



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO MANUEL BENAVIDES (0839), ESTADO
DE CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación administrativa del acuífero	4
2. FISIOGRAFÍA	5
2.1. Provincia fisiográfica.....	5
2.2. Clima.....	5
2.3. Hidrografía	6
2.4. Geomorfología.....	6
3. GEOLOGÍA.....	6
3.1. Estratigrafía	7
3.2. Geología estructural.....	16
3.3. Geología del subsuelo.....	17
4. HIDROGEOLOGÍA.....	19
4.1. Tipo de acuífero	19
5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	19
5.1. Entradas.....	20
5.1.1 Recarga vertical (Rv)	20
5.2. Salidas	27
5.2.1 Bombeo (B).....	27
6. DISPONIBILIDAD	28
6.1. Recarga total media anual (R)	28
6.2. Descarga natural comprometida (DNC).....	28
6.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	28
6.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	29
7. BIBLIOGRAFÍA.....	30

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 Manuel Benavides definido con la clave 0839, se localiza en la porción nororiental del Estado de Chihuahua, entre los paralelos 29° 6' 6.3" y 28° 21' 47.1" de latitud norte y los meridianos 103°53' y 103°17' de longitud oeste; cubre una superficie aproximada de 2401 km² (figura 1).

Colinda al este con el acuífero Santa Fe del Pino; al sur con Laguna los Alazanes y al oeste con Álamo Chapo.

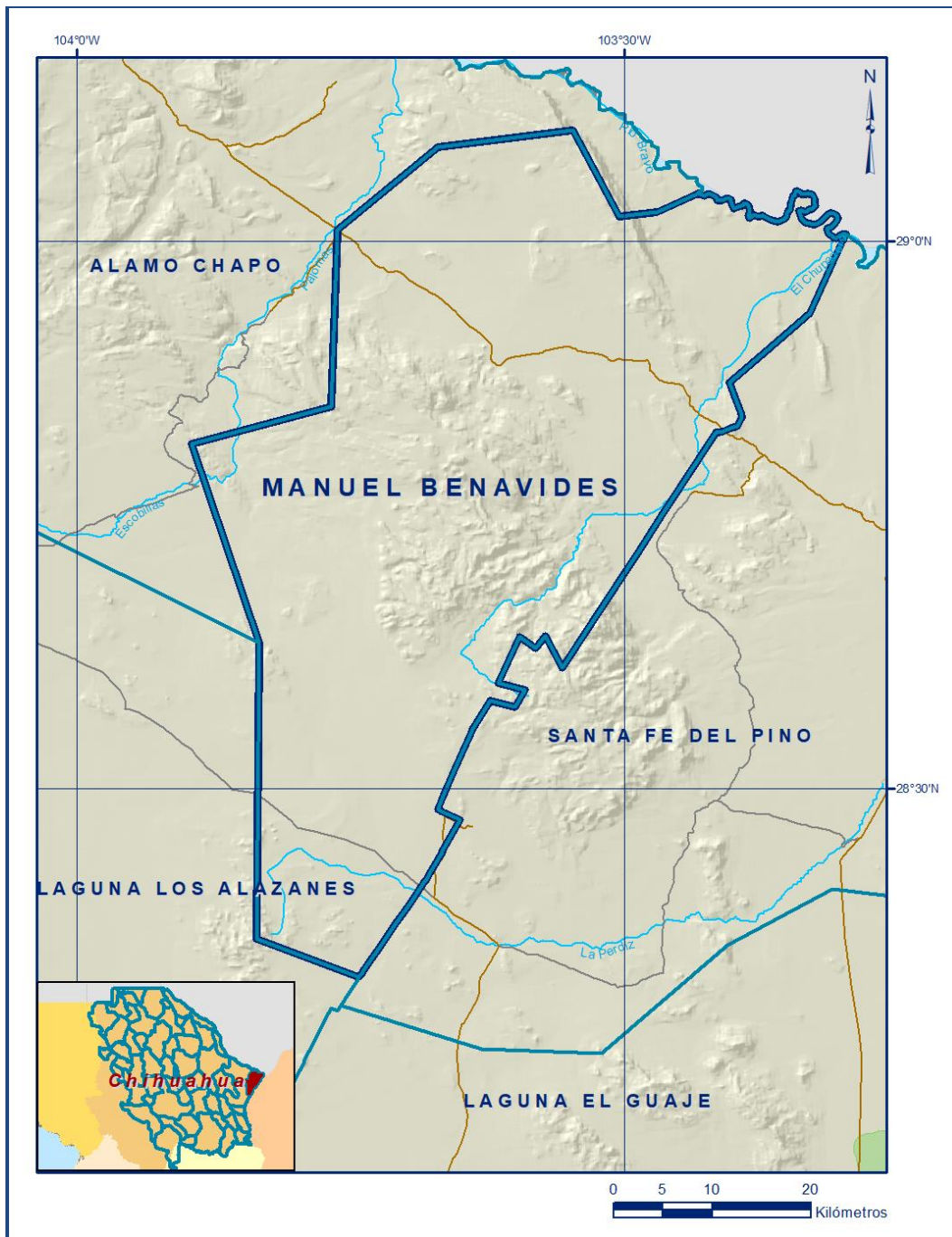


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente comprende el municipio Manuel Benavides. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Manuel Benavides pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo” y son jurisdicción territorial de la dirección Local en Chihuahua. El acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea, sin embargo se encuentra sujeto a las disposiciones del *“ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 05 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0839 MANUEL BENAVIDES							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	50	12.1	28	21	47.1	
2	103	50	1.6	28	37	59.4	
3	103	53	44.3	28	48	55.6	
4	103	46	6.1	28	50	56.7	
5	103	45	44.8	29	0	38.3	
6	103	40	16.0	29	5	9.1	
7	103	32	52.5	29	6	6.3	
8	103	30	20.2	29	1	21.8	
9	103	28	14.2	29	1	35.7	
10	103	25	58.5	29	2	39.5	DEL 10 AL 11 POR EL LIMITE INTERNACIONAL
11	103	17	55.5	29	0	24.0	DEL 11 AL 12 POR EL LIMITE ESTATAL
12	103	44	34.4	28	19	40.9	
1	103	50	12.1	28	21	47.1	

2. FISIOGRAFÍA

2.1. Provincia fisiográfica

El acuífero Manuel Benavides se encuentra dentro de la provincia fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte (Raisz, 1964), caracterizada por topofomas bajas y abruptas, en general tienen orientación noroeste-sureste, dentro de las estructuras de sierra hay asociaciones de bajadas y llanuras. La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas de Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila, se orienta más o menos noroeste-sureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua, y Coahuila.

El origen de la provincia está relacionado con el plegamiento de las secuencias marinas del Mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento paleozoico y precámbrico, así como por el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, esto dio lugar a la formación de cuencas endorreicas.

