

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE IXTLAHUACÁN (0614),
ESTADO DE COLIMA**

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	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía	8
4.2 Geología estructural	15
4.3 Geología del subsuelo.....	17
5. HIDROGEOLOGÍA.....	18
5.1 Tipo de acuífero.....	18
5.2 Parámetros hidráulicos	18
5.3 Piezometría.....	19
5.4 Comportamiento hidráulico.....	20
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	20
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	20
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	21
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	22
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	23
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	24
8. DISPONIBILIDAD	27
8.1 Recarga total media anual (R).....	27
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	28
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	28
9. BIBLIOGRAFÍA	29

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 Valle de Ixtlahuacán, definido con la clave 0614 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sureste del estado de Colima, abarcando una superficie de 589 km²; aproximadamente a 6 km al sur de la Ciudad de Colima. Colinda al norte con el acuífero de Colima, al oeste y suroeste con el acuífero Armería-Tecomán-Periquillos, al este con el acuífero Alzada-Tepames, y al sureste con el acuífero Coahuayana, estado de Michoacán (figura 1). El acuífero Valle de Ixtlahuacán comprende parte de los municipios de Ixtlahuacán, Tecomán y Colima, estado de Colima; siendo la principal población Ixtlahuacán. Las principales actividades económicas de la población son la agricultura, el comercio y los servicios turísticos.

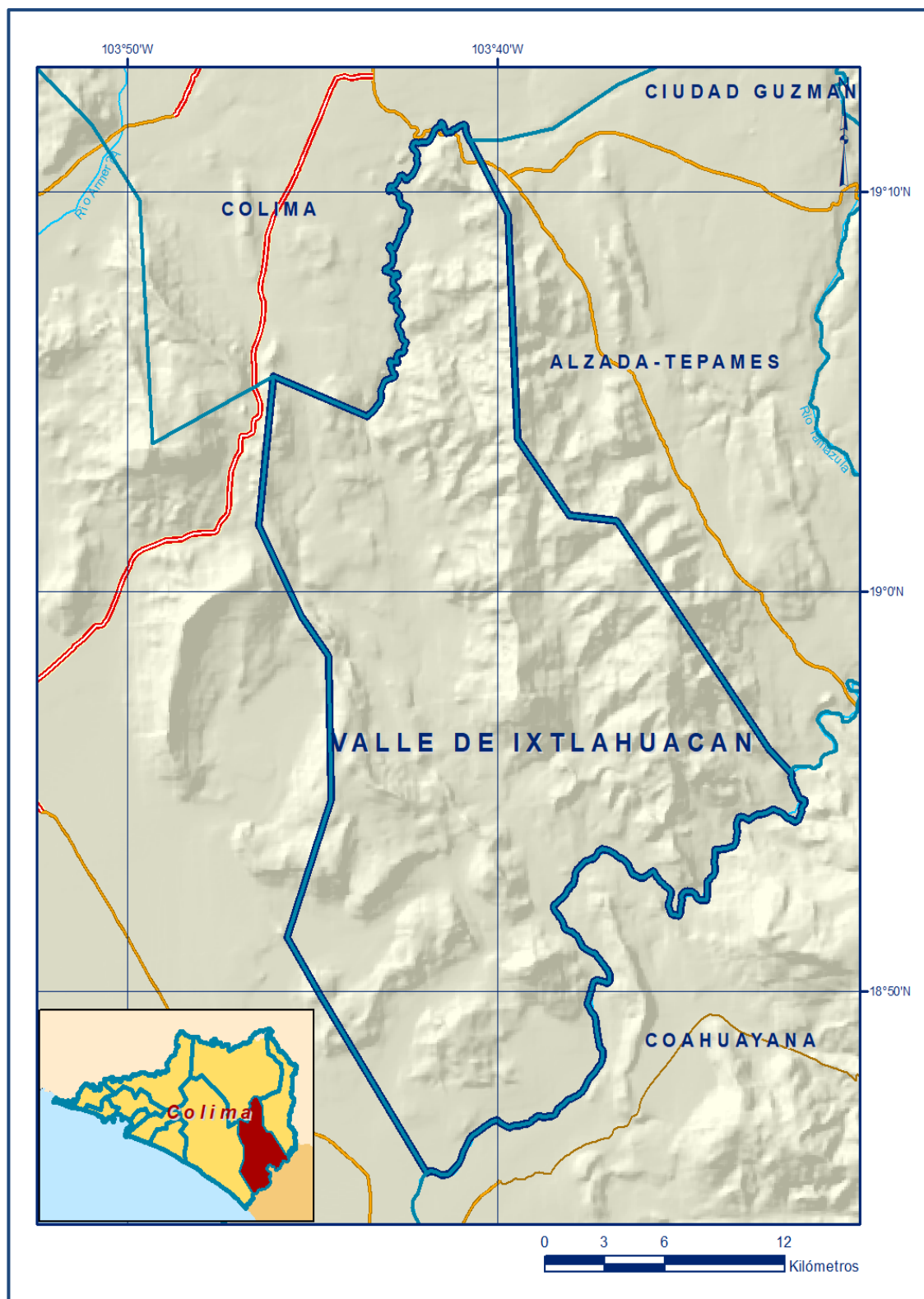


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 0614 VALLE DE IXTLAHUACÁN							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	32	2.9	18	55	27.9	DEL 1AL 2POR ELLIMITE ESTATAL
2	103	41	55.0	18	45	27.5	
3	103	44	46.7	18	49	53.0	
4	103	45	41.3	18	51	20.9	
5	103	44	29.8	18	54	48.4	
6	103	44	33.3	18	58	24.1	
7	103	45	17.1	18	59	22.0	
8	103	46	26.6	19	1	38.9	
9	103	46	3.1	19	5	22.9	
10	103	43	31.4	19	4	23.8	DEL 10 AL 11POR EL CAUCE DEL RIO EL SALADO
11	103	40	44.2	19	11	17.4	
12	103	39	43.1	19	9	27.0	
13	103	39	27.2	19	3	50.0	
14	103	38	4.1	19	1	55.1	
15	103	36	46.7	19	1	46.8	
16	103	32	39.4	18	56	2.9	
1	103	32	2.9	18	55	27.9	

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Valle de Ixtlahuacán pertenece a la región Hidrológico-administrativa VIII Lerma- Santiago-Pacífico. La porción sur del acuífero se encuentra sujeta a las disposiciones del Decreto de Veda de Aguas del Subsuelo tipo II “Zona Costera del Estado de Colima”, publicado el 20 de agosto de 1973 que comprende la Costa de Colima, cuya extensión y límites geopolíticos corresponden a los Municipios de Manzanillo, Armería y Tecomán, del estado de Colima.

La veda establece que “excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del presente decreto nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la Autoridad del Agua, ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas sin la concesión o asignación que expida también según el caso”.

El resto del acuífero se encuentra sujeto a las disposiciones del Decreto de veda tipo II “Resto del Estado de Colima”, publicado el 21 de septiembre de 1984., el cual establece que “...desde la vigencia del presente decreto nadie podrá efectuar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona vedada, ni modificar los aprovechamientos existentes, sin previo permiso escrito otorgado por la Autoridad del Agua, la que sólo los concederá únicamente en los casos en que de los estudios relativos se concluya que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse”.

