



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO COLOTLÁN (1457), ESTADO DE
JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación Administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	6
3.1. Provincia Fisiográfica.....	6
3.2. Clima	7
3.3. Hidrografía.....	7
3.4. Geomorfología	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1. Estratigrafía.....	9
4.2. Geología Estructural.....	10
4.3. Geología del Subsuelo.....	10
5. HIDROGEOLOGÍA	11
5.1. Tipo de Acuífero	11
5.2. Parámetros hidráulicos	11
5.3. Piezometría.....	12
5.4. Comportamiento hidráulico	12
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	12
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	13
7.1. Balance Hidrometeorológico	13
7.2. Entradas.....	16
7.2.1 Recarga vertical	16
7.2.2 Recarga inducida	16
7.3. Salidas.....	17
7.3.1 Bombeo	17
7.4. Cambio de almacenamiento.....	17
8. DISPONIBILIDAD	17
8.1. Recarga total media anual (R)	18
8.2. Descarga natural comprometida (DNC)	18
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	18
8.4. Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)	19

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-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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 Colotlán, definido con la clave 1457 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción norte del Estado de Jalisco entre las coordenadas 21° 54' y 22° 25' de latitud norte y los 103° 03' a los 103° 25' de longitud oeste. Colinda al norte con los acuíferos de Valparaíso y Jerez, al este con Villanueva, al sur con el acuífero Tlaltenango-Tepechitlán, todos ellos del estado de Zacatecas, y al oeste con el acuífero Villa Guerrero del estado de Jalisco, Figura 1, cubre una superficie aproximada de 1064 km² conforme a la poligonal que lo delimita.

Geopolíticamente el acuífero se localiza totalmente en los municipios de Huéjucar y Santa María de los Ángeles; en gran parte de Colotlán; y en una pequeña proporción del municipio de Totatiche, Jalisco.

