



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO ORIENTE AGUANAVAL (1024), ESTADO
DE DURANGO**

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.....	6
2.3	Hidrografía	6
2.4	Geomorfología.....	6
3	GEOLOGÍA.....	7
3.1	Estratigrafía.....	7
3.2	Geología estructural	11
3.3	Geología del subsuelo	12
4	HIDROGEOLOGÍA.....	12
4.1	Tipo de acuífero	12
5	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	13
5.1	Entradas	14
5.2	Recarga vertical (Rv).....	14
5.3	Salidas.....	20
5.3.1	Bombeo (B).....	20
5.3.2	Descarga por flujo base (Dfb).....	20
6	DISPONIBILIDAD	20
6.1	Recarga total media anual (R).....	21
6.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	21
6.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	21
6.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	22
7	BIBLIOGRAFÍA	23

1 GENERALIDADES

Antecedentes

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

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de estas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

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

1.1 Localización

El acuífero Oriente Aguanaval, definido con la clave 1024 en la CONAGUA, se localiza en la porción oriente del estado de Durango, entre las coordenadas geográficas 24° 25' y 25° 30' de latitud norte y 102° 28' y 103° 37' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 7257.22 km².

Limita al norte con el acuífero Principal Región Lagunera, Coahuila; al este con Cedros y Camacho, ambos pertenecientes al estado de Zacatecas; al este con Cedral-

Matehuala, al sureste con Villa de Arista; al oeste con Pedriceña-Velardeña, Durango y al sur con el acuífero El Palmar de Zacatecas (figura 1).

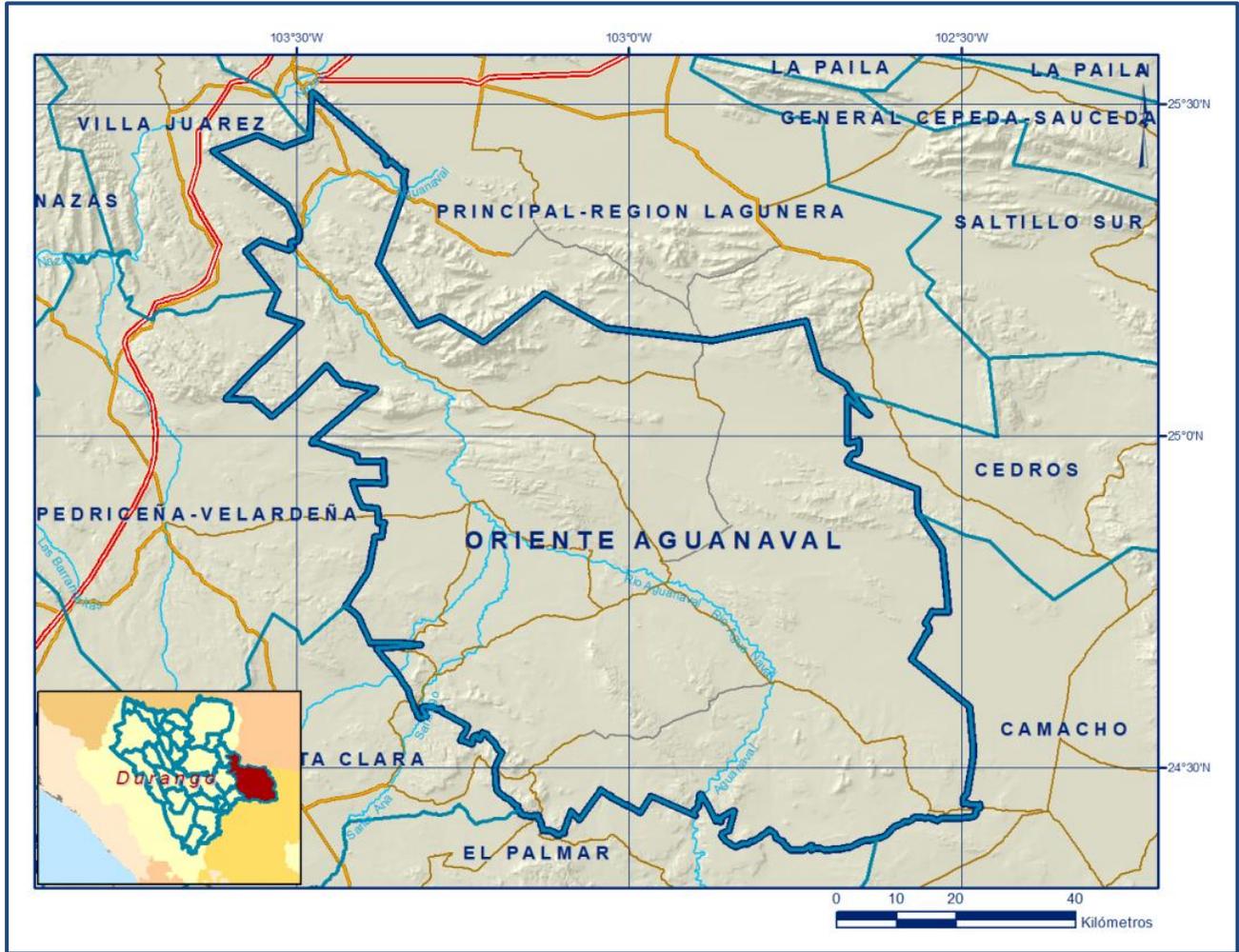


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, comprende; parcialmente los municipios Viesca y Lerdo; así como los municipios General Simón Bolívar, Torreón y San Juan de Guadalupe, en menor medida Cuencamé y Mazapil. 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

