

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO HUETAMO (1612), ESTADO DE
MICHOCÁN**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica	6
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía.....	6
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía.....	9
4.2 Geología estructural	15
4.3 Geología del subsuelo.....	17
5. HIDROGEOLOGÍA.....	18
5.1 Tipo de acuífero.....	18
5.2 Piezometría.....	18
5.3 Comportamiento hidráulico	18
5.3.1 Profundidad al nivel estático	18
5.3.2 Elevación del nivel estático.....	19
5.3.3 Evolución del nivel estático.....	21
5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	21
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	22
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	22
7.1 Entradas.....	23
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	23
7.1.2 Recarga inducida (Ri)	25
7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	25
7.2 Salidas	28
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	28
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	28
7.2.3 Descarga natural por flujo base (Dfb)	28
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)	28
8. DISPONIBILIDAD	29
8.1 Recarga total media anual (R).....	29
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	30
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	30
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	30

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 Huetamo, definido con la clave 1612 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la parte este del estado de Michoacán, en el límite con el estado de México, comprende una superficie aproximada de 5,882 km². Colinda al norte con los acuíferos Ciudad Hidalgo-Tuxpan y Morelia-Queréndaro, al sur con Paso de Arena, al este con Villa Victoria-Valle de Bravo, Temascaltepec y Altamirano-Cutzamala y al oeste con Tacámbaro-Turicato (figura 1).

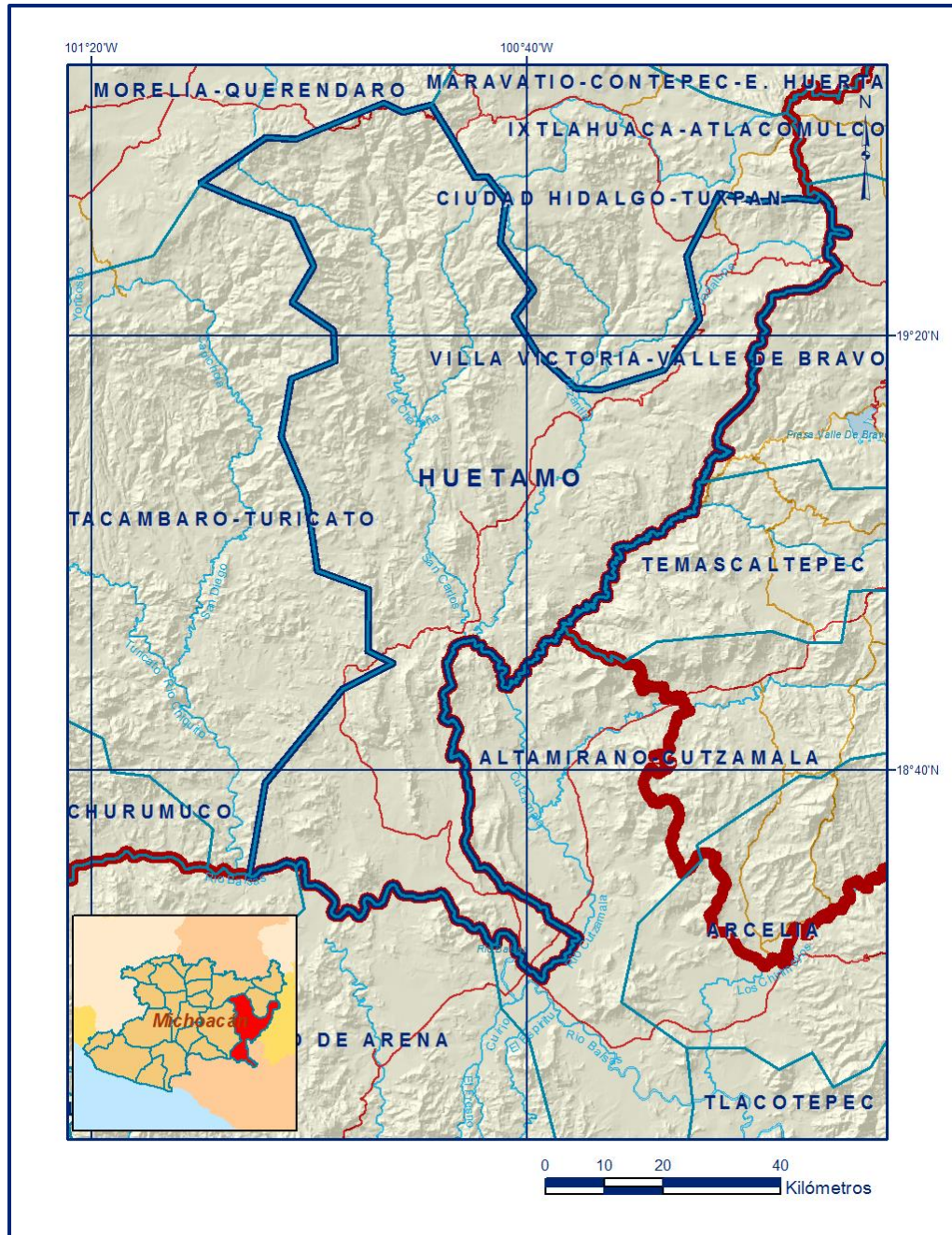


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente abarca parcialmente los municipios San Lucas, Susupuato, Tiquicheo de Nicolás Romero y Tzitzio; el acuífero comprende en forma parcial los municipios de: Hidalgo, Huetamo, Juárez, Carácuaro, Tuzantla y Zitácuaro; en menor proporción se encuentran dentro del área los municipios de: Charo, Indaparapeo, Morelia, Ocampo y Queréndaro. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 1612 HUETAMO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	36	46.2	18	53	10.2	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	100	43	18.8	18	24	6.7	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	101	1	23.5	18	31	21.2	DEL 3 AL 4 POR EL LIMITE ESTATAL
4	101	5	31.7	18	30	23.4	
5	101	4	6.7	18	38	52.8	
6	100	57	0.1	18	47	28.8	
7	100	52	21.7	18	49	55.4	
8	100	54	40.8	18	51	0.7	
9	100	54	37.1	18	56	40.8	
10	100	59	20.3	18	58	25.1	
11	101	0	22.0	19	5	13.6	
12	101	2	36.8	19	10	46.7	
13	101	1	42.0	19	16	2.4	
14	100	57	38.6	19	17	41.9	
15	100	57	50.7	19	20	31.3	
16	101	1	38.5	19	23	6.4	
17	100	59	41.3	19	26	23.4	
18	101	1	35.2	19	30	42.3	
19	101	6	13.6	19	32	23.2	
20	101	9	59.9	19	34	0.9	
21	101	4	3.4	19	38	17.0	
22	101	1	19.0	19	38	5.0	
23	100	53	12.6	19	41	27.2	
24	100	51	26.7	19	40	31.4	
25	100	48	50.0	19	41	12.7	
26	100	46	54.9	19	38	7.0	
27	100	44	48.2	19	34	35.9	
28	100	43	40.2	19	34	39.1	
29	100	42	1.3	19	32	23.4	
30	100	42	32.1	19	28	32.5	
31	100	39	24.7	19	24	10.7	
32	100	41	15.1	19	21	46.3	
33	100	39	7.2	19	18	23.4	
34	100	35	33.0	19	15	13.7	
35	100	33	18.4	19	14	59.5	
36	100	27	32.0	19	16	47.1	
37	100	24	11.9	19	21	30.3	
38	100	25	21.8	19	27	15.9	
39	100	22	21.9	19	33	8.1	
40	100	18	39.8	19	32	22.7	
41	100	15	26.4	19	32	39.0	
42	100	13	27.6	19	32	23.0	
43	100	13	6.3	19	32	56.2	DEL 43 AL 44 POR EL LIMITE ESTATAL
44	100	23	56.6	19	6	33.0	DEL 44 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	100	36	46.2	18	53	10.2	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Balsas y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Michoacán. Su territorio del acuífero se encuentra totalmente vedado, sujeto a la disposición de tres decretos. La mayor parte de la superficie del acuífero por el *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona del Bajo Balsas, estableciéndose veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha zona”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de junio de 1975. Una porción al norte y sur del acuífero por el *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos, y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del Estado de Michoacán”*, publicado en el Diario Oficial el 20 de octubre de 1987.

