

# SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO CEBALLOS (1023), ESTADO DE DURANGO

# Contenido

1.	GENERALIDADES	2
Ante	ecedentes	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	7
3.2	Geología estructural	11
3.3	Geología del subsuelo	13
4.	HIDROGEOLOGÍA	16
4.1	Tipo de acuífero	16
5.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
5.1	Entradas	17
5	.1.1 Recarga vertical (Rv)	17
5.2	Salidas	23
5	.2.1 Bombeo (B)	23
6.	DISPONIBILIDAD	23
6.1	Recarga total media anual (R)	24
6.2	Descarga natural comprometida (DNC)	24
6.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	24
6.4	Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)	25
<b>7.</b>	BIBLIOGRAFÍA	26

#### 1. GENERALIDADES

#### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la "NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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 estas 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.

#### Localización

El acuífero Ceballos, definido con la clave 1023 en la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noreste del estado de Durango, entre las coordenadas geográficas 25° 39' y 26° 45' de latitud norte y 103° 30' y 104° 34' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 9503.1 km².

Limita al norte con los acuíferos Laguna del Rey- Sierra Mojada, Laguna de Palomas, Laguna El Rey; al noroeste con Escalón; al este con Principal Región Lagunera, todos pertenecientes al estado de Coahuila, al sureste con Vicente Suárez; al oeste con San Fermín, al sur con el acuífero Nazas, del estado Durango y al suroeste con La Zarca -Revolución, Durango (figura 1).

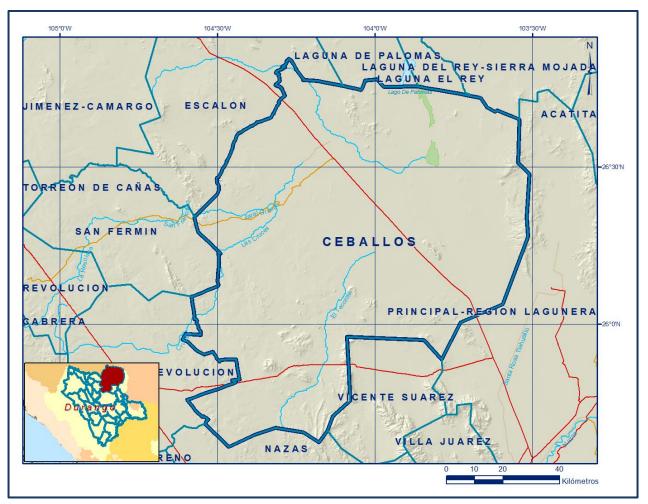


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, comprende; parcialmente los municipios de Tlahualilo, San Pedro del Gallo y Mapimí. 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 1023 CEBALLOS							
\/=DTIOE	LONGITUD OESTE				LATITUD NORTE		
VERTICE	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	OBSERVACIONES
1	103	47	18.6	25	53	19.7	
2	103	50	44.6	25	57	1.5	
3	104	5	23.9	25	57	39.0	
4	104	5	2.9	25	51	24.6	
5	104	4	46.6	25	45	28.8	
6	104	8	1.6	25	42	33.3	
7	104	9	5.0	25	39	45.1	
8	104	10	40.0	25	37	31.1	
9	104	13	40.4	25	39	25.6	
10	104	18	59.7	25	40	16.8	
11	104	22	51.2	25	38	58.8	
12	104	27	48.6	25	36	42.3	
13	104	30	19.7	25	39	8.6	
14	104	32	21.8	25	41	1.2	DEL 14 AL 15 POR EL LIMITE MUNICIPAL
15	104	34	56.5	26	5	17.2	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE MUNICIPAL
16	104	34	24.5	26	20	22.5	DEL 16 AL 17 POR EL LIMITE ESTATAL
17	104	6	4.6	26	45	22.3	DEL 17 AL 18 POR EL LIMITE ESTATAL
18	103	51	48.3	26	45	16.5	DEL 18 AL 19 POR EL LIMITE ESTATAL
19	103	41	55.6	26	43	30.7	DEL 19 AL 20 POR EL LIMITE ESTATAL
20	103	32	31.0	26	38	59.9	
21	103	32	48.9	26	30	42.6	
22	103	30	36.9	26	28	41.0	
23	103	31	10.1	26	20	28.9	
24	103	30	50.2	26	16	42.8	
25	103	35	42.8	26	3	51.4	
26	103	43	41.6	26	0	25.3	
1	103	47	18.6	25	53	19.7	

