

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CAMPO BUENOS AIRES (1907),
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	4
3. FISIOGRAFÍA.....	4
3.1 Provincia fisiográfica	4
3.2 Clima	5
3.3 Hidrografía.....	5
4. GEOLOGÍA.....	6
4.1. Estratigrafía	7
4.2 Geología estructural.....	12
4.3 Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA.....	13
5.1 Tipo de acuífero.....	13
5.2. Parámetros Hidráulicos.....	15
5.3. Piezometría.....	15
5.4 Comportamiento Hidráulico	15
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
8. DISPONIBILIDAD	18
8.1 Recarga total media anual (R)	19
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	19
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	19
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	20
9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	21

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”.

Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas. Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Campo Buenos Aires, definido con la clave 1907 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción oeste del estado de Nuevo León, entre los paralelos 25° 18' y 25° 41' de latitud norte y entre los meridianos 100° 12' y 100° 42' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 916 km². Limita al norte con el acuífero Campo Durazno, al noreste con Área Metropolitana de Monterrey, al este con Cañón del Huajuco, al sureste con Citrícola Norte, pertenecientes al estado de Nuevo León; al suroeste con Región Manzanera-Zapalanimé y al noreste con Saltillo-Ramos Arizpe, pertenecientes al estado de Coahuila (figura 1).

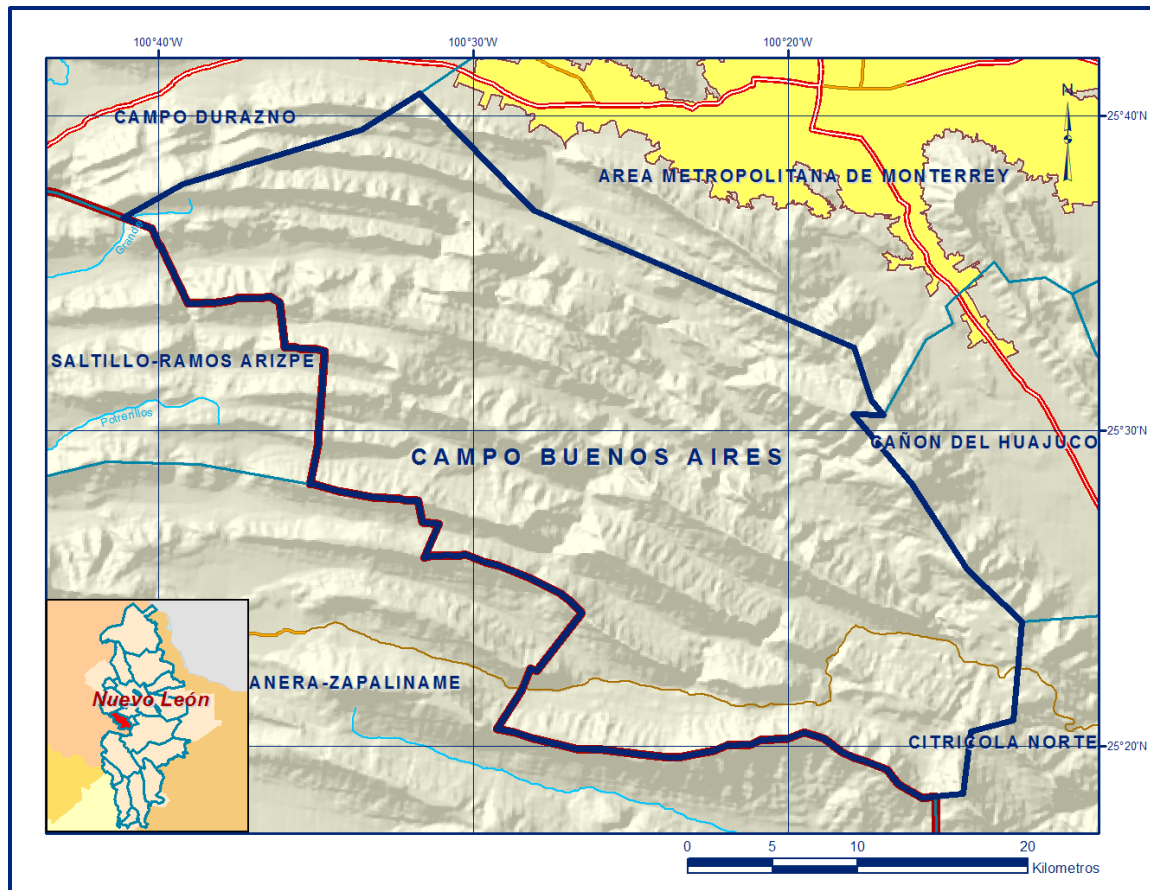


Figura 1. Localización del acuífero Campo Buenos Aires

El acuífero Campo Buenos Aires se localiza dentro del complejo montañoso de la Sierra Madre Oriental. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla No. 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan al acuífero

