CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO AHUALULCO (2405), ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ

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 4
3.1 Provincia fisiográfica 4
3.2 Clima 5
3.3 Hidrografía 5
3.4 Geomorfología 5
4. GEOLOGÍA 5
4.1 Estratigrafía 6
4.2 Geología estructural 7
4.3 Geología del subsuelo 8
5. HIDROGEOLOGÍA 10
5.1 Tipo de acuífero 10
5.2 Comportamiento hidráulico 11
5.2.1 Profundidad del nivel estático 11
5.2.2 Elevación del nivel estático 12
5.4.3 Evolución del nivel estático 13
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA 13
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 14
7.1 Entradas 14
7.1.1 Recarga vertical (Rv) 14
7.1.2 Recarga inducida (Ri) 14
7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) 15
7.2 Salidas 15
7.2.3 Evapotranspiración (ETR) 15
7.2.4 Descargas naturales (Dn) 15
8. DISPONIBILIDAD 16
8.1 Recarga total media anual (R) 17
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) 17
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 17
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 18

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 Ahualulco, definido con la clave 2405 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción oeste del estado de San Luis Potosí, entre los paralelos 22° 13' y 22° 33' de latitud norte y entre los meridianos 101° 01' y 101° 27' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 948 km^2. Limita al norte con el acuífero Villa de Arista, al sureste con el acuífero San Luis Potosí y al sur con Villa de Arriaga, pertenecientes al estado de San Luis Potosí; al suroeste con el acuífero Pino Suarez, al oeste con Espíritu Santo y al noroeste con Saldaña, pertenecientes al estado de Zacatecas (figura 1).

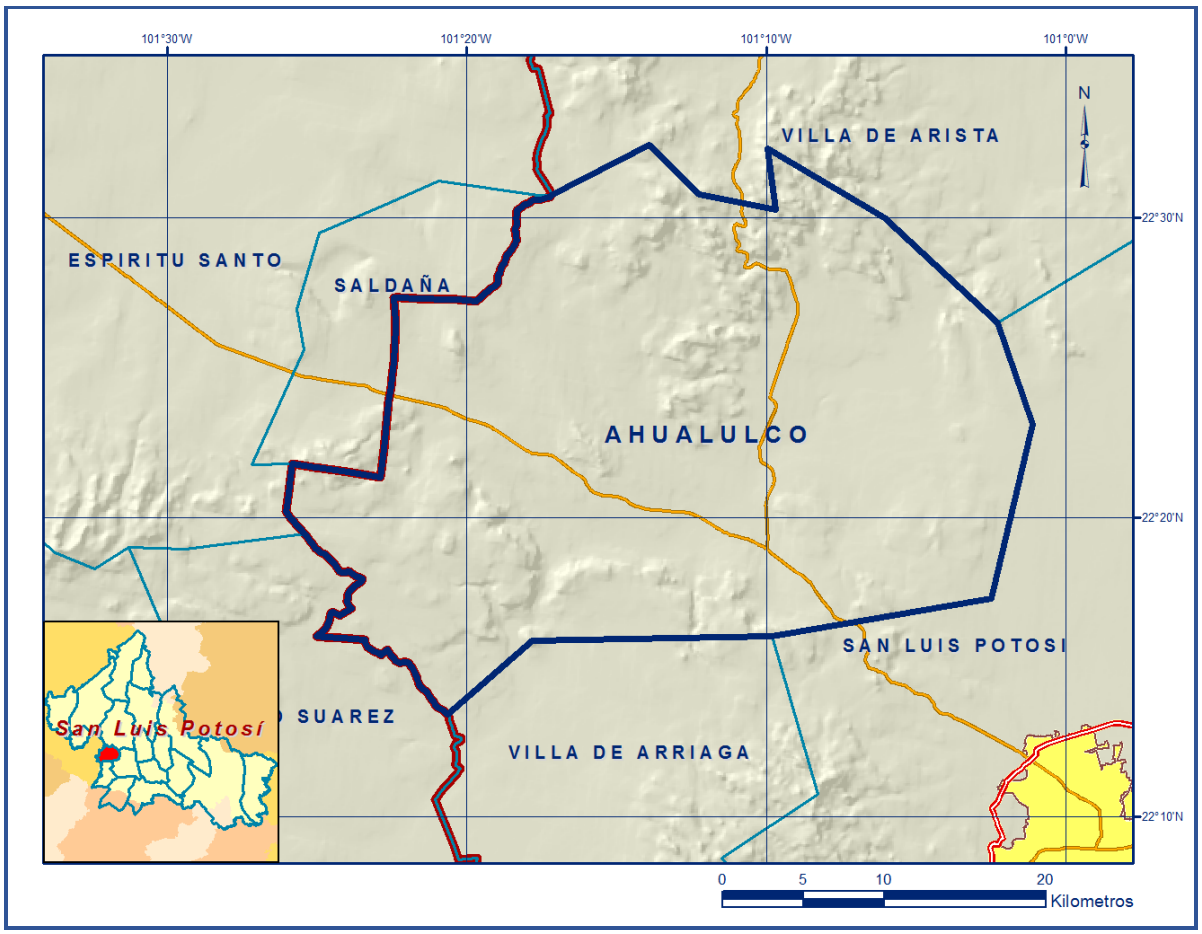


Figura 1. Localización del acuífero

Tomando como base la división geopolítica del estado de San Luis Potosí, la zona geohidrológica de Ahualulco cubre la mayor parte de los municipios de Mexquitic de Carmona, Ahualulco y una pequeña fracción del de San Luis Potosí y Villa de Arriaga.