#### Situación administrativa del acuífero

El acuífero Ceballos pertenece al Organismo de Cuenca VII "Cuencas Centrales del Norte" y al Consejo de Cuenca "Nazas-Aguanaval", instalado el 01 de diciembre del 1998. Su territorio se encuentra en gran parte vedado sujeto a las disposiciones de 2 decretos de veda. El primero de ellos al noreste es el "Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Ceballos y de La Laguna, que comprenden parte de los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila.", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 06 de diciembre de 1958. El segundo es el "Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Región Lagunera", publicado el día 17 de abril de 1965. La primera veda se clasifica como tipo II en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos y la segunda es una veda del tipo III, zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

La porción no vedada del acuífero Ceballos, clave 1023, 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 DOF 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 1.

#### 2. FISIOGRAFÍA

# 2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero se ubica prácticamente en su totalidad en la provincia fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte y al sur y noreste en la Sierra Madre Oriental. Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1981), el acuífero se ubica en la provincia fisiográfica Bolsón de Mapimí, al noreste Sierra de la Paila y al sur Sierras transversales.

La provincia fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte se caracteriza por presentar alternancia de llanuras y lomeríos compuestos por rocas sedimentarias y volcánicas del Cenozoico débilmente plegadas, que muestran un relieve suave. Las rocas, principalmente lutitas y areniscas, están afectadas por fallas normales y fracturas, mostrando una orientación noreste-suroeste y noroeste-sureste.

La subprovincia Bolsón de Mapimí está constituida por extensas llanuras aluviales o salinas, con lomeríos ramificados, sierras plegadas y campos de dunas. En las llanuras dominan suelos profundos de origen aluvial o lacustre, de textura media o fina.

La Sierra Madre Oriental está orientada en sentido norte-sur y noroeste-sureste, que muestra una flexión con orientación este-oeste entre Monterrey y Torreón. Representa un conjunto de sierras en las que afloran secuencias mesozoicas plegadas de rocas

sedimentarias marinas del Cretácico y Jurásico Superior, entre las que predominan las calizas, areniscas y secuencias arcillosas. El plegamiento se manifiesta de múltiples maneras, pero su forma más notable es la que produce topoformas onduladas y paralelas, en donde las partes topográficamente más altas, corresponden con anticlinales y las zonas bajas a sinclinales, cuando las formaciones son resistentes a la erosión. La flexión de las rocas en las crestas de los pliegues ocasionó extensión con el correspondiente fracturamiento, haciéndolas más susceptibles a los procesos erosivos. Cuando las estructuras mayores se encuentran erosionadas en sus núcleos sólo quedan flancos residuales de los anticlinales, con un valle al centro, denominadas "potreros". La subprovincia Sierras Transversales está conformada de sierras orientadas en forma paralela a los cuerpos centrales de la Sierra Madre Oriental, separadas unas de otras por llanuras más o menos amplias. La porción norte de la subprovincia es la que se ubica en el estado de Coahuila. La subprovincia Sierra La Paila está constituida por un conjunto de sierras y bolsones amplios, que presentan de drenaje interno, en la que las calizas dominan en las sierras y en menor medida rocas volcánicas. En sus partes bajas, conforma llanuras y pequeños lomeríos.

#### 2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, en la mayor superficie del acuífero prevalece el clima muy árido (BWhw), semicálido, temperatura media anual entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frio menor de 18° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C, con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. En el centro y sur del acuífero predomina el clima árido, templado (BSokw), con una temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C, con lluvias de verano y un porcentaje de lluvia invernal entre 5% y 10.2% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 7 estaciones climatológicas dentro del área del acuífero: Cevag, Ceballos, Escalón, Tlahualilo, El Derrame, La Cadena y Cinco de Mayo. Con estos datos y utilizando el método de Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **329 mm** y **19.4 °C**, respectivamente.

### 2.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en las Regiones Hidrológicas No. 36 Nazas-Aguanaval, al norte el acuífero delimita con el Lago de Palomas. Los escurrimientos de los arroyos no son perennes, únicamente en temporada de lluvias conducen aguas pluviales, entre ellos el Jaral Grande, Las Cruces y El Tecolote.