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	40	19.7	25	4	35.5	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	102	39	51.6	25	3	51.1	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	102	33	54.5	24	52	55.2	DEL 3 AL 4 POR EL LIMITE ESTATAL
4	102	37	35.6	24	23	36.6	DEL 4 AL 5 POR EL LIMITE ESTATAL
5	103	9	57.8	24	26	7.7	DEL 5 AL 6 POR EL LIMITE MUNICIPAL
6	103	25	34.0	24	44	39.6	DEL 6 AL 7 POR EL LIMITE MUNICIPAL
7	103	31	51.6	25	13	16.5	
8	103	34	34.6	25	16	38.9	
9	103	33	13.1	25	17	40.9	
10	103	30	41.1	25	16	45.8	DEL 10 AL 11 POR EL LIMITE ESTATAL
11	103	29	42.9	25	18	35.0	
12	103	30	46.1	25	20	48.8	
13	103	37	31.7	25	25	41.7	
14	103	33	28.4	25	27	7.0	
15	103	31	10.9	25	26	7.6	
16	103	28	47.6	25	27	0.1	
17	103	28	38.0	25	30	59.6	DEL 17 AL 18 POR EL LIMITE ESTATAL
18	103	20	14.8	25	22	15.8	
19	103	22	36.5	25	15	35.8	
20	103	19	0.2	25	10	0.2	
21	103	17	3.0	25	10	46.7	
22	103	13	4.4	25	8	27.3	
23	103	7	34.9	25	12	52.1	
24	103	2	3.3	25	9	42.1	
25	102	52	27.1	25	8	35.3	
26	102	43	59.7	25	10	24.5	
27	102	42	42.9	25	6	5.7	
1	102	40	19.7	25	4	35.5	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Oriente Aguanaval pertenece al Organismo de Cuenca VII “Cuencas Centrales del Norte”, al Consejo de Cuenca “Nazas-Aguanaval”, instalado el 01 de diciembre del 1998, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en el estado de Durango. Su territorio se encuentra totalmente vedado sujeto a las disposiciones de 3 decretos de veda. El primero de ellos al norte es el *“Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Ceballos y de La Laguna, que comprenden parte de los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila.”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 06 de diciembre de 1958, veda del tipo II. El segundo es el *“Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Región Lagunera”* publicado el día 17 de abril de 1965, veda del tipo III, zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros y *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del área que ocupa los límites geopolíticos de los Municipios de Nazas, Rodeo, San Luis del Cordero, General Simón Bolívar y San Juan de Guadalupe. Del Estado de Durango.”*, publicado el 27 de marzo en 1981, veda del tipo II.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. En la porción norte y sur se localizan zonas pertenecientes al Distrito de Riego 017 "Región Lagunera".

2 FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero se ubica en la provincia fisiográfica Mesa del Centro y Sierra Madre Oriental. Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1981), el acuífero se ubica en tres subprovincias, la mayor parte de la superficie en la subprovincia Sierras Transversales; una porción central clasificada como Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande y la región suroccidental se localiza en la subprovincia Sierras y Llanuras del Norte.

La provincia fisiográfica Mesa del Centro, se caracteriza por tener amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas y cuencas endorreicas en las que la mayoría de los escurrimientos forman lagunas efímeras o bien desaparecen los arroyos en los piedemontes, en estas regiones la topografía presenta elevaciones pequeñas que delimitan las planicies, valles y extensas llanuras; las montañas se reducen a cerros con pendientes suaves. Predominan en su porción centro oriental, afloramientos litológicos que corresponden a unidades sedimentarias mesozoicas y rocas volcánicas hacia el centro-occidente. Una característica de las llanuras es que están afectadas por una capa cementada y endurecida de caliche a escasa profundidad.

La Sierra Madre Oriental está orientada en sentido norte-sur y noroeste-sureste, que muestra una flexión con orientación este-oeste entre Monterrey y Torreón. Representa un conjunto de sierras en las que afloran secuencias mesozoicas plegadas de rocas sedimentarias marinas del Cretácico y Jurásico Superior, entre las que predominan las calizas, areniscas y secuencias arcillosas. El plegamiento se manifiesta de múltiples maneras, pero su forma más notable es la que produce topoformas onduladas y paralelas, en donde las partes topográficamente más altas, corresponden con anticlinales y las zonas bajas a sinclinales, cuando las formaciones son resistentes a la erosión. La flexión de las rocas en las crestas de los pliegues ocasionó extensión con el correspondiente fracturamiento, haciéndolas más susceptibles a los procesos erosivos. Cuando las estructuras mayores se encuentran erosionadas en sus núcleos

sólo quedan flancos residuales de los anticlinales, con un valle al centro, denominadas "potreros". La subprovincia "Sierras Transversales" que se caracteriza por un conjunto de sierras con orientación NW-SE y E-W, que presentan una flexión al N-S.

