

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO TECOLOTLÁN (1419), 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	4
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1 Provincia Fisiográfica	5
3.2 Clima.....	6
3.3 Hidrografía	6
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA	7
4.1 Estratigrafía	9
4.2 Geología Estructural.....	10
4.3 Geología del subsuelo	11
5. HIDROGEOLOGÍA.....	12
5.1 Tipo de acuífero	12
5.2 Parámetros hidráulicos.....	12
5.3 Piezometría	13
5.4 Comportamiento hidráulico.....	13
5.4.1 Profundidad al nivel estático	13
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	14
5.4.3 Evolución del nivel estático	15
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	15
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
7.1 Entradas	16
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	17
7.1.2 Recarga inducida (Ri)	23
7.2 Salidas.....	24
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	25
7.2.2 Descarga a través de manantiales (Dm)	25
8. DISPONIBILIDAD	25
8.1 Recarga total media anual (R).....	25
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	26
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	26
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	26
9. BIBLIOGRAFÍA	28

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 Tecolotlán, definido con la clave 1419 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro del estado de Jalisco, entre los paralelos 20° 4' y 20° 19' de latitud norte, y los meridianos 103° 54' y 104° 10' de longitud oeste, abarca una superficie de 495 km². Colinda al norte con el acuífero Ameca, al sur y este con el acuífero Autlán y al oeste con el acuífero Unión de Tula, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco (figura 1).

Geopolíticamente, el acuífero se localiza en porciones de los municipios Tecolotlán, Juchitlán y Tenamaxtlán.

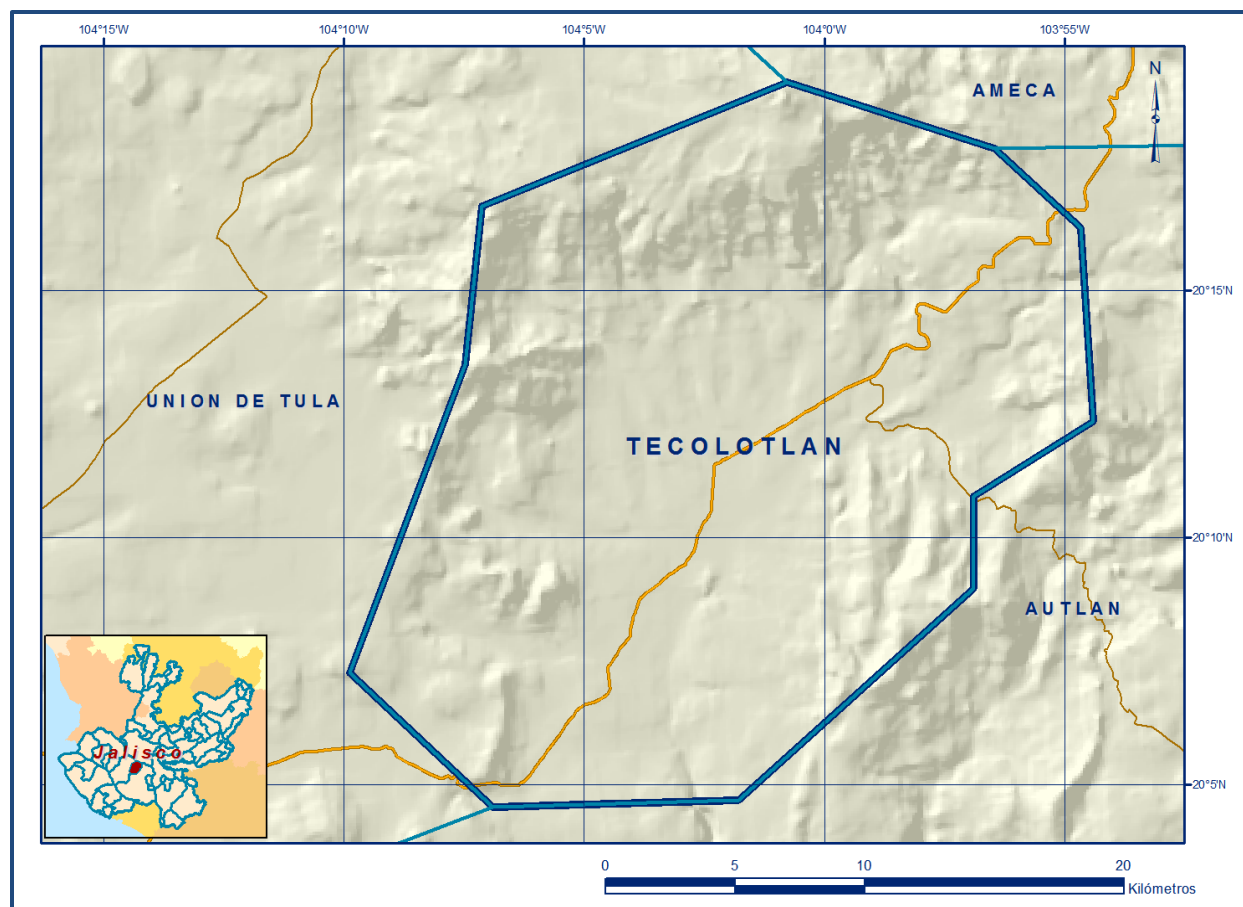


Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUÍFERO 1419 TECOLOTLÁN						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	56	27.5	20	17	51.7
2	103	54	40.7	20	16	15.6
3	103	54	24.7	20	12	20.7
4	103	56	54.2	20	10	49.9
5	103	56	54.2	20	8	57.8
6	104	1	47.8	20	4	41.6
7	104	6	54.4	20	4	33.0
8	104	9	53.7	20	7	16.4
9	104	7	29.5	20	13	30.1
10	104	7	8.2	20	16	42.3
11	104	0	46.7	20	19	12.6
1	103	56	27.5	20	17	51.7

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

1.2. Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Tecolotlán pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas en diversos municipios del Estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los municipios del estado de Jalisco”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 12 de julio de 1987. Este decreto es de tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. En el acuífero no existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). La porción norte del acuífero pertenece a la Zona de Protección Forestal y Fáunica “Sierra de Quila”, decretada el 4 de agosto de 1982.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero Tecolotlán se ha realizado un estudio hidrogeológico de evaluación y otros en acuíferos vecinos para determinar su recarga media anual, entre los más importantes se mencionan los siguientes:

ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL ESTADO DE JALISCO. 2001. INEGI. Presenta los elementos más importantes relativos al conocimiento de las aguas superficiales y subterráneas de la entidad. El estudio hidrológico expone una serie de aspectos que describen el marco físico, climatología, geología, hidrología superficial e hidrología subterránea de cada una de las diferentes regiones geohidrológicas en el estado. Esta información se complementa con una serie de planos que condensan esta información. En relación con la hidrología subterránea, se menciona que La Barca es una de las zonas geohidrológicas con mayor densidad de obras, además de que los acuíferos se encuentran sobreexplotados. Se considera estrictamente la veda, dado que es en esta área donde se concentra una alta densidad de pozos y norias, por lo que se propone la perforación en zonas de baja densidad de obras respetando las distancias establecidas entre aprovechamientos.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS, VALLE DE GUADALUPE, PRIMO DE VERDAD, LA HUERTA, MIGUEL HIDALGO, CIHUATLÁN, 20 DE NOVIEMBRE, CUQUÍO, COLOTLÁN, TECOLOTLÁN, TOMATLÁN, TEQUILA Y LA BARCA, EN EL ESTADO DE JALISCO. 2010. Realizado para la Comisión Nacional del Agua, por la Universidad Autónoma del Estado de México. El objetivo general de este proyecto tiene la finalidad principal de proporcionar un documento técnico de respaldo que sirva de consulta rápida para conocer la disponibilidad media anual de agua del acuífero de Tecolotlán, en el Estado de Jalisco, sustentado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000.

Esto implica el análisis de los principales mecanismos que influyen en el equilibrio o desequilibrio de los recursos hídricos disponibles en el acuífero (recarga, intercambios de flujo con aguas superficiales, sistemas de flujo, heterogeneidad y variabilidad espacial de las propiedades hidrodinámicas, entre otros) y la determinación de la relación con la tasa de explotación del acuífero, para estimar el avance o desequilibrio hidrológico en la zona. Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de las provincias fisiográficas para la República Mexicana, realizada por Raisz (1964), la superficie cubierta por el acuífero se ubica en la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico, dentro de la Subprovincia Sierras de Jalisco.

Según INEGI se le conoce también como Sierra Volcánica Transversal y es, junto con la Sierra Madre del Sur, una de las provincias con mayor variación del relieve y de tipos de rocas. Es una provincia con planicies, valles y algunas cuencas cerradas ocupadas por lagos, depósitos de lagos antiguos y fosas hundidas.

Una gran cantidad de volcanes, desde muy pequeños y medianos, hasta algunos de enormes dimensiones, se esparcen sobre toda la provincia. La Subprovincia Sierras de Jalisco, está constituida por dos tipos básicos de topoformas generales: montañas y mesetas. Entre sus extremos norte y sur, las cadenas montañosas se encuentran acomodadas de tal modo que describen la forma de una burda letra "S".

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García para nuestro país, en términos generales el clima es del tipo templado, variando del predominantemente semiseco, con otoño, invierno y primavera secos, al cálido, sin cambio térmico invernal bien definido.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 3 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero, cuyo registro comprende el periodo 1950- 2007. De acuerdo con estos datos se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de 827 mm y 20.3° C, respectivamente. Por lo que, de igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de 1786.3 mm anuales. El promedio anual de días con heladas de 2.6. Los vientos dominantes son de dirección del sur.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 16, Armería-Coahuayana y forma parte de la cuenca del Río Armería.

La RH Armería-Coahuayana presenta una forma irregular y está constituida por cuencas generales formadas por los ríos Armería y Tuxpan o Coahuayana, de las que la mayor parte de su superficie se localiza en el estado de Jalisco. La región comprende las porciones norte, noroeste y sureste de la entidad y contiene parte de dos cuencas: Río Coahuayana y Río Armería. Sólo una pequeña porción de la segunda penetra en el estado de Michoacán, donde las corrientes drenan hacia el oeste hasta desembocar en el río Coahuayana.

En el municipio de Tecolotlán los recursos hidrológicos con que cuenta son el Río Ferrería que delimita al municipio con el de Chiquilistlán y arroyos de caudal temporal tales como: El Jabalí, Gallinero, Tamazula, Tecolotlán, Las Canoas, Santa Rosa, La Campana, Cofradía, Colorado, Sauz, Amarillo, Ambrosio y Pochotes. Otros recursos son los manantiales de la Ciénega, Agua Caliente, Los Ailes y Guayabito.

El municipio de Juchitlán es atravesado del centro-norte al sureste por el río Tecolotlán o Tamazula. Cuenta con los arroyos permanentes de Ferrería, San Gaspar y San Ignacio; y los arroyos de temporal como son El Aguacate, Corrales y Corcovado. Existen los manantiales de Ojo de Agua, Higuera Mocha, Cofradía y Los Guajes. Se encuentran las presas de El Pozo, Las Tinajas y Cofradía.

En el municipio de Tenamaxtlán sus recursos hidrológicos pertenecen a la subcuenca río Armería, perteneciente a la región Pacífico Centro. Sus principales corrientes son arroyo Salatillo, los arroyos Cascozanja, Salitrillo, San Ignacio, Ahuilotes, Tenamaxtlán y La Florida. Cuenta con las presas de Miraplanes, Copales, Los Órganos, Colotitlán, Juanacatlán, Grande y La Charca.

3.4 Geomorfología

La zona comprendida por el acuífero, está constituida por dos tipos básicos de topoformas generales: montañas y mesetas. Varias cumbres de los núcleos montañosos de rocas ígneas que componen la sierra se levantan por encima de los 2,000 msnm, en tanto que las superficies más bajas se encuentran a una altitud de 800 msnm.