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

Los principales usuarios del agua subterránea son los agricultores. La ligera variabilidad del clima crea condiciones favorables para la agricultura, la cual se desarrolla de la siguiente forma: en las regiones bajas de climas cálidos se producen frutas tropicales como limón, coco, tamarindo, papaya, sandía, melón y plátano. Mientras que en zona alta y de clima ligeramente menos cálido se ha desarrollado una agricultura basada en cultivos como maíz, caña de azúcar, ajonjolí, arroz, chile verde y jitomate.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Los estudios que se han realizado en la zona son:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR EN LOS VALLES DE TECOMÁN Y MANZANILLO, COLIMA; REALIZADO POR LA EMPRESA HIDROTEC, S.A. EN 1974 PARA LA SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS. Los objetivos del estudio fueron determinar el balance de agua subterránea en cinco valles que conformaron la zona de estudio, determinar la posible existencia de intrusión salina en los acuíferos costeros; así como establecer las recomendaciones más convenientes para la explotación de las aguas subterráneas y para la vigilancia del avance de una posible intrusión marina hacia la zona de explotación. Incluye los acuíferos Valle Santiago-Salagua, Valle Jalipa-Tapeixtles, Valle El Colomo, Valle Venustiano Carranza, Valle Armería-Tecomán-Periquillos. Se efectuaron las siguientes actividades: censo, piezometría, nivelación piezométrica, hidrometría, fotogeología y recorridos de campo, pruebas de bombeo, sondeos eléctricos verticales, muestreo y análisis fisicoquímico.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. SINOPSIS GEOHIDROLÓGICA DEL ESTADO DE COLIMA. 1990. Presenta un resumen de los aspectos climatológicos, fisiográficos, geológicos, de hidrología superficial, y condiciones geohidrológicas de los acuíferos del Estado de Colima.

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS “ARMERÍA-TECOMÁN- PERIQUILLOS” Y “VALLE DE IXTLAHUACÁN”, ESTADO DE COLIMA. Realizado en el 2006 por el Servicio Geológico Mexicano.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

El acuífero Valle de Ixtlahuacán se ubica en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, en la Subprovincia Sierra de la Costa de Jalisco y Colima, dentro de la Llanura Costera, (Raisz E., 1964). Dicha provincia está conformada por relieves que son el resultado de los procesos endógenos y exógenos; se caracteriza por presentar sistemas montañosos alargados de orientación noroeste-sureste, con altitudes máxima de 1,500 msnm en el Cerro El Campanario y planicies costeras que oscilan entre el nivel del mar y los 100 msnm. Esta provincia fisiográfica se caracteriza por la presencia de fallas, anticlinales y sinclinales, así como rasgos de karsticidad observables hacia la zona de San Gabriel.

3.2 Clima

El clima dominante en el área de estudio es cálido subhúmedo. Éste se presenta en la región costera y en las zonas bajas del Valle de Tecomán; hacia el poniente el clima es semicálido y hacia el norte semiseco. El clima cálido se caracteriza por una temperatura media anual mayor de 22°C y está asociado a comunidades vegetativas del tipo de la selva baja, el manglar y los pastizales. Es el clima más importante de la entidad, debido a que ocurre en aproximadamente el 83 % de la superficie del estado, se distribuye a lo largo de toda la zona costera, así como en el centro norte.

En la zona de estudio se localizan dos estaciones climatológicas: Ixtlahuacán (Servicio Meteorológico Nacional) e Ixtlahuacán (Dirección General de Estadística). La primera tiene registro de 1950 a 1974, y la segunda posee un registro que comprende el periodo de 1950 a 2001, aunque con algunos años incompletos. Esta última estación es la que presenta un registro mayor en el tiempo, por lo que los valores promedio de temperatura y precipitación fueron los que se consideraron representativos de la región.

De acuerdo a la información registrada en la Estación Climatológica Ixtlahuacán (DGE) para el periodo de 22 años comprendido entre 1971 y 2001, la temperatura media anual es de 26.1° C; mientras que la temperatura máxima es de 39.5° C y la temperatura mínima 12.6° C.

De acuerdo con la información de la Estación Climatológica Ixtlahuacán (DGE) de 41 años que comprende el periodo 1950-2001, la precipitación media anual corresponde a una lámina de 848.9 mm, mientras que la máxima fue de 1,546 mm y la mínima de 505 mm.

La temporada de lluvias ocurre en los meses de junio a octubre, en los cuales se presenta el 88% de la precipitación anual, el 7% ocurre de enero a mayo y el 5% restante de noviembre a diciembre, las cuales corresponden a períodos de transición de lluvias irregulares y dispersas (Hidrología y Climatología Colima).

3.3 Hidrografía

El acuífero Valle de Ixtlahuacán está comprendido en la Región Hidrológica No. 16, denominada Armería-Coahuayana. Esta región hidrológica comprende la cuenca del Río Coahuayana en la que se localiza el acuífero en estudio. El río Coahuayana constituye el límite entre los Estados de Colima y Michoacán. Su cuenca tiene una superficie total de 8,097 km² y se extiende en los estados de Jalisco, Michoacán y Colima, correspondiendo a este último una porción de 2,305 km². Es perenne en la planicie costera. En época de estiaje su escurrimiento procede de la descarga del acuífero y de los retornos de riego.

3.4 Geomorfología

Las distintas formas de relieve en el área son reflejo y consecuencia de la historia geológica de la región. La fase de deformación Laramidica ocurrida hacia finales del Cretácico y comienzos del Terciario, dio origen a la elevación y plegamiento de las unidades geológicas. Simultáneamente ocurrió el emplazamiento de grandes cuerpos graníticos que conforman sierras altas en la porción noroeste, con formas irregulares a semicirculares y elevaciones de hasta 1,500 msnm. Estas topoformas se observan muy disectadas por barrancas labradas por arroyos y forman pendientes abruptas. Hacia el Terciario Medio y Superior se manifiestan periodos de deformación distensivos, que dieron origen a fallamientos de tipo normal, con orientación preferencial noreste-suroeste y norte-sur.

Estas etapas vienen asociadas al desarrollo de fosas tectónicas y volcanismo de tipo calcoalcálico y afinidad alcalina, que fue el responsable del emplazamiento de grandes depósitos de lahares hacia la parte norte y noreste de la zona en estudio.

Las planicies costeras y rellenos sedimentarios que ocasionalmente forman lomeríos de pendientes suaves, son resultado de intemperismo, erosión y depósito.

Sin embargo, al noreste del área de estudio se observan algunos depósitos recientes de origen volcánico (lahares), que forman valles semiplanos con lomeríos, mostrando redes de drenaje poco desarrolladas.

4. GEOLOGÍA

La geología en el área de estudio comprende desde el Cretácico hasta el Reciente, está representada principalmente por secuencias volcanosedimentarias, cuerpos batolíticos del Cretácico y Paleógeno, así como depósitos volcánicos y aluviales del Reciente.

Las unidades más antiguas que afloran en el área de estudio pertenecen a la parte superior de la secuencia de arco volcánico en la Cuenca Jalisco-Colima. Esta secuencia, descrita como Formación Madrid, se caracteriza por presentar un claro dominio sedimentario con intercalaciones de secuencias terrígenas, areniscas y lutitas carbonosas en estratos delgados.

Presenta cambio de facies con areniscas, conglomerados rojos de origen continental, algunos horizontes de rocas dacítico-andesíticas y depósitos de calizas arrecifales. La cubierta terciaria está representada por rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno y depósitos volcánicos y continentales recientes.

4.1 Estratigrafía

A continuación, se describen las unidades geológicas que afloran en el área de estudio, de la más antigua a la más reciente. Figura 2.

Formación Madrid (Kpa Lu-Ar y Kpa Ar-Cz-Lu)

Secuencia de calizas de grano fino, de color gris oscuro, café oscuro al fresco y ocre amarillento al intemperismo. La estratificación es delgada a media, en alternancia con areniscas y lutitas carbonosas gris oscuro a negro.

