CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO CAMPO DURAZNO (1909), 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 6
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 10
4. HIDROGEOLOGÍA 10
4.1 Tipo de acuífero 10
5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 11
5.1 Entradas 11
5.1.1 Recarga vertical (Rv) 11
5.2 Salidas 17
5.2.1 Bombeo (B) 17
5.2.2 Descarga por flujo base (Dfb) 17
6. DISPONIBILIDAD 17
6.1 Recarga total media anual (R) 18
6.2 Descarga natural comprometida (DNC) 18
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 18
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 19
7. BIBLIOGRAFÍA 20

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 Campo Durazno, definido con la clave 1909 en la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noroeste del estado de Nuevo León, entre las coordenadas 25°36' y 25°54' de latitud norte y 100°22' y 100°51' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 927.71 km² (figura 1).

Limita al norte con el acuífero Campo Mina, al sureste con Campo Buenos Aires y Área Metropolitana de Monterrey, al este la colindancia es con el acuífero Campo Topo

Chico y El Carmen-Salinas-Victoria pertenecientes al Estado de Nuevo León; al suroeste con el acuífero Saltillo-Ramos Arizpe y al oeste con el acuífero Paredón en el Estado de Coahuila de Zaragoza.

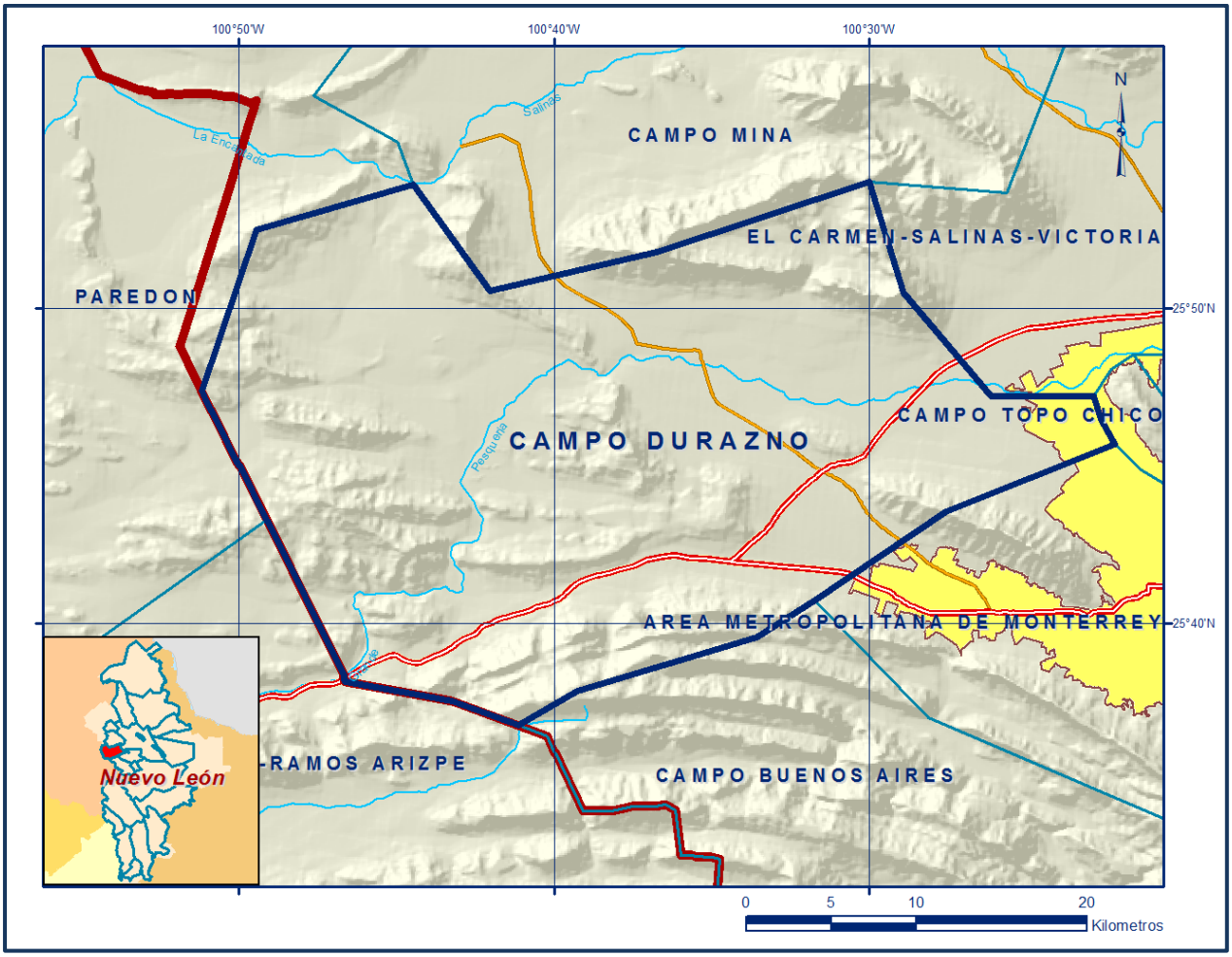


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el acuífero se localiza en los municipios del estado de Nuevo León y uno del estado de Coahuila de Zaragoza: Garcia, General Escobedo, Monterrey, Santa Catarina y Ramos Arizpe respectivamente.

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 1909 CAMPO DURAZNO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	44	28.4	25	53	55.1	
2	100	42	1.5	25	50	32.1	
3	100	36	44.3	25	51	47.5	
4	100	29	59.7	25	54	0.0	
5	100	28	53.9	25	50	29.6	
6	100	26	6.9	25	47	11.9	
7	100	22	53.0	25	47	12.7	
8	100	22	38.0	25	46	28.1	
9	100	22	11.3	25	45	41.6	
10	100	27	34.3	25	43	32.3	
11	100	31	42.4	25	40	43.7	
12	100	33	33.5	25	39	33.6	
13	100	39	14.5	25	37	50.9	
14	100	41	6.9	25	36	46.1	DEL 14 AL 15 POR EL LIMITE ESTATAL