ACUÍFERO 1907 CAMPO BUENOS AIRES							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDO	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	39	14.5	25	37	50.9	
2	100	33	33.5	25	39	33.6	
3	100	31	42.4	25	40	43.7	
4	100	28	7.1	25	37	17	
5	100	17	54.9	25	32	38.2	
6	100	17	21.8	25	30	58.1	
7	100	16	59.0	25	30	29.9	
8	100	17	57.8	25	30	32.1	
9	100	16	5.3	25	28	19.0	
10	100	14	19.1	25	25	36.3	
11	100	12	36.2	25	23	56.7	
12	100	12	52.4	25	20	48.2	
13	100	14	13.0	25	20	27.7	
14	100	14	27.8	25	18	29.3	
15	100	15	21.0	25	18	23.5	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE ESTATAL
16	100	41	6.9	25	36	46.1	
1	100	39	14.5	25	37	50.9	

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero pertenece a la región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo y se encuentra sujeto a las disposiciones del decreto de veda tipo II “Ciudad de Monterrey”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 17 de julio de 1951, que en artículo segundo establece que “excepto cuando se trate de alumbramientos para usos domésticos, a partir de la fecha en que este decreto se publique en el Diario Oficial de la Federación, nadie podrá efectuar nuevos alumbramientos de aguas del subsuelo en la zona vedada, sin previo permiso escrito de la Autoridad del Agua, la que sólo lo expedirá en los casos en que de los estudios correspondientes se deduzca que no se causarán los daños que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse”. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. El principal usuario del agua subterránea del acuífero Campo Buenos Aires es el organismo operador Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, para abastecer de agua potable al área Metropolitana de Monterrey.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Ingenieros Consultores y Proyectistas –CIEPS- (1968). Estudio Geohidrológico de Acuíferos Regionales en Calizas, Zona Monterrey, SRH, CAPM.

Velázquez Aguirre, Tesis profesional (1985). En este estudio se analiza la dinámica del acuífero y determina la recarga mediante la fórmula propuesta por W. Knisel (1972). El área de recarga considerada es de 150 km².

PLANIMEX Ingenieros Consultores (1977) Abastecimiento de Agua al Área Metropolitana de Monterrey, SADM. En este estudio se analizan las constantes hidrológicas del acuífero Campo Buenos Aires y se elabora un modelo de simulación hidrodinámica.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El área se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental. Las características fisiográficas y geomorfológicas regionales del relieve, de marcados contrastes entre los altos montañosos de las serranías y cordilleras y las amplias planicies y valles, son el reflejo del patrón geológico-estructural, originado por plegamientos de compresión sufridos por las rocas sedimentarias de la región conformadas por series y unidades de gran espesor de lutitas, calizas y areniscas.

La región se caracteriza por la existencia de plegamientos de compresión muy pronunciados y continuos longitudinalmente, que constituyen las cordilleras y cadenas paralelas de las montañas formadoras de la Sierra Madre Oriental. Estas cadenas montañosas dispuestas en orientación noroeste-sureste, se extienden hacia el sur de Monterrey y sin interrupción estructural aparente, a la altura de esta ciudad, se flexionan en un arco perfectamente definido hacia Saltillo y al oeste de esta Ciudad con ejes continuos estructurales orientados de este a oeste. Estas cordilleras bordean los límites septentrionales de la fosa de Parras que delimitó la denominada Península de Coahuila.

3.2 Clima

En la zona se localizan cinco estaciones climatológicas. Sin embargo, sólo tres estaciones tienen registro por más de 20 años (tabla 2). Se considera que la estación Las Comitas, Santa Catarina es la más representativa, pues la información disponible abarca un período de 34 años.

Tabla 2. Información climatológica

Estación	Años	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
La Huasteca, Sta. Catarina	11	368.8	19.8
Agua Blanca, Sta. Catarina	23	607.4	13.8
La Cruz, Sta. Catarina	32	561.5	18.5
Las Comitas, Sta. Catarina	34	420.1	20.5
Ciénega de G., Santiago	4	614.0	

La precipitación media anual registrada en dicha estación para el periodo analizado es de 420 mm, en tanto que la temperatura media anual es de 20.5° C. La Temperatura Media Anual es de 19.4° C (Estación Huasteca). La precipitación media anual es de 347 mm (Estación Huasteca) con la siguiente distribución mensual. La evaporación potencial media anual es de 1846 mm (Estación Huasteca). Se presentan datos diferentes, entre la estación representativa y los repostados, en todo caso incluir los valores promedio resultantes de todas las estaciones o decidir si sólo se mencionan los de la estación representativa.

