

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CITRÍCOLA SUR (1914), 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.....	5
3.1 Provincias fisiográficas.....	5
3.2 Clima	5
3.3 Hidrografía.....	5
3.4 Geomorfología.....	6
4. GEOLOGÍA.....	6
4.1 Estratigrafía.....	7
4.2 Geología estructural	13
4.3 Geología del subsuelo.....	14
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos	16
5.3 Piezometría.....	17
5.4 Comportamiento hidráulico.....	17
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	17
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	18
5.4.3 Evolución del nivel estático	18
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS.....	20
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
7.1 Entradas.....	20
7.2 Salidas	21
7.3 Cambio de almacenamiento.....	21
8. DISPONIBILIDAD	22
8.1 Recarga total media anual (R).....	22
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	22
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	23
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	23
9. BIBLIOGRAFÍA	24

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 Citrícola Sur, definido con la clave 1914 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur del estado de Nuevo León, en el límite con el estado de Tamaulipas, entre los paralelos 24° 32' y 24° 55' de latitud norte y entre los meridianos 99° 04' y 100° 14' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 4,172 km². Limita al noroeste con el acuífero Citrícola Norte, al oeste con Navidad-Potosí-Raíces, al suroeste con Soto la Marina, pertenecientes al estado de Nuevo León; al noreste con Méndez-San Fernando y San Carlos, y al sureste con Hidalgo-Villagrán, pertenecientes al estado de Tamaulipas (figura 1).

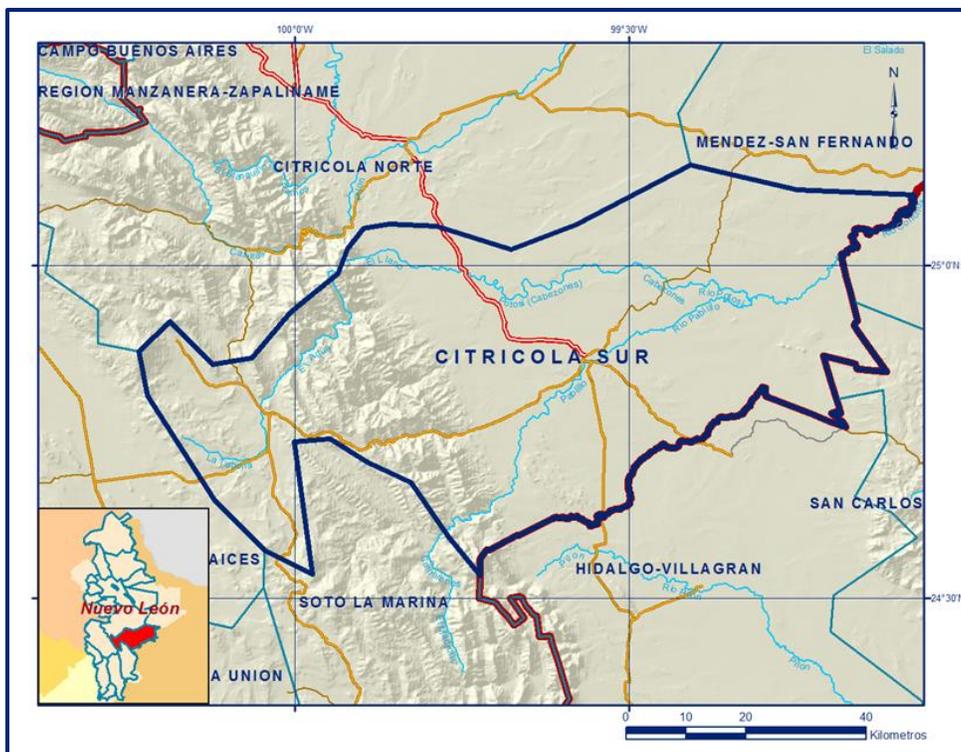


Figura 1. Localización del acuífero

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 1914 CITRICOLA SUR							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	4	21.4	25	6	19.6	DE 1 A 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	99	9	53.4	24	56	47.4	DE 2 A 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	99	11	19.1	24	47	55.2	DE 3 A 4 POR EL LIMITE ESTATAL
4	99	43	21.0	24	32	4.2	
5	99	46	10.4	24	35	35.4	
6	99	49	34.3	24	40	27.6	
7	99	53	30.1	24	42	17.0	
8	99	56	49.1	24	44	22.6	
9	100	0	3.1	24	44	6.4	
10	99	58	22.4	24	32	10.8	
11	100	2	42.7	24	34	19.4	
12	100	7	15.5	24	38	57.5	
13	100	13	12.0	24	48	13.5	
14	100	13	59.5	24	52	16.4	
15	100	11	11.4	24	54	57.7	
16	100	7	22.2	24	51	3.7	
17	100	3	49.2	24	51	39.4	
18	100	0	20.5	24	55	47.3	
19	99	56	7.3	24	59	16.8	
20	99	55	13.0	25	1	28.0	
21	99	53	47.7	25	3	17.4	
22	99	51	28.1	25	3	42.1	
23	99	47	16.4	25	3	32.8	
24	99	40	35.1	25	1	27.1	
25	99	34	43.1	25	3	36.9	
26	99	24	26.6	25	9	0.0	
27	99	14	50.6	25	6	46.4	
1	99	4	21.4	25	6	19.6	

El polígono del acuífero comprende los Municipios de Linares, Hualahuises y Galeana, y una pequeña parte de los Municipios de Montemorelos e Iturbide. Los límites geográficos del acuífero son: al norte La Mesa Alta El Ebano; al sur y oriente el límite estatal con el Estado de Tamaulipas; al poniente las estribaciones de la Sierra Madre Oriental. Dentro de la zona que ocupa el acuífero se encuentran las siguientes poblaciones importantes: Linares, Hualahuises y Galeana.

