



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO HUITZUCO (1202), ESTADO DE
GUERRERO**

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	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.....	11
4.3. Geología del subsuelo.....	12
5. HIDROGEOLOGÍA	13
5.1. Tipo de acuífero.....	13
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.....	17
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	18
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	19
7.1. Entradas.....	20
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	20
7.1.2. Recarga inducida (Ri).....	22
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	22
7.2. Salidas.....	23
7.2.1. Bombeo (B).....	24
7.2.2. Descarga natural profunda (Dnp).....	24
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	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 aguas subterráneas (DMA).....	26

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1. Localización

El acuífero Huitzuco definido con la clave 1202 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción nororiental del estado de Guerrero, colinda al norte con el estado de Morelos, comprende una superficie aproximada de 4 291 km². Colinda al norte con los acuíferos de Zacatepec y Cuautla-Yautepec, al sur con Papagayo, al este con el acuífero Ixcaquixtla y Tlapa-Huamuxtlán y al oeste con Poloncingo y Chilapa (figura 1).

Geopolíticamente abarca prácticamente la totalidad de los municipios Atenango del Río, Copalillo, Ahuacuotzingo, Huitzucó de los Figueroa y en forma parcial Atlixta, Olinalá, Chilapa de Álvarez y Zitlala.

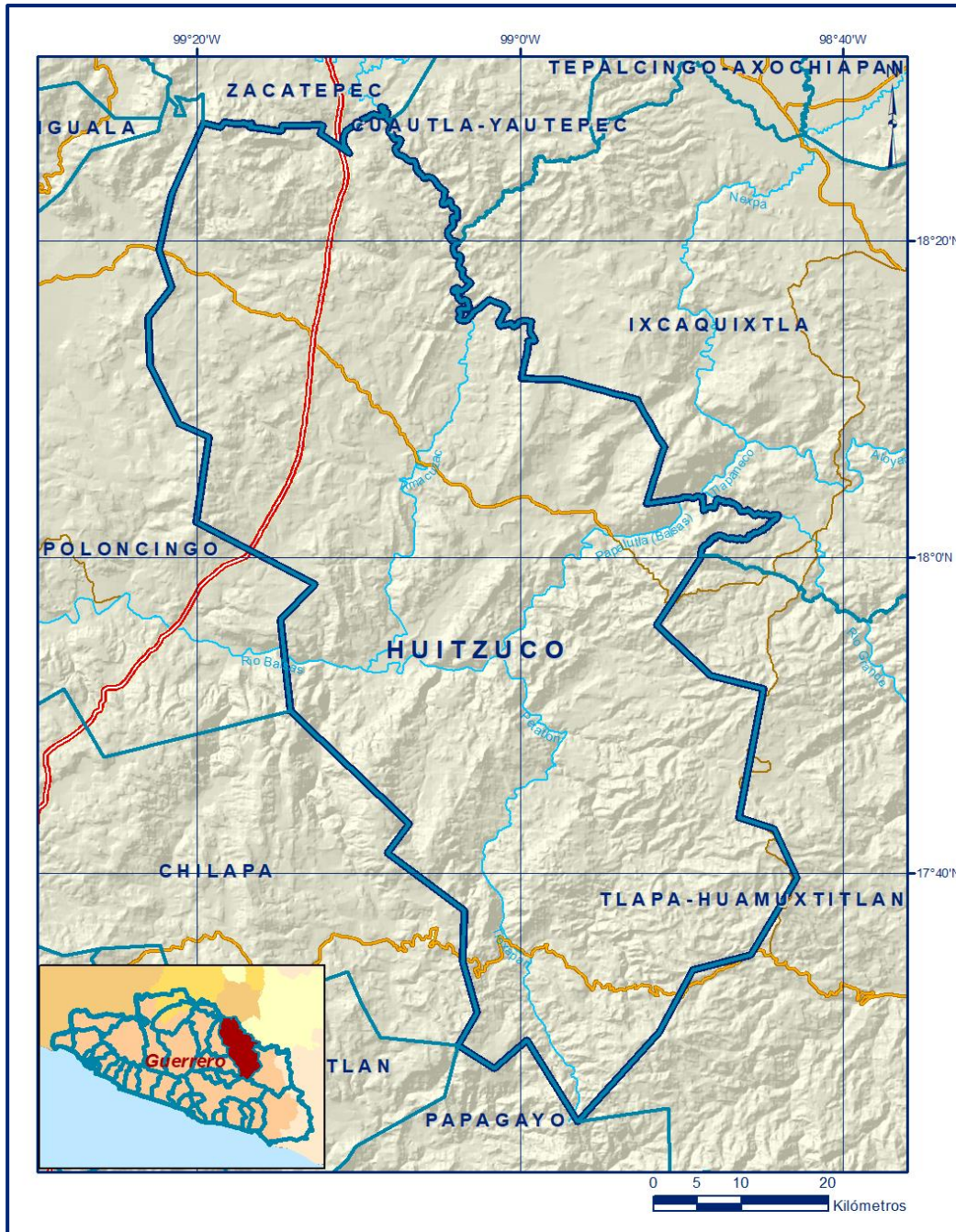


Figura 1. Localización del acuífero

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 1202 HUITZUCO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	98	46	29.3	17	43	33.5	
2	98	44	17.2	17	42	48.9	
3	98	42	54.4	17	39	44.2	
4	98	45	44.8	17	34	51.3	
5	98	49	21.3	17	33	53.9	
6	98	51	27.1	17	29	59.9	
7	98	56	29.6	17	24	20.8	
8	98	59	38.9	17	29	29.0	
9	99	1	36.8	17	27	41.0	
10	99	3	53.0	17	29	10.7	
11	99	2	43.2	17	31	15.3	
12	99	3	34.7	17	34	29.6	
13	99	3	30.5	17	37	39.3	
14	99	8	15.6	17	41	19.7	
15	99	6	54.0	17	43	10.7	
16	99	14	16.9	17	50	16.8	
17	99	14	53.8	17	56	5.8	
18	99	12	44.8	17	58	19.4	
19	99	20	5.3	18	2	13.2	
20	99	19	19.8	18	7	37.5	
21	99	21	8.2	18	8	27.7	
22	99	22	57.7	18	12	9.6	
23	99	23	3.7	18	15	13.4	
24	99	21	37.3	18	17	7.9	
25	99	22	24.6	18	19	26.8	
26	99	21	36.4	18	22	59.2	
27	99	19	39.0	18	27	29.4	DEL 27 AL 28 POR EL LIMITE ESTATAL
28	99	8	9.7	18	27	38.0	DEL 28 AL 29 POR EL LIMITE ESTATAL
29	99	3	55.2	18	19	53.7	DEL 29 AL 30 POR EL LIMITE ESTATAL
30	98	48	49.0	18	0	5.9	
31	98	51	36.6	17	55	45.9	
32	98	48	15.0	17	52	33.2	
33	98	45	0.6	17	51	43.6	
1	98	46	29.3	17	43	33.5	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Balsas y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Guerrero. Su territorio se encuentra parcialmente vedado sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en los Municipios de Iguala de la Independencia, Taxco de Alarcón, etc., Gro.” Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 20 de febrero de 1978. Este decreto se clasifica como tipo II, en el que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos, el resto del acuífero, es decir, la parte centro y sur, se encuentra sin veda.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la región que comprende el territorio que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA ZONA HUITZUCO, ESTADO DE GUERRERO, elaborado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 1986. El objetivo del estudio fue describir parte de las condiciones geológicas del área, así como algunas secciones donde se aprecia que el acuífero, en sus partes bajas, se encuentra constituido por fragmentos no consolidados del grupo balsas, subyaciendo en términos generales la Formación Morelos, que aflora hacia las partes altas; además de lo anterior contiene información de los niveles de agua de algunos pozos someros.

MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS EN LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE IGUALA, HUITZUCO, POLOLCINGO, CHILAPA Y CHILPANCINGO, ESTADO DE GUERRERO, elaborado por Laramide Ingenieros, S.A. de C.V. para la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Balsas, en 2005. Los objetivos de este estudio fueron proponer la red piloto de pozos en las unidades hidrogeológicas de los acuíferos mencionados, realizar mediciones piezométricas y de hidrogeoquímica (conductividad eléctrica, temperatura y sólidos totales disueltos) con mediciones in situ. Se censaron en total 123 captaciones de las cuales 33 fueron en el acuífero Iguala (18 Norias, 3 Manantiales y 12 Pozos); 22 aprovechamientos en el acuífero Pololcingo (7 Norias 1 Manantial y 14 Pozos); 24 captaciones en el acuífero Huitzucó (8 Norias y 9 Pozos y 7 Manantiales); 22 aprovechamientos en el acuífero Chilapa (8 Norias, 8 Manantiales y 6 Pozos); 22 aprovechamientos en el acuífero Chilpancingo (9 Norias 8 Manantiales y 5 Pozos).

Este estudio fue la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

El área de estudio pertenece a la provincia fisiográfica denominada “Sierra Madre del Sur”, en la Subprovincia “Sierras y Valles Guerrerenses” y en la Subprovincia “Cordillera del Sur”.

Esta provincia se caracteriza por estar conformada por una serie de montañas y sierras con desniveles considerables, asimismo se tienen sectores que configuran barrancas y hondonadas más amplias.

Las grandes elevaciones del terreno se encuentran comúnmente coronadas o formadas en su totalidad por rocas duras (calizas), cuerpos ígneos o rocas metamórficas de las formaciones Morelos, Alquitrán, Agua de Obispo, Xolaca, entre las principales. Las sierras bajas se encuentran constituidas por rocas suaves fácilmente degradables que producen formas suaves y redondeadas con altitudes no mayores de 1,500 msnm.

Este tipo de rocas pertenecen a depósitos del Paleógeno-Neógeno y del Cretácico Superior, que corresponden a las formaciones Balsas, Chilpancingo y Mezcala. Los valles se encuentran constituidos por depósitos del Cuaternario producto de la erosión de las rocas más antiguas localizadas en las partes altas. Los valles son de dimensiones pequeñas en comparación al área que ocupan las zonas de sierras.

3.2. Clima

El clima en el área que abarca el acuífero se encuentra comprendida dentro de una región dominada por un clima que varía de semicálido-subhúmedo a cálido-subhúmedo con lluvias en verano, asimismo hacia su sector central y centro meridional se manifiesta en una franja dominada por un clima semiseco muy cálido y cálido. Con base en la información de la carta de temperaturas medias anuales de INEGI, se puede concluir que la temperatura presenta variación desde 20° hasta 26° C.

Por otra parte, de acuerdo con las estaciones climatológicas ubicadas dentro de la zona del acuífero, la temperatura media anual es del orden de 24.7° C. La precipitación media anual también tiene variaciones importantes desde 1,200 mm anuales, en las partes altas, hasta 800 mm en algunas zonas. De acuerdo con los valores medios anuales de las estaciones ubicadas dentro del acuífero, el promedio aritmético resulta de 873 mm anuales. Según datos de la estación Iguala ubicada unos kilómetros al oriente, la evaporación potencial es de unos 2,300 mm/año.

3.3. Hidrografía

El acuífero Huitzuco pertenece a la Región Hidrológica 18 Río Balsas. Subregión Medio y Alto Río Balsas. Cuenca del Río Tepecoacuilco y Cuenca del Río Amacuzac, que desembocan en el río Mezcala, el cual posteriormente toma el nombre de río Balsas.

En el área existe una serie de arroyos de poca importancia, los cuales escurren con dirección general de sur a norte y hacia la planicie, sin reconocer alguna corriente principal que escurra fuera del área, se puede considerar que los escurrimientos superficiales son de poca cuantía, al final reconocen el cauce del río Mezcala y luego continúa con el nombre de Balsas.

En el área existen dos estaciones hidrométricas: Atenango del Río, sobre el río Amacuzac, denominada Xicatlacota sobre el río Amacuzac cercana a los límites de la zona, pero se encuentran suspendidas.

Existe poca infraestructura para aprovechar los recursos hídricos superficiales generados, sólo algunos canales, así como obras afines. En cuanto al aprovechamiento de agua subterránea, existen algunos pozos y norias.

3.4. Geomorfología

El paisaje geomorfológico de la zona se caracteriza por estar constituido por barrancas profundas y valles intermontanos, las laderas de las barrancas y valles definen pendientes mayores al 35%. Las elevaciones máximas de poco más de 2,500 msnm se asocian con las zonas de cabalgaduras pliegues anticlinales y al emplazamiento de rocas intrusivas y volcánicas.

Ahora bien, en lo que respecta a las zonas de menor relieve asociadas con lomeríos y valles como se mencionó en párrafos anteriores, estos elementos de terreno están conformados por rocas incompetentes con elevaciones máximas de 2,000 msnm con un drenaje dendrítico de alta densidad, en donde los cauces son estrechos y las pendientes de aproximadamente el 10%.

4. GEOLOGÍA

La geología general está representada por un conjunto de rocas de origen sedimentario, ígneo y metamórfico (figura 2), se considera que las relaciones que guarda esta diversidad de rocas asociadas a cada terreno tectonoestratigráfico definen la evolución de los mismos dentro de un régimen de deformación compresiva. A nivel regional se puede decir que las rocas metamórficas son las de mayor antigüedad y se considera que se encuentran conformando el basamento del Terreno Mixteco, sobre el cual se depositó una secuencia sedimentaria transgresiva (conglomerados, areniscas y lutitas) de Edad Paleozoica.

Posteriormente en el Mesozoico la sedimentación se tornó gradualmente calcárea hasta llegar a implantarse durante el Cretácico Inferior la vasta Plataforma Guerrero Morelos, sobre la cual se depositaron secuencias carbonatadas de sub-ambientes de borde (arrecife), lagunares y restringida (evaporitas), posteriormente queda interrumpida por el depósito de una secuencia flysch durante el Cretácico Tardío.