2.2 Clima De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, en la mayor superficie del acuífero prevalece el clima "muy árido, semicálido (BWhw), con temperatura media anual entre 18°C y 22°C, la temperatura del mes más frío es menor de 18° C y la temperatura del mes más caliente es mayor de 22°C, lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. En menor proporción se clasifica como un clima árido, semicálido (BSohw).

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 10 estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero: Nuevo Tampico, Presa La Flor, Simón Bolívar, Tanque Aguilereño, San Juan de Guadalupe Bajío de Ahuichila, Tejaban de La Rosita, Ciudad Lerdo, Yerbanis y San Gil, cuyo registro que comprende el periodo 1993-2012. Con estos datos y utilizando el método de Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **321 mm** y **19.7°C**, respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en la Región Hidrológica No. 36 Nazas-Aguanaval. El río Aguanaval es una corriente perenne que atraviesa todo el acuífero. Existen otros escurrimientos de arroyos no perennes, tales como el río Santa Clara y la Leona.

2.4 Geomorfología

Las geformas que constituyen el paisaje del área son el producto de la composición litológica de las rocas existentes y de los procesos endógenos y exógenos que han ocurrido a través del tiempo geológico. La zona en la que se aloja el acuífero tiene una altitud promedio entre 1,050 y 1,100 msnm. Entre las geformas características de la región donde se ubica el área pueden distinguirse sierras, lomeríos y llanuras aluviales. La zona se caracteriza por su gran cantidad de pliegues y fallas se y por la presencia de sierras alargadas y plegadas con orientación NNW-SSE, algunas de estas afectadas por fallas inversas o cabalgamientos, descansando sobre un basamento Precámbrico y Paleozoico, conformadas por depósitos marinos del Cretácico Medio (Albiano-Cenomaniano), emplazadas por rocas ígneas del Cenozoico, intercaladas con amplios

valles rellenos de depósitos continentales del Cuaternario.

Gran parte de las superficies del acuífero está cubierta por lomeríos conformados por depósitos aluviales. A lo largo del cauce del río Aguanaval puede apreciarse un estrecho valle que se extiende en dirección NE-SW. La formación de los valles se asocia al relleno de cuencas que se originaron por esfuerzos tectónicos.

Considerando el grado de integración del drenaje y la extensión de sus valles, se puede concluir que la zona se encuentra en una etapa de madurez temprana-avanzada, de acuerdo con el ciclo geomorfológico de Davis.

Aproximadamente la mitad de la extensión del acuífero está constituida por material aluvial que permite muy bien el paso del agua, la otra mitad de la superficie del acuífero está constituido por rocas sedimentarias, entre las que destacan las calizas y los conglomerados, los cuales constituyen un 20% del área cada uno, cuyas rocas son de características permeables a muy permeables. Al centro y sur del acuífero, existen afloramientos de rocas ígneas extrusivas como basalto y toba ácida.

3 GEOLOGÍA

3.1 Estratigrafía

TRIÁSICO-JURÁSICO

Formación Nazas

Término formacional utilizado inicialmente por Pantoja (1963) para describir un conjunto de materiales vulcanosedimentarios cuya localidad tipo se encuentra en el anticlinorio de Villa Juárez, sobre el Río Nazas. Es la unidad más antigua de la región y está representada por una serie de lavas antiguas interestratificadas con lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados, que presentan muy baja permeabilidad y que funcionan como basamento geohidrológico de la cuenca. Aflora al sur y noroeste de Villa Juárez, conformando el núcleo de una estructura anticlinal con su eje en forma transversal al cauce del Río Nazas; así como también en las inmediaciones de los poblados Cinco de Mayo, al sur de Cerro Redondo y en la porción central de la Sierra de Jimulco donde consta de lutitas, limolitas y areniscas rojas, en ocasiones conglomeráticas.