# 2.4 Geomorfología

La zona geohidrológica describe formas de relieve contrastantes, con las siguientes características:

#### Mesetas

Se definen formas de relieve escarpado producto de emisiones de composición volcánica ácida, constituidas por ignimbritas y riolitas con elevaciones de alrededor de 1200 msnm.

### Sierras y lomeríos

Caracterizados por relieve topográfico suave y redondeado, se tienen serranías y lomeríos de composición calcárea con elevación del orden de 1,700 msnm, en la porción suroccidental y nororiental del área.

#### **Valles**

Constituyen los valles abiertos e intermontanos de origen aluvial y fluvial, labrados por la erosión de las sierras circundantes y escorrentía intermitente de los ríos de la zona con elevación media de 1.100 msnm.

#### 3. GEOLOGÍA

La zona está cubierta en aproximadamente un 70% por material aluvial, cuyo suelo se caracteriza por permitir muy bien el paso del agua pues es muy permeable. En la parte suroeste se identifican una diversidad de rocas sedimentarias entre las que sobresalen conglomerados, calizas y calizas-lutitas que son rocas permeables. Al noreste existe una sierra conformada por calizas y al norte en menor grado, hay afloramientos de rocas ígneas extrusivas como basalto y andesitas, cuyas rocas son permeables.

#### 3.1 Estratigrafía

Por las características litológicas y estructurales observadas en campo, es posible

hacer la separación de las Cuencas Mezcalera, ubicada en la porción occidental, y Mesozoica ubicada en la porción oriental, las cuales se caracterizan por presentar litologías y estilos de deformación particulares (Carta Geológico-Minera G13-B82 "Atotonilco", SGM, 2002), tal como se muestra en la figura 2. A continuación, se hace una breve descripción de las unidades geológicas que se encuentran en el área de la más antigua a la más reciente:

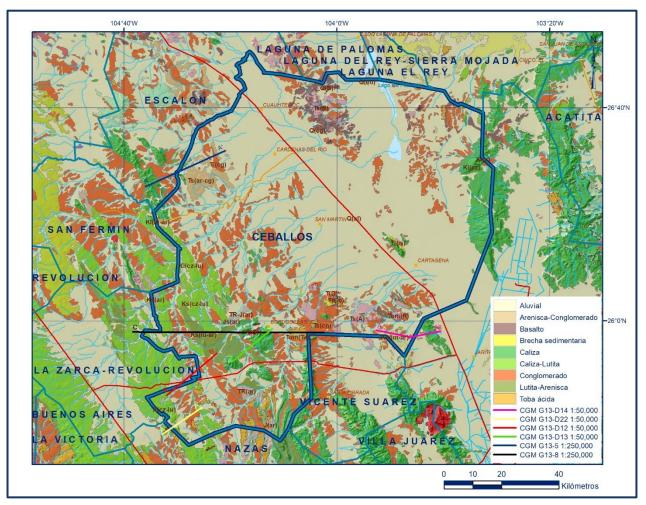


Figura 2. Geología general del acuífero

# Triásico-Jurásico Formación Nazas

El basamento de la región está constituido por la Formación Nazas (Clemons R.F. y Leroy D.F., 1965), conformada por derrames andesíticos con intercalaciones de limolita, riolita e ignimbrita que afloran en la suroriental del acuífero. De acuerdo con las dataciones radiométricas por los métodos K/ar y Rb/Sr, realizados por Grajales N.M. y

colaboradores (1992), su edad corresponde al Triásico Superior-Jurásico Inferior.

# **Jurásico Superior**

#### Formación La Gloria

Sobreyaciendo discordantemente a la unidad anterior, se presenta un paquete de rocas jurásicas que corresponde a la Formación La Gloria, la cual en la región está dividida en tres miembros: el inferior corresponde a una secuencia arenosa, el medio a una secuencia areno-calcárea y el superior está conformado únicamente calcárea. Tomando en cuenta los estudios paleontológicos realizados por Contreras M.B. y Colaboradores (1988), se le asigna una edad correspondiente al Jurásico Superior (Oxfordiano-Kimmeridgiano).