Dominan rocas volcánicas ácidas en el oeste, calizas en el este y norte, en la región la morfología es de bolsones, esto es, cuencas con drenaje interno donde también se alternan sierras y valles. La subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas en territorio mexicano comprende parte de los estados de Chihuahua y Coahuila; al norte se extiende hacia los Estados Unidos de América. Se localiza en el costado oriente de la entidad, a manera de una franja orientada norte sur que va del noroeste de Ojinaga y el límite boreal con Coahuila, al sur de la sierra Las Pampas y el oriente de la sierra El Diablo.

En esta zona, se originan algunos arroyos, afluentes del Río Bravo, y hay cierto número de zonas bajas capaces de acumular agua por períodos cortos, pero el régimen es de desierto. La mayor parte del territorio de la subprovincia es bajada o llanura, superficies aplanadas que se encuentran interrumpidas en algunos lugares por sierras, en otros por lomeríos y en unos más por mesetas. Las mesetas y los valles son los sistemas de topofomas menos representativos de la subprovincia.

2.2. Clima

El clima de la región pertenece al tipo clasificado como Muy Seco, cuyo rasgo característico es que la evaporación supera los valores de precipitación media anual. Su baja humedad depende principalmente de la escasa precipitación y la

temperatura, pero también influye la duración de las lluvias, la naturaleza del suelo y la cobertura vegetal. De acuerdo con los datos registrados en las estaciones climatológicas Ojinaga, Coyame, Luis L. Leon-Chih Y Las Burras, el valor de la precipitación promedio anual es de **287.0 mm**, con régimen de lluvias en verano. El valor de la temperatura media anual es de **18.4° C**.

2.3. Hidrografía

El acuífero Manuel Benavides pertenece a la Región Hidrológica 24 “Bravo-Conchos”, que se localiza en la Mesa del Norte. Es la región de mayor relevancia en la entidad y en ella queda incluida la corriente superficial más importante en el estado, el río Conchos, que se origina en las estribaciones de mayor altitud de la sierra Madre Occidental.

El drenaje es poco definido; en algunas porciones dendrítico y en otras subparalelo, está conformado por corrientes que tienden a desembocar en el río Bravo y éste a su vez en el Golfo de México.

El acuífero se encuentra parcialmente en las cuencas Río Bravo 3 y Río Bravo 4, son drenadas por corrientes de tipo intermitente y perenne.

2.4. Geomorfología

En el área y sus alrededores, se expresan claramente los rasgos geomorfológicos de origen tectónico, como son las serranías afalladas y las estructuras plegadas tanto anticlinales como sinclinales. El relieve que muestra estos rasgos se acentúa por el tipo de intemperismo y erosión diferencial, producto del contraste litológico y estructural presente en las diferentes unidades orográficas debido a la escasa cobertura vegetal, típica de las zonas desérticas, se aprecia fácilmente la morfología del terreno y su constitución litológica expuesta en excelentes afloramientos.

En gran parte del área del acuífero, se observa que la red de drenaje tiene un claro control estructural, sin embargo, hacia la parte baja de los valles el drenaje es más bien de tipo dendrítico indicando condiciones litológicas homogéneas.

3. GEOLOGÍA

El marco geológico regional es de naturaleza predominantemente sedimentaria, principalmente de origen marino. Sin embargo, también afloran, aunque en menor

proporción, importantes secuencias de rocas volcánicas y volcanoclásticas, así como algunos cuerpos ígneos intrusivos. En este contexto geológico, se aprecia una evolución tectónico-sedimentaria sumamente compleja que involucra cambios paleogeográficos trascendentales en la historia geológica de la región (figura 2).

3.1. Estratigrafía

En el área que cubre el acuífero, se encuentran expuestas secuencias litológicas que comprenden edades cuyo registro estratigráfico abarca desde el Paleozoico hasta el Reciente. Del Paleozoico están expuestas rocas carbonatadas y rocas arcilloarenosas.

El Mesozoico se inicia con una secuencia calcáreo-arcillosa del Jurásico Superior, sobre la que se deposita una secuencia cretácica que incluye rocas evaporíticas, hacia su base, un paquete grueso de rocas carbonatadas en su parte media, y culmina con una deposición clástica.

El Cenozoico está representado, principalmente, por rocas continentales, del Paleógeno-Neógeno, están expuestas rocas clásticas continentales, rocas piroclásticas y lávicas de composición silícica y rocas intrusivas emplazadas, tanto en las rocas sedimentarias como en las volcánicas.

El Cuaternario está representado por depósitos recientes no consolidados.