Las principales vías de acceso son la carretera federal No. 49 que en su tramo San Luís Potosí–Zacatecas cruza el área en la porción suroccidental; la carretera estatal pavimentada que parte del kilómetro 31 de la carretera No.49, que va a Ahualulco, Moctezuma, Venado y Charcas, y la carretera estatal pavimentada que parte del km 14 de la carretera a Charcas y que conduce a Valle Umbroso y Estación Brocas.

Cuenta también con el ferrocarril México-Laredo que cruza el área en la porción oriental, y el ferrocarril San Luis Potosí–Aguascalientes que pasa por la zona en dirección sureste a noreste. El resto de la zona se encuentra en general bien comunicada por brechas. Las actividades principales son la agricultura de riego dentro del valle de Ahualulco, y fuera de él la siembra de temporal y la ganadería.

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 2405 AHUALULCO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	20	38.7	22	13	25.0	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	101	25	25.3	22	19	26.6	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	101	25	49.6	22	21	46.7	DEL 3 AL 4 POR EL LIMITE ESTATAL
4	101	17	11.1	22	30	46.1	
5	101	13	54.2	22	32	25.9	
6	101	12	14.2	22	30	47.3	
7	101	9	40.6	22	30	16.4	
8	101	9	56.1	22	32	19.0	
9	101	6	3.2	22	30	1.2	
10	101	2	15.1	22	26	30.6	
11	101	1	4.4	22	23	6.4	
12	101	2	28.0	22	17	17.2	
13	101	9	47.0	22	16	0.7	
14	101	11	25.5	22	15	58.6	
15	101	17	48.9	22	15	51.6	
1	101	20	38.7	22	13	25.0	

1.2 Situación administrativa del acuífero

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En 1981 la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos realizó un estudio de prospección geohidrológica en el valle de Ahualulco, con los objetivos de conocer en forma preliminar las características y el comportamiento del acuífero en explotación, el marco geológico regional, la ubicación y el número de pozos, la calidad del agua, entre los aspectos más importantes. Se definieron la existencia de dos acuíferos principales, el superior almacenado en los rellenos aluviales que está explotado por la mayoría de los aprovechamientos hidráulicos subterráneos; y el inferior o profundo, ubicado en la base de la Riolita Panalillo y en la Latita Porfirítica.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo a la distribución de provincias fisiográficas de la República Mexicana realizada por E. Raisz (1954), el área de estudio se encuentra en la porción central de la Mesa Central, representada localmente por un valle intermontano rodeado por serranías de baja altura y mesetas de rocas volcánicas, conformando un paisaje de relieve suave en el que predominan rocas sedimentarias de origen marino.

3.2 Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por E. García, la zona en estudio se caracteriza por un clima seco estepario, con lluvias en verano, identificado con las siglas Bsohw"(w)(i)g, con una temperatura media anual de 18.3° C y una precipitación media anual de 306. 6mm.

3.3 Hidrografía

La zona pertenece hidrológicamente a la Cuenca Cerrada Arista-Matehaula, dentro de la Región Hidrológica No.37, denominada El Salado.

El colector general de la zona es el río Justino, corriente intermitente que surca la zona geohidrológica de Ahualulco; nace en Cerro Prieto, uniéndosele el arroyo Santa Teresa en el valle de Ahualulco. Después de esta confluencia, se encuentra la presa de almacenamiento Santa Genoveva con capacidad de 4 hm^3.

Después de este punto, la corriente se conoce como río La Presa y al pasar por la Exhacienda La Parada cambia nombre a arroyo La Parada o río Justino. Pasa 4 km al sur de Ahualulco, donde sigue una dirección general hacia el NE para terminar su curso aproximadamente 20 km después, ya en la cuenca del valle de Villa de Arista.

3.4 Geomorfología

El relieve presenta las siguientes formas: valle fluvial, terraza fluvial, cerros y lomeríos, y las sierras abruptas. Entre los rasgos orográficos más importantes destaca la sierrita de La Parda.

Su drenaje principal es del tipo dentrítico colectado por el río Justino, el cual desemboca en una cuenca endorreica denominada Villa de Arista, al oriente de la Zona Geohidrológica de Ahualulco.

4. GEOLOGÍA

La geología superficial del acuífero es muy variada, está constituida por rocas ígneas extrusivas, sedimentarias, depósitos aluviales y residuales, su distribución se muestra en la figura 2.