1.2 Situación administrativa del acuífero

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1; y se encuentra en zona de libre alumbramiento de conformidad con el párrafo V del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Los estudios previos con que se cuentan en los archivos de esta Comisión Nacional del Agua, se describen a continuación:

La empresa Servicios Geológicos (1981) realizó un estudio titulado “Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona Citrícola de Nuevo León”, el cual cubrió tanto la zona del acuífero Citrícola Norte como del acuífero Citrícola Sur. La elaboración del presente documento se base principalmente en los resultados de este estudio, debido a que comprendió toda la zona del acuífero de interés. La Residencia General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos-Unidad de Aguas Subterráneas del Estado de Nuevo León, realizó una serie de piezometrías en los años de 1986 y 1987.

Para el año de 1981, dada la creciente demanda de agua potable, en el área metropolitana de Monterrey, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Dirección General de Captaciones y Conducciones, llevó a cabo el estudio “Acueducto Monterrey-Linares, Prospección Geofísica” por medio de la empresa *Consultores en Agua Subterránea, S.A.* El área estudiada, se ubica en la porción centro-occidental del estado de Nuevo León, que contempla los municipios de Monterrey, Villa Juárez, Cadereyta y General Terán, con una extensión aproximada de 4,000 km².

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincias fisiográficas

La zona en donde se encuentra el acuífero Citrícola Sur se localiza en la parte occidental de la Provincia Fisiográfica Planicie Costera del Golfo de México, próxima a la Subprovincia de Sierra Altas, perteneciente a la Provincia Sierra Madre Oriental (SMO), (Raisz, 1964).

Las Sierras Altas se caracterizan por la presencia de una compleja cadena montañosa, conformada por rocas sedimentarias marinas del Jurásico Superior y Cretácico, que dan forma a estructuras anticlinales y sinclinales recostadas, con orientación NNW-SSE y presentan elevaciones máximas de 2200 msnm. Hacia el oriente existe un acantilado, frente al cual se extiende la Llanura de Linares-Montemorelos.

La Llanura de Linares-Montemorelos se encuentra dentro de la Planicie Costera del Golfo de México, en ella se extiende el acuífero. Guarda una orientación regional SW-NE con elevaciones del terreno que varían entre 500 y 200 msnm disminuyendo desde la parte suroeste hacia el noreste.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Thornthwaite el clima en la región es seco, sin estación bien definida, cálido con invierno benigno y temperaturas medias anuales de 21° C, siendo los meses de diciembre, enero y febrero los que experimentan las mínimas temperaturas que en ocasiones descienden a 10° C bajo cero. Por otra parte, las temperaturas máximas se presentan en los meses de junio, julio y agosto y alcanzan hasta 45° C. La temperatura de lluvia comprende los meses de mayo a octubre, siendo los meses de agosto, septiembre y octubre en que se registran las máximas precipitaciones. El régimen pluvial medio anual es de 770 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero Citrícola Sur, se encuentra dentro de la Región Hidrológica del Río San Fernando-Soto La Marina (RH-25), Cuenca del Río San Fernando. Las corrientes principales de la zona son el Río Pablillo que recoge los escurrimientos de la porción central, a través de su principal afluente el Río Anegado y, el Cabezones y Hualahuises que drenan la porción norte y que se unen al Pablillo en la porción nororiental del área, para después unirse al Conchos en el Estado de Tamaulipas, el cual es afluente del Río San Fernando, que desemboca en la Laguna Madre.

3.4 Geomorfología

La Planicie Costera del Golfo de México describe marcados contrastes entre valles aluviales y vastas llanuras de forma ondulante, como es el caso de la Llanura Linares-Montemorelos en donde se extiende el acuífero

La Llanura Linares-Montemorelos se distingue por una serie de mesetas orientadas SW-NE, generalmente coronadas por depósitos aluviales del Cuaternario y Conglomerado Reynosa, que yace encima de las lutitas de la Formación Méndez.

Estas mesetas están separadas por valles orientados en la misma dirección rellenos principalmente por los depósitos aluviales. Estos valles fueron surcados en la zona por los Ríos Pablillo, Anegado, Hualahuises y Cabezones.

Las mesetas aluviales están truncadas por el Río San Juan que en esta zona corre en dirección E-W. En la parte noreste terminan en un conjunto de lomeríos característicos del Conglomerado Reynosa.

En la parte suroeste inician en el frente montañoso de la SMO.

El drenaje fluvial es del tipo dendrítico característico de rocas de baja permeabilidad como lo son las rocas arcillosas de formaciones del Cretácico Superior.

Los cauces fluviales principales siguen el sistema de fracturas rumbo SW-NE. A lo largo del frente montañoso de la SMO se han desarrollado una serie de abanicos aluviales formados por las descargas de los arroyos que descienden de la SMO.

4. GEOLOGÍA

La descripción geológica que a continuación se presenta fue compilada principalmente de los estudios geohidrológicos realizados por Servicios Geológicos (1981) (figura 2).