Los rasgos morfológicos en el área, presentan los siguientes sistemas de topoformas: Gran Sierra Volcánica Compleja o Grandes Estrato-Volcanes, Sierra de laderas abruptas, Sierra de laderas tendidas, Sierra de laderas tendidas con llanos, Sierra compleja, Escudo-Volcán aislado, Meseta lávica, Mesetas lávicas asociadas con cañadas, Mesetas escalonadas asociadas con lomeríos, Mesetas pequeñas con lomeríos, Lomerío suave asociado con cañadas, Valle de laderas escarpadas, Valle de laderas tendidas, Valle de laderas tendidas asociado con lomeríos, Cañón y Pequeño llano aislado.

4. GEOLOGÍA

Las rocas más antiguas dentro de la geología regional de la zona, corresponden a secuencias sedimentarias y volcanosedimentarias del Terreno Guerrero y están constituidas por areniscas rojas y conglomerados formados por clastos de tobas y calizas, la que es sobreyacida por una secuencia vulcanosedimentaria que corresponde a la Formación Tepaltepec que consta de conglomerados y areniscas con intercalaciones eventuales de ignimbritas andesíticas y riolíticas, sobre la cual descansa una unidad carbonatada constituida por calizas en estratos gruesos a masivas, las cuales son cubiertas por una sucesión piroclástica de composición riolítica denominada Tobas Tapalpa de la cual se tiene una edad radiométrica de $79 \pm$ Ma. (Campaniano)(Figura 2).

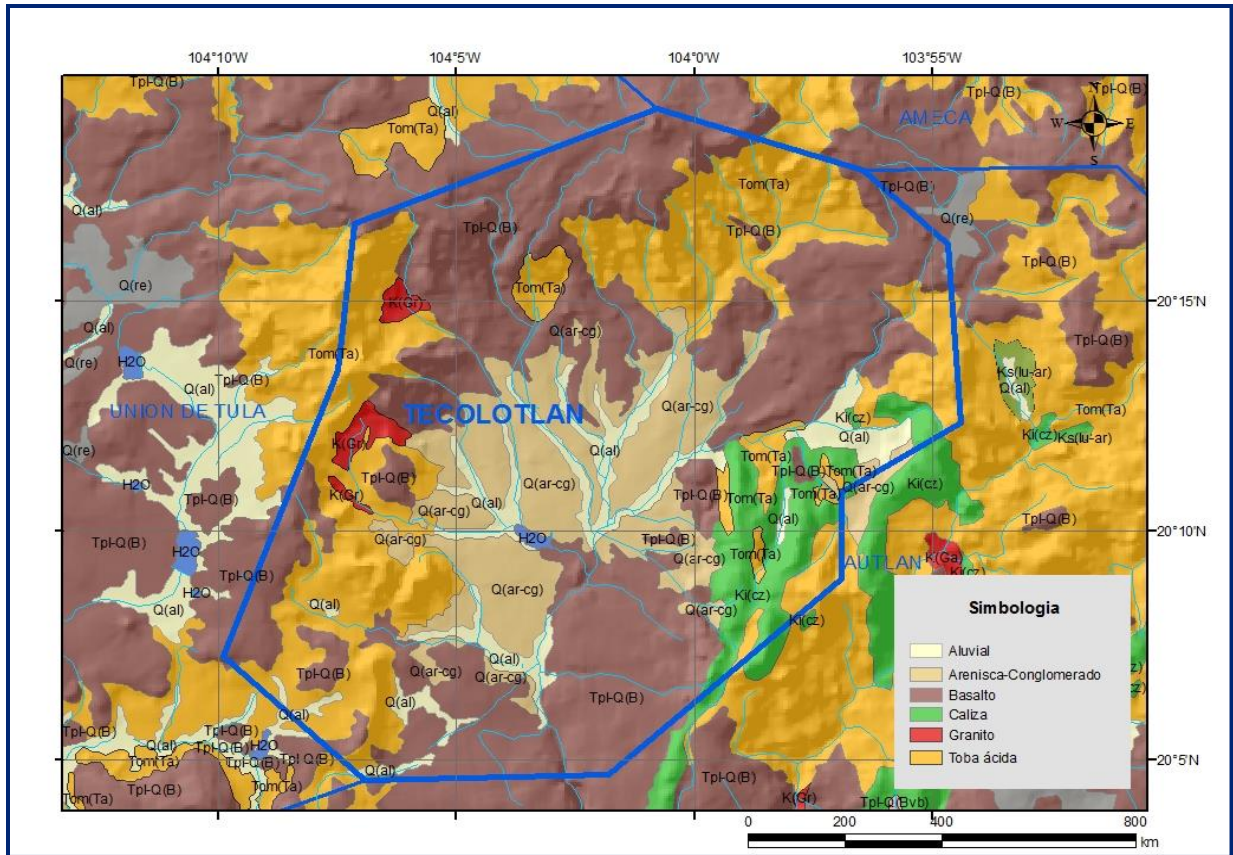


Figura 2. Geología general del acuífero

Todas las unidades anteriores están parcialmente intrusionadas por el batolito Puerto Vallarta y por pequeños intrusivos del Eoceno (54 Ma).

Representando a las secuencias de la Sierra Madre Occidental se tienen flujos piroclásticos riolíticos del Oligoceno-Mioceno con edad radiométrica de 24 Ma. Previo al vulcanismo del Cinturón Volcánico Transmexicano se tienen dos secuencias de tobas, una de composición riolítica con edad isotópica de 17 Ma (Mioceno), a la cual se correlaciona una secuencia de tobas y brechas andesíticas, así como, una secuencia de calizas lacustres y terrígenos intercalados con horizontes volcánicos.

El primer evento magmático que pertenece al Cinturón Volcánico Transmexicano, es una unidad basáltica, con edades isotópicas de 13 a 8.7 Ma. Durante el Plioceno-Pleistoceno se desarrolló una cadena de volcanes que va desde la región de Tequila hasta El Salto, y constan de andesitas y basaltos con edades radiométricas entre 1.4 a 1.8 Ma. Existe una zona mineralizada denominada Tecolotlán-Chiquilistlán, en donde aflora una sucesión de areniscas-conglomerado polymíctico de edad Cretácico Inferior.

La mineralización se presenta en vetas falla con relleno de fracturas en forma tabular de origen hidrotermal.

4.1 Estratigrafía

De acuerdo a la cartografía geológica superficial existente realizada en algunos estudios, se observa claramente la existencia de diferentes unidades asociadas a una compleja evolución geológica. La formación más antigua que existe en el área está compuesta de rocas sedimentarias e ígneas débilmente metamorfoseadas de edad correspondiente al Jurásico–Cretácico.