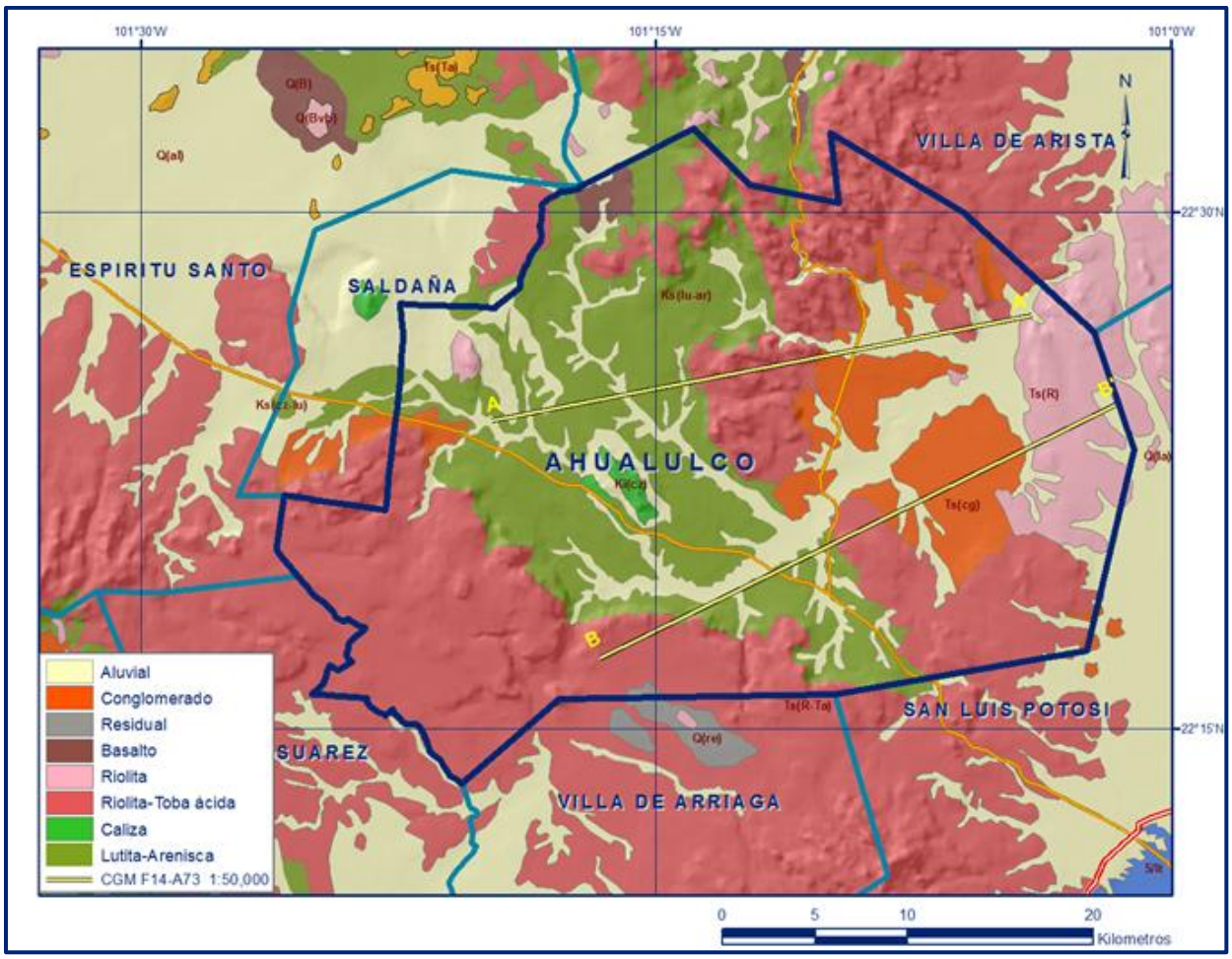


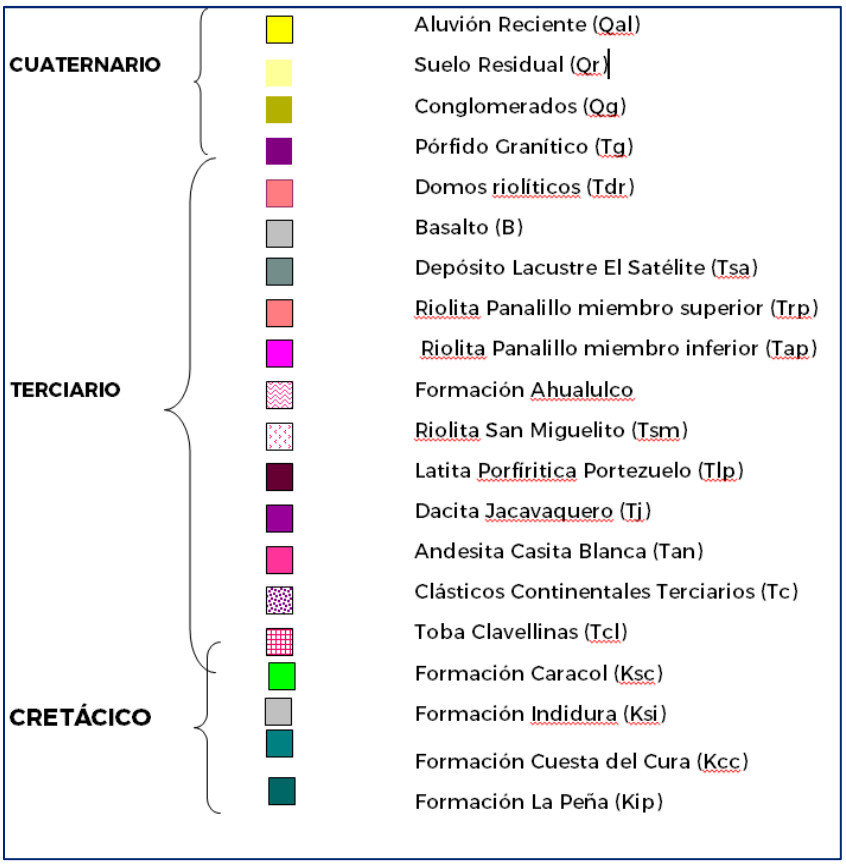
Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

