



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO IGUALA (1205), 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	6
3.1. Provincia fisiográfica.....	6
3.2. Clima.....	7
3.3. Hidrografía.....	8
3.4. Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1. Estratigrafía.....	10
4.2. Geología estructural.....	12
4.3. Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA	14
5.1. Tipo de acuífero.....	14
5.2. Parámetros hidráulicos.....	15
5.3. Piezometría.....	15
5.4. Comportamiento hidráulico.....	15
5.5. Profundidad al nivel estático.....	15
5.6. Elevación del nivel estático.....	16
5.7. Evolución del nivel estático.....	18
5.8. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	19
7.1. Entradas.....	20
7.2. Recarga vertical (Rv).....	20
7.3. Recarga inducida (Ri).....	22
7.4. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	22
7.5. Salidas.....	23
7.6. Bombeo (B).....	23
7.7. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	24
7.8. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	24
7.9. Descarga natural profunda (Dnp).....	24
8. DISPONIBILIDAD	25
8.1. Recarga total media anual (R).....	25
8.2. Descarga natural comprometida (DNC).....	26
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	26
8.4. Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA).....	27
9. BIBLIOGRAFIA	28

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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 Iguala, definido con la clave 1205 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción norte centro occidental del estado de Guerrero, cubriendo una extensión aproximada de 2 356 km² (figura 1).

Colinda al norte con los acuíferos Buenavista de Cuellar y Arcelia, al sur con Chilapa, al este con el acuífero Poloncingo y al oeste con Tlacotepec.

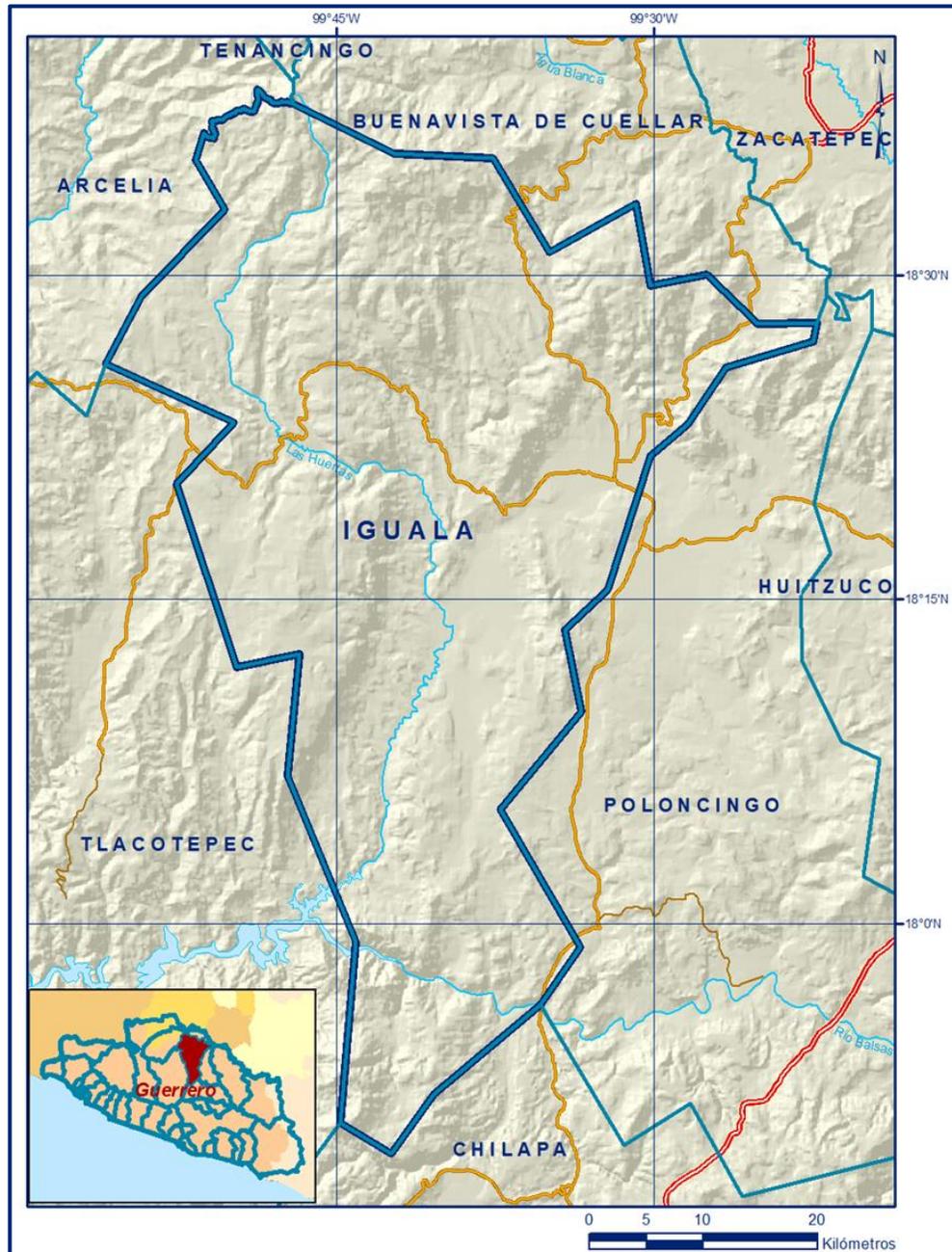


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente abarca totalmente al municipio Ixcateopan de Cuauhtémoc y parcialmente Iguala de la Independencia, Cocula, Taxco de Alarcón, Pedro Ascencio Alquisiras, Buonavista de Cuéllar, Cuetzala del Progreso, Teloloapan, Eduardo Neri y Tepecoacuilco de Trujano.

