



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO COTIJA (1622), ESTADO DE
MICHOACÁN**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes	2
1.1 Localización	2
1.2 Situación administrativa del acuífero	5
2. ESTUDIOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	6
3. FISIOGRAFÍA.....	7
3.1 Provincia fisiográfica	7
3.2 Clima	8
3.3 Hidrografía.....	9
4. GEOLOGÍA.....	10
4.1 Estratigrafía.....	11
4.2 Geología estructural	15
4.3 Geología del subsuelo.....	15
5. HIDROGEOLOGÍA.....	17
5.1 Tipo de acuífero.....	17
5.2 Parámetros hidráulicos.....	20
5.3 Piezometría.....	21
5.4 Comportamiento hidráulico.....	21
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	21
5.4.2 Elevación del nivel estático	21
5.4.3 Evolución del nivel estático	21
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua	22
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA	24
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	24
7.1 Entradas.....	24
7.1.1 Recarga natural.....	24
7.1.2 Recarga inducida	25
7.1.3 Flujo horizontal.....	25
7.2 Salidas	25
7.2.1 Evapotranspiración (Sev).....	25
7.2.2 Descargas naturales.....	25
7.2.3 Descargas por bombeo.....	25
7.2.4 Flujo subterráneo	25
7.3 Cambio de almacenamiento.....	26
8. DISPONIBILIDAD	27
8.1 Recarga total media anual (R).....	27
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	28
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	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-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 Cotija, definido con la clave 1622 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción oeste del estado de Michoacán, cubriendo una superficie aproximada de 2,198 km². Limita al norte con el acuífero Ciénega de Chapala, al noreste con Zamora, al este con Uruapan y al sur con Apatzingán, pertenecientes al estado de Michoacán; al suroeste con Colomos y al noroeste con Quitupán, pertenecientes al estado de Jalisco (figura 1).

Colinda al norte con los poblados: Los Laureles, Tumbiscatio, Paredones, Coameo, Aquiles Serdán, Los Hucuares, La Cantera, Guarachanillo y al sur con El Pílon, La Soledad y Zirimindiro; al este con Patamban, San Isidro, Charapan, Corupo, San Lorenzo y Nuevo San Juan Parangaricutiro; al oeste con el estado de Jalisco.

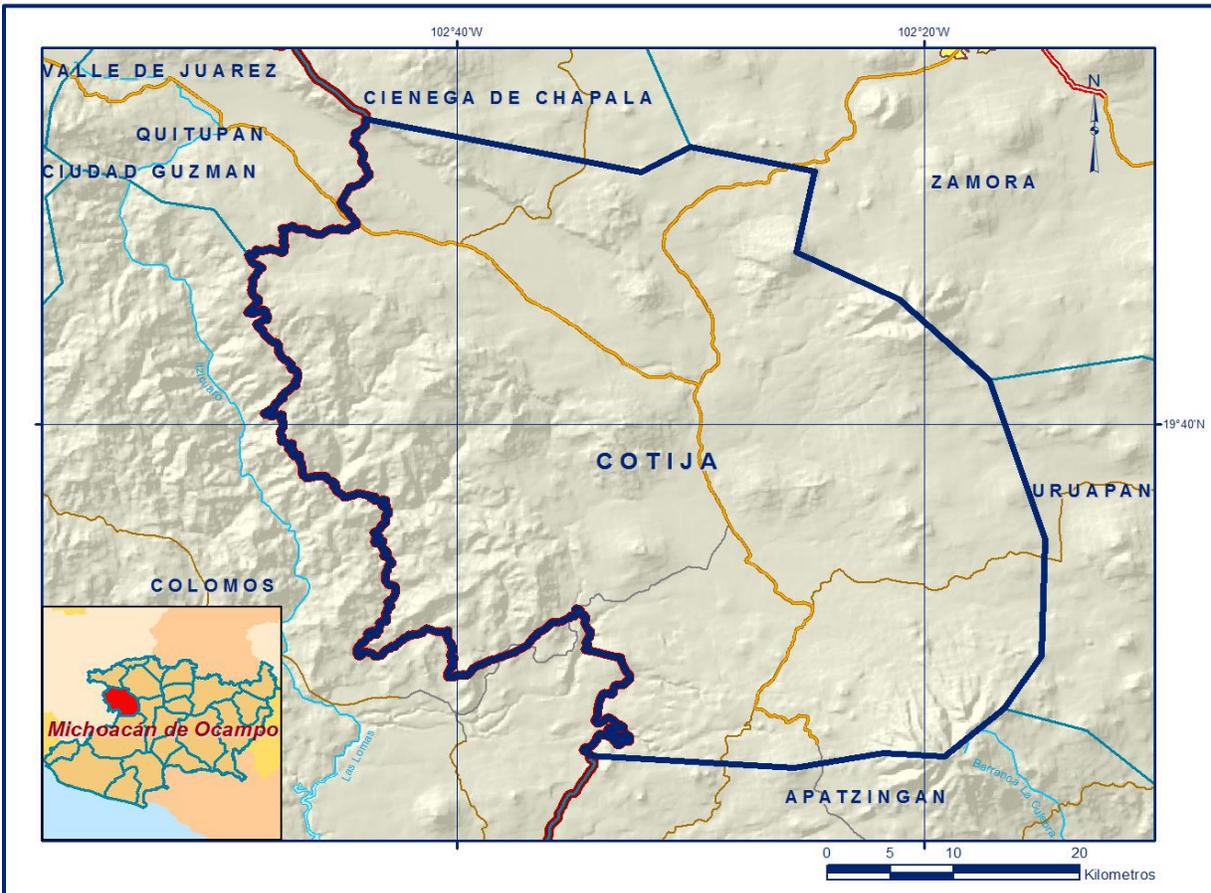


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1 622 COTIJA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	30	0.8	19	52	27.4	
2	102	24	41.3	19	51	23.3	
3	102	25	29.9	19	47	44.7	
4	102	21	6.4	19	45	38.0	
5	102	17	14.0	19	41	58.0	
6	102	14	50.7	19	34	47.8	
7	102	14	59.8	19	29	33.1	
8	102	16	34.7	19	27	9.5	
9	102	19	7.4	19	25	1.3	
10	102	21	45.3	19	25	10.3	
11	102	25	33.7	19	24	29.8	
12	102	34	20.4	19	25	4.5	DEL 12 AL 13 POR EL LIMITE ESTATAL
13	102	48	55.6	19	47	33.7	DEL 13 AL 14 POR EL LIMITE ESTATAL
14	102	43	54.5	19	53	42.9	
15	102	32	8.3	19	51	20.7	
1	102	30	0.8	19	52	27.4	