Según Labarthe G. y Tristán M., las rocas expuestas en la cuenca corresponden a rocas sedimentarias marinas calcáreo-arcillosas y arcillo arenosas de edad cretácica, así como rocas ígneas del Terciario, las cuales en su mayoría son geohidrológicamente desfavorables, pero localmente, en zonas de fallas y franjas alteradas por intemperismo, pueden comportarse como permeables. Las unidades litológicas que afloran se muestran en la tabla 2.

El registro geológico del área empieza con rocas de la formación La Peña del Albiano. Consisten en lodos calcáreos depositados en un ambiente infranerítico. Sobre estos sedimentos se depositó la formación Cuesta del Cura, en un ambiente más profundo de batial a infranerítico, indicando un hundimiento paulatino de la zona, condiciones que continuaron durante buena parte del Turoniano con el depósito del miembro inferior (Ksi_1) de la Formación Indidura.

Tabla 2. Unidades litológicas en el área de estudio



Hubo lugares en los que prevaleció un medio ambiente reductor indicado por las calizas carbonosas de esta unidad y por la presencia de pirita en algunos sitios. En la parte superior de esta época, empieza una transgresión, representada por la unidad superior (Ksi_2) de la Formación Indidura, que continúa con el depósito tipo Flysch de la Formación Caracol, que corresponde a un levantamiento por movimientos tectónicos, de las primeras pulsaciones de la Orogenia Laramide.

4.2 Geología estructural

A fines del Cretácico y principios del Terciario, las rocas calcáreas fueron intensamente plegadas y afalladas, sobre todo por fallas longitudinales, lo que hizo emerger definitivamente a la zona.

En algunas depresiones se depositaron sedimentos continentales producto de la erosión de las rocas expuestas; ya durante esa época (Paleoceno-Eoceno), tiene inicio la actividad ígnea con la emisión de lavas andesíticas, las que se encuentran tanto subyaciendo como suprayaciendo a estos sedimentos continentales.

Estas andesitas se depositaron aisladamente, sobre todo hacia las partes N y NW. También aparece, aunque en un solo sitio, actividad ígnea de tipo félsico, anterior al depósito de sedimentos continentales, consistente de un flujo de cenizas y de tobas depositadas por aire, que se conservaron en una depresión del terreno.

Durante el Oligoceno (?), la actividad volcánica está representada por los derrames de lava de cuarzo-latita y de la riolita San Miguelito, las cuales se fracturaron y afallaron, formándose la depresión del valle de Ahualulco. Viene luego la formación de flujos de ceniza del miembro inferior de la ignimbrita Ahualulco, el cual se depositó en una franja N45°W que debe haber correspondido a una parte baja de los sedimentos cretácicos, exceptuando el anticlinal de Marín que ya se encontraba levantado. Sucede después el colapso de los graben de Ahualulco, depositándose enseguida en su interior, los otros dos miembros de esta ignimbrita, con un resurgimiento posterior de su parte central y la intrusión del pórfido granítico, así como posiblemente también de los domos riolíticos.

Probablemente coincidiendo con el depósito de los volcanoclásticos del miembro inferior de la riolita Panalillo. Hacia el centro de esta cuenca se depositaron los sedimentos lacustres denominados Satélite (Tsa).

La última actividad volcánica está representada por el miembro superior de la riolita Panalillo, que cubre las partes altas de algunos cerros. Estas ignimbritas del miembro superior tienen echados de 10° a 20° al NE, sugiriendo un basculamiento hacia el NE. Un largo período de erosión sigue a la actividad volcánica, producto de la cual son los conglomerados de los flancos de las sierras, así como las coberturas de aluvión en los valles y vegas de los ríos, principalmente.

4.3 Geología del subsuelo

Los conocimientos que se tienen sobre la geología del subsuelo se basan en cortes geológicos de pozos, pues no se han hecho prospecciones de tipo indirecto. El área que comprende La Hoja de Ahualulco, está constituida principalmente por rocas sedimentarias marinas, arcillo-calcáreas y arcillo arenosas, pertenecientes a las formaciones Indidura y Caracol, del Turoniano y Coniaciano-Maestrichtiano, respectivamente, las cuales suprayacen a las calizas de origen marino del Albiano-Cenomaniano y del Aptiano de las formaciones Cuesta del Cura y Peña, que afloran en la sierra denominada La Parada, correspondiente a un anticlinal doblemente buzante de rumbo NW-SE.

