



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO MIGUEL HIDALGO (1432), ESTADO DE
JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación Administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica.....	6
3.2 Clima.....	7
3.3 Hidrografía	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía.....	9
4.2 Geología estructural	11
4.3 Geología del subsuelo	11
5. HIDROGEOLOGÍA.....	12
5.1 Tipo de acuífero	12
5.2 Parámetros hidráulicos.....	13
5.3 Piezometría	14
5.4 Comportamiento hidráulico.....	14
5.4.1 Profundidad al nivel estático	14
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	15
5.4.3 Evolución del nivel estático	15
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	17
7.1 Entradas	17
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	18
7.1.2 Recarga inducida (Ri)	23
7.2 Salidas.....	24
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	24
7.2.2 Descarga a través de manantial (Dm)	24
8 DISPONIBILIDAD	25
8.1 Recarga total media anual (R).....	25
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	25
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	26
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	26
9 BIBLIOGRAFÍA	27

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 Miguel Hidalgo, definido con la clave 1432 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroeste del estado de Jalisco, entre los paralelos 19° 13' y 19° 45' de latitud norte, y los meridianos 104° 37' y 105° 02' de longitud oeste, abarca una superficie de 1,309 km². Colinda al noreste con el acuífero La Huerta, al noroeste con el acuífero Tomatlán, al sureste con el acuífero Cihuatlán, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco; y al suroeste con el Océano Pacífico. (Figura 1). Geopolíticamente el acuífero está comprendido en gran parte del municipio La Huerta, pequeñas porciones del municipio Purificación al norte y Cihuatlán al sureste.



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

ACUIFERO 1432 MIGUEL HIDALGO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	104	48	57.8	19	42	38.1	
2	104	43	12.6	19	38	6.0	
3	104	41	26.4	19	39	25.6	
4	104	37	47.3	19	38	39.2	
5	104	37	47.3	19	37	12.9	
6	104	40	33.3	19	36	13.1	
7	104	43	19.3	19	32	54.0	
8	104	43	39.2	19	28	8.5	
9	104	40	6.7	19	28	8.5	
10	104	36	54.2	19	24	56.0	
11	104	37	54.0	19	23	23.1	
12	104	40	39.9	19	22	49.9	
13	104	43	19.3	19	22	23.3	
14	104	44	12.4	19	19	57.3	
15	104	43	6.0	19	15	58.3	
16	104	42	59.3	19	13	45.5	
17	104	42	27.4	19	13	20.1	DEL 17 AL 18 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
18	105	1	27.4	19	25	22.8	
19	104	59	28.5	19	25	15.9	
20	104	58	15.4	19	27	48.6	
21	104	58	28.7	19	28	48.3	
22	104	59	15.2	19	31	21.0	
23	104	56	42.5	19	32	54.0	
24	104	56	16.0	19	35	20.0	
25	104	56	42.5	19	37	52.7	
26	104	53	49.9	19	39	58.8	
27	104	51	30.5	19	41	51.7	
28	104	53	56.5	19	43	57.8	
29	104	52	23.6	19	45	10.8	
30	104	50	10.8	19	44	17.7	
1	104	48	57.8	19	42	38.1	

1.2. Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Miguel Hidalgo pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”. El acuífero se encuentra totalmente vedado.

La mayor parte de su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en la parte que corresponde a los Municipios de Tomatlán, La Huerta, Cihuatlán y Tonalá, Jal.”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 21 de septiembre de 1984.

Este decreto es de tipo II en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Una pequeña porción al norte del territorio del acuífero se encuentra sujeta 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 7 de diciembre 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. Dentro de los límites del 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 oeste del acuífero, pertenece a la reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala, decretada el 30 de diciembre de 1993. Esta misma zona y con fecha de ingreso 2 de febrero de 2004, forma parte de los Sitios RAMSAR en México.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero Miguel Hidalgo sólo 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.

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 estudio 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 Miguel Hidalgo, 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 Provincias Fisiográficas para la República Mexicana del INEGI (1997), la superficie cubierta por el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, dentro de la subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima.

La Sierra Madre del Sur, debe muchos de sus rasgos particulares a su relación con la Placa de Cocos. Esta es una de las placas móviles que integran la litósfera o corteza exterior; emerge a la superficie del fondo del Océano Pacífico al suroeste y oeste de las costas, hacia las que se desplaza lentamente dos o tres centímetros al año para encontrar a lo largo de las mismas el sitio llamado "de subducción" donde buza nuevamente hacia el interior de la Tierra. A ello se debe la fuerte sismicidad que se manifiesta en esta provincia.