Ambas clasificadas como tipo II, que sólo permite extracciones para usos domésticos. Una pequeña porción al norte de acuífero, por el *“Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende los Municipios de Morelia y Charo, Mich.”*, publicado en el Diario Oficial el 10 de febrero de 1964. Esta veda está clasificada como 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. Los usos principales del agua subterránea son el público urbano y el agrícola; a la fecha no se ha instalado Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). En el territorio del acuífero no existe Distrito o Unidad de Riego.

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:

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA DE HUETAMO, MICH., elaborado por Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S.A. para la Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, en 1980.

Los objetivos de este estudio fueron conocer las condiciones y funcionamiento de los acuíferos en la porción suroriental del estado de Michoacán; localizar las áreas más importantes para la perforación de pozos exploratorios; complementar el Banco Nacional de Información Geohidrológica del estado de Michoacán.

REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO EN LOS ACUÍFEROS DE LOS VALLES DE ATLIXCO-IZÚCAR DE MATAMOROS, PUE.; CIUDAD HIDALGO-TUXPAN Y HUETAMO MICHOACÁN. Elaborado por Gondwana Exploraciones, S.A. DE C.V., en 2003. El objetivo del estudio fue establecer el diseño de una red de monitoreo piezométrica actualizada y simplificada con la información hidrogeológica-piezométrica y básica de los acuíferos.

Presenta aspectos geológicos y climatológicos, así como resultados de la medición de los niveles estáticos de 33 aprovechamientos subterráneos distribuidos en tres áreas principales denominadas Zitácuaro, Tafetán y Huetamo; la medición se realizó en pozos que fueron localizados durante el estudio para que formaran parte de la red de monitoreo, debido a que no existían pozos que formaran alguna red establecida. Se generaron configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático para visualizar el comportamiento del flujo del agua subterránea. La información piezométrica 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 acuífero Huetamo se localiza en la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre del Sur (INEGI), en la Subprovincia Depresión del Balsas.

3.2 Clima

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de W. Köppen, modificado por Enriqueta García, para las condiciones de la República Mexicana. El clima de la región es del tipo Acw Semicálido subhúmedo con lluvias en verano y del tipo A (w) cálido subhúmedo con lluvias en verano. De acuerdo con el análisis de las estaciones climatológicas, la temperatura media anual es de 26° C, la precipitación media anual de 950 mm y la evaporación potencial media anual de 2 400 mm.

3.3 Hidrografía

El territorio del acuífero Huetamo pertenece a la Región Hidrológica 18 Balsas. Subregión 18 B Medio Balsas. Cuenca del Río Balsas–Zirándaro y Río Cutzamala. En el área existen varias corrientes de importancia, que fluyen hacia la presa H. Galeana, alimentada por varios ríos; entre los más importantes se encuentran el río Cutzamala e Ixtapan. El río Cutzamala es uno de los principales aportadores del río Balsas.

Entre los ríos que fluyen por el área y que salen de ella hacia la presa antes mencionada, se encuentra el río Zitácuaro; este río cambia su nombre por el de Cutzamala, al que descarga el río Purungueo, que atraviesa la zona y recibe aguas del arroyo Chimapa y del arroyo del Plan de Guadalupe.

En la zona del acuífero se encuentran la presa El Bosque y la presa El Pejo. Además, se tienen canales y obras afines a las presas de almacenamiento y de sistemas de conducción y de riego.

3.4 Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos dentro del área son bastante contrastantes, lo que permite diferenciar tres grandes unidades. La primera se localiza en las partes septentrional y oriental y está dominada por una zona con sierras que desarrollan las mayores elevaciones de la región (zona A).

En sus porciones central y austral se presenta la segunda unidad (zona B), con presencia de sierras de menor elevación y valles intermontanos de poca extensión (zona C).

La unidad geomorfológica A se encuentra asociada al edificio morfoestructural de la Faja Volcánica Transmexicana, la cual jugó un papel protagónico en el paisaje morfológico de esa porción; en ella se observan elementos topográficos sin una disposición preferencial y que corresponden principalmente con aparatos volcánicos asociados con dicha provincia.

Esta unidad geomorfológica actúa como zona de recarga del acuífero, ya que sus elevaciones llegan a sobrepasar los 3000 msnm, en tanto que las áreas de menor elevación no rebasan los 2000 msnm, fenómeno que provoca que existan desniveles cercanos a los 1000 m. El drenaje que se define en este sector es predominantemente dendrítico, subparalelo y radial, en este último caso generalmente se asocia con aparatos volcánicos.

Por otro lado, en la parte de sierras de la unidad B, la elevación de las cotas ocasionalmente rebasa los 2000 msnm; estos elementos también forman parte de la extensa zona de recarga del acuífero. Esta unidad corresponde con una serie de sierras elongadas en dirección sensiblemente N-S, distribuidas en forma paralela y separadas por la unidad geomorfológica C.

Esta última unidad está representada por valles estrechos y que pueden corresponder con ejes estructurales; en esta unidad el drenaje desarrollado es predominantemente paralelo.

4. GEOLOGÍA

El acuífero Huetamo está dominado por dos provincias geológicas, la Faja Volcánica Transmexicana y el terreno tectonoestratigráfico Guerrero. La Primera presenta características geológico-estructurales que reflejan su evolución tectónica particular, por lo que se considera que parte del origen de la cuenca hidrológica y del acuífero mismo estuvieron supeditados a la actividad de un sistema volcánico afín a dicha provincia, compuesta por materiales volcánicos y volcanoclásticos.

Regionalmente la zona queda ubicada dentro del elemento estratotectónico denominado Guerrero, que en este sector se encuentra constituido por una secuencia que tiene como basamento rocas metamórficas del Jurásico, las cuales se encuentran cubiertas por secuencias marinas del Cretácico asociadas a un arco volcánico; sobre éstas se depositaron secuencias volcánicas y vulcanoclásticas terciarias y cuaternarias; estas últimas asociadas al vulcanismo de la Sierra Madre Occidental y de la Faja Volcánica Transmexicana (figura 2).