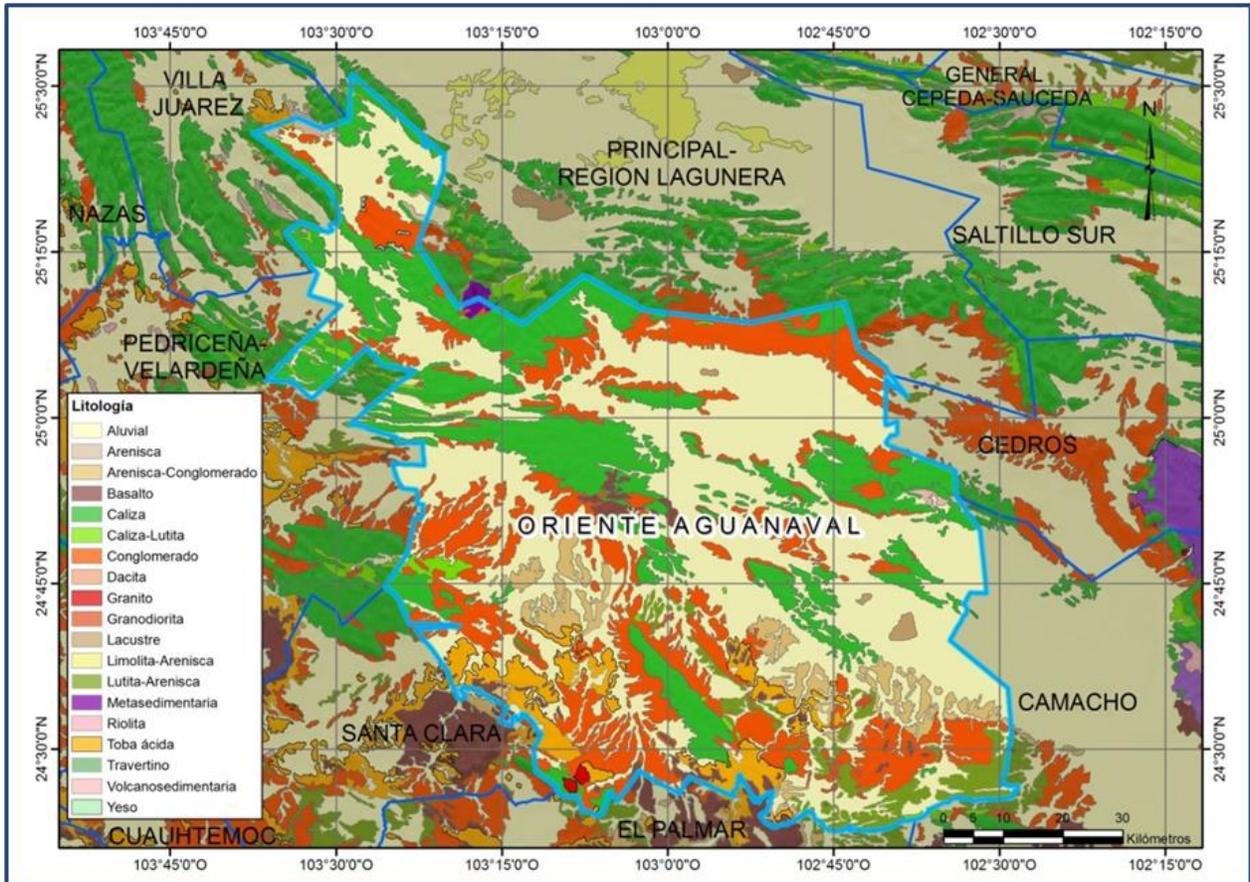


Figura 2. Geología general del acuífero

Los estratos más delgados son laminares hasta de 15 cm de espesor y corresponden a las lutitas y limolitas, en tanto que los derrames de lava y las areniscas, presentan horizontes masivos que superan el metro de espesor.

Por sus características litológicas, se asocia a un depósito de tipo "molasse", que relleno las fosas tectónicas producidas en la fase post-orogénica (tafrogenia) de la Orogenia Apalacheana; en un ambiente continental con intensa actividad volcánica, fallamiento en bloques y erosión intensa de las estructuras producidas durante la fase compresiva, el cual estuvo asociado a un vulcanismo de composición calcoalcalino relacionado con la apertura del Golfo de México.

CRETÁCICO INFERIOR

Formación Cupido

La Formación Cupido fue reportada por primera vez por Imlay (1937) para describir una secuencia carbonatada constituida principalmente por calizas de estratificación

mediana que ocasionalmente presenta concreciones de pirita y una gran cantidad de pedernal en forma de lentes y nódulos, cuyos afloramientos se tienen en el Cañón Mimbres de la porción media de la Sierra de Parras, Coahuila. Dentro del área del acuífero está representada por rocas muy resistentes y homogéneas, principalmente calizas de estratificación mediana y gruesa, de color gris claro. Localmente también se caracteriza por presentar estilolitas y algunos nódulos y lentes de pedernal color gris, e intercalaciones de limolita calcárea y lutita. Representa un sistema sedimentario de plataforma carbonatada somera que se desarrolló entre el Barremiano y el Aptiano (Barragán, 2004). Regionalmente esta unidad presenta un cambio de facies lateral hacia las rocas de ambientes más profundos que representan las rocas de la Formación Tamaulipas. Dentro del área del acuífero, los contactos estratigráficos con la unidad subyacente Formación La Casita y la sobreyacente Cuesta del Cura son concordantes.