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1205 IGUALA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	47	6.0	18	37	57.1	
2	99	42	16.8	18	35	37.1	
3	99	37	35.9	18	35	24.5	
4	99	34	56.4	18	31	3.9	
5	99	30	51.5	18	33	17.9	
6	99	30	10.2	18	29	32.3	
7	99	27	30.6	18	30	2.6	
8	99	25	4.6	18	27	45.8	
9	99	22	17.0	18	27	47.8	
10	99	22	28.2	18	26	56.8	
11	99	26	34.6	18	25	44.6	
12	99	28	24.2	18	23	5.6	
13	99	30	8.8	18	21	39.4	
14	99	32	9.9	18	15	26.9	
15	99	34	11.8	18	13	36.6	
16	99	33	25.5	18	9	49.2	
17	99	37	16.3	18	5	17.7	
18	99	33	28.8	17	58	56.1	
19	99	35	21.1	17	56	17.0	
20	99	40	23.4	17	52	8.7	
21	99	42	24.5	17	49	23.6	
22	99	44	48.8	17	50	49.0	
23	99	44	6.8	17	59	11.0	
24	99	47	18.2	18	6	50.0	
25	99	46	46.7	18	12	28.1	
26	99	49	42.9	18	11	53.7	
27	99	52	33.4	18	20	20.8	
28	99	49	51.5	18	23	11.3	
29	99	55	55.8	18	25	55.7	
30	99	54	15.9	18	29	12	
31	99	50	16.3	18	33	2.8	
32	99	51	38.9	18	35	19.1	
33	99	51	18.0	18	36	34.1	DEL 33 AL 1POR EL LIMITE ESTATAL
1	99	47	6.0	18	37	57.1	

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.

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 GEOLÓGICO–ESTRUCTURAL Y DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA EN LA ZONA DE IGUALA–COCULA, ESTADO DE GUERRERO, elaborado por la Compañía Exploraciones y Estudios Geológicos, Geotécnicos y Geohidrológicos, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1987. El objetivo principal del estudio fue la realización de una prospección geohidrológica encaminada a determinar y evaluar las condiciones geológicas que gobiernan la ocurrencia del agua subterránea, proponer un modelo hidrogeológico del área e identificar las zonas potencialmente atractivas para su exploración.

Entre las conclusiones más sobresalientes menciona que la zona del acuífero calcáreo se considera atractiva para perforar y contener agua de buena calidad, mencionando la porción norte del Anticlinal de Apipilulco así como al norte del Anticlinal de Metlapa.

El Anticlinal de Apipilulco presenta una adecuada continuidad estructural, una amplia zona de recarga y no manifiesta superficialmente la presencia de yesos; el pozo exploratorio Apipilulco 2 perforado en esta estructura, manifiesta resultados positivos. El Anticlinal de Metlapa muestra una razonable área de recarga y no manifiesta la presencia de evaporitas, asimismo al ubicarse completamente de la falla El Triunfo no pierde su continuidad estructural. Recomienda realizar estudios geológicos detallados en los anticlinales, así como campañas de exploraciones geofísicas con el método de Sondeos Eléctricos Verticales para ubicar sitios adecuados para la perforación de sondeos exploratorios.

MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS EN LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE IGUALA, HUITZUCO, POLONCINGO, CHILAPA Y CHILPANCINGO, ESTADO DE GUERRERO, elaborado por Laramide Ingenieros, S.A. de C.V. para la Comisión Nacional del Agua. Gerencia Regional Balsas. 2005. Dentro de los objetivos se consideró proponer la red de pozos piloto 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.

Como conclusiones principales se pueden mencionar las siguientes: Los principales acuíferos que se explotan se alojan en el subálveo de los ríos y no tienen continuidad hidrogeológica a lo largo de ellas, puesto que descargan al entrar en barrancas labradas en rocas impermeables, donde no existen subálveos.

Existen también pequeños acuíferos colgados en algunas hondonadas, donde ocurren depósitos de aluviones y conglomerados arenosos. Los manantiales representan una descarga parcial del acuífero regional en calizas y ocurren en todas las Unidades Hidrogeológicas; su presencia está asociada a cambios litológicos y a la presencia de fallas que captan flujos que circulan en el acuífero fracturado y lo transmiten hacia las zonas topográficamente bajas, en donde aflora la secuencia conformada por intercalaciones de lutitas y areniscas de baja permeabilidad.

