



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CAMPO MINA (1908), 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. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1 Provincia fisiográfica.....	5
3.2 Clima.....	6
3.3 Hidrografía.....	6
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	7
4.1 Estratigrafía.....	8
4.2 Geología estructural.....	9
4.3 Geología del subsuelo.....	9
5. HIDROGEOLOGÍA.....	10
5.1 Tipo de acuífero.....	10
5.2 Parámetros hidráulicos.....	10
5.3 Piezometría.....	11
5.4 Comportamiento Hidráulico.....	11
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	11
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	11
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	12
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	13
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	14
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	14
7.1 Entradas.....	15
7.1.1 Recarga natural.....	15
7.1.2 Recarga inducida.....	15
7.1.3 Flujo subterráneo horizontal.....	15
7.2 Salidas.....	16
7.2.1 Evapotranspiración.....	16
7.2.2 Descargas naturales.....	16
7.2.3 Bombeo.....	16
7.2.4 Flujo subterráneo horizontal.....	16
7.3 Cambio de Almacenamiento.....	17
8. DISPONIBILIDAD	17
8.1 Recarga total media anual (R).....	18
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	18
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	18
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	19
9. 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 Mina, definido con la clave 1908 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noreste del estado de Nuevo León, entre los paralelos 25° 50' y 26° 09' de latitud norte y entre los meridianos 100° 23' y 100° 48' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 845 km²(figura 1).

Limita al norte con el acuífero Campo Jaritas, al este con El Carmen-Salinas-Victoria y al sur con Campo durazno, pertenecientes al estado de Nuevo León; y al oeste con Paredón, perteneciente al estado de Coahuila.

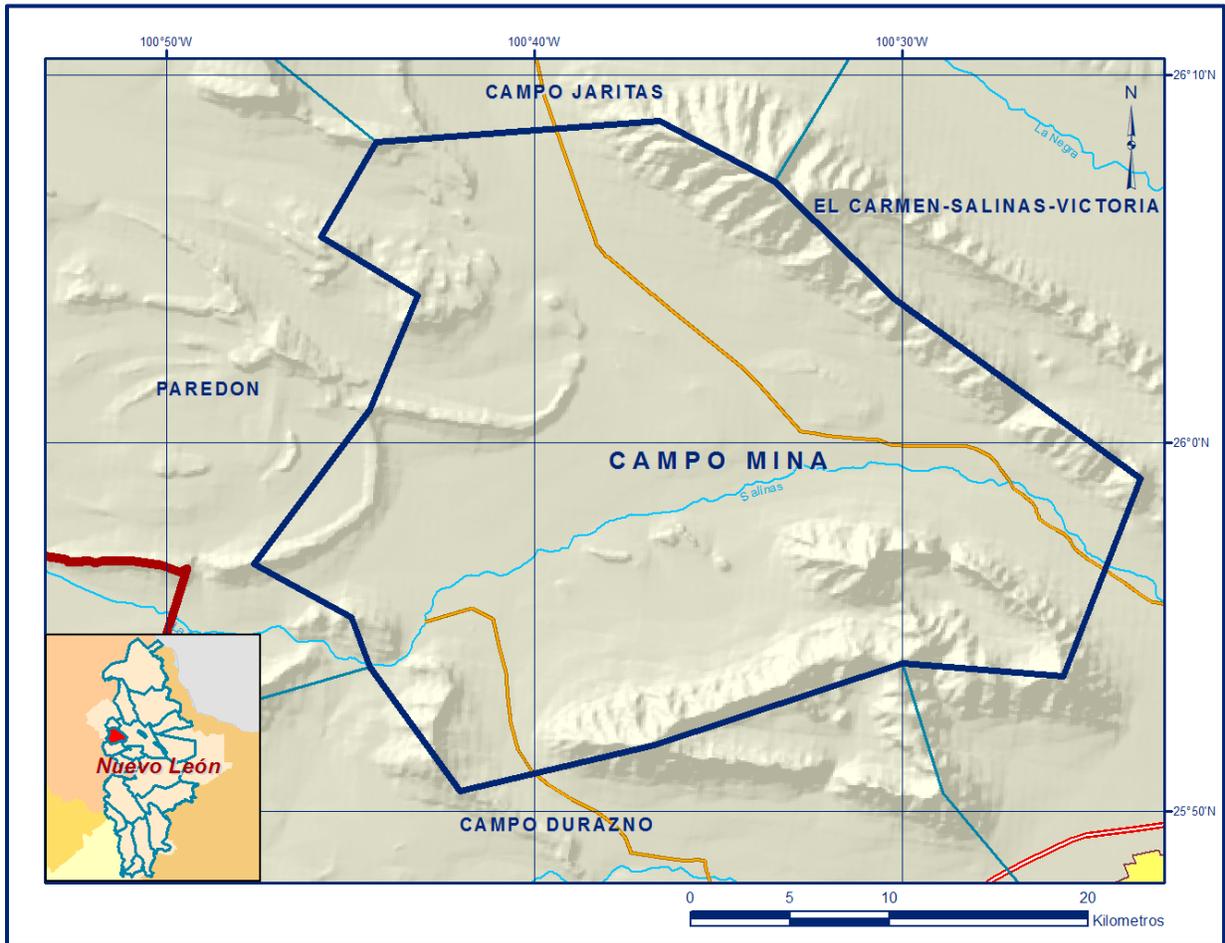


Figura No. 1. Localización del Acuífero Campo Mina.