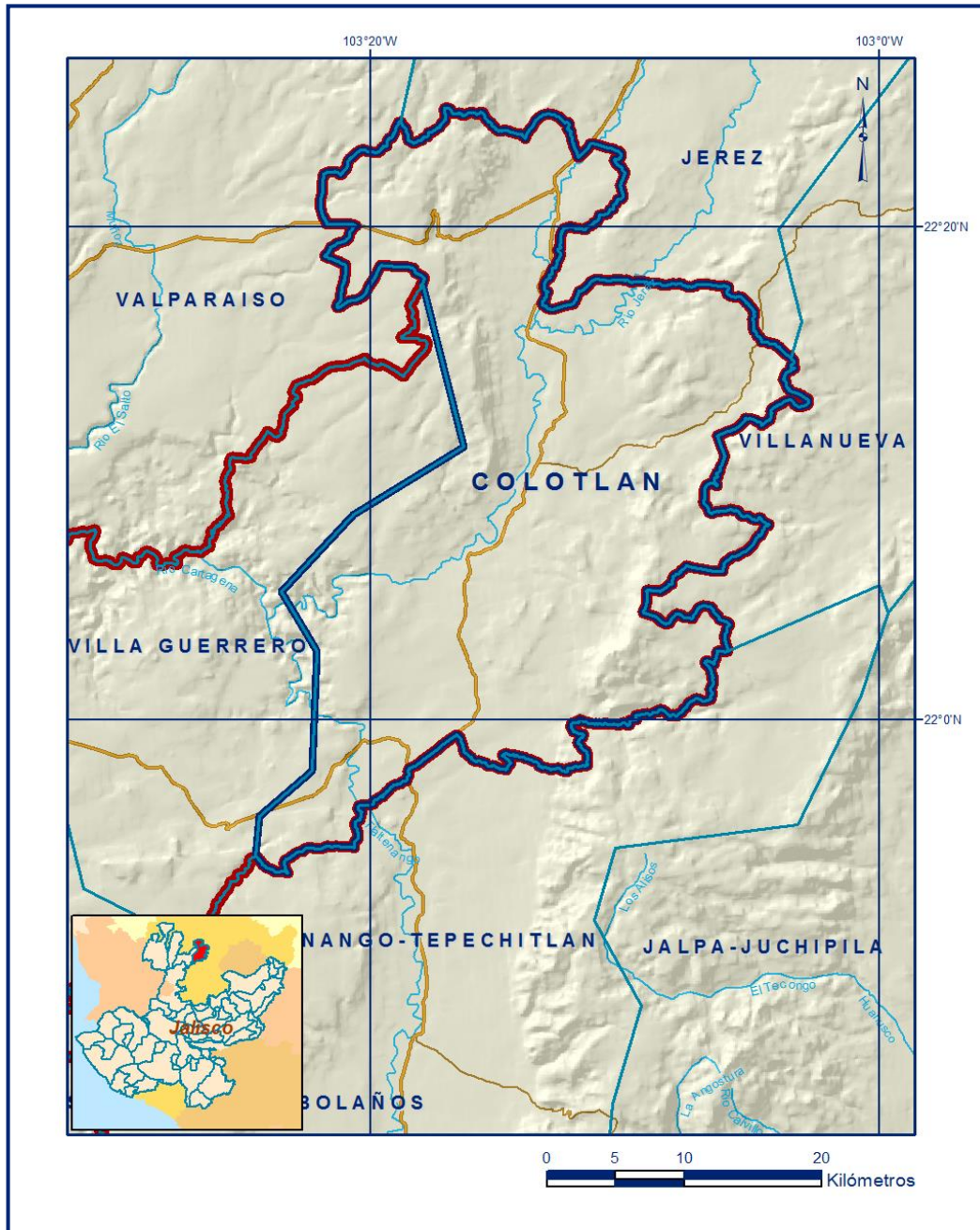


Figura 1. Localización del acuífero

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 que delimitan el acuífero.

ACUIFERO 1457 COLOTLAN							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	18	50.6	22	24	16.7	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	103	3	28.9	22	14	42.9	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	103	6	0.0	22	2	46.1	DEL 3 AL 4 POR EL LIMITE ESTATAL
4	103	24	32.0	21	54	26.5	
5	103	24	23.1	21	56	5.3	
6	103	22	18.6	21	57	54.6	
7	103	22	7.1	22	2	47.9	
8	103	23	31.8	22	5	13.0	
9	103	20	42.4	22	8	20.6	
10	103	16	22.1	22	11	4.0	
11	103	18	0.0	22	17	44.3	DEL 11 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	103	18	50.6	22	24	16.7	

1.2. Situación Administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del decreto de veda tipo III, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 1987, denominada *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas por los decretos presidenciales mencionados en los considerandos que anteceden del presente mandamiento, dentro de la publicación, así como en el resto de los municipios que comprenden el estado de Jalisco, para el mejor control del alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en dicha Entidad Federativa”*.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

Dentro de los límites del acuífero, se localiza la totalidad del Distrito de Riego denominado Estado de Jalisco.

A la fecha no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca (16) Río Santiago, instalado el 14 de julio de 1999.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Se tiene como antecedente de geofísica un estudio realizado por la Compañía ROASA, elaborado en 1979, por lo cual se programaron perfiles geofísicos en los diferentes valles cuya longitud fuera suficiente para colocar sondeos (SEV) de resistividad, que proporcionaría la mayor conformación del subsuelo posible.

Para lo cual se utilizó un aparato de polarización inducida y resistividad marca Scintrex. Se hizo una comparación de las gráficas con los planos topográficos y geológicos y así se registraron los límites o fronteras del material impermeable.

Conclusiones y recomendaciones

Las descargas de esta unidad acuífera son producto de la infiltración que ocurre en las sierras y del flujo horizontal, provenientes de los acuíferos al norte de Huejucar; sus descargas son hacia la barranca del río Bolaños, que funciona como dren natural de la zona.

De acuerdo a las condiciones geológicas, en el que se pudieron observar una serie de fallas escalonadas, lo cual formo lo que actualmente se conoce como Valle de Huejucar-Colotlán y Tlaltenango; así como los contactos observados entre riolitas y tobas, tobas y brechas y conglomerados y así mismo a los datos geofísicos observados de la zona.