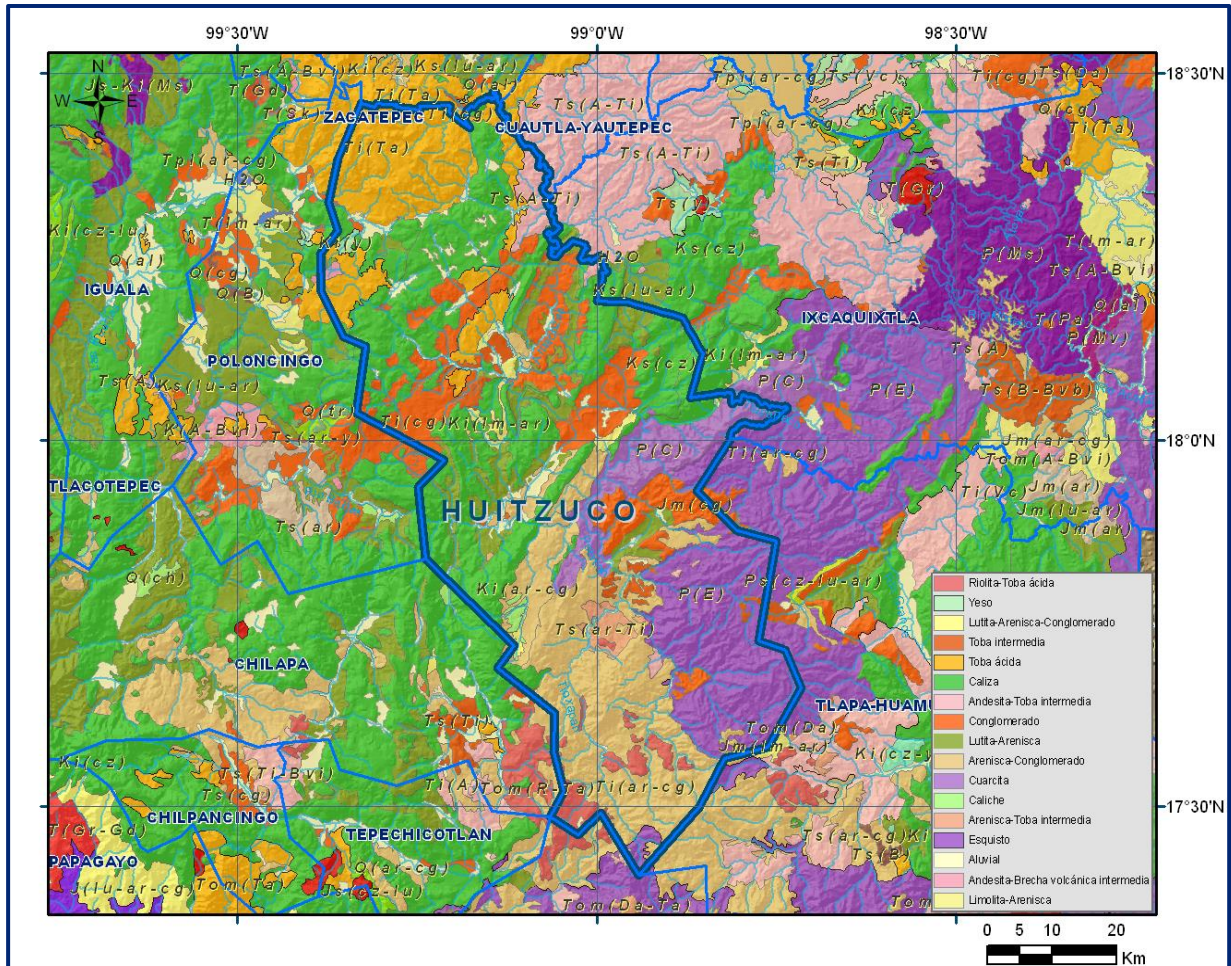


Figura 2. Geología general del acuífero

Las rocas del Terreno Guerrero, corresponden con una secuencia de arco magmático, caracterizadas por estar constituidas hacia la base por rocas de edad Jurásica, conformadas por derrames de basaltos y andesitas espilitizadas, intercaladas con paquetes de tobas, secuencia que se encuentra sobreyacida por intercalaciones de materiales clásticos (conglomerados, areniscas, pelitas) y brechas volcánicas del Neocomiano las cuales gradualmente pasan a rocas calcáreas con intercalaciones de lutitas, para coronar en una secuencia carbonatada de facies de plataforma del Aptiano-Albiano.

Finalmente la columna estratigráfica de este terreno se encuentra coronada por un flysch (areniscas y lutitas) del Cretácico Superior.

Ambos terrenos se encuentran cubiertos discordantemente por rocas volcánicas y sedimentos de abanicos aluviales intercalados con materiales piroclásticos.

4.1. Estratigrafía

Las unidades en el área abarcan desde el Paleozoico al Reciente.

A continuación, se describe la secuencia estratigráfica de las unidades geológicas que afloran partiendo de la más reciente a la más antigua.

Complejo Acatlán

El nombre de Complejo Acatlán fue propuesto por Ortega-Gutiérrez (1978); la define como una secuencia constituida por rocas metasedimentarias y metaígneas, la primera constituida por esquistos, gneises, pizarras, filitas y migmatitas; la segunda por rocas ofiolíticas, metagranitos y milonitas.

Formación Morelos (Albiano - Cenomaniano)

Con este nombre (Fries 1960) define una secuencia de caliza y dolomitas, de edad Albiano-Cenomaniano, que aflora en los estados de Morelos, Guerrero y México.

Los cuales son de color gris cremoso a negro, de textura que pasa de calcilutita a calcarenita, con presencia de nódulos de pedernal muy esporádicos; los horizontes de caliza dolomítica se encuentran distribuidos irregularmente en toda la formación.

El área del estudio está constituida por una caliza que varía en color de gris claro a negro, con una textura que va de calcilutita a calcarenita, con un espesor de mediano a grueso, con capas de lutitas calcáreas delgadas de color pardo rojizo intercaladas, presenta una gran cantidad de dolinas, originando una topografía kárstica. Pantoja y Fries 1959, por la presencia de *Toucacia* y *Actoeonella*, le estiman una edad Albiano Superior-Cenomaniano Inferior.

Formación Cuautla

Con este nombre (Fries, 1956) designa a los extensos afloramientos de rocas calizas que se localizan entre las ciudades de Cuernavaca y Cuautla; en las que las facies de banco grueso de la Formación Cuautla son semejantes a las de la Formación Morelos, infrayacente; reflejando la semejanza en su estratificación, estructura y textura.