Sin embargo, también se observan esporádicos niveles de margas de grano medio. Hacia la parte superior de la unidad alternan yesos.

Se estima un espesor de 1,000 m. La base de esta unidad no aflora, su contacto superior está subyaciendo en forma transicional a la Formación Morena del Albiano-Cenomaniano; hacia el oriente y suroeste del área de estudio cambia transicionalmente a las formaciones Ixtapa y Tepalcatepec, como resultado de un cambio lateral a facies de cuenca. Esta unidad es de permeabilidad baja a media.

Formaciones Ixtapa-Tepalcatepec (Kapa A-Cz y Kapa A, Ks Ar-Lm)

En la zona en la que se ubica el acuífero afloran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas cuyo registro estratigráfico varía del Triásico Superior al Reciente (figura 2).

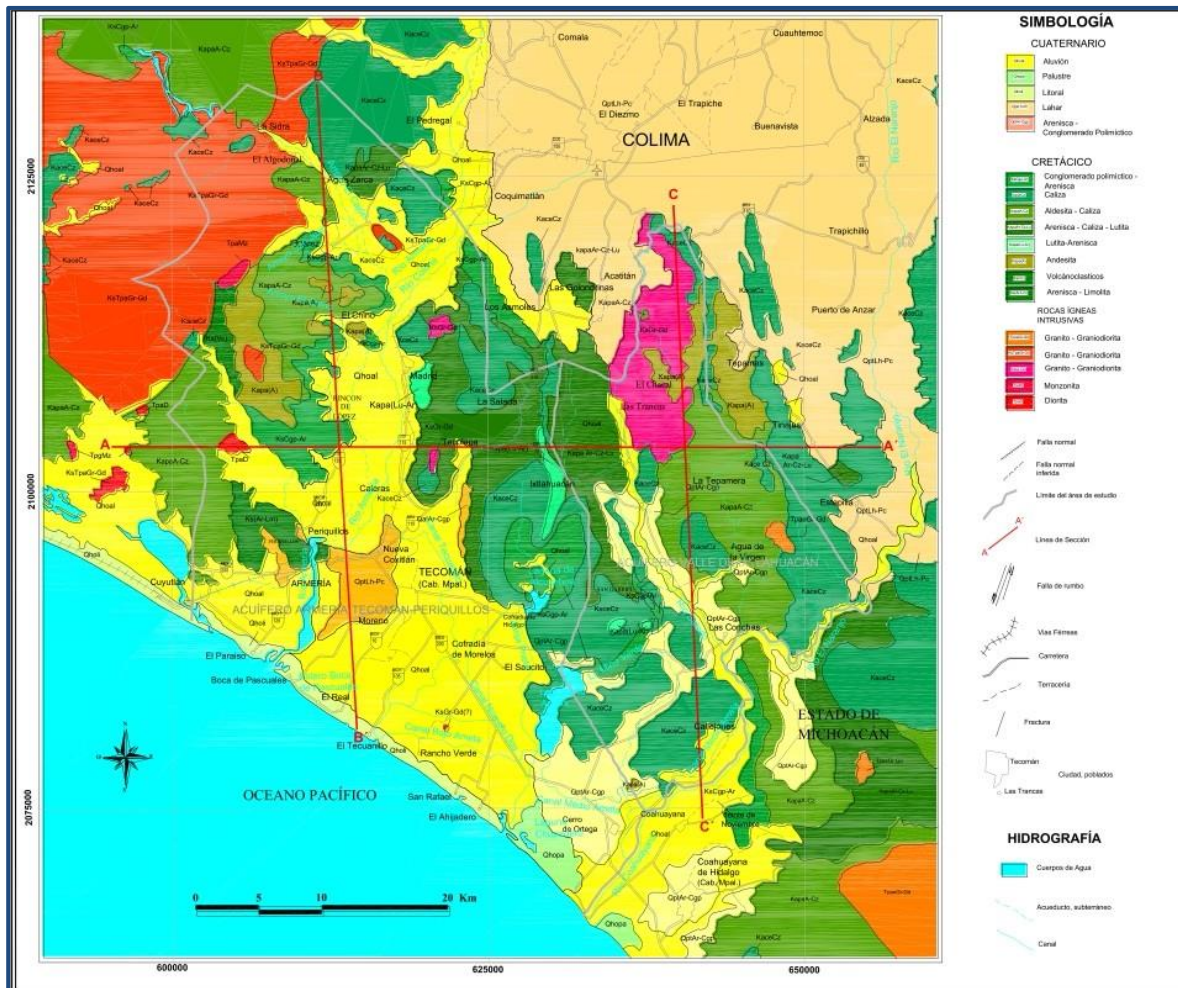


Figura 2. Geología general del acuífero

Debido a la existencia de los elementos tectonoestratigráficos definidos anteriormente, la estratigrafía del área presenta diferencias notables en conformación.

Por esta razón la descripción de las unidades se realiza de manera separada por elemento. Es una unidad volcanosedimentaria con bancos calcáreos de escaso desarrollo vertical y horizontal, lutitas, areniscas, tobas riolíticas y dacíticas, conglomerados, niveles detríticos y escasos derrames andesíticos que afloran en la región de Tepalcatepec y Coalcomán. Sin embargo, esta unidad se presenta en amplios afloramientos dentro del área de estudio. A lo largo de la carretera Jala-Madrid, en la porción noroeste del área, se observan gruesos derrames de andesita cubriendo en aparente concordancia a horizontes de caliza.

Dentro de la misma secuencia volcanosedimentaria de la Formación Tepalcatepec, la unidad señalada en el plano geológico con la clave *Ks Ar-Lm (Arenisca Limolita calcárea)*, amerita una descripción particular. Se trata de una secuencia constituida en su base por caliza recristalizada, de textura espática fina con ligeras deformaciones y estructura compacta fracturada; la mineralogía se constituye por calcita, cuarzo, tremolita, hematita, arcilla y trazas de dolomita. Gradúa a alternancias de calizas y volcanoclásticos; estos últimos se componen por fragmentos subredondeados de roca ígnea extrusiva intermedia y de plagioclasas sódicas, además se asocian con horizontes arenosos de composición tobácea. En este afloramiento en especial se puede apreciar la presencia de arenas y limos producto de la disgregación de la roca preexistente. La unidad presenta fracturas, diques básicos y fallas normales, así como pliegues en los horizontes calcáreos. Sobreyace a calizas del Cretácico Inferior y subyacen a rocas volcanoclásticas del Cretácico Superior y depósitos clásticos del Cuaternario. Debido a las características antes descritas se le atribuye una permeabilidad que varía de baja a media.

Formación Morena (Kace Cz)

Está constituida por calizas relativamente puras de origen sub-arrecifal, se presentan en estratos que varían de 0.5 a 2 m de espesor y en bancos masivos con algunos niveles dolomíticos. El color varía de gris claro, gris medio y café claro. Sus texturas son variadas, mudstone, wackestone y packstone. Los niveles fosilíferos llegan a formar coquinas con espesores considerables, generalmente hacia la parte superior de la secuencia calcárea.

Esta unidad sobreyace concordantemente a calizas y lutitas de la Formación Madrid y subyace discordantemente a la Formación Cerro de La Vieja. Se encuentra distribuida en la porción central y este del área de estudio, aflorando generalmente hacia la parte alta de la sierra (cerros El Picacho y Barrigón), la unidad forma altos escarpes y presenta karsticidad.

Esta unidad tiene permeabilidad alta a media, según su grado de karsticidad y fracturamiento.