En la porción central del acuífero, existe la presencia de areniscas con intercalaciones de conglomerado y lutitas, que presentan metamorfismo de tipo regional (esquistos verdes) en el contacto con basaltos muy alterados, calizas y brechas volcánicas. La formación calcárea está compuesta de calizas relativamente puras de origen subarrecifal, se presentan en bancos masivos con algunos niveles dolomíticos. Los niveles fosilíferos llegan a formar coquinas con espesores considerables, generalmente hacia la parte superior de la secuencia calcárea. Se encuentra, así mismo, en menor magnitud, en la porción oeste, intercalada con la formación de rocas basálticas.

Así mismo, la unidad más importante del sistema acuífero constituye la formación de rocas basálticas. Esta unidad aflora ampliamente en los extremos del acuífero formando grandes estructuras cónicas, donde por exposición geomorfológica son de mesetas sumamente inclinadas. Dado su grado de fracturamiento, esta unidad geohidrológica permite el paso del agua infiltrada hacia rocas fracturadas a niveles inferiores del subsuelo, constituyendo excelentes zonas de recarga para el acuífero.

Por otra parte, entremezcladas con los basaltos, se encuentra la presencia de rocas ígneas intrusivas que se caracterizan por mostrar gradación, estructura lenticular y fuerte empaquetamiento. Este material sobreyace a secuencias volcanosedimentarias del Cretácico Inferior y sobreyace en discordancia a rocas volcánicas de composición intermedia del Paleógeno, a rocas volcánicas de composición ácida del Oligoceno–Mioceno y a basaltos del Paleógeno al Plioceno – Cuaternario.

Por otra parte, en la porción oeste del acuífero existen paquetes de brechas y tobas volcánicas, con suelo residual de rocas volcánicas, compuestas principalmente por derrubios de rocas volcánicas y producto de la desintegración de las rocas basalto-

andesíticas. Estas formaciones se encuentran suprayaciendo a la unidad de basalto andesítica, con un área limitada de afloramiento, presentado un color rojizo que caracteriza a los suelos de esta región.

La coloración de estos depósitos es debido a la oxidación de los minerales ferromagnesianos. De acuerdo a sus características, a estas unidades se les asigna una edad correspondiente al Reciente y, aunque son poco permeables, su espesor es reducido, siendo en este caso transmisores del agua hacia rocas más profundas.

Por último, en la porción central del acuífero se encuentran afloramientos de arenas conglomeráticas y, en áreas de influencia de los cursos superficiales, suelo aluvial. La primera formación está constituida por material clástico con diferentes grados de redondez, producto de la erosión de rocas existentes, alternando con horizontes arenosos.

Ésta aflora en las inmediaciones del río Tecolotlán y en la porción oeste del acuífero, la cual está constituida por arenas y gravas con una gradación de gravas gruesas a finas, provenientes de lahares localizados en los extremos de la cuenca. Esta unidad cubre discordantemente la formación de basaltos, rellenando el valle, su morfología es de abanicos fluviales y por su posición estratigráfica se consideran de edad del Pleistoceno.

Presenta permeabilidad alta, debido a su pobre consolidación e intersticios entre clastos con espacios libres y arenosos. En cambio, los suelos aluviales, de edad Reciente, están compuestos por materiales granulares como gravas, arenas, limos y arcillas, que se han depositado principalmente en los cauces de las corrientes superficiales y se encuentran, principalmente, en las partes más bajas de la cuenca.

4.2 Geología Estructural

Las secuencias metamórficas del Jurásico, volcanosedimentarias y sedimentarias del Cretácico presentes en el área del acuífero, fueron comprimidas por efecto de cuerpos graníticos, que las plegaron, fracturaron, fallaron, metamorfosearon y mineralizaron; dichos eventos se han relacionado a la subducción y fusión parcial asociados a uno o más límites convergentes de placas (Morán, 1984).

Como consecuencia, 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, en los que se sobreponen varios eventos geológicos aún no

suficientemente estudiados. De esta manera, 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 periodo Cretácico Superior-Paleógeno, conocido como Orogenia Laramide. Estos eventos deformacionales se presentaron en estrecha relación con el emplazamiento de cuerpos intrusivos de dimensiones batolíticas.

Los cuerpos intrusivos provocaron en las rocas sedimentarias calcáreas, al igual que en las secuencias volcanosedimentarias y metamórficas, la formación de bloques de diversas dimensiones. Dichos cuerpos intrusivos se han denominado Conjunto batolítico de Jalisco, cuyo ambiente geotectónico es de raíz de arco (Ortega, 1992); tiene una migración temporal del Cretácico al Paleógeno; y espacial de la región costera a las zonas internas continentales; los del Paleógeno se muestran en el noreste y centro del estado en forma de troncos y diques.

En el área de Tecolotlán, afloran rocas de la 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.

Los pliegues son notorios preferentemente en unidades sedimentarias como las formaciones calcáreas, no así en rocas volcánicas como los basaltos y las rocas ígneas. 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 las mayores estructuras (pliegues y fallas) muestran un rumbo general norte-sur.

4.3 Geología del subsuelo

La geología del subsuelo, se encuentra conformada por un basamento de rocas sedimentarias e ígneas débilmente metamorfoseadas, hacia el este en el límite con el acuífero Autlán, existe la presencia de areniscas con intercalaciones conglomeráticas y de lutitas, con presencia de metamorfismo regional en el contacto con basaltos muy alterados, calizas y brechas volcánicas.

Hacia los extremos del acuífero, formando grandes estructuras cónicas afloran rocas basálticas, la unidad más importante del sistema acuífero debido a su grado de fracturamiento. Entremezcladas con los basaltos, se encuentran intrusivos gradados, de estructura lenticular y fuerte empaquetamiento, sobreyaciendo a las secuencias volcanosedimentarias y sobreyaciendo a rocas volcánicas de composición intermedia, ácida y basaltos.

Al suroeste de la zona, el acuífero está formado por paquetes de brechas volcánicas y suelo residual de rocas volcánicas de espesor reducido, estas formaciones se encuentran suprayaciendo a la unidad basalto-andesítico.