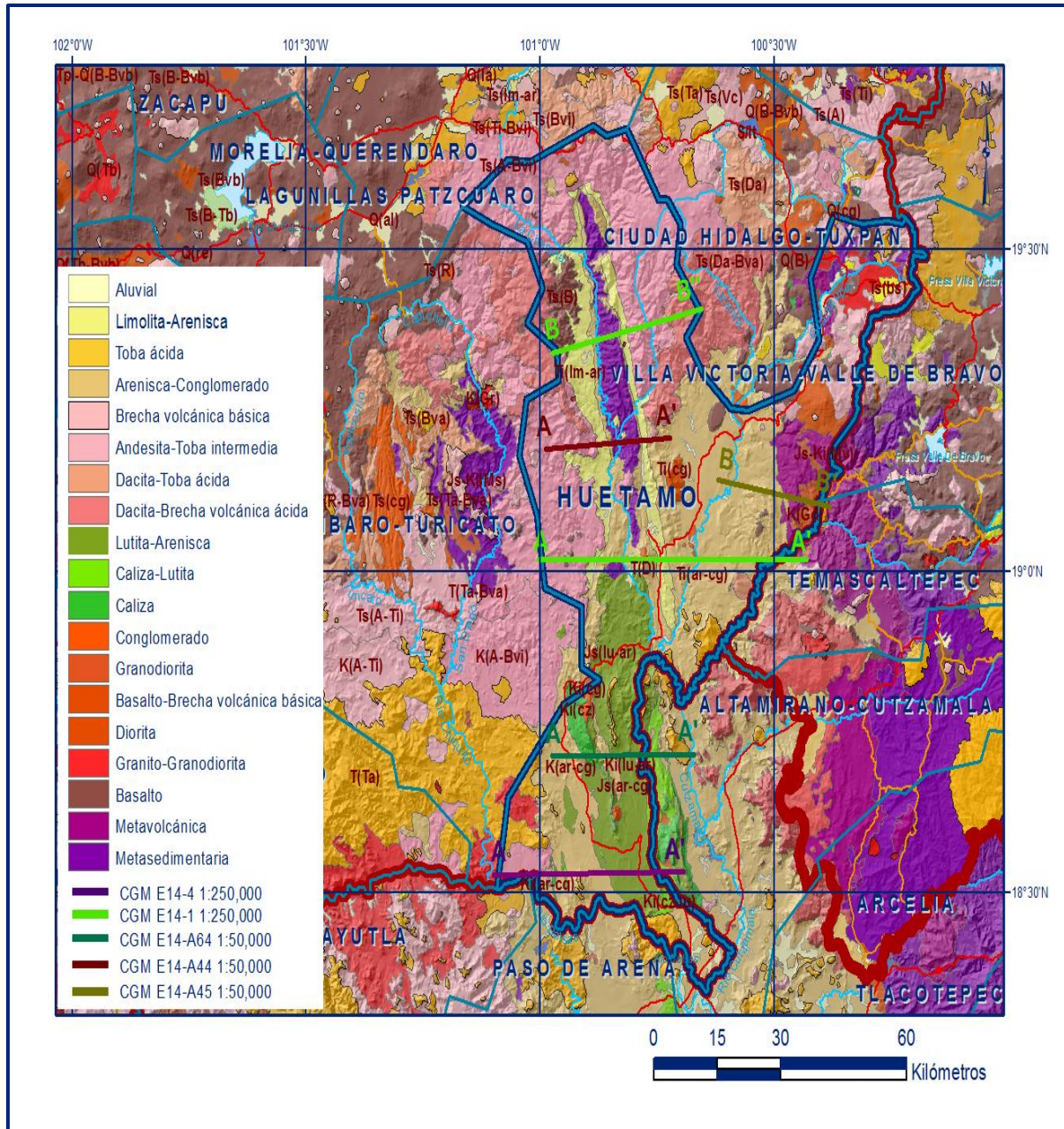


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica aflorante dentro de la zona que ocupa el Acuífero Huetamo se encuentra constituida por materiales volcánicos relacionados con la actividad de la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre Occidental, mismos que se encuentra cubriendo una secuencia marina de arco cretácico y perteneciente a la ancestral cuenca de Huetamo. Estos sedimentos a su vez fueron depositados sobre un basamento constituido por rocas metamórficas de edad jurásica denominadas como Complejo Metamórfico Carácuaro.

En los siguientes párrafos se describen brevemente las características generales de la columna estratigráfica aflorante, mientras que su distribución geográfica se puede ver en la figura 2.

Jurásico

Complejo Metamórfico Cuarácuaro (JCMC)

Este término es utilizado por el Consejo de Recursos Minerales para referirse a los metasedimentos que integran a las rocas más antiguas que afloran 30 km al surponiente de Ciudad Altamirano en la región de Placer del Oro y a 40 km al oeste de esta misma Ciudad. Estos últimos afloramientos son los que se encuentran dentro del área cartografiada.

En dichas localidades la unidad se compone de una secuencia de rocas metamórficas de bajo grado que corresponden con filitas, esquistos, cuarcitas, metareniscas y radiolaritas.

El metamorfismo presente en este conjunto litológico es de bajo grado y pertenece a la facies esquistos verdes; los estudios radiométricos efectuados por el Consejo de Recursos Minerales, determinaron una edad de 157 millones de años (Jurásico Superior). Las relaciones estratigráficas con rocas más jóvenes no se observan en esta región, pero pueden ser de carácter tectónico.

Cretácico

Formación Angao (KiA)

Unidad definida unos 10 km al oriente de Huetamo, corresponde con la base de la columna sedimentaria cretácica del área cartografiada. La fauna encontrada es característica del límite Jurásico-Cretácico, siendo su alcance estratigráfico hasta la parte media del Neocomiano. Esta unidad está caracterizada por una secuencia compuesta por alternancias de material volcánico con lutitas, areniscas y calizas de plataforma; hacia la base de la columna se presentan principalmente depósitos volcánicos y volcanoclásticos; los conglomerados de rocas metamórficas, calizas y basaltos son muy frecuentes, la textura es gruesa y de matriz de tonos grisáceos.

Los conglomerados están bien cementados por sílice y tienen una matriz limoarcillosa. Las calizas desarrollan capas que presentan abundantes fósiles; las tonalidades que muestra esta Formación varían entre tonos verdes, amarillos, rojos y pardos.

Los basaltos presentan estructura almohadillada, y junto con el resto de las litologías presentes conforman un espesor de 1000 m para esta unidad.

Formación San Lucas (KiSL)

Esta unidad se distribuye ampliamente en el núcleo de la estructura de mayor relevancia del sector estudiado -Anticlinal de Tzitzio, mismo que presenta un eje anticlinal con una longitud de 50 km en sentido N-S.

La columna estratigráfica de la Formación San Lucas está integrada por una secuencia de lutitas, limolitas, conglomerados e intercalaciones de calizas. Las rocas clásticas corresponden con materiales piroclásticos y volcanoclásticos, mismos que predominan en la base de la unidad.

Los horizontes calcáreos se presentan hacia la cima de la unidad, la cual se denomina como Formación El Cajón, consta de calizas con abundante fauna marina y ambiente de plataforma. Por su posición estratigráfica y determinaciones paleontológicas, la Formación San Lucas se depositó en el periodo del Neocomiano (Valanginiano) al Aptiano.

Formación Arcelia (KiAr)

En el extremo oriental de la zona cartografiada se encuentran abundantes cuerpos de lavas de composición básica e intermedia que se denominan Formación Arcelia. La unidad se caracteriza por derrames de estructura en almohadilla; en la parte superior de la columna se presentan materiales piroclásticos y arenas volcánicas. Estos materiales se intercalan con radiolaritas, sin embargo, en la cima de la unidad se presentan intercalaciones de areniscas volcánicas, bloques de rocas básicas brechas magmáticas y horizontes de calizas.

Por correlación, estas rocas se asocian con la Formación San Lucas lo cual ha sido corroborado por análisis paleontológicos de las radiolaritas y las determinaciones isotópicas la ubican en el Cretácico Inferior.

Diorita (KiD)

En las inmediaciones de la presa El Bosque, al sur de Zitácuaro, el Consejo de Recursos Minerales (1998) identificó la presencia de un cuerpo intrusivo de composición diorítica. La edad de este cuerpo se estableció en 127 millones de años.