El acuífero Campo Mina se localiza a unos 36 km al NW de la ciudad de Monterrey, capital del estado de Nuevo León, a la altura del km 40 de la carretera federal No. 53 Monterrey-Monclova. La extensión del acuífero Campo Mina abarca casi la totalidad del municipio de Hidalgo, y en forma parcial a los municipios Mina, Abasolo y Villa de García

Para el municipio de Mina el INEGI reporta en la actualidad unos 5,100 habitantes, y para el municipio de Hidalgo, la población es casi el triple de la anterior, con aproximadamente 15,000 habitantes.

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.

ACUÍFERO 1908 CAMPO MINA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	100	29	59.7	25	54	0.5
2	100	36	44.3	25	51	47.5
3	100	42	1.5	25	50	32.1
4	100	44	28.4	25	53	55.1
5	100	44	58.2	25	55	15.8
6	100	47	37.2	25	56	43.5
7	100	44	27.6	26	0	54.9
8	100	43	10.3	26	4	1.0
9	100	45	47.1	26	5	36.1
10	100	44	17.9	26	8	11.4
11	100	36	36.3	26	8	46.1
12	100	33	27.7	26	7	7.0
13	100	30	11.9	26	3	55.4
14	100	23	31.0	25	59	2.4
15	100	25	37.4	25	53	39.4
1	100	29	59.7	25	54	0.5

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero se ha visto involucrado en varias vedas para el alumbramiento de aguas del subsuelo. La primera corresponde al decreto del 28 de noviembre de 1956, y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de diciembre de 1956. Este Decreto que amplía la zona vedada para el alumbramiento de aguas del subsuelo en los terrenos que ocupa y circundan la ciudad de Monterrey, N. L., contiene los siguientes artículos: Artículo Primero: Se amplía la zona de veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en los terrenos que ocupa y circundan la ciudad de Monterrey, estado de Nuevo León a que se refiere el decreto con fecha 27 de junio de 1951, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 17 de julio del mismo año, para incluir también los terrenos comprendidos dentro del polígono que se describe.

Artículo Segundo: Las disposiciones establecidas en el decreto señalado en el artículo anterior se aplicarán también a la zona con que se amplía la veda en cuestión Posteriormente se decretó una ampliación de veda en los terrenos que ocupa y circundan la ciudad de Monterrey, del 19 de junio de 1958. Con la misma fecha corresponde otra ampliación, llamada precisamente "Ampliación de veda Monterrey (Santiago)". Las vedas fueron del tipo rígido debido a la sobreexplotación a que estaban sujetos los acuíferos. La última veda corresponde a la que incluye a todo el estado de Nuevo León.

Por otro lado, el acuífero Campo Mina queda comprendido dentro de la Región Administrativa VI, Río Bravo; asimismo forma parte del Consejo de Cuenca Río Bravo, que fue instalado el 21 de enero de 1999. Cabe abundar que al 26 de noviembre del 2002 todavía no había un Comité Técnico de Aguas Subterráneas. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

La zona ha sido estudiada con anterioridad desde el punto de vista geohidrológico. El primer estudio del que se tiene noticia corresponde al realizado por CIEPS en 1967 (), avalado por los ingenieros Heinz Lesser Jones y Lorenzo Torres Izábal como asesores de dicha empresa, quienes apoyados en datos de PEMEX, elaboraron un proyecto para ampliar el suministro de agua potable a la ciudad de Monterrey.

Siguiendo en orden cronológico, sigue una actualización de las condiciones piezométricas en algunos campos de pozos, incluido Campo Mina, en 1987 (), donde se consignan los registros de estas mediciones desde enero de 1987 hasta diciembre de ese mismo año en 25 pozos, a más de valores de la transmisividad derivadas de 9 pruebas de bombeo.

Otro estudio fue realizado por la Comisión de Agua Potable y Drenaje de Monterrey en 1990 (), que aparte de un levantamiento geológico, la mayor parte del boletín integra las características constructivas del sistema de pozos que aún constituyen uno de los principales ramales que abastecen de agua potable a la ciudad de Monterrey.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El llamado Acuífero Campo Mina pertenece a la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, según carta del INEGI. La región NE de Monterrey se caracteriza por la presencia de serranías aisladas, algunas de ellas en forma alargada y otras en forma cómica, que son plegamientos anticlinales que se clavan en los extremos de sus ejes longitudinales. Este tipo de estructuras se originó por efectos combinados de esfuerzos de compresión lateral.