3.3 Hidrografía

El acuífero Campo Buenos Aires se encuentra en la Región Hidrológica No. 24, denominada Río Bravo; pertenece a la Subregión Bajo Río Bravo, Cuenca del Río San Juan y a la Subcuenca del Río Santa Catarina.

En cuanto a la infraestructura hidráulica, el sistema de captaciones en este acuífero incluye pozos profundos que aprovechan agua subterránea proveniente de fracturas en rocas calizas y túneles o galerías que captan agua tanto de rocas fracturadas como de depósitos aluviales (tabla 3).

Tabla 3. Información de la infraestructura hidráulica

Año de construcción	Aprovechamiento	Conducción
1950 – 1954	Galería de infiltración Huasteca	Tiene una longitud de 165 m y diámetro de 2.44 m localizada a 24 m bajo la superficie.
1950 – 1954	Túnel Huasteca	Obra complementaria a la Galería Huasteca de 3 m de diámetro y 2400 m de longitud
1950 – 1954		Acueducto Huasteca – Monterrey, de concreto reforzado de 120 cm (48") de diámetro y 10.5 km de longitud.
1954 – 1956	Galería Morteros	Ubicada en el mismo río a 5 km aguas arriba de la Galería Huasteca. Conectada a la lumbrera L2 de Galería Huasteca mediante acueducto de concreto de 76 cm (36") de diámetro y 2800 m de longitud.
1962 - 1963	Túnel Huasteca	Continuación de la galería y túnel Huasteca, con longitud de 1170 m y diámetro de 1.8 m.
1968 - 1972	13 pozos	Red hidráulica de interconexión de asbesto – cemento de 25.4 cm (10"); 76.2 cm (30") de diámetro, con longitud total de 13.19 km. instalación de 12.5 km de línea eléctrica.
1973 - 1976	24 pozos	Se instalaron 6.86 km de red hidráulica, 10.3 km de línea eléctrica y equipamiento electromecánico de 7 pozos.
		Construcción de 2 acueductos: 1). - Acueducto San Pedro – Valle, de concreto reforzado de 91.6 cm (36") de diámetro y longitud de 12.58 km. 2). - Acueducto Santa Catarina, de concreto de 12.2 cm (48") de diámetro y longitud de 2.57 km.
1981	3 pozos	

4. GEOLOGÍA

Las unidades litoestratigráficas presentes en el área se pueden agrupar en tres grandes conjuntos: el primero de ellos se caracteriza por depósitos marinos de influencia calcárea con un alcance estratigráfico desde el Jurásico Superior hasta la parte basal del Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano); el segundo, de naturaleza marina más bien clástica alcanza hasta el Paleoceno; y el tercero corresponde a depósitos de naturaleza continental de edad Terciaria y Cuaternaria (Figura No. 2).