Formación Mal Paso (KmP)

Término para designar a las rocas calcáreas que anteriormente se consideraban como Formación Morelos y descansan concordantemente sobre la Formación San Lucas. El nombre fue tomado del cañón del mismo nombre ubicado a 12 km al sureste de la Ciudad de Huetamo.

Se definen dos miembros para esta unidad, el inferior corresponde con un prisma sedimentario integrado por secuencias clásticas deltáicas, en tanto que el superior se asocia con sedimentos calcáreos arrecifales y lagunares.

Por lo anterior, la porción basal consta de capas delgadas a medias de areniscas líticas (grauvacas) y cuarzo feldespáticas en donde los fragmentos de madera son comunes. Los clastos son de rocas metamórficas e ígneas (andesitas, dacitas y riolitas) y los granos llegan a ser muy gruesos hasta constituir conglomerados polimícticos de estructura masiva, donde se observan clastos de caliza.

Hacia la parte superior de este miembro se observan cuerpos lenticulares de calizas de hasta 20 m de espesor con abundantes fósiles (biostromas) y que en la cima pasan a formar intercalaciones con lutitas, areniscas y limolitas de la unidad.

El miembro arrecifal de la Formación Mal Paso, consta en su base de intercalaciones de calizas arcillosas con capas de limolitas y lutitas, y gradúa hacia la cima a una secuencia de calizas biógenas intercaladas con bancos de lutitas y areniscas. El espesor estimado es de 750 m.

La posición estratigráfica y asociaciones faunísticas determinan una edad ubicada en el Albiano y Cenomaniano para los sedimentos de la Formación Mal Paso.

Formación Cutzamala (KsC)

Este término se utiliza para designar a los sedimentos que sobreyacen de manera concordante a las calizas de la Formación Mal Paso. En el área se distribuyen ampliamente, conforman los flancos de la estructura de Tzitzio.

Esta Formación se encuentra constituida principalmente por intercalaciones de conglomerados, areniscas y limonitas; los clastos comúnmente son de rocas volcánicas, aunque hacia la base predominan los conglomerados de fragmentos de calizas. Por su posición estratigráfica se le ha asignado una edad Postcenomaniano.

Granito (KsGr)

Los intrusivos más sobresalientes corresponden con los granitos que dan origen al Distrito Minero de Placer del Oro, ubicado al poniente de Ciudad Altamirano, el cual se encuentra afectando a las secuencias del Mesozoico.

Los cuerpos intrusivos que varían de composición granítica a granodiorítica se encuentran aflorando en el límite noroeste del sector cartografiado, así como al sur de la ciudad de Zitácuaro. Cuerpos intrusivos granodioríticos de menores dimensiones se encuentran afectando la porción norcentral del anticlinal de Tzitzio sobre las márgenes del Río Grande.

Cenozoico

Grupo Balsas (TeB)

Unidad definida para distinguir a los depósitos continentales paleógeno-neógenos que se distribuyen ampliamente en la región que ocupa la cuenca del Río Balsas.

Dentro de la zona estos materiales se encuentran aflorando principalmente hacia el extremo sur de Ciudad Altamirano. Dentro del sector, el Grupo Balsas se encuentra constituido por una potente secuencia de conglomerados calcáreos de estratos masivos; presenta cementante calcáreo y matriz que varía de arcillosa a arenosa, son de color rojizo, compacto y resistente.

Frecuentemente hacia la base se presenta un miembro volcanoclástico en donde se distinguen flujos piroclásticos, de composición principalmente andesítica, los cuales se intercalan con brechas volcánicas. Los estratos de areniscas y limolitas se distribuyen en todo el espesor de su columna, su color varía de crema al rojo.

El comportamiento lateral de los materiales que componen a esta unidad difícilmente guarda una continuidad, es decir las variaciones litológicas se presentan debido a los diferentes ambientes de depósito.

Este fenómeno provoca que los espesores de la unidad sean muy contrastantes, se estima un espesor incompleto de 1250 m, en los alrededores del poblado de Mexcala, Gro., localizado al oriente del área. La edad de la unidad sólo se ha establecido por posición estratigráfica y por correlación con otras unidades con características similares, por lo que se ubica en el Paleógeno (Eoceno-Oligoceno).

Andesitas del Eoceno (TeA)

El vulcanismo paleógeno-neógeno de la región se inicia con rocas de composición andesítica que se encuentran cartografiadas en la porción sur de la Ciudad de Huetamo. Corresponden con derrames de lavas de andesitas asociadas con brechas volcánicas de la misma composición y que se asocian con la etapa volcánica que dio origen a la Sierra Madre Occidental, por tal motivo su edad ha sido establecida en el Eoceno.

Granitos (ToGr)

La actividad magmática del Paleógeno está representada por diversos cuerpos intrusivos de composición granítica, que ocasionalmente varían a diorítica y cuyos efectos han dado origen a diversos distritos y zonas mineras como las de Curindal, El Bastán y Coyuca-Zirándaro, mismos que se encuentran expuestos en gran parte del límite suroeste del área. Son cuerpos de dimensiones batolíticas que afectan a toda la columna estratigráfica mesozoica que han sido fechados en 30 millones de años.

Riolitas del Oligoceno (ToR)

Los derrames de riolitas que se distribuyen ampliamente en los sectores limítrofes oriental y occidental del sector pueden asociarse con lo que se conocen con el nombre de Riolita Tilzapotla. Son rocas volcánicas de composición riolítica a riodacítica, dacítica, y de carácter piroclástico, con variaciones en su consolidación; es decir los flujos piroclásticos en algunas zonas muestran una fase netamente vitrofídica (ignimbritas) y en otras una fase tobácea muy deleznable. Es común observar que dichos materiales se asocien con brechas volcánicas o conglomerados de rocas volcánicas, fenómeno que es muy característico en la porción norte de la estructura de Tzitzio.

El evento volcánico que les dio origen a estos materiales, está asociado con el establecimiento de la provincia geológica ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental, por lo cual la edad de estas rocas se ubica en el Oligoceno. El espesor de esta unidad puede alcanzar los 1500 m.

Rocas volcánicas del mioceno (TmV)

En la zona norte del área existen afloramientos de materiales volcánicos correspondientes con derrames que varían en composición de basáltica a riolítica. En general la unidad se compone de derrames de estructura masiva, en ocasiones se intercalan horizontes de flujos piroclásticos y brechas volcánicas.

Esta unidad en las inmediaciones de Mexcala Guerrero, se encuentra sobreyaciendo a la Riolita Tilzapotla, por lo que se ha establecido su edad en el Neógeno (Mioceno), característica que se ha interpretado como el inicio del vulcanismo de la Faja Volcánica Transmexicana.

Rocas Volcánicas del Plioceno (TpIV)

Cubriendo a las rocas anteriores, en algunas porciones del sector norte del área cartografiada se presentan diversos afloramientos de rocas cuya composición varía de riolítica a basáltica. Los afloramientos cartografiados manifiestan un vulcanismo integrado por domos, conos, flujos piro-clásticos y maars que estratigráficamente están compuestos, de la base a la cima, por andesitas, basaltos, dacitas y riolitas, las cuales en ocasiones pueden manifestar variaciones en su composición. Por su posición estratigráfica y dataciones efectuadas por el Consejo de Recursos Minerales (1998) se les ha asignado una edad del Plioceno.

Depósitos de Lahar (Qlh)

La cartografía geológica del Consejo de Recursos Minerales (1998), identifica en el extremo norcentral del área, materiales piroclásticos depositados en avalanchas (lahares), los fragmentos que los integran son de rocas volcánicas de composición riolítica. Dichos materiales se encuentran aflorando sobre las cañadas del sector mencionado.