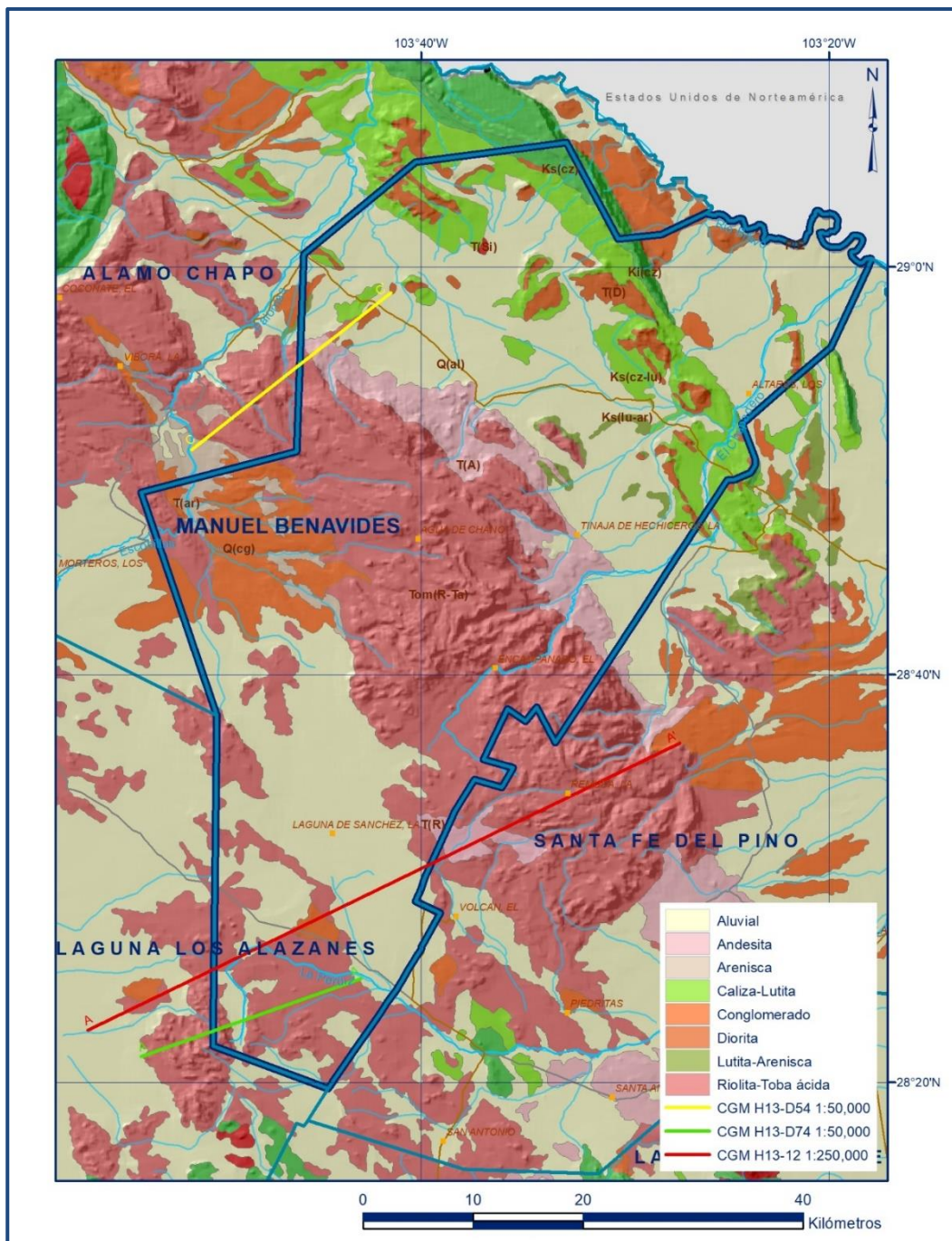


Figura 2. Geología general del acuífero

Rocas sedimentarias

PALEOZOICO

Caliza P (Cz). Unidad de paquetes calcáreos que se intercalan y en ocasiones cambian lateralmente a secuencia calcáreo-arcillosa. Corresponden a la Caliza Solís y a parte de la Formación Monillas; o bien, a la Caliza Pastor y parte de la Formación Plomosas.

El paquete que corresponde a la Caliza Solís, del Ordovícico al Devónico medio, consiste de calizas y dolomías de colores gris y anaranjado con pedernal e intercalaciones de calizas clásticas, con braquiópodos, conodontos y corales. Sobre estas calizas se encuentra la porción calcárea de la Formación Monillas (Devónico Mississípico), que consiste principalmente de calizas y margas.

El paquete que corresponde a la Caliza Pastor, o Formación Horquillas, cuya edad corresponde al periodo Pensilvánico-Pérmico, consiste de calizas dolomíticas masivas de estratificación gruesa, cuya base es de tipo transicional con caliza arcillosa y pedernal de color oscuro. Cambia de facies lateralmente a sedimentos tipo flysh hacia el occidente del área (Formación Villa Aldama). La parte más alta de esta unidad corresponde a las porciones calcáreas de la Formación Plomosas, y consiste de caliza arrecifal que se encuentra junto con depósitos tipo flysh y “rocas verdes” y que se correlacionan con la Formación Villa Aldama. Aflora en el cerro de En Medio.

Arenisca-Conglomerado P (Ar-cg). Secuencia que consiste, en su parte inferior, de una alternancia de areniscas, conglomerados, limolitas, metasedimentos y desarrollos arrecifales calcáreos, pertenecientes a un paquete pequeño de la Formación Plomosas; la porción superior de la secuencia consiste de depósitos continentales de tobas y limolitas asignados a la “Formación Verde” de edad indeterminada.

Los conglomerados son de color violáceo, densos, con matriz arenosa constituida por cuarzo y plagioclasas, con líticos de rocas tobáceas y riolíticas. Las areniscas presentan color gris oscuro que intemperizan a café claro, son de grano fino a medio, con cementante silíceo y están dispuestas en capas delgadas, medianas y gruesas; en algunos sitios constituye un depósito flysch al alternar con las limolitas.

Lutita-Arenisca P (Lu-ar). Esta secuencia aflora en la porción norte de la sierra de Chorreras y está constituida por pizarras carbonosas, de coloración variable entre negro a amarillo, físciles, muy deleznable y con un fracturamiento intenso. En algunos lugares se observan lutitas de color gris oscuro y gris claro que alternan con areniscas de grano fino de color gris claro, con algunos lentes de brecha, constituidos por fragmentos de las mismas rocas; la secuencia presenta metamorfismo incipiente y mineralización de sulfuros.

El contacto inferior de esta unidad no está expuesto en el área; en algunos lugares la secuencia subyace a un conglomerado masivo constituido por clastos redondeados de caliza, areniscas y lutitas de color gris verdoso, con tamaño menor a 15 cm, en una matriz arenosa y cementados por carbonatos. Burrows (1910) denominó a estos sedimentos con el nombre de Formación Plomosas y posteriormente Bridges (1962) los asignó al Pérmico. En 1964 le asigna el nombre de Formación Verde y la separa de la subyacente Formación Plomosas.

MESOZOICO

Lutita-Arenisca Js (Lu-ar). Secuencia sedimentaria constituida por lutitas, areniscas y calizas depositadas en ambiente lagunar. Las areniscas son de grano fino, de color rojo y café en roca fresca y color café oscuro al intemperismo. Se presentan en estratos delgados que alternan, en ocasiones, con lutitas carbonosas físciles, con fracturas en lajas circulares veteadas de calcita en rejilla y con amonitas mal conservadas y con horizontes delgados de caliza nodular color negro en roca fresca y color gris al intemperismo, con pequeños cristales de pirita diseminados e impresiones de amonita.

Por su contenido faunístico de amonitas, se le asigna una edad que va del Kimmerdigiano Inferior al Portlandiano Superior. Esta unidad corresponde a la Formación La Casita que subyace discordantemente a los sedimentos pérmicos. El límite superior de esta unidad está marcado abruptamente por las areniscas rojizas de la Formación Las Vigas del Cretácico Inferior. Aflora al norte de la sierra de Chorreras con una morfología de montañas con pendientes suaves.

Lutita-Arenisca Ki (lu-ar). Unidad constituida por la alternancia de calizas, lutitas, limolitas y areniscas principalmente, aunque también se encuentran algunos horizontes de yeso y de conglomerados. La secuencia fue depositada en un ambiente de plataforma somera a lagunar. Esta unidad corresponde a la Formación Navarrete, la cual está cubierta de manera concordante por una alternancia de lutitas y areniscas de la Formación Las Vigas. Aflora en las sierras El Soldado, Chorreras, La Amargosa y Roque.

Las areniscas varían de ortocuarzitas a arcosas, son de grano medio a grueso, de color rosa y rojo; presentan estratificación cruzada y contienen fragmentos de troncos petrificados. Los estratos varían de delgados a medianos. La unidad incluye algunos

horizontes de calizas arcillosas fosilíferas con amonitas, ostras, gasterópodos y troncos petrificados. Se observan calizas arenosas de color gris, negro, verde y amarillo, en estratos que varían de delgados a medianos, con huellas de desecación en concreciones arcillosas.