Se realizó el censo de 123 captaciones de las cuales 33 fueron en el acuífero Iguala (18 Norias, 3 Manantiales y 12 Pozos); 22 aprovechamientos en el acuífero Poloncingo (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).

Se recomienda realizar un estudio hidrogeológico regional en las unidades hidrogeológicas que conforman la Cuenca de Morelos-Guerrero, con el propósito de conocer a detalle las características hidráulicas y extensión de los acuíferos que se encuentran alojados en las zonas de calizas y en las rocas volcánicas, puesto que algunos de éstos acuíferos tienen cierta continuidad hidrogeológica regional, la cual es poco conocida por las fuertes complicaciones estructurales que presenta el área.

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 acuífero se encuentra contenido en la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre del Sur, de acuerdo con el plano elaborado por la Secretaría de Programación y Presupuesto, en las Subprovincias Depresión del Balsas, Sierras y Valles Guerrerenses, así como la de la Cordillera Costera del Sur.

Esta provincia se caracteriza por estar conformada por una serie de montañas y sierras de desniveles considerables; asimismo, se tienen sectores que configuran barrancas y hondonadas más amplias, así como cimas que alcanzan altitudes de poco más de 2,000 msnm, algunas de ellas superan los 2,500 msnm.

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, Complejo Xolapa, 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 1500 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, valles de dimensiones pequeñas en comparación al área que ocupan las zonas de sierras.

3.2. Clima

La clasificación y características del clima que se presenta en el área se determinaron con base en el sistema de clasificación climática de W. Köppen, modificado por Enriqueta García, para las condiciones de la República Mexicana. Para el análisis del clima se contó con la información de 23 estaciones climatológicas. La zona centro y oriente del área presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano ($A_w (w)$), dentro del subtipo húmedo.

Al Noroeste de Iguala, en la zona montañosa que rodea al valle, el clima es muy variable ya que entre los poblados de Buenavista de Cuéllar, Platanillo y Tlacuitlapa se tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano ($A (c) w, (W1)$), subtipo humedad media; al NW y SE de Buenavista de Cuéllar y en la región de Teloloapan predomina un clima semicálido-húmedo con lluvias en verano ($A (c) W2, (w)$), subtipo humedad media. Hacia las partes más altas predomina un clima templado subhúmedo ($A (c) w2, (W)$), subtipo más húmedo.

El régimen de lluvias más intensas se lleva a cabo durante el verano mientras que un porcentaje de lluvia invernal menor de 5% y la precipitación del mes más seco, es menor de 600 mm.

Las temperaturas mínimas medias se presentan en las partes altas hacia Taxco con valores de 16° C y las máximas en las partes topográficamente más bajas con valores de hasta 28° C. La temperatura media anual es de 24.7° C. Las precipitaciones máximas se presentan en las partes altas hacia Taxco, con valores de 1200 mm y las mínimas en las partes topográficamente más bajas con valores de hasta 800 mm anuales. La precipitación media anual resulta de 1006.5 mm. Según datos de la estación Iguala, la evaporación potencial es de unos 2300 mm/año.

3.3. Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica 18 Río Balsas. Subregión Medio Balsas. Cuenca del Río Balsas. En el área existe una serie de arroyos de poca importancia que escurren con dirección general de norte a sur para confluir finalmente al río Balsas. En las inmediaciones de la población de Iguala nacen los ríos Ahuehuepan y Sabinos, que posteriormente toman el nombre río Cocula o Iguala antes de descargar al río Balsas, su cauce corre en dirección franca norte-sur.

Se tienen instaladas tres estaciones hidrométricas, una mide los escurrimientos del río Ahuehuepan, una sobre el río Sabinos y una más aguas abajo en la confluencia de ambos, al formar el río Iguala, denominada Las Juntas. El caudal base en la estación Las Juntas, es del orden de 1.1 m³/s (unos 35 hm³/año). Los escurrimientos totales medios anuales en el periodo 1963-1969, para la estación Ahuehuepan alcanzan la cifra de 4 m³/s (125 hm³/año), en Los Sabinos de 5.7 m³/s (180 hm³/año) y Las Juntas de 9.6 m³/s (303 hm³/año).

El área drenada hasta la estación Las Juntas es de 1,121 km², lo que significa que hasta ese punto el área drenada es del orden del 50% del total del área del acuífero.

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.

En lo que respecta a las zonas de menor relieve asociadas con lomeríos y valles, estos elementos de terreno presentan 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.