Hacia la porción oriental y sur del área estudiada, los sedimentos marinos antes mencionados se encuentran cubiertos discordantemente por rocas ígneas extrusivas tanto lávicas como piroclásticas, representadas por las unidades Andesita, Casita, Blanca, Latita Portezuelo, Riolita San Miguelito, Ignimbrita Ahualulco y la Riolita Panalillo (Ignimbrita Riolítica y Toba Arenosa) (Labarthe y Tristán, 1981).

En ocasiones, en esta discordancia se encuentra un material limo-are-noso con lentes de conglomerados de espesor variable, oscilando entre los 5 y 30 m., correspondientes a la formación Cenicera del Eoceno. (Labarthe, et. al, 1982).

Las rocas ígneas extrusivas antes mencionadas, se encuentran constituyendo las formas topográficas positivas que circundan al valle de Ahualulco, el cual corresponde a una fosa tectónica de 8 km, promedio de ancho por 10 km promedio de largo, con una profundidad media de 200 m, siendo su parte más profunda la zona central con más de 300 m.

Tomando en cuenta los resultados de las exploraciones y pozos para agua realizados por la SARH y el Gobierno del Estado, esta depresión tectónica se encuentra rellenada por la toba arenosa de la Formación Panalillo, con intercalaciones de sedimentos lacustres, arcillo-limosos y por material conglomerático hacia sus partes marginales. Este paquete de rocas granulares, cubre discordantemente a la Latita Portezuel y/o a la Andesita Casita Blanca, que en ocasiones se encuentra muy fracturada, dando acuíferos de muy buen rendimiento como el que se tiene detectado actualmente en la zona de Valle Umbroso y Corte Primero. Sobre la zona del cauce del río Justino y algunos tributarios, la toba arenosa se encuentra cubierta por material aluvial (grava, arena y limo) con espesores del orden de 10 a 40 m.

Unidades hidroestratigráficas

En el estudio anterior se clasificaron las unidades litológicas en unidades geohidrológicas desfavorables y favorables, desde luego desde un punto de vista de explotación de acuíferos. En las unidades desfavorables quedaron integradas por: formaciones La Peña, Cuesta del Cura, Indidura, Caracol, Toba Clavellina, Dacita Jacavaquero, Latita Porfirítica, Riolita San Miguelito, Ignimbrita Ahualulco, pórfido granítico y los domos riolíticos. Cabe aclarar que la formación calcárea Caracol presenta una permeabilidad pobre en su franja de alteración superficial, cuando aflora.

Dentro de las unidades geohidrológicas favorables quedaron involucradas las terrazas fluviales del río Justino y sus arroyos tributarios, en el valle de Ahualulco, mientras que en la parte correspondiente al valle de Peñasco las unidades permeables son los sedimentos areno limosos con intercalaciones de conglomerados, con espesores del orden de 200 a 250 m.

Es de señalar que la fosa tectónica del valle de Ahualulco está rellena de material tobáceo arenoso con intercalación de horizontes limo arcillosos, que en conjunto se comporta de poco permeable a impermeable, excepto en sus partes marginales oriental y sur, donde su permeabilidad aumenta por fracturamiento y por la presencia de conglomerados intercalados en su base. Asimismo, en estos sitios la roca basal volcánica es permeable por fisuramiento. Las andesitas, basaltos e ignimbrita riolítica de la parte superior de la Panalillo se comportan en conjunto como una unidad permeable cuando están fracturadas, mismas que funcionan como acuíferos cuando están dentro de las depresiones tectónicas.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

En el Valle de Ahualulco existen dos tipos de acuíferos, uno libre y otro semiconfinado. El libre se encuentra contenido en las terrazas fluviales del río Justino y de sus arroyos tributarios, teniendo un espesor promedio del orden de 40 m, con niveles estáticos desde 2 hasta 20 m, siendo más común el de 10 m de profundidad. Este acuífero es aprovechado por 160 norias con caudales que varían desde 2 l/s hasta 9 l/s, las que se usan para el riego de hortalizas.

El agua de riego, a su vez, se vuelve a infiltrar al acuífero, debido a la alta permeabilidad del terreno. El sentido del flujo subterráneo de este acuífero es de SW a NE, siguiendo el mismo rumbo del río Justino, siendo éste la principal fuente de recarga. Desde luego que el medio que contiene al acuífero es del tipo granular.

Actualmente se tiene reconocido un acuífero profundo semiconfinado, en las partes marginales oriental y sur del graben de Ahualulco, en las zonas denominadas Valle Umbroso y Corte Primero, contenido en un conglomerado sepultado por la toba arenosa de la Formación Panalillo, así como también en la Latita fracturada que sirve de piso rocoso de la fosa tectónica antes mencionada. Los niveles estáticos actuales se encuentran entre 37 m y 76 m de profundidad.