Esta unidad corresponde a la Formación Las Vigas, por su posición estratigráfica se le asigna una edad que corresponde al periodo Valanginiano Superior-Barremaniano y se correlaciona con las formaciones Taraises y Cupido del estado de Coahuila. Su contacto inferior es concordante con los sedimentos arcillo-arenosos del grupo La Casita del Jurásico Superior. Su contacto superior es transicional con la Formación Cuchillo y se define por la presencia de caliza biogénicas que caracteriza a la base de esta última.

Caliza-Yeso Ki (cz-y). Unidad constituida principalmente por calizas biogénicas, por yeso y algunos horizontes de lutita, depositada en un ambiente que varía de nerítico externo a epinerítico y lacustre.

Las calizas varían en su coloración de gris claro a gris oscuro y están dispuestas en estratos que varían de delgados a medianos, con horizontes delgados fosilíferos con ostras, pelecípodos y gasterópodos. En algunos afloramientos las calizas son arenosas, de color ocre, y contienen nódulos de pedernal, óxidos de hierro diseminado y en vetillas, dispuestas en estratos gruesos que alternan con lutitas de color café claro y gris. Generalmente se observan estratos gruesos de yeso sacaroide color gris claro y de color amarillo claro al intemperismo, presenta cavidades por disolución y alterna con estratos medianos de areniscas de grano fino de color amarillo claro.

Esta unidad corresponde a la Formación Cuchillo del Aptiano-Albiano Inferior. El contacto inferior de esta formación es transicional con la Formación las Vigas y se marca en el primer estrato de caliza biogénicas correspondiente a la base de la Formación Cuchillo. El contacto superior es nítido y concordante, definido por la base de la caliza masiva de bancos arrecifales de la Formación Benigno.

Caliza-Lutita Ki (cz-lu). La descripción de esta unidad incluye a las formaciones Calizas, Lutitas Sin Nombre y Benavides que presentan características litológicas semejantes y están separadas por una unidad de calizas masivas ya descrita dentro de la unidad calcárea del Cretácico Inferior: Formación Finlay.

La formación Calizas y Lutitas Sin Nombre están constituidas por una alternancia de calizas y lutitas que se depositaron en un ambiente nerítico, interno a medio. Las calizas son del tipo mudstone, nodulares y arcillosas, de color gris y en estratos que van de delgados a medianos con pelecípodos, miliólidos, gasterópodos y equinodermos; intercaladas con estratos medianos de lutitas calcáreas de color gris verdoso. Los contactos de la formación son nítidos y concordantes, delimitados por las capas potentes y masivas de caliza de la cima de la Formación Benigno y de la base de la Formación Finlay. Por su posición estratigráfica se le ubicó en el Albiano Medio; se correlaciona con parte de la Formación Aurora del estado de Coahuila.

La Formación Benavides está constituida por una secuencia de lutitas y calcarenitas que se depositaron en un ambiente nerítico, interno a medio. La caliza es del tipo mudstone, color gris claro, con textura sacaroide; dispuesta en estratos gruesos, con nódulos de pedernal, fragmentos fósiles y aparece intercalada con calizas arenosas, lutitas y limolitas. La secuencia presenta colores que varían de amarillo claro a verde y contiene pseudomorfos y concreciones de pirita hematizados. Su edad es Albiano Medio-Albiano Superior determinada por la presencia del amonita Oxitropidóceras. Forma generalmente valles erosionales limitados por capas de caliza masiva de las formaciones adyacentes.

Caliza Ki (cz). La descripción de esta unidad comprende a tres formaciones que presentan características litológicas semejantes y que se encuentran separadas entre sí por dos formaciones calcáreo-arcillosas: Calizas y Lutitas Sin Nombre y Benavides.

La primera es la Formación Benigno, constituida por caliza masiva que lateralmente cambia a caliza nodular, de color gris claro, en estratos que varían de gruesos a masivos, presenta rasgos de disolución y contiene nódulos de pedernal y de óxidos, y fósiles miliólidos, gasterópodos, orbitolinas, tuocasias y caprínidos. Esta formación está asignada por su posición estratigráfica al Albiano Inferior- Medio y es correlacionable con parte de la Formación Aurora del estado de Coahuila. Sobreyace concordantemente a la Formación Cuchillo y subyace de igual forma a la Formación Calizas y Lutitas Sin Nombre.

La segunda es la Formación Finlay, constituida por caliza masiva con capas esporádicas de areniscas, depositada en un ambiente nerítico interno a medio con

presencia de rudistas que indican el desarrollo de bancos arrecifales. La caliza es del tipo mudstone, arcillosa, de color gris oscuro, en estratos que van de medianos a gruesos, contiene espículas de esponja, tuocasias y caprínidos. Se presenta una caliza del tipo wackestone de color gris oscuro, con bandas y nódulos de pedernal, algas, miliólidos, gasterópodos, equinodermos, espículas de esponja, tuocasias y caprínidos, situada por posición estratigráfica dentro del Albiano Medio y es correlacionable con parte de la Formación Aurora del estado de Coahuila. Sus contactos inferior y superior son nítidos y concordantes con las formaciones Calizas y Lutitas Sin Nombre y Benavides, respectivamente.

La tercera es la Formación Loma de Plata, constituida por caliza masiva nodular que se depositó en un ambiente nerítico interno a medio con presencia de toucasias y caprínidos que reflejan el desarrollo de arrecifes. La caliza es de tipo mudstone de color gris claro en estratos que van de medianos a gruesos con nódulos y lentes de pedernal, huellas de disolución y mineralización. En ocasiones se observa caliza del tipo grainstone de color gris oscuro, en estratos gruesos, a masivos, con bioclásticos de gasterópodos, toucasias y esprínidos. Sus contactos inferior y superior son concordantes. Su edad Albiano Superior está determinada por su posición.

Caliza-Lutita Ks (cz-lu). La descripción de esta unidad comprende dos unidades que presentan características litológicas semejantes; Las formaciones Del Río y Ojinaga que se encuentran separadas entre sí por una unidad constituida por calizas arrecifales: La Formación Buda.

La Formación Del Río está constituida por una alternancia de calizas y lutitas que se depositaron en un ambiente nerítico interno a medio. La caliza es del tipo mudstone, arcillosa de color pardo, aparece en estratos delgados con gasterópodos y amonitas hematizadas; está intercalada con calcilutitas y lutitas laminares en colores verde amarillo y café y con esporádicos horizontes de yeso. Descansa concordantemente en los últimos estratos de caliza masiva de la Formación Loma de Plata y subyace concordantemente a los estratos de caliza compacta de la Formación Buda. Su edad es Albiano Superior-Cenomaniano Inferior.