#### Formación La Casita

Consiste en una secuencia de areniscas y lutitas que afloran en la porción suroriental del acuífero, al suroeste del Rancho La Parrita.

# Cretácico Inferior

#### Formación Mezcalera

Es la unidad más antigua y está representada por una alternancia rítmica tipo flysch de areniscas y lutitas, cuyos afloramientos principales se localizan en las porciones nororiental y oriental del acuífero.

Litológicamente está constituida por una secuencia rítmica de areniscas de grano fino y lutitas intercaladas con horizontes gruesos de calizas y limolita. Como cambio de facies de esta secuencia, se presentan rocas calcáreas de la Formación Aurora (KaCz-Lu), constituida por calizas, dolomías, pedernal y horizontes arcillosos, que afloran ampliamente en las sierras que conforman los limites oriental y occidental del acuífero, en forma de anticlinales. Sobreyaciendo discordantemente a la Formación Mezcalera se presenta una secuencia calcárea de edad Albiano. En la Cuenca Mesozoica se lleva a cabo un cambio de facies con la Formación Taraises, la cual consiste en una secuencia de calizas y lutitas. Sobreyaciendo discordantemente a esta formación, se presenta la Formación Caracol, la cual consiste en una secuencia de areniscas y lutitas. Durante el Cretácico Superior, se presenta una intrusión de un cuerpo de composición diorítica a granodiorítica, que afecta a las unidades descritas.

#### Formación Aurora

El nombre Formación Aurora fue propuesto por Burrows (1910) para aquellas rocas que afloran en la porción noreste del estado de Chihuahua, que están constituidas por capas gruesas de calizas fosilíferas, que presentan abundantes nódulos de pedernal. Está constituida por calizas de estratificación media a gruesa con diversos desarrollos arrecifales y algunos horizontes de calcarenitas. Presenta una coloración de tonalidad gris a obscura, escasos nódulos de pedernal y hematita hacia la cima. Presenta fracturamiento general que varía de moderado a intenso, estructuralmente forma pliegues anticlinales cuyo eje se orienta al noroeste-sureste y echados suaves más o menos uniformes.

# **Eoceno-Oligoceno**

#### Formación Ahuichila

Definida formalmente por Rogers (1981), en los afloramientos expuestos en el "Frontón de Ahuichila", ubicado en el límite donde convergen los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas, está constituida por depósitos clásticos de origen continental (conglomerados y brechas) conformados por fragmentos de caliza, calcarenitas, calculadita y de rocas volcánicas, con matriz calcárea y limolítica, que se presentan en bancos gruesos y masivos; de colores que varían de gris al rojizo. Debido a su posición estratigráfica y su origen, el cual se relaciona con los primeros depósitos de características continentales, formados como consecuencia de la emersión del continente generada por la Orogenia Laramie, su edad se considera del Eoceno-Oligoceno.

Durante el Oligoceno Superior, se presenta un cuerpo volcánico correspondiente a un pórfido que se encuentra afectando directamente al miembro medio de la Formación La Gloria.

#### Mioceno-Plioceno

#### Formación Santa Inés (Tm Cgp)

Fue propuesto por E. de la Vega (1968) para designar a depósitos clásticos continentales que afloran al surponiente y suroriente de Cuencamé, Durango, con un espesor de 5 a 30 m. Consiste en clastos de roca volcánica ácida subredondeados a subangulosos del tamaño de guijas finas a cantos rodados medianos que varían de no consolidados a bien cementados, en una matriz de grava y arena. La litología consta de fragmentos líticos de rocas volcánicas ácidas como tobas riolíticas, riolitas, brechas

riolíticas e ignimbritas con un grado de esfericidad de subredondeado a subanguloso, mal clasificados, con diámetros variables de 1 a 40 cm, semicompactos a cementados en una matriz arenosa, constituyendo en ocasiones estratificación mientras que en otros sitios se encuentran en forma caótica. Por la similitud litológica y relación estratigráfica que se aprecian, estos depósitos se correlacionaron con la Formación Los Llanos, asignándole una edad correspondiente al Plioceno Tardío.