En el área del Valle Umbroso este acuífero es explotado por medio de siete pozos profundos del orden de 200 a 300 m, con caudales que varían desde 15 l/s, hasta 100 l/s, siendo más común el de 30 l/s. También en este caso el medio que contiene al acuífero es granular. Dentro del valle de Ahualulco, en la parte topográficamente alta existe un pequeño acuífero somero, comprendido entre el tiradero tóxico de Derramadero y el poblado del mismo nombre, contenido tanto en la base del material aluvial como en la franja de alteración de la Formación Caracol. Su espesor es del orden de los 5 m y sus niveles estáticos son variables, encontrándose a 5 m en las partes topográficas más bajas y a 18 m en las partes altas. Este acuífero actualmente es explotado por varias norias, para el riego de pequeñas huertas y en algunos casos para el uso doméstico.

5.2 Comportamiento hidráulico

5.2.1 Profundidad del nivel estático

En la figura 3 se muestra la configuración de las profundidades del nivel estático en la zona de estudio, donde se aprecia que dichas profundidades varían entre 10 y 16 m, con un valor promedio del orden de unos 12 m.

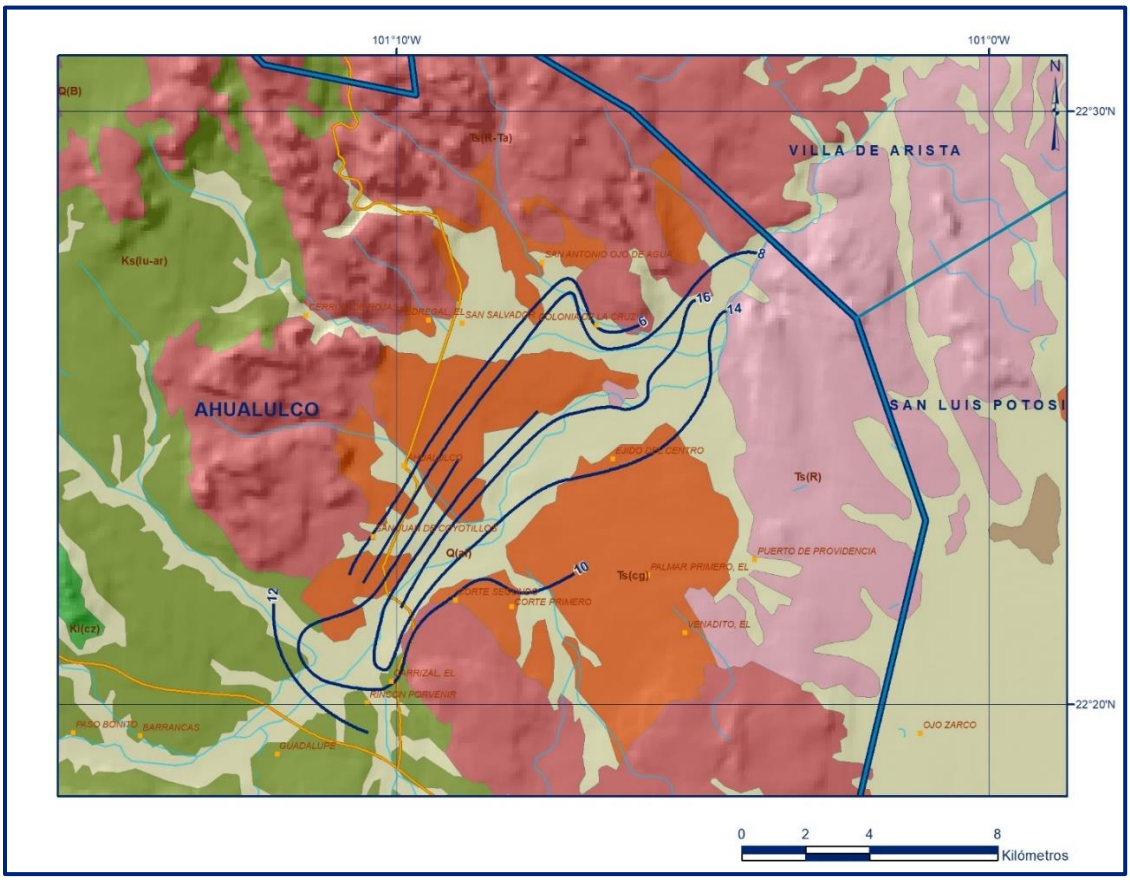


Figura 3. Profundidad del nivel estático en (1982).

5.2.2 Elevación del nivel estático

El acuífero de las terrazas fluviales del río Justino presenta su curva piezométrica más alta en la zona de "Paso Bonito", con 1895 msnm y la más baja en la zona de "Los Pilares", aguas abajo de la Ex-Hacienda de Valle Umbroso, con 1750 msnm, siendo por lo tanto su red de flujo de suroeste a noreste, con gradientes hidráulicos que varían de 0.006 a 0.004, tal como se puede ver en la figura 4.