Los municipios englobados dentro del polígono que cubre el acuífero Cotija, con su respectivo porcentaje de participación son: Cotija 96%, Charapan 15%, Nvo. Parangaricutiro 5%, Periban 100%, Los Reyes 95%, Tancitaro 20%, Tangamandapio 15%, Tangancicuaro 20%, Tingüindin 95%, Tocumbo 100% y Uruapan %. Los principales centros de población que se encuentran dentro del acuífero Cotija son:

Municipio			Poblaciones importantes
Clave	Nombre	No. de habitantes	
019	COTIJA	22,171	Cotija de La Paz y La Magdalena.
068	PERIBAN	18,955	Periban de Ramos y San Fco. Periban.
075	LOS REYES	54,039	Los Reyes de Salgado
091	TINGÜINDIN	12,355	Tingüindin
095	TOCUMBO	12,237	Tocumbo

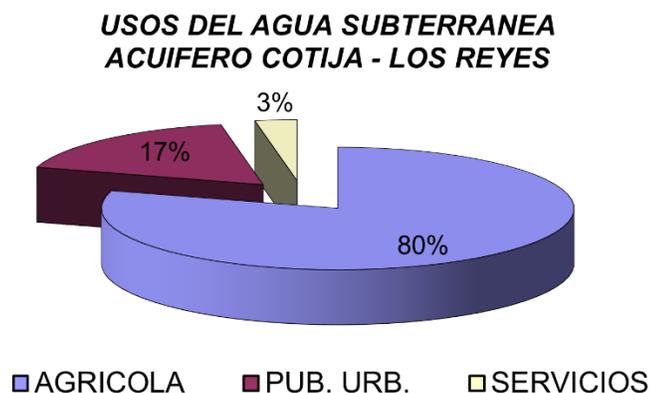
1.2 Situación administrativa del acuífero

Existen 6 decretos de veda en el Estado de Michoacán, el más reciente del 20 de octubre de 1987, en donde se estableció una veda en todo el estado por tiempo indefinido, para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los municipios, aunque se trata de una veda de control que no limita la construcción de nuevos aprovechamientos para todo uso, permitiendo extracciones limitadas para usos doméstico, industrial, de riego y otros.

Hasta la fecha no se ha decretado ninguna zona de reserva de agua para uso específico; en esta zona en particular se tiene la siguiente zona de veda: “Resto del estado”, publicada el 20 de octubre de 1987. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

Los usuarios del agua subterránea no están organizados bajo ninguna figura asociativa dentro de este acuífero. Dentro de la zona de estudio se encuentra el módulo de riego No. I (La Magdalena), del Distrito de Riego 099 “Quitupan La Magdalena”.

El volumen anual concesionado según los registros en el balance hidráulico de este acuífero al 31 de enero de 2000 es de 26.991 Mm³, siendo los principales usuarios, los diferentes productores agrícolas de la región, destacando por el volumen de consumo el ejido Gildardo Magaña. Dentro del uso público urbano los principales usuarios son: los Comités de agua potable de las diferentes comunidades y los Organismos Operadores de los municipios que conforman el acuífero.



2. ESTUDIOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA REGION DE COTIJA, MICHOACÁN. INFORME FINAL. PREPARADO POR GEOCONSUL, GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN; DICIEMBRE DE 1993.

Fisiográficamente la zona se encuentra en el Eje Neovolcánico Transmexicano, en particular dentro del área clasificada como Vulcanismo Michoacano, por la abundancia de aparatos volcánicos de dimensiones relativamente reducidas y de composición básica, y de la subprovincia de Fosas Tectónicas.

Morfológicamente, es una región alta con montañas y valles intermontanos en etapas tempranas a intermedias de madurez erosional. Las elevaciones más importantes son estratovolcanes con cotas hasta de 2500 msnm.

El modelo geológico conceptual para el valle de La Magdalena asume la existencia en el subsuelo de un acuitardo y, de un acuífero comercialmente aprovechable.

El acuitardo está constituido, por un paquete de materiales granulares (gravas, arenas y limos) intercalados con horizontes arcillosos, cuya abundancia tiende a incrementarse hacia la base; su espesor aproximado es de 200 m.

El acuífero está constituido por andesitas y basalto de edad pliocénica, principalmente con algunos derrames de similar composición, pero de edad Cuaternaria, que conforman un paquete integrado por diversas unidades litológicas con un espesor máximo combinado de unos 200 metros.

El agua contenida en este acuífero tiene una pobre comunicación con el agua del acuitardo superior, en el cual hay también algunos acuíferos colgantes. El acuífero de las rocas volcánicas es, por tanto, de tipo semiconfinado y, hacia abajo, parece estar limitado por rocas volcánicas miocénicas de similar composición, pero de menor permeabilidad y transmisividad.

Se consideró que la principal recarga del acuífero proviene de un flujo regional profundo que entra al Valle de La Magdalena por el noreste (Presa de San Juanico) y sale por el sureste (Tocumbo). El volumen de entrada subterránea de agua, resulta ser de casi 205 lps y un mínimo de casi 74 lps.

Hay, además, una recarga lateral proveniente de la infiltración a través de las fallas del graben y de los afloramientos de las rocas volcánicas que conforman el acuífero, que

no pudo cuantificarse pero que se estimó equivalente a un 25% adicional a la recarga profunda.

INFORME SOBRE LAS CONDICIONES GEOHIDROLOGICAS DE LA MESETA TARASCA, ESTADO DE MICHOACÁN. (1987). La superficie de la Meseta Tarasca recibe una precipitación pluvial media anual que varía entre 1000 y 1500 mm.

En general, las condiciones de escurrimiento superficial dentro de la zona varían de un coeficiente de 0 a 20% de la precipitación ya que la permeabilidad del terreno y la densidad de la cubierta vegetal son altas.

Debido a estas buenas condiciones de permeabilidad de gran parte de los materiales que cubren la Meseta, la mayor proporción del agua precipitada en la zona se infiltra y se drena verticalmente hasta llegar a constituir acuíferos o bien hasta manifestarse en forma de manantiales en puntos topográficamente más bajos.

Los manantiales de Zipicha localizados cerca de la población de Nuevo Zirosto, al oeste de la Meseta, se sitúan a una altitud de 1900 msnm y producen un caudal de aproximadamente 110 – 170 litros por segundo, mientras que los manantiales de la Majada localizados aproximadamente a 8 km.

Al oeste de los de Zipicha, se sitúan a una altitud de 1500 msnm y producen un caudal del orden de 2000 litros por segundo.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El área estudiada está localizada en la subprovincia fisiográfica de fosas tectónicas, la cual a su vez integra la provincia denominada Cinturón Volcánico Transmexicano, que atraviesa la República Mexicana de oriente a poniente, con abundantes manifestaciones volcánicas de edad muy reciente. Esta subprovincia fisiográfica es caracterizada por grandes depresiones alargadas con orientación general norte-sur.