3.2 Clima

En la zona se presentan dos variantes de clima, atendiendo a la clasificación de W. Köppen modificada por E. García. Justamente el poblado de Mina es el límite entre ambos climas: hacia el poniente el clima es muy seco, semicálido, con lluvias en verano y un porcentaje de la precipitación invernal que varía entre 5 y 10.2; hacia el oriente el clima cambia a seco semicálido, con lluvias en verano y el porcentaje de precipitación invernal varía entre 5 y 10.2. Es de mencionarse que ambos climas presentan condición de canícula.

La temperatura media anual es de unos 20° C en la región. En la estación meteorológica de Mina es de 21.4° C. La precipitación pluvial media anual varía de 225 a 450 mm localizándose los valores altos hacia Sierra Azul, esto es, al oriente. Como promedio en la zona del valle se puede adoptar el valor de 270 mm anuales. En un periodo de 32 años se aprecia una fuerte variabilidad anual, desde poco más de 600 mm hasta 70 mm. La evaporación potencial media anual es del orden de 2,200 mm.

3.3 Hidrografía

Campo Mina pertenece a la Región Hidrológica No. 24, Bravo-Conchos, según criterios de hidrología superficial. El área es atravesada por dos corrientes principales: el río Salinas y el río Chiquito, que es tributario del primero. La dirección general del río Salinas es hacia el oriente, que a su vez desemboca en el río Pesquería, que es afluente del río San Juan. Los escurrimientos mencionados presentan un régimen intermitente, y su relación con el acuífero en calizas que se está explotando para el abastecimiento de la ciudad de Monterrey debe ser mínima. A su paso por el valle de Campo Mina más bien recargan al pequeño acuífero constituido en los rellenos aluviales. La sub región donde se halla el acuífero Campo Mina es del Bajo Río Bravo, y se localiza dentro de la Cuenca Río Bravo-San Juan.

No existe más infraestructura hidráulica que el sistema de pozos y la conducción del abastecimiento para la ciudad de Monterrey. Esta infraestructura se ha hecho por partes, así en 1958 contaba con 8 pozos y una red hidráulica de tuberías de asbesto cemento y acero con una longitud total de 40.6 km. Posteriormente fueron perforados otros pozos que fueron agregados al sistema, así, en 1966 fueron dos pozos; en el período 1970-1973 otros 5 pozos; entre 1973 y 1976 fueron perforados otros 12 pozos, así como las ampliaciones de la red hidráulica de tuberías. Entre 1977 y 1980 destaca la construcción de un nuevo acueducto a Monterrey.

3.4 Geomorfología

Las geoformas principales en el área son la pequeña llanura de aluvión donde están los pozos del campo Mina que explotan al acuífero, y las sierras que los circundan, tales como El Rincón del Arco y El Colorado por el poniente; El Fraile y El Cedral por el sur, y San Miguel y Minas Viejas por el oriente y norte, respectivamente.

Las Sierras El Fraile y Minas Viejas representan intensos plegamientos, acompañados por fallas, erosión y disolución de las calizas Aurora y Cupido.

4. GEOLOGÍA

La geología superficial del acuífero Campo Mina es muy variada, está constituida por rocas sedimentarias y relleno aluvial, su distribución se muestra en la figura 2.