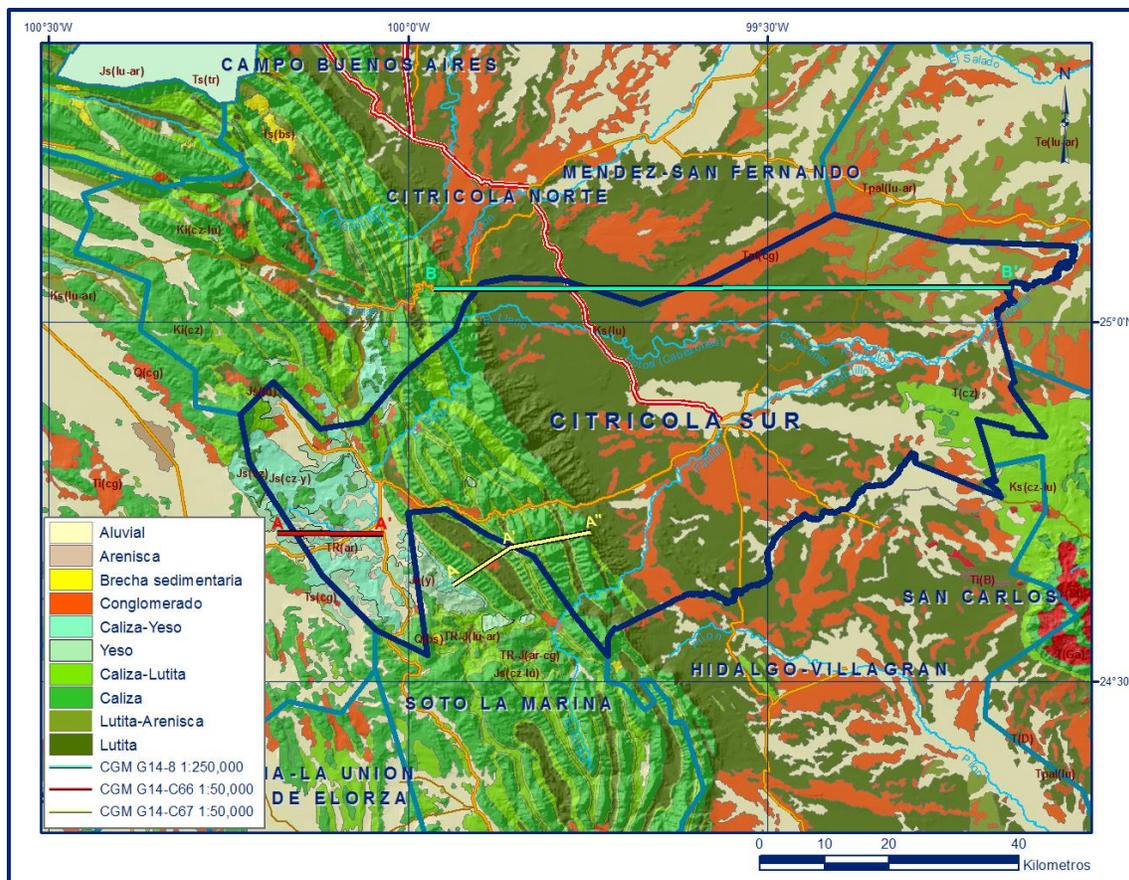


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

Los tipos de roca que afloran son predominantemente sedimentarias marinas, que en conjunto representan un intervalo geológico que abarca del Jurásico Superior al Reciente. Las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico Inferior afloran en las sierras de la SMO.

Las formaciones del Cretácico Superior afloran tanto en la SMO como en la Llanura Linares-Montemorelos.

Jurásico Superior

Formación Zuloaga (Jsz)

Fue originalmente estudiada por C. Burckardt (1906), en la porción septentrional del centro de la república, refiriéndose a ella como “Caliza de Nerineas”. Posteriormente fue definida como Caliza Zuloaga por Imlay (1938), designando la Sierra Sombreretillo al Norte de Melchor Ocampo, Zacatecas, como localidad tipo.

Está constituida por caliza de aguas someras color gris claro al intemperismo y gris oscuro al fresco, intercaladas con lutitas. Su estratificación es de medio a grueso, su espesor varía de 65 a 500 m aproximadamente. En la región del Golfo de México se ha observado el contacto inferior de esta formación, el cual parece ser discordante con los yesos Minas Viejas, en tanto que el contacto superior pudiera ser concordante con el Grupo La Casita y se marca por el cambio de litología al desaparecer las calizas oolíticas y a la aparición de las lutitas negras carbonosas con concreciones calcáreas. Por su contenido faunístico se le considera del Oxfordiano y bien pudiera representar el inicio de la transgresión marina del Jurásico Superior.

Formación La Casita (Jslc)

Fue definida por Imlay (1936), en el Cañón La Casita, situado en la parte media de la Sierra de Parras, Coahuila. Está constituida por intercalaciones de lutitas y areniscas, las primeras son calcáreas y en ocasiones carbonosas, presenta concreciones silíceas intercaladas de diferente tamaño y algunos horizontes de evaporitas. Su espesor se considera de 365 m aproximadamente y estratificación delgada. Subyace discordantemente a la Formación Taraises y se le considera una edad Kimmeridgiano-Portlandiano por su contenido de fósiles. Se interpreta que se depositó en un ambiente de aguas someras parcialmente lacustre.

Cretácico Inferior

Formación Taraises (Kit)

Imlay (1936), la define en el Cañón Taraises localizado en el extremo Oeste de la Sierra de Parras. Está representada por dos miembros; el Miembro Inferior está constituido por calizas de estratificación media a gruesa que presenta algunas vetillas de calcita y algunos horizontes de limolita en estratos delgados, se aprecia al sur de la Sierra Zapalinamé en el Cañón Los Chorros; el Miembro

Superior son calizas arcillosas de estratificación media intercalada con estratos delgados de lutitas fósiles. Tiene un espesor aproximado de 80 m y subyace a la Formación Cupido, pero transicional lo que hace difícil la localización del contacto, topográficamente se encuentra formando lomeríos.

Se relaciona con las formaciones Barril Viejo, Caliza Menchaca y Padilla de las Sierra Dos Hermanas o anticlinal de Oballos; con la Arcosa San Marcos en la Sierra San Marcos, con la serie Coahuilense en el Cerro de la Silla de Monterrey y la Formación Santuario de Ixmiquilpan.