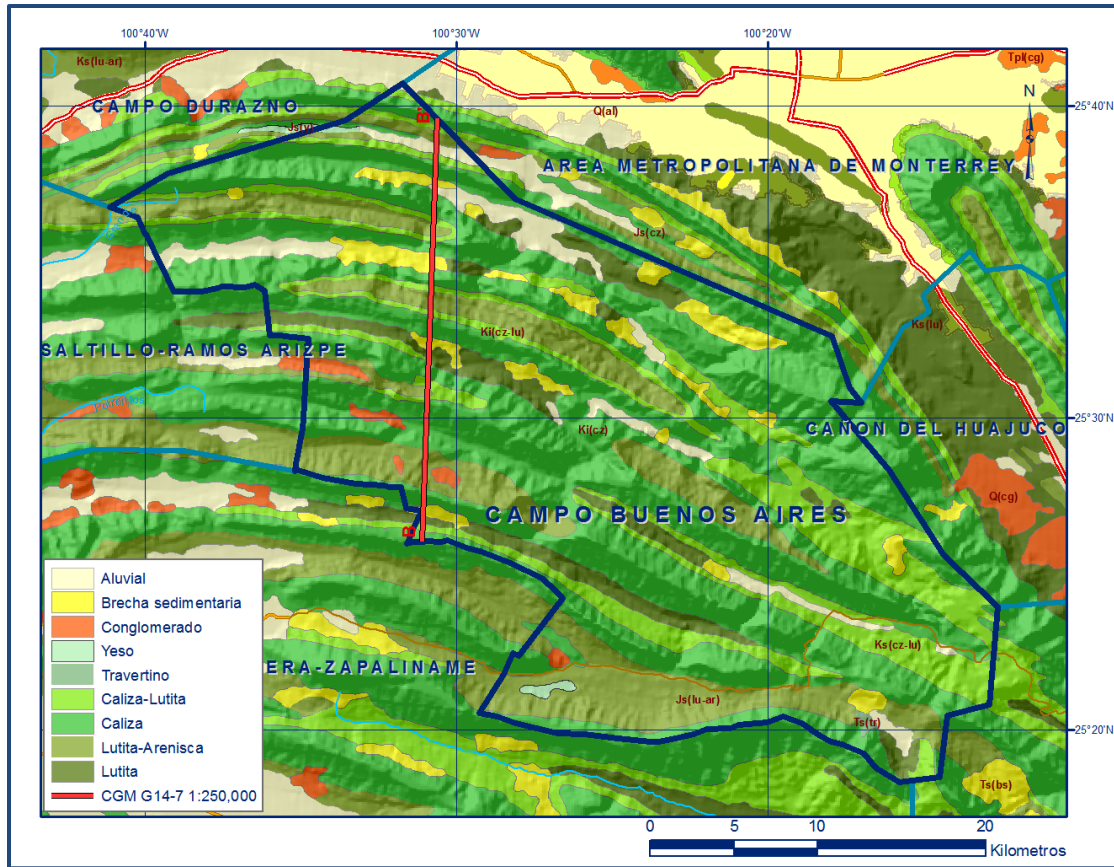


Figura 2. Geología general del acuífero

El primer conjunto se encuentra formando las sierras, en tanto que el segundo se distribuye preferencialmente en las partes bajas formando los valles. Tanto la naturaleza de las rocas que constituyen estas secuencias, como su ubicación relativa en la columna estratigráfica, podrían explicar las diferencias en los estilos de deformación. Los depósitos continentales corresponden a unidades pobremente consolidadas constituidas principalmente por gravas, arenas y arcillas formando abanicos aluviales y cubriendo en las partes bajas a los depósitos marinos mesozoicos de manera discordante.

4.1. Estratigrafía

Jurásico Superior

Serie Sabinense: es una unidad cronoestratigráfica propuesta por Humprey y Díaz que abarca el Calloviense al Portlandiense y que incluye a los grupos Zuloaga y Casita. Estas unidades litoestratigráficas definen una secuencia evaporítico-calcárea en la base y clástico-calcárea hacia la cima e indica que fueron desarrolladas en facies lagunares, costeras y extralitorales, dentro de ambientes marinos y de transición.

Grupo Zuloaga: dentro del área únicamente se presentan las “Calizas Zuloaga” y los “Yesos Minas Viejas”. La Formación Minas Viejas es la unidad basal y se compone principalmente de anhidritas con pequeñas intercalaciones de lutitas calcáreas, areniscas y calizas arcillosas, subyace a la Formación Zuloaga en un contacto gradual. Se desconoce la base de esta Formación y su espesor se estima en unos cientos de metros; se le encuentra aflorando en el núcleo de la sierra de Minas Viejas, Potrero Chico, Potrero de García y en la parte frontal de la Sierra Madre Oriental en la Sierra de los muertos. Grupo La Casita: en la zona se encuentra únicamente la Formación La Casita y su afloramiento se restringe a las áreas correspondientes a los anticlinales erosionados.

Litológicamente y en forma general está compuesta de calizas arcillosas en la base, pasando a lutitas carbonosas en la porción media con alternancia de limolitas arcillosas y hacia la cima presenta areniscas y calizas arenosas. El contenido clástico disminuye hacia el N-NW del área presentándose más calcárea con abundancia de lutitas carbonosas. Su espesor varía de 500 a 900 metros.

Cretácico Inferior

El Cretácico Inferior ha sido dividido en las series Coahuila y Comanche. Los sedimentos incluidos en la serie Coahuila varían de depósitos terrígenos hasta calizas y dolomías. Los sedimentos de la serie Comanche están formados preferentemente de calizas y en menor porción margas y lutitas.

En la mayoría de las secciones dentro del área considerada en el presente estudio se tienen únicamente las formaciones Cupido y Tamaulipas Inferior. La Formación Cupido representa las facies sedimentarias de un complejo carbonatado depositado en áreas someras. Se ha dividido en seis miembros que corresponden a seis facies lateralmente coexistentes, el orden mostrado enseguida es el que presentan comúnmente en una sección vertical:

- I. Facies pelágicas o de cuenca. (unidad basal)
- II. Facies pre-arrecife y talud
- III. Facies arrecifal
- IV. Facies de post-arrecife someras
- V. Facies infranerítica y de marea
- VI. Facies lagunares predominantemente evaporítica.

En el área se encuentran expuestas las facies pre-arrecifales y arrecifales. La facie pre-arrecifal consiste en capas de caliza gruesas a muy gruesas, bioclásticas y litoclásticas cuya textura varía de wackestone a grainstone.

Este conjunto de litofacies es interpretado por Conklin como depósitos de talud derivados de un arrecife. La facies arrecifal es un depósito muy masivo bien expuesto en el cañón de Bustamante, Potrero Chico, Potrero de García, Potrero de Minas Viejas y en el Cañón de la Huasteca. Se caracteriza por su potencia de estratos que produce formas resistentes a la erosión y escarpes verticales. Esta unidad se encuentra altamente fracturada y parcialmente dolomitizada.