Basaltos (QB)

Los derrames de rocas volcánicas más recientes, dentro del área, se asocian con la actividad eruptiva de la Faja Volcánica Transmexicana, por lo cual estos se encuentran aflorando en la porción noreste del área cartografiada. La base de esta secuencia está representada por la presencia de volcanes de estructura de cono y escudo, en tanto que hacia la cima se presentan volcanes monogenéticos, conos cinders y maars. Por su posición estratigráfica las rocas basálticas de la región han sido posicionadas en el Pleistoceno y Holoceno.

4.2 Geología estructural

El contexto geológico definido por los distintos eventos que han dado origen al acuífero Huetamo, está asociado al establecimiento y evolución del denominado Terreno Guerrero, el cual en el Cenozoico fue cubierto por dos potentes secuencias de materiales volcánicos asociados, la más antigua perteneciente a la Sierra Madre Occidental y la segunda perteneciente a la Faja Volcánica Transmexicana.

El elemento estratotectónico denominado Terreno Guerrero, en los límites de los estados de México, Guerrero y Michoacán, está integrado por los llamados subterrenos Zihuatanejo, Huetamo, Arcelia y Teloloapan. De estos elementos los tres primeros abarcan parte del área, aunque cabe aclarar que la mayor parte de ésta se ubica en la denominada Unidad Huetamo. La Unidad Zihuatanejo está representada por una secuencia volcanoclástica que representa condiciones marginales asociadas a un arco magmático del Cretácico Temprano.

La mayor parte de la columna estratigráfica mesozoica descrita pertenece a la Unidad Huetamo, la cual muestra condiciones de mares en condiciones transgresivas a partir del límite Jurásico-Cretácico y que culmina con los sedimentos del Cretácico Superior; manifiesta condiciones marinas en donde las aguas eran cálidas con ambientes variantes de marginales a plataforma, mismos que presentan continuos cambios litológicos que evidencian inestabilidad tectónica y continuas variantes en el nivel del mar provocados por las proximidades de un arco volcánico insular.

Los derrames de lavas basálticas con estructura almohadillada e intercalaciones de radiolitas y materiales volcaniclásticos son características que definen a la Unidad Argelia, la cual representa parte del arco insular. Parte de este elemento se encuentra representado por los materiales que afloran en el extremo oriental del área. La Unidad Teloloapan, cuyos afloramientos se presentan adyacentes al límite oriental del área, está representada por dos conjuntos litológicos: el primero formado por secuencias volcanoclásticas metamorfoseadas asociadas con un arco volcánico Jurásico-Cretácico, el segundo se asocia con una secuencia sedimentaria calcárea marina que se desarrolló sobre el arco mencionado.

Los distintos conjuntos estratotectónicos definidos en la región de Guerrero-Michoacán-Estado de México manifiestan diferentes etapas de deformación derivada de la constante actividad tectónica originada por la geodinámica interna de este sector y cuya manifestación más espectacular se asocia con el fenómeno tectónico ocurrido hacia fines del Mesozoico y principios del Cenozoico y que plegó, falló y levantó las secuencias existentes, misma que está relacionada con la orogenia Laramide.

Como respuesta a la emersión de las rocas de la región, en el Paleógeno se inicia un período de fuerte erosión, lo que propicia el desarrollo de los materiales continentales

pertenecientes al Grupo Balsas, los cuales son depositados en las áreas que se encuentran dominadas por un abundante desarrollo de altos y bajos estructurales limitados por fallas (fosas y pilares) provocadas por una etapa de liberación de esfuerzos.

El establecimiento de la intensa actividad magmática, asociada con el desarrollo de la Sierra Madre Occidental, tiene su reflejo dentro de la zona, ya que el desarrollo de calderas dio origen a los materiales volcánicos de carácter riolítico (Formación Tilzapotla). Los cuerpos intrusivos del Cretácico Superior y Paleógeno representan la migración del magmatismo de arco de Sierra Madre Occidental hacia el oriente.

El establecimiento de la Faja Volcánica Transmexicana marca la fase más reciente del volcanismo de la zona y se encuentra representada por las rocas de composición intermedia y básica que integran la historia de este elemento, mismo que se haya relacionado con la constante actividad de las placas tectónicas en la zona de la Fosa de Acapulco.

Las rocas volcánicas de la región muestran un desarrollo de abundantes fracturas verticales; estas rocas no presentan fallamiento de tipo compresivo y sólo están afectadas por movimientos extensivos derivados de la actividad sísmica de la actual margen convergente pacífica.

A la evolución del Cinturón Volcánico Transmexicano se asocia la constante generación de materiales provenientes de las zonas de mayor elevación, que en saturación acuosa dieron origen a los depósitos de tipo lahar que se encuentran hacia las partes bajas de los principales aparatos volcánicos.

Así mismo este último evento volcánico reviste de una gran importancia desde el punto de vista geohidrológico, ya que es el generador de innumerables cuencas lacustres que han sido rellenadas con potentes espesores de materiales recientes, dando así origen a numerosos elementos acuíferos.

4.3 Geología del subsuelo

La única unidad estratigráfica de importancia con posibilidades acuíferas es la Formación Morelos (Kim), constituida por estratos de calizas, calcarenitas y arcillas en la base de la unidad; presentando cavernas en los afloramientos situados a nivel topográfico alto.

La infiltración local en esta unidad recarga tanto a los acuíferos que pudiera contener, así como a las rocas del Grupo Balsas (Teob) que ocupan la porción central del valle de Huetamo, que constituyen un acuífero con baja permeabilidad.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

La distribución de la secuencia de materiales granulares que constituyen el medio poroso, asociada con las rocas volcánicas del medio fracturado y el patrón de fallas regionales integran el sistema que controla el movimiento del agua subterránea en la zona. Por las características geomorfológicas de la región, los pozos alojados en el medio granular son escasos debido a su distribución tan restringida.

Así mismo, se considera que, en el sistema, los medios poroso y fracturado identificados previamente, forman parte de un acuífero de **tipo libre** heterogéneo, en donde el movimiento del agua subterránea está en función de la geología estructural del área y del tipo de sistema de flujo al que se encuentre integrado. El acuífero es heterogéneo debido a que incluye sedimentos y material litológico diverso, tanto en el sentido vertical como horizontal.

Es importante recalcar que debido a las características topográficas de la región, a pesar de presentar altos índices de precipitación pluvial, los niveles de escurrimiento son muy elevados, por lo cual la mayor parte de la zona representa una zona de recarga en donde los flujos verticales deben ser los dominantes en este sistema, las zonas de descarga se presentan muy restringidas, fenómeno que es generado por lo estrecho de los valles intermontanos y poco espesor de los materiales de relleno.

5.2 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se consideró la información disponible para 1980 y 2003.

5.3 Comportamiento hidráulico

5.3.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo con información de 2003, para la zona Zitácuaro presentan profundidades al nivel estático entre 30 y 77 m; los niveles más someros se presentan al poniente y los más profundos al oriente de la ciudad. Para la porción noroeste, la profundidad se encuentra entre 2 y 36 m (figura 3).

En la zona Tafetán se determinaron profundidades al nivel estático muy someras, y éstas se asocian con sitios cercanos a las principales corrientes superficiales del área (Ríos Purungeo y Chinapa). Los niveles estáticos en todas las obras presentan profundidades menores a los 10 m. Para la zona de Huetamo la mayor parte de los valores de la profundidad al nivel estático son inferiores a 10 m.