Formación Cerro de La Vieja (Ks Cgp-Ar)

Secuencia de conglomerados calcáreos que afloran en las inmediaciones del Cerro de La Vieja, ubicado a 3 km al oeste de Coquimatlán. La formación está constituida por conglomerado calcáreo con matriz limolítica de lodo calcáreo, limolitas y areniscas. Esta unidad está al noroeste de Tecomán, a lo largo del flanco oeste del Río Armería. Constituida en la base por horizontes de conglomerado calcáreo de color rojizo con un cementante calcáreo-arenoso.

Los clastos son subredondeados de rocas volcánicas y calizas y varían de 0.05 a 0.15 cm de diámetro; hacia la cima gradúan a una alternancia de arenisca y limolita de color rojo quemado a gris morado. La granulometría varía de grano fino a medio, se presenta bien clasificada y formando capas con espesores que varían de 0.15 a 1.20 m. Por su posición estratigráfica con respecto a la Formación Morena, se le asigna una edad Turoniano-Coniaciano, correlacionable con la Formación Cutzamala de la Cuenca de Huetamo. Por su litología, grado de cementación y fracturamiento, se considera que posee permeabilidad media a baja.

Volcanoclástico (Ks Ve)

Constituida por intercalación de tobas andesíticas e ignimbríticas. Presenta textura merocrystalina y petrográficamente se constituye por fragmentos de roca ígnea de composición intermedia, cuarzo, feldespatos, calcita, sílice, hematita, limonita y esferulitas de clorita; se caracteriza por mostrar gradación, estructura lenticular y fuerte empaquetamiento. La unidad presenta pseudo-estratificación en algunos afloramientos que varían de 10 a 60 cm de espesor. El fracturamiento es principalmente en dirección noreste-sureste y en ocasiones presenta alteración hidrotermal asociada a intrusivos graníticos.

Estos materiales sobreyacen a secuencias vulcanosedimentarias del Cretácico Inferior y subyace en discordancia a rocas volcánicas de composición intermedia del Paleógeno, rocas volcánicas de composición ácida del Oligoceno- Mioceno y a basaltos del Paleógeno al Plioceno-Cuaternario. La unidad se caracteriza por la ausencia de rocas sedimentarias calcáreas del Cretácico Inferior y conforma un solo paquete dentro del Cretácico Superior, que se extiende posiblemente hasta el Paleógeno.

Granito-Granodiorita (Ks Gr-Gd)

Forma parte del batolito granítico de Tomatlán, en la zona costera de Jalisco y Colima. Se encuentra aflorando ampliamente a lo largo y paralelamente a la costa del Pacífico y límite centro y norte del área de estudio. Tiene sus mejores afloramientos en los alrededores de Tecolapa, hacia las inmediaciones del poblado Las Trancas y al sur de Guásimas, municipio de Ixtlahuacán, Colima. Es una roca de composición granítica a granodiorítica, de color blanco a amarillento, verde grisáceo, en ocasiones muy alterada y deleznable hacia su superficie. Megascópicamente los minerales presentes son cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, biotita, muscovita y hornblenda de textura fanerítica holocristalina, equigranular y alotriomórfica; su estructura es compacta masiva, en ocasiones es de forma esferoidal debido al intemperismo.

Batolito de PUerto Vallarta (TpaGr-Gd)

Es uno de los plutones más grandes localizado a lo largo de la margen continental de México, cubre una superficie de aproximadamente 9000 Km². Aflora prácticamente desde Puerto Vallarta hasta Manzanillo. En la zona de estudio aflora al noroccidente de Tecomán, justo al sur de la Sierra de Manantlán.

Diorita (Tpa D)

Su mejor afloramiento se encuentra en el Cerro Escaltitlán, al sur del poblado de Rincón de López, Municipio de Tecomán. La roca está constituida de cuarzo, oligoclasa, andesina, hornblenda, augita y sericita; presenta un color blanco con tonalidades verdes, de estructura compacta, fracturada y textura fanerítica de grano medio a grueso.

Las alteraciones hidrotermales son silicificación, piritización, alteración potásica, epidotización y oxidación moderada. Su permeabilidad es baja, aunque esta unidad rocosa presenta fracturamiento de baja intensidad.

Batolito Jilotlán (Tpae Gr-Gd)

Esta unidad se ubica en el extremo sureste del área de estudio. Presenta un relieve de suaves lomeríos profundamente disectados. Constituye una buena parte del Bloque Michoacán, incluye rocas intrusivas como granito, granodiorita, diorita y tonalitas. Se le atribuye en general una permeabilidad baja.

Está cortado por numerosos diques de composición andesítica. Intrusiona a las formaciones Morena y Tepalcatepec.

Monzonita (Tpa Mz)

Las unidades de rocas monzoníticas, tienen sus mejores exposiciones al oeste de Pueblo Juárez, Municipio de Coquimatlán, Colima. Aflora en forma de lomeríos y está constituido por cuarzo alotriomórfico, oligoclasa, andesina, hornblenda y biotita; tiene textura hipidiomórfica, granular, con alteración sericítica y epidotización.

Se presenta muy fracturada, en ocasiones alterada por intemperismo, presenta un color blanco con tonalidades amarillas y variaciones a cuarzomonzonita. Se encuentra intrusionando a rocas vulcanoclásticas, al granito del Cretácico Superior y a las secuencias litológicas del Cretácico Inferior.

Por su posición estratigráfica, se le asigna una edad correspondiente al Paleógeno.

Arenisca-Conglomerado (Qpt Ar-Cgp)

Unidad constituida por material clástico con diferentes grados de redondez, producto de la erosión de rocas preexistentes; alterna con horizontes arenosos. Ahora en las inmediaciones del Río Coahuayana y en la porción sureste del área de estudio. En la zona del Río Coahuayana está constituido por arenas y gravas con una gradación de granos gruesos a finos, provenientes de lahares de aparatos volcánicos localizados al noreste del área de estudio.

Los espesores aproximados en los cortes de los arroyos más profundos son de 100 m, esta unidad cubre discordantemente en Boca de Apiza a calizas de la Formación Morena, lutitas calcáreas de la Formación Madrid y conglomerados polimícticos de la Formación Cerro de La Vieja. Se encuentra rellenando valles, su morfología es de abanicos aluviales y por su posición estratigráfica se consideran de edad Pleistoceno.

Presenta permeabilidad alta, debido a su pobre consolidación e intersticios entre clastos con espacios libres o arenosos.

Formación Atenquique (Qpt Lh-Pc)

La Formación Atenquique está compuesta por una extensa distribución de lahares andesíticos basálticos provenientes de las erupciones pliocuaternarias de los Volcanes de Fuego y Nevado de Colima. Son depósitos volcánicos con estratificación burda que comprenden cenizas, brechas de explosión y depósitos de avalancha.

Esta unidad se localiza al noreste del área de estudio en pequeñas porciones hacia la parte norte del acuífero Valle de Ixtlahuacán. Se encuentra bien expuesta, su modo de ocurrencia es en forma de abanicos aluviales relleno de valles, se observan disectados por escarpes verticales con algunas decenas de metros de altura.

La unidad está constituida por fragmentos subredondeados distribuidos caóticamente en una matriz arenosa y cementada. Los fragmentos son de composición andesítica a basáltica, el color de los afloramientos es gris con tonos blancos.

El espesor estimado de estos depósitos es de 100 m o menos ya que son las partes más alejadas del volcán de Colima.

Aluvión (Qho al)

El aluvión rellena valles y llanuras en toda la zona de estudio. Conformar la planicie costera de Tecmán, e incluye los depósitos granulares recientes acarreados por los ríos y arroyos que desembocan en la costa.