Se considera que dicho valle en donde se encuentran los proyectos en estudio, se considera apta para el alumbramiento de aguas subterráneas que estas a su vez se pueden obtener ya sea a través entre los contactos entre riolitas y tobas, o bien en el aluvión.

Amenazas naturales en Jalisco. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. División de Ciencias Ambientales.

El estudio presenta la diferentes unidades hidrogeomorfológicas, para el caso del acuífero se describe la unidad de montaña. La unidad está constituida por: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas ígneas son secuencia de riolita, toba ácida, basalto y algunos cuerpos de intrusivas ácidas e intermedias; en general, estas rocas poseen una permeabilidad que varía de baja a media, esta última en pequeñas áreas que presentan un fracturamiento interno.

Las rocas sedimentarias son secuencias marinas que están constituidas por caliza, lutita, arenisca, estas rocas se presentan en áreas muy pequeñas y tienen una permeabilidad baja. Las rocas metamórficas que afloran en la unidad son esquistos, también con baja permeabilidad.

Esta unidad tiene generalmente pendientes mayores del 20%, Los arroyos son de régimen intermitente, avenidas torrenciales y escurrimiento turbulento; su sección transversal presenta forma de "V" y, en algunos lugares, los cauces están cubiertos por delgados espesores de gravas, guijarros y bloque; el patrón de drenaje es, en general, dendrítico subparalelo.

Por la unidad escurren algunas corrientes perennes en la sierra Los Huicholes, como el río Colotlán-Bolaños y su afluente el río Chico.

La cubierta vegetal está compuesta principalmente por bosques naturales, pastizales y chaparrales, bosque de galería (vegetación riparia).

La unidad de montaña ocupa una superficie aproximada de 12,600 km², que representan el 54% del área total de la carta.

Las principales sierras que la conforman son: Los Huicholes en el occidente de la carta, Los Álamos, Los Cardos y Candelas al oeste de Jerez de García Salinas, la sierra de Zacatecas, la sierra que se encuentra entre los valles de Jerez-Huétucar y Villanueva, y la sierra fría entre este último valle y el de Aguascalientes.

Debido a la pendiente y a la baja permeabilidad que, en general, presentan esta unidad, la infiltración es escasa y la mayor parte del agua precipitada escurre rápidamente hacia las unidades de lomerío y planicie.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia Fisiográfica

El área del acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central (E. Raisz 1964), la cual se caracteriza por presentar diferentes paisajes topográficos de los cuales destacan las sierras altas con mesetas lávicas, llanuras aluviales y valles, formando parte de la Subprovincia Llanos de Ojuelos – Aguascalientes.

En la zona, el rasgo fisiográfico que predomina es un llano de piso rocoso, donde se acumularon depósitos aluviales, lacustres y tobas de granulometría variable, este llano se encuentra delimitado en su porción occidental por mesetas extensas, en la parte norte y oriental se observan estas mismas mesetas, presentándose también sierras altas con mesetas bordeadas por lomeríos muy suaves y aislados con bajadas, esculpidos en areniscas con intercalaciones de lutitas. Las mesetas están formadas por derrames riolíticos, ignimbritas y tobas arenosas.

Así pues la topografía en el municipio permite apreciar diversos tipos de superficie: los valles y planicies, que son utilizados para los asentamientos y actividades humanas; las zonas semiplanas (lomeríos) y es donde se desarrollan actividades productivas como la agricultura y la ganadería.

3.2. Clima

De acuerdo con los datos de la estación climatológica de Colotlán, con registro de 1947 al 1998, el clima imperante en la región es un clima semiseco templado con lluvias en verano, y de precipitación invernal menor de cinco. La temperatura media anual es de 20° C.

Los vientos dominantes son en dirección suroeste. El promedio de días con heladas al año es de 18.9. En los meses de invierno de cada año se registran temperaturas de 1° a 3° C, y en los meses de verano de 34° a 38° C.