Formación Cuesta del Cura

Fue definida por Imlay (1936) en el sector denominado Cuesta del Cura, en la Sierra de Parras, al sur de Coahuila. La secuencia descrita originalmente son estratos delgados de caliza con arcillas intercaladas y bandas de pedernal. Dentro del área del acuífero se encuentra en los flancos de los anticlinales y está constituida por una caliza laminar de color gris oscuro con estratificación ondulada y numerosas lentes y nódulos de pedernal negro. Su edad, determinada con base en su posición estratigráfica, corresponde al Albiano Cenomaniano, su depósito fue rápido en aguas someras en condiciones poco propicias para la vida marina. Por su posición estratigráfica que subyace a los sedimentos permeables de relleno, así como a las rocas volcánicas fracturadas, y por su muy baja permeabilidad, se considera el basamento geohidrológico de la región. En el área estudiada, sobreyace concordantemente a la Formación Cupido, y su contacto superior es también concordante con la Formación Indidura. Se correlaciona con la Formación Mezcalera del Norte de México (Chihuahua), con la Formación Proaño en Fresnillo, Zac. y con la Formación Kiamichi y el Grupo Washita del Golfo de Sabinas.

CRETÁCICO SUPERIOR

Formación Indidura

Fue estudiada por primera vez por Emil Bosé en 1906 en la Sierra de Parras y posteriormente definida por Kelly en 1936 en su localidad tipo de Delicias Coahuila, específicamente en el afloramiento localizado en el flanco oriental del Cerro La

Indidura, localizado aproximadamente a 8 km al norte de Tanque Toribio, en donde consiste de 30 m de lutitas y calizas resquebrajadas y calizas lajeadas. Aflora ampliamente en las estructuras anticlinales y se identifica fácilmente en campo debido a la erosión diferencial con respecto a las formaciones más resistentes que la encajonan, formando puertos y valles sobre los sinclinales. Consiste, en términos generales, de una secuencia de wackestone arenoso arcilloso, que varía gradual y transicionalmente a intercalaciones de lutitas calcáreas; estratificada en capas delgadas y medianas con espesores de 5 a 20 cm y 30 a 60 cm, respectivamente; de coloración gris oscuro a negro en muestra fresca, cambiando comúnmente a pardo amarillento y ocasionalmente en tonalidades rosáceas y rojizas, con presencia de estructura laminar, fracturas y vetillas rellenas por calcita.

Formación Caracol

Esta formación fue descrita por Imlay (1937) como tobas desvitrificadas, lutita y caliza en menor proporción, que sobreyacen a la Formación Indidura en la parte media de la Sierra de Parras en Coahuila. Los afloramientos más importantes de esta unidad se tienen hacia la porción centro-norte del área del acuífero. Esta formación está constituida por capas de lutitas, con intercalaciones de arenisca. La lutita es moderadamente calcárea y suave, de color oscuro localmente con algo de arena, mientras que la arenisca es de color gris pardo a verdoso y presenta estratificación de delgada a gruesa. Por su litología y rasgos sedimentológicos, las rocas de la Formación Caracol se depositaron en una cuenca poco profunda, con libre circulación y parcial influencia del oleaje, dentro de una zona sublitoral entre 50 y 100 m de profundidad (Barboza-Gudiño et al., 2004). Dentro del área estudiada no se tiene aflorando su límite inferior, aunque regionalmente es transicional con la Formación Indidura; mientras que, hacia la cima, es cubierta discordantemente por las rocas de la Formación Santa Inés.

CENOZOICO

Formación Ahuichila

Definida formalmente por Rogers (1981), en los afloramientos expuestos en el "Frontón de Ahuichila", ubicado en el límite donde convergen los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas. Es un depósito de tipo molasa continental que se acumuló después del plegamiento de la Sierra Madre Oriental, está constituida por depósitos clásticos de origen continental (conglomerados y brechas) conformados por fragmentos de caliza, calcarenita, calcilutita y de rocas volcánicas, en una matriz calcárea y limolítica; así como calizas, arcosas, calizas de agua dulce, tobas y otros materiales piroclásticos, que

se presentan en bancos gruesos y masivos; de colores que varían de gris a rojizo. Sus afloramientos son escasos se localizan exclusivamente en las zonas de pie de monte. Rogers (op. cit) en su localidad tipo reporta un espesor de 305 m. Debido a su posición estratigráfica y su origen, se relaciona con los primeros depósitos de características continentales, formados como consecuencia de la emersión del continente, generada por la Orogenia Laramide. Su edad corresponde al Eoceno y está asociada a las márgenes de bloques y fosas tectónicas.

CUATERNARIO

Durante el Cuaternario se desarrolló una secuencia de clásticos de origen continental, constituidos principalmente por guijas y cantos rodados de caliza subredondeados a redondeados, que varían de gravas semiconsolidadas hasta conglomerados cementados por arcillas, limo o caliche. Los depósitos aluviales son de gran extensión y se presentan en los valles; estos corresponden a ejes de sinclinales que han sido rellenos por este material, se estima que su espesor máximo es de 200 m.