La característica tectónica principal del Eje es el alineamiento prácticamente E-W de los principales accidentes estructurales, los cuales han dado origen a cuencas o fosas tectónicas regionales. Así mismo, los fallamientos E-W han sido de tal profundidad que han permitido que cámaras magmáticas profundas extruyan importantes volúmenes de lava, lo que dio origen en el terciario y cuaternario a reiterados procesos de

vulcanismo, siendo uno de los últimos el que originó al Volcán Parícutín en 1943.

3.2 Clima

El clima en la región según clasificación de Köppen modificada para la República Mexicana por E. García, es de tipo semicálido subhúmedo con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.

En la región la temperatura media anual calculada a partir de las estaciones climatológicas, para el periodo 1963-1970 es del orden de los 13° C.

La temporada de lluvias se inicia en el mes de mayo y termina en el mes de octubre, siendo julio el mes con mayor precipitación y febrero y marzo los meses con menor precipitación.

La orografía, los embalses artificiales y los vientos dominantes tienen influencia en las láminas de agua registradas en cada estación (estación Cotija y estación San Ángel), registrándose una lámina media anual de 871.6 mm en los periodos comprendidos entre 1963-1970.

Con el objeto de conocer la distribución de la lluvia en el tiempo se determinó que hay periodos de lluvias abundantes y periodos escasos de lluvias, presentándose en un periodo de 13 años aproximadamente; los años lluviosos dejan láminas de agua próxima de 800 mm, mientras que los años secos la lámina de precipitación se sitúa alrededor de 600 mm.

La evaporación en la zona de estudio está gobernada por el relieve topográfico. La lámina total evaporada sólo tiene efecto en los meses de mayo, junio y julio, ya que los suelos recuperan desde las primeras lluvias su contenido de humedad, debido principalmente a la baja intensidad de la evaporación (menos de 100 mm en 24 horas).

En algunas zonas de los valles se presenta el nivel freático muy somero (0 a 2 metros de profundidad).

Una parte del año, el terreno permanece con escasa vegetación y los suelos se encuentran con una humedad próxima a la capacidad de campo. Esto hace que la evaporación en tales zonas sea el fenómeno principal que se presenta en los meses más críticos antes mencionados.

La evapotranspiración potencial media anual para la cuenca de La Magdalena resultó ser de 1,639 mm.

3.3 Hidrografía

Forma parte de la cuenca del Río Tepalcatepec y de la subcuenca del Río Itzícuar, estando integrada en la región Hidrológica N° 18 Río Balsas. Dentro de la cuenca existen corrientes importantes como es el río Cotija, el cual tiene una cuenca de 258.8 km² y se origina con los escurrimientos que descienden del cerro Los Cigarros, desde una elevación aproximada de 2150 msnm. Este río vierte sus aguas a la Presa San Juanico, cuyos excedentes son derivados al Río Tarecuato mediante un dren de 23 km de longitud denominado dren de Tocumbo.

La Presa San Juanico, es un embalse importante dentro de este acuífero; beneficia a 3,400 hectáreas del distrito de riego 099 Quitupan – La Magdalena. El bordo tiene una longitud de 1.2 km, con un ancho de corona de 4 m y un ancho de la base de 20 m. Cuenta con un vertedor de demasías con capacidad de 8 m³/s, el cual descarga su caudal al dren Tocumbo. Tiene dos obras de toma al lado del vertedor; la norte tiene una capacidad de 2.5 m³/s y la sur de 2.3 m³/s. La capacidad nominal del vaso es de 63 Mm³ de los cuales 30 son para almacenamiento, 30 para azolves y 3 para regulación.

3.4 Geomorfología

En lo que se refiere a la geomorfología, en la zona se observan dos etapas: en los valles una etapa geomórfica de madurez temprana, y en las áreas que los bordean, etapas de juventud temprana y tardía.

En la zona de Cotija el desnivel regional tiene una dirección NW-SE, que es la dirección de los principales drenes superficiales y escurrimientos, encontrándose por ejemplo el Valle de la Magdalena a una elevación media de 1600 msnm; el paisaje semiplano de este valle se ve interrumpido por algunos conos cineríticos como el Cerro de Tingüindin, que en algunas ocasiones modifican el paisaje y desvían las corrientes superficiales.

Todas las emanaciones volcánicas son de composición intermedia y básica, representada por andesitas basálticas, basaltos y depósitos piroclásticos de la misma composición, todos estos materiales cubiertos por una gruesa capa de suelo residual producto del intemperismo en las rocas antes mencionadas; una de las características

más sobresalientes de estas rocas es que ocurren en formas de derrames lávicos y depósitos pseudoestratificados todos de color gris claro, tornándose a negro, totalmente fracturado y poco alterado a excepción de los depósitos piroclásticos. (Extraído de: estudio geohidrológico de la región de Cotija, Michoacán. Informe final. Preparado por Geoconsul, gobierno del estado de Michoacán; diciembre de 1993.)

4. GEOLOGÍA

La geología general que aflora en la zona que comprende el acuífero está constituida por rocas ígneas, sedimentarias y depósitos aluviales, cuya distribución geográfica se muestra en la figura 2.