En la totalidad del terreno del acuífero, existe un régimen pluviométrico muy inferior a los 800 mm anuales siendo las lluvias en éste acuífero de un promedio de precipitación anual de 613.2 mm. El periodo de lluvias es de junio a octubre y la época de estiaje de noviembre a mayo.

Se observa que de marzo a junio existe una alta evaporación, siendo mayo el mes que presenta el valor máximo de 270.9 mm.

3.3. Hidrografía

El acuífero pertenece a la cuenca hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, subcuenca Santiago- Río Verde-Grande de Belén y Santiago-Atotonilco. Sus principales cauces son los arroyos de caudal en época de lluvias.

El acuífero presenta drenaje de tipo dendrítico, pero más detallado de tipo rectangular y paralelo debido a que existen cursos pequeños, cortos e irregulares, que fluyen en todas direcciones, cubren áreas amplias y llegan al río principal, de esta manera los cauces tributarios y secundarios tienden a unirse en ángulos rectos, y como lo muestra la geología estructural existen fallas, fracturas, discontinuidades que de alguna manera son aprovechados por los cauces; las corrientes fluyen de las partes altas hacia el centro del valle.

Las principales corrientes son los ríos Colotlán y Jerez, que se unen en la cabecera Municipal de Colotlán, con una orientación S-N.

En el área del acuífero se encuentran las presas de Tenasco y Los Pérez, que son utilizadas para almacenar agua para usos principalmente de riego y abrevadero.

3.4. Geomorfología

La región es relativamente joven (Oligoceno-Mioceno), se trata de una cuenca rodeada por montañas, una serie de sierras, lomeríos y un valle alargado, en donde las estructuras geomorfológicas se extienden por varios kilómetros, en su mayor parte depresiones compuestas por grandes bloques y grandes escarpes riolíticos intemperizados. El área se encuentra en una etapa de juventud, el vulcanismo reciente, grandes serranías, cañones pronunciados y la erosión activa así lo manifiestan.

Hacia el este de Santa María de los Ángeles se tiene un relieve topográficamente muy accidentado con las siguientes alturas de 1,750 a 2,500 msnm en zonas planas, zonas accidentadas y semiplanas al noroeste entre muchas; existen estribaciones en la sierra El Carrizo y la Mesa del Peñasco Prieto; al oeste se encuentra el cerro de El Mirador, cerro de Las Peñas y del Peñasco Andino; al este y suroeste se encuentran los cerros El Chichimeca, La Boquilla y al sur están las estribaciones de El Pichón, El Venadero, El Sombreretillo, Colorado, El Papalote, EL Venado, Piedras de Amolar, La Cumbre de la Cuesta, La Periquera Grande, Los Sotoles, El Coyote, De Ojeda, El Pisiete, Las Manzanillas, De los Gálvez, El Peñasco Ancho, entre otros.

4. GEOLOGÍA

Las rocas que afloran en el área del acuífero están conformadas principalmente por aluviones, riolitas intercaladas con tobas ácidas, y pequeños afloramientos de depósitos lacustres, basaltos y lutitas interestratificadas con areniscas. Figura 2.