15	100	49	7.8	25	43	17.7	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE ESTATAL
16	100	51	10.8	25	47	22.9	
17	100	49	27.3	25	52	28.2	
1	100	44	28.4	25	53	55.1	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Campo Durazno pertenece al Organismo de Cuenca VI, "Río Bravo" y al Consejo de Cuenca del "Río Bravo" instalado el 21 de enero de 1999. Las partes de la zona territorial del acuífero se encuentran sujetas a las disposiciones de dos decretos de veda de mismo fin, *"Decreto que amplía la zona vedada para el alumbramiento de aguas del subsuelo en los terrenos que ocupa y circunda la ciudad de Monterrey, N.L."*, uno publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 17 de julio de 1951 y el otro el 19 de diciembre de 1956. Esta veda es de tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

2. FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1964), la superficie del acuífero se ubica en dos provincias fisiográficas, "Sierra Madre Oriental" y "Llanura Costera del Golfo Norte". 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.

Por otro lado, 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.

El terreno del acuífero se encuentra en medio de 4 subprovincias fisiográficas llamadas Pliegues Saltillo Parras, Sierras y Llanuras Coahuilenses, Gran Sierra Plegada y Llanuras y Lomeríos.

La subprovincia Pliegues Saltillo-Parras presenta un conjunto de sistemas de topoformas que varían desde las llanuras, valles extendidos, lomeríos suaves, abruptos y pequeñas sierras que están orientadas en dirección este-oeste. Por estar enclavada en una zona árida, su paisaje es típico del desierto, aunque es fácil observar en las cumbres topográficas bosques de pinos y encinos.

La subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, con topoformas de sierras y valles, está constituida por pequeñas sierras de caliza plegadas, la mayoría orientadas de noroeste a sureste, escarpadas. Sus ejes estructurales están bien definidos y, especialmente en el sur, se presentan anticlinales alargados con los núcleos erosionados, que presentan altitudes de 1,000 a 2,000 msnm. Entre estas sierras, constituidas por calizas y en menor proporción por lutitas y yesos, se extienden llanuras aluviales.