Está constituido por materiales no consolidados derivados de la destrucción de las áreas positivas; incluye fragmentos líticos de rocas intrusivas, volcánicas, calcáreas y metamórficas, empaquetados en una matriz arenosa constituida por minerales de cuarzo, feldespatos, plagioclasas y ferromagnesianos, principalmente.

La granulometría de estos depósitos es muy variable y va del tamaño de la arcilla a cantos rodados, con una redondez que varía de redondeados a subangulosos, su espesor aproximado fluctúa entre 2 m y un máximo de 350 m.

Depósitos Palustres (Qho pa)

Son depósitos granulares cercanos a la línea de costa, asociados a ambientes de lagunas litorales. Se localizan en la porción sureste del área de estudio. Los depósitos están formados por limos y arcillas en zona de pantanos donde se mezcla un ambiente marino y fluvial. Por su carácter limo-arcilloso éste material se considera de permeabilidad media a baja. El espesor de los depósitos es menor a 100 m.

Depósitos de Litoral (Qho li)

Son depósitos granulares que se encuentran a lo largo de la línea de costa. Están constituidos por arenas finas a gruesas depositadas y retrabajadas por acción del oleaje y los vientos. A esta unidad litológica se le asigna permeabilidad alta.

4.2 Geología estructural

La región donde se encuentra el área de estudio es una de las más complejas del país, desde el punto de vista geológico, pues en ella se sobreponen varios eventos geológicos aún no suficientemente estudiados. La región debe sus rasgos estructurales a su relación con las placas de Cocos y Rivera y su cercanía con los límites entre diferentes bloques estructurales.

Se reconocen en la región por lo menos dos eventos tectónicos compresivos, uno durante el Jurásico Superior, a la que se le suma otro en el período Cretácico Superior-Paleógeno, conocido como Orogenia Laramide. Estos eventos deformacionales se presentaron en estrecha relación con el emplazamiento de cuerpos intrusivos de dimensiones batolíticas.

En el área de Tecomán-Ixtlahuacán, afloran rocas de edad cretácica que fueron afectadas por la Revolución Laramídica, dando origen a fallas, pliegues y cabalgaduras, aunque estas últimas no se observan en el área de estudio.

Los pliegues son notorios preferentemente en unidades sedimentarias como las formaciones Madrid, Morena y Cerro de la Vieja, no así en rocas volcánicas como las andesitas de la Formación Tepalcatepec.

Los pliegues y fallamientos regionales son de orientación general noroeste-sureste, también con fallas de rumbo nor-noreste y sur- suroeste, aunque en el área de estudio las mayores estructuras (pliegues y fallas) muestran un rumbo general norte-sur.

Al centro del área de estudio y al norte de la Laguna Alcuzahue se observan estructuras sinclinales y anticlinales erosionadas, que forman sierras en herradura, con una longitud aproximada de 9 y 7 Km. Los pliegues afectan a rocas de las formaciones Madrid, Morena y Cerro de La Vieja, con una orientación general norte-sur, y algunas inflexiones cercanas a la dirección noroeste-sureste. La mayor estructura mencionada está enmarcada por los cerros Tecomán, San Miguel, El Águila y Alcuzahue.

Posterior al evento laramídico se reconoce una tercera fase de deformación de carácter distensivo, que se manifiesta hacia el Neógeno y Cuaternario, que ocasionó el desarrollo de fallas normales, fosas tectónicas y vulcanismo asociado. De este periodo, destacan en el área de estudio la presencia de grandes fallas normales de orientación general norte-sur que delinean una amplia fosa tectónica. Grandes fallas se reconocen a lo largo de cerca de 40 km en la zona poniente del área, controlando en gran medida el curso del río Armería.

Los lineamientos son claramente visibles en las imágenes satelitales desde los costados este y oeste del volcán de Colima y extendiéndose en dirección sur hasta la costa. La presencia de una de estas fallas se infiere en algunas zonas por debajo del relleno granular de la parte central del valle del río Armería. Se reconocen otras fallas asociadas de menores dimensiones, que intersectan a las estructuras más antiguas.

En la porción centro-este del área de estudio y al sureste de Ixtlahuacán se observa un lineamiento de orientación noroeste-sureste, de 17 km de longitud; paralelo a este lineamiento en la porción noreste se observa una segunda estructura con la misma orientación, y con longitud aproximada de 10 km.

En la porción oeste del área de estudio se observan tres estructuras por fallamiento normal que afectan rocas intrusivas: dos de ellas presentan dirección noreste-suroeste, con aproximadamente 12 Km de longitud cada una; mientras que la tercer estructura tiene una dirección noroeste-sureste, y en su porción intermedia flexiona con dirección norte-sur, con 11 km de longitud. No se reconocieron en el área evidencias de termalismo, manantiales o indicios en las configuraciones piezométricas que indiquen un papel importante de estas fallas en la transmisión de flujos regionales de agua subterránea. Tampoco se reconocieron evidencias de hidrogeoquímica en este sentido, sin embargo, es muy probable que algunas discontinuidades en forma local favorezcan la recarga.

4.3 Geología del subsuelo

A partir de la interpretación del mapa geológico y de la información proporcionada por sondeos eléctricos verticales se puede comprender la geología del subsuelo que comprende el acuífero Valle de Ixtlahuacán. La sección CC' (figura 3) atraviesa al acuífero en dirección SE04°NW y una longitud de 48 km, se extiende desde unos 5 km al sureste de la ciudad de Colima, hacia el sur hasta las cercanías del poblado de Coahuayana el Viejo.

Se aprecia la predominancia a profundidad del cuerpo batolítico de la unidad granítica Tomatlán. El intrusivo aflora en algunas zonas de la parte centro y noreste del área de estudio, pero se infiere su presencia más extendida a profundidad, por debajo de varias zonas de las unidades volcanosedimentarias cretácicas.

Las rocas más antiguas que afloran en el área son las formaciones Madrid y Tepalcatepec del Cretácico Inferior. Es muy probable que a profundidades cercanas o por debajo de los 1,000 m, se encuentren algunas de las formaciones más antiguas descritas en áreas cercanas, como son las unidades metamórficas y metasedimentarias Varales, Jaltomate o Arteaga, del Triásico-Jurásico Inferior, aunque no se tiene evidencia al respecto.

En la sección se han representado los estratos deformados y plegados de las formaciones Tepalcatepec y Morena, con un espesor conjunto de más de 1,000 m. Sólo en el extremo sur de la sección, se observa parte del relleno aluvial del valle del río Coahuayana, que probablemente constituye un bloque estructural hundido, y donde se ha representado en sección un relleno de sedimentos de por lo menos 250 m.

La unidad granítica y los sedimentos de la Formación Madrid se consideran de bajo potencial acuífero, aunque los sedimentos granulares recientes y las calizas de la Formación Morena presentan mejores posibilidades acuíferas.

Ninguna prueba de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no fue posible obtener una estimación de coeficiente de almacenamiento.