Las capas van de gruesas a masivas, compuestas de calcilutita, calcilimolita y calcarenita, de color gris claro, con presencia de pedernal. En el área y cerca del contacto con la Formación Morelos se presentan capas de calcirudita que tienen localmente un color que va de rojizo a amarillento; de estratificación de mediana a delgada (30 a 10 cm.), interstratificadas con capas de lutita calcárea de color pardo rojizo con escasos nódulos de pedernal negro. Bohnenberger Thomas 1955, y Mulleried 1950, por la especie *Durania Cornupastoris*, le asignan una edad Turoniano a esta formación.

Formación Mezcala

Bohnenberger (1955) y Fries (1960) proponen el nombre de dicha formación a una sucesión de capas interestratificadas de areniscas, limonitas y lutitas calcáreas con escasos lentes de caliza clástica, que yacen sobre la Formación Cuautla. Muestra poca resistencia a la erosión y tiende a formar planicies bajas. En el área, la litología muestra una depositación normal, en su base presenta estratos delgados de caliza, con capas interestratificadas de lutita, arenisca y un conglomerado de gravas. La caliza es arcillosa, de color gris oscuro a negro y de una textura fina, el espesor de las capas varía de unos cuantos centímetros hasta un metro.

El espesor de la formación varía mucho de lugar a otro y su cima se presenta erosionada. Según R.W. Omlay de U. S. Geological Survey, le supone una edad Coniaciano a la parte inferior, por la presencia de pelecípodos llamado *Didimotis* y *Aminitos Barroisiceras*.

Grupo Clástico Balsas

Fries (1956) y Pantoja Alor (1959) le asignaron el nombre de Grupo Clástico Balsas a una variedad de tipos litológicos locales, de espesor variable, que se presentan en la cuenca hidrológica del río Mezcala-Balsas. El grupo incluye rocas tan diversas como son yesos, conglomerado calizo, aglomerados, areniscas, tobas limolíticas, arcillas, así como brechas, tobas volcánicas y corrientes lávicas interestratificadas.

En la zona del acuífero, éste grupo está constituido de conglomerados calizos, cementados por material limoso y arcilloso de color rojizo a pardo, interestratificado con areniscas, limonitas y lutitas de color rojizo, con presencia de delgadas capas de yeso intercaladas. El grupo se encuentra suprayaciendo a la Formación Mezcala, en discordancia angular, y una inclinación moderada de 20° a 30°. Bohnenberger Thomas (1955) y Z, Cserna en Fries (1956) le asignan una edad de fines del Eoceno a principios del Oligoceno.

Depósitos fluviales y aluviales

Los depósitos fluviales se observan principalmente a lo largo de los cauces de los ríos del área. Los sedimentos aluviales están principalmente asociados a la parte alta de las sierras en donde forman y rellenan las depresiones de la misma.

Los sedimentos fluviales están constituidos por conglomerados sin consolidar, cuyos componentes son fragmentos de rocas volcánicas, tobas, rocas intrusivas y calizas; son subangulares a subredondeadas y normalmente se encuentran en una matriz arcillo-arenosa de la misma composición.

Los depósitos aluviales están constituidos por material fino a arenoso sin consolidar, constituido principalmente por arcillas y arenas derivadas de la denudación de las partes altas de las sierras.

4.2. Geología estructural

La región estudiada está conformada por estructuras plegadas con direcciones que varían entre NNW a NNE, además de fallas y fracturas que se desplazan y cortan a las unidades litológicas.

Existen, asimismo, discordancias que evidencian los cambios y fases tectónicas que afectaron y dieron origen a las cadenas montañosas de la región, asimismo cuenta con una serie de fallas que separan a diferentes sectores.

En la región se manifiesta una diversidad de afloramientos asociados con rocas metamórficas, sedimentarias marinas tanto de plataforma como de cuenca, rocas ígneas extrusivas y en menor proporción rocas ígneas intrusivas, las cuales llegan a tener una evolución sedimentológica independiente y se encuentran relacionadas ya sea por medio de fallas de cabalgadura o bien por fallas laterales inversas, lo cual habla de una dinámica estructural poco vista en otras partes de la República y que incluso actualmente se encuentra en actividad.

A manera de resumen se puede establecer que las estructuras que prevalecen en las rocas de la región se originaron a partir de un régimen compresivo asociado con la margen pacífica, que dentro de sus principales efectos está la deformación dúctil de la carpeta sedimentaria del Terreno Mixteco así como la aloctonia y yuxtaposición de una carpeta de materiales volcanosedimentarios depositada en otro ambiente geológico (Terreno Guerrero).

4.3. Geología del subsuelo

El acuífero actualmente en explotación está alojado en los materiales granulares de tipo aluvial que rellenan el valle, de espesor variable y de ancho reducido a algunas centenas de metros.

De acuerdo con el estudio de 1986, en la zona el basamento regional está constituido por las rocas metamórficas del Paleozoico que constituyen el Complejo Acatlán, sobre las que descansan formaciones de calizas del Cretácico, siendo las más antiguas las calizas Xochicalco, a éstas le suprayace las calizas de la Formación Morelos la cual aflora en grandes partes del área, de tal manera que donde no afloran se pueden encontrar rocas del grupo Balsas.

El basamento regional está constituido por las rocas metamórficas del Paleozoico que constituyen el Complejo Acatlán, sobre las que descansan formaciones de calizas del Cretácico. Las unidades litológicas se agruparon en cinco unidades hidrogeológicas:

Unidad I: Acuífero libre en rellenos: Aluvión y Conglomerados. En la unidad I se agruparon materiales granulares en estado suelto que poseen buena permeabilidad; su espesor es del orden de 20 a 30 m.

Unidad II: Confinante superior del acuífero calcáreo: Oapan, Riolita Tilzapotla, Grupo Balsas, Tetelcingo, Mexcala y Cuautla (facies clástico-carbonatadas). Agrupa a rocas clásticas y volcánicas:

En esta unidad las aguas básicamente escurren, ya que su infiltración es reducida a nula.

Unidad III: Acuífero calcáreo: Morelos y Cuautla (facies de plataforma). Está correlacionada con las calizas de las formaciones Morelos y Cuautla, presentan permeabilidad secundaria provocada por fracturamiento y disolución con gran desarrollo kárstico.

Unidad IV: Confinante Inferior del acuífero calcáreo: Anhidrita Huitzuco y Chilacachapa. Se constituye de dos formaciones, la Anhidrita Huitzuco, son rocas altamente solubles pero de baja permeabilidad y la formación Chilacachapa que está constituida por rocas arcillosas y calcáreas de carácter impermeable que limitan el flujo de agua hacia abajo y lateralmente.

Unidad V: Barrera al flujo lateral e inferior: Intrusivo Ácido. Se incluyen los cuerpos intrusivos que afloran en la región, de carácter impermeable, que pueden limitar lateralmente y a profundidad el acuífero; su distribución es reducida únicamente al sureste y cerca de El Triunfo.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Se considera que se presentan dos tipos de acuíferos, uno **libre** heterogéneo asociado con el subálveo, el cual es capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea; el otro está localizado en el medio fracturado y cuyo potencial estará supeditado a las dimensiones y al grado de porosidad secundaria por fracturamiento de las rocas en la zona de recarga.