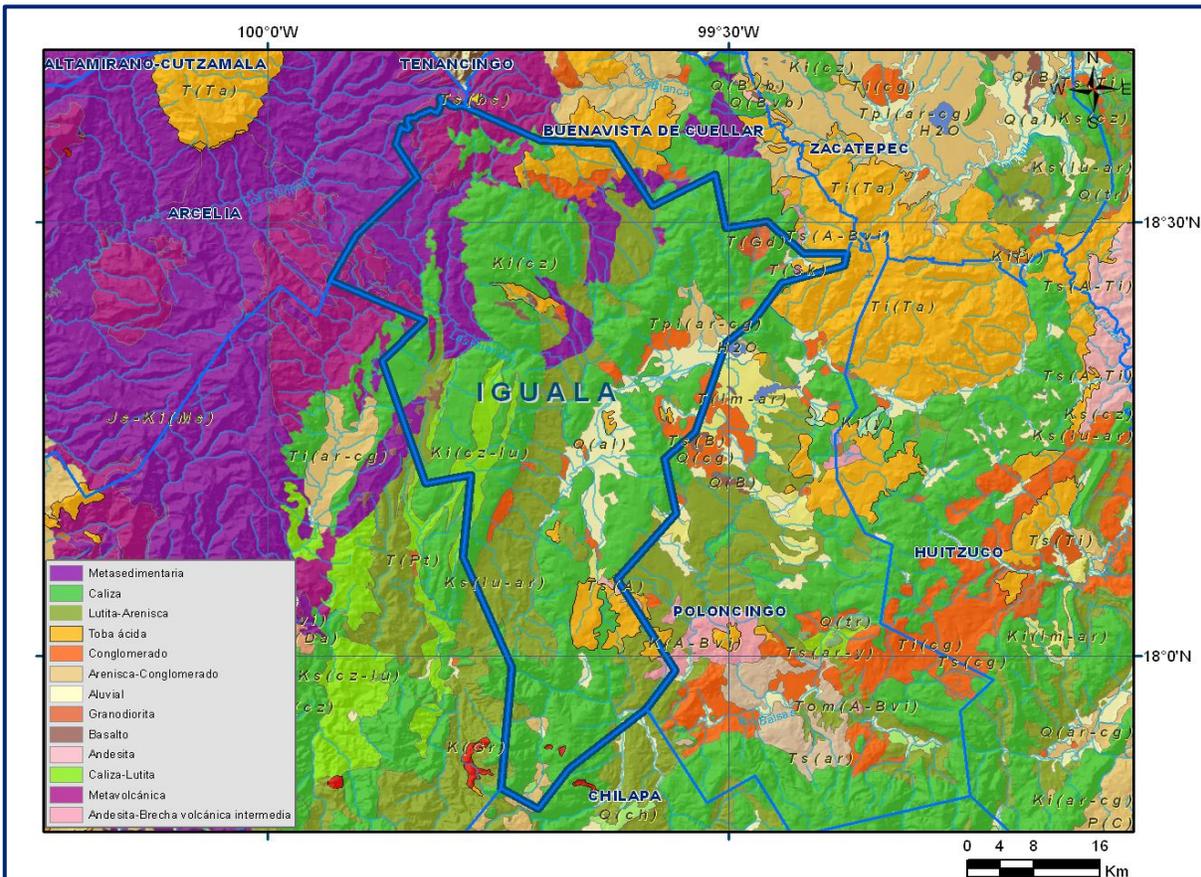


Figura 2. Geología general del acuífero

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 y 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.

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, 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 interstratificadas 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 de esta formación, muestra una depositación normal, en su base presenta estratos delgados de caliza, con capas interstratificadas de lutita, limonita, 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 suprayacen 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 Huitzucó y Chilacachapa.

Se constituye de dos formaciones, la Anhidrita Huitzucó, 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

La explotación de los materiales granulares tanto del subálveo como de la zona del valle en Iguala constituyen el acuífero del cual que se obtiene el abastecimiento de agua para las diversas comunidades.

Por otra parte, se considera que los pocos pozos profundos se encuentran explotando el acuífero calcáreo, en tanto que los manantiales se considera que están asociados con fallas que captan flujos que circulan en el acuífero calcáreo y lo transmiten hacia las zonas de lomeríos de la secuencia flysch de baja permeabilidad.

5.1. Tipo de acuífero

Se considera que se presenta un **acuífero libre** separado en dos tipos, uno 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 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); de ahí que en algunas partes de un cauce, éste lleve agua en tiempo de sequía y en otras partes no, lo cual indica que en las zonas donde fluye superficialmente el agua,

la roca sana impermeable se encuentra cerca de la superficie y donde no escorra agua, estas rocas deben encontrarse a mayor profundidad.

5.2. Parámetros hidráulicos

Considerando la geología de los materiales del subsuelo, se estima que el valor de la transmisividad es del orden de **0.0011 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

5.5. Profundidad al nivel estático

De acuerdo con información de 2005, las profundidades al nivel estático en la zona de valle oscilan entre los 6 y 20 m. Los valores mayores corresponden al poblado de Iguala, decreciendo hacia el norte y al sur de esta población.

Valores inferiores a los 6 m se localizan en sitios aislados al sur de Iguala y corresponden a niveles freáticos cercanos al subálveo de los arroyos (figura 3).