Aluvión y depósitos de talud Se encuentran representados en el área de estudio, por depósitos de acarreo en cauces de ríos y arroyos, suelos residuales, limos y arcillas, depositados en las zonas topográficamente bajas y planas. Los depósitos de talud, están constituidos por depósitos residuales y gravas mal consolidadas, acumulados en las estribaciones de las sierras. Estos depósitos son el resultado del intemperismo fisicoquímico y mecánico de las rocas preexistentes y cubren discordantemente a todas las rocas anteriores. En la unidad se incluyen también depósitos eólicos y lacustres que se acumularon principalmente en la zona de las antiguas lagunas de Mayrán y Viesca.

3.2 Geología estructural

En el área estudiada se distinguieron dos eventos de deformación; el primero pre-Oxfordiano, que dio origen a la esquistosidad de las formaciones Taray, Rodeo y Caopas, asociada a la evolución del arco continental cordillerano. Asociada a la esquistosidad se desarrolla una lineación mineral de dirección N 10- 20°. El segundo evento de deformación se evidencia principalmente en el paquete sedimentario Cretácico, durante la Orogenia Laramide, originando una serie de pliegues anticlinales y sinclinales, generalmente asimétricos, orientados NW-SE y E-W desarrollando al mismo tiempo una gran cantidad de cabalgamientos con transporte tectónico al NE.

Este tipo de estructuras se manifiesta ampliamente en la Sierra Yerbaniz, La Herradura, La Piedra Blanca, La Candelaria, Sierra Vieja de Ramírez, San Julián, El Solitario de Teyra y Guadalupe, en donde se observan apilamientos de cabalgaduras intraformacionales produciendo sierras de elevaciones considerables con fuertes pendientes. El efecto de la Orogenia Laramide es claramente observable en el flanco oriente del anticlinal de San Julian, el cual correspondería a un pliegue de fondo en compresión orientado en dirección NW-SE, en donde se desarrollaron cinco estructuras anticlinales, orientadas en dirección NE-SW, recostados al NW, es decir, en forma oblicua a la estructura principal de la Sierra de San Julián y que se conoce como Cerro Las Mulas, Cerro Las Palomas, Cerro Las Tinajas, Cerro San Miguel y Cerro Jiménez. En estas localidades es claramente observable las dos fases de deformación existente en el área: abajo las rocas metamórficas foliadas y en la parte superior la cobertera mesozoica con la deformación laramídica, definiéndose claramente la zona de despegue o zona de desplazamiento en la base de la Formación Zuloaga, quedando la Formación Nazas como tegumento.

3.3 Geología del subsuelo

El acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por los sedimentos aluviales, fluviales y de pie de monte de granulometría variada, producto del intemperismo de rocas que rodean los valles, y los conglomerados polimícticos que los rellenan. Estos depósitos granulares son el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas que se originaron durante la fase distensiva que ocurrió después de la Orogenia Laramide. Esta es la unidad que se explota principalmente para satisfacer las necesidades de agua de la zona.

La porción inferior está alojada en un medio fracturado, posiblemente con desarrollo de carsticidad, constituido por las rocas calcáreas de las formaciones Cuesta del Cura. A mayor profundidad las calizas de la Formación Cupido pueden funcionar como acuífero confinado o semiconfinados debido a que están sub y sobreyacidas por rocas arcillosas. El basamento regional está constituido por la secuencia de rocas volcánicas, sedimentarias y lechos rojos de la Formación Nazas.

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica, es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por

sedimentos aluviales y fluviales, de granulometría variada y conglomerados. El medio granular poroso está conformado por los depósitos no consolidados o semi-consolidados, y conglomerados que incluyen materiales clásticos de granulometría diversa, originados a partir del intemperismo y erosión de las diversas unidades geológicas que afloran en las sierras que delimitan el acuífero; estos materiales presentan permeabilidad media a baja y se ubican en la proximidad del cauce de los arroyos y en las planicies.

Debajo de la unidad superior, las calizas cretácicas y jurásicas representan un acuífero de buen potencial por a su alta permeabilidad, que puede presentar condiciones de semiconfinamiento y confinamiento, debido a que están sobreyacidas y alternadas por lutitas y limolitas. Por su posición estratigráfica y ubicación forman las principales sierras que limitan al valle, constituyendo las zonas de recarga más importantes.

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 **7,257.2 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 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:

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

5.1 Entradas

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

5.2 Recarga vertical (Rv)

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

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

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 cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (7,257.2 km²) por la lámina de precipitación media anual (321 mm):

$$V_{LL} = 7,257.2 \text{ km}^2 (0.321 \text{ m}) = 2,329.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de precipitación de 321 mm y temperatura de 19.7 °C.

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 **292 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 292 mm anuales; por lo que el volumen de la ETR (V_{ETR}) es:

$$V_{ETR} = 7,257.2 \text{ km}^2 (0.292 \text{ m}) = 2,119.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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.

Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \text{PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA} * \text{AREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO}$$

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 (C_e), 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

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

Si K es mayor que 0.15

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

Donde:

P = Precipitación anual;

C_e = 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	CARACTERÍSTICAS		
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 delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

De acuerdo con la cartografía de CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo de suelo dentro del acuífero Oriente Aguanaval predominan los tipos: Fluvisol, Litosol, Planosol, Regosol, Rendzina, Solonchak, Solonetz, Vertisol, Xerosol y Yermosol (figura 3).