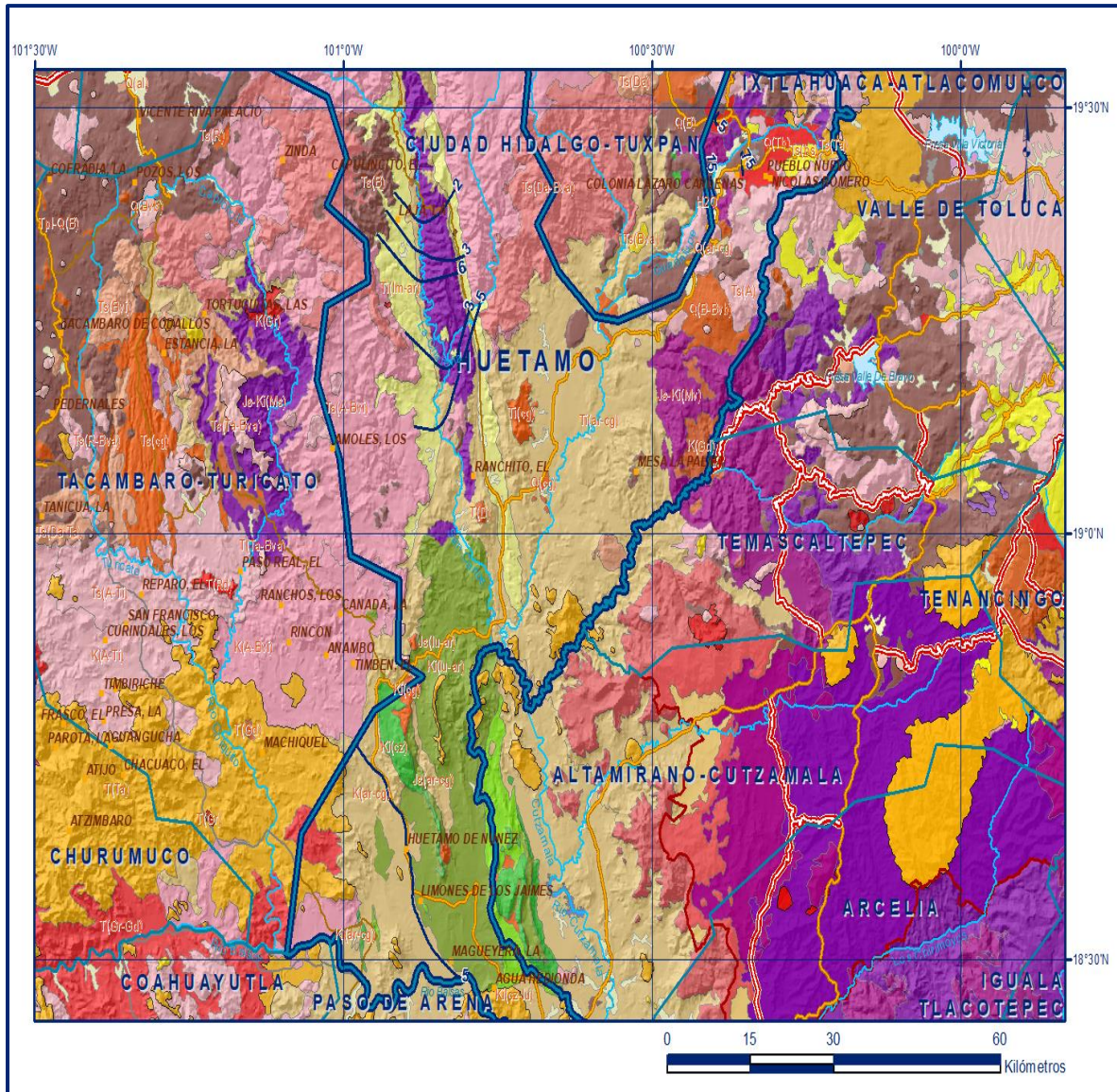


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2003)

5.3.2 Elevación del nivel estático

En 1980 se observa que en los alrededores del poblado de Huetamo la dirección del flujo subterráneo es norte a sur; la elevación del nivel estático era de 580 msnm en Huatapachio, así como de 350 en el área de la Parota y de 300 msnm en el poblado de

Dentro de todo el acuífero los flujos subterráneos identificados tienen una dirección hacia el centro del valle y tienden finalmente a confluir en la dirección del flujo principal hacia el sur-sureste, por los poblados de El Rosario y Tzirintzicuaro, hasta descargar directamente en el Río Balsas.

5.3.3 Evolución del nivel estático

La información piezométrica disponible permite afirmar que los niveles del agua subterránea no registran variaciones importantes. Los valores de abatimiento son puntuales debido a la incipiente explotación del acuífero.

5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En 1998 se tomaron 23 muestras de agua subterránea, los resultados indican que la calidad del agua es buena en general (figura 5).