Se le ha asignado dentro del Berriasiano Superior al Hauteriviano. El Miembro Inferior se depositó en facies de plataforma en aguas someras con mayor aporte proveniente del continente. El Miembro Superior se depositó en facies de Cuenca en aguas tranquilas.

Formación Cupido (Kic)

Fue propuesta por Imlay (1937) para referirse a una secuencia calcárea que se encuentra en la localidad tipo en el Cañón El Mimbres, en la Sierra de Parras, Coahuila.

Se constituye en tres miembros; el Miembro Inferior corresponde a una facies de cuenca y está formado por calizas gruesas con vetillas de calcita en las cercanías con la Formación Taraises; el Miembro Medio se depositó en facies de Plataforma y está representado por un quiebre arcillo-calcáreo de poco espesor; el Miembro Superior es de una facies arrecifal y constituye una calcirrudita tamaño de la arena estratificación de gruesa a masiva con abundante fauna marina y presenta superficialmente corrugaciones y abundantes estilolitas. Su contacto superior es concordante con la Formación La Peña y se asigna una edad del Neocomiano Superior-Aptiano Inferior. Su espesor es variable, pero en promedio es del orden de 400 m.

En la Cuenca de Chihuahua se correlaciona con la porción superior de la Formación Las Vigas, con la base de la Formación Cuchillo y en el centro de Texas con la Formación Sligo.

Formación La Peña (Kilp)

Fue definida por Imlay (1936) y menciona como localidad tipo al flanco Norte de la Sierra Taraises. Aflora en las sierras del Oriente y es fácil identificarla en el campo, debido a que es poco resistente a la erosión formando puertos topográficos de erosión. Son calizas arcillosas delgadas intercaladas con lutitas calcáreas laminares muy fosilíferas.

Al Sureste y Suroeste de Saltillo se le estima un espesor de 40 a 50 m. Es un horizonte índice de referencia, debido a su marcado contraste litológico con las formaciones que la limitan y a su contenido faunístico, siendo el más característico el género *Dufrenoyia sp.*

Es concordante con la Formación Aurora y se le considera del Aptiano-Albiano Inferior. Su litología indica un acarreo de detritos de las zonas positivas, durante movimientos verticales en el Aptiano, su ambiente de depósito es infranerítico. Se correlaciona con el horizonte Otates de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación Cuchillo en la Cuenca de Chihuahua y con la Formación Las Uvas del área de Acatitas-Las Delicias, Coahuila.

Formación Aurora (Kia)

Fue definida por Burrows (1910), como una secuencia de calizas en la localidad tipo en la Mina La Aurora en la Sierra de Cuchillo Parado al Oeste de Ojinaga, Chihuahua. Está constituida por calizas de estratificación media a gruesa, presenta estilolitas y nódulos de pedernal. Subyace a la Formación Cuesta del Cura concordantemente, tiene un espesor variable, pero en promedio de 200m y se le ha asignado una edad del Albiano Inferior hasta el Albiano Medio.

Representa una transgresión marina que ocasionó inicialmente el depósito de calizas en ambiente de plataforma, al progresar la transgresión se acumularon las calizas con nódulos de pedernal propiamente en un ambiente de cuenca.

Formación Cuesta del Cura (Kicc)

Imlay (1936), describió esta formación, de acuerdo con los afloramientos de caliza delgada ondulante, con bandas de pedernal negro que hay a siete kilómetros al Oeste de Parras, Coahuila.

Son calizas de estratificación delgada a media, es una caliza muy friable y presenta bandas de pedernal e intercalaciones de lutitas. Presenta espesores hasta de 150 m y es concordante con la Formación Indidura sobreyacente. Es de edad Albiano Medio al Cenomaniano Inferior y el ambiente de depósito es de facies de cuenca, debido a que en el Cenomaniano los mares comenzaron a retirarse, por lo que presenta una gran cantidad de clastos.

Se correlaciona con la Formación Tamaulipas Superior, Caliza El Abra de la Cuenca Tampico Misantla, Grupo Washita del noreste de México y oriente de Texas, con la Formación Doctor, La Formación Acatita, en el área de Delicias. Puede decirse que en Palotes es correlacionable con F. Glem Rose, F. Walnut, Edwards y Quiamichi. Existen depósitos del mismo piso como son Formación Morelos.

Cretácico Superior

Formación Agua Nueva

Esta Formación tiene una distribución muy extensa destacando para la zona de interés sus afloramientos a lo largo del borde oriental del frente montañoso de la SMO. Está constituida por capas de calizas arcillosas de 5 a 50 cm de espesor de color gris, gris oscuro y negro, que alternan con lutitas laminadas de color gris oscuro a negro, a veces bituminosas o carbonosas.

En las bases de esta secuencia se encuentran unas capas delgadas de bentonita de color verde esmeralda que constituye el horizonte índice que marca la base de la Formación Agua Nueva, su espesor promedio es de 180 m. Su edad basándose en el contenido faunístico y posición estratigráfica es Turoniano. En el NE de México está representada por la Formación Eagle Ford. En la Cuenca de Parras se encuentra como equivalente la Formación Indidura.

Formación San Felipe

Esta formación yace sobre la Formación Agua Nueva y tiene también una amplia distribución. Está constituida por una serie de calizas delgadas, arcillosas en parte, con buena estratificación, de colores gris claro, verde o pardo que intemperizan en anaranjado. Hacia arriba las calizas se tornan más arcillosas y se presentan interestratificaciones de lutita gris que son más frecuentes hacia la cima. En la parte más alta se encuentran intercalaciones de bentonita verde.