Tabla 3. Resultados de pruebas de bombeo en el acuífero

Pozo	Nivel estático (m)	Nivel dinámico máximo (m)	Abatimiento (m)	Caudal específico (lps/m de abat)	Caudal máximo (lps)	T (m³/día)	T (m³/seg)	T (m³/día)	T (m³/seg)
						Abatimiento		Recuperación	
SG-821	18.26	18.59	0.33	23.63	7.80	2.50 x 10"	2.89 x 10 "		
SG-464	12.73	16.22	3.49	16.04	56.00	7.17 x10"	8.30 X10 *	3.85 X10"	4.46 X 10 *
SG403	2.39	7.72	5.33	2.43	13.00	1.86 x10	1.61 x 10"		
SG-558	3.3	32.64	29.34	1.63	48.00	1.79x10"	2.07x10		
SG-819	9.84	10.06	4.57	8.75	40.00	7.70 x10**	8.91 X10 "	7.57X10"	8.76X10
SG-965	16.76	69.64	52.88	0.37	19.60	1.47X10"	1.70X10°	1.04X10*	1.21X10°
SG-019	10.80	18.57	7.77	5.92	46.00	9.37 X 10"	1.08 X10 *	1.01 X 10"	1.17 x10 *
SG-079	4.80	6.75	1.95	27.69	54.00	1.61 x10**	1.86 X10	1.39X10*	1.61X10
SG-366	3.17	9.72	4.05	16.79	68.00	1.03 x10**	1.19 X10	8.98X10"	1.04X10 *
SG-496	9.61	13.40	3.87	9.30	36.00	1.17 x10**	1.36 X10	1.26 X10**	1.46 X10
SG497 P.O.	9.18	10. H	1.18	0.5		1.0x10*	1.6 x10*	2 10"	2 0x 10*
SG-304	3.78	11.77	3.99	30.07	120	1.810**	22dx10"	1.84x10**	2 1D10"
SG-242	9.52	13.58	4CB	16AB	65		PW x10'	1.94x10"	2.74x10'
SG-438	15.8		4.76	7.56	36.00	2.25x10	2.60x10	3.94x10	4.57x10

5.3 Piezometría

Las configuraciones piezométricas proporcionan valiosa información acerca de la circulación del agua en el subsuelo. El agua ingresa al acuífero en las áreas de recarga -flancos montañosos, abanicos aluviales y cauces de corrientes alimentadoras, localizadas en las partes altas de valles y planicies-, y transita hacia las áreas de descarga bajo el control de la geología subterránea. En el año 2006 el Servicio Geológico Mexicano realizó piezometría en los acuíferos Valle de Ixtlahuacán y Armería-Tecomán-Periquillos.

Sin embargo, en el acuífero Valle de Ixtlahuacán, sólo se realizaron mediciones piezométricas en 8 aprovechamientos, mientras que en el acuífero Armería-Tecomán-Periquillos se midió en 106 aprovechamientos. Por ese motivo no pudieron obtenerse configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático en todo el acuífero Valle de Ixtlahuacán, sino únicamente en la porción sur del acuífero. Sin embargo, para el año 2003 se tienen configuraciones que abarcan una mayor extensión del acuífero Valle de Ixtlahuacán.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

En la porción sur del acuífero Valle de Ixtlahuacán, donde se cuenta con información piezométrica para el año 2006, la profundidad al nivel estático varía de 70 a 20 m, como se aprecia en la figura 4. En general la profundidad disminuye hacia la planicie costera localizada en el acuífero Armería-Tecomán-Periquillos.

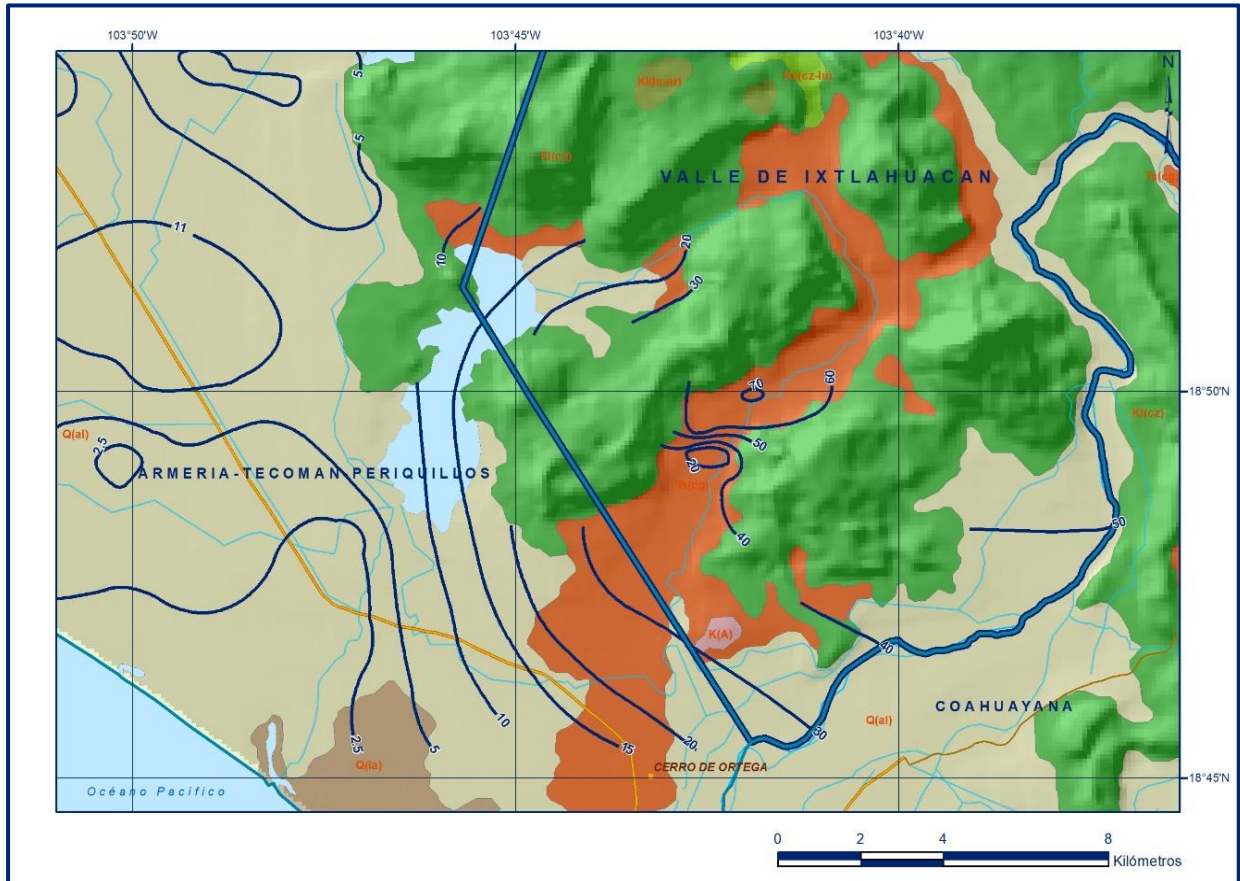


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2006)

5.4.2 Elevación del nivel estático

En el acuífero las equipotenciales son perpendiculares a las elevaciones topográficas, lo que sugiere escaso aporte subterráneo de agua desde los macizos rocosos, pero en realidad se debe al efecto del estrecho cauce del Río Salado.

Para el año 2003 la elevación del nivel estático variaba de 140 msnm, en la porción norte, hasta 20 msnm en la porción sur; se observan dos pequeños conos de abatimiento, el primero a 1 km al noreste del poblado San Miguel del Ojo de Agua y otro a 6 km al sureste de la Ciudad de Ixtlahuacán (figura 5).

Para el 2006, las configuraciones son aisladas ya que solo ocho aprovechamientos fueron sondeados, lo que dificulta elaborar una red de flujo confiable.

En los pozos medidos se observa una elevación del nivel estático que varía de 100 msnm, en la parte media del acuífero, a 20 msnm en la porción sur (figura 6). La dirección preferencial del flujo subterráneo es paralela al curso del Río Salado, hacia el Río Coahuayana.