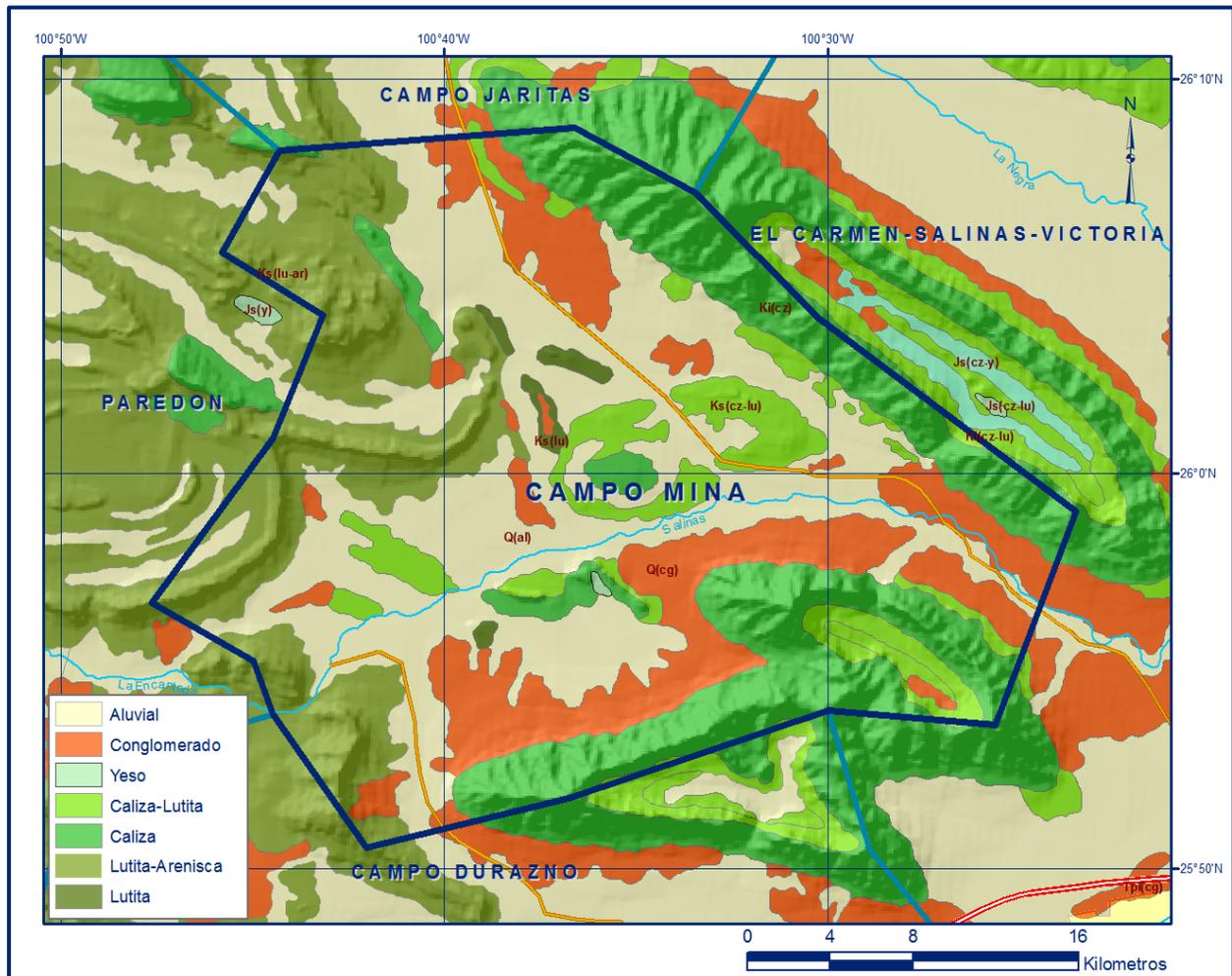


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

El levantamiento geológico superficial comprende únicamente los afloramientos aluviales que ocupan casi la totalidad de la superficie del acuífero, así como las áreas que ocupan las sierras constituidas por calizas del Cretácico. Sin embargo, los estudios e investigaciones de PEMEX y CIEPS, constatadas por perforaciones directas, han permitido conocer en forma mucho más amplia la estratigrafía local y regional. Tal estratigrafía en el acuífero Campo Mina abarca desde la Formación Minas Viejas del Jurásico hasta las formaciones recientes.

Mencionadas y descritas en orden cronológico, las formaciones más antiguas son: Minas Viejas, calizas Zuloaga y La Casita del Jurásico. Las dos primeras son afloramientos de poca extensión y aunque contienen agua, es de mala calidad. La Formación La Casita es de constitución impermeable y funciona como confinante superior de las anteriores.

Dentro del Cretácico Inferior se tienen las siguientes formaciones: Taraises, Caliza Cupido, formación La Peña, Caliza Aurora y las formaciones Kiamichi y Cuesta del Cura, citadas también en orden cronológico desde la más antigua.

La Taraises es por su constitución impermeable y funciona como confinante inferior de las calizas acuíferas Cupido y Aurora. La Cupido tiene buena permeabilidad y contiene un acuífero importante, quizá el más importante, en calizas dolomíticas. La Formación Aurora manifiesta características muy semejantes a la formación Cupido y contiene también un excelente acuífero; presenta espesores hasta de 300 m en la zona de Campo Mina.

Entre estos dos acuíferos, Aurora y Cupido, queda situada la Formación La Peña, que puede funcionar ocasionalmente como un confinante local, pero debido a su poco espesor y fracturamiento, en general no se considera un estrato confinante.

Luego entonces, estas tres formaciones funcionan las más de las veces como una sola unidad geohidrológica, conclusión avalada por sus niveles piezométricos que se localizan a las mismas profundidades.

La Formación Kiamiachi es parcialmente confinante como techo de la caliza Aurora, pero puede estar conectada ocasionalmente con ella por medio de fracturas.

La Formación Cuesta del Cura dispuesta sobre la Kiamiachi, con espesor medio de 140 m en el área ocupada por el acuífero, también puede funcionar como parcialmente confinante, puesto que puede estar conectada geohidrológicamente con La Aurora a través de fracturas propias y de la Kiamiachi. Pero al mismo tiempo, los afloramientos de la Cuesta del Cura pueden propiciar infiltraciones importantes del agua de lluvia, constituyendo zonas de recarga a los acuíferos más profundos. Las formaciones que cubren a las descritas con anterioridad pertenecen al Cretácico Superior, y se trata de las llamadas Indidura, Parras y Méndez, que por su constitución son impermeables.