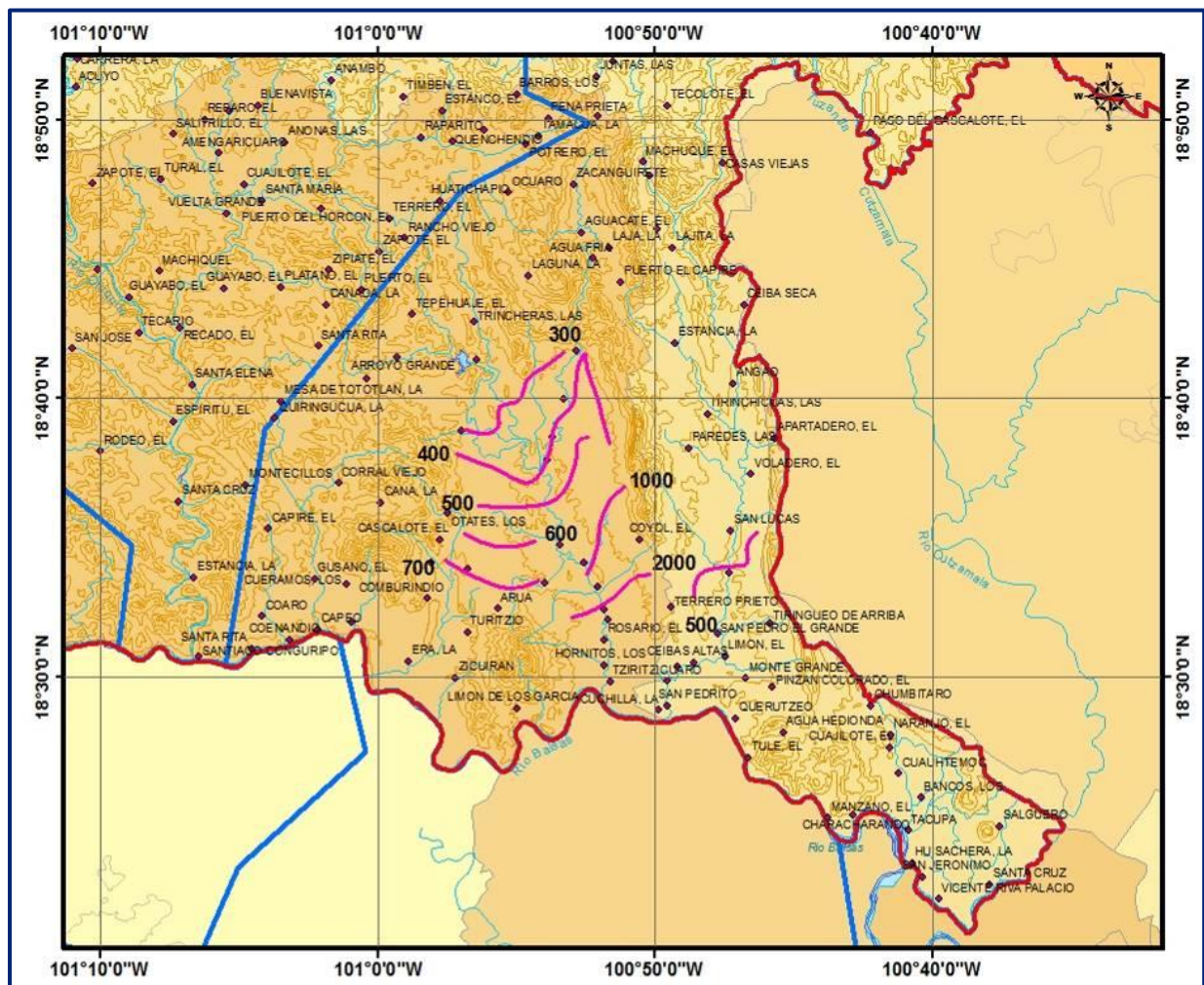


Figura 5. Sólidos totales, 1980

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) se tiene un volumen registrado de **8,160,876 m³/año** de los cuales el 51% se destina a uso público-urbano, 37% para uso agrícola y el 12% resto para los demás usos.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido.

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

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

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

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

Debido a la dispersión y escasez de datos piezométricos, se planteó la ecuación de balance para dos zonas Huetamo (700 km²) y Zitácuaro (900 km²).

La ecuación de balance definida para este acuífero es:

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

Donde:

R_v: Recarga vertical;

E_h: Entradas subterráneas por flujo horizontal;

R_i: Recarga inducida;

D_{fb}: Descarga por flujo base;

B: Bombeo;

S_h: Salidas por flujo horizontal;

ΔV(S): Cambio de almacenamiento;

Debido a que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo y a que no existe información de aforos para estimar la descarga por flujo base de los ríos, su valor se despejará de la ecuación (1), como se muestra a continuación:

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

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 (R_v) y a lo largo de los escurrimientos (D_n) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h).

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

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

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 (C_e) 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 en mm;

Se obtiene un coeficiente de escurrimiento de $C_e = 0.083$

El área considerada es de 5,912 km² y la lámina de precipitación promedio de 950 mm/año, de la multiplicación de estos dos valores se obtiene el volumen precipitado que es de 5,616.4 hm³/año; al multiplicar este por el coeficiente de escurrimiento se obtiene el volumen de escurrimiento anual, que es de 466.2 hm³.

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 ° C;

Como se señaló anteriormente en el área donde se localiza el acuífero, la precipitación promedio anual es de 950 mm; el volumen total precipitado de 5,616.4 hm³/año. La temperatura promedio anual considerada ésta es de 26° C; utilizando la ecuación de Coutagne para calcular la evapotranspiración, se obtiene un valor de 0.747 m/año, que multiplicado por el área total da un volumen evapotranspirado de 4,414.7 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:

$$\text{Infiltración} = 5\,616.4 - 4\,414.7 - 466.2 = 735.5 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir este volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 5 616.4 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta de 0.131. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 735.5 hm³/año en los 5 912 km² de superficie del acuífero. Al aplicar el factor de infiltración de 0.131 sobre la zona de Huetamo (700 km²) y la zona de Zitácuaro (900 km²) donde la lámina de precipitación promedio anual es de 950 mm, se obtiene un volumen de recarga vertical de 87.1 y 112.0 hm³ al año respectivamente, en total **199.1 hm³/año.**

7.1.2 Recarga inducida (Ri)

En el área del acuífero la recarga inducida es reducida, considerando un coeficiente de 0.15, se estima que el volumen de recarga inducida es de **1.0 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).

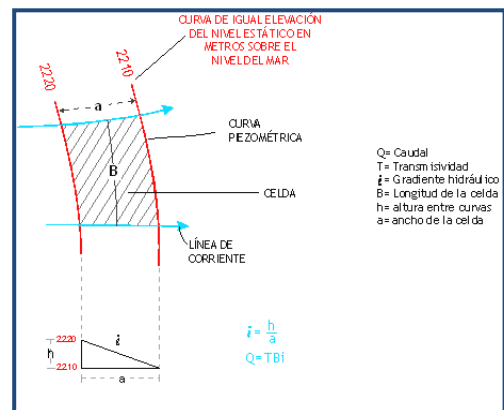
El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2003, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

B = Longitud de la celda (m)



i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

T = Transmisividad (m^2/s)

Partiendo de esta configuración se seleccionó un canal de flujo para calcular el caudal “ Q ” que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos (figuras 6 y 7).

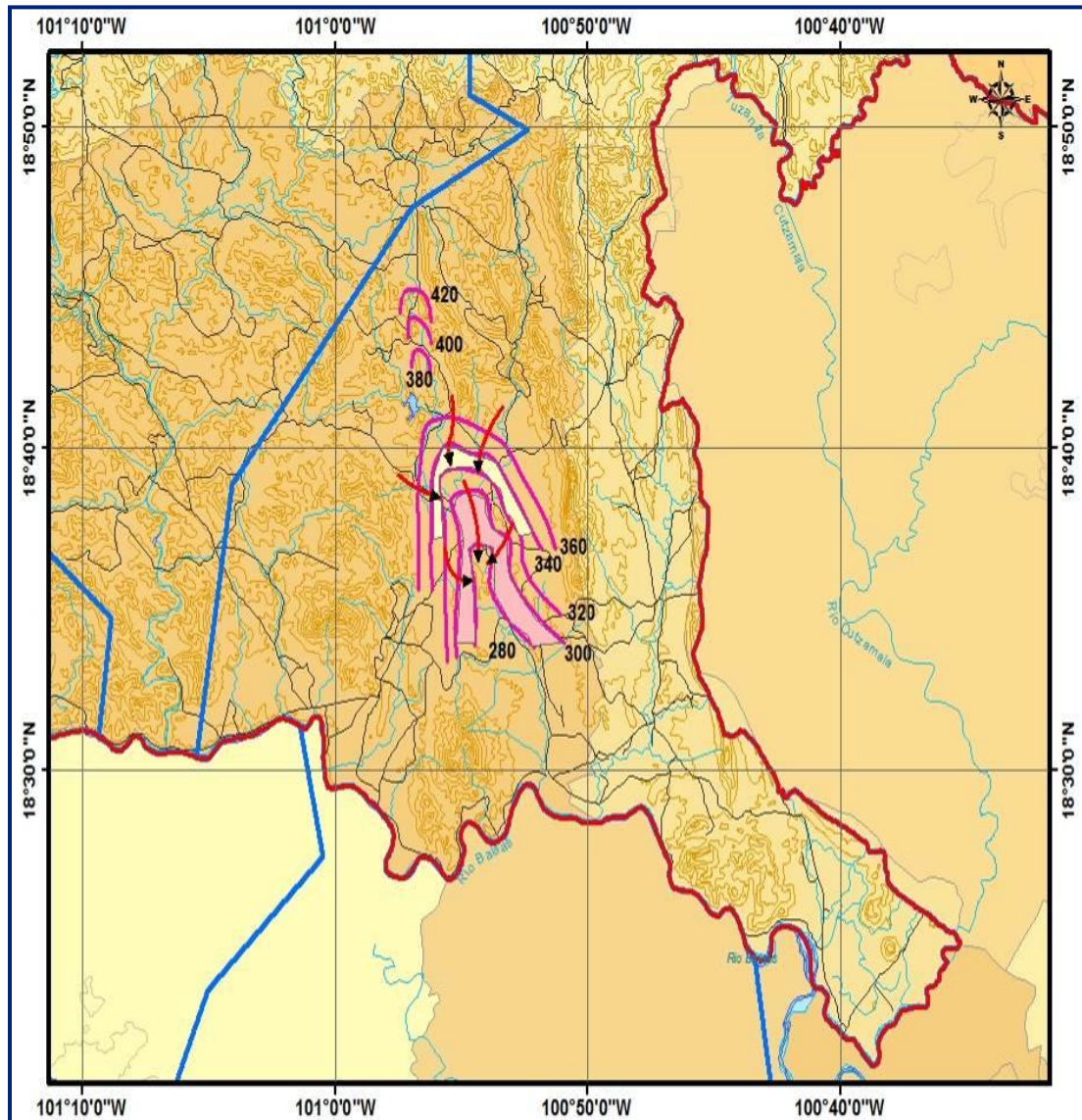


Figura 6. Celdas y red de flujo Zona Huetamo (2003)