Hacia el centro del acuífero se encuentran arenas conglomeráticas de alta permeabilidad, cubriendo discordantemente la formación de basaltos; y en las áreas de influencia de los cursos superficiales, suelo aluvial, compuesto de gravas, arenas, limos y arcillas, encontrándose en las partes más bajas de la cuenca.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible identificar que se trata de un sistema acuífero compuesto por varias unidades hidrogeológicas que se agrupan de acuerdo a su origen en dos principales; por una parte, las unidades superiores son intercalaciones de conglomerados y suelo aluvial, que en algunos pozos se interdigitan con limos y arcillas o aglomerados en matriz arcillosa, lo que sugiere algún grado de confinamiento pero que en general tiende a conformar un sistema libre. Su espesor es reducido. Esta disposición de suelos aluviales es típica en las partes más bajas de las planicies.

En gran parte de la superficie del acuífero se encuentran las unidades constituidas por rocas basálticas e ígneas, que constituyen las formaciones predominantes en el área, con una permeabilidad que se clasifica entre media alta dependiendo del grado de fracturación. Así mismo, se tienen rocas carbonatadas en la porción sureste del acuífero, que se entremezclan con conglomerados y brechas volcánicas, constituyendo, dependiendo del grado de kárstificación, excelentes unidades para fines de explotación del agua subterránea.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se ejecutaron 3 (tres) pruebas de bombeo, con el objeto de evaluar las características hidráulicas del acuífero. Las pruebas se realizaron midiendo los niveles de abatimiento y recuperación en el pozo de extracción. El criterio para la selección de los pozos, toma en cuenta la ubicación espacial de las obras, sus características operativas, constructivas y la disposición de los usuarios para realizar las mismas.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de bombeo se puede deducir, por un lado, que existe una clara tendencia de los valores de transmisividad en función de la distribución espacial de los pozos y de los mecanismos de recarga; y por otro, de la geología que caracteriza los diferentes estratos del sistema acuífero.

En tal sentido, se pueden distinguir dos zonas de transmisividad: por una parte, los pozos que se ubican sobre los sedimentos conglomerados y sedimento aluvial, en los límites de la formación basáltica, o sea en los depósitos de pie de monte, que presentan los valores de transmisividad más altos, cuyos valores fluctúan en el rango de **$1.5 \text{ a } 15 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** .

Por otra parte, se tienen el pozo localizado en los depósitos de sedimentos aluviales, que por sus características alcanza a atravesar un mayor o menor espesor de depósitos lacustres del Paleógeno-Neógeno, con valores de transmisividad que varían entre **$0.25 \text{ a } 2.45 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** . En este pozo destaca el hecho de que a pesar de que probablemente atraviesa el depósito lacustre, alcanzando el acuífero basáltico que subyace los sedimentos aluviales, la formación sobre la cual se asienta no tiene la fracturación necesaria que permita una explotación aceptable.

5.3 Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, para la configuración de sus niveles estáticos, se realizó el registro piezométrico durante el censo de aprovechamientos en los meses de mayo a septiembre del 2010. Debido a que no existe información previa de mediciones de niveles estáticos, o abatimientos de la superficie freática con el detalle adecuado, no se pudo obtener un conocimiento cabal de la evolución en el tiempo de los niveles estáticos, limitando la obtención de la información necesaria que proporcione una visión global del estado de explotación del acuífero y de las actividades humanas que dependen de ellas.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Las profundidades al nivel estático para septiembre de 2010 varían de 4 a 20 m, coincidiendo el menor valor con el límite inferior del acuífero, donde éste tiene un aporte de flujo subterráneo hacia el acuífero de Autlán. Así mismo, en las estribaciones de la porción oeste del acuífero, en el límite con Tenamaxtlán, el nivel estático es también de 4 m.

No obstante que no existe información en las estribaciones de la cuenca, en particular, en los flancos norte, este y oeste, la profundidad al nivel estático debe ser proporcionalmente mayor debido a las formaciones montañosas que circundan al acuífero, donde, así mismo, las cargas hidráulicas son mayores para generar el gradiente hidráulico que define el sentido de la dirección de flujo, por lo tanto, la profundidad al nivel estático disminuye en dirección noreste al suroeste, proporcionalmente al modelo de elevación del terreno, las áreas próximas a Tecolotlán y Ayotitlán coinciden con los valores de mayor elevación al nivel estático, producto de la extracción de agua subterránea para el abastecimiento de dichos núcleos poblacionales.

En cambio, no se tiene el mismo efecto en el área que circunda a Juchitlán, ya que esta región se encuentra en la zona de confluencia del sistema de flujo.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de elevación de niveles estáticos revela dos sistemas de flujo bien definidos: por una parte, se aprecia que el nivel estático de la zona montañosa del parteaguas del flanco derecho propicia un gradiente hidráulico favorable por efecto de la recarga que condiciona un sistema de flujo que confluye en la población de Tecolotlán y, posteriormente, hacia la población de Juchitlán.

Por otra parte, el sistema de flujo que se genera en la porción del flanco izquierdo y que tiene una dirección preferencial hacia el suroeste pasando por la población de Ayotitlán para confluir con el anterior sistema de flujo en Juchitlán.

Las condiciones de explotación del acuífero no definen conos de abatimiento visibles, en particular en las regiones donde existen principales asentamientos humanos, manteniendo el sistema de flujo una dirección preferente al suroeste.

No obstante, la limitación de la información, especialmente en las zonas donde no existen instalaciones de pozos, la configuración del sistema de flujo presenta una consistencia coherente con sistemas aluviales similares.