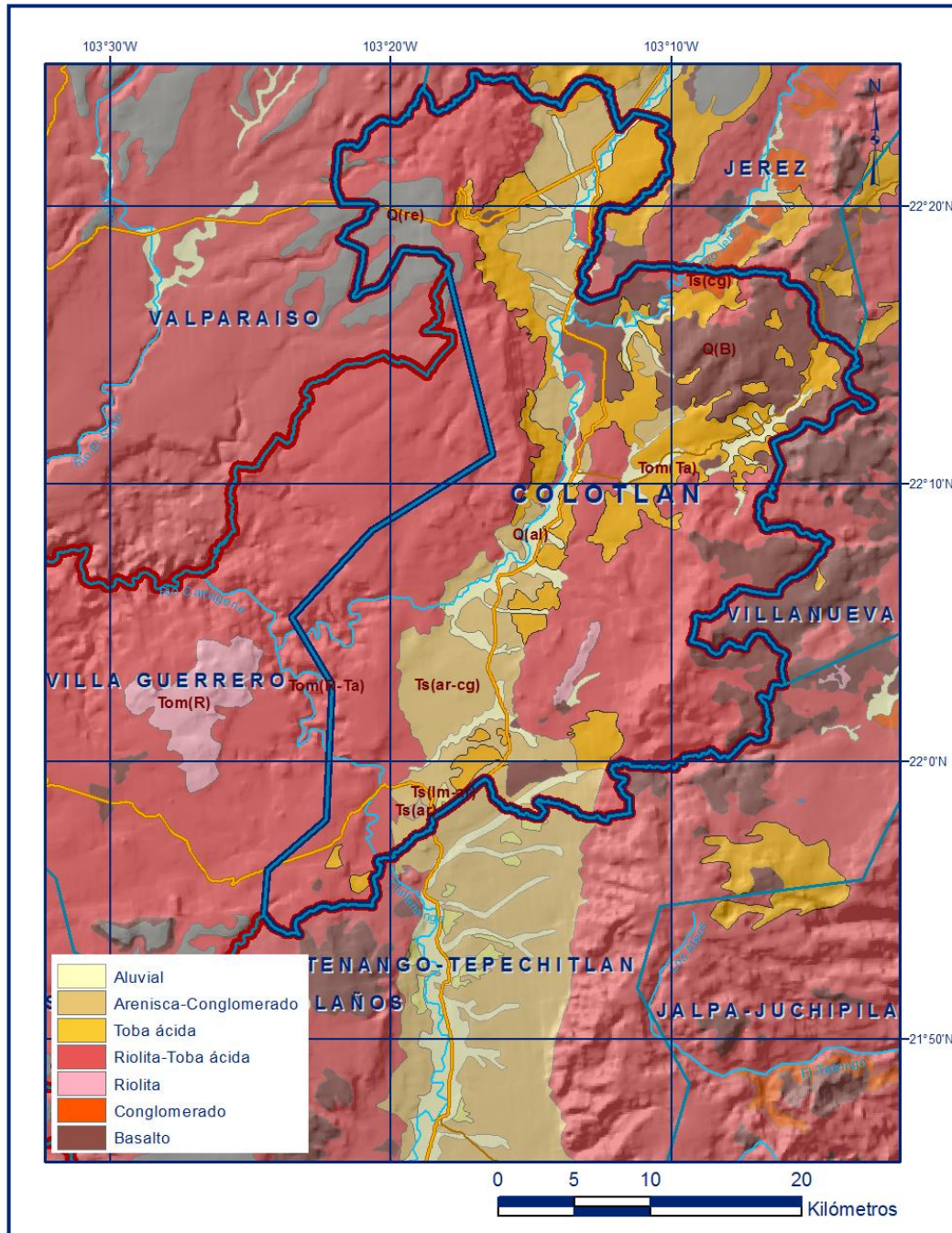


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1. Estratigrafía

Las unidades litoestratigráficas aflorantes son del Oligoceno, época en que se desarrolla una intensa actividad volcánica, dando origen a los domos aglutinados de composición riolítica (ToR), y a los derrames de la misma composición, los cuales presentan textura porfírica y estructura fluidal.

Dentro de este mismo período se tienen depósitos constituidos principalmente por ignimbrita-toba riolítica del Oligoceno Tardío y depósitos de ignimbritas-vitrófidos (Tolg-Vi), bien compactados.

Posteriormente, derivado de la disgregación de las rocas preexistentes, se desarrollaron depósitos de arena, limo y arcillas, así como suelos residuales (Qpthoar-Im), que cubren generalmente las partes topográficamente más bajas, y finalmente depósitos de aluvión (Qhoal), en el lecho y márgenes de arroyos.

El Mioceno está representado por lavas traquíticas (TmTq), de textura microcristalina, porfirítica, en matriz vítrea con estructura fluidal, además se tiene la presencia de derrames basálticos (TmA-B). La última actividad volcánica registrada la constituyen depósitos de toba riolítica de caída libre, de color gris claro a blanquecino, intercalados entre niveles de arenisca débilmente consolidados (TplQptTR-Ar).