Serie Comanche. Es una unidad cronoestratigráfica que abarca desde el Aptense Superior al Cenomanense Inferior y que incluye a los sedimentos depositados en sus diferentes litofacies, definidas por la presencia de dos plataformas someras de sedimentación. Para su estudio se ha dividido en tres unidades litoestratigráficas: Grupo Trinity, Grupo Fredericksburg y Grupo Washita.

Esta subdivisión estándar es aplicable sobre la porción norte del Estado de Coahuila y Sur de Texas. Hacia el Sur, sin embargo, en el Noroeste de México los dos primeros Grupos son generalmente irreconocibles, así estas unidades son referidas como Caliza Aurora, que abarca desde el Trinity Superior hasta el Washita Inferior.

Grupo Trinity. En este grupo se incluyen a la Formación La Peña, Aurora Inferior, Gleen Rose y otras. En el área se encuentran únicamente las formaciones La Peña y Aurora Inferior.

La Formación La Peña consiste generalmente de margas grises que intemperizan a rosa y rojizo y lutitas limosas altamente calcáreas, interestratificadas con calizas arcillosas de estratificación delgada a media con cantidades subordinadas de lutitas laminares y pequeños lentes de pedernal negro. La formación exhibe cambios laterales de litología pasando a caliza terrígena suave y hacia el oriente del área pasa lateralmente a lutitas negras y calizas delgadas como en las sierras de Sabinas, Lampazos y Picachos.

La Formación La Peña varía en espesor de 15 a 150 m y tiene un promedio de 30 m. En las sierras del Fraile y de Minas Viejas su espesor es de 20 a 30 m.

Grupo Trinity y Fredericksburg. En el área la caliza Aurora abarca estos dos grupos: el término “Caliza Aurora” es usado informalmente para designar a todos los tipos de roca carbonatada en el noreste de México entre las formaciones La Peña y Cuesta del Cura o su equivalente dentro del Grupo Washita.

En la porción Occidental del área; la Caliza Aurora se desarrolla como una secuencia monótona de calizas grises de textura fina, densa, con rudistas, de estratificación gruesa y con un espesor que varía de 250 a 350 m en las sierras de El Fraile, Minas Viejas, etc.

Grupo Washita. Esta unidad litoestratigráfica corresponde a la porción más superior de la serie Comanche de Texas y el Norte de México e incluye a las rocas del Albense Superior y Cenomanense Inferior. Los sedimentos representan depósitos de mares poco profundos y carbonatos extralitorales. Agrupa las formaciones Cuesta del Cura, Georgetown, Del Río y Buda. En la Sierra Madre Oriental y en la porción sur de las sierras Tamaulipecas, los equivalentes Washita son unas facies ampliamente distribuidas y se denomina Formación Cuesta del Cura.

La Formación Cuesta del Cura, consiste principalmente de calizas grises y negras, de estratificación delgada con escasas intercalaciones de lutitas negras. Las calizas presentan bandas y pequeñas capas alternantes de pedernal negro; por otro lado, su principal característica lo constituye la ondulación de sus planos de estratificación; así mismo, es notable su incompetencia estructural, ya que se encuentra altamente plegada, siendo los ejes de estos pliegues normales y oblicuos al buzamiento de la estructura regional. Se observa también un alto índice de fracturamiento, a simple vista sin dirección predominante. El espesor de la Formación Cuesta del Cura varía de 40 a 300 m. En las sierras de El Fraile y Minas Viejas, su espesor es de 100 m.

Cretácico Superior

El inicio del Cretácico Superior se caracteriza por un cambio en el patrón sedimentológico, representado por una litología predominantemente arcillo-arenosa, la cual contrasta con las unidades calcáreas pertenecientes al Cretácico Inferior. Serie del Golfo: es una unidad cronoestratigráfica que abarca desde el Cenomanense Superior al Maestrichtense que incluye a los sedimentos agrupados en las siguientes unidades litoestratigráficas: Grupo Eagle Ford, Grupo Austin, Grupo Taylor y Grupo Navarro.

Grupo Eagle Ford. Dentro de la cuenca sedimentario-mesozoica, se depositan en la porción occidental la Formación Indidura y hacia el oriente la Formación Agua Nueva.

Formaciones Agua Nueva e Indidura. La Formación Agua Nueva está constituida por capas de caliza de color gris oscuro y negro, parcialmente arcillosas que alternan con lutita laminada de color gris oscuro, a veces bituminosas ó carbonosas.

La Formación Indidura en su porción inferior se compone de lutitas calcáreas color gris laminadas y calizas en capas delgadas con intercalaciones de lutitas.

La Formación Eagle Ford es la más extensa distribuida en el área y se localiza principalmente en toda la porción norte, constituyendo las partes bajas de las sierras en los flancos de las mismas.