La presencia de fallas y lineamientos regionales por lo común tienden a generar zonas permeables en donde las rocas se encuentran intensamente fracturadas, adquiriendo un potencial acuífero selectivo en dichas áreas y cuyo origen es derivado de la dinámica de estas estructuras frágiles.

Bajo este contexto, se considera que la presencia de zonas acuíferas en el medio fracturado está supeditada al factor geológico estructural, o sea al grado y tipo de deformación que presenten las rocas, en tanto que el acuífero asociado con el subálveo estará en función del espesor de éste (pueden variar desde unos cuantos metros hasta algunas decenas de ellos);

Un comportamiento similar se atribuye a la secuencia tipo flysch del Cretácico Superior, la cual a su vez se comporta como un confinante del acuífero granular localizado en el subálveo.

Finalmente, la zona de plegamiento en la cual los anticlinales se encuentran formados en rocas calcáreas, se considera que presentan un alto potencial acuífero que en muchos casos no se encuentra aún explorado.

5.2. Parámetros hidráulicos

De acuerdo con las características de los materiales granulares que constituyen el acuífero aluvial que actualmente se encuentra en explotación, se considera un valor de Transmisividad **0.001 m²/s**.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se consideró la información disponible de 2003 a 2005.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

De acuerdo con información de 2005 se observaron niveles estáticos someros, variando la profundidad de 1 hasta 3 m, sin embargo, llegan a tener profundidades de entre 5 y 10 m hacia la porción nororiental del acuífero (figura 3).

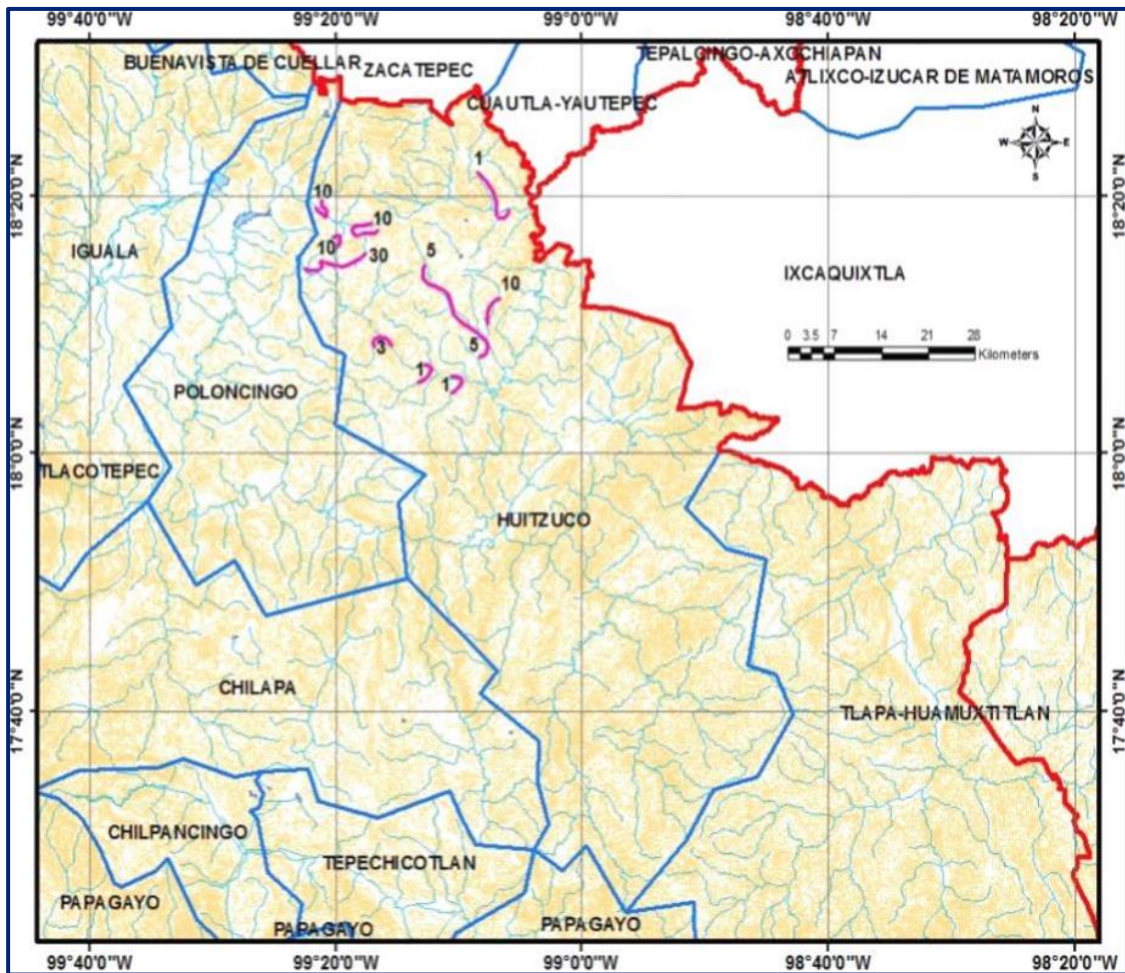


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2005)

Niveles de mayor profundidad corresponden al medio fracturado que se localiza en la zona de Huitzucó (24 m), Tlapala (30 m) y en las inmediaciones de los poblados de Tuzantlán (60 m) y Lagunillas (36 m), esto es hacia los sectores centro septentrional y noroccidental del área

Particularmente, hacia la zona de la población de Huitzucó, las profundidades de los niveles del agua subterránea superan los 60 m, al oriente de la población.

5.4.2. Elevación del nivel estático

Con la información piezométrica recabada en el 2005 y las elevaciones de brocales de los aprovechamientos subterráneos seleccionados como piloto se elaboró la configuración de curvas de igual elevación del nivel estático que se muestra en la figura 4.