La Provincia presenta una litología muy compleja en la que las rocas intrusivas cristalinas, especialmente los granitos y las metamórficas, tienen más importancia que en la mayoría de las provincias del norte. La Subprovincia de la Costa de Jalisco y Colima, está compuesta por dos tipos de rocas ígneas: granito y las rocas volcánicas con alto contenido de sílice. Estas grandes sierras están constituidas en más de la mitad de su extensión por un enorme cuerpo (o cuerpos) de granito, ahora emergido. A estas masas intrusivas de gran tamaño se les llama batolitos y siempre se les encuentra asociados a cordilleras.

En su estado actual, el batolito integra una sierra de mediana altitud en la que se han abierto amplios valles intermontanos, todavía con muy escaso relleno aluvial y casi siempre con un drenaje hacia el sur que desemboca en el Océano Pacífico.

Se levanta más o menos abruptamente del mar y presenta un desarrollo incipiente de valles y llanuras costeras. La subprovincia es diferente de otras de la Sierra Madre del Sur porque carece de alineamientos estructurales de este a oeste.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García para nuestro país, en términos generales el clima predominante es del tipo semiseco, con otoño, invierno y primavera secos, al cálido, sin cambio térmico invernal bien definido. Con base en los datos históricos de precipitación, temperatura y evaporación potencial de las siete estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero, cuyo registro comprende el periodo de 1950- 2007.

De acuerdo con estos datos se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de 863 mm y 25.5° C, respectivamente. En cuanto a la evaporación potencial su valor promedio anual es de 1,537.3 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 15 "Costa de Jalisco" dentro de la cuenca del Río San Nicolás-Cuitzamala y del Río Chacala-Purificación. Esta región presenta características hidrográficas, orográficas y geológicas semejantes a lo largo del litoral del Océano Pacífico; está constituida por corrientes de poco desarrolladas debido a la cercanía geográfica de la sierra volcánica con la costa.

Sus principales corrientes son los ríos San Nicolás, Cuitzamala y Purificación. También los arroyos: Chamela, Guayabos, Huehuenes e Higueral. En la costa se encuentran algunos esteros, como: El Verde, El Rosario, El Jabalí, La Albufera de la Fortuna y Las Salinas de Chamela. El Río San Nicolás tiene una dirección noroeste-sureste con 55 km de longitud, después de realizar su recorrido, el río desemboca en el Océano Pacífico en un sitio denominado Playa Blanca, localizado al noroeste de la Punta Soledad. La cuenca del río Cutzamala tiene una forma alargada en dirección noreste a suroeste con un eje longitudinal de 65 km y uno transversal en la parte alta de 30 km. Nace en las inmediaciones del cerro Camalote, localizado a 15 km al noroeste del

poblado de Purificación, a una elevación de 1,500 msnm, durante su recorrido, conserva una dirección general sur-suroeste, con un recorrido de 85 km y un área de cuenca de 1,141 km², desemboca en el Océano Pacífico, en un punto situado a 5 km al sureste de la Punta Farallón.

La cuenca del río Purificación es de forma alargada, su eje longitudinal mide aproximadamente 75 km y tiene una dirección noreste-suroeste, el transversal, en su parte más ancha y alta de la cuenca mide 30 km. El origen de esta corriente se localiza en el cerro Jirosso, que se encuentra a 14 km al noreste del poblado Purificación y cuya cúspide tiene una elevación de 2,600 msnm, desemboca al noroeste de la Punta Hermanos en el Océano Pacífico. Tiene un recorrido total de 95 km aproximadamente y un área de cuenca de 1,554 km².

3.4 Geomorfología

Dentro de los límites estatales jaliscienses la subprovincia de las Sierras de la Costas de Jalisco y Colima presenta los siguientes sistemas de topofomas: Gran Sierra Compleja; Sierra de Cumbres Tendidas; Meseta Lávica; Meseta Lávica con Cañadas; Lomerío; Lomerío con Llanos Aislados; Valle Intermontano; Valle Intermontano con Lomeríos; Valle Intermontano con Terreno Ondulado; Valle Ramificado con Lomeríos; Cañón; Llanura Costera con Delta; Llanura Costera con Laguna Costera; Laguna Costera; Pequeña Llanura con Lomeríos.

La región norte del acuífero es muy accidentada, las elevaciones oscilan entre los 400 y 800 msnm. La mayor elevación es de 1,200 m y corresponde al Cerro Plazola que se encuentra al este del municipio. Cuenta también con algunas planicies localizadas en la parte central, otras hacia el este y, principalmente, en la región correspondiente a la costa.

4. GEOLOGÍA

La superficie que cubre el acuífero está constituida de una gran estructura morfológica formada por un conjunto de bloques montañosos discontinuos y valles de diferentes dimensiones, formada por un basamento de rocas metamórficas, que sufrieron un desplazamiento durante el Jurásico. Así mismo, en esta región existen rocas volcánicas y vulcanoclásticas del Cretácico Temprano y del Paleógeno-Neógeno, así como formaciones impermeables compuestas de dolomías, calizas recristalizadas y lechos de arcilla, arena y limo del Paleozoico, Triásico y Jurásico (Figura 2).