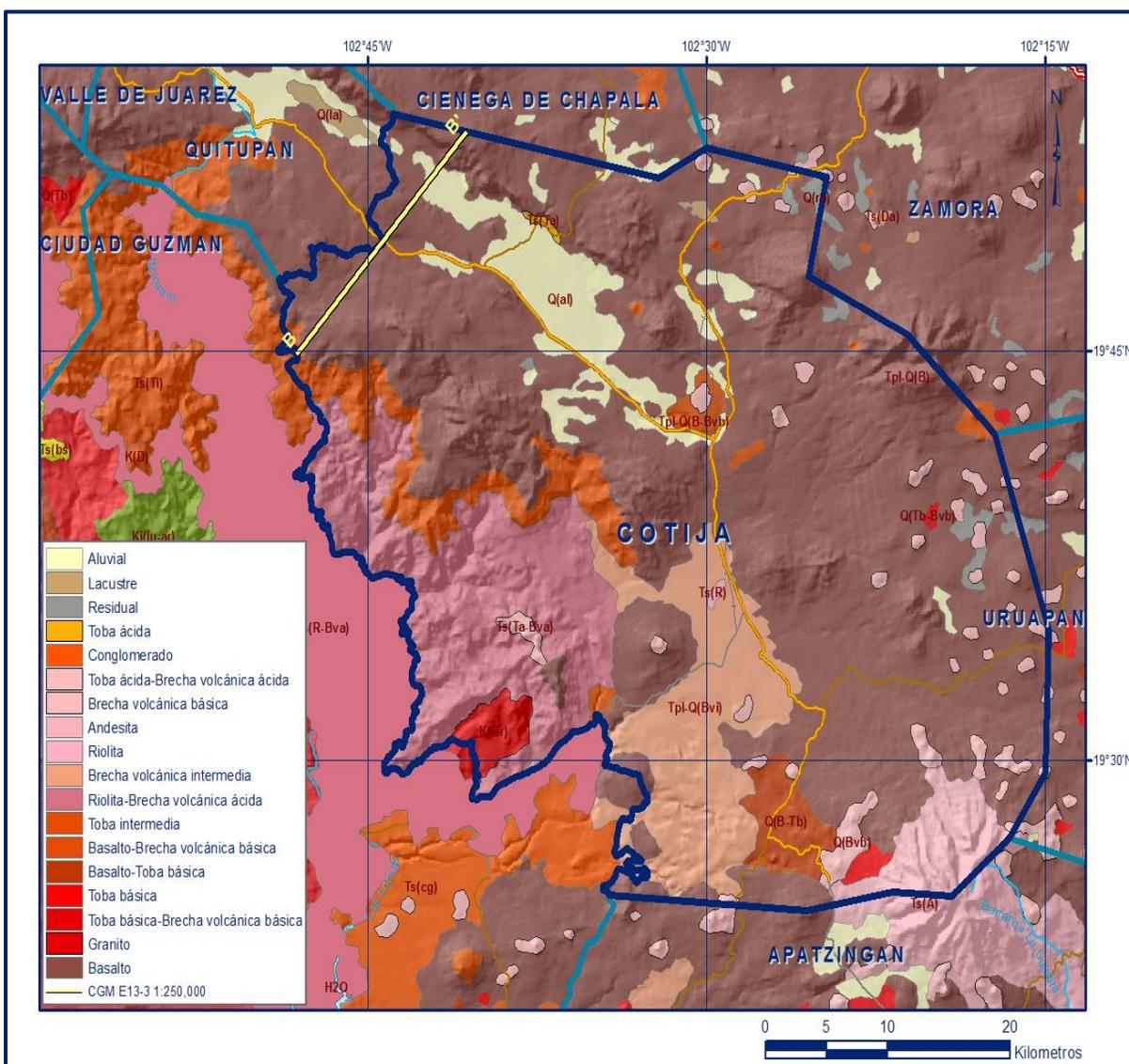


Figura 2. Geología del acuífero

4.1 Estratigrafía

Desde el punto de vista estratigráfico, la zona está constituida por una sucesión de rocas sedimentarias del Mioceno Temprano, así como una serie de manifestaciones asociadas al vulcanismo. También, es posible observar los productos de intemperismo de las rocas volcánicas, en ocasiones, dando origen a materiales vulcanoclásticos, con una distribución de regular amplitud en la zona. Así mismo, se localizan rocas de origen piroclástico cuyo depósito se realizó en cuencas continentales (lacustres).

Complejo Volcánico

En este grupo se incluyen las manifestaciones litológicas que son resultado del vulcanismo y los fenómenos comúnmente asociados.

Los grupos litológicos así formados se derivan de: Fenómenos piroclásticos, derrames de composición intermedia, explosiones volcánicas de tipo nubes ardientes, vulcanismo asociado a sedimentación y emanaciones básicas.

La exposición de las unidades litológicas producidas por estos fenómenos será de acuerdo a la posición estratigráfica relativa observada en el terreno, principiando con la más antigua para finalizar con la más reciente.

Toba Andesítica (Tta)

Esta unidad se encuentra en la base de la columna estratigráfica volcánica del Terciario. Cubre discordantemente a las calizas del Cretácico y forma el sostén de los eventos subsecuentes.

Las tobas andesíticas se presentan en una estratificación extremadamente burda, no presenta horizontes bien definidos.

Su estructura es frecuentemente deleznable, con una textura piroclástica definida y ocasionalmente llega a contener algunos fragmentos de cuarzo, sus constituyentes normales son de tipo andesítico como: fragmentos de roca con textura microlítica, plagiclasas medias (andesinas, oligoclasa) así como ceniza volcánica y vidrio también de composición media con alteraciones a sericita y minerales arcillosos.

La expresión fisiográfica de esta unidad es en forma de lomas de baja altura con intemperismo fuerte que se refleja en redondamientos suaves de esas lomas.

No se encontró el contacto superior de esta unidad, por correlación en áreas vecinas, se infiere que subyace a derrames andesíticos.

Andesitas (Tva)

Por correlación, esta unidad sobreyace estratigráficamente a las tobas andesíticas. Estas unidades representan las extrusiones lávicas del Terciario Medio; la composición de ellas es de tipo esencialmente andesítico. En localidades muy restringidas aumenta el contenido de sílice o bien de potasio contenido a estas rocas en dacitas traquiandecitas (latitas) respectivamente.

En general las andesitas presentan un color gris oscuro, verdoso y rojizo en ocasiones con vetillas. La estructura de estas rocas en sus afloramientos varían entre derrames y conos volcánicos bastante erosionados; son rocas compactas con textura porfídica generalmente microlítica y cuyos constituyentes esenciales son plagiclasas de composición media (andesina-oligoclasa), ocasionalmente con cuarzo y sandino y con diversos ferromagnesianos como accesorios comunes, que pueden ser: augita, el más común o bien hornblenda, pigeonita o lamprobolita y generalmente magnetita con alteraciones arcillosas y oxidaciones a hematita y limonita.

Las andesitas presentan una expresión topográfica en forma de lomas y montañas de elevación media con topografía generalmente abrupta. Los afloramientos de las unidades andesíticas normalmente ocurren en grandes extensiones aun cuando es posible observarlas en pequeños cuerpos con las características mencionadas: ellos se presentan ampliamente distribuidos en la zona.

Ignimbrita (TIG)

Posteriormente el vulcanismo de tipo andesítico del Terciario Medio existió un periodo de explosiones volcánicas de tipo peleano que dieron origen a algunas acumulaciones de ignimbritas. Estas unidades descansan sobre las rocas anteriormente descritas; esto pudo observarse al noroeste de la zona.

Las ignimbritas son rocas generalmente de colores claros con tintes que varían de rosados a pardos.

La estructura que presentan estas rocas es muy compacta con una textura de tipo piroclástico y una composición esencialmente vítrea de tipo ácida parcialmente

desvitrificado.

Dentro del vidrio se presentan fragmentos más o menos angulosos de cuarzo, líticos volcánicos y feldespatos (andesina, oligoclasa y sanidino): en forma accesoria es posible determinar fragmentos de biotita y muy ocasionalmente hornblenda. En general, acusan una alteración más o menos conspicua a minerales arcillosos pertenecientes probablemente al grupo del caolín.

Desde el punto de vista estratigráfico, constituye la última unidad piroclástica del Terciario y precede a su vez al vulcanismo reciente.