Litológicamente está constituida de capas delgadas de lutitas interestratificadas con calizas arcillo arenosas. Es común observar pequeñas fracturas rellenas de yeso y abundantes nódulos de pirita. El espesor es de alrededor de 60 m.

Grupo Austin. Las formaciones San Felipe, Parras y Austin integran esta unidad litoestratigráfica.

Formación San Felipe. Está constituida por una serie de calizas compactas, delgadas, en parte arcillosas, con buena estratificación, de colores gris claro, verde ó marrón. Su espesor máximo medio es de 550 m.

Formación Parras. Principalmente se compone de lutitas marrón a gris oscuro y negras, carbonosas, yesíferas con intercalaciones delgadas de lutitas negras densas y lutitas pulverulentas tobáceas. Su espesor alcanza los 1000 m y se localiza aflorando hacia la porción occidental y sur occidental del área.

Formación Austin. En su parte inferior consiste de caliza crema blanca, de estratificación delgada y textura fina; hacia la parte superior presenta calizas cretosas, margas y limolitas calcáreas. Su distribución es muy amplia en el norte del área, está expuesta en las partes bajas de las sierras.

Grupos Taylor y Navarro. Los equivalentes de fines del Cretácico Superior en el noreste de México, se encuentran incluidos en los grupos combinados Taylor y Navarro y las diferentes facies litológicas son conocidas como Lutita Méndez, Formación Difunta y en la cuenca de Sabinas Arcilla Upson, Formación San Miguel, Formación Olmos y Formación Escondido, en orden descendente. Al sur y este la Formación Méndez, que consiste de una secuencia arcillosa altamente calcárea de gran espesor, pasa rápidamente al oeste a una secuencia extremadamente gruesa de areniscas, conglomerados, calizas conglomeráticas, lutitas arenosas y lutitas que constituyen la Formación Difunta.

Cuaternario

Los depósitos de este período corresponden a material clástico de origen continental y se clasifican como depósitos de talud, sedimentos aluviales y fluviales. Los depósitos de talud corresponden a gravas y arenas en forma de abanicos aluviales al pie de las sierras. Hacia el centro de los valles los materiales se van haciendo más finos, constituyendo los depósitos aluviales formados por limos, arcillas y arenas finas.

4.2 Geología estructural

La Sierra Madre Oriental y las zonas adyacentes están constituidas principalmente por rocas sedimentarias mesozoicas que se depositaron y evolucionaron sobre un basamento paleozoico y precámbrico. La sierra constituye una faja montañosa orogénica que sigue, en su segmento sur, una trayectoria general noroeste-sureste y, a la altura de Monterrey, se flexiona para seguir una trayectoria este-oeste hacia Torreón. La Sierra Madre está compuesta de estrechos pliegues con una orientación que sigue el rumbo general de la Sierra. Rumbo a la Mesa del Centro los valles son más amplios, las sierras anticlinales menos estrechas, y hacia el occidente son cubiertos paulatinamente por las rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental.

Los pliegues y fallas de la Curvatura de Monterrey varían bastante en forma y tamaño. Estos constituyen la cadena alta de la Sierra Madre Oriental y contrastan notablemente con los pliegues del extremo sur del golfo de Sabinas, con los pliegues de la parte oriental de la Cuenca de Parras y con las tierras bajas de la Planicie Costera del golfo.

Los pliegues de la Curvatura de Monterrey pueden ser divididos en cinco grandes áreas de diferente estilo de plegamiento:

- a) área norte, de pliegues simétricos, apretados, casi siempre arqueados, cuyos planos axiales son casi verticales;
- b) área sur, de pliegues arqueados y elongados, simétricos y asimétricos, la mayoría de ellos recostada, con planos axiales que buzcan de 85 a 60° hacia el sur y suroeste,
- c) área de basamento somero, de largos pliegues casi simétricos y de gran amplitud, que contiene numerosos pliegues secundarios, apretados, simétricos; d) área de vergencia opuesta, de pliegues apretados, elongados, asimétricos, recostados y cuyos planos axiales buzcan aproximadamente 50° al noreste, y el área del anticlinal de La Silla, estructura completamente diferente de las anteriormente descritas, ya que es simétrica en sus extremos y asimétrica, afallada y recostada en su parte central.