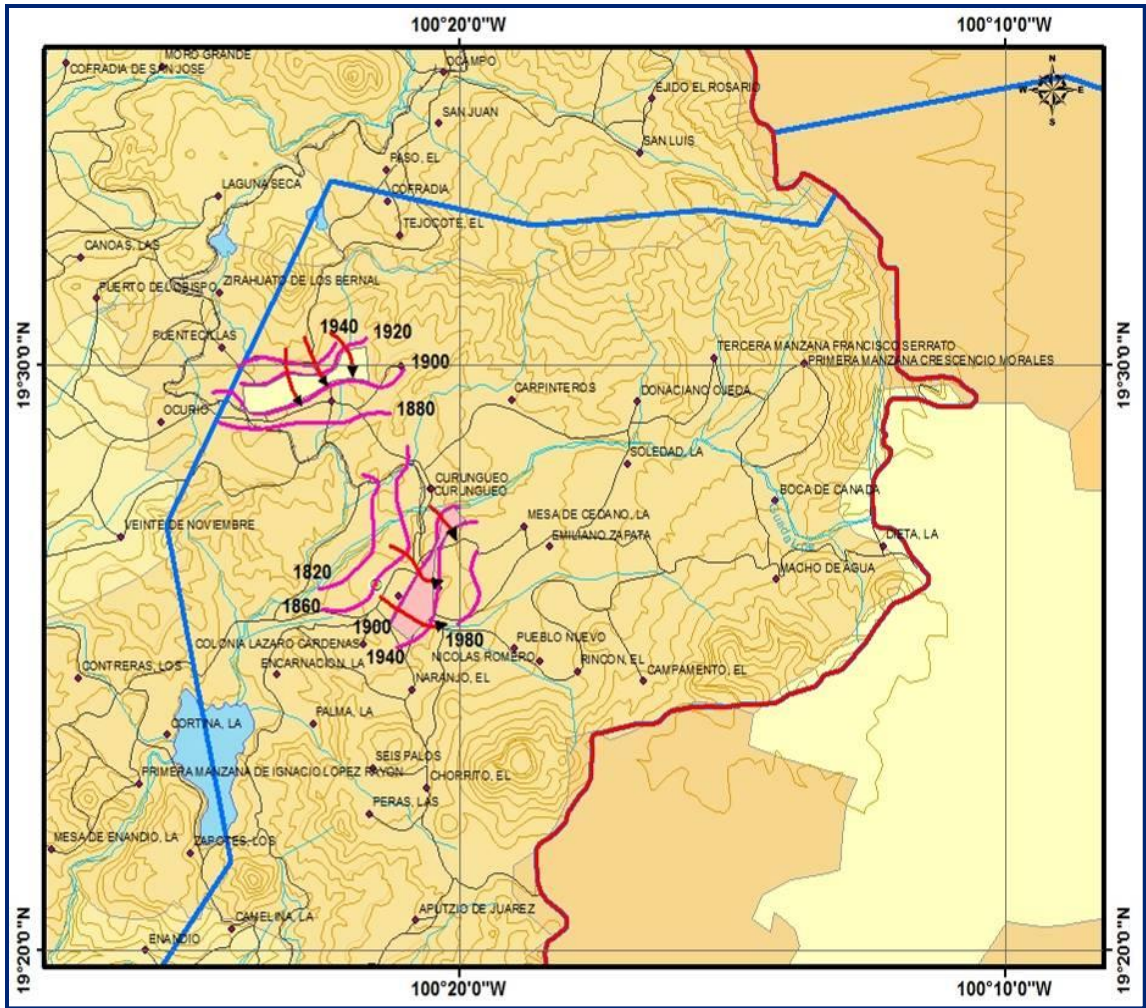


Figura 7. Celdas y red de flujo Zona Zitacuaro (2003)

De acuerdo con lo anterior, se elaboró la tabla 2 utilizando la configuración del nivel estático para 2003. El valor estimado de las entradas por flujo subterráneo horizontal es de **19.7 hm³/año**.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal

Celda	Ancho m	Largo m	h_1-h_2	Gradiente hidráulico	Transmisividad m^2/s	Caudal m^3/s	Volumen $hm^3/año$
HUETAMO							
1	19 300	800	20	0.025	0.0010	0.483	15.22
Total							15.2
ZITÁCUARO							
1	4 300	600	20	0.033	0.0010	0.143	4.52
Total							4.5

7.2 Salidas

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **8.2 hm³/año**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático presentado en la figura 6 y 7. Su valor es de **14.2 hm³ anuales**, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Salidas por flujo subterráneo horizontal

Celda	Ancho (m)	Largo (m)	h1 - h2 (m)	Gradiente hidráulico	Transmisividad (m ² /s)	Caudal (m ³ /s)	Volumen (hm ³ /año)
HUETAMO							
1	14300	920	20	0.022	0.001	0.311	9.80
ZITÁCUARO							
1	3500	500	20	0.040	0.001	0.140	4.42

7.2.3 Descarga natural por flujo base (Dfb)

En el área existen varias corrientes de importancia, que fluyen hacia la presa H. Galeana, alimentada por varios ríos; entre los que se encuentra el río Zitácuaro; este río cambia su nombre por el de Cutzamala, al que descarga el río Purungeo, que atraviesa la zona y recibe aguas del arroyo Chimapa y del arroyo del Plan de Guadalupe. El flujo base estimado es de **197.4 hm³/año**.

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

Las escasas mediciones piezométricas recabadas se encuentran dispersas en tiempo y espacio, no cubren en su totalidad la extensión del acuífero y no registran variaciones importantes.

Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo, ni conos de abatimiento. Por lo tanto, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes, por lo que para fines del balance se considera que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. **$\Delta V(S) = 0$** .

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la descarga natural por flujo base (Dfb), mediante la expresión (2) de la siguiente manera:

$$Dfb = Rv + Eh + Ri - B - Sh \pm \Delta V(S) \quad (2)$$

$$Dfb = 199.1 + 19.7 + 1.0 - 8.2 - 14.2 - 0.0$$

$$Dfb = 197.4$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical, la recarga inducida y las entradas por flujo subterráneo horizontal:

$$R = Rv + Ri + Eh$$

$$R = 199.1 + 1.0 + 19.7$$

$$R = 219.8 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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:

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **219.8 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Se ha considerado sólo el flujo base de **197.4 hm³/año**, como volumen comprometido, flujo base que alimenta al río Balsas y es utilizado en la generación de energía eléctrica.

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 **20,338,469 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 219.8 - 197.4 - 20.338469 \\ \text{DMA} &= 2.061531 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **2,061,531 m³ anuales**.