La subprovincia Gran Sierra Plegada representa el macizo principal de la Sierra Madre Oriental, y es tal vez su subprovincia fisiográfica más distintiva y representativa. Está conformada por una serie continua de imponentes anticlinales y sinclinales de marcada verticalidad y que son la manifestación física del plegamiento de la corteza

terrestre ocurrida durante el evento orogénico que dio origen a estas montañas. Aquí es donde se presentan las mayores elevaciones, alcanzando un máximo de 3,700 msnm y un promedio alrededor de los 2,200 msnm.

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 topoformas 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 Koppen, modificada por E. García (1981), para las condiciones de la República Mexicana, el clima que predomina en la mayor parte del acuífero es el muy árido semicálido (BWhw) con temperatura media anual entre los 18 y 22 °C, la temperatura del mes más frío es menor a los 18 °C, las lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal es superior del 5% al 10.2% del total anual.

En las inmediaciones del acuífero se registran otros dos climas, árido semicálido (BSohw) y semiárido semicálido (BS1hw), climas que presentan condiciones de temperatura y precipitación iguales al predominante mencionado anteriormente.

Para la determinación de las variables climatológicas se analizó la información de 4 estaciones climatológicas que tienen influencia en la superficie del acuífero determinada por medio del método de polígonos de Thiessen, estas estaciones son: Icamole (19026), Rinconada (19054), Santa Catarina (19058) y Topo Chico (19061) en el estado de Nuevo León, con registros para el periodo 1954-1982 (28 años), donde se determinan los valores ponderados promedio anuales de precipitación y temperatura que corresponden a **252.4 mm** y **21.3°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. Las subcuencas pertenecientes a esta cuenca son: san José del Valle-Arroyo Grande, Salinas, San José-El Obispo y Río Alto Pesquería esta ultima de mayor extensión, que da nombre al cauce principal en la superficie del acuífero el Río Pesquería.

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.

2.4 Geomorfología

Los paisajes se observan de geoformas particulares, en la región se presenta un conjunto de sistemas de topoformas que varían desde las llanuras, valles extendidos, lomeríos suaves, abruptos, pequeñas y grandes sierras plegadas, estas últimas características de la subprovincia Gran Sierra Plegada. También podemos encontrarnos con formas de lomeríos suaves, lomerío suave con bajadas, llanura salina con lomeríos, pequeña llanura aluvial con lomeríos, gran llanura aluvial con lomeríos, valle y valle con llanuras formaciones de la interacción de las diferentes subprovincias del lugar.

3. GEOLOGÍA

El acuífero litológicamente se encuentra constituido por horizontes de lutitas, color verde oscuro a gris pardo en capas laminares, interestratificadas con capas delgadas areniscas, subyace concordante a formaciones compuestas por horizontes de arenisca calcárea, limolita gris a ocre y lutita calcárea, de gris a negra, con aislados horizontes de areniscas calcáreas de grano grueso de gris a ocre. Depósitos más recientes se caracterizan por secuencias de limolitas rojas y areniscas verdes en estratos delgados a gruesos, generalmente compuesta por depósitos turbidíticos. Hacia las partes bajas de las sierras y en las desembocaduras de los arroyos, se depositaron discordantes, sedimentos originados por la erosión y denudación de las rocas preexistente sobre la mayor parte de las secuencias antes descritas, con depósitos de coluvión formado por grava, boleo y clastos mal cementados por arcillas y aluvión constituido por arenas y arcillas finas sin petrificar, por lo general son depósitos que rellenan los valles o partes

topográficamente bajas (figura 2).