El espesor máximo medio es de unos 550 m y su edad es del Conaciano-Santoniano cuya fauna caracterizada por las amonitas *Texanites texanus* e *Inoceramus undulatoplicatua roemen*. En el NE de México está representada por el Grupo Austin Chalf y en la Cuenca de Parras por las lutitas de la Formación Parras.

Formación Méndez

Sobre la Formación San Felipe descansa la Formación Méndez del Campaniano-Maestrichtiano y cuyo contacto inferior no puede siempre determinarse fácilmente por simple litología a causa de la semejanza de los sedimentos de ambas formaciones. Aflora ampliamente en la Llanura Linares-Montemorelos generalmente en la base de las mesetas aluviales de la región. Está constituida principalmente por margas grises y azules, estratificadas en capas delgadas que forman a veces bancos de 15 a 20 m de espesor.

Tiene una fractura casi concoidal muy característica. En la parte superior toma un color rosado, su extensión es muy considerable, pues se ha encontrado desde la vecindad de Ciudad Juárez hasta el Istmo de Tehuantepec y poseen una microfauna característica. En el NE de México está representada por las formaciones Taylor y Navarro, en la Cuenca de Parras su equivalente es el Grupo Difunta.

Terciario

Conglomerado Reynosa

El Conglomerado Reynosa constituye las mesetas y lomeríos de la Llanura Linares-Montemorelos, aunque predomina en la porción sur central, así como al pie de la SMO. Corona las formaciones del Cretácico particularmente sobreyace discordantemente a la Formación Méndez.

Hacia la parte noreste sobresale por encima de los depósitos aluviales del Cuaternario, sin embargo, por su posición estratigráfica se ubica debajo de los depósitos aluviales. Su espesor alcanza los 60 m, ante todo, hacia el sur, en las cercanías del poblado Montemorelos.

Está compuesto por fragmentos redondeados a subredondeados de clásticos de rocas calcáreas de tamaños promedios de unos 5 a 12 cm de diámetro, empacados en una matriz arenosa cementada por caliche.

Cuaternario

Depósitos Aluviales

Aflora en la mayor parte de la zona, formando las planicies con ligeras ondulaciones y el relleno de los valles fluviales entre las mesetas de Conglomerado Reynosa, en donde presenta los mayores espesores. Sobreyace al Conglomerado Reynosa y cubre discordantemente a formaciones del Cretácico particularmente a la Formación Méndez. También, forma los abanicos aluviales que se han desarrollado en el borde oriental de la SMO.

Están constituidos por gravas, arena, limos y arcillas, mezclados en diferentes proporciones y grados de compactación. Contienen lentes de conglomerados empacados en arenas y arcillas, depósitos areno-limosos y horizontes de caliche. En ocasiones presenta yeso variedad "rosa del desierto", que pueden encontrarse con un alto contenido de arcilla con propiedades plásticas.

4.2 Geología estructural

A finales del Cretácico y principios del Terciario, los movimientos originados por la Orogenia Laramide, pliegan a los sedimentos Cretácicos, con esfuerzos provenientes del SW, ocasionando pliegues recostados, por encontrarse la Paleopenínsula de Tamaulipas hacia el NE, que actuó como Antepaís.

Las fallas resultantes son inversas y en ocasiones ponen en contacto rocas del Cretácico Inferior (Formación Cupido) con rocas del Cretácico Superior (Formación Agua Nueva).

En la SMO al suroeste de la Llanura Linares Montemorelos, se aprecian una serie de pliegues anticlinales y sinclinales orientados SE-NW, son pliegues estrechos, alargados y generalmente recostados hacia el NE con flancos de fuerte inclinación. Las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico Inferior conforman los pliegues anticlinales y sinclinales. Las formaciones de Cretácico Superior se encuentran en los sinclinales, en las áreas de anticlinales han sido erosionadas.

Los pliegues anticlinales y sinclinales en la Llanura Linares-Montemorelos generalmente se encuentran sepultados por el Conglomerado Reynosa y Depósitos Aluviales del Cuaternario. Sin embargo, al sureste de Montemorelos se alcanza a observar un sinclinal corto rumbo SE-NW en la Formación Méndez. Lo mismo al noreste de Linares fuera de la zona que ocupa el acuífero, existen una serie de anticlinales y sinclinales, que se han podido cartografiar con orientación SE-NW, son pliegues estrechos y de corta longitud desarrollados en la Formación Méndez.

Las fallas que se han reconocido en la región son del tipo inversas claramente expuestas en la SMO con orientación preferencial SE-NW. Son fallas desarrolladas esencialmente en los flancos noreste de los anticlinales poniendo en contacto formaciones del Cretácico Inferior encima de formaciones del Cretácico Superior. Entre estas fallas cabe destacar la falla maestra o frontal de cabalgadura que en la zona limita la SMO con la Llanura de Linares-Montemorelos.

La expresión superficial de esta falla son capas casi verticales de la Formación Cupido que se encuentra encima de las Formaciones Agua Nueva y San Felipe. Más hacia adentro de la SMO, las fallas inversas son secundarias asociadas a la gran falla maestra de cabalgadura.

Otro tipo de estructuras que resalta en la región es un sistema de fracturas con orientación preferencia SW-NE. En la SMO cortan a las estructuras de las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico. En la Llanura de Linares-Montemorelos afectan a las formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez. Este sistema de fracturas se relaciona con la etapa distensiva que actuó en la región posterior a los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide, ampliamente documentada en la parte noreste de México.