Arenisca y Conglomerados (TAC)

En la región existe una unidad de origen sedimentario-continental con influencia volcánica. A fines del Terciario y a principios del Cuaternario se formaron abundantes cuencas de subsidencia en áreas continentales dando lugar a acumulaciones lacustres vulcano-sedimentarias. Estas rocas son características del terciario volcánico mexicano; sin embargo, su edad relativa no es precisa puesto que alternan con el vulcanismo peleano descrito anteriormente

Este fenómeno volcánico se sucede durante casi todo el Terciario en las áreas continentales del país, sobre todo en las de dominio ignimbrítico; por tanto, es difícil precisar estrictamente su posición estratigráfica y sólo se les puede situar posteriormente a las ignimbritas porque existen o constituyen conglomerados arenosos.

Por otra parte, por su semejanza litológica con la formación Cuernavaca y por la relativa posición estratigráfica descrita, se considera que esta formación debe tener una edad Plioceno-Pleistoceno.

Las areniscas y conglomerados se depositaron como relleno de los valles de los ríos y en ocasiones forman terrazas. En general presentan estratificación poco definida y su límite superior es siempre horizontal. Esta unidad presenta coloraciones que varían de pardos a grises; cuentan con una estructura semicompacta y una textura epiclástica con variaciones psefíticas, psanmíticas y pelíticas.

Sus componentes la forman fragmentos de andesitas, dacitas, ignimbritas, así como minerales aislados tales como feldespatos (andesina, oligoclasa y sandino) y ferromagnesianos (hornblenda y augita). Los líticos varían en tamaño desde arenas

hasta conglomerados en tanto que los minerales aislados son arenosos.

Este material se encuentra aglutinado por un agregado de cenizas volcánicas y ním, arcillosos.

Esta unidad está cubierta por las últimas extravaciones volcánicas del pleistoceno y reciente. Los principales afloramientos de los conglomerados y areniscas se han localizado en las cercanías de Cotija de La Paz y en los Limones, y en las proximidades de Los Reyes, en el Estado de Michoacán

Basaltos Andesíticos (Qban)

Como última muestra del vulcanismo terciario y cuaternario se tienen una serie de derrames de rocas básicas pertenecientes al pleistoceno y al reciente; una muestra de esto se tiene en el volcán Parícutín formado hace aproximadamente 40 años y que se encuentra en la vecindad inmediata de la zona en referencia.

Las unidades de este tipo se presentan con una fisiografía local bastante abrupta; forman conos volcánicos y coladas de lava en ocasiones con cantiles definidos. En general, son rocas de color gris oscuro con tintes pardo rojizo por oxidación.

Presentan una estructura compacta, a menudo vesicular, con una textura microlítica y su composición es esencialmente de plagiclasas en sus variedades básicas e intermedias; esto último permite el calificativo de andesítico a este tipo de basaltos; además, contiene abundantes ferromagnesianos como augita, pigeonita, y a menudo olivino.

Asimismo, contienen con frecuencia abundantes cristales de magnetita diseminada. El basalto andesítico que por lo anteriormente expuesto pertenece estratigráficamente al cuaternario, es el grupo de rocas más ampliamente distribuido en la zona ya sea en su variedad de basaltos andesíticos de olivino o de basalto andesítico de piroxena.

Aluvión (Qal)

Finalmente, los depósitos de aluvión se restringen a los valles intermontanos presentes en la zona, y representan los últimos fenómenos geológicos que son originados por el intemperismo, erosión, transporte y depósito en áreas aluviales de la región. La repartición geográfica de los depósitos aluviales es muy extensa. Las áreas

que lo contienen son aprovechadas para desarrollar la agricultura.

La composición litológica del aluvión es muy variada ya que están constituidos por gravas, arenas y arcillas con un espesor más o menos limitado. En las gravas y arenas están representados la generalidad de las rocas previamente formadas en la región.

4.2 Geología estructural

Esta región forma parte de dos grandes accidentes estructurales comprendidos en el territorio Nacional; al norte, se tiene el “Eje Neovolcánico” al sur la Sierra Madre del Sur.

El sistema llamado Eje Neovolcánico presenta un rumbo NW-SE, y es muy evidente en la porción oriente y sur de la zona. Sus estructuras se han considerado como grandes fallas que provocaron depresiones con bloques basculados hacia el sudoeste.

El sistema llamado Sierra Madre del Sur, presenta una dirección NE-SW, observándose sobre todo en la porción noroeste de la zona, encontrándose sus fallas interceptando al vulcanismo cuaternario básico; por esta razón las estructuras deben tener una edad pleistocénica.

En algunas partes al sudoeste del área, se observa un fracturamiento con la misma dirección que afecta a rocas de composición andesítica y de edad miocénica.

En general, todas las fallas son de tipo normal, lo que implica que, al menos desde el Plioceno, y probablemente desde antes, la zona ha estado sujeta a esfuerzos de tipo distensivo.

Ello hace que el potencial hidrológico de las rocas del subsuelo se incremente, pudiendo existir suficientes fracturas abiertas en las rocas, sobre todo en la edad pliocénica, como para que puedan actuar como acuíferos.

4.3 Geología del subsuelo

Pozo: “EL LOBO” MPIO.: COTIJA Coordenadas: Latitud Norte 19° 47' 27" Longitud Oeste: 102° 48' 08" N. E.: 16.0 m.	POZO: “EL MOLINO” MPIO.: COTIJA Coordenadas: Latitud Norte: 19° 48' 35" Longitud Oeste: 102° 43' 11" ELEVACION: 1660 msnm	POZO: RCHO. PARAMBEN MPIO.: PERIBAN Coordenadas: Latitud Norte: 19° 29' 47" Longitud Oeste: 102° 25' 40" ELEVACION: 1,700 msnm
---	--	---

Prof. (m) DE A	DESCRIPCION	Prof. (m) DE A	DESCRIPCION	Prof. (m) DE A	DESCRIPCIÓN
0 - 2	arcilla de color negro de origen arable	0 - 2	suelo arable areno-arcilloso.	0 - 1	arena.
2 - 10	arcilla de color verdoso de origen tobáceo.		colada lávica muy compacta.	1 - 3	arcilla.
10 - 16	horizonte arenoso de composición cuarzosa.	2 - 9		3 - 12	escoria
16 - 23	arenas y gravas de composición cuarzosa la primera y basáltica la segunda, empacadas en arcilla.	9 - 93	material piroclástico (gravas y arenas).	12 - 108	basalto.
23 - 40	arcilla de color gris de composición tobácea.	93 - ?	material piroclástico (gravas y arenas).	108 - ?	tobas.
40 - 53	arcilla de color verdoso de origen tobáceo.				
53 - 58	horizonte arenoso de composición lítica y cuarzosa.				
58 - 67	arcilla de color verdoso de origen tobáceo.				