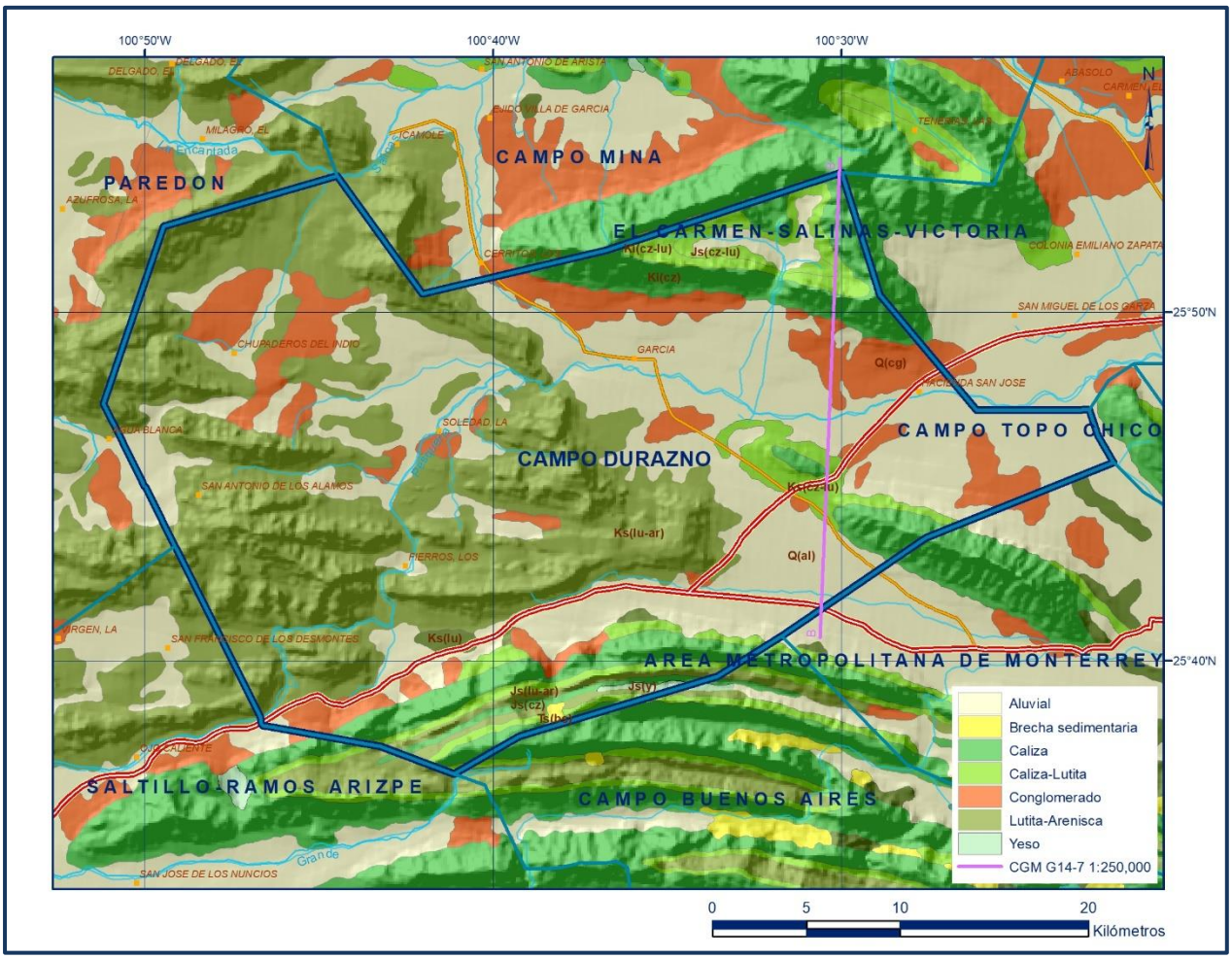


Figura 2. Geología general del acuífero

3.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica está constituida por un gran paquete sedimentario que va del Cretácico Superior al Cuaternario, dividido en tiempo y espacio por tres paleo-elementos representados por cambios de facies.