Al Terciario Superior pertenece el conglomerado Reynosa, que contiene acuíferos de muy bajo potencial; sus espesores son variables con máximos de 50 m. Cuando no se encuentran muy cementados pueden contener acuíferos de aguas freáticas en pequeñas proporciones. El Reciente está representado por depósitos de acarreo y rellenos de granulometría comprendida entre limos y gravas. Contienen acuíferos pequeños de potencialidad variable, que en el valle de Campo Mina se explotan por medio de norias y pozos poco profundos.

4.2 Geología estructural

Se observan tres anticlinales identificados como: Minas Viejas al norte; Potrero Chico y Potrero Villa de García al sur; cuya erosión abrió grandes oquedades a manera de anfiteatros llamados potreros, y que tienen una salida a través de un estrecho cañón.

Sobre una sección geológica con rumbo norte-sur, desde el anticlinal El Potrero de García hasta el de Minas Viejas, pasando por la llanura donde está el campo de pozos Mina, se observa una sección topográfica de columpio, donde las recargas del acuífero se localizan en áreas con elevaciones hasta de 2000 msnm, mientras que el nivel de explotación está a la elevación de 602 msnm. El área de calizas permeables que afloran en las partes altas constituyen las zonas de recarga, tienen un área aproximada de 150 km², funcionando como un acuífero libre, donde el agua subterránea va hacia la porción de calizas confinadas del acuífero Campo Mina.

4.3 Geología del subsuelo

La estratigrafía del subsuelo se conoce con bastante amplitud por las prospecciones de PEMEX y las perforaciones directas del Campo Mina, y que se describen detalladamente en los estudios realizados con anterioridad; dicha descripción se resume a continuación.

El perfil geológico en la zona de los pozos, presenta afloramientos de aluvión y conglomerados del Terciario Superior y de las formaciones Parras, Difunta e Indidura del Cretácico Superior. Subyaciendo a estas unidades litológicas aparecen rocas de la formación Cuesta de Cura y Kiamichi, también del Cretácico Superior, parcialmente confinantes. En este campo de pozos Mina estas formaciones confinantes tienen espesores que van de 200 a 400 m.

Siguen las formaciones del Cretácico Inferior que constituyen el sistema de acuíferos, esto es, Formación La Aurora y Formación Cupido, apenas separadas por La Peña, de poco espesor, variable entre 30 y 60 m y que en general no debe considerarse como un estrato confinante. Tanto la Aurora como la Cupido son calizas afectadas por canales de disolución y fracturamiento, que les confiere una permeabilidad alta. La Formación Aurora tiene espesores de 300 m en la zona del acuífero y el espesor promedio del conjunto formado por estas tres formaciones en el área es de alrededor de 1050 m, variando entre unos 700 m en la sierra Picachos a 1570 m en la sierra de Minas Viejas. Subyaciendo a La Formación Aurora se localiza la Formación Taraises, también del Cretácico Inferior, que funciona como confinante inferior junto con la Formación La Casita del Jurásico. También del Jurásico son de citar las calizas Zuloaga y la Formación Minas Viejas, que contienen acuíferos pero con agua de mala calidad. Se estima que su potencial es muy pequeño y no vale la pena su explotación.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero explotado por los pozos de Mina funciona como confinado, aunque en ocasiones también funciona como freático o libre en las zonas de recarga, y no se descarta algún semiconfinamiento originado por los estratos superiores más o menos impermeables que descansan sobre la Formación Aurora. Como ya fue mencionado, está constituido por calizas afectadas por agujeros de disolución y fracturamiento, específicamente en las Formaciones Aurora y Cupido del Cretácico Inferior.

5.2 Parámetros hidráulicos

El campo de pozos Mina ya tenía 10 años de operación en forma sistemática y continua, lapso en que se hicieron pruebas de bombeo, de las cuales sólo 9 reportan valores de la transmisividad propiedad hidrodinámica que varía entre 20 y 4950 m²/día, siendo el promedio de 977 m²/día. Es la única propiedad hidrodinámica que fue posible determinar.

En el estudio de 1967, se reportan valores generales de las propiedades hidrodinámicas: de 285 m²/día para la transmisividad y un coeficiente de almacenamiento variable entre 0.01 y 0.05. Estos valores también fueron estimados por otros métodos, llegando a una transmisividad de 155.5 m²/día, semejante a la anterior, y un coeficiente de almacenamiento comprendido entre 0.00066 y 0.0013, valores que representan acuíferos confinados. El rendimiento específico de los pozos está entre 0.3 y 75 lps/m

5.3 Piezometría

La piezometría del área se cubre con las configuraciones piezométricas que a continuación se describen y que cubren un período desde 1958 a la fecha.

5.4 Comportamiento Hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la información del estudio de actualización de las condiciones piezométricas de varios campos de pozos, la profundidad de los niveles estáticos durante el período enero a noviembre de 1987 oscilan entre 40 y 110 m.