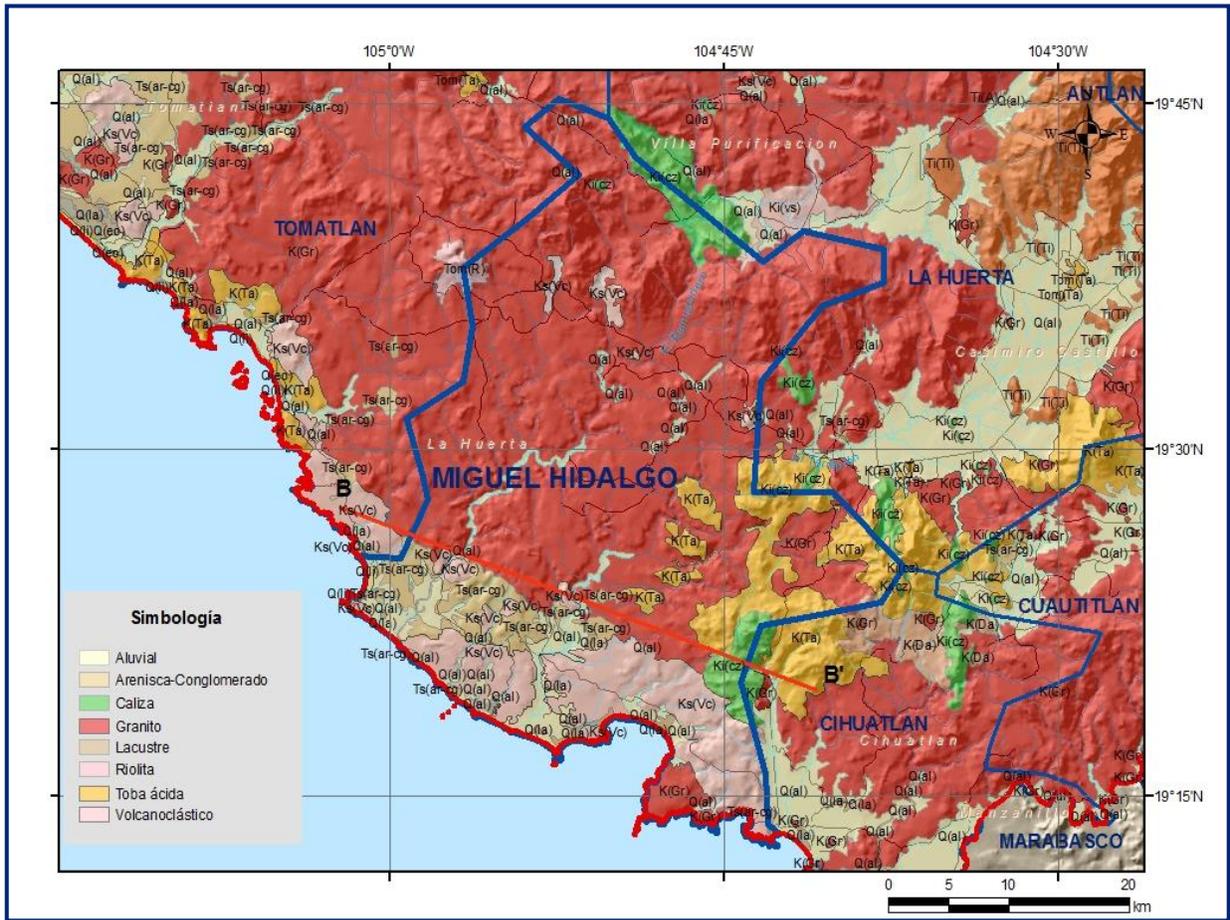


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

La geología superficial del acuífero muestra una presencia predominantemente granítica intercalada con rocas ígneas extrusivas ácidas y tobas. Sin embargo, sobre la zona costera, esta intercalación se da con materiales aluviales, conglomerados, tobas e ígneas extrusivas sobre el área que rodea a la Bahía Tenacatita. En una perspectiva regional, las unidades litológicas surgentes se encuentran representadas por secuencias volcanosedimentarias de rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas; ubicadas en un rango cronoestratigráfico comprendido entre el Mesozoico y el Cenozoico.

El desarrollo de un arco volcánico insular en el Cretácico Temprano originó en la región costera un mar marginal provocando la formación rocosa híbrida que asocia calizas, derrames andesíticos, depósitos volcanoclásticos y tobas de grandes espesores.