Jurásico Superior Cuaternario

La columna estratigráfica está constituida por rocas sedimentarias enmarcadas en los paleoelementos Cuenca de Sabinas, Sierra Madre Oriental y una pequeña porción de la Cuenca de Parras en un rango de edad que varía del Jurásico superior Cuaternario. En la cuenca Sabinas, las rocas más antiguas corresponden a yeso y caliza de Formación Minas Viejas (JcoY-Cz), emplazadas en forma de diapiro en los cerros La Paz

y Puerto Blanco, le sobreyacen de manera concordante lutitas-areniscas de la Formación La Casita (JktLu-Ar), las cuales afloran en los núcleos de los anticlinales El Fraile, San Miguel y Minas Viejas y en la zona de diapiros. Le sobreyace, concordantemente, una alternancia de caliza-lutita de la Formación Taraises (KbechCz-Lu), sobre la que descansan, concordantemente, sedimentos calcáreos de la Formación Cupido (KhapCz) los cuales afloran en los flancos de los anticlinales. Le cubre de forma concordante, la Formación La Peña (KapCz-Lu), constituida por caliza-lutita, que sobreyace correlativamente con caliza y dolomía de la Formación Aurora (KaCz-Do). Esta formación presenta un cambio de facies de caliza-lutita (KaceCz-Lu) del Grupo Whashita (formaciones Georgetown, Buda y Del Río).

Cretácico Superior

En el Cretácico Superior se depositaron sedimentos de lutita y caliza de la Formación Eagle Ford ((KcetLu-Cz) y caliza-lutita de la Formación Austin (KcossCz-Lu). En el paleoelemento Sierra Madre Oriental se depositaron sedimentos calcáreos en forma de bancos arrecifales de la Formación Cupido (khapCz), de poca extensión. Le sobreyace, concordantemente, el horizonte arcillo-calcáreo denominado horizonte Otates (KapLu-Cz), para posteriormente depositarse, concordantemente, sedimentos calcáreos de Formación Tamaulipas Superior (KaCz)del Albiano. Esta formación registra un cambio de facies con la Formación Cuesta del Cura (KaceCzLu) que consiste de caliza-lutita. Le sobreyace, concordantemente, caliza y lutita de la Formación Agua Nueva (KcetCz-Lu). Posteriormente, para finales del Cretácico Superior, se depositan concordantemente, lutita-caliza de la Formación San Felipe (KcossLu-Cz) y lutita-marga de la Formación Méndez (KcmLu-Mg). En la Cuenca Parras se depositaron sedimentos arcillo arenosos del Grupo Difunta (KmTpaAr-Lu).

Cenozoico Cuaternario

Sobreyaciendo a la mayoría de las unidades antes mencionadas se depositaron horizontes de conglomerado polimíctico (QptCgp) del Pleistoceno, asociados a márgenes de cuenca. En el Holoceno se depositaron Coluviones (Qhoco) mal consolidados y clasificados en forma de abanicos. En las partes bajas de los valles, existen depósitos de limo y arena (Qholm-ar) generados por intemperismo y erosión, y finalmente en los cauces de los arroyos se encuentra aluvión (Qhoal) constituido por clastos de diversa granulometría.