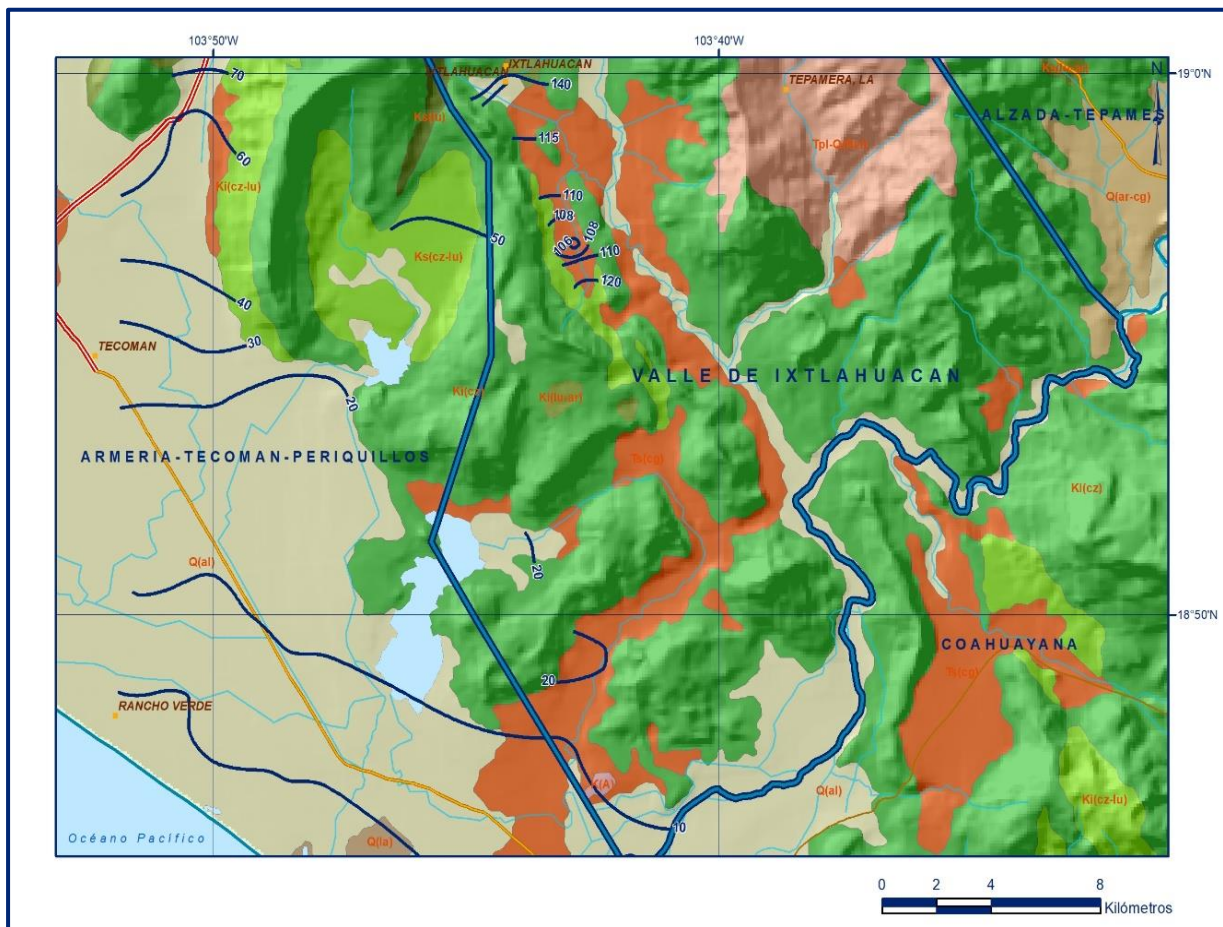


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2003)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Los hidrógrafos muestran de manera general un descenso de niveles estáticos dentro de un rango comprendido entre 0.087 m y 3 m por año; cabe mencionar que existen hidrógrafos que evidencian un descenso mayor a tres metros por año, pero éstos no se consideran válidos por presentar un cambio abrupto y poco probable considerando que se ubican generalmente hacia las partes topográficamente altas.

Los hidrógrafos en conjunto presentan un comportamiento heterogéneo, la variedad en las gráficas no indica una tendencia al abatimiento y sugiere un sistema acuífero en condiciones de equilibrio. Es importante mencionar que las escasas mediciones piezométricas recabadas en estudios previos se encuentran dispersas en tiempo y espacio, no cubren en su totalidad la extensión del acuífero y su correlación es poco confiable. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no muestra aún alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos. Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

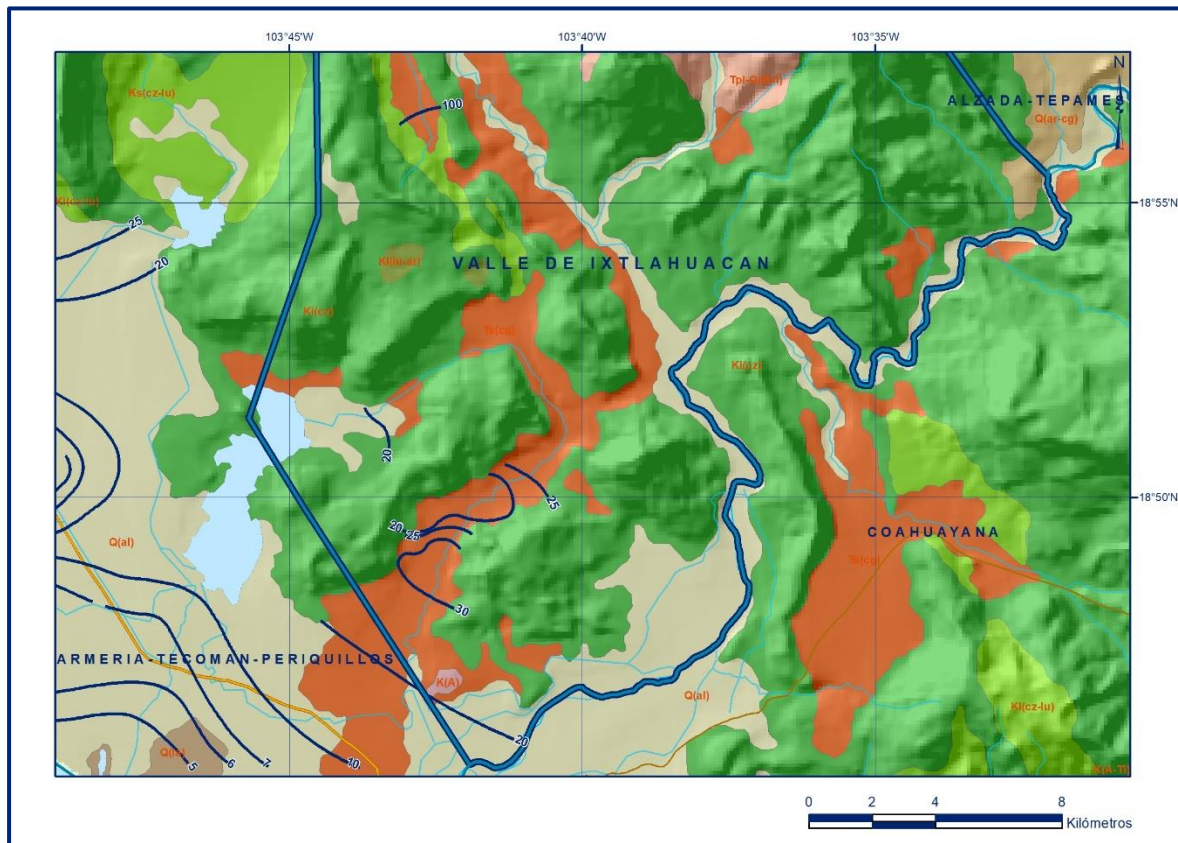


Figura 6. Elevación del nivel estático en msnm (2006)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La concentración de sólidos totales disueltos en el agua subterránea es baja en la mayor parte del Estado de Colima; en general, la concentración de sales es menor que 500 partes por millón (ppm) de sólidos totales disueltos (STD), en todos los acuíferos.