En esta misma época, la línea costera sufrió desplazamientos debido a fluctuaciones en el basamento regional, desarrollándose caliza de ambiente de plataforma.

La unidad de roca ígnea intrusiva ácida del Cretácico indiferenciado, K (Ígea), aflora en toda la región costera; está constituida mayoritariamente por granito, granodiorita y tonalita, de textura holocristalina equigranular y alotriomórfica; su estructura es compacta masiva y en ocasiones en forma esferoidal debido al intemperismo. En algunas localidades se observan diques de composición diorítica con espesores entre 2 y 4 m.

Esta unidad intrusión a rocas metamórficas del Jurásico, a secuencias volcanosedimentarias, a rocas sedimentarias calcáreas del Cretácico Inferior y a arenas arcillosas del Cretácico Superior. Esta unidad subyace en discordancia a rocas volcánicas de composición ácida e intermedia, así como a depósitos arenosconglomeráticos del Paleógeno-Neógeno, como también a basalto y depósitos continentales del Cuaternario. Se ha considerado que este plutonismo tiene migración espacio temporal del Cretácico Superior al Paleógeno; sin embargo, por sus características físicas y relaciones estratigráficas se le asignó una edad del Cretácico Indiferenciado.

Una de las secuencias metasedimentarias cartografiada como esquisto se sitúa precisamente sobre la Sierra Madre del Sur; ésta consiste en un complejo metamórfico regional constituido principalmente por esquisto y gneis cuarzo-feldespáticos y, en menor proporción, por filita pelítica. Ambos componentes son derivados de la arenisca caracterizados por su textura esquistosa y granoblástica con una estructura de segregaciones, pliegues y superficies, mientras que la filita es lepidoblástica, aunque los tres tipos de roca corresponden a las facies de esquistos verdes.

En estas formaciones se muestran fracturas y fallamientos, lo que propició la intrusión de cuerpos graníticos, que fueron incluidos, de acuerdo con sus relaciones estratigráficas, en el Cretácico indiferenciado.

Se ha determinado, mediante estudios radiométricos, que el primer evento termal ocurrió en el Jurásico (Guerrero, 1978), correspondiente probablemente a la prolongación del complejo metamórfico Xolapa.

Los afloramientos rocosos metamórficos más antiguos del estado de Jalisco, pertenecientes al Jurásico, se localizan al sur de Puerto Vallarta, noreste de Mascota, oeste de Talpa de Allende y noreste de Tecalitlán. En la porción occidental de la provincia, durante el Cretácico Superior, fue emplazado un gran cuerpo de rocas ígneas intrusivas (batolito), lo que provocó fuertes deformaciones o dislocaciones en las rocas resistentes.

Así durante el periodo Paleógeno-Neógeno se originaron depósitos rocosos volcánicos que cubrieron gran parte del área, formando al mismo tiempo depósitos de rocas sedimentarias continentales. En el cuaternario se formaron los depósitos de suelos que se encuentran en los litorales y cerca de las costas, así como los que rellenan los valles de esta región.

4.2 Geología estructural

Dentro de la provincia Sierra Madre del Sur, las secuencias metamórficas del Jurásico, volcanosedimentarias y sedimentarias del Cretácico fueron comprimidas por efecto de cuerpos graníticos, que las plegaron, fracturaron, afallaron, 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).

Los cuerpos intrusivos provocaron en las rocas sedimentarias calcáreas, al igual que en las secuencias volcanosedimentarias y metamórficas, la formación de bloques colgados de diversas dimensiones.

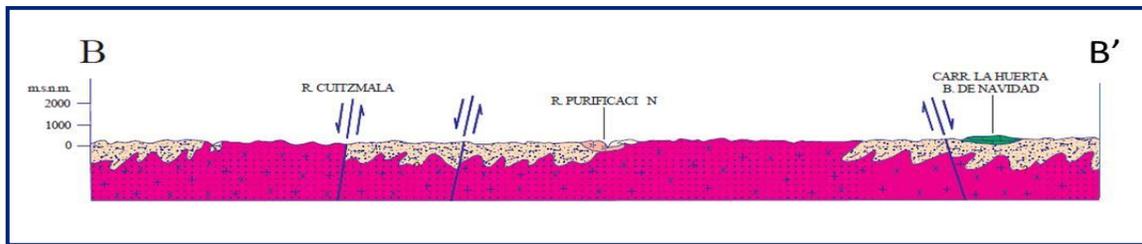
Dichos cuerpos intrusivos se han denominado Conjunto batolítico de Jalisco, cuyo ambiente geotectónico es de raíz de arco (Ortega, 1992); tiene una migración temporal del Cretácico al Paleógeno; y espacial de la región costera a las zonas internas continentales; los del Paleógeno se muestran en el noreste y centro del estado en forma de troncos y diques.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información hidrogeológica, geofísica y de la geología superficial recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra conformado por una formación de granito, y en menor proporción tobas, que llegan a aflorar en las zonas de recarga y parte de la zona de descarga.