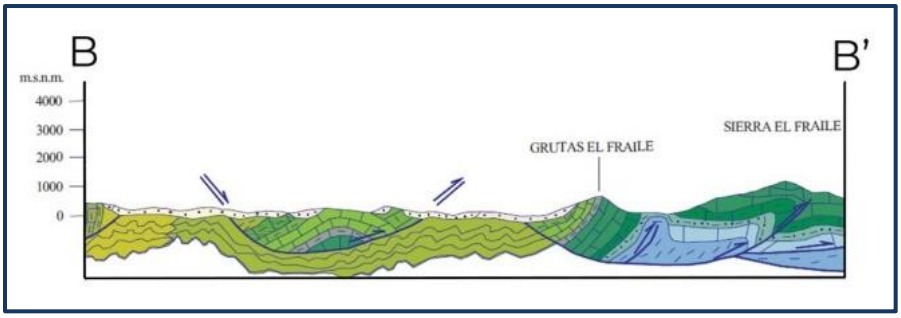
3.2 Geología estructural

Regionalmente en la cuenca de la Sierra Madre Oriental está reflejada en los ejes de los pliegues Las Mitras y Topo Chico, los cuales están orientados en sentido NW, dirección que se mantiene en los anticlinales El Fraile, San Miguel y Minas Viejas en la Cuenca Sabinas, además de flexionarse en dirección E-W, presentan bifurcación en el anticlinal. En la Cuenca Parras las estructuras se orientan E-W, donde predominan esfuerzos compresivos provenientes del sur-suroeste de la Orogenia Laramide, sobre los sedimentos.

En el área se tienen pliegues simétricos de amplio radio, con orientación preferencial NW-SE a prácticamente E-W, conformando estructuras anticlinales y sinclinales, las cuales se ven afectadas por fallas laterales y normales.

3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la geología superficial y la información de cortes litológicos (figura 3) se determina que el acuífero se encuentra en rocas calizas de diferentes espesores estratigráficos, estratos compuestos por yeso y caliza, concordantemente por lutitas y areniscas, seguidos de capas compuestas por calizas y dolomías, caliza-lutita, lutita-caliza y arenisca-lutita. Existen horizontes de conglomerados bajo coluviones con depósitos de limo y arena.



Fuente: Carta Geológico-Minera G14-7 “Monterrey”. Esc. 1:250,000 (SGM, 1999)

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 las composiciones estratigráficas de rocas calizas, y formaciones de permeabilidad secundaria debido a que existe fracturamiento que puede permitir circulación de agua en áreas localizadas.

La zona permeable del acuífero corresponde a depósitos aluviales del cuaternario, esta permeabilidad depende de la mezcla de los materiales limo-arena, aluvión y clastos.

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:

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:

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Campo Durazno están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). 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 **927.7 km²** del acuífero para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

5.1.1 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:

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

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 (927.7 km^2) por la lámina de precipitación media anual (252.4 mm):

$$V_{LL} = 927.7\ km^2\ (0.2524\ m) = 234.2\ hm^3\ anuales$$

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 **236 mm anuales.**

De esta forma, multiplicando el área del acuífero (**927.7 km^2**) por la lámina de evapotranspiración anual (**0.236 m**), el volumen evapotranspirado es de **218.9 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-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:

VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA	**=**	**PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA**	*****	**AREA DE LA CUENCA**	*****	**COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO**

El coeficiente de escurrimiento (Ce) 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).

Si *K* resulta menor o igual que 0.15	$Ce = K\,(P-250) / 2000$
Si *K* es mayor que 0.15	$Ce = K\,(P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$

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 Campo Durazno predominan los siguientes tipos de suelo: Castañozem, Litosol, Regosol, Rendzina y Xerosol que se clasificaron en tres tipos de suelo: A, B y C (figura 4).