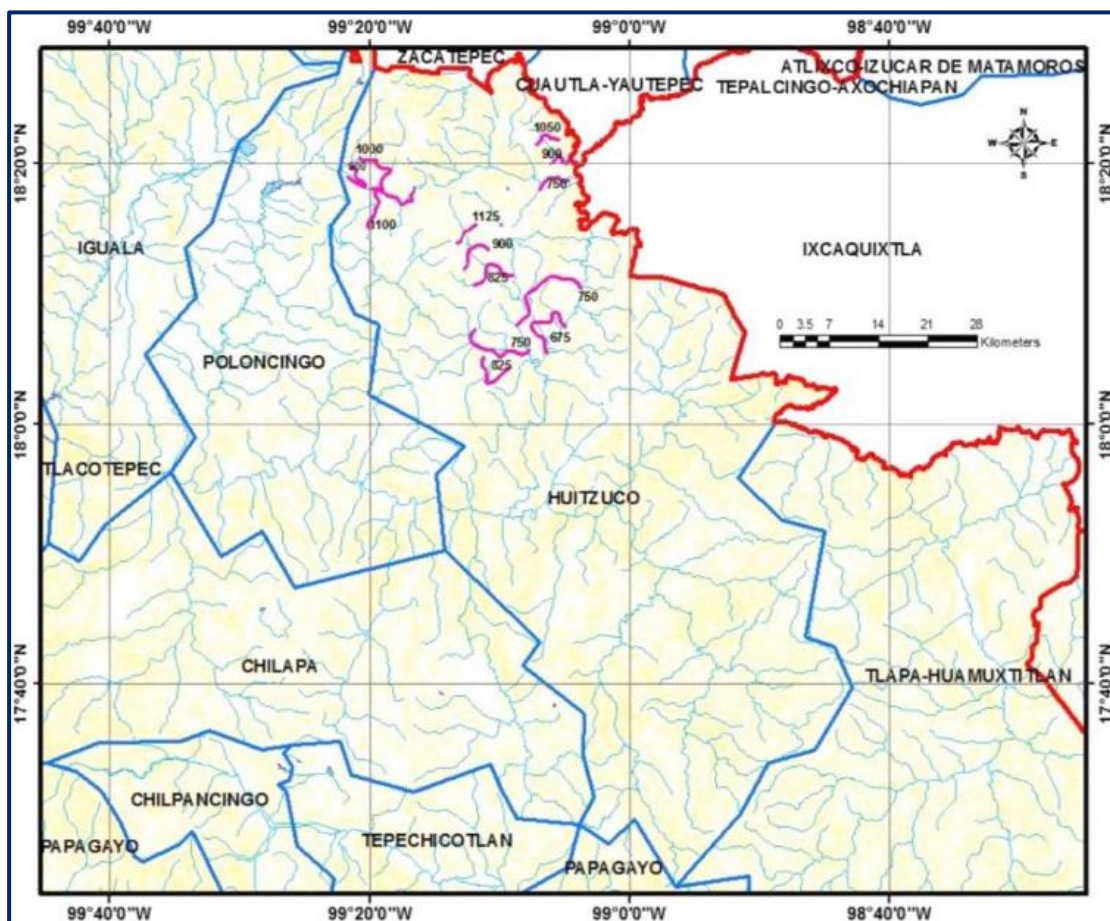


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2005)

En ella se puede apreciar una cierta relación entre el nivel del terreno y la elevación del nivel estático, de tal forma las mayores elevaciones se localizan hacia las partes topográficamente más altas. Las curvas con los valores más elevados se encuentran localizadas en el extremo meridional del acuífero, manifestándose elevaciones mayores a 1,300 msnm y menores a 1,800 msnm; en tanto que hacia la porción norte los valores de las curvas varían de 1,125 a 675 m.

De acuerdo a esta configuración, se interpreta que el acuífero granular somero que se localiza en los materiales del subálveo definen una trayectoria de flujo de NW a SE, de las partes topográficamente más altas hacia las de menor altitud, siguiendo el cauce de las corrientes fluviales, en tanto que en las inmediaciones del poblado de Huitzucó la tendencia del flujo es de SE a NW, que se asocia con el que circula en el medio fracturado.

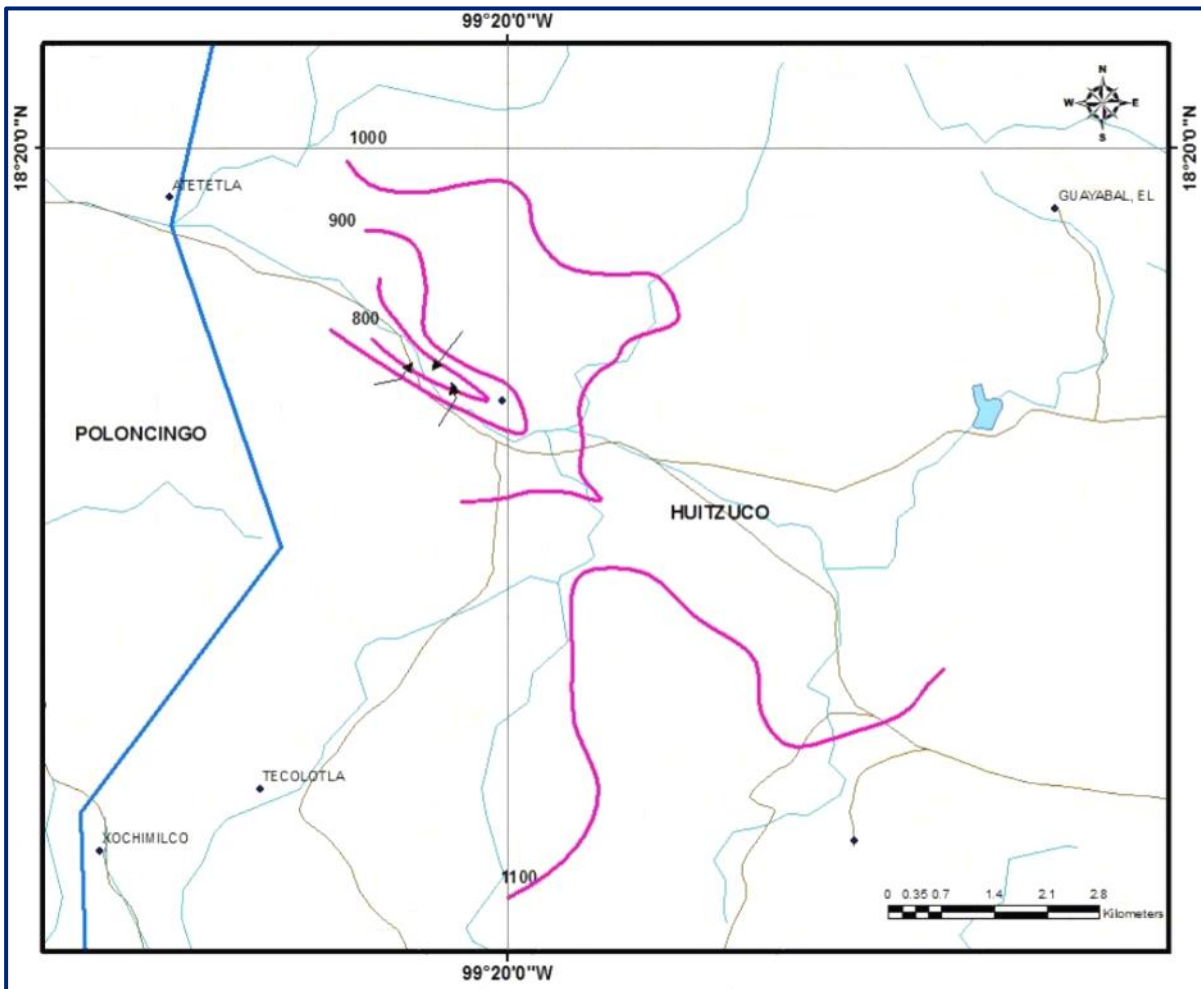


Figura 5 Detalle de la elevación del nivel estático, (2006) en la zona de la población de Huitzucó

Finalmente en la parte meridional del área la trayectoria del flujo se considera que ocurre de sur a norte.