Estas formaciones, que constituyen el acuífero fracturado, subyacen la formación granular de materiales aluviales y tobas en la zona de descarga. El flujo regional forma parte de un sistema con drenado franco hacia el Océano Pacífico, donde también se observa una conexión hidráulica en el extremo oriente con el acuífero La Huerta. La mayor parte de los pozos están instalados a poca profundidad, propiciando que el acuífero granular sea explotado intensivamente en la zona de la costa. En cambio, en las zonas alejadas de la costa los pozos, en menor cantidad, explotan el acuífero fracturado, indicando, por las características hidrogeológicas, que existe una continuidad hidráulica entre ambos acuíferos.

En la figura 3 se presenta una sección geológica esquemática que muestra la disposición de las unidades geológicas del subsuelo en esta porción del acuífero.



Fuente: Carta Geológico-Minera "Manzanillo" E13-2-5. Esc:1 250,000. (SGM, 2000)

Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrológicas, permiten definir la presencia de un acuífero de tipo libre heterogéneo, tanto en sentido horizontal como vertical, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales compuestos de arenas, clásticos y limos, que se han ido acumulando por efecto de la erosión en las zonas planas de la costa, donde las pendientes son mínimas y favorecen la deposición de materiales que han sido transportados por las corrientes superficiales.

Esta unidad tiene espesor reducido, y es donde están instalados la mayor parte de los pozos con obras someras que extraen agua subterránea especialmente en época de sequía. Esta disposición de suelos aluviales es típica en las partes más bajas de las planicies. Desde el punto de vista del sistema flujo, el área de influencia de esta unidad coincide con la zona de descarga, donde también se tiene la interface de la intrusión salina como condición de frontera en el límite del acuífero con el Océano Pacífico.

La porción inferior se aloja en una unidad fracturada constituida por rocas ígneas y granito, que constituyen las formaciones predominantes en el área, con una permeabilidad que se clasifica entre media alta dependiendo del grado de fracturación. También existe la presencia de rocas carbonatadas y tobas en algunas porciones del área de recarga, que probablemente se entremezclan con las otras formaciones, constituyendo, dependiendo del grado de Karstificación, excelentes unidades para fines de explotación del agua subterránea.

De este modo, las formaciones geológicas que integran el acuífero fracturado constituyen excelentes áreas de recarga para el acuífero. Dado que el acuífero granular tiene su origen en la erosión de materiales del acuífero fracturado, éste sobreyace al acuífero fracturado, confiriendo esta situación una continuidad hidráulica entre ambas formaciones, aunque no se descarta que localmente existan lentes de menor permeabilidad que provoquen cierto confinamiento.

No obstante, ello, el sistema acuífero en su conjunto puede ser considerado como un acuífero libre, con la particularidad, a diferencia de otros sistemas aluviales, de la discontinuidad de la formación granular que está distribuida solo en la planicie del acuífero.

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.

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 la geología que caracteriza los diferentes estratos del sistema acuífero y, por otro lado, el análisis está limitado al área costera.

En tal sentido, se pueden distinguir dos zonas de transmisividad: por una parte, los pozos que se ubican en los límites de los sedimentos aluviales y las formaciones fracturadas de granito, o sea en los depósitos de pie de monte, que presentan el valor de transmisividad más alto, cuyos valores fluctúan en el rango de **9.5 a 33 x 10⁻³ m²/s**.

Por otra parte, se tienen los pozos localizados en los depósitos de sedimentos aluviales de la costa, que por sus características no alcanzan a atravesar los depósitos lacustres, con valores de transmisividad que varían entre **0.35 a 6.75 x 10⁻³ m²/s**. La principal característica de estos pozos es que son someros, los cuales han sido construidos para abastecer un consumo local.

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 configuraciones de profundidad al nivel estático para septiembre de 2010 en la planicie costera varían de 3 a 7 m. La influencia topográfica es evidente, en cotas elevadas el nivel se profundiza y se levanta hacia los valles y planicies. La configuración también sugiere un esquema con participación del bombeo en las zonas pobladas.

Aunque desafortunadamente no se cuenta con información de niveles estáticos en el resto del acuífero, en las estribaciones de la cuenca, en particular, en la región norte, la profundidad al nivel estático debería ser proporcionalmente mayor debido a las formaciones montañosas que circundan al acuífero, donde, así mismo, las cargas hidráulicas son mayores para generar el sistema de flujo que se distribuye en el acuífero.