4.3 Geología del subsuelo

La interpretación de la geología del subsuelo de la zona que ocupa el acuífero quedó limitada por falta de información de cortes litológicos y registros eléctricos de pozos, así como de estudios geofísicos que se hayan realizado con anterioridad. Sin embargo, de la estratigrafía de la región se infiere que el espesor de los depósitos que rellenan los valles es muy variable pudiendo alcanzar hasta los 60 m. La mayor parte del espesor es ocupado por El Conglomerado Reynosa, los Depósitos Aluviales en general tienen poco espesor.

Por otra parte, en función de las características de los sistemas de fracturamiento que existen en la zona y presencia de pliegues isoclina les ligeramente recostados, se deduce que la profundidad del fracturamiento en la Formación Méndez es posible que no se encuentre a más de 70 m

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero Citrícola Sur se define como el que está formado por los Depósitos Aluviales y Conglomerado Reynosa, que rellenan los valles de la zona. La cima fracturada y alterada de la Formación Méndez que subyace a los depósitos de relleno, también forma parte del acuífero que se extiende en la Llanura Linares-Montemorelos.

La litología de la Formación Méndez constituida esencialmente por lutitas y margas, le infiere baja permeabilidad, la cual es notablemente aumentada en las zonas en donde se presentan sistemas de fallas y fracturas. La permeabilidad secundaria de esta Formación, ocurre más o menos generalizada a través de toda la unidad, siendo mayor en las zonas en donde las fracturas se concentran, forma parte del acuífero en las porciones bajas y captar una parte del agua de lluvia que se precipita sobre su superficie de afloramiento.

Asimismo, la estructura de pliegues isoclina les ligeramente recostados que suceden en ella, ocasiona que la permeabilidad de esta formación ocurra prácticamente en la parte superior de ella, es decir, la profundidad del fracturamiento es posible que no se encuentre a más de unos 70 m.

La permeabilidad que presenta el Conglomerado Reynosa es intersticial principalmente, ya que la matriz arenosa que empaca los fragmentos calcáreos, generalmente se presentan medianamente compacta a suelta.

Su ubicación en las partes altas, tal como en la Mesa El Ebano, propicia que parte de la lluvia que se precipita sobre la superficie se infiltre y percole hasta la Formación Méndez, constituyendo también parte del acuífero en las partes bajas, en donde cubre a la Formación Méndez. Puede propiciar que los pozos que se inicien en el sean de mayor productividad que los existentes, si se perforan hasta la Formación Méndez.

Los depósitos aluviales no consolidados que rellenan el valle, presentan una granulometría variable de tamaños de cantos que van desde 12 cm de diámetro, como máximo, hasta limos y arcillas mezclados en diferentes proporciones. Esta característica da como resultado permeabilidades de media a alta, dependiendo de la proporción del material que predomine.

Tales depósitos constituyen las áreas de recarga, por donde se capta el agua procedente de los escurrimientos de la lluvia y por la infiltración directa de la misma. Usualmente conforman acuíferos de reducida productividad, pero en los valles fluviales o en las cercanías de los ríos son buenos formadores de acuíferos, por lo que su explotación es más recomendable en estos sitios. De acuerdo con la composición litológica de las formaciones que constituyen el acuífero se considera que en el relleno aluvial saturado se comporta como un acuífero granular libre.

Por su parte en las lutitas fracturadas de la Formación Méndez, funcionan como un acuífero de “doble porosidad”, donde las fracturas mayores son las zonas conductoras principales, alimentadas por las fracturas de menor tamaño. En cambio, la lutita sana constituye propiamente el basamento hidrogeológico del acuífero. En el caso, en que el acuífero tiene ambas componentes, se comporta como del tipo “libre”, con semi-confinamiento inferior.

Las fronteras laterales del acuífero Citrícola Sur son las siguientes: al norte la divisoria de aguas subterráneas que posiblemente se localice a lo largo del parteaguas superficial de la Mesa El Alto de Ebano; al oriente el flujo subterráneo que se continua hacia el límite estatal con el Estado de Tamaulipas; al sur el propio límite estatal con el Estado de Tamaulipas; y al poniente la falla maestra de cabalgadura frontal que es muy probable que funcione como barrer impermeable a lo largo de las estribaciones de la SMO.

Las rocas calizas de las Formaciones Cupido y Aurora-Cuesta del Cura, por su permeabilidad secundaria desarrollada por fracturamiento y efectos de disolución de los carbonatos que las constituyen, conforman otros dos tipos de acuíferos en el área de la Sierra Madre Oriental (SMO). Estos acuíferos calizos se encuentran separados por las lutitas de la Formación La Peña, son acuíferos de tipo libre en las sierras de anticlinales en donde afloran las rocas calizas y confinados en los valles intermontanos de sinclinales.

El acuífero calizo de las Formaciones Aurora y Cuesta del Cura está confinado por las rocas arcillosas del Cretácico Superior y la cima de la Formación Taraises de baja permeabilidad constituye el basamento hidrogeológico del acuífero calizo de la Formación Cupido. A lo largo del frente de la SMO existen una serie de fallas de cabalgadura que ponen en contacto a Formaciones del Cretácico Inferior, específicamente la Formación Taraises de baja permeabilidad encima de la Formación Méndez. Esta situación estructural trae como consecuencia que los acuíferos calizos de las Formaciones Cupido y Aurora-Cuesta del Cura de la SMO no mantengan continuidad hidráulica con el acuífero Citrícola Sur de la Llanura Linares-Montemorelos. Los acuíferos calizos y el acuífero Citrícola Sur, en conjunto forman parte del Zona Geohidrológica Citrícola Norte.

5.2 Parámetros hidráulicos

En el estudio de Servicios Geológicos (1981) se reporta un valor promedio de la transmisividad igual a 5×10^{-3} m²/s para el acuífero Citrícola Sur, obtenido de pruebas de bombeo. Por otra parte, la empresa Antares (1997^a y 1997^b), reporta para el acuífero Citrícola Norte, cuyas formaciones que lo constituyen son las mismas que las del acuífero Citrícola Sur, valores de transmisividad que varían entre 0.03×10^{-3} y 13.2×10^{-3} m²/s, obtenidos de pruebas de bombeo.