Un detalle de esta zona, en las inmediaciones de la ciudad de Huitzucó, elegida para fines del balance de aguas subterráneas, se muestra en la figura 5, configuración formada con datos de 2006.

Se puede observar que el flujo en forma general sigue rumbo oriente-poniente, reconociendo el cauce del río. Por otro lado, se nota una pequeña depresión en el centro del valle, formada por la concentración de la extracción de agua para el abastecimiento de la población.

5.4.3. Evolución del nivel estático

La información piezométrica disponible permite afirmar que los niveles del agua subterránea no registran variaciones importantes a lo largo del periodo 1986-2005 y se deben a las oscilaciones provocadas por la alternancia de las estaciones de lluvia y estiaje.

La explotación del acuífero es incipiente y esto se refleja en la estabilidad de los niveles del agua subterránea en general, aunque en particular en la zona de Huitzuco la historia piezométrica refleja un abatimiento de 0.50 m/año.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De los 24 aprovechamientos visitados en el 2005, únicamente fue posible tomar muestra de 17, para efectuarles mediciones in situ de los parámetros de temperatura, pH, conductividad y sólidos totales disueltos (tabla 2).

La Temperatura varía de 23° C a 25° C, a excepción de los aprovechamientos ubicados en las inmediaciones de los poblados de Comala, Apanguito y Santiago Zacango, en donde la temperatura del agua tiende a incrementarse de 26° C hasta 27.5°C; finalmente las temperaturas más bajas se midieron en la parte meridional del acuífero (19.4° C a 21.4° C).

Los valores obtenidos del pH fluctúan de 6.05 a 6.27, la excepción la constituye un aprovechamiento ubicado en el sur del área en las cercanías del poblado de Pantitlán en donde su pH medido fue de 4.54, lo cual nos indica un agua con tendencia a la acidez.

Los Sólidos Totales Disueltos (STD), en general, se encuentran dentro de la norma establecida por la SSA para agua potable. Las curvas con los valores más altos de salinidad se localizan en la parte norte del área y las aguas con menor salinidad en el sector sur (105.6 y 160 ppm) así como en las inmediaciones de Quetzalapa (146.3 ppm).

Bajo esta perspectiva se puede concluir que las aguas que circulan en el medio fracturado y que son explotadas a través de pozos presentan bajos índices de salinidad.

En las norias que se encuentran explotando el acuífero del subálveo en los poblados de Comalá y Santiago Zacango el agua manifiesta altos contenidos de STD.

Los manantiales ubicados hacia el extremo sur del área se asocian con flujos locales, dada su bajo contenido de sales (105.6 y 160 ppm).

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del acuífero Huitzucó

Número y/o clave	Tipo de aprovechamiento	Temperatura °C	pH	Conductividad eléctrica μ mhos/cm	Sólidos totales ppm
1.- CNAHUCHAU	Manantial	26.4	6.05	659	362
2.- CNAHUQUET	Pozo	23.0	6.10	266	146
6.- CNAHUSANTZ	Noria	26.0	6.24	1665	915
7.- CNAHUCOMGOI	Noria	27.4	6.27	2540	1397
8.- CNAHUATER	Noria	24.6	6.63	1134	623
10.- CNAHUTULI	Manantial	23.4	6.10	688	378
11.- CNAHUTEPE	Manantial	25.2	6.09	769	422
12.- CNAHUTEQUI	Manantial	23.0	7.26	662	364
13.- CNAHUTEQUII	Noria	26.4	5.96	1636	899
14.- CNAHUPMORE	Noria	23.5	5.85	1044	574
15.- CNAHUXOYA	Noria	25.7	6.08	852	468
17.- CNAHUHUAPOTI	Pozo	24.8	6.15	891	490
19.- CNAHUPANTI	Manantial	19.4	4.54	192	105
20.- CNAHUNEJA	Noria	21.4	6.04	728	400
21.- CNAHUCOAT	Manantial	20.5	5.79	291	160
22.- CNAHUCOA	Pozo	25.8	6.21	1385	761
23.- CNAHUTAPAN	Manantial	27.5	6.35	706	388

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el Registro Público de Derechos del Agua (REPD), en 2006 el volumen concesionado fue de **3.9 hm³/año**.

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 anualmente por el almacenamiento del acuífero.

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

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

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 de un acuífero:

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

Existe una gran dispersión de los escasos datos piezométricos, por lo que se decidió plantear la ecuación de balance para una zona de balance de 50 km², aledaña a la población de Huitzucó, que es donde están concentrados aprovechamientos para el abastecimiento público-urbano. En el resto de la zona del valle, las escasas obras carecen de información piezométrica. La ecuación de balance definida es:

$$R_v + R_i + E_h - D_{np} - B = \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

R_v = Recarga natural vertical;

R_i = Recarga Inducida;

E_h = Entradas Subterráneas Horizontales;

D_{np} = Descarga natural profunda;

B = Bombeo;

ΔV(S) = Cambio de almacenamiento;

De esta manera, despejando la componente de Descarga natural profunda que es el dato que se desconoce la ecuación queda definida de la siguiente forma:

$$D_{np} = R_v + R_i + E_h - B \pm \Delta V(S) \quad (2)$$

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos (Rv) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri).

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical se estimó considerando la infiltración de agua de lluvia, para ello se realizó un balance hidrometeorológico, de este balance se determinó el volumen susceptible de infiltrarse.

De este volumen, una parte se manifiesta como descarga a través de los manantiales que se localizan en zonas topográficas más altas con respecto al valle, fuera de la zona de balance y otra parte alimenta subterráneamente al acuífero calizo directamente desde las zonas de recarga localizadas en las sierras aledañas a los valles.

Para realizar el balance hidrometeorológico se requiere conocer, entre otros parámetros, los volúmenes de escurrimiento que se presentan por lluvia dentro del área, es decir, el volumen de agua que se genera en la misma cuenca.

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, de fecha 17 de abril de 2002, que señala que en caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento. El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo.

Al respecto para la zona se consideró un valor de $K= 0.24$, que corresponde a suelos medianamente permeables, uso de suelo tipo vegetación cubierto entre el 50 y 75 %, aplicando a su vez este valor de K en la ecuación:

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

Donde:

C_e= Coeficiente de escurrimiento;

K= Conductividad hidráulica;

P= precipitación media anual;

Se obtiene un coeficiente de escurrimiento de $C_e = 0.13476$

El área considerada es de $4,294 \text{ km}^2$ y la lámina de precipitación promedio de 873 mm/año , de la multiplicación de estos dos valores se obtiene el volumen precipitado que es de $3,748.7 \text{ hm}^3/\text{año}$; al multiplicar este por el coeficiente de escurrimiento se obtiene el volumen de escurrimiento anual, que es de 505.2 hm^3 .