En tal sentido, la profundidad al nivel estático progresa gradualmente del norte hacia el sur, hacia la costa. Por consecuencia, la definición del nivel estático es representativa para la planicie costera, existiendo una total falta de información para gran parte del acuífero, limitada en torno a los principales núcleos poblacionales. En tal sentido, no se cuenta con datos confiables de los niveles estáticos para la delineación de las isopiezas en la totalidad del acuífero.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático, para el año 2010, define una dirección de flujo definida del norte hacia el sur, donde se aprecia que el nivel estático de la zona montañosa del parteaguas norte propicia un gradiente hidráulico favorable por efecto de la recarga, que condiciona un sistema de flujo con una dirección definida hacia la confluencia con la costa del Océano Pacífico.

No obstante, esta condición natural es perturbada localmente, sobre todo en las regiones donde existen principales asentamientos humanos, tales como Apazulco, Nuevo Miguel Hidalgo y Francisco Villa, donde se forman conos de abatimiento por efecto de la explotación del agua subterránea, especialmente en la época de estiaje donde existe una extracción del agua subterránea, favoreciendo al avance del frente salino.

De esta manera, se notan claramente dos conos de abatimiento, los cuales forman gradientes locales que varían de 50 msnm a 5 y 8 msnm. No obstante, la limitación de la información, especialmente en las zonas altas de la cuenca, la configuración del sistema de flujo presenta una consistencia coherente con sistemas de acuíferos costeros similares. De este modo, dadas las consideraciones anteriormente expuestas, en el acuífero Miguel Hidalgo la recarga principal tiene su origen en los depósitos de pie de monte asociados a las serranías que se localizan en el parteaguas norte y nororiental de esta cuenca, con un flujo subterráneo en dirección preferente hacia el sur.

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 13 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 25.2°C (21.3<T<29.2); pH 6. (8.1<pH<8.7); conductividad eléctrica 1003.07 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (317<CE<3508) y dureza total 247.23 mgL⁻¹ (100<DT<450).

En la mayor parte del acuífero predominan las aguas suaves con dureza temporal y bajas concentraciones de calcio, magnesio y bicarbonatos. El agua del 61% (n=8) de los pozos se caracteriza como cálcica bicarbonatada (Ca-HCO₃) y el 23% (n=3) de tipo magnésica bicarbonatada (Mg-HCO₃).

El origen de su composición puede atribuirse a una litología predominantemente basáltica en la que ocurre cierta influencia de procesos de disolución de calcita y/o dolomita que le confieren bajas concentraciones de calcio y magnesio. Se puede inferir que esta clasificación se distribuye casi en todo el acuífero, exceptuando la zona costera.

Hacia la costa se ha definido una zona en la que es notoria la tendencia hacia una caracterización salina, esta zona se clasifica como moderadamente suave, del tipo clorurada bicarbonatada sulfatada (Cl-HCO₃-SO₄), con una alta proporción iónica que puede atribuirse, en parte, a una litología feldespática así como a la influencia de procesos de disolución de anhidrita, que explican la presencia de sulfatos.

Estos mecanismos se encuentran vinculados con un sistema de flujo profundo asociado a un flujo regional con tiempos de residencia significativos, siendo típicos en los sistemas de flujo de aguas fósiles. La zona costera se distingue por su composición definitivamente salina, estando el agua clasificada como del tipo sódica clorurada sulfatada (Na-Cl-SO₄).

Es factible establecer una correlación entre el aumento en la salinidad del agua subterránea en esta zona y la ocurrencia de procesos de salinización, por lo que este punto podría constituir un frente franco de intrusión salina hacia el acuífero, definido geoquímicamente, cuya migración está siendo inducida desde esta zona en dirección del cono de abatimiento.

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 238 aprovechamientos, de los cuales 173 se encuentran activos y 65 inactivos. De los aprovechamientos activos el 79.8% (138) son de uso agrícola, 15.6% (27) público-urbano y 4.6% (8) como otros usos. La extracción es de **9.1 hm³/año**, de los cuales el 7.73 hm³/año (85%) se destinan al uso agrícola, 1.09 hm³/año (12%) al uso público urbano y 0.27 hm³/año (3%) en otros usos.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2000-2014, en una superficie de 1350 km², que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. 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 Miguel Hidalgo 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 1,309 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:

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

Donde:

V_{LL} = Volumen de lluvia;

V_{ETR} = Volumen evapotranspirado;

V_{ESC} = Volumen escurrido;

V_{INF} = Volumen infiltrado;

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

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie del acuífero se obtiene al multiplicar su área (1,309 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 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 (863 mm):

$$V_{LL} = 1,309 \text{ km}^2 (0.863 \text{ m}) = 1219.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

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

La temperatura promedio anual es de 25.5° C, que al sustituirlo en la ecuación de Coutagne junto con el valor de precipitación de 863 mm, se obtiene un valor de evapotranspiración de 0.693 m/año, que multiplicado por el área total resulta en un volumen evapotranspirado de: (Valores redondeados a una cifra decimal para su presentación en el documento).

$$V_{ETR} = 1,309 \text{ km}^2 (0.693) = 906.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \text{PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA CUENCA} * \text{ÁREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO}$$

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

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática 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.