Los valores de la transmisividad reportados, revelan que se trata de un acuífero de capacidad transmisora de media a baja, derivada de la baja permeabilidad y espesor de los materiales granulares y aluviales que lo constituyen.

Las pruebas de bombeo existentes no permitieron determinar el coeficiente de almacenamiento, por la falta de pozos de observación, pero con base en la estratigrafía de la zona, se estima que para tiempos largos el acuífero se comporta como libre en los depósitos aluviales del relleno del valle, por tanto, su coeficiente de almacenamiento es equivalente a su rendimiento específico, que puede variar en el rango de 0.1 a 0.3, dependiendo de la granulometría de los materiales. El acuífero en las lutitas fracturadas de la Formación Méndez es semiconfinado, por lo que el coeficiente de almacenamiento puede variar entre 0.0001 y 0.005.

5.3 Piezometría

Se cuenta con un total de 13 piezometrías en los archivos de esta Gerencia Regional Río Bravo, para el mes de noviembre de 1980, mayo de 1981, y varios meses del año 1986 y 1987. Las piezometrías del año 1980 y 1981 son las que corresponden a las del estudio de Servicios Geológicos (1981). Las de los años 1986 y 1987 fueron realizadas por la Residencia de Aguas Subterráneas del Estado de Nuevo León. Los datos piezométricos mencionados se presentan en tablas anexas.

5.4 Comportamiento hidráulico

El régimen de flujo que a continuación se describe se fundamenta principalmente en los planos elaborados en el estudio geohidrológico de Servicios Geológicos (1981) referente a: profundidad y elevación de niveles para los meses de noviembre de 1980, así como de evolución de los niveles piezométricos para el periodo noviembre de 1980 a mayo de 1981.

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Las profundidades al nivel estático en el mes de noviembre de 1980 variaban de valores puntuales de 2.3 m en la porción nor-occidental del área, a 32 m en la porción sur del poblado de Linares; en general los niveles estáticos observan las mayores profundidades en la porción sur de este poblado, con tendencia a presentar menores profundidades en la porción sur de este poblado, con tendencia a presentar menores profundidades hacia la porción norte del área, en donde se encuentra el Río Potosí o Cabezones.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración del nivel estático para el mes de noviembre de 1980, indica que el sentido de flujo es prácticamente del occidente al oriente, con tendencia a salir de la zona por su porción nor-oriental. Esta interpretación del sentido de flujo, está apoyada también por la configuración de curvas de igual concentración de sólidos totales disueltos, las cuales aumentan del occidente al oriente. La curva de mayor elevación, que es de 600 msnm, se presentaba en las laderas del frente de la Sierra Madre Oriental, definiéndose la menor equipotencial de 200 msnm, en la porción nororiental del área; calculándose un gradiente hidráulico, del orden de 0.0094.

La distribución de las equipotenciales, define a la porción occidental como la zona principal de recarga, existiendo tendencia de las equipotenciales, a sugerir recargas horizontales de las porciones sur y sur-oriente del área.

De igual manera, la distribución de la configuración no reflejaba evidencia alguna de sobreexplotación; aunque si había cierta distorsión en las curvas que las agudiza, muy probablemente a que ya existían tendencia a formarse conos en las áreas en donde se concentran las captaciones. En lo que respecta a las corrientes superficiales, estas presentan sus cauces arriba de los niveles estáticos, por lo que es posible afirmar que al menos dentro del área, alimentan a los acuíferos marginales.

5.4.3 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático para el periodo noviembre de 1980 a mayo de 1981 presentó recuperaciones de 0.5 y 1 m en el área entre Linares, Guadalupe, Cerro Prieto y Purísima de Conchos. Los niveles estáticos en la parte poniente cerca de las estribaciones de la SMO, no mostró evolución alguna.

Las evoluciones del nivel estático antes mencionadas se consideran que no son representativas de la respuesta del acuífero a largo plazo a la recarga y extracción, debido al corto periodo de registro.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El análisis hidrogeoquímico y su relación con la calidad del agua subterránea, se basó en la determinación de las familias de agua y análisis de parámetros químicos indicadores. Para este análisis se tomaron como base los resultados fisicoquímicos del agua subterránea presentados en el estudio Servicios Geológicos (1981).

La familia de agua que sobresale es cálcico-bicarbonatada, lo cual es lógico, ya que el acuífero de la zona es predominantemente calizo (Formación Méndez). La familia de agua cálcico-bicarbonatada que predomina, es derivada del ataque químico del agua a los diversos horizontes calcáreos que predominan en la región, a través de los que circula el agua subterránea.

Las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos varían entre 249 y 1600 ppm en los pozos, en las norias las concentraciones varían entre 256 y 3200 ppm, en las corrientes superficiales la concentración varió de 320 y 1216 ppm.

Los contenidos de STD indican que el acuífero no es homogéneo, en lo que se refiere a la permeabilidad y solubilidad de los materiales que los constituyen. Las concentraciones de STD están relacionadas con el movimiento del flujo subterráneo; es decir, que el incremento de sales se lleva a efecto en dirección poniente a oriente.

Las concentraciones de sulfatos en los pozos varían entre 96 y 105 ppm, y en las corrientes superficiales de 384 y 672 ppm. La fuente original del ion sulfato en esta zona, la constituyen los depósitos de yesos que se encuentran en las rocas sedimentarias de la región.