De este modo, dadas las consideraciones anteriormente expuestas, en el acuífero de Tecolotlán la recarga principal tiene su origen en los depósitos de pie de monte asociados a las serranías que se localizan en el parteaguas norte, oeste y nororiental de esta cuenca, con un flujo subterráneo en dirección preferente hacia el suroeste.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

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, las mediciones realizadas en el año 2010 serán el punto de partida para el establecimiento del monitoreo de los niveles del agua subterránea.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el 2010, se recolectaron en total 8 muestras de aguas subterráneas representativas de la zona. El análisis de los resultados de campo y laboratorio revela que el agua subterránea del acuífero presenta una variabilidad hidrogeoquímica relacionada con su complejidad hidrogeológica. Los parámetros fisicoquímicos promedio son: temperatura 23.8° C ($18.95 < T < 27.04$); pH 8.2 ($7.28 < Ph < 9.2$); conductividad eléctrica 841 $\mu S \cdot cm^{-1}$ ($416 < CE < 1296$) y dureza total 252.6 mgL⁻¹ ($56 < DT < 490$).

Con los resultados del muestreo, el acuífero puede dividirse en dos regiones principales, sustentando la representatividad en la extrapolación de la caracterización de los puntos de muestreo de acuerdo con las características geológicas y estratigráficas subyacentes en la zona. Se observa que el agua en la mayoría de los pozos (62%, n=5) es suave con dureza temporal y bajas concentraciones de Ca²⁺, Mg²⁺ y HCO₃⁻; caracterizada como cálcica-bicarbonatada (Ca-HCO₃).

La extensión de esta clasificación, que abarca casi todo el acuífero exceptuando la parte central de éste. El origen de su composición puede asociarse con una litología predominantemente basáltica intercalada en la parte oriental de la cuenca con calizas, que, por procesos de disolución, aportan una presencia importante de iones de Ca²⁺ y Mg²⁺. Una segunda categoría (38%, n=3) corresponde al agua moderadamente suave, del tipo sódica bicarbonatada (Na-HCO₃). La composición iónica en esta zona puede atribuirse a la alternancia de una litología predominantemente de conglomerados con intercalaciones residuales que incluyen minerales feldespáticos ricos en Na⁺ y K⁺, que incrementan, por procesos de disolución, una mayor concentración iónica.

La caracterización en esta zona tiene la influencia de los sistemas montañosos que flanquean a la cuenca, por lo que puede inferirse una evolución química del agua subterránea que va desde las áreas de recarga hacia las áreas de descarga, constituyendo un drenaje difuso de la cuenca en dirección del sur hacia el municipio de Juchitlán.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró la existencia de 61 aprovechamientos, de los cuales 51 están actualmente activos y 10 se consideran. De los 51 aprovechamientos activos, 31 (60.8%) son de uso agrícola, 6 (11.7%) público urbano, 3 (5.9%) industrial y 11 (21.6%) para uso múltiples. La extracción es de **1.2 hm³/año**, de los cuales el 1.1 hm³/año (91%) se destinan para uso agrícola, 0.07 hm³/año (6 %) al uso público urbano y el resto para otros usos.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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

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

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

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

7.1 Entradas

Las entradas al acuífero Tecolotlán están restringidas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). No existe suficiente información piezométrica actual ni histórica que cubra la mayor superficie del acuífero.

La escasa información disponible, procedente del estudio de 2010 se encuentra dispersa en tiempo y espacio, 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.

Aunado a esto, existen pocos aprovechamientos de agua subterránea y la superficie del acuífero está conformada en su parte central por una planicie en los que se localizan los aprovechamientos. Por estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 495 km² del acuífero, para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Este proceso es la cuantificación de la penetración de agua desde la superficie del terreno hacia su interior. Esta agua toma un tiempo para convertirse en recarga, que depende, además de los factores climáticos, de la profundidad al nivel freático y las características de la zona vadosa. El agua en movimiento descendente es recarga en tránsito o agua de percolación. La recarga vertical, será estimada de acuerdo al balance hidrometeorológico a partir de la 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 (495 km²) por la lámina de precipitación. Este proceso es la cuantificación de la penetración de agua desde la superficie del terreno hacia su interior. Esta agua toma un tiempo para convertirse en recarga, que depende, además de los factores climáticos, de la profundidad al nivel freático y las características de la zona vadosa. El agua en movimiento descendente es recarga en tránsito o agua de percolación.

La recarga vertical, será estimada de acuerdo al balance hidrometeorológico a partir de la 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 (495 km²) por la lámina de precipitación media anual (827 mm):

$$V_{LL} = 495 \text{ km}^2 (0.827 \text{ m}) = 409.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por otra parte, para estimar el valor de la evapotranspiración (ETR) se utilizó la fórmula empírica de Turc, la cual establece lo siguiente:

Fórmula de Turc:	$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$		$L = 300 + 25T + 0.05T^3$
	T (°C) =	20.3	
	P(mm) =	827	P ² = 683929
	L =	1225.77135	L ² = 1502515.4
	ETR (mm)	710.4	

La temperatura promedio anual es de 20.3° C, que al sustituirlo en la ecuación de Turc junto con el valor de precipitación de 827 mm, se obtiene un valor de evapotranspiración de 710.4 mm/año, que multiplicado por el área total resulta en un volumen evapotranspirado de:

$$V_{ETR} = 495 \text{ km}^2 (0.7104) = \mathbf{351.7 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se puede utilizar el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF), del 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”. Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

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

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

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca, 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.

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

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

En el caso de que, en la cuenca, 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;

Ce = Coeficiente de escurrimiento anual;

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

De acuerdo con la cartografía de la CONABIO escala 1:1, 000,000 para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos Feozem-haplico, Luvisol-cromico, Regosol-calcárico y Vertisol-pélico (figura 3).