La Formación Ojinaga está constituida por calizas arcillosas, lutitas y areniscas que se depositaron en un ambiente nerítico. La caliza es del tipo wackestone, de color gris claro, en estratos medianos intercalados con lutitas calcáreas laminares de color gris

en estratos que van de medianos a gruesos. El contacto inferior de esta formación es concordante y se define con la presencia de la caliza compacta que pertenece a la Formación Buda. El contacto superior es concordante también y se marca con la aparición de las primeras capas de areniscas de la Formación San Carlos. Su edad es del Cenomaniano Superior-Turoniano.

Caliza Ks (cz). Unidad constituida por capas de caliza que fueron depositadas en un ambiente nerítico interno a medio, la caliza es de tipo mudstone y grainstone, de color gris claro, dispuesta en estratos que varían de medianos a gruesos y contiene pelecípodos, gasterópodos, globigerínidos, amonitas y espículas de esponja.

Esta unidad corresponde a la Formación Buda y sus contactos inferior y superior son nítidos y concordantes con la Formación Del Río y Formación Ojinaga, respectivamente. Su edad Cenomaniano Inferior está determinada por la amonita Budaicera sp. y se correlaciona con la parte superior de la Formación Cuesta del Cura de Estado de Coahuila.

Arenisca Ks (ar). Unidad constituida por areniscas intercaladas con lutitas y evaporitas que se acumularon en ambiente litoral a continental. Las areniscas son de grano medio, de color amarillo y café, en estratos que van de medianos a delgados, con abundantes ostras y turrítelas, que alternan con capas delgadas de lutitas color café oscuro y delgados horizontes de yeso. En ocasiones las areniscas son calcáreas de color amarillo pardo, en estratos delgados, que contienen ostras, gasterópodos, concreciones de óxidos y pseudomorfos de pirita. Esta unidad corresponde a la Formación San Carlos y su contacto inferior es concordante con las últimas capas de caliza arcillosa pertenecientes a la Formación Ojinaga. Se le asigna una edad comprendida entre el Coniaciano y el Campaniano Inferior, conforma lomeríos de pendientes suaves.

CENOZOICO

Conglomerado Ts (cg). Esta unidad está constituida por conglomerados polimícticos de clastos de rocas volcánicas y sedimentarias, que presentan un grado de redondez que varía de subredondeado a bien redondeado y un rango granulométrico amplio. Los conglomerados tienen en ocasiones matriz areno-arcillosa, están medianamente compactados y pobremente cementados por carbonatos, arcillas y óxidos. La unidad

se presenta en ocasiones intercalada con delgados horizontes de arenisca conglomerática. El color predominante de esta unidad es el ocre. Forma lomeríos medianamente disectados.

Aluvial Q(al). Unidad que incluye a los depósitos recientes de origen aluvial y proluvial. Estos depósitos están constituidos por fragmentos líticos y de minerales. Entre los líticos destacan los de rocas volcánicas y de rocas sedimentarias, mientras que entre los de minerales, los fragmentos de feldespato y los de cuarzo. La unidad forma los abanicos aluviales y las planicies de la zona.

Rocas Ígneas

CENOZOICO Granito T (Gr). Esta unidad está constituida por granito de muscovita, de textura holocristalina equigranular. El granito es de color gris claro, con tono verde en superficie fresca, mientras que en superficie intemperizada presenta color café. La unidad se presenta poco fracturada. Se encuentra emplazada en las rocas paleozoicas al oeste de Aldama y se presenta como un gran promontorio de peñascos redondeados que contrasta con las rocas circundantes.

Granodiorita T (Gd). Esta unidad consiste en granodioritas de texturas cristalinas equigranular, generalmente de grano grueso y de color gris claro, que presentan frecuentemente intemperismo esferoidal. Estas granodioritas están emplazadas en las unidades calcáreas del Cretácico Inferior.

Toba Ácida T (Ta). Unidad constituida principalmente por tobas riolíticas de color gris con tonalidades rojizas y moradas que intemperizan a un color ocre. Las tobas presentan fenocristales de cuarzo y líticos en una matriz vítreo-cristalina con biotita, generalmente como mineral accesorio. Presenta además diversos ferromagnesianos; su estructura se observa vesicular y en ocasiones brechoide y con pseudoestratificación. La mayor parte de esta unidad es de tobas ignimbríticas en las que los constituyentes se encuentran arqueados y aplanados, y con una textura pseudofluidal.

Riolita Toba Ácida T (R-Ta). En esta unidad comprende una intercalación de riolitas y tobas ácidas. Las riolitas son de texturas eutaxíticas, de colores gris y café rojizo e intemperizan en tonos amarillos y café oscuro; sus minerales son fenocristales de cuarzo y plagioclasa; las tobas ácidas son de color gris con tonos rosa y aparecen

pseudoestratificadas, fracturadas y afectadas por diques riolíticos, en ocasiones incluyen pequeños cuerpos de brecha volcánica y riolitas. Esta unidad se encuentra cubriendo a las rocas cretácicas. Tiene una morfología de lomeríos, cerros alargados y de montañas altas.

Riolita T(R). Riolita de textura eutaxítica, con fenocristales de cuarzo y plagioclasa de color gris y café rojizo que al intemperismo adquiere tonos amarillos y café rojizo; en ocasiones contiene esferulitas y presenta pseudoestratificación. Sobreyace a las unidades piroclásticas terciarias.

Toba Ácida-Brecha Volcánica Ácida T (Ta-Bva). Secuencia de tobas ignimbríticas de color gris claro, gris oscuro, rosa y café; dispuestas en pseudocapas de espesor variable entre 3 y 5 metros, intercaladas con brechas de fragmentos angulosos de 10 a 30 cm aproximadamente y con muy esporádicos derrames de andesita. Aflora en las partes bajas con una morfología de lomas y en las partes topográficamente más altas corona las rocas marinas cretácicas, a las que cubre en forma discordante.

Basalto Ts (B). Unidad constituida por derrames de basalto de olivino, de textura intergranular porfídica con fenocristales de olivino y de plagioclasa; en ocasiones presenta amígdalas de sílice y el aspecto de una roca vítrea. Aflora esporádicamente en el área, formando mesetas muy disectadas.

3.2. Geología estructural

La secuencia mesozoica define estructuras plegadas, recostadas hacia el noreste, en ocasiones aparecen dislocadas por fallas inversas. Los cuerpos intrusivos aparecen recortados por fallas normales de orientación general norte-sur, al igual que la secuencia piroclástica del Cenozoico. Por las características morfológicas y estructurales que se aprecian, se distinguen zonas diferentes en cuanto al estilo de deformación continua de las unidades litológicas.

Los anticlinales y sinclinales, amplios y simétricos con inclinación en sus flancos de 5 a 10 grados y orientación de los ejes estructurales NW-SE. El desarrollo de este tipo de estructuras suaves y abiertas fue debido a la competencia de la roca calcárea, a los esfuerzos de compresión.

La deformación discontinua está representada por dos tipos: las fallas de compresión y distensión, de las primeras se observaron pliegues-falla y fallamiento inverso de poca magnitud con vergencia hacia el NE, así como de cabalgadura.