POZO: EL PINO (EJ. TACATZCUARO) MPIO.: TINGÜINDIN Coordenadas: Latitud Norte: 19° 47' 35" Longitud Oeste: 102° 34' 03" N. E. : 8.7 m.		POZO: RCO. LOS COMPADRES, (URUSCATO) MPIO.: LOS REYES Coordenadas: Latitud Norte: 19° 37' 26" Longitud Oeste: 102° 23' 58" ELEVACION: 1,806 msnm		POZO: "LA MAJADA" MPIO.: PERIBAN Coordenadas: Latitud Norte: 19° 24' 14" Longitud Oeste: 102° 27' 53" N. E. : 74.0 m.	
Prof. (m) DE A	DESCRIPCIÓN	Prof. (m) DE A	DESCRIPCION	Prof. (m) DE A	DESCRIPCIÓN
0 - 18	arcilla aluvial.	0 - 2	relleno	0 - 3	tierra vegetal.
18 - 34	boleos basálticos empacados en arcilla	2 - 3	gravas	3 - 13	arcilla roja.
				13 - 18	conglomerado.

34 – 62	gravas y arenas en matriz arcillosa.	3 – 8	roca ígnea	18 – 24	boleo y grava.
62–102	arenas empacadas en arcilla.		arenas	24 – 34	basalto.
102–134	coladas de lava basáltica fracturadas con intercalaciones de horizontes arcillosos.	8 – 9	gravas	34 – 52	boleo.
134 – 186	coladas de lava basáltica fracturadas con poca alteración.	9 – 21	basalto masivo	52 – 62	tepetate y piedra.
186 – 200	gravas y arenas en matriz arcillosa.	21 – 33	gravas	62 – 75	boleo grueso.
		33 - 102	basalto masivo	75 – 95	basalto fracturado.
		102 -?		95 – 117	conglomerado.
				117 – 138	barro arenoso.
				138 – 150	conglomerado.
				150 – 153	boleo.
				153 153 – 168	basalto fracturado.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Los valles de la porción norte de esta región, todos son semejantes, ya que están formados por rocas basálticas que los limitan lateralmente y están rellenos por areniscas y conglomerados de tipo fluvial y lacustre, hacia el norte.

Estas pequeñas lagunas se abastecen de manantiales cuya recarga proviene de los grandes afloramientos basálticos de la Meseta Tarasca, la cual ocupa la porción noroccidental del área, en esa zona, la precipitación es favorable y la permeabilidad buena, por lo cual, la infiltración del agua de lluvia se efectúa en forma abundante, sin embargo, la gran elevación topográfica del área evita que se formen acuíferos importantes a profundidades favorables, pues el agua desciende hasta encontrar en la base de la meseta niveles de saturación que la obligan a brotar en forma de manantiales como los de Zirosto y san Francisco Peribán.

En las partes altas se forman únicamente acuíferos colgados, los cuales son debidos a la intercalación de materiales volcánicos permeables con ocasionales depósitos lacustres arcillosos. Estos acuíferos son en general de baja producción y difíciles de localizar en el subsuelo, pues están controlados por estructuras falladas muy complejas.

Por la parte central de la Hoja de Los Reyes, cruzando de NW a SE, existe una franja en la que se observa una depresión topográfica, la cual es el reflejo de una estructura geológica fallada en forma de graben, localizándose en su extremo norte la población de Lázaro Cárdenas y en su extremo sur la de Tocumbo.

En esta gran depresión, se encuentran también la Presa de San Juanico y la Laguna de Guadalupe. Los valles que se forman en esta zona, están también rellenos por sedimentos fluviales y lacustres de edad terciaria parcialmente cubiertos por aluviones y suelos residuales.

Las laderas de los valles, así como su fondo están formados por tobas andesíticas deleznable sobre los que descansan rocas andesíticas que forman estructuras volcánicas de forma cónica, las cuales geohidrológicamente sólo tienen importancia desde el punto de vista de constituir zonas de recarga pues ocupan partes altas.

También se observan en esta zona afloramientos de rocas basálticas, aunque su proporción respecto a las tobas y derrames andesíticos es pequeña. Esta zona presenta características geohidrológicas favorables pues cuenta con una recarga abundante proveniente de ambas laderas del valle y con el aporte de agua de manantiales.

Las tobas andesíticas y los suelos residuales formados a partir de ellas son sólo medianamente permeables, sin embargo, se encuentran saturados uniformemente y se consideran un buen acuífero, explotable tal vez a una profundidad no mayor de 50 m, aunque de baja producción. De los datos de los sondeos eléctricos que se recopilaron, proceden de diversas fuentes, tales como trabajos encargados por la CNA, la SDAF y la extinta SARH y por particulares, se tiene la siguiente interpretación:

La clasificación hidrológica dada a los tipos de rocas en la región indica que superficialmente sólo los materiales granulares, como boleos, arenas y gravas (todos ellos en diferentes graduaciones y combinaciones), son factibles de contener verdaderos acuíferos, aunque en los valles los espesores de tales materiales no parecen rebasar los 50 m. Por otro lado, las formaciones arcillosas son, como se sabe, prácticamente impermeables.

Con la experiencia obtenida con los pozos realizados, el acuífero explotable con pozos se aloja principalmente en materiales basálticos pliocuaternarios y los productos asociados a ellos, los que muestran alternancias de depósitos y efectos de requiebramiento como productos de la actividad de fallas geológicas.

Haciendo las siguientes consideraciones, inmediatamente debajo de la superficie, se

encuentra un paquete de sedimentos compuestos por materiales granulares intercalados con horizontes arcillosos, según se infiere en la interpretación de los datos de los sondeos eléctricos verticales.

En general la arcilla tiende a predominar en la mitad inferior de este paquete, clasificado como *Qal*, al cual se le estimó un espesor variable, pero en general inferior a los 200 metros. Desde el punto de vista hidrológico, este paquete de sedimentos puede constituir, como de hecho lo hace, diversos acuíferos en los materiales granulares, con niveles freáticos de profundidad variable, pero en general someros.

La presencia de los horizontes arcillosos aísla probablemente a muchos de tales acuíferos, por lo que deben existir algunos acuíferos colgantes, confinados o semiconfinados, que explican algunos fenómenos de artesianismo observados sobre todo en las márgenes del Valle de La Magdalena.

Ninguno de tales acuíferos someros parece ser explotable a gran escala con objetivos de riego, por lo que, para efectos de modelado, y considerando como un todo, se asumió que presenta una porosidad y permeabilidad de media a baja que, en su conjunto, lo clasifican como un acuitardo, comunicado sólo parcialmente con el acuífero más profundo. Subyaciendo al paquete mencionado, se encuentran diversos derrames de lavas andesíticas y basálticas, tanto de edad cuaternaria como pliocénica, que, de acuerdo con las características reseñadas, pueden constituir importantes acuíferos.

Los derrames cuaternarios son más bien cortos y de espesor variable, mientras que los pliocénicos parecen presentarse más extendidos y con un espesor algo más homogéneo. Por lo tanto, para efectos del modelado, se consideró que el acuífero del subsuelo estaba constituido por las diversas unidades volcánicas del Plioceno, cuyo espesor, aunque también es variable, se estimó en un promedio de 200 metros.