#### Holoceno

# Aluvión (Qhoal)

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

### 3.2 Geología Estructural

Las rocas sedimentarias mesozoicas, representadas en el área como sierras de estructuras plegadas del tipo anticlinal, así como los lomeríos aislados de rocas ígneas extrusivas, descansan en forma discordante sobre un basamento Paleozoico. Los periodos de erosión y plegamiento ocurridos durante el Triásico y Jurásico normaron la sedimentación y consecuentemente la paleografía de la parte superior del Mesozoico.

Durante los eventos que modelaron la corteza terrestre durante el Triásico, destaca la tectónica distensiva que dio lugar a la formación de fosas y rellenos sedimentarios continentales, subsidencias de terreno que en forma natural permitieron el almacenamiento del agua de lluvia, y su conformación como acuíferos. Las estructuras sedimentarias anticlinales y sinclinales, características de la Sierra Madre Oriental, tuvieron su origen durante la Orogenia Laramide en el Cenozoico Inferior; del Eoceno Superior al Oligoceno se sucedieron los primeros episodios volcánicos, que completaron los procesos y depositación de las unidades litoestratigráficas de la Sierra Madre Occidental. La culminación de las actividades volcánicas ocurre con eventos de derrames de basalto en el Plioceno y posteriormente hasta el Pleistoceno, se formaron los conglomerados, gravas, arenas y arcillas que rellenan las depresiones producto de la fase distensiva asociada a la Orogenia Laramide.

El origen de las estructuras identificadas se puede atribuir a dos procesos principales, uno de compresión y otro de distensión; el primero ocurrió a mediados y finales del Cretácico y el segundo durante el Paleógeno que generó Cuencas y Sierras. Se presentan estructuras producto de deformación dúctil, representadas por las foliaciones de rumbo NW-SE con inclinación al suroeste y noreste, que se presentan en las rocas sedimentarias de la Formación Mezcalera, en las que el plegamiento de las foliaciones genera una serie de micropliegues muy cerrados.

Los eventos tectónicos de los que se tiene registro para este rango de edades en la región corresponden principalmente a aquellos relacionados con: a) el desarrollo de una cuenca mesozoica asociada a la apertura del Golfo de México (Rueda-Gaxiola, 2004), b) un proceso de subducción a lo largo de la margen pacífica de Norteamérica desde el Mesozoico y hasta el Cenozoico Tardío (Ferrari et al., 2005), c) la presencia de un evento compresivo en el marco de un ambiente de retro-arco a finales del Cretácico e inicios del Cenozoico (Eguiluz de Antuñano et al., 2000), y d) la distensión cortical asociada a la provincia extensional del Basin and Range (Henry y Aranda-Gómez, 1992).

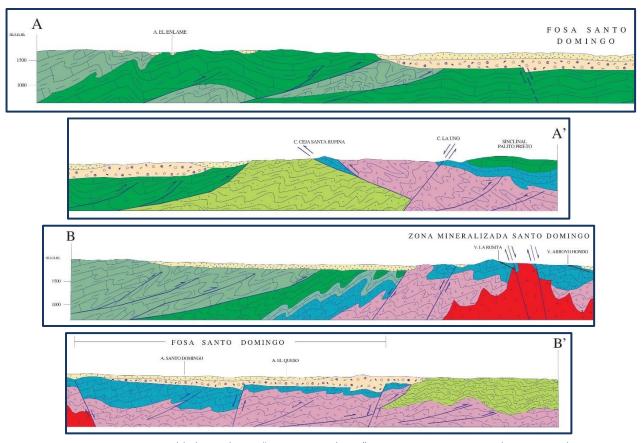
Las deformaciones generadas como consecuencia de la subducción de la Placa del Pacífico Oriental, que se manifestó en el margen occidental de México hacia el oriente, generó esfuerzos compresivos de W-SW a E-NE, iniciando la denominada Orogenia Laramide desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno Tardío en varios episodios, (Araujo y Arenas, 1983); las rocas fueron comprimidas casi perpendicularmente contra la paleopenínsula de Coahuila, resultando una serie de pliegues angostos y alargados con dirección NW-SE en la región. Con la culminación de esta orogenia finaliza la deformación compresiva, y se desarrolla el vulcanismo riolítico de la Sierra Madre Occidental (Demant y Robin, 1975). Posteriormente se genera un periodo distensivo que originó una serie de fosas y pilares, acompañada con la erosión consecuente de las rocas deformadas que dieron origen a los depósitos continentales. Los dominios estructurales son de tipo dúctil-frágil y frágil; el primero se observa en las formaciones constituidas por secuencias de calizas y lutitas, mientras que el dominio frágil se manifiesta en las secuencias calcáreas, arenosas y calcáreo-arenosas. Se observan dos efectos de deformación, uno de ellos corresponde a las estructuras anticlinales y sinclinales que fueron afectados por fallas y de desplazamiento y cabalgaduras, originados por los esfuerzos de compresión que ocurrieron a finales del Cretácico y principios del Cenozoico durante la Orogenia Laramide.

