de agua, desprovisto de vegetación, matorral, otros tipos y pastizal (figura 5).

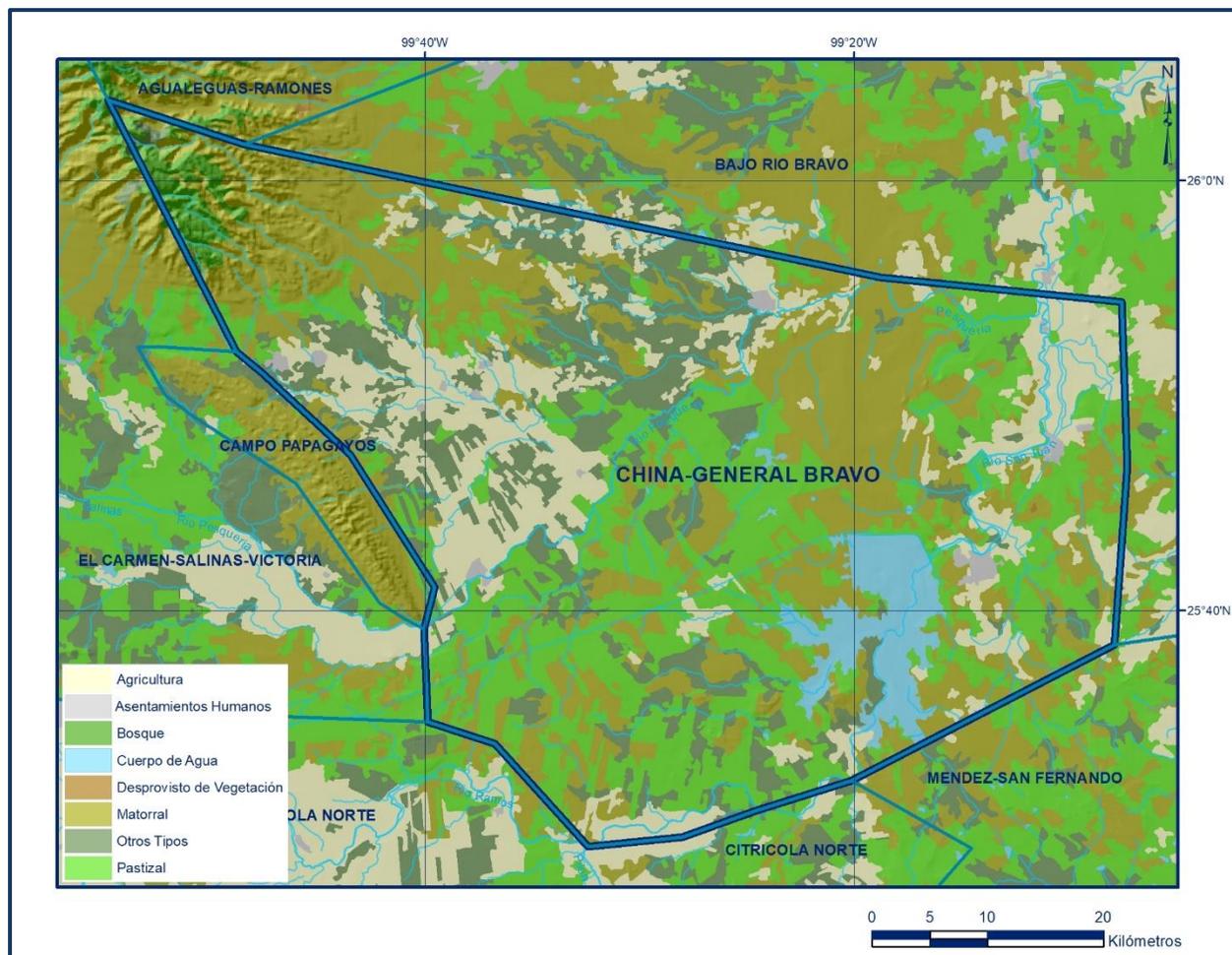


Figura 5. Uso de suelo

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:	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
Pasízal:			
% del suelo cubierto o pastreo			
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 esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.29, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

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

$$C_e = 0.031$$

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

$$V_{ESC} = 0.031 (710.8 \text{ hm}^3) = 22.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \text{ (2)}} \\ \mathbf{V_{INF} = 710.89 - 664.94 - 22.12 = 23.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 710.89 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0335.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 23.8 hm³/año en los 2,703.0 km² de superficie del acuífero.

Por lo que **Rv = 23.8 hm³ anuales**

5.2 Salidas

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

La descarga de un acuífero puede ocurrir principalmente por bombeo (B), salidas por flujo subterráneo (Sh), caudal base de un río y a través de manantiales (DM). La descarga del acuífero corresponde a la que se da naturalmente a través del caudal base de los ríos, aunado a la extracción registrada por bombeo.

5.2.1 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 **18.0 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

5.2.2 Descarga por flujo base (Dfb)

De acuerdo con la información registrada por las estaciones hidrométricas Los Herreras (24196), La Tabla (24194), Los Herreras III (24383), El Cuchillo (24088) y Los Aldamas (24351), el flujo base drenado es de aproximadamente **43.4 hm³ anuales**, equivalente al caudal mínimo transitado.

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:

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

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 en recarga vertical.

Para este caso, el valor estimado de esta recarga total media anual que recibe el acuífero es de **23.8 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 el caso del acuífero China-General Bravo se considera que el valor de la descarga natural comprometida corresponde al caudal base de los ríos de la zona con un valor de **0.0 hm³ anuales**.

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 (REPGA), 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 **18,032,705 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 23.8 - 0.0 - 18.032705 \\ \text{DMA} &= 5.767295 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe disponibilidad de **5,767,295 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

7. BIBLIOGRAFÍA

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2008. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2008. Carta Geológico-Minera "Río Bravo" G14-8, Escala 1: 250,000.