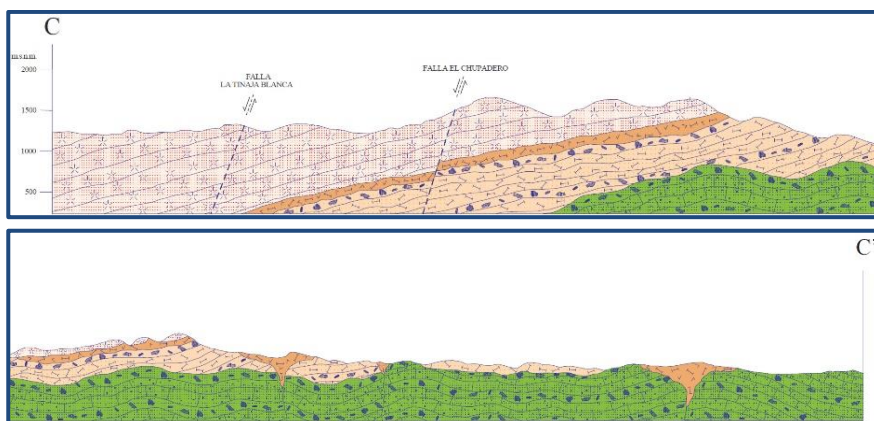
Las estructuras distensivas, están representadas por fallas normales y fracturas; las primeras guardan una orientación NW-SE principalmente, con variaciones N-S, son las causantes de la separación de los bloques sedimentarios y la formación de fosas tectónicas. Las fracturas forman dos familias una con orientación NE-SW y la otra NW-SE, que afectan a las unidades sedimentarias e ígneas. Estructuras de origen ígneo extrusivo, se encuentran diseminadas en el área y se representan por derrames lávicos, conos y mesetas.

Se distinguen tres fases de deformación: una fase compresiva del Cretácico Superior-Cenozoico Inferior que pliega las secuencias sedimentarias, un posterior emplazamiento de cuerpos intrusivos, que modifican localmente las estructuras existentes hacia formas dómicas. Una fase de ajuste isostático, que dio origen a pliegues de fondo y fracturas de orientación NNE-SSW, del Mioceno Superior M. Tardy (1977), D.A. Córdoba (1980) y observada en rocas ígneas y sedimentarias del Cenozoico (Eoceno Mioceno Inferior). Una fase distensiva del Plioceno, representada por fallas de extensión, que formaron la Provincia morfológica de Sierras y Cuencas.

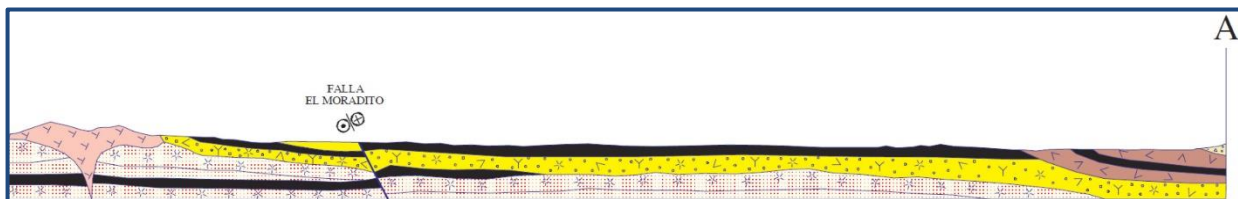
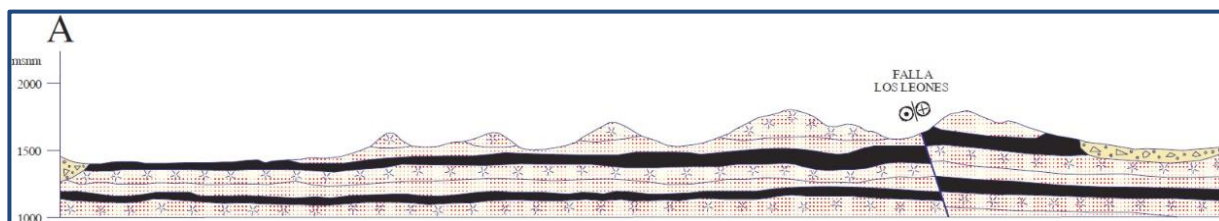
3.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica e hidrogeológica recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a baja, que constituyen las extensas planicies y los piedemontes. La porción inferior está conformada por rocas ígneas extrusivas como basaltos, tobas y andesitas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas ígneas, al desaparecer el fracturamiento. A mayor profundidad las calizas de las formaciones Ojinaga, Buda y Del Río, constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona, que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento o confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas.

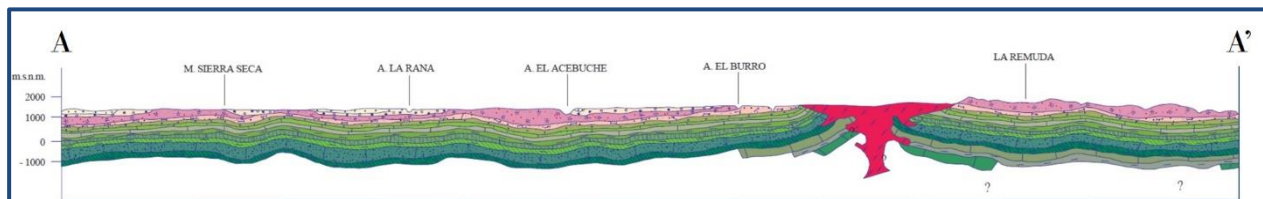
Dichos materiales han permitido la acumulación de agua en el subsuelo, formando un acuífero que se recarga por la infiltración del agua de lluvia desde las sierras constituidas por rocas calizas, basaltos y riolitas, principalmente, y que se almacena en el subsuelo. Salvo los escasos pozos y norias, no se conoce otro tipo de salida o descarga de agua del acuífero. En general se caracteriza por presentar alto contenido salino, lo que restringe su utilización. En la figura 3 se presentan secciones geológicas esquemáticas que muestran la disposición de las unidades geológicas del subsuelo.



Fuente: Carta Geológico-Minera H13-D54 "Álamos de San Antonio". Esc. 1:50,000 (SGM, 2010)



Fuente: Carta Geológico-Minera H13-D74 "El Pozo de Villa". Esc. 1:50,000 (SGM, 2016)



Fuente: Carta Geológico-Minera H13-12 "San Miguel". Esc. 1:250,000 (SGM, 2008)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

4. HIDROGEOLOGÍA

4.1. Tipo de acuífero

El acuífero se desarrolla fundamentalmente en los depósitos conglomeráticos de edad terciaria y los aluviales del cuaternario que los sobreyacen, las rocas volcánicas y calcáreas que contienen a estos depósitos tienen permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución, por lo que también forman parte de la unidad acuífera. No se presentan en el acuífero condiciones de confinamiento, por lo que el acuífero se considera de **tipo libre**.