4.3 Geología del subsuelo

En la zona de Monterrey, en la parte más grande de la sierra, existen complejos arrecifales que contienen permeabilidad primaria, la cual aumenta por el fracturamiento y forma zonas altamente permeables. Las elevaciones más altas representan las zonas de recarga y en las más bajas se localizan los acuíferos. Los anticlinales que forman los cerros de esta región tienen fuertes pendientes, con flancos inclinados y estratos escarpados que favorecen la porosidad primaria y la secundaria, lo que permite el desarrollo de acuíferos de gran potencial. Sobre los flancos y anticlinales con nariz buzante de estas estructuras el agua se encuentra a una profundidad aproximada de 1,000 m y bajo condiciones artesianas. Este tipo de acuífero es principalmente explotado en la zona de Monterrey-Saltillo, donde la abundante producción satisface las necesidades de Monterrey.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

En la cuenca alta del río Santa Catarina se observa la presencia de afloramientos de rocas de edad Cretácica y Jurásica en las partes altas. La estratigrafía de las formaciones que se encuentran en el sistema de producción del acuífero Campo Buenos Aires, son rocas sedimentarias marinas cuyas características hidráulicas propician las condiciones para la existencia de 3 principales unidades acuíferas:

Unidades acuíferas del Cretácico. - Es el acuífero más importante en producción, está conformado por las calizas de las formaciones Cupido, Aurora y Cuesta del Cura, del Cretácico Inferior.

Estas se encuentran confinadas por rocas impermeables del Cretácico Superior, por la Formación Indidura que cubre conjuntamente con el aluvión de la edad reciente los horizontes superficiales del acuífero y, por otra parte, se encuentra sobrepuesto a las rocas impermeables de la Formación Taraises de edad Cretácico Inferior y La Casita de edad jurásica.

Este acuífero se explota mediante veintidós pozos profundos productores, ubicados a lo largo del Cañón La Huasteca.

Unidad acuífera en el Aluvión. - Está conformado por gravas y arenas depositadas en los valles que forman los lechos de las corrientes del Río Santa Catarina. Esta unidad se aprovecha mediante las galerías Huasteca y Morteros, que captan el agua y la conducen por gravedad hasta el tanque Obispado, además, se explota mediante pozos someros.

Unidad acuífera del Jurásico. - Localizado en el núcleo de los anticlinales erosionados cuyos afloramientos son de las calizas de la Formación Zuloaga y cuyas características geohidrológicas manifiestan una interrelación con el aluvión. Esta unidad acuífera se explota mediante los pozos número 25, 28, 33 y 39, cuyas cotas de brocal varían de 721 a 747 msnm.

La recarga de este sistema de aprovechamientos se manifiesta en forma escalonada debido a que los acuíferos se encuentran interconectados por el contacto de sus formaciones y que hacen que los niveles del agua tengan una dinámica que por una parte se ha observado una recuperación gradual a causa de la recarga y además una sensible influencia de cada acuífero por la explotación y abatimiento del que se localiza aguas arriba.

La anterior característica de operación de este sistema, representa una dificultad en la estimación de su comportamiento.

La cuenca tributaria del sistema hidrológico del Río Santa Catarina hasta la Galería Huasteca, tiene un área de 1120 km², la cual se compone en dos zonas de recarga; primeramente, se tienen 450 km² de afloramientos de las formaciones productoras Cupido y Aurora y el resto de la cuenca, corresponde al área de infiltración para los acuíferos de aluvión y del Jurásico.

Estudios geohidrológicos para la cuantificación de la recarga con base en la lámina de lluvia, han determinado que el área de calizas acuíferas que afloran en las partes altas y que constituyen las zonas de alimentación y recarga, funcionando como un acuífero libre de captación, tiene un área estimada de 450 km² y que la infiltración del agua de lluvia se conduce a la porción donde las calizas se encuentran confinadas por la formación impermeables superiores e inferiores formando el acuífero a presión del Campo Buenos Aires. La estimación de la lámina de recarga en función de la precipitación se determina con la fórmula de Knisel (1972).

Por otra parte, los registros de los niveles estáticos del acuífero tienen una correlación con la extracción y la fluctuación de la recarga.

5.2. Parámetros Hidráulicos

Los estudios realizados en este acuífero no aportan valores concretos de transmisividad, sólo en el estudio de CIEPS, estima un valor de $T = 1.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (155 m²/día).

5.3. Piezometría

Para estudiar el comportamiento del acuífero, se ha dividido en subsistemas cuyas elevaciones medias piezométricas medidas entre 1981 y 1987, son las mostradas en la tabla 4.

5.4 Comportamiento Hidráulico

El sistema Buenos Aires es el principal aportador de aguas subterráneas para el Área Metropolitana de Monterrey; sin embargo, al parecer la perforación y explotación de nuevos pozos no ha aumentado la disponibilidad total de agua subterránea en el cañón de La Huasteca, sino que prácticamente se sustituyó la descarga del sistema de galerías que era por gravedad, por el bombeo de pozos.