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:

$$\begin{array}{ll} \text{Si } K \text{ resulta menor o igual que } 0.15, & C_e = K (P-250) / 2000; \\ \text{Si } K \text{ es mayor que } 0.15, & C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5; \end{array}$$

Donde:

P = Precipitación anual;

C_e = Coeficiente de escurrimiento anual;

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

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

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

De acuerdo con la cartografía de la CONABIO escala 1:1, 000,000 para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos Regosol-eutríco, Cambisol-crómico, Rendzina, Feozem-Háplico y Solonchak-órtico (figura 4).

En cuanto al uso de suelo (figura 5) de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1, 000,000, un 30% de la superficie del acuífero presenta agricultura de temporal, en los que el suelo es tipo B, por lo que $K = 0.27$; 10% del acuífero está cubierto por Bosque, suelo tipo B, cubierto del 25 al 50%, por lo que $K = 0.28$; y un 60% está cubierto por selva baja caducifolia, en los que el suelo es tipo B, cubierta del 25 al 55%, por lo que $K = 0.26$.

$$K_{ponderado} = 0.30 (0.27) + 0.1 (0.28) + 0.6 (0.26) = 0.265$$

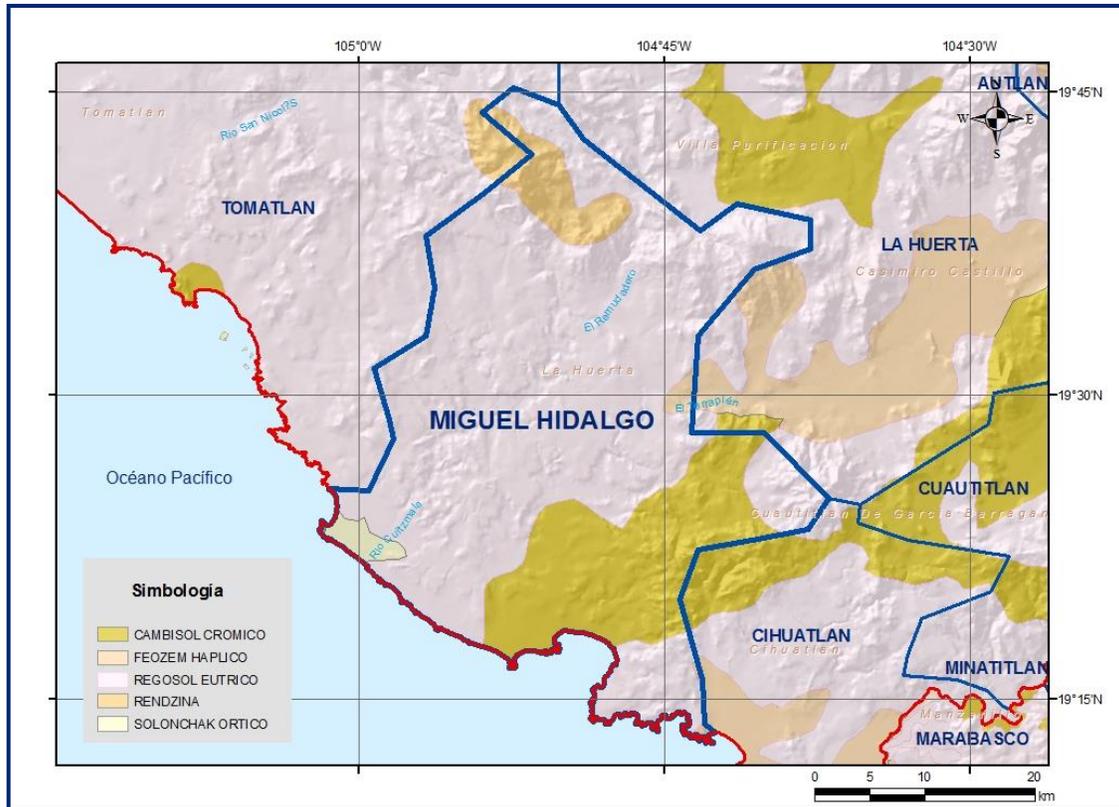


Figura 4. Tipos de suelo

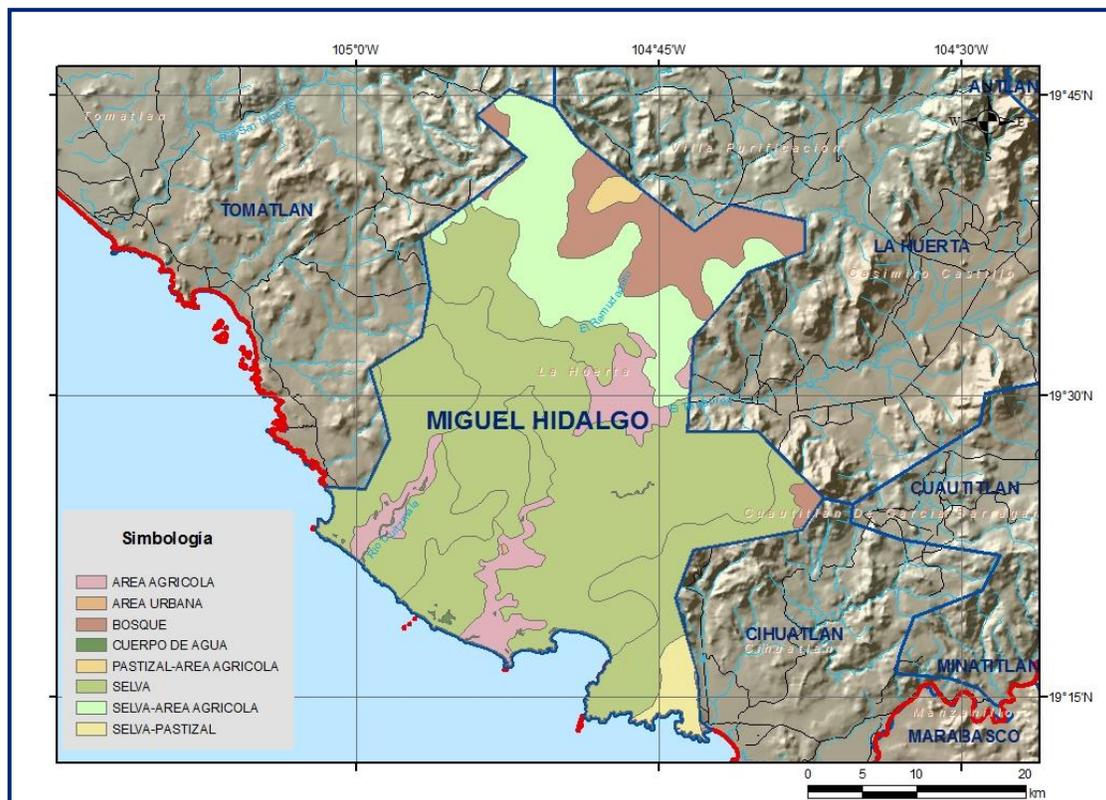


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.265, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 = 0.1579$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento: $0.1579 (1129.7 \text{ hm}^3) = 178.4 \text{ hm}^3$ anuales.

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

$$\begin{aligned} V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} & (2) \\ V_{INF} &= 1129.7 - 906.6 - 178.4 \\ V_{INF} &= 44.7 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de $1129.7 \text{ hm}^3/\text{año}$, se obtiene el coeficiente de infiltración de **0.04**. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de $44.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ en los $1,309 \text{ km}^2$ de superficie del acuífero. Por lo que la **$Rv = 44.7 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