Ello se debe a la combinación de varios factores: la corta permanencia del agua en el subsuelo, derivada de su rápida circulación a través de acuíferos bastante permeables y de dimensiones relativamente reducidas; la gran resistencia al ataque químico del agua, de las rocas acuíferas predominantes ígneas fracturadas y clásticos gruesos derivados de su erosión y la abundante precipitación pluvial.

Calcio, Sodio y bicarbonato son los iones disueltos predominantes en esas aguas, procediendo los dos primeros de la disolución de los feldespatos cálcicos y sódicos constituyentes de las rocas ígneas.

Durante el año 2006 el Servicio Geológico Mexicano muestreó 3 pozos dentro del acuífero Valle de Ixtlahuacán y encontró que en ellos las concentraciones de sólidos totales disueltos varían de 363 a 596 mg/l, son aguas bicarbonatadas cálcicas y no se identifica ningún metal o ión fuera de norma.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En el acuífero durante el año 2006, la Comisión Nacional del Agua a través de la Dirección Local en Colima censó 78 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 50 son pozos y 28 norias. Para uso agrícola se destinan 39 aprovechamientos, 21 para agua potable y 18 para uso doméstico y pecuario, desglosados como se muestra en la tabla 4, el resto de los aprovechamientos están inactivos.

Tabla. 4. Censo de aprovechamientos del acuífero

USO	Aprovechamientos		
	Pozos	Norias	Total
Agrícola	29	10	39
Público urbano	18	3	21
Pecuario	9	3	12
Doméstico	6	0	6
	62	16	78

De acuerdo con la hidrometría del año 2006, del acuífero Valle de Ixtlahuacán se extraen 2.0 millones de hectómetros cúbicos anuales ($\text{hm}^3/\text{año}$) de agua subterránea para los distintos usos, de los cuales 1.3 se destinan al uso agrícola y los 0.7 $\text{hm}^3/\text{año}$, restantes al uso público-urbano (Tabla 5).

Tabla 5. Volúmenes de extracción de agua subterránea en el acuífero (hm³/año)

USO	Volumen de extracción
Agrícola	1.3
Público-urbano	0.7
Doméstico-abrevadero	0.0
Industrial	0.0
Total	2.0

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La ecuación de balance considera que las entradas al sistema son iguales a las salidas más/menos el cambio de almacenamiento del acuífero.

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de Almacenamiento}$$

Debido a que la información piezométrica se restringe a una zona muy pequeña del acuífero, es imposible calcular las componentes del balance de agua subterránea para todo el acuífero a través de un balance hidrogeológico tradicional, en el que se estiman las entradas y salidas al acuífero, así como el cambio de almacenamiento a partir de las configuraciones de elevación y evolución del nivel estático, respectivamente.

Por lo anterior fue necesario recurrir al cálculo del balance hidrometeorológico para estimar la recarga al acuífero.

A través del balance hidrometeorológico, se puede estimar la infiltración, al conocer los volúmenes de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$\text{Infiltración} = \text{Precipitación} - \text{Evapotranspiración} - \text{Escurrimiento}$$

El volumen precipitado en el acuífero se calculó a partir de la información climatológica de la zona, analizada y presentada en el apartado correspondiente, donde se obtuvo una lámina de precipitación media anual de 848.9 mm, multiplicada por el área del acuífero, igual a 589 km².

El volumen precipitado es igual a 500.0 hm³/año. Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se hizo uso de la fórmula de Coutagne que indica:

$$ETR = P - c P^2$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración real (m/año)

P = Precipitación (m/año)

c = $1/(0.8+0.14T)$

T = Temperatura (en °C)

La lámina de evapotranspiración calculada es igual a 687 mm, que aplicada al área del acuífero corresponde un volumen de evapotranspiración igual a 404.6 hm³/año. Para calcular el volumen de escurrimiento no se disponen de aforos específicos que permitan cuantificar dicho volumen, por lo que se determinó el escurrimiento debido a la lluvia utilizando el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 17 de abril de 2002, que 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 es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento. El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que está en función del tipo y uso de suelo. En lugar de asignar un valor de K único para todo el acuífero, con la finalidad de obtener un valor de K más representativo de la realidad, se dividió el acuífero en distintos tipos de suelo de acuerdo con los materiales geológicos, y se obtuvieron las áreas para poder obtener un promedio ponderado (tabla 7).

Tabla 7. Áreas de afloramientos de los distintos materiales geológicos

Material geológico	Área (km ²)	Porcentaje	Permeabilidad	Uso de suelo
Caliza	188.0	31.65	Permeabilidad media	Selva caducifolia
Andesita	9.1	1.53	Muy baja	Selva caducifolia
Lutita-Arenisca	3.2	0.54	Muy bajo	Selva caducifolia
Andesita-Caliza-Lutita	172.1	28.97	Muy baja	Selva caducifolia
Granito-Granodiorita	74.2	12.49	Muy baja	Selva caducifolia
Arenisca-Conglomerado	103.8	17.47	Media	Agrícola
Aluvión	43.6	7.34	Alta	Agrícola

Se consideró que el 31.7 % del área corresponde a material de permeabilidad media en el que de acuerdo con el uso del suelo de selva caducifolia con cobertura del 25 al 50 % se asignó un coeficiente de 0.26; en un 43.5 % de la zona con un material de baja permeabilidad con la misma cobertura se asignó un coeficiente de 0.28; en el 17.5 % se consideró una permeabilidad media y uso agrícola, por lo que se asignó un coeficiente de 0.27 y en el 7.3 % restante del área se consideró permeabilidad alta, con uso agrícola por lo que se consideró un valor de K de 0.24. Como resultado de lo anterior, se obtuvo como promedio ponderado un valor de K igual a 0.269, mismo que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento:

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

Donde:

P= precipitación media anual en mm

Se obtiene un coeficiente de escurrimiento de $C_e = 0.1599$.

El volumen de escurrimiento resultó de 80.0 hm³/año al multiplicar el coeficiente de escurrimiento por el volumen precipitado en el área de estudio. Una vez calculados los volúmenes de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento, se procede a estimar la infiltración:

$$\text{Infiltración} = 500.0 - 404.6 - 80.0 = 15.4 \text{ (hm}^3\text{/año)}$$

Al dividir este volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.031. En la tabla 8 se presenta el resumen del balance hidrometeorológico.

Tabla 8. Balance hidrometeorológico

Componente	Hm ³ /año	Porcentaje
Volumen llovido	500.0	100.0 %
Volumen evapotranspiración	404.6	80.9 %
Volumen de escurrimiento superficial	80.0	16.0 %
Volumen infiltrado	15.4	3.1 %

De acuerdo con los resultados del balance hidrometeorológico se estima que la recarga es igual a **15.4 hm³/año**.

En cuanto se disponga de mayor información hidrogeológica que permita entender, conceptualizar y cuantificar el balance de agua subterránea en términos de una evaluación hidrogeológica se modificará el valor de la recarga.

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:

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **15.4 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 este caso, su valor corresponde a la salida subterránea hacia el acuífero Armería Tecomán-Periquillos. Por lo que, **DNC= 1.8 hm³/año**.

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 **12,612,238 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 15.4 - 1.8 - 12.612238 \\ \text{DMA} &= 0.987762 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **987,762 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, 1990. Sinopsis Geohidrológica del Estado de Colima.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1974 Estudio Geohidrológico Preliminar en los Valles de Tecomán y Manzanillo, Col; HIDROTEC, S.A. 1974.