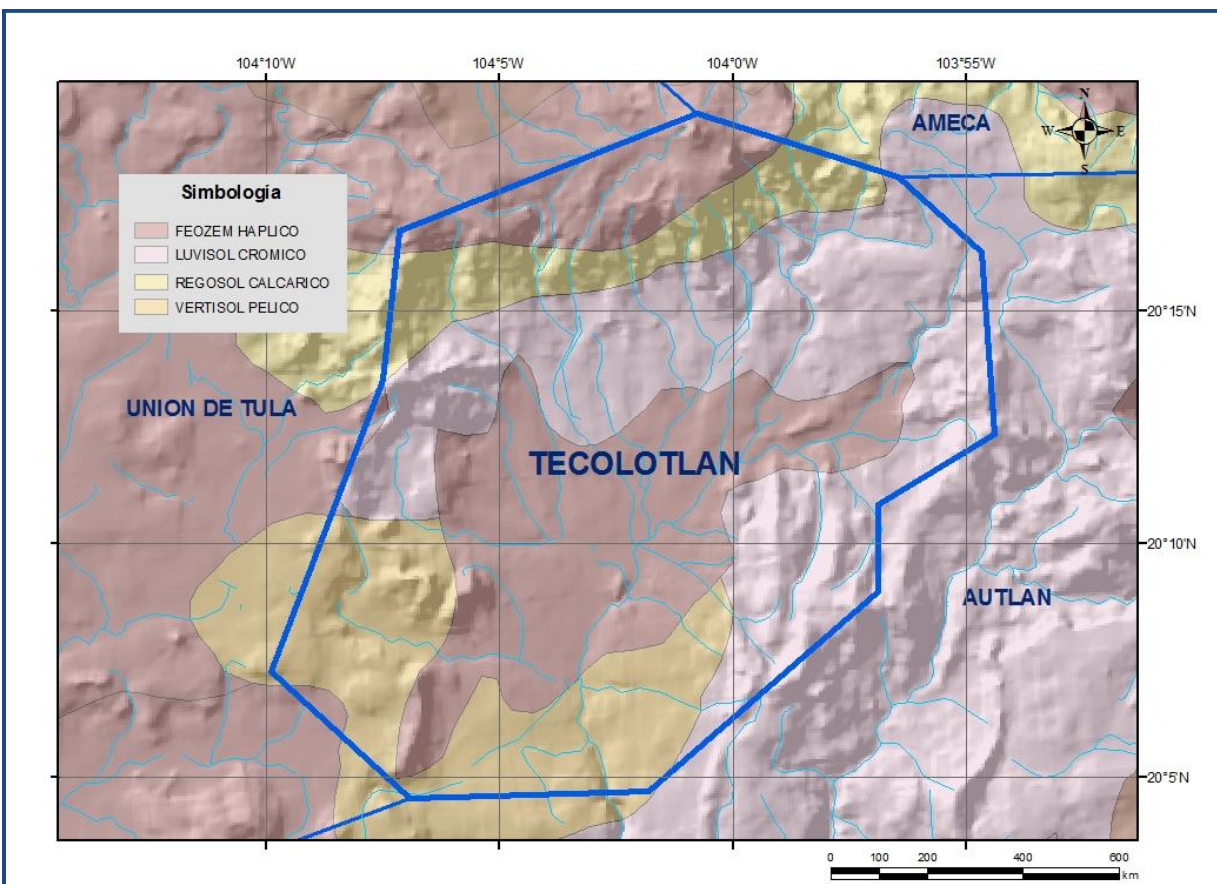


Figura 3. Tipos de suelo

En cuanto al uso de suelo (figura 4) de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1, 000,000, un 20.3% de la superficie del acuífero está cubierta por Bosque de Pino y Encino, en los que el suelo es tipo B, cubierta más del 75%, por lo que $K= 0.16$; 32.6% del acuífero presenta agricultura de temporal, suelo tipo A, por lo que $K= 0.24$; un 7.9% presenta Pastizal inducido, en los que el suelo es tipo B, cubierta más del 75%, por lo que $K= 0.20$; un 12.7% presenta matorral, en los que el suelo es tipo B, cubierta más del

75%, por lo que $K = 0.20$; un 25.8% presenta Selva, en los que el suelo es tipo B, cubierto del 50 al 75%, por lo que $K = 0.22$ y el resto 0.26% está cubierto por área urbana y cuerpos de agua.