Como base del acuífero, se consideró a las diversas unidades volcánicas del Mioceno que afloran en los alrededores y que subyacen a profundidad a las rocas volcánicas pliocénicas.

Aunque se trata de rocas muy similares las observaciones reportadas indican una porosidad y permeabilidad menores que las de las rocas pliocénicas, por lo que para efectos del modelo conceptual se asumieron como impermeables.

Bajo tales consideraciones, el acuífero a modelar tendría un espesor explotable de aproximadamente 200 metros, estando limitado hacia abajo por las andesitas y basaltos miocénicos.

5.2 Parámetros hidráulicos

El área superficial del acuífero se definió dentro de un mosaico de cartas del INEGI (escala 1:50,000), del cual, con planímetro se obtuvieron dos tipos de áreas:

Área alta o de recarga con 1,864.33 km² y área bajo o de acumulación con 552.76 km², sumando para un área total de 2,417.09 km².

Mediciones directas de coeficiente de transmisividad y almacenamiento, o de porosidad y permeabilidad, no estuvieron contempladas en este estudio. Ambos parámetros son esenciales para la estimación aproximada tanto de la cantidad de agua almacenada, como para calcular velocidad de su migración subterránea. La consulta de fuentes ajenas a este proyecto resultó obligada.

En un estudio muy completo sobre el panorama general de las aguas subterráneas en el Estado de Michoacán, se encontró en el capítulo correspondiente a pruebas de bombeo realizadas en los valles de Tangancícuaro y de Zamora, que las transmisividades estimadas varían entre 9.0×10^{-3} y 4.4×10^{-2} m²/s para el primero, y entre 3.6×10^{-5} y 2.4×10^{-3} m²/s para el segundo.

De aquí se pueden obtener dos promedios: uno bajo promediando todos los datos y que vale $T_1 = 1.6 \times 10^{-2}$ m²/s; y otro alto resultante de promediar sólo los valores altos y que es igual a $T_2 = 2.7 \times 10^{-2}$ m²/s.

Por su parte, el coeficiente de almacenamiento se obtuvo mediante cálculos con datos de tablas. La compresibilidad del agua fría es $\beta = 4.4 \times 10^{-5}$ bar⁻¹. La compresibilidad de la roca es en promedio igual a $\alpha = 1.0 \times 10^{-4}$ bar⁻¹.

Considerando una porosidad del 10%, es posible estimar un coeficiente de almacenamiento definido por:

$$S_s = 1000 \times g (\alpha + \phi \beta) = 9800 \times (1.0 \times 10^{-4} + 0.1 \times 4.4 \times 10^{-5}) = \mathbf{10.2312 \times 10^{-6} m^{-1}}$$

El coeficiente de almacenamiento es igual al valor anterior multiplicado por el espesor del acuífero, que, como se mencionó antes, se estimó en 200 metros; así:

$$S = S_s \times 200 \text{ m} = 2.04624 \times 10^{-3}$$

5.3 Piezometría

De la información existente, se cuenta con una tabla de registro de aprovechamientos de agua en la cuenca de La Magdalena realizado en 1992, con 38 aprovechamientos subterráneos diseminados en toda la zona de interés, que en su mayoría han sido nivelados para acotar sus brocales.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad del nivel estático en la cuenca de La Magdalena, permite establecer que, en la porción noroeste del valle, entre los poblados de Vista Hermosa, Los Zapotes, El Potrero y Rubén Romero, el nivel se encuentra muy somero, con profundidades de 1.0 m hasta reportándose artesianismo en esta zona, lo que da indicios de un acuífero semiconfinado.

En la porción sureste del valle los niveles en los pozos se presentan más profundos, del orden de 12.5 m, 20 a 35 m y 57 m, por lo que es evidente que en esta porción que comprende los poblados de Tacátzcuaro y Santa Inés, no se presentan fenómenos de artesianismo.

5.4.2 Elevación del nivel estático

Para la cuenca de La Magdalena se contó con 16 datos piezométricos distribuidos en la periferia del valle, pero no se pudo elaborar ninguna configuración de niveles dada la distribución de los pozos y los valores de los niveles.

En la porción noroeste los niveles tienen una cota de los 1597 a 1599 msnm, mientras que en la porción sureste van de los 1570 a los 1586 msnm. Lo que permite establecer un flujo subterráneo con dirección NW-SE, es decir, de la presa San Juanico hacia Tocumbo.

5.4.3 Evolución del nivel estático

No se cuenta con información histórica para determinar cómo han ido evolucionando los niveles del agua, sólo se cuenta con datos aislados de estudios que han hecho los usuarios del agua subterránea.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua

Los sólidos totales disueltos corresponden a la suma de elementos que el agua ha incorporado en solución en su trayectoria.

Las concentraciones más bajas correspondientes a 150 partes por millón de sólidos disueltos, es común encontrarlos en esta región y son debido a que las elevaciones topográficas constituyen zonas de recarga a través de las cuales parte del agua de lluvia se infiltra al subsuelo.

Los materiales permeables que constituyen dichas elevaciones topográficas, corresponden principalmente a derrames lávicos y piroclásticos de composición basáltica, a través de los cuales fluye el agua a velocidades altas.

Los materiales basálticos presentan una alta resistencia a la disolución por el agua circulante, razón por la cual las concentraciones encontradas en el agua que circula a través de estos materiales son por lo general baja.

Al pie del cerro Magdalena al noreste del poblado de Tingüindín, así como alrededor de los cerros Los Cuates y La Chuparrosa localizados en la porción noroccidental del área, es donde se encuentran las concentraciones más bajas de sólidos totales disueltos en el agua correspondientes a valores menores de 200 ppm.

Al norte de Cotija de la Paz, se encontraron concentraciones salinas ligeramente menores de 200 ppm de donde se deduce que esta región se encuentra cercana al área de recarga de aguas subterráneas. En las elevaciones topográficas ubicadas al este de Cotija de la Paz, se muestrearon y analizaron algunos aprovechamientos que presentan concentraciones salinas que varían de 167 a 425 ppm.

Las concentraciones bajas corresponden a agua de lluvia de reciente infiltración recargada en las zonas altas topográficas, mientras que el valor mayor el cual alcanza 425 ppm se ubica dentro de los materiales clásticos que constituyen la planicie en donde el agua tiene mayor facilidad de disolver sales e incrementar su contenido salino.

En las concentraciones de los pozos ubicados entre Los Reyes de Salgado y Peribán, el agua presenta bajas concentraciones salinas debido a que circulan a través de

materiales volcánicos o productos de erosión de ellos, los cuales no presentan sales de fácil disolución, evitando que el agua subterránea incremente su contenido salino.

En las concentraciones mencionadas anteriormente se observa que los valores más bajos se ubican en las cercanías de Peribán, se incrementa ligeramente rumbo al este, de donde se deduce que el agua se infiltra en las elevaciones topográficas ubicadas en la porción nororiental y circula rumbo al oeste.