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 (I_{cs}), y de los retornos de riego. Al considerar las corrientes de agua superficiales en la cuenca de Miguel Hidalgo 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 (hm^3)

a =Área mojada de la corriente superficial (km^2)

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 23 km con una diferencia de altitud de tan solo 224 m entre ambos puntos. Esto representa una pendiente en el valle de tan solo 0.9739%.

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 2.0×10^{-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 $0.83 \text{ hm}^3/\text{año}$.

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. Por lo tanto, el volumen total por recarga inducida o artificial (R_i) es igual a **$1.4 \text{ hm}^3/\text{año}$** , que corresponde a la suma de la infiltración de corrientes superficiales ($0.83 \text{ hm}^3/\text{año}$) y a los retornos de riego ($0.6 \text{ hm}^3/\text{año}$).

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 **$9.1 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

7.2.2 Descarga a través de manantial (D_m)

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 esta componente con base en los caudales medidos durante las visitas de campo en dos manantiales próximos a la población de Nuevo Miguel Hidalgo y Apazulco. Por lo tanto, **$D_m = 8.7 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

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:

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

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 **46.1 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 Miguel Hidalgo se considera el valor de la descarga natural comprometida es de 8.7 hm³ anuales correspondientes a la descarga a través de manantiales. Por lo tanto, **DNC = 8.7 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 (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **21,218,227 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 46.1 - 8.7 - 21.218227 \\ \text{DMA} &= 16.181773 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **16,181,773 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.