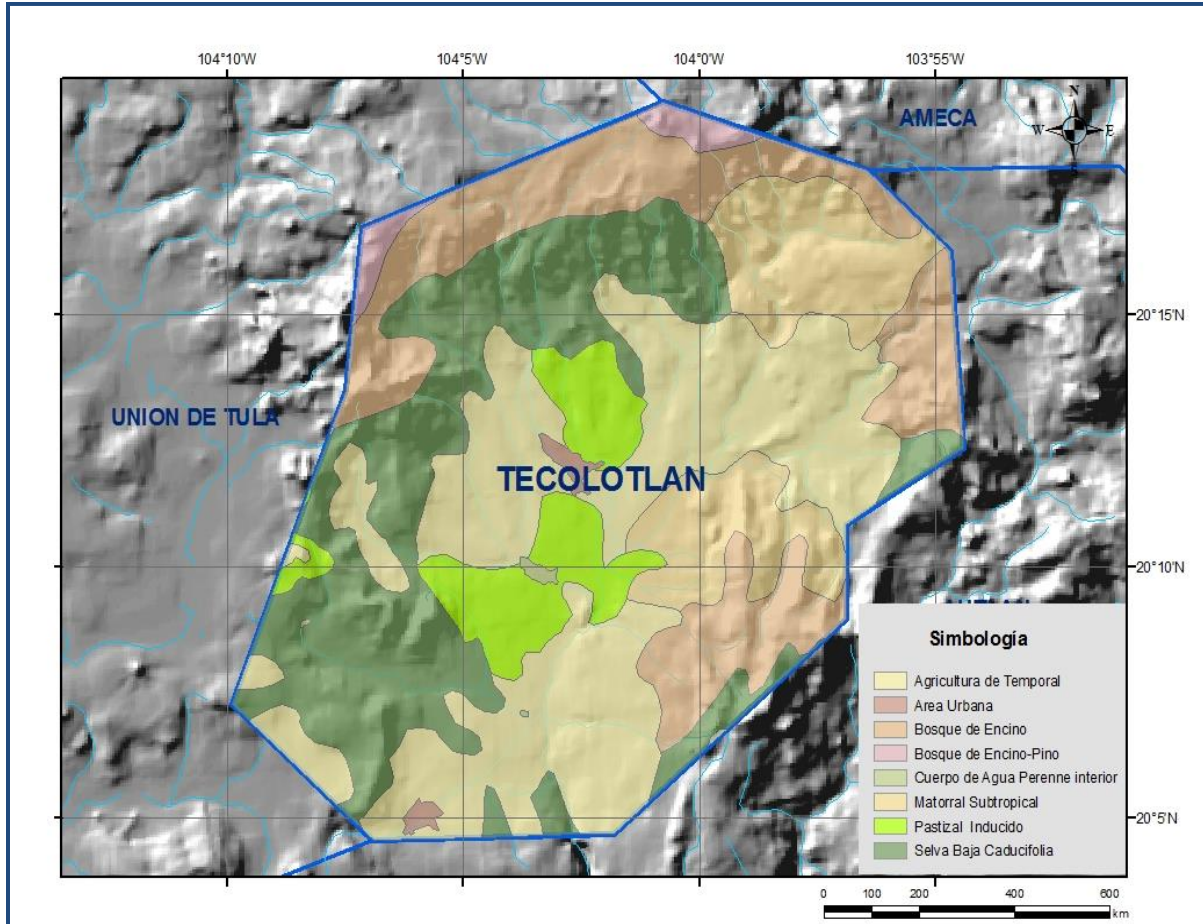


Figura 4. Uso de suelo

$$K_{\text{ponderado}} = 0.16 (0.23) + 0.24 (0.326) + 0.20 (0.79) + 0.20 (0.127) + 0.22 (0.258) = \mathbf{0.20}$$

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.20, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 = 0.091$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento: $0.091 (409.4 \text{ hm}^3) = \mathbf{37.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$.

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

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

$$V_{INF} = 409.4 - 351.7 - 37.3$$

$$V_{INF} = 20.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 409.4 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de **0.050**. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 20.4 hm³/año en los 495 km² de superficie del acuífero. Por lo que la **Rv = 20.4 hm³/año**.

7.1.2 Recarga inducida (Ri)

Esta componente del balance se integró como la suma de las aportaciones inducidas de la infiltración proveniente de los cauces de las corrientes superficiales en la cuenca (Ics), de los retornos de riego y de las fugas en la red de distribución de agua potable. Al considerar las corrientes de agua superficiales en la cuenca de Tecolotlán se tiene que la aportación inducida se puede calcular como sugiere Strahler (1957):

$$I_{cs} = a \cdot t \cdot K,$$

Donde:

I_{cs} = Infiltración proveniente de corrientes superficiales (hm³)

A = Área mojada de la corriente superficial (km²)

t = Tiempo que permanece mojada el área durante el año (s)

K = Conductividad hidráulica del medio subyacente a la corriente superficial (m/s)

Si se traza una línea sobre el eje central de la cuenca, se tiene una distancia aproximada de 15 km con una diferencia de altitud de tan solo 63 m entre ambos puntos. Esto representa una pendiente en el valle de tan solo 0.4345%.

En consecuencia, el caudal de las corrientes superficiales es demasiado lento, lo cual provoca una acumulación de sedimentos finos en los lechos de dichas corrientes, compuestos principalmente por gravas y arenas con algo de limos. Puesto que estos materiales están bien graduados, presentan una baja permeabilidad. Por lo tanto, se puede establecer un valor de conductividad hidráulica K para dichos materiales de 2.0 x 10⁻⁸ m/s. De esta manera, al aplicar la ecuación en las corrientes superficiales definidas, se tiene que el valor de I_{cs} es de 0.09 hm³/año. Por otra parte, aún en sistemas

de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. A esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación. Para este caso, se consideró que un 30 % de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida. Si el volumen de extracción para uso agrícola es de 0.86 hm^3 anuales, la recarga inducida es por retornos de riego es **0.3 hm^3 anuales**.

El rango típico de pérdidas por fugas en las redes de distribución es del orden del 20 al 45%. Los valores altos de pérdidas aplican a redes de distribución con muchos años de operación o cuya integridad estructural se ve sometida a esfuerzos producto de la subsidencia, terremotos o incrementos de presión.

En las redes de distribución de las principales poblaciones en la cuenca de Tecolotlán no hay evidencia de que estos factores adversos afecten substancialmente las pérdidas por fugas. Además, la distribución de los pozos tiene una configuración en la que los puntos de extracción no se encuentran distantes de las tomas de uso final.

Por consiguiente, para el cálculo de fugas en la red de distribución en el acuífero de Tecolotlán se consideró un valor conservador del 20%. De este modo, esta componente del balance se calculó como la suma del total de los aprovechamientos para uso público-urbano. El volumen total de esas concesiones se multiplicó por 0.20 como coeficiente de pérdida en las redes de distribución. Así, dicho volumen total anual de extracción bajo estas condiciones asciende a 0.06 hm^3 , que al multiplicarse por 0.20 se tiene un volumen de fugas en la red de distribución de $0.012 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Por lo tanto, el volumen total por recarga inducida o artificial (R_i) es igual a **$0.4 \text{ hm}^3/\text{año}$** , que corresponde a la suma de la infiltración de corrientes superficiales ($0.09 \text{ hm}^3/\text{año}$), a los retornos de riego ($0.3 \text{ hm}^3/\text{año}$) y las fugas en las redes de distribución ($0.012 \text{ hm}^3/\text{año}$).

7.2 Salidas

Las descargas en el acuífero ocurren principalmente por Bombeo (B) y mediante descarga de manantiales (D_m).

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de extracción por bombeo asciende a **1.2 hm³/año**.

7.2.2 Descarga a través de manantiales (Dm)

El caudal de los manantiales está en función del abatimiento del nivel estático a través del tiempo. Puesto que no se dispone de un registro histórico de dichos niveles ni de los aforos en los manantiales de este acuífero, se calculó con base en los caudales medidos durante las visitas de campo en un manantial ubicado al pie de monte al noroeste de la población de Tecolotlán es de **Dm=3.5 hm³/año**.

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:

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

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 **20.8 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Tecolotlán se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de 3.5 hm³ anuales que corresponde a las salidas a través de manantiales.

Por lo tanto, **DNC= 3.5 hm³ anuales.**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **15,563,052 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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 20.8 - 3.5 - 15.563052 \\ \text{DMA} &= 1.736948 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **1,736,948 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio para determinar la disponibilidad de los acuíferos, Valle de Guadalupe, Primo de Verdad, La Huerta, Miguel Hidalgo, Cihuatlán, 20 de noviembre, Cuquío, Colotlán, Tecolotlán, Tomatlán, Tequila y La Barca, en el estado de Jalisco. Realizado por la Universidad Autónoma del Estado de México.