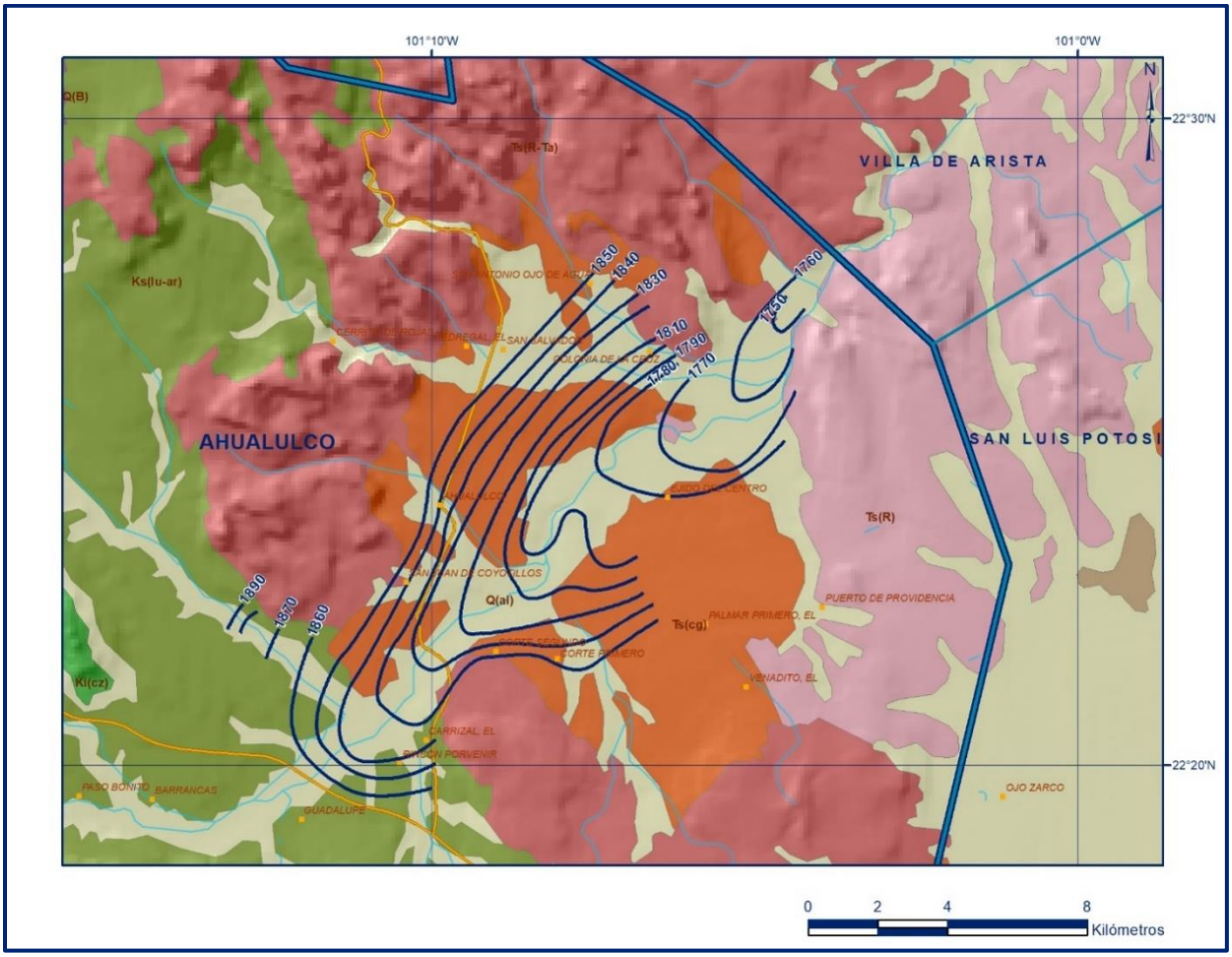


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (1982).

Aunque no se presenta una configuración representativa del acuífero somero de las terrazas fluviales del Arroyo Zapatero o San Salvador, se puede decir que tiene sus curvas piezométricas más altas en la zona La Yerbabuena-Zapatero con 1865 msnm y la más baja en la zona de la Col. Guadalupe con 1770 msnm, siendo su red de flujo preferencial de poniente a oriente con un gradiente hidráulico promedio de 0.02.

La parte acuífera profunda conocida del graben de Ahualulco, presenta sus niveles estáticos desde 37 hasta 76 m, siendo más frecuente el de 50 m.

5.4.3 Evolución del nivel estático

La parte acuífera profunda conocida del graben de Ahualulco, se ha denominado Valle Umbroso, la cual antes de su explotación (1979-1980), tenía sus niveles estáticos del orden de 14 a 26 m de profundidad (SARH), que gradualmente han descendido hasta formar un cono de abatimiento con niveles de 40 a 50 m, para mantenerse a esa profundidad. De acuerdo a los niveles observados en los pozos que se pudieron medir, se puede concluir, que este acuífero se encuentra actualmente en equilibrio.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En 1999 se levantó un censo de captaciones, consignándose un total de 342 obras, de las cuales 319 son norias, 20 son pozos y 3 manantiales. El volumen extraído se estimó del orden de 6.6 hm^3/año, equivalente al de la recarga, ya que la mayoría de las norias se secaban en el estiaje. En el censo efectuado en 1997, se registraron 1 224 aprovechamientos activos, de los cuales 33 son pozos profundos, 1 188 son norias y 3 manantiales. El volumen extraído se estimó en 10.852 hm^3/año de los cuales el 80% es aprovechado para el uso agrícola, principalmente a pequeña escala para el riego de hortalizas, fríjol y maíz.