Vale la pena mencionar que los valores de dichas profundidades tienden a ser menores hacia finales de año. En efecto, para el mes de enero la profundidad promedio de los niveles en 20 pozos que tienen registros, es del orden de 90 m, mientras que para noviembre, en los mismos pozos, la profundidad media de los niveles estáticos fue de 78 m. Para ese año la profundidad media del nivel estático fue de 78 metros. En el estudio del sistema Mina, también se reporta la profundidad del nivel estático en algunos pozos que fueron perforados antes de 1967.

5.4.2 Elevación del nivel estático

En el mismo estudio recién mencionado, también se reporta la altitud de los brocales de los pozos, que relacionada con las profundidades de los niveles estáticos, permitió tener una idea de la dirección del flujo subterráneo.

El flujo de las aguas subterráneas es en general hacia el oriente, aflorando ocasionalmente en forma natural. En la figura 3, se consigna una configuración que cubre una superficie amplia, y que da una idea de las direcciones que adopta el flujo subterráneo.

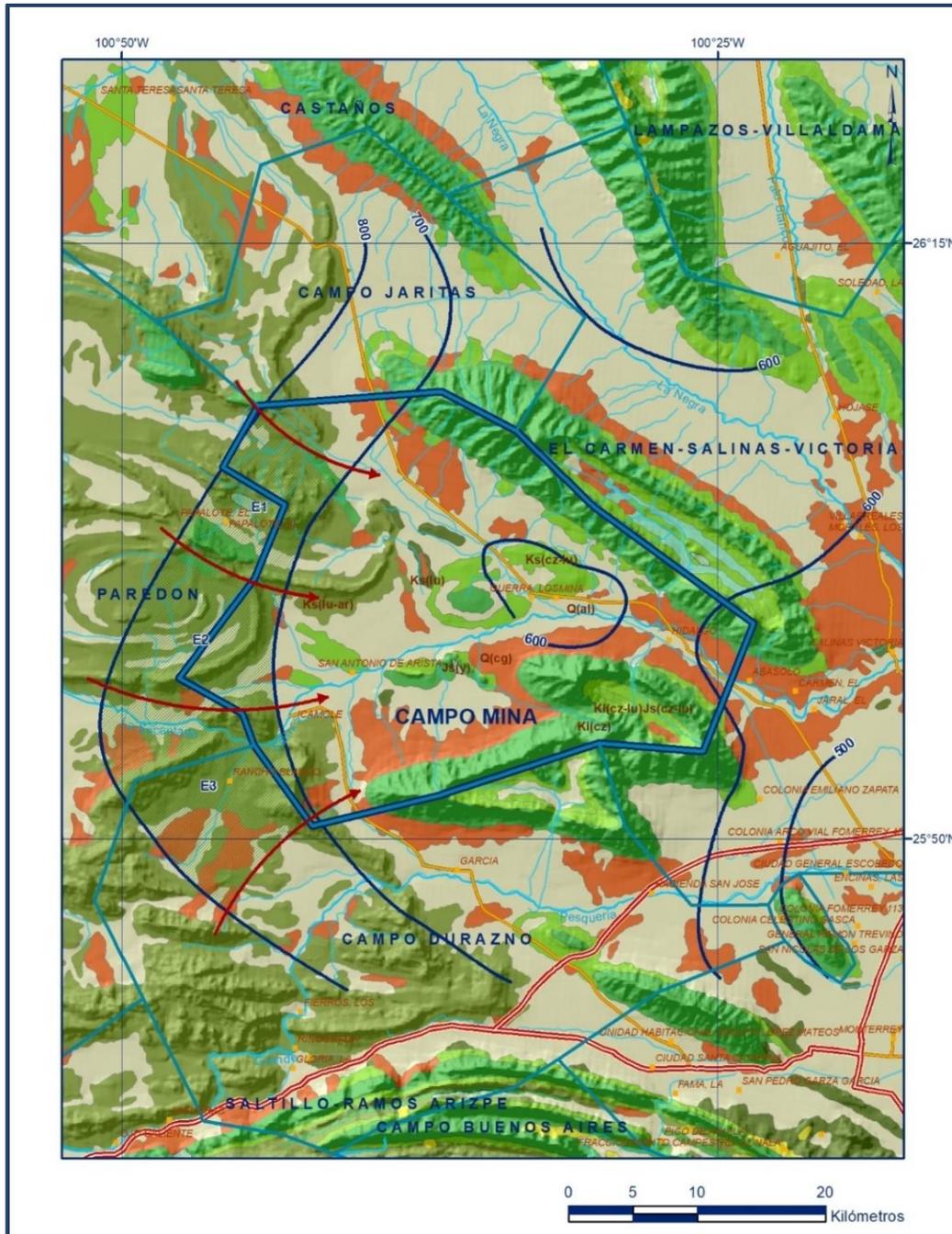


Figura 3. Elevación del nivel estático en msnm (1969)

5.4.3 Evolución del nivel estático

El comportamiento de los niveles piezométricos del acuífero Campo Mina se reporta parcialmente en el trabajo de 1990. Por tratarse de un acuífero en calizas es sensible a la recarga provocada por la precipitación pluvial, manifestando en general fluctuaciones muy fuertes. En lo que se considera una primera etapa, de 1958 a 1962, las recuperaciones de los niveles fueron semejantes a los abatimientos.