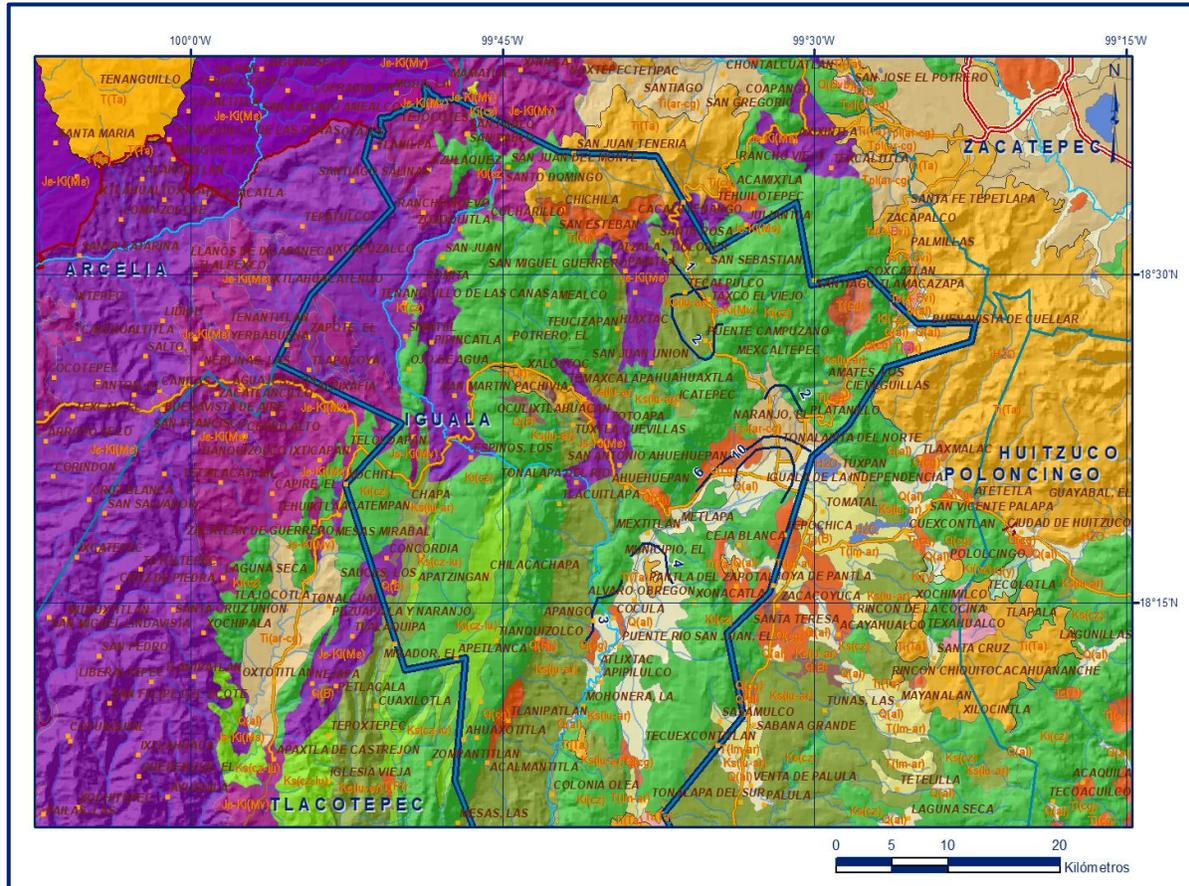


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2005).

5.6. Elevación del nivel estático

Los flujos subterráneos en la región de Iguala, localizados en el área de valle, presentan trayectorias de norte a sur, desde las cercanías del poblado de Taxco con altitudes de 1,300 msnm pasando por el poblado de Iguala con una altitud de 800 msnm para continuar hacia el sur en los alrededores del río Iguala.

En las inmediaciones del poblado de Coacoyula de Álvarez la dirección del flujo es hacia el norte, con origen en las partes topográficamente más altas, donde las elevaciones del nivel estático varían de 700 a 900 msnm. Hacia el sur del valle se identifican las elevaciones menores, con valor de 600 msnm (figura 4). En general se puede afirmar que el flujo subterráneo muestra el reflejo de la topografía