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

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

Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se usó de la fórmula de Coutagne, la cual indica que:

$$ETR = P - C P^2$$

Donde:

P = precipitación en m/año ;

$C = 1/(0.8+0.14t)$;

t = temperatura en $^{\circ}\text{C}$;

Como se señaló anteriormente en el área donde se localiza el acuífero, la precipitación promedio anual es de 873 mm ; el volumen total precipitado de $3,748.7 \text{ hm}^3/\text{año}$.

La temperatura promedio anual considerada ésta es de 24.7° C; utilizando la ecuación de Coutagne para calcular la evapotranspiración, se obtiene un valor de 0.694 m/año, que multiplicado por el área total da un volumen evapotranspirado de 2,980.1 hm³/año.

Sustituyendo los valores de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento, antes calculados, en la ecuación que se planteó para obtener el volumen infiltrado, se tiene:

$$\text{Infiltración} = 3\,748.7 - 2\,980.1 - 505.2 = 263.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir este volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 3,748.7 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta de 0.070.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 263.4 hm³/año en los 4 294 km² de superficie del acuífero.

Al aplicar el factor de infiltración de 0.07 sobre la porción del valle de 50 km² seleccionada como área de balance, donde la lámina de precipitación promedio anual es de 1,006 mm, se obtiene un volumen de recarga vertical de **3.5 hm³/año**.

7.1.2. Recarga inducida (Ri)

En el acuífero Huitzuco la extracción del agua subterránea asciende a 3.9 hm³/año, destinados principalmente para abastecimiento de agua potable y para el uso agrícola.

Aunque las pérdidas en los sistemas de abastecimiento de agua potable y en la agricultura son grandes, para fines de estimación de la recarga inducida consideraremos que un 15 % del volumen aplicado en estos usos retorna al acuífero.

De esta manera el valor de la recarga inducida es de **0.60 hm³/año**.

7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

De acuerdo con las características de los materiales granulares que constituyen el acuífero aluvial que actualmente se encuentra en explotación, se adoptó un valor conservador de T del orden de 100 m²/día (0.001 m²/s).

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2006, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

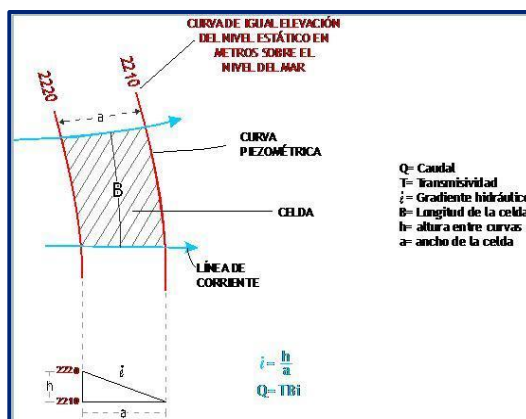
Donde

Q = Gasto [m^3/s];

T = Transmisividad [m^2/s];

B = Longitud de la celda [m];

i = Gradiente Hidráulico;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. De acuerdo con lo anterior, se elaboró la tabla 3 utilizando la configuración del nivel estático 2005 resultando una entrada en la zona de balance de **6.0 hm³/año**.

Tabla 3. Entradas por flujo subterráneo

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	1200	400	20	0.05000	0.0010	0.0600	1.9
E2	1700	1000	20	0.02000	0.0010	0.0340	1.1
E3	1700	350	20	0.05714286	0.0010	0.0971	3.1
TOTAL							6.0

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y por la descarga natural profunda (Dnp). Para la Evapotranspiración (ETR), debido a que dentro de la zona de balance la profundidad al nivel estático supera los 10 m, se considera que no existen salidas por evapotranspiración. En el resto del valle, existen valores de profundidad menores de 10 m pero estos son muy puntuales, dispersos y están asociados al subálveo de los arroyos, por lo que la evapotranspiración se considera nula.

La descarga del acuífero, dentro del área de balance definida, ocurre principalmente por bombeo (B), y de manera profunda hacia el acuífero conformado en rocas calizas y volcánicas fracturadas que subyacen al acuífero granular. Por lo anterior se considera que las salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) son nulas.

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **3.9 hm³/año**

7.2.2. Descarga natural profunda (Dnp)

La descarga natural se produce en la zona a través de las estribaciones de los flancos montañosos que conforman los pie de montes que alimentan directamente desde las zonas de recarga al acuífero constituido por rocas calizas y volcánicas fracturadas, teniendo como fuentes de alimentación tanto a la lluvia como a los escurrimientos que se producen a lo largo de los arroyos. Se considera una descarga porque, a pesar de que recarga al acuífero granular, cuyo volumen se estima como E_h , la otra parte sale de él y recarga a las unidades hidrogeológicas subyacentes. Se estima (por despeje de la ecuación) que el volumen de estas descargas hacia el acuífero profundo es del orden de los **6.2 hm³/año**.

Aunque existen varios manantiales en los flancos montañosos que delimitan el acuífero, éstos tienen su origen en las calizas y rocas volcánicas fracturadas que se recargan de agua de lluvia en las partes topográficamente más altas, por lo que no tienen conexión hidráulica con el acuífero granular que se aloja en el valle. El volumen de descarga de estos manantiales se destina principalmente al uso recreativo y agrícola.

7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$

Con base en la información piezométrica disponible, se observa que los niveles del agua subterránea no registran variaciones importantes a lo largo del periodo 1986-2005.

Los abatimientos producidos son tipo estacional y se deben a las oscilaciones provocadas por la alternancia de las estaciones de lluvia y estiaje. Los valores de abatimiento son puntuales para la zona urbana de Huitzuco.

En el resto del área las extracciones son incipientes y la recarga es mayor, por lo que no se registran abatimientos. Por estas razones, se considera que no existe cambio de almacenamiento. $\Delta V(S) = 0$

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se procedió a evaluar la descarga natural profunda:

$$D_{np} = R_v + R_i + E_h - ETR - B - Sh \pm \Delta V(S) \quad (2)$$

$$D_{np} = 3.5 + 0.6 + 6.0 - 0.0 - 3.9 - 0.0 - 0.0$$

$$\mathbf{D_{np} = 6.2}$$

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:

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

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, corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga vertical 3.5 hm³/año, entradas por flujos subterráneo horizontal 6.0 hm³/año, más la recarga inducida, 0.60 hm³/año, por lo que su volumen total es de **10.1 hm³/año**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Huitzuco, no existen salidas subterráneas, manantiales ni flujo base; por lo tanto, **DNC= 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 (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 **4,690,572 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 aguas subterráneas (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 10.1 - 0.0 - 4.690572 \\ \text{DMA} &= 5.409428 \text{ hm}^3/\text{anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **5,409,428 m³ anuales**.