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

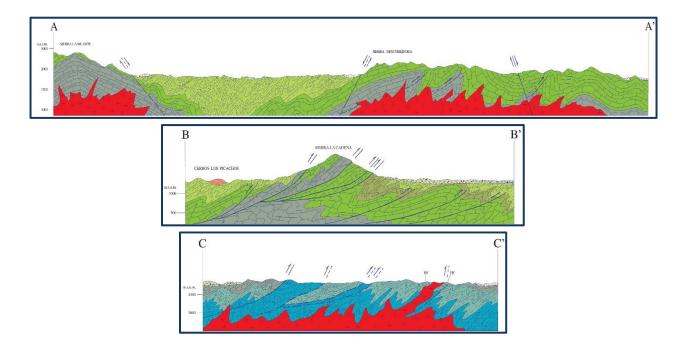
En la porción occidental, en la sierra de Atotonilco se observan dos cabalgaduras importantes, la primera denominada Cabalgadura Atotonilco, está orientada en sentido NW-SE y vergencia hacia el SW, mientras que la segunda se denomina Boquilla de Fernández-Bellavista, está orientada NW-SE con vergencia al NE. Es importante mencionar que entre dichas estructuras se presenta un anticlinal recumbente (denominado Atotonilco) el cual está orientado NW-SE y verge al SW. En la porción suroriental se presenta la Sierra Agua Puerca, que es un anticlinal recumbente, orientado NW-SE con vergencia al NE, el cual es afectado por la falla sinestral Agua Puerca y al oriente de ésta se presenta la Cabalgadura Lomas Las Cuatas, la cual está orientada NW-SE, con vergencia al SW, misma que en su porción sur es afectada por la falla dextral El Caracol. También se infiere la cabalgadura San Felipe, propuesta por Eguiluz A. (1988), la cual presenta una orientación NW-SE y verge al NE, así como dos cabalgaduras principales (Acebuches y Ceja Colorada), las cuales están orientadas NW-SE con vergencia al SW. En la porción sur se presenta la fosa Santo Domingo La Parrita, la cual está limitada por fallas normales y laterales.

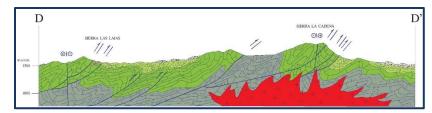
#### Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica e hidrogeológica recabada en el acuífero, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a baja, que constituyen las extensas planicies y los piedemontes. En el acuífero predominan los sedimentos aluviales del cuaternario en la zona central. En el noreste y suroeste afloran predominantemente las intercalaciones de conglomerados del Cenozoico con calizas-lutitas del Mesozoico (figura 3).

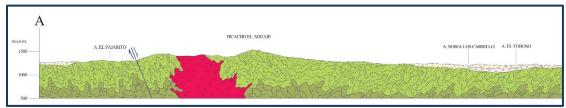


Fuente: Carta Geológico-Minera "Santo Domingo" G13-D12. Esc. 1:50,000 (SGM, 2002)



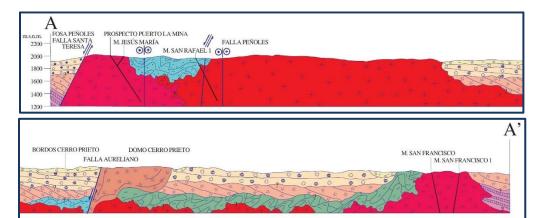


Fuente: Carta Geológico-Minera "La Cadena" G13-D13. Esc. 1:50,000 (SGM, 2001)