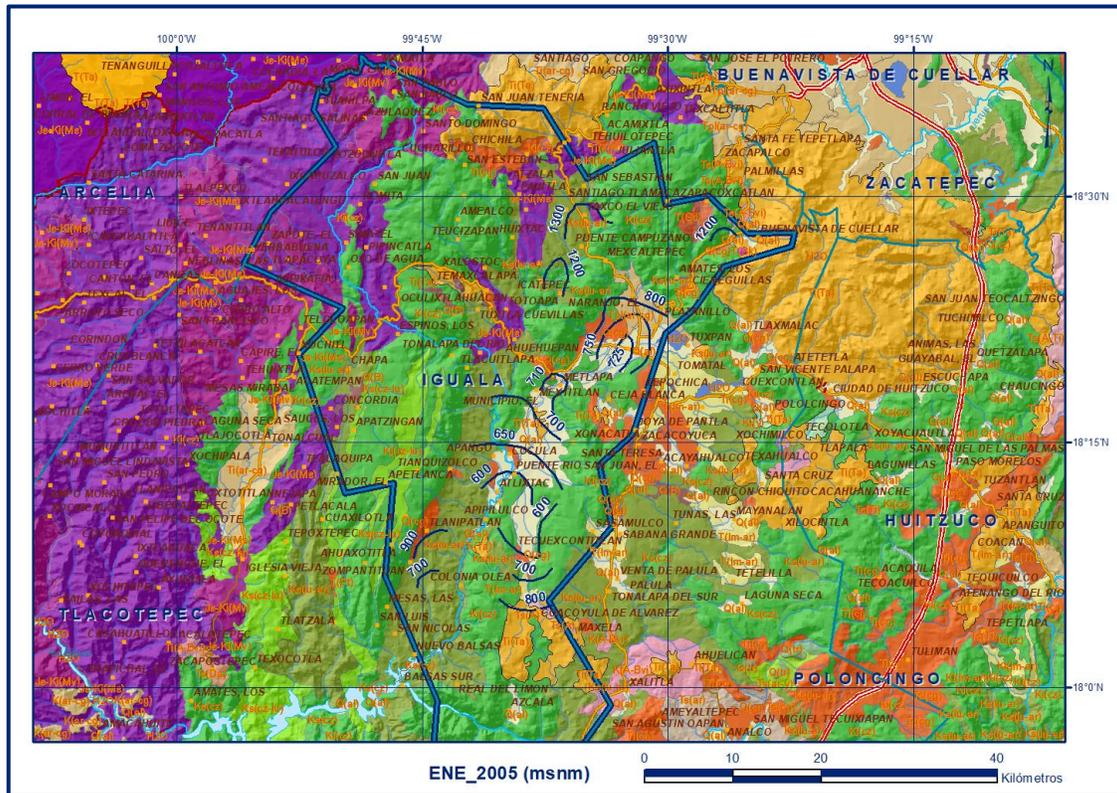


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2005).

Un detalle de la zona aledaña a la ciudad de Iguala, elegida para fines del balance de aguas subterráneas, se muestra en la figura 5, donde se puede observar que el flujo proviene del noreste.

En esta zona se produce la mayor extracción de agua subterránea dentro de toda esta vasta superficie que comprende la cuenca.

Resalta el hecho de que no se han producido distorsiones del flujo subterráneo, el cual continúa su curso normal, paralelo al cauce del río Iguala, para confluir al sur, hacia la parte más baja del valle.