4.2. Geología Estructural

Las principales fallas de tipo normal atraviesan los piedemonte de toda la topografía relativamente pronunciada. En diversas regiones del acuífero se presentan fallamientos con echados en diferentes direcciones, que afectan a todas las rocas existentes.

Estos fallamientos y fracturamientos fueron originados por la Orogenia Laramide en el periodo Paleógeno-Neógeno, posteriormente a la depositación de las rocas.

La zona comprende gran superficie de afloramientos de riolitas fracturadas, que por su origen son de muy baja permeabilidad. Por fracturamiento adquieren permeabilidad secundaria.

En el flanco central del acuífero existe una superficie donde afloran areniscas y conglomerados de porosidad y permeabilidad media a alta, se consideran la unidad más importante para almacenamiento de agua.

4.3. Geología del Subsuelo

Durante el periodo Paleógeno-Neógeno, la disposición de las Sierras Madre Occidental, Oriental y del Sur, se dio lugar en el Altiplano Mexicano, desde Chihuahua hasta Oaxaca, a la formación de extensas zonas lacustres en las que se depositaron potentes espesores de materiales detríticos constituidos por gravas arenas y arcillas.

Contemporáneas a esta depositación lacustre, se presentó en el área una gran actividad volcánica intermitente que cubrió con sus cenizas y lavas a los materiales de acarreo, con los que se intercalaron al continuar la sedimentación lacustre.

De acuerdo con esta interpretación, se abre una nueva posibilidad en la prospección geohidrológica, pues debajo de las rocas volcánicas impermeables, pueden existir cuerpos de grava y arenas que alojen importantes acuíferos de extensión regional.

La mayor parte de las perforaciones están alojadas en los depósitos aluviales del Paleógeno-Neógeno y rocas de tipo arenisca-conglomerado.

El acuífero está conformado por una alternancia de arenas, gravas y arcillas, en sus primeros 25 m, y en parte inferior por tobas arenosas, conglomerados y otras rocas volcánicas fracturadas.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de Acuífero

Desde el punto de vista geohidrológico, este es un acuífero de tipo libre, cuyo basamento lo forman rocas volcánicas extrusivas consolidadas y sedimentarias, compactas y en ocasiones con presencia de permeabilidad secundaria por fracturamiento. La secuencia predominante del acuífero está conformada, en su porción superior, por sedimentos aluviales; y en su porción inferior por tobas y riolitas.

5.2. Parámetros hidráulicos

En el área que ocupa el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo que permitan conocer las características hidráulicas del acuífero, tal como la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento.

Sin embargo, de los acuíferos vecinos del estado de Zacatecas Villanueva, Jerez y Jalpa-Juchipila, cuyo marco geohidrológico es similar, pueden adoptarse los valores obtenidos de las pruebas de bombeo.

Los resultados de la interpretación de estas pruebas arrojan valores de transmisividad que oscilan de 0.05 a $14.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con promedio 1.0 a $2.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Los valores promedio de coeficiente de almacenamiento varían de 0.05 a 1.0.

Valores consistentes de caudales específicos, de 0.02 a 10.5 lps/m, fueron obtenidos en el acuífero vecino al oriente.

5.3. Piezometría

No existe información piezométrica histórica consistente en el tiempo. La escasa información disponible se encuentra dispersa en tiempo y espacio. En el año 2007, se recabó información hidrogeológica dispersa en el periodo comprendido de 1981 a 1997.

5.4. Comportamiento hidráulico

La información recaba en el 2007 únicamente permite esbozar que los valores de profundidad al nivel estático varían de 90 a 230 m aproximadamente, con nivel dinámico de 24 a 95 m.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En la tabla 2 se muestran algunos de los pozos censados, durante el periodo 1981-1997.