Se denomina familia de agua a la composición química representada por el principal catión y el principal anión en solución.

Se observa que en la mayor parte de las zonas con aprovechamientos el agua pertenece a la familia magnesiana –bicarbonatada, debido a que fluye a través de materiales basálticos y andesíticos o de productos de erosión de los mismos. Estas rocas están constituidas por minerales que contienen magnesio, elemento que es disuelto por el agua e incorporado en solución.

Por otra parte, el predominio del bicarbonato respecto a los aniones, es debido a la incorporación del bióxido de carbono al agua, lo cual forma ácido carbónico que a su vez se disocia en bicarbonatos e hidrógeno. El predominio del bicarbonato es característico del agua de lluvia cuyo principal proceso químico ha sido la incorporación del bióxido de carbono y mientras el incremento salino no aumente, continuará predominando el bicarbonato.

En los aprovechamientos ubicados al este de Cotija de la Paz, se encontró que el agua pertenece a la familia mixta-sódica-bicarbonatada correspondiente ésta a agua de lluvia de reciente infiltración.

Para que un agua se considere apropiada para usos domésticos, debe de presentar bajas concentraciones de elementos tanto orgánicos como inorgánicos. A partir de los análisis efectuados, se encontró que el agua es de buena calidad y apropiada para usos domésticos debido a su baja concentración de elementos en solución.

EXTRAIDO DE: PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA EN LA ZONA DE TEPALCATEPEC, LOS REYES, MICHOACÁN. -GEOPESA 1979.- CONTRATO N° GZA-79-9-ED.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

En la actualidad se estima que existen 72 aprovechamientos subterráneos, de los cuales se tiene un volumen de extracción anual del orden de 26.991 Mm³, de los cuales su distribución por tipo de uso es:

Tipo de uso	No. Estimado de pozos	%	Volumen Extraído Mm ³ /año
Agrícola y pecuario	58	80.5	21.484
Público Urbano	11	15.3	4.723
Servicios y otros	3	4.2	0.784
SUMAS	72	100.00	26.991

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga natural

La recarga natural del acuífero procede de la infiltración directa de la lluvia en los afloramientos de rocas basálticas.

Debido a las buenas condiciones de permeabilidad de gran parte de los materiales que cubren la Meseta, la mayor proporción del agua precipitada en la zona se infiltra y se drena verticalmente hasta llegar a constituir acuíferos o bien hasta manifestarse en forma de manantiales en puntos topográficamente más bajos.

La recarga vertical se considera como incógnita por ser el parámetro más inconsistente; en este caso en particular se le suma el volumen que descargan los manantiales de la zona, ya que es la recarga vertical mínima que se presenta en el acuífero. Por lo que **$rv = Rv + 92.731$**

Manantiales	Gasto promedio Lps	Volumen Mm ³ /año
ZIPICHA	170.0	5.361
LA YERBABUENA	70.0	2.207
LA MAJADA	2000.0	63.072

TARECUATO	200.0	6.307
OJO DE AGUA	500.0	15.768
EL CABRIO	0.5	0.016
	SUMAS	92.731

7.1.2 Recarga inducida

Los retornos de riego se determinan a partir del volumen de extracción de 58 aprovechamientos del orden de 8.5 Mm³ más el volumen aplicado que proviene de la presa San Juanico 2.85 Mm³/año y aplicando un coeficiente de infiltración de 0.20, se obtiene una recarga por retorno de riego aproximada de 2.27 Mm³/año. **Rrr = 2.27 Mm³/año**

7.1.3 Flujo horizontal

Se considera que la recarga horizontal del acuífero proviene de un flujo regional profundo que entra al Valle de La Magdalena por el noroeste (Presa de San Juanico) y sale por el sureste (Tocumbo); El volumen de entrada subterránea de agua, aplicando los parámetros mencionados, resulta ser de casi 205 lps (6.5 Mm³/año) en promedio. **Rfhz = 6.5 Mm³/año**

7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración (Sev)

La profundidad de los niveles estáticos en la porción noroeste del valle de La Magdalena debe existir una descarga por concepto de evapotranspiración el cual es del orden de 17.175 Mm³/año. **Sev = 17.175 Mm³/año**

7.2.2 Descargas naturales

Los volúmenes que salen del acuífero subterráneo en forma natural, son las descargas por medio de los manantiales, de los cuales solo se tiene registro de cuatro. **Sm = 92.731 Mm³/año**

7.2.3 Descargas por bombeo

Con fundamento en el historial administrativo de la Subgerencia de Ingeniería, se establece que la extracción total a través de 72 aprovechamientos subterráneos es del orden de 26.991 Mm³/año. **Sb = 26.991 Mm³/año**

7.2.4 Flujo subterráneo

Es probable que existan descargas del acuífero a través de las fallas orientadas

noroeste y sureste más sin embargo no se tiene la información necesaria para determinarla.

7.3 Cambio de almacenamiento

Este factor se determinó a partir de la evolución de los niveles estáticos del agua subterránea correspondiente a un intervalo de tiempo de 8 años y un coeficiente de almacenamiento de 0.2046×10^{-2} .

Evolución	Área km ²	Abatimiento promedio	Volumen anual Mm ³
4 - 14	408.25	9	3,674.25
27 - 37	144.51	32	4,624.32

$$8,298.57/8 \times 0.002046 = \mathbf{2.12 \text{ Mm}^3/\text{año}}$$

ECUACIÓN DE BALANCE

$$\text{RECARGA TOTAL (SUMA DE ENTRADAS)} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO DE LA UNIDAD HIDROGEOLOGICA} + \text{DESCARGA TOTAL (SUMA DE SALIDAS)}$$

ENTRADAS:

$$rv = Rv + 92.731$$

$$Rfhz = 6.500 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$Rrr = 2.270 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

SALIDAS:

$$Sb = 26.990 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$Sm = 92.731 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$Sev = 17.175$$

$$\Delta v = -2.120 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

Aplicando la ecuación de balance se tiene:

$$rv + R_{fhz} + R_{rr} = \Delta v + (S_b + S_m);$$

Considerando que $rv = R_v + 92.731$

Sustituyendo el valor de rv , se tiene:

$$R_v + 92.731 + R_{fhz} + R_{rr} = \Delta v + (S_e + S_b + S_m)$$

Despejando R_v y Sustituyendo valores tenemos:

$$R_v = -2.120 + 17.175 + 26.990 + 92.731 - 2.270 - 6.500 - 92.731$$

$$R_v = 33.275 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

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:

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

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 **134.8 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.

Para el acuífero Cotija la descarga natural comprometida es de **92.7 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **43,570,809 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 134.8 - 92.7 - 43.570809 \\ \text{DMA} &= -1.470809 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **1,470,809 m³ anuales**.