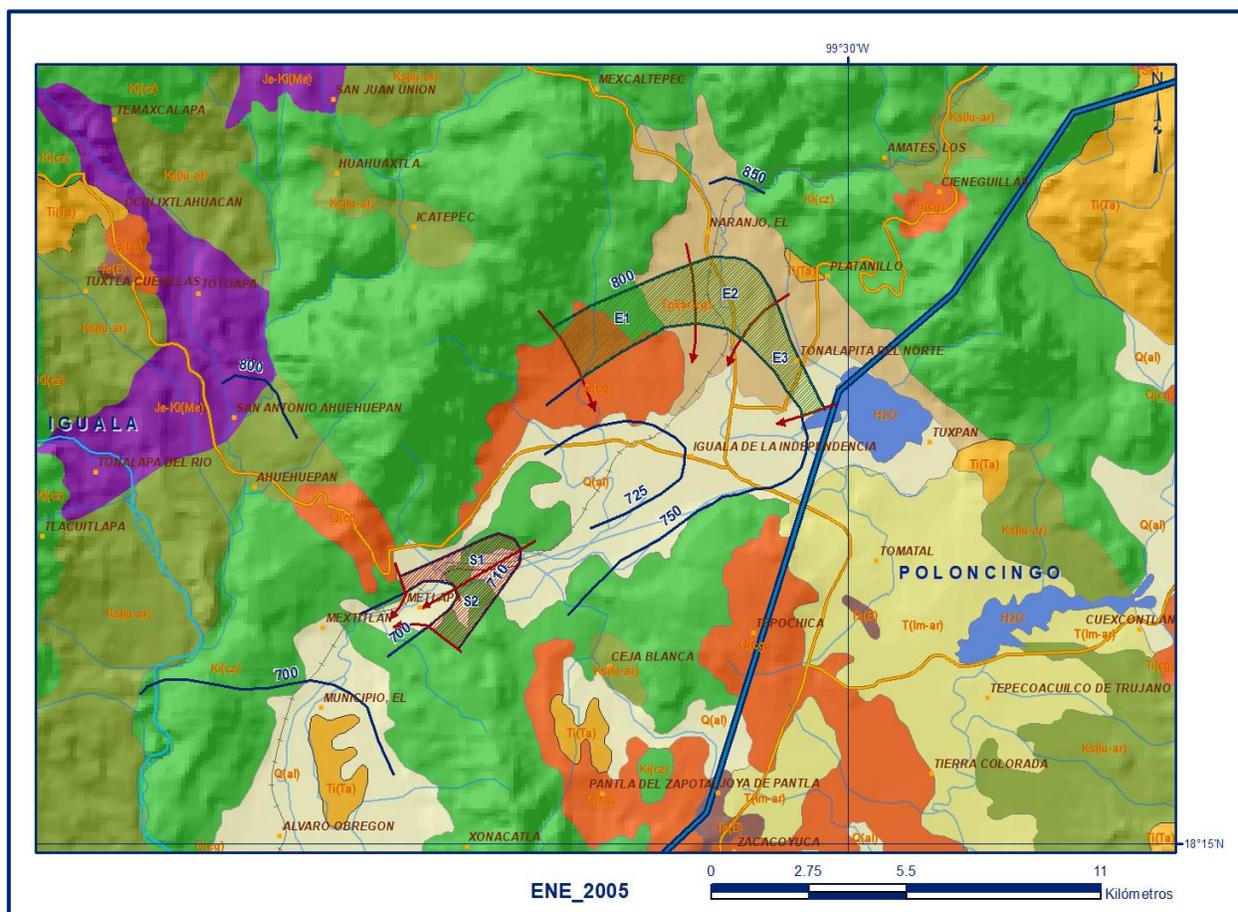


Figura 5. Detalle de la elevación del nivel estático (2005).

5.7. Evolución del nivel estático

La información piezométrica disponible (2004-2006) permite afirmar que los niveles del agua subterránea no registran variaciones importantes en el tiempo y que éstas se deben al efecto periódico de las temporadas de estiaje y lluvias. Los valores de abatimiento son puntuales para la zona urbana de la ciudad de Iguala. En el resto del área las extracciones son incipientes y la recarga es mayor, por lo que no se registran abatimientos.

5.8. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Las muestras de agua realizadas en 33 aprovechamientos (1987) indican que la familia del agua predominante es cálcico-bicarbonatada. En general el promedio de sólidos disueltos de las aguas es de 672 ppm.

La ocurrencia y calidad de las aguas subterráneas en la zona de calizas está en función directa de la continuidad estructural de las calizas, así como de la presencia de los yesos. La presencia de los yesos de la Anhidrita Huitzucó ocasiona que las aguas subterráneas contengan sulfatos.

Para 2005, de acuerdo con mediciones efectuadas en algunos aprovechamientos, la temperatura tiende a incrementarse de 26° C en la periferia hasta 30.5° C en el centro de la población. Los valores del pH en la periferia del Valle de Iguala tuvieron un máximo valor de 9.03 existiendo valores menores a este del orden de 7 a 8.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del último censo de aprovechamientos realizado en la zona, el valor de la extracción asciende a **14 hm³/año**, de los cuales 12.2 (87.1%) se destinan al uso público urbano, 1.3 (9.3%) uso agrícola y los 0.5 hm³/año restantes (3.6%) uso industrial.

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:

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

Debido a la dispersión y escasez de datos piezométricos, se planteó la ecuación de balance para una zona de balance de 60 km², aledaña a la ciudad de Iguala.

La ecuación de balance definida es:

$$\mathbf{Rv + Ri + Eh - Dnp - B - Sh = \Delta V(S)} \quad \mathbf{(1)}$$

Donde:

Rv = Recarga vertical;

Ri = Recarga Inducida;

Eh = Entradas por flujo subterráneo horizontal;

Dnp = Descarga natural profunda;

B = Bombeo;

Sh = Salidas por flujo subterráneo horizontal;

$\Delta V(S)$ = 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:

$$\mathbf{Dnp = Rv + Ri + Eh - B - Sh \pm \Delta V(S) \quad (2)}$$

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).

7.2. 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 (DOF), el 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:

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

Dónde:

C_e= Coeficiente de escurrimiento;

K= Conductividad hidráulica;

P= precipitación media anual en mm;

Se obtiene un coeficiente de escurrimiento de $C_e= 0.15078$

El área considerada es de 2 356 km² y la lámina de precipitación promedio de 1 006.5 mm/año, de la multiplicación de estos dos valores se obtiene el volumen precipitado que es de 2 371.3 hm³/año; al multiplicar este por el coeficiente de escurrimiento se obtiene el volumen de escurrimiento anual, que es de 357.5 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:

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

Dónde:

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 1 006.5 mm; el volumen total precipitado es de 2 371.3 hm³/año. La temperatura promedio anual considerada es de 24.7° C; utilizando la ecuación de Coutagne para calcular la evapotranspiración, se obtiene un valor de 0.769 m/año, que multiplicado por el área total da un volumen evapotranspirado de 1810.8 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:

$$\text{Infiltración} = 2371.3 - 357.5 - 1810.8 = 203.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir este volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es del orden de 2 371.3 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta de 0.086. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 203 hm³/año en los 2 356 km² de superficie del acuífero. Al aplicar el factor de infiltración de 0.086 sobre la porción del valle de 60 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 **5.2 hm³/año**.