Tabla 2. Censo de pozos

Localidad	Profundidad (m)	Nivel dinámico (m)	Nivel estático (m)	Aforo (lps)
Saucillo de los Pérez	152	64	Nd	10.7
Rancho "La Azucena"	250	73	52	50.5
Colotlán	200	24	10	51.42
Soyatepec	200	89.5	Nd	40.6
San Pascual	253	66.50	41.3	45.86
Colotlán	100	63.65	10.65	42.15
Tulimic de Guadalupe	120	54	32	45.80
Los Veles	100.65	58	17.70	58.93
El Zapote	94	79	10	39.87
Los Bajíos	200	58	48	32.4
Tipuliche	200	67.90	22.5	43.66
Huejucar	200	92.30	48.5	23.09
Tipuliche II	200	67.9	20.5	43.66
Tipuliche	230	62	20.0	60.53
Achimec	150	96.8	12.25	16.65
Los Charcos	100	90	65	11.4
Huejucar I	200	95.25	44.1	27.24

No se cuenta con información de la hidrometría de las extracciones. Únicamente se dispone de la información del Registro Público de Derechos del Agua, con fecha de corte al 31 de marzo de 2009, cuyo valor es de **5.082847 hm³/año**. De ellos, el 44.7% se extrae para uso agrícola, el 55.1 % para uso público urbano, para uso doméstico-abrevadero el 0.2 %.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1. Balance Hidrometeorológico

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre a su salida recibe el nombre genérico de pérdidas. En general, las pérdidas están constituidas por la interceptación en el follaje de las plantas y en las zonas urbanas, la retención en depresiones o charcos (que posteriormente se evapora o se infiltra), la evaporación y la infiltración.

Además de que en la práctica es separar estas cuatro componentes, la porción más considerable de las pérdidas está dada por la infiltración, por lo que es costumbre calcularlas bajo este nombre.

No se cuenta con la información necesaria para realizar configuraciones del nivel del agua subterránea, donde se pudieron marcar celdas de entradas y salidas horizontales, en cuanto a las entradas, se optó por el planteamiento de un balance hidrometeorológico como una estimación conservadora de la recarga total que recibe al acuífero, debido a la falta de información de parámetros hidráulicos y de registro piezométrico.

La recarga natural está integrada básicamente por infiltración del agua de lluvia, la cual según el balance hidrometeorológico que se expone a continuación es del orden de **9.8 hm³/año**

Para realizar el balance hidrometeorológico se requiere conocer entre otros parámetros, los volúmenes de escurrimiento que se presentan por lluvia dentro del área del acuífero, es decir, es necesario determinar el volumen de agua que se genera por cuenca propia; sin embargo, no se disponen de aforos específicos que permitan cuantificar dicho volumen. En este sentido, a continuación se menciona la forma en que se procedió para obtenerlo.

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 17 de abril de 2002, la cual señala que en caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

El volumen anual medio de escurrimiento natural en términos genéricos es igual a la precipitación media anual por el área y por un 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.

Para la zona del acuífero se consideró un valor de $K = 0.27$, que corresponde a suelos medianamente permeables, uso de suelo tipo cultivos de granos pequeños, aplicando a su vez este valor de K en la ecuación:

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

Dónde:

P = precipitación media anual en mm

Se obtiene un coeficiente de escurrimiento de $C_e = 0.1290$

El volumen de escurrimiento resultó de $30.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ al multiplicar el coeficiente de escurrimiento por el volumen precipitado en el área del acuífero, el cual es de aproximadamente $236.1 \text{ hm}^3/\text{año}$, valor obtenido en un área de 385.11 km^2 , y una lámina de lluvia promedio de 613.2 mm/año .

Para conocer el orden de magnitud del volumen de infiltración por lluvia que se presenta en el sistema, se realizó el balance de agua superficial con apoyo en la fórmula de Coutagne para determinar la evapotranspiración y dejar como incógnita a la infiltración para lo cual se aplicó la siguiente expresión:

$$\text{Infiltración} = \text{precipitación} - \text{evapotranspiración} - \text{escurrimiento}$$

Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se hizo uso de la fórmula de Coutagne, la cual indica que: $ETR = P - XP^2$

Dónde:

ETR = evapotranspiración real en metros/año

P = precipitación en m/año

$$X = 1 / 0.8 + 0.14t$$

t = Temperatura media anual en °C

La fórmula sólo es válida para valores de P (en metros/año) comprendidos entre $1/8X$ y $1/2X$.