El flujo del agua subterránea tiene una dirección preferencial suroeste noreste, proviniendo el agua subterránea del acuífero de Rancho Los Astilleros, para posteriormente descargar por flujo subterráneo hacia el acuífero y a Manuel Benavides. Las pequeñas lagunas que se presentan en la planicie son alimentadas por los escurrimientos superficiales durante la temporada de lluvias, no están conectadas con el sistema acuífero. La recarga al acuífero ocurre por flujo subterráneo, por infiltración de agua de lluvia en las elevaciones montañosas que lo limitan, por la infiltración del agua de las corrientes superficiales provenientes de las sierras y en menor proporción por infiltración de agua de lluvia directa sobre el valle.

5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

No existe información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas.

Por todas estas razones, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en la superficie de **2,379.0 km²** del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo con la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

5.1. Entradas

Las entradas al acuífero están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (R_v).

5.1.1 Recarga vertical (R_v)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

V_{LL} = Volumen de lluvia;

V_{ETR} = Volumen evapotranspirado;

V_{ESC} = Volumen escurrido;

V_{INF} = Volumen infiltrado;

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

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie del acuífero se obtiene a través del Método de Polígonos de Thiessen, que toma en cuenta la ubicación de las estaciones meteorológicas cercanas mediante un factor de ponderación, determinado a partir del área de influencia de cada estación.

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (2,379.0 km²) por la lámina de precipitación media anual (287.0 mm):

$$V_{LL} = 2,379.0 \text{ km}^2 (0.287 \text{ m}) = 682.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de precipitación de 287.0 mm y temperatura de 18.4 °C.

Turc a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas para todos los climas del mundo, reporta la expresión siguiente:

$$ETR = \frac{P}{\left[0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración real, en mm;

P = Precipitación media anual, en mm;

L = $300 + 25T + 0.05T^3$;

T = Temperatura media anual, en °C;

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc, es que la precipitación no debe ser menor a la relación 0.31L. En caso contrario se obtiene una $ETR > P$ y para estos casos se debe considerar a $ETR = P$. De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de 287.3 mm anuales.

De igual manera Coutagne propuso la ecuación siguiente para el cálculo de la evapotranspiración real:

COUTAGNE	$ETR = P - \chi P^2$
Donde:	
ETR= Evapotranspiración m/año	
P = precipitación en m/año	
$\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$	
t = temperatura en °C	

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que 1/8X la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que 1/2X la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por: $ETR = 0.20 + 0.035 T$. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de **263 mm anuales**.

Se optó por la estimación conservadora de la infiltración que se obtiene al tomar en cuenta la lámina de evapotranspiración obtenida con la fórmula de Coutagne, que es de 263 mm anuales, que representa el 91% de evapotranspiración respecto a la lluvia; por lo que el volumen de la ETR (V_{ETR}) es:

$$V_{ETR} = 2,379.0 \text{ km}^2 (0.263 \text{ m}) = 625.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia (V_{ESC}) se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el Diario Oficial de la Federación, con fecha del 27 de marzo de 2015, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

La normatividad establece que el volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{VOLUMEN ANUAL DE} & & \text{PRECIPITACION} & & \text{AREA DE LA} & & \text{COEFICIENTE DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO NATURAL} & = & \text{ANUAL DE LA} & * & \text{CUENCA} & * & \text{ESCURRIMIENTO} \\ \text{DE LA CUENCA} & & \text{CUENCA} & & & & \end{array}$$

El coeficiente de escurrimiento (C_e) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

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

En el caso de que, en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado.

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

Si K resulta menor o igual que 0.15

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

Si K es mayor que 0.15

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

Donde:

P = Precipitación anual;

Ce = Coeficiente de escurrimiento anual;

K = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

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

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERISTICAS		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgadas sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

De acuerdo con la cartografía de CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo de suelo, predominan los tipos que se muestran en la figura 4.

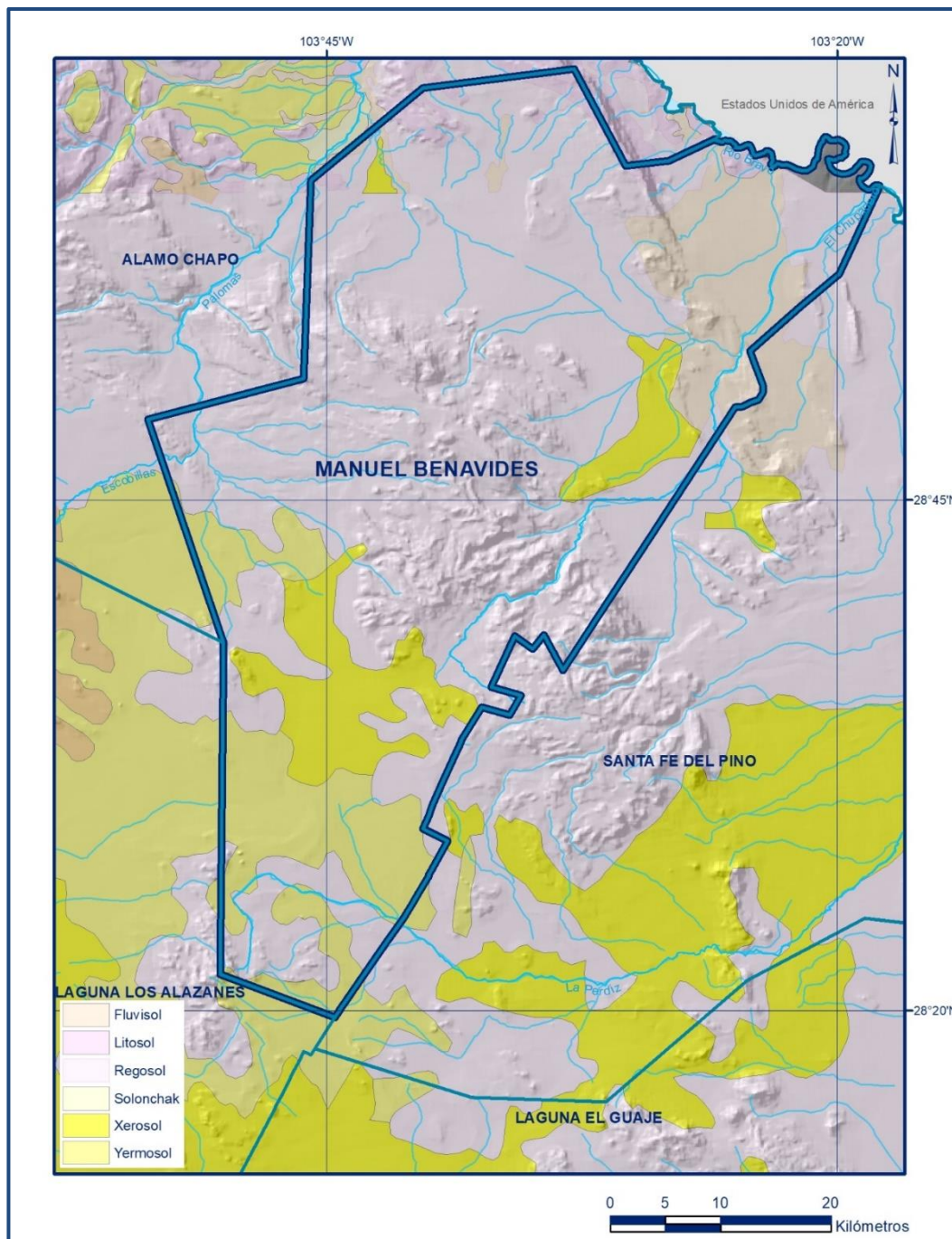


Figura 4. Tipo de Suelo

En cuanto al uso de suelo, de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1: 1,000,000 los usos principales se muestran en la figura 5.