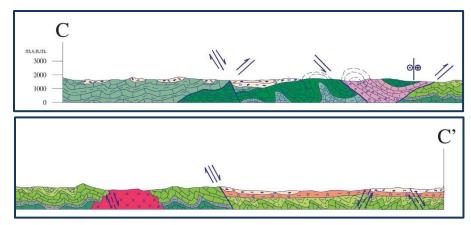
Fuente: Carta Geológico-Minera "Mapimí" G13-D14. Esc. 1:50,000 (SGM, 2006)



Fuente: Carta Geológico-Minera "La Cieneguilla" G13-D22. Esc. 1:50,000 (SGM, 2003)



Fuente: Carta Geológico-Minera "Hidalgo del Parral" G13-5. Esc. 1:250,000 (SGM, 2000)



Fuente: Carta Geológico-Minera "Santiago Papasquiaro" G13-8. Esc. 1:250,000 (SGM, 2000) Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

# 4. HIDROGEOLOGÍA

### 4.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre** en los sedimentos aluviales y conglomerados, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar varios cientos de metros en el centro de los valles, principalmente los de origen tectónico. La porción inferior puede alojar un acuífero de **tipo confinado a semiconfinado** en las areniscas y lutitas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Su espesor confinante está constituido por lutitas interestratificadas con calizas. A mayor profundidad las rocas calizas representan un acuífero potencial que aún no ha sido explorado y que puede estar confinado por la presencia de lutitas.

#### 5. 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 con 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 quedan 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 Ceballos están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

No existe información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo hechos por la Dirección Local, se encuentra dispersa en tiempo y espacio, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolar la información para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas. Aunado a esto, existen pocos aprovechamientos del agua subterránea y se presentaron diferentes problemas para la medición de sus niveles; la superficie del acuífero está conformada en su mayor parte por sierras entre la cuales existen pequeños valles intermontanos en los que se localizan los escasos aprovechamientos. Por todas estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 9503.1 Km² del acuífero, para estimar de manera conservadora 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:

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

Donde:

**V**<sub>LL</sub> = Volumen de lluvia;

**V**<sub>ETR</sub> = Volumen evapotranspirado;

**V**<sub>ESC</sub> = Volumen escurrido;

**V**<sub>INF</sub> = Volumen infiltrado;

Por lo tanto, despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}$$
 (2)

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (9,503.1 km²) por la lámina de precipitación media anual (329 mm):

$$V_{LL}$$
 = 9,503.1 km<sup>2</sup> (0.329 m) = 3,126.5 hm<sup>3</sup> anuales

Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

COUTAGNE

ETR = P-  $\chi P^2$ 

Donde:

ETR= Evapotranspiración m/año P = precipitación en m/año

 $\chi = 1/(0.8 + 0.14 \text{ t})$ 

t = temperatura en °C

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que  $1/8\lambda$  la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que  $1/2\lambda$  la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por: ETR = 0.20 + 0.035 T. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de **298 mm anuales.** 

Se optó por la estimación conservadora de la infiltración que se obtiene al tomar en cuenta la lámina de evapotranspiración obtenida con la fórmula de Coutagne, que es de 298.0 mm anuales, por lo que el volumen de la ETR es:

$$V_{ETR}$$
 = 9,503.1 km<sup>2</sup> (0.298 m) = 2,831.9 hm<sup>3</sup> 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 17 de abril de 2002, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento. El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

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).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

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

Si K resulta menor o igual que 0.15 Si K es mayor que 0.15 Ce = K

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

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

	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO		
USO DE SUELO	Α	В	С		
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				
А	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos				
В	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos				
С	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 Ceballos, predominan los siguientes tipos de suelo: Castañozem, Litosol, Regosol, Rendzina, Solonchak, Xerosol y Yermosol que se clasifican en dos tipos de suelo: A y B (figura 4).