En este periodo el nivel estático osciló entre 605 msnm y 567 msnm, por lo que en términos generales se puede afirmar que no hubo una tendencia definida hacia los abatimientos o hacia recuperaciones, deduciéndose que el acuífero estaba en equilibrio

En otra etapa, de 1963 a 1982, según ese mismo estudio, se presentaron lluvias más abundantes, cuya recarga fue tal que se presentaron frecuentes derrames en los pozos, no obstante que la extracción conjunta se incrementó.

Posteriormente, otra etapa que llega a 1985 representa una condición crítica histórica en la operación del sistema, pues se registraron escasas lluvias que se reflejaron en un fuerte incremento en las extracciones, al punto de llegar a la sobreexplotación del acuífero. La causa fue la escasa disponibilidad del recurso en las demás fuentes de abasto, disminución que fue cubierta por el acuífero Campo Mina.

De 1986 a 1989, última fecha en que se reportan registros en el estudio de 1990, la producción media anual fue de 363 l/s, oscilando los niveles estáticos entre 613 y 492 msnm, que si se comparan con las altitudes de 604 y 560 msnm, registradas en el periodo 1959-1966, se aprecia una tendencia hacia los abatimientos; sin embargo, esta situación es temporal ya que durante los años posteriores a 1990 se han registrado recuperaciones en temporadas de lluvias.

Actualmente el aprovechamiento del acuífero se hace con mayor conocimiento de causa. Las extracciones están limitadas por una elevación mínima de los niveles piezométricos, de tal modo que sólo se bombea una parte del almacenamiento del acuífero, dando lugar a su recuperación en la temporada de lluvias. Dicha elevación mínima corresponde a la recarga promedio de muchos años de observación, por lo que se puede afirmar que el acuífero no se sobreexplota.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En 1967 se hicieron análisis físico químicos para 151 muestras de agua provenientes de acuíferos en calizas. Los resultados aseguran que se trata de agua de excelente calidad, adecuada para usos domésticos, o sea, agua potable, ya que cumplen con las normas establecidas por la SSA. La interpretación geoquímica de algunos índices analizados concordó razonablemente en cuanto a las direcciones del flujo subterráneo, determinadas por medios piezométricos.

El agua subterránea del Campo Mina, en concordancia con el medio que las contiene, o sean calizas, son de las familias cálcico bicarbonatada y/o sulfatada clorurada.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En la tabla 2, se reporta el comportamiento de los pozos de agua potable para la ciudad de Monterrey en cuanto a su producción media anual para distintos períodos.

Tabla 2. Comportamiento de pozos en el Campo Mina.

Periodo, años	Producción media anual en l/s	Niveles estáticos msnm	
		Máximo	Mínimo
1958-1962	386	605	567
1963-1968	517	605	562
1969-1974	865	618	578
1975-1982	1,234	608	479
1983-1985	599	505	480
1986-1989	363	613	492
1999	826		

A partir de 1999, la extracción media anual fue de 826 l/s que corresponden a 26.1 hm³ anuales en los pozos de Mina para uso público urbano, además de alrededor de 6 hm³ anuales para el uso agrícola y 3.1 M anuales por otros usos.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas en su forma más simple, está dado por la siguiente expresión:

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

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

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

O sea que intervienen entre los más importantes los siguientes conceptos: recarga natural, recarga inducida, flujo subterráneo horizontal como alimentaciones del acuífero; evaporación, descargas naturales, bombeo y flujo subterráneo horizontal como salidas del acuífero.

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga natural

En el campo de pozos Mina las entradas del acuífero son generadas por la lluvia, esto es, por infiltración local en áreas lejanas a las captaciones, recarga que una vez en el subsuelo, debe aportar una parte al campo citado. La recarga por lluvia es igual a 5.5 hm³ anuales, resultado de aplicar un coeficiente de infiltración del 4 % al volumen precipitado de 270 mm anuales en el área del valle de 510 km².

7.1.2 Recarga inducida

En la zona hay una pequeña recarga inducida por la agricultura, del orden de 0.6 hm³/año, que corresponden al 10 % del volumen utilizado para uso agrícola. En cuanto a la recarga inducida por pérdidas de agua potable y alcantarillado, se considera nula en el acuífero Campo Mina, ya que este fenómeno se lleva a cabo en el área urbana de la ciudad de Monterrey, fuera de la zona. También se está considerando una recarga inducida de 0.3 hm³/año correspondientes al 10 % de perdidas del volumen empleado para otros usos, lo que da un volumen de recarga inducida de 0.9 hm³/año.