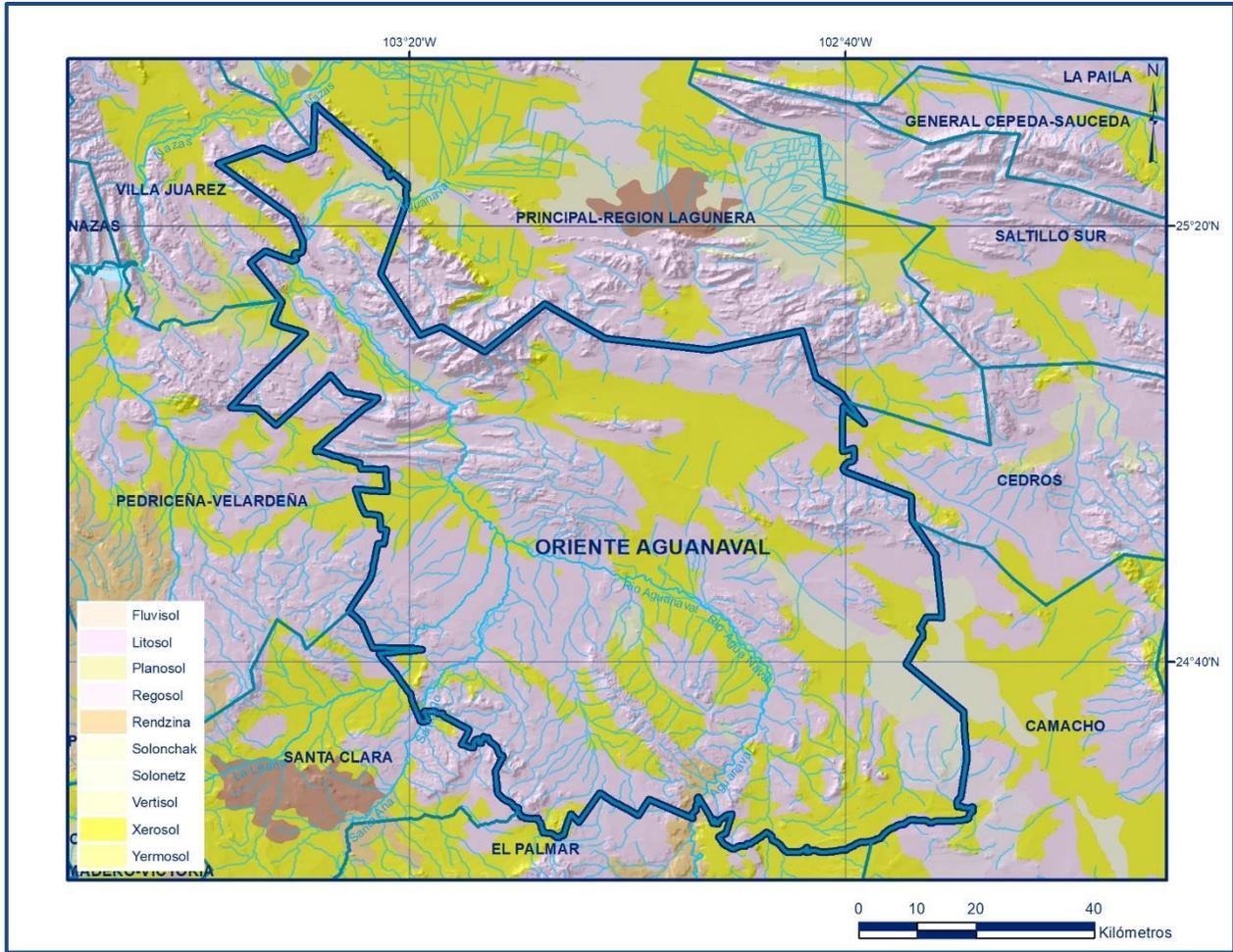


Figura 3. Tipo de Suelo

En cuanto al uso de suelo (figura 4), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000 en el área donde se localiza el acuífero hay al menos ocho usos de suelo diferentes: agricultura, asentamientos humanos, bosque, cuerpo de agua, matorral, otros tipos, pastizal y sin vegetación aparente.