7.3. Recarga inducida (Ri)

El acuífero Iguala es explotado principalmente para uso agrícola y público urbano, considerando un coeficiente de infiltración del 10% del volumen extraído (14.0 hm³/año), el volumen anual considerado como retorno de riego e infiltración de agua en la ciudad es de **1.2 hm³/año**.

7.4. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al

acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

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 2005 (figura 4), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

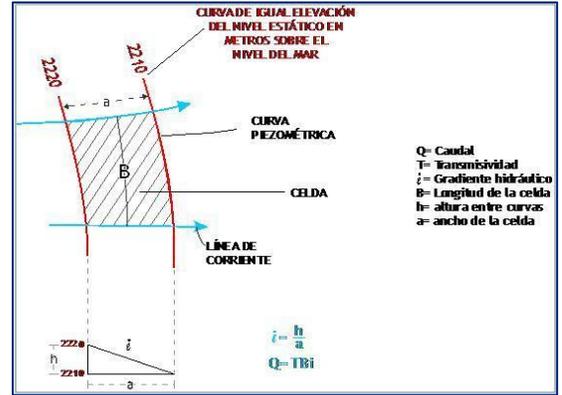
Dónde:

Q = Gasto;

T = Transmisividad;

B = Longitud de la celda;

i = Gradiente Hidráulico;



El volumen de entradas por flujo subterráneo es de **13.4 hm³/año**.

Tabla 2. 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	3700	1300	50	0.03846	0.0011	0.1565	4.9
E2	1850	1800	50	0.02778	0.0011	0.0565	1.8
E3	2900	750	50	0.06667	0.0011	0.2127	6.7
TOTAL							13.4

7.5. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), descargas por flujo subterráneo horizontal (Sh) y por la descarga natural profunda (Dnp). Para la Evapotranspiración (ETR), aunque existen niveles freáticos someros, en algunos puntos dentro de la zona urbana de la ciudad de Iguala, se considera que están cubiertos por la zona urbana; en el resto de la superficie del acuífero se registran valores muy locales inferiores a 10 m de profundidad, asociados al subálveo de los arroyos.

De esta manera, se considera que no existen salidas por evapotranspiración.

7.6. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **14.0 hm³/ año**.

7.7. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir la configuración de elevación del nivel estático de 2005. El valor estimado es de **1.9 hm³ anuales**.

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)
S1	2450	800	10	0.01250	0.0011	0.0337	1.06
S2	2150	880	10	0.01136	0.0011	0.0269	0.85
TOTAL							1.91

7.8. Cambio de almacenamiento ΔV(S)

De la observación de la configuración de elevación del nivel estático para 2005 es posible identificar que la dirección de flujo natural no ha sufrido alteraciones debidas a la concentración del bombeo. Adicionalmente, la información piezométrica para el periodo 2004-2006, permite afirmar que los niveles del agua subterránea no registran variaciones importantes en el tiempo y que éstas se deben al efecto periódico de las temporadas de estiaje y lluvias.

Los valores de abatimiento son puntuales para la zona urbana de la ciudad de Iguala. 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. $\Delta V(S) = 0$

7.9. Descarga natural profunda (Dnp)

La descarga natural profunda se produce en la zona a través de las estribaciones de los flancos montañosos que conforman los pie de monte 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 los largo de los arroyos.

Se considera una descarga porque, a pesar de que recarga al acuífero granular, cuyo volumen se estima como Eh, la otra parte sale de él y recarga 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 **4.1 hm³/año**.

Existen algunos manantiales en los flancos montañosos que delimitan el acuífero, éstos tienen su origen en las calizas que se recargan del 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.

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se procedió a evaluar la descarga natural profunda, a partir de la ecuación (2), como se muestra a continuación:

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

$$D_{np} = 5.2 + 1.4 + 13.4 - 14 - 1.9 - 0.0$$

$$D_{np} = 4.1 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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:

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

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 (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural (R_v y E_h), más la recarga inducida. Por lo tanto, la recarga total media anual calculada es de **20.0 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 de este acuífero, la descarga natural a través de manantiales y flujo base, como ya se mencionó anteriormente, no están relacionadas con el área de balance definida.

Aunque existen salidas por flujo subterráneo, fuera del área de balance, éstas se ubican en una zona distante por lo menos a 40 km del límite con el acuífero Tlacotepec, con el cual se comunica únicamente por medio del estrecho cañón del Río Iguala y tienden a converger hacia el sur del valle. Por lo anterior las salidas subterráneas no se consideran como un volumen comprometido. Por lo tanto, la **DNC = 0.0 hm³/año.**

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 **18,096,921m³ 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 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 20.0 - 0.0 - 18.096921 \\ \text{DMA} &= 1.903079 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **1,903,079m³ anuales.**

9. BIBLIOGRAFIA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, 1987. Estudio Geológico-Estructural y de Prospección Geohidrológica en la zona de Iguala-Cocula, estado de Guerrero, elaborado por la Compañía Exploraciones y Estudios Geológicos, Geotécnicos y Geohidrológicos.