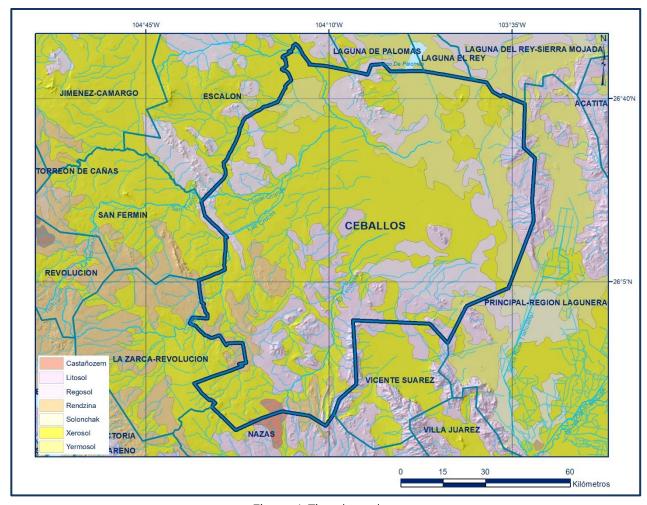


Figura 4. Tipo de suelo

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 nueve usos de suelo diferentes: agrícola, asentamientos humanos, bosque, cuerpo de agua, desprovisto de vegetación, matorral, otros tipos, pastizal y sin vegetación aparente (figura 5).

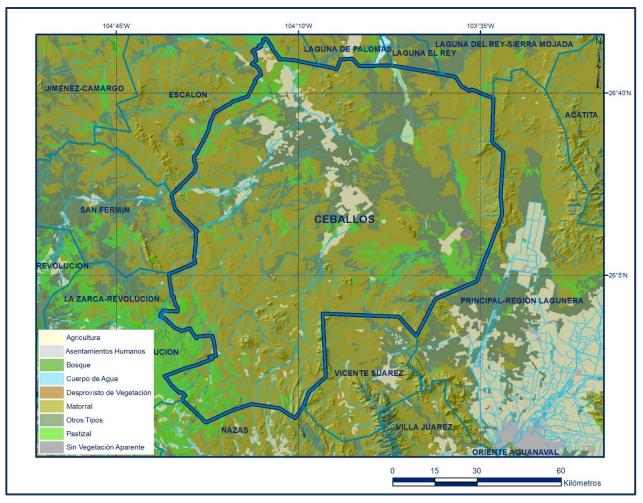


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.25, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

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

$$V_{ESC} = 0.077 (3,126.5 \text{ hm}^3) = 240.7 \text{ h}^3 \text{ anuales}$$

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

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}$$
 (2)  
 $V_{INF} = 3,126.5 - 2,831.9 - 240.7$   
 $V_{INF} = 53.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$ 

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0172.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 53.9 hm³/año en los 9,503.1 Km² de superficie del acuífero.

# Por lo que la Rv = 53.9 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) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración, pero no se cuenta información piezométrica para su estimación. No existen manantiales, ni flujo base en ríos, ya que ambos son de régimen intermitente.

### 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 **72.5 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

#### 6. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la siguiente expresión:

DISPONIBILIDAD	=	RECARGA	-	DESCARGA	- EXTRACCIÓN DE AGUAS
MEDIA ANUAL DE		TOTAL		NATURAL	SUBTERRÁNEAS
AGUA DEL SUBSUELO		MEDIA	C	OMPROMETIDA	
FN UN ACUÍFFRO		ANUAI			

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, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es de **53.9 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 Ceballos, se considera que no existe descarga natural comprometida. Por lo que **DNC = 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 **72,577,546 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 aguas subterráneas (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 = 53.9 - 0.0 - 72.577546

DMA = -18.677546 hm<sup>3</sup> anuales

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es **18,677,546 m3 anuales.** 

#### 7. BIBLIOGRAFÍA

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.

Servicio Geológico Mexicano, 2000. Carta Geológico-Minera "Santiago Papasquiaro" G13-8. Esc. 1:250,000. Durango.

Servicio Geológico Mexicano, 2000. Carta Geológico-Minera "Hidalgo del Parral" G13-5. Esc. 1:250,000. Chihuahua, Durango.

Servicio Geológico Mexicano, 2003. Carta Geológico-Minera "La Cieneguilla" G13-D22. Esc. 1:50,000. Durango.

Servicio Geológico Mexicano, 2006. Carta Geológico-Minera "Mapimí" G13-D14. Esc. 1:50,000. Durango.

Servicio Geológico Mexicano, 2001. Carta Geológico-Minera "La Cadena" G13-D13. Esc. 1:50,000. Durango.

Servicio Geológico Mexicano, 2002. Carta Geológico-Minera "Santo Domingo" G13-D12. Esc. 1:50,000. Durango.