7.1.3 Flujo subterráneo horizontal

Las características del acuífero son las de un acuífero continuo, confinado en su mayor parte y libre en las zonas de recarga, de buena permeabilidad, con una zona de recarga principal localizada en la Sierra Madre Oriental y hacia el norte, así como de otras zonas de recarga secundaria alejadas de la sierra.

Por flujo subterráneo horizontal, las entradas al acuífero fueron estimadas en 17.6 hm³/año, calculado con base en la configuración de la figura 3. En la tabla 3 se consigna el cálculo es este parámetro a través de celdas que se han señalado en dicha figura.

Tabla 3. Cálculo del flujo horizontal de entrada al acuífero.

Celda	Largo (B)	Ancho (L)	h ₁ -h ₂	Gradiente hidráulico	Transmisividad (T)	Caudal (Q)	Volumen
	(m)	(m)	(m)	(i)	m ² /s	m ³ /s	Mm ³ /año
C1	13,450	7,692	100	0.0130	0.0015	0.2623	8.29
C2	9,615	10,000	100	0.0100	0.0015	0.1442	4.57
C3	11,540	11,538	100	0.00867	0.0015	0.1500	4.74
Total:							17.6

7.2 Salidas

Las salidas habidas en el acuífero podrían ser de índole variable, por evapotranspiración, descargas subterráneas naturales y bombeo.

7.2.1 Evapotranspiración

En este acuífero no hay pérdidas por evapotranspiración, pues los niveles piezométricos están profundos, por lo que este fenómeno no puede ocurrir en la zona.

7.2.2 Descargas naturales

Las descargas naturales que pudieran presentarse son como aquellas reportadas entre 1967 a 1978, en una de las etapas de comportamiento de los niveles piezométricos, que se caracteriza por lluvias más abundantes, y cuya recarga fue tal que se presentaron frecuentes derrames en los pozos, rebasando inusualmente la capacidad de almacenamiento subterráneo.

Por supuesto, estas situaciones tienen muy pocas oportunidades de presentarse nuevamente, debido a la forma intensa en que se aprovecha el acuífero. Para efectos de balance de aguas subterráneas no se consideraron.

7.2.3 Bombeo

Las extracciones de los pozos del Campo Mina para suministro de agua potable a Monterrey es del orden de 26.1 hm³ anuales, además de 6 hm³ anuales de uso agrícola y alrededor de 3.1 hm³ anuales para otros usos, o sea un total de 35.2 hm³/año.

Por otro lado, según información asentada en el documento estadísticas del agua, la extracción total en este acuífero es del orden de 26 hm³ anuales, cifra un poco menor pero del mismo orden de magnitud que la reportada con anterioridad.

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

Las salidas por flujo subterráneo horizontal deben de ser muy limitadas debido al cono de abatimientos piezométricos que se puede observar en la figura No. 3, que intercepta la mayor parte del flujo que pudiera salir de la zona, por lo que las salidas subterráneas se consideran prácticamente nulas.

7.3 Cambio de Almacenamiento

El cambio de almacenamiento también es prácticamente nulo en la forma en que se está manejando el acuífero Campo Mina, pues después de un bombeo durante parte del año, prácticamente se recupera durante la temporada lluviosa, estadísticas que reporta el sistema de agua municipal. En la tabla 4, se presentan los valores resumidos del balance de aguas subterráneas.

Tabla 4. Balance de aguas subterráneas en el acuífero Campo Mina

Área total del acuífero				km ²	853
RECARGA					
Área de valle				km ²	510
Coeficiente				I_1	0.04
Precipitación				mm/año	270
Recarga natural por lluvia				hm ³ /año	5.5
Entradas horizontales				E_h	17.6
Total de recarga natural				hm ³ /año	23.1
Agrícola más otros agua subterránea				I_3	0.1
Retorno de riego, agua subterránea				hm ³ /año	0.9
Retorno total					0.9
RECARGA TOTAL				R_t	24.0
DESCARGA					
Salidas horizontales				S_h	hm ³ /año 0.0
Caudal base				Q_{base}	hm ³ /año 0.0
Evapotranspiración					hm ³ /año 0.0
Extracción total bruta					hm ³ /año 35.2
Agrícola					hm ³ /año 6.0
Público urbano (exportación a Monterrey)					hm ³ /año 26.1
Industrial					hm ³ /año
Otros					hm ³ /año 3.1
DESCARGA TOTAL					hm ³ /año 35.2
Minado				DA	hm ³ /año 0.0

8. 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:

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

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

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **24.0 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 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.

Este concepto comprende a la suma de los volúmenes de agua concesionada de los manantiales y del caudal base, comprometidos como agua superficial para diversos usos más las descargas subterráneas que se deben conservar sin afectar a otros acuíferos. Para este caso, su valor es de **DNC = 0.0 hm³ anuales**.

8.3 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 **31,074,886 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 de 2022**.

8.4 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 24.0 - 0.0 - 31.074886 \\ \text{DMA} &= -7.074886 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **7,074,886 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA.

Diario Oficial de la Federación. 5 de diciembre de 2001. Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.