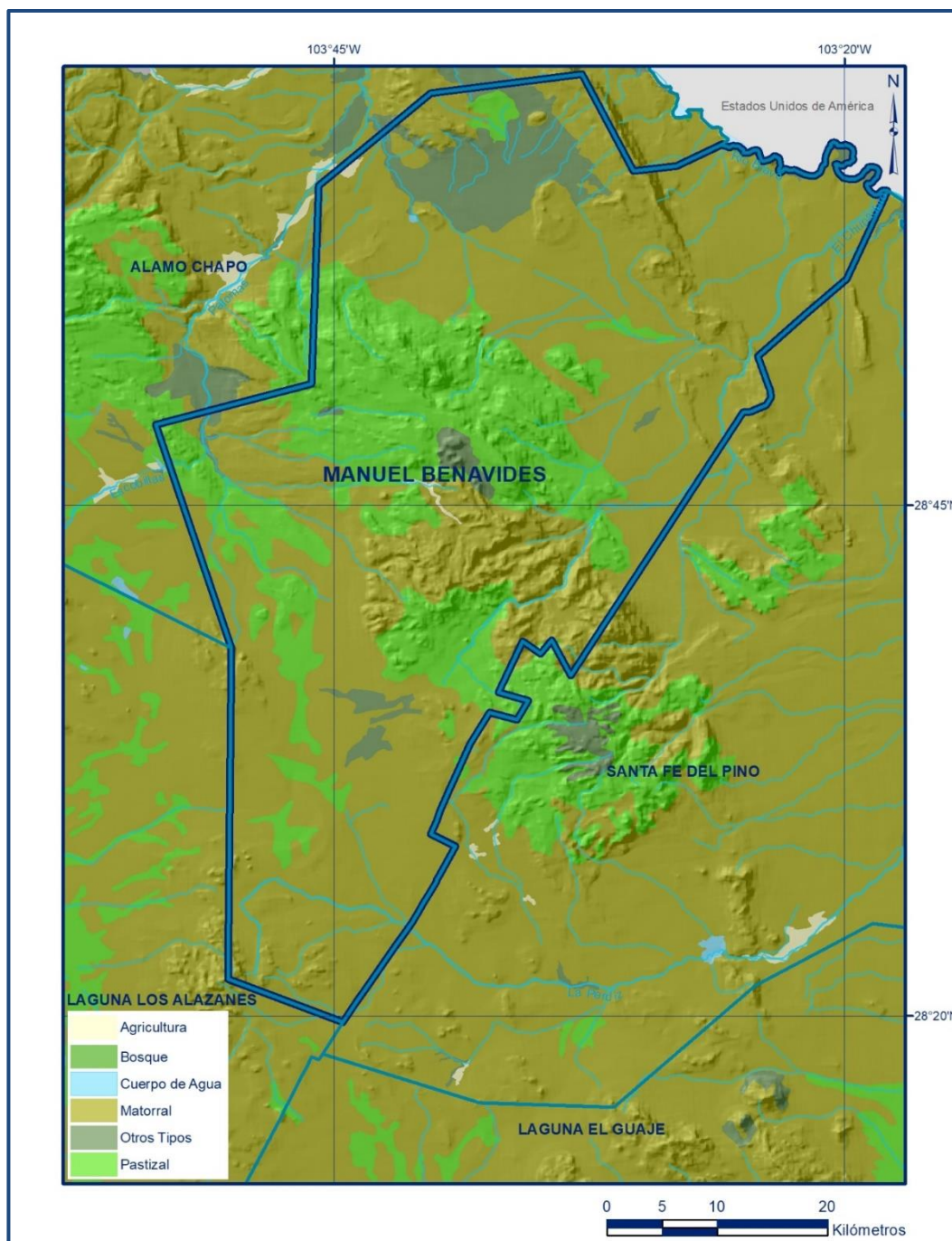


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.22, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

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

$$C_e = 0.051$$

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

$$V_{ESC} = 0.051 (682.8 \text{ hm}^3) = 34.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

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

$$V_{INF} = 682.8 - 625.7 - 34.7$$

$$V_{INF} = 22.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 682.8 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.03.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 22.4 hm³/año en los 2,379.0 km² de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 22.4 hm³ anuales**

5.2. Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes:

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), evapotranspiración y posiblemente a través de salidas subterráneas, pero no se cuenta información piezométrica para su estimación.

5.2.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), se tiene registrado un volumen de extracción de 0.7 hm³ anuales, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

6. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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:

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

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

6.1. Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **22.4 hm³ anuales**.

6.2. Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para el caso del acuífero Manuel Benavides se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de 0.2 hm³/año, que corresponden a la salida por manantiales. Por lo que la **DNC = 0.2 hm³ anuales**.

6.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), 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 **707,328 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 del 2022**.

6.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 22.4 - 0.2 - 0.707328 \\ \text{DMA} &= 21.492672 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

La cifra indica que existe un volumen de **21,492,672 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

7. BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2006. Elaboración del Estudio de Respaldo para el Cálculo de la Disponibilidad Media Anual de Aguas Subterráneas del Acuífero Laguna de Hormigas, Estado de Chihuahua. Elaborado por el Servicio Geológico Mexicano.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2005. Estudio Geohidrológico del Acuífero Laguna de Patos, estado de Chihuahua. Elaborado por la empresa Estudios y Proyectos en Agua Subterránea, S. A. de C.V.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS, 1981. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos de la Cuenca de la Laguna del Cuervo, Estado de Chihuahua. Elaborado por la empresa InGeo, S.C.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2010. Carta Geológico-Minera Álamos San Antonio H13-D54. Escala 1:50,000. Pachuca, Hgo.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2016. Carta Geológico-Minera El Pozo de Villa H13-D74. Escala 1:50,000. Pachuca, Hgo.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2008. Carta Geológico-Minera San Miguel H13-12. Escala 1:250,000. Pachuca, Hgo.