Tabla 4. Elevaciones piezométricas medidas entre 1981 y 1987

Subsistema	Aprovechamiento	Elevación del Nivel Estático (msnm)
1	Pozos 1, 2, 4, 5, 6, 14 y 35	710 ± 50
2	8, 10, 12, 17, 18, 30, 38 y 29	780 ± 40
3	25, 28, 33 y 39	650 ± 20
4	13, 19, 26 y 27	920 ± 10
5	Galerías	Abatidas

La tabla 5 consigna los valores medios anuales de extracción de las galerías Huasteca y del sistema de pozos Buenos Aires:

Tabla 5. Extracciones medias (lps)

Año	Campo de pozos Buenos Aires	Galerías Huasteca	Total
1974	500	2114	2614
1975	975	1605	2580
1976	1592	1047	2639
1977	1326	1705	3031
1978	1434	1642	3076
1979	1470	1458	2928
1980	1721	258	1979
1981	1965	27	1992
1982	1978		1978

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua del acuífero Campo Buenos Aires es bicarbonatada cálcica-magnesiana, esto debido a que se trata de aprovechamientos emplazados en fracturamiento de rocas calizas.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En el campo de pozos Buenos Aires fueron perforados 42 pozos profundos, todos ellos para uso público urbano, para abastecer al Área Metropolitana de Monterrey.

El volumen de extracción ha sido muy variable a través de la historia de la explotación de este acuífero, como se puede observar en la tabla 6. En la tabla 7 se presentan los datos de operación del campo de pozos Buenos Aires para 1999.

Tabla 6. Extracciones medias (lps)

	Producción mensual (lps)			Período
Aprovechamiento	Media	Máxima	Mínima	
Galerías y túneles	904	3000	0	1954 – 1989
Pozos	1101	2349	0	1968 – 1989
Total	1577	3574	566	1954 – 1989

Tabla 7. Datos de operación del campo de pozos Buenos Aires de fecha 27 de diciembre de 1999

Pozo Buenos Aires No.	Profundidad al n. e. (m)	Profundidad al n.d. (m)	Caudal (lps)
1		100.55	84
2		SD	117
4		95.57	114
5		116.04	79
5 bis	SD		
6		98.00	103
14	32.15		77
35	43.15		
8		SD	190
10		74.32	124
12		SD	33
17		SD	24
18		114.15	86
30		26.00	180
Pozo 4 Galería		29.72	46
25		64.2	217
28		89.59	98
33		141.41	43
39		65.2	115
13	22.91		46
19	13.21		210
19 bis	14.81		
26	39.65		
27	47.16		
36	45.00		

En el año de 1999 se inició la perforación de 1 pozo más, (Pozo 19 bis) con el objeto de contar con cámaras de bombeo de mayor profundidad.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Recarga natural

Para la estimación de la recarga natural, en su Tesis El Ing. Luis Velázquez Aguirre utiliza la fórmula propuesta por W. Kniesel, donde la recarga está expresada como una función de la precipitación:

$$R = 122.61 p^2 - 5843 + p^2$$

R (mm), Lámina de recarga.

P (mm) precipitación efectiva (mayor que 6.5 mm/día)

Para el acuífero Campo Buenos Aires se analizaron los datos de precipitación efectiva en el período 1966 – 1982. Tomando únicamente los meses con precipitación efectiva en el período y obteniendo su lámina de recarga promedio, así como su probabilidad de ocurrencia, resulta que la lámina de recarga promedio anual esperada es de 229.5 mm que equivale a un volumen de recarga de $57.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ (1807 lps).

El uso de una fórmula empírica se debe a que la recarga de este sistema de aprovechamientos se manifiesta en forma escalonada ya que los acuíferos se encuentran interconectados por el contacto de sus formaciones y que hacen que los niveles del agua tengan una dinámica que por una parte se ha observado una recuperación gradual a causa de la recarga y además una sensible influencia de cada acuífero por la explotación y abatimiento del que se localiza aguas arriba. La anterior característica de operación de este sistema, representa una dificultad en la estimación de su comportamiento.

Estudios geohidrológicos para la cuantificación de la recarga con base en la lámina de lluvia, han determinado que el área de calizas acuíferas que afloran en las partes altas y que constituyen las zonas de alimentación y recarga, funcionando como un acuífero libre de captación, tiene un área estimada de 450 km^2 y que la infiltración del agua de lluvia se conduce a la porción donde las calizas se encuentran confinadas por la formación impermeables superiores e inferiores formando el acuífero a presión del Campo Buenos Aires. La estimación de la lámina de recarga en función de la precipitación se determina con la fórmula de Knisel (1972).

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 **57.0 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. Para el acuífero Campo Buenos Aires la descarga natural comprometida se considera **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 **62,907,758 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 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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 57.0 - 0.0 - 62.907758 \\ \text{DMA} &= -5.907758 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **5,907,758 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Ingenieros Consultores y Proyectistas (CIEPS). 1968: Estudio Geohidrológico de Acuíferos Regionales en Calizas, Zona Monterrey, SRH, CAPM.