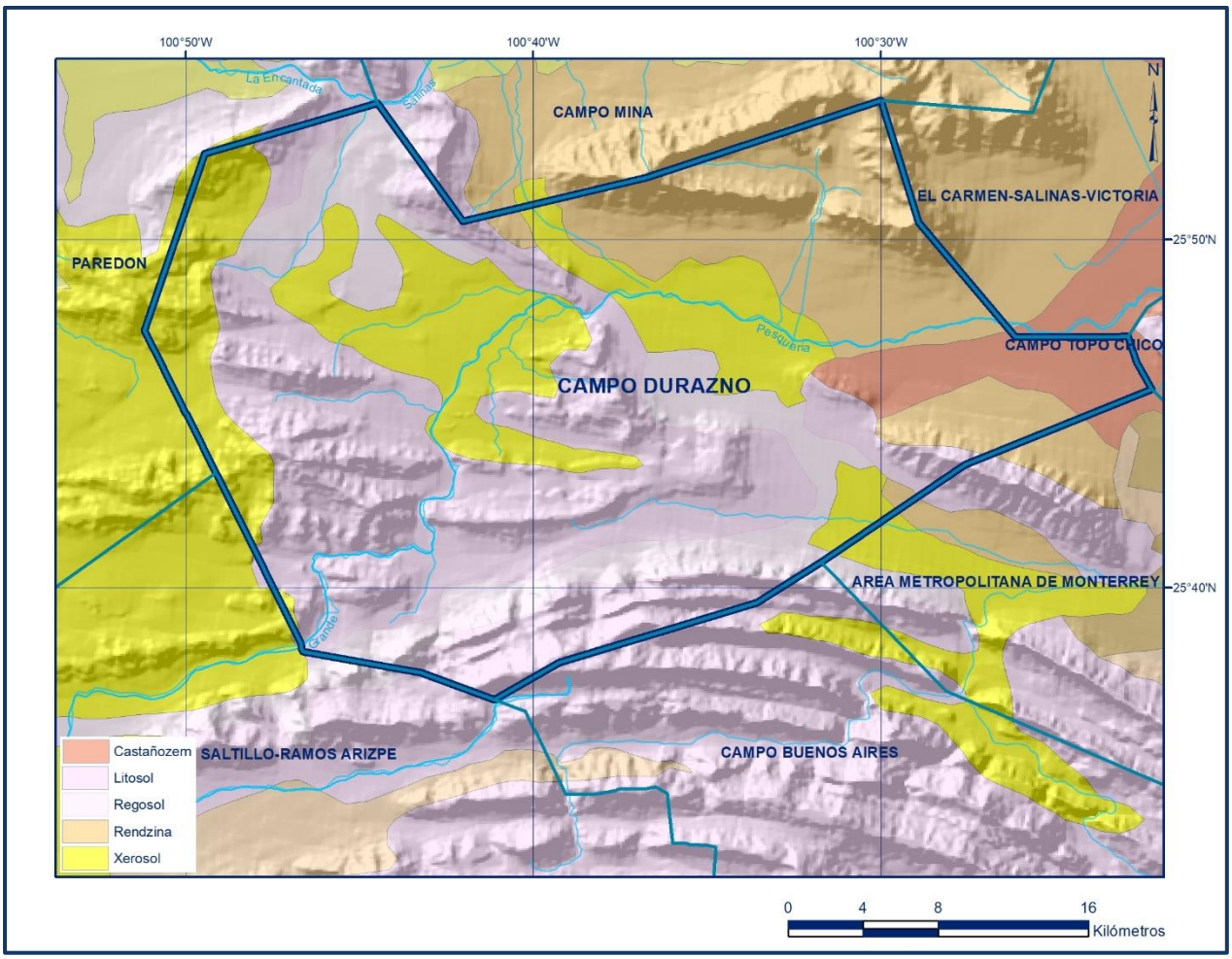


Figura 4. Tipo de suelo

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, matorral, otros tipos, pastizal y sin vegetación aparente (figura 5).