Los contenidos de cloruros se presentaron en concentraciones que varían de 35 y 172 ppm en los pozos, en las norias de 32 y 266 ppm. De acuerdo con las concentraciones de STD y sulfatos, se concluye que la calidad del agua subterránea para consumo humano está limitada en aquellas áreas en donde los contenidos sobrepasan los límites permisibles que marca la normatividad de 1000 mg/l para STD y de 500 mg/l para sulfatos.

La información disponible acerca de la evolución de la calidad del agua subterránea no permite evaluar la contaminación del acuífero generada por las diferentes actividades humanas. Empero, es lógico suponer que el desarrollo agrícola ha implicado cierto deterioro de la calidad del agua, debido a la infiltración de excedentes de riego, que acarrearán sales producto del lavado de los suelos y diversos compuestos y elementos derivados de la aplicación de plaguicidas y fertilizantes. También, es indiscutible suponer que las descargas de aguas residuales de los núcleos de población, hayan contaminado localmente la parte superior del acuífero, al menos en las áreas donde la superficie freática está somera.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS

Las características de los aprovechamientos que explotan el acuífero Citrícola Sur fueron obtenidas del estudio de Servicios Geológicos (1981).

En este estudio sólo se reporta que existen aproximadamente un total de 558 aprovechamientos que explotan el acuífero, de los cuales 380 son pozos, 175 norias y 3 galerías filtrantes.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La recarga al acuífero Citrícola Sur se obtuvo despejándola de la ecuación general del balance de aguas subterráneas, que, en su forma más simple, está representada por la expresión siguiente:

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

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:

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

7.1 Entradas

Con base en el funcionamiento hidrodinámico del acuífero documentado en el capítulo de hidrogeología, se establece que los mecanismos de recarga al acuífero son los siguientes: a) infiltración de la lluvia a través de los Depósitos Aluviales y Conglomerado Reynosa que afloran en los valles y mesetas de la región, b) infiltración a lo largo de los ríos y arroyos de la zona, cuyas cuencas de captación se extienden en la Sierra Madre Oriental y c) infiltración por excedentes de riego.

La infiltración de la lluvia no se pudo evaluar a partir del balance hidrológico tradicional por falta de datos de gastos de los principales ríos de la zona, en la cual no se cuenta con estaciones hidrométricas.

Para estimar la infiltración por excedentes de riego a partir de un balance hidráulico de las áreas de riego, no se cuenta con información de los volúmenes aplicados al riego, tipos de cultivos, superficies beneficiadas y eficiencia de los sistemas de riego.

7.2 Salidas

La extracción por bombeo y el flujo subterráneo que se da en la parte noreste de la zona, constituyen las principales componentes de la descarga total del acuífero. La evaporación directa por causa de niveles freáticos someros se considera que no se lleva afecto en la zona, así lo indica los niveles estáticos que generalmente se encuentran a más de 5 m de profundidad.

En el estudio de Servicios Geológicos (1981) se reporta que el volumen total de extracción del acuífero Citrícola Sur es de aproximadamente 28 hm³/año, de los cuales 19 hm³/año se destinan al uso agrícola, 5 hm³/año al uso público urbano, 3 hm³/año al uso doméstico y pecuario y 1 hm³/año al uso industrial. Este volumen de extracción se obtuvo con base en los datos de los trabajos de censo de aprovechamientos de agua subterránea que formaron parte de este estudio.

En cuanto a la salida por flujo subterráneo, la empresa Servicios Geológicos (1981) con base en el método de la ecuación de Darcy, reportó un caudal de salida total de 3.773 m³/s. Sin embargo, en este caudal se incluye tanto la salida del acuífero Citrícola Norte como del acuífero Citrícola Sur. Para separar el caudal de salida para el acuífero Citrícola Sur, fue utilizado el plano de la red de flujo de mayo de 1981, elaborado por esta empresa, haciendo el cálculo por la ecuación de Darcy para cada una de las celdas de flujo, aplicando para ello un valor promedio de transmisividad igual a 0.005 m²/s obtenido de pruebas de bombeo tal como se aplicó en el estudio previo. De esta manera resultó un caudal de salida de 1.492 m³/s que equivale a un volumen de 47.066 hm³/año.

7.3 Cambio de almacenamiento

Se considera que a periodos largos de observación el acuífero no ha tenido cambio de almacenamiento. Esta aseveración se fundamenta en el hecho de que se trata de un acuífero de poco espesor con funcionamiento de "autorregulación", es decir que posterior a la temporada de fuerte extracción que se da para el riego agrícola en la región, los niveles estáticos sufren considerables abatimientos que se recuperan relativamente rápido en respuesta al proceso de recarga por la infiltración de la lluvia en los valles y mesetas de la zona y por la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales. Este ciclo de abatimientos y recuperaciones se puede decir que se repite cada proceso de recarga y extracción.

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:

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

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 **75.1 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.

Como descarga natural comprometida del acuífero Citrícola Sur sólo se considera la salida por flujo lateral por la parte oriente de la zona.

Por lo que **DNC = 47.1 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 **116,860,937 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 75.1 - 47.1 - 116.860937 \\ \text{DMA} &= -88.860937 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **88,860,937 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

C.N.A., 1994. Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos

C.N.A., 1996. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua

C.N.A., 1997. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. 3ª Edición.

Antares S. A. de C. V., 1997^a. Censo de captaciones de agua subterránea y colección de datos geohidrológicos en la Cuenca del Arroyo Garrapatas y una porción de la Cuenca del Río Pílon, Edo. de Nuevo León. Realizado para la Comisión Nacional del Agua.

Antares S. A. de C. V., 1997^b. Censo de captaciones de agua subterránea en una porción del Río San Juan, Edo. de Nuevo León. Realizado para la Comisión Nacional del Agua.