Como se señaló anteriormente en el área donde se localiza el acuífero **Colotlán** la precipitación promedio anual en toda el área, es del orden de 613.2 mm/año; esta lámina de lluvia proporciona un volumen total precipitado de 236.1 hm³/año.

En cuanto a la temperatura promedio anual considerada ésta es del orden de 20.0° C, valores que sustituidos en la ecuación de Coutagne para calcular la evapotranspiración, arroja una lámina de 0.509 m/año, que multiplicado por el área da un volumen evapotranspirado de 195.9 hm³/año.

Ahora bien, si se sustituyen los valores antes calculados, tanto de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento en la ecuación que se planteó anteriormente para obtener el volumen infiltrado se tiene:

$$\text{Infiltración} = 236.1 - 195.9 - 30.5 = \mathbf{9.8 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Al dividir este volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es del orden de 236.1 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta del orden de 0.04

Los resultados del balance hidrometeorológico se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Balance Hidrometeorológico

Volumen llovido	236.1
Volumen evapotranspirado	195.9
Escurrimiento superficial	30.5
Infiltración	9.8

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 anualmente por el almacenamiento del acuífero.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

Entradas (E) – Salidas (S) = 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:

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

La ecuación de balance definida es: $R_v + R_i - B = \Delta V(s)$

Donde:

R_v = Recarga vertical

R_i = Recarga inducida

B = Bombeo

ΔV(s) = Cambio de almacenamiento

7.2. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero **Colotlán**, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el área del acuífero (**R_v**). De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, así como las fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable, constituyen otras fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (**R_i**).

7.2.1 Recarga vertical

La recarga natural está integrada básicamente por infiltración de agua de lluvia, la cual según el balance hidrometeorológico que se expuso en el inciso anterior es del orden de **9.8 hm³/año**, que representa el volumen susceptible de infiltrarse en el acuífero.

7.2.2 Recarga inducida

De acuerdo con la información de REPDA, al 31 de marzo de 2009, del acuífero Colotlán se extrae un volumen de 5.082847 hm³/año de agua subterránea, principalmente para uso agrícola y público-urbano que originan recarga inducida al acuífero. Considerando que el 15% regresa al acuífero, se tiene que por lo que respecta al uso agrícola 2.273124 hm³/año las recargas inducidas serían de 0.3 hm³/año, haciendo un total de recarga inducida de **0.3 hm³/año**.

7.3. Salidas

La única salida del acuífero, es a través del Bombeo.

7.3.1 Bombeo

Según el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa 31 de marzo de 2009), la extracción total es de 5.082847 hm³/año $\approx$ **5.1 hm³/año**.

7.4. Cambio de almacenamiento

Debido a la falta de información piezométrica histórica, no fue posible elaborar la configuración de la evolución de los niveles, que permita evaluar el cambio de almacenamiento del acuífero.

De esta manera, el cambio de almacenamiento se obtiene de la resta de entradas y salidas.

$$\Delta V(s) = 9.8 + 0.3 - 5.1 = \mathbf{5.0 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Los resultados del balance de aguas subterráneas se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Balance de aguas subterráneas

	Volumen hm ³ /año
Recarga natural por lluvia	9.8
Recarga inducida	0.3
Recarga total	10.1
Extracción	5.1
Descarga total	5.1
$\Delta V(s)$	5.0

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1. Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural (9.8 hm³), más la recarga inducida (0.3 hm³). Para este caso es de **10.1 hm³/año**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero **Colotlán**, no existen descargas naturales comprometidas. Por lo tanto **DNCOM= 0.0**

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 **10,393,914 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 aguas subterráneas (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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 10.1 - 0.0 - 10.393914 \\ \text{DMA} &= -0.293914 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **293,914 m³ anuales**.