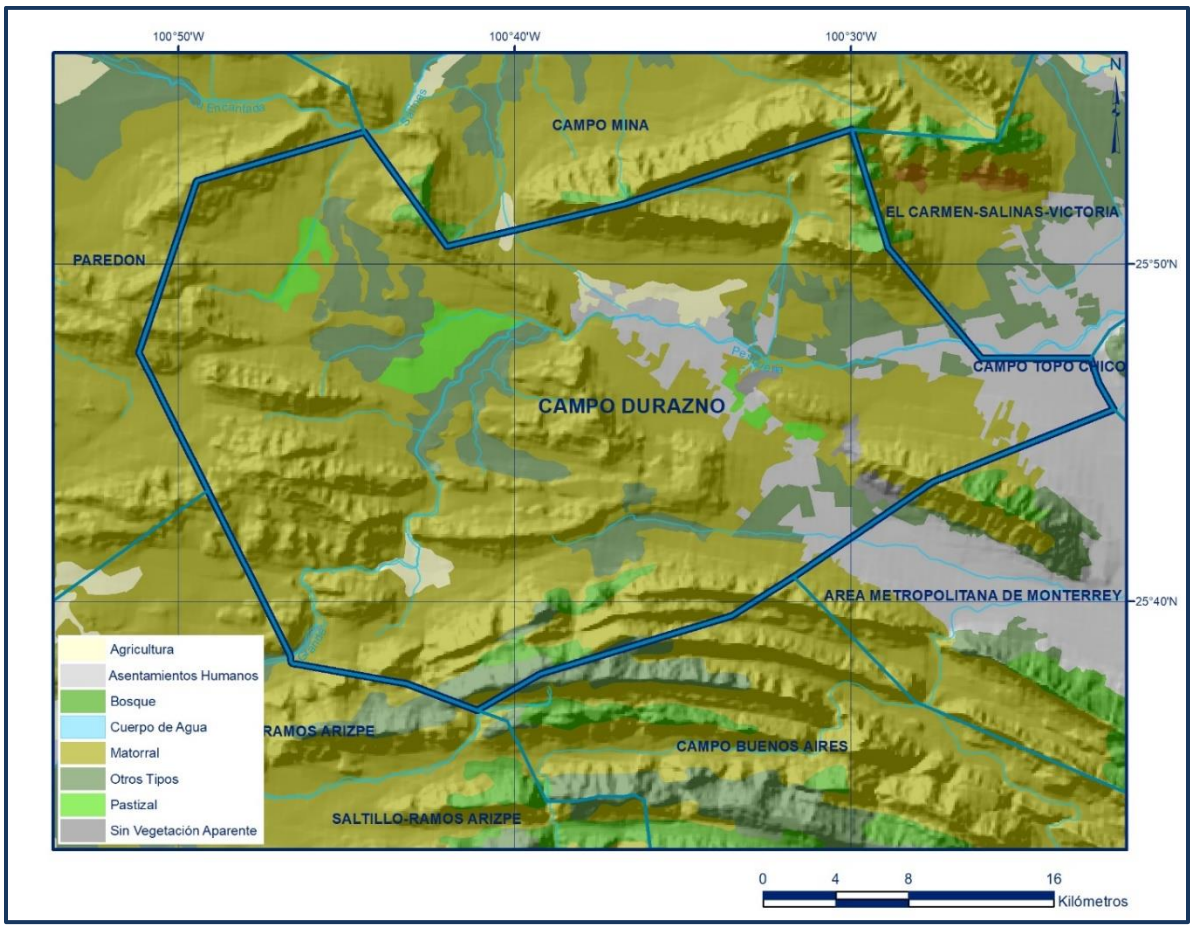


Figura 5. Uso de suelo

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
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3

TIPO DE SUELO	CARACTERISTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.24, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

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

Ce = 0.024

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

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.024\ (234.2\ hm^3) = 5.6\ hm^3\ anuales}$$

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

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}\ (2)}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 234.2 - 218.9 - 5.6 = 9.7\ hm^3\ anuales}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 234.2 hm^3/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0414 De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 9.7 hm^3/año en los 927.7 km^2 de superficie del acuífero.

Por lo que **Rv = 9.7 hm^3 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 del río Pesquería además de 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 **11.1 hm^3 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 la estación hidrométrica Canadá (24399), el flujo base drenado por el río es de aproximadamente **16.5 hm^3 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:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	-	EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 **9.7 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 Campo Durazno se considera que el valor de la descarga natural comprometida corresponde al caudal base del río Pesquería 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 (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 **11,131,890 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) 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.

DMA = R – DNC – VEAS

DMA = 9.7 – 0.0 – 11.131890

DMA = -1.431890 hm³ anuales

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **1,431,890 m³ anuales** que se están extrayendo acosta del almacenamiento no renovable del acuífero.

7. BIBLIOGRAFÍA

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

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2018. Carta Geológico-Minera “Paredón” G14-C14, Escala 1: 50,000.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2015. Carta Geológico-Minera “Hidalgo” G14-C15, Escala 1: 50,000.