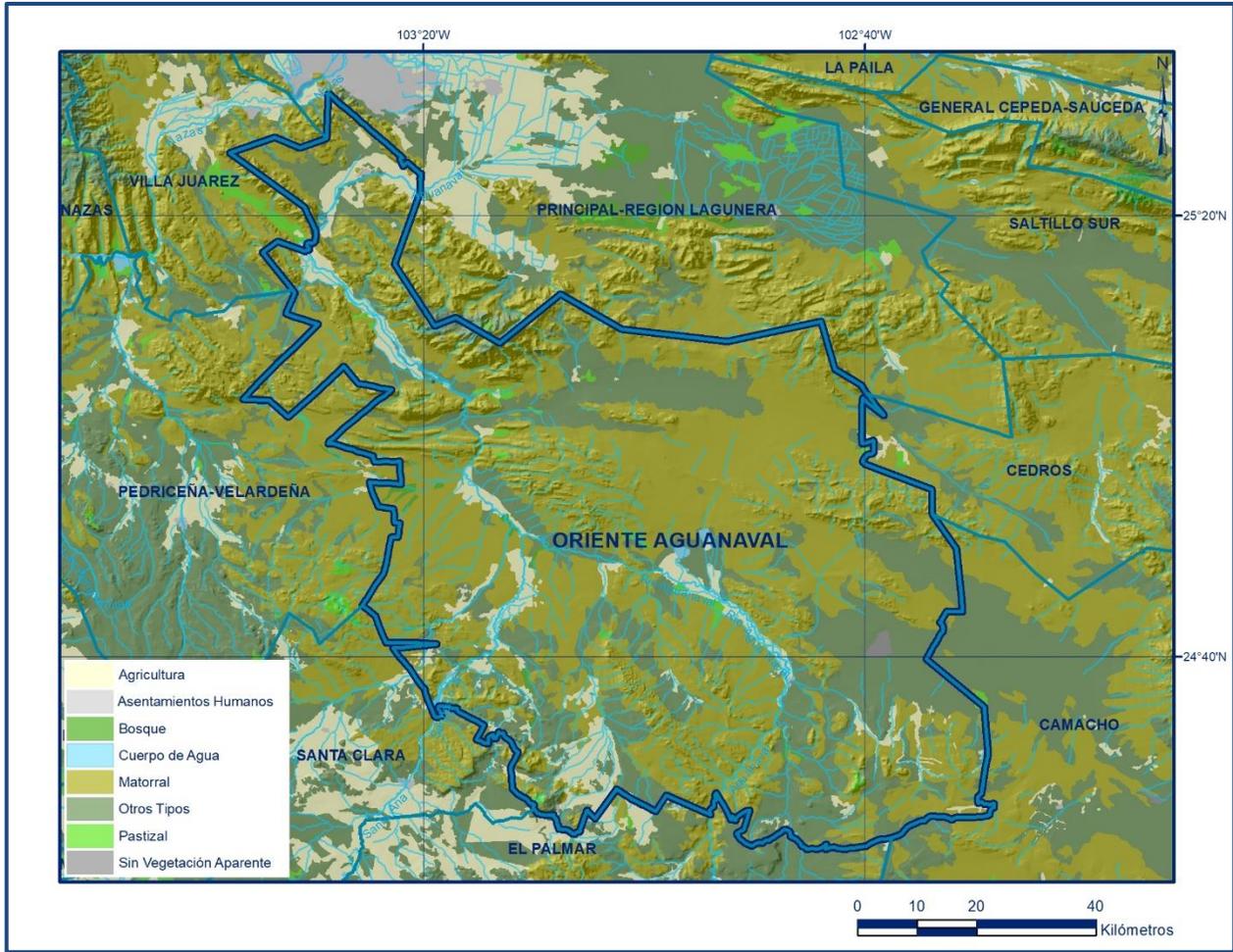


Figura 4. Uso de suelo

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

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

$$\mathbf{C_e = 0.076}$$

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

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.076 (2,329.6 \text{ hm}^3) = 177.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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

$$\begin{aligned}V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2) \\V_{INF} &= 2,329.6 - 2,119.1 - 177.0 \\V_{INF} &= 33.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}\end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 2,329.6 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0144.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 33.5 hm³/año en los 7,257.2 km² de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 33.5 hm³ anuales**

5.3 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.

5.3.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPD), se tiene registrado un volumen de extracción de **53.0 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

5.3.2 Descarga por flujo base (Dfb)

Para este caso, su valor es de **30 hm³ anuales**, que corresponde al flujo base de los ríos (CONAGUA, 2020).

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:

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

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, su valor es de **33.5 hm³ anuales**, todos ellos son de recarga natural.

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 este caso, su valor es de 30 hm³ anuales, que corresponde al flujo base de los ríos, por lo que la **DNC = 30.0 hm³ anuales**.

6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (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 **53,062,432 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 33.5 - 30.0 - 53.052432 \\ \text{DMA} &= -49.562432 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

La cifra indica que existe un déficit de **49,562,432 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

7 BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2020, "Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Oriente Aguanaval (1024), Estado de Durango"

Servicio Geológico Mexicano, 1999, Carta Geológico-Minera G13-12 Juan Aldama. Esc. 1:250.000.

Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA), 2020, Regiones Hidrológicas, Cuencas, Ríos Principales; 2018-2019, Distritos de Riego; 2010, Regiones Hidrológico-Administrativas, Distritos de Riego.

Simulador de Flujo de Agua de Cuencas Hidrográficas (INEGI), 2010 Subcuencas.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018, Municipios; Subprovincias Fisiográficas; 2017, Uso de Suelos; 2008, Unidades climáticas; 2002, Fallas; 2001; Sistema de Topoformas; 2001, Sistema de Topoformas, Provincias Fisiográficas.