En la tabla tres se muestra la clasificación de los aprovechamientos censados y los volúmenes extraídos de acuerdo a su uso, donde se han reportado las extracciones en miles de metros cúbicos anuales.

Tabla 3. Cifras de extracción de agua subterránea (miles de m^3/año)

TIPO DE APROVECHAMIENTO	**NORIAS**		**POZOS**		**T O T A L E S**		
U S O S	NO. APROV.	EXTRAC-CIÓN	NO. APROV.	EXTRAC-CIÓN	NO. APROV	EXTRAC-CION	%
PUBLICO-URBANO	0	0	3	239	3	239	2.20
DOMESTICO	27	869	0	0	27	869	8.02
AGRICOLA	759	6,315	20	3,425	779	9,740	89.75
PECUARIO		4	0	0		4	0.03
I N A C T I V O S	413	0	10	0	423	0	0
SUBTOTALES	**1,199**	**7,188**	**33**	**3,664**	**1,232**	**10,852**	**100**

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó en una superficie 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:

Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de almacenamiento

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

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

7.1 Entradas

La recarga total está constituida por la recarga natural y la recarga inducida por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterránea.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga natural del acuífero corresponde básicamente a los volúmenes infiltrados por agua de lluvia más la recarga horizontal proveniente de la zona de recarga.

La recarga por lluvia es de **8.0 hm³/año**, al considerar un área de valle 243 237 km², una precipitación de 306.6 mm/año y un coeficiente de infiltración de 0.11.

7.1.2 Recarga inducida (Ri)

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del riego que se realiza en el área, se calculó multiplicando el volumen aplicado al riego (9.7 hm³/año) por un coeficiente de infiltración de 0.15, resultando un volumen de recarga de **1.6 hm³/año**.

Para el caso de público urbano se consideró que no representa una recarga al acuífero debido a su bajo volumen.

7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

El cálculo de entradas por flujo horizontal se apoya en la ley de Darcy, partiendo de la configuración del nivel estático de 1982, resultando una entrada por este concepto de **1.2 hm³/año**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), salidas subterráneas horizontales hacia el mar (Sh) y evapotranspiración (ETR).

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

El volumen total extraído del acuífero a través del bombeo y para todos los usos resultó de **10.85 hm³ anuales.**

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

En este acuífero, de acuerdo a la piezometría, particularmente al plano de curvas de igual elevación del nivel estático de 1982, se concluye que el agua subterránea de esta zona tenía una salida horizontal, la cual se calculó con base a la ley de Darcy, obteniéndose un valor de **0.1 hm³ anuales**.

7.2.3 Evapotranspiración (ETR)

No se consideró una salida por este concepto, por estar los niveles del agua subterránea suficientemente profundos para tener este efecto sobre el acuífero.

7.2.4 Descargas naturales (Dn)

En la zona no existen manantiales que estén comprometidos, ni algún flujo base en los escurrimientos superficiales.

7.3 Cambio de almacenamiento ΔV(S)

Según el informe de disponibilidad de aguas subterráneas en la zona geohidrológica de Ahualulco, el acuífero se encuentra en equilibrio, por lo que no hay abatimientos de los niveles del agua subterránea.

Tabla 4. Balance de aguas subterráneas

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO AHUALULCO, S.L.P.					1997
Área total del acuífero				km²	1,281
RECARGA TOTAL					
		Área de valle		km²	237
		Coeficiente	I_1		0.11
		Precipitación		mm/año	306.6
Recarga natural por lluvia				hm³/año	**8**
Entradas horizontales			Eh	hm³/año	**1.2**
Total de recarga natural				hm³/año	**9.2**
	Agrícola más otros agua subterránea		I_3		0.15
Recarga inducida Agrícola + otros				hm³/año	**1.6**
RECARGA TOTAL			Rt	hm³/año	**10.9**
DESCARGA TOTAL					
Salidas horizontales			Sh	hm³/año	**0.1**
Caudal base			Q_{Base}	hm³/año	**0**
Evapotranspiración				hm³/año	**0**
809	**Extracción total**			hm³/año	10.9
				hm³/año	
779	**Agrícola**			hm³/año	9.7
3	**Público urbano**			hm³/año	0.2
	Industrial			hm³/año	0
27	**Otros**			hm³/año	1
DESCARGA TOTAL				hm³/año	**11**
Cambio de almacenamiento			ΔA	hm³/año	**-0.1**
Coeficiente de almacenamiento			S		#¡DIV/0!
Volumen drenado (0 m/año)			Vd	hm³/año	0

8. DISPONIBILIDAD

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

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	-	EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 **10.9 hm³/año**, integrados por 9.2 hm^3/año que corresponden a la recarga natural y 1.7 hm^3/año a la recarga inducida.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, no existen estas descargas, por lo que su valor es de **0.0 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 **17,802,577 m^3 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.

DMA = R – DNC – VEAS

DMA = 10.9 – 0.0 – 17.802577

DMA = -6.902577 hm^3/año.

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **6,902,577 m^3 anuales.**