CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zamora (1608), 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 TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD 6
3. FISIOGRAFÍA 7
3.1 Provincia fisiográfica 7
3.2 Clima 7
3.3 Hidrografía 8
3.4 Geomorfología 10
4. GEOLOGÍA 12
4.1 Estratigrafía 13
4.2 Geología estructural 16
5. HIDROGEOLOGÍA 17
5.1 Tipo de acuífero 17
5.2 Parámetros hidráulicos 18
5.3 Piezometría 18
5.4 Comportamiento hidráulico 19
5.4.1 Profundidad al nivel estático 19
5.4.2 Elevación del nivel estático 19
5.4.3 Evolución del nivel estático 19
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea 19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA 21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 21
7.1 Entradas 22
7.1.1 Recarga natural 22
7.1.2 Recarga inducida 22
7.2 Salidas 23
7.2.1 Evapotranspiración 23
7.2.2 Descargas naturales 23
7.2.3 Bombeo 23
7.2.4 Flujo subterráneo 23
7.3 Cambio de almacenamiento 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 de agua subterránea (DMA) 26
9. BIBLIOGRAFÍA 27

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 Zamora, definido con la clave 1608 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noroeste del estado de Michoacán, cubriendo una superficie aproximada de 2,828 km^2. Limita al norte con el acuífero Briseñas-Yurécuaro, al noreste con La Piedad, al este con Pastor Ortíz-La Piedad, al sureste con Zacapu, al sur con Uruapan, al suroeste con Cotija y al noreste con Ciénega de Chapala (figura 1).

La zona geohidrológica denominada “Zamora”, se encuentra ubicada en la porción nororiental del estado de Michoacán. Colinda al norte con los poblados La Luz, Ixtlán de los Hervores, Colesio, Ecuandureo y Churintzio; y al sur con Charapan, Nurio, Paracho de Verduzco, Cheranzicurin y Cherán; al este con Aguanato, Caurio de Guadalupe y Eréndira; y al oeste con Cienéga de Chapala, Pajacurán, Cerrito Colorado, San Antonio Guaracha y Aquiles Serdán. Tiene una extensión superficial de 2,400 km^2 y ocupa las porciones alta y media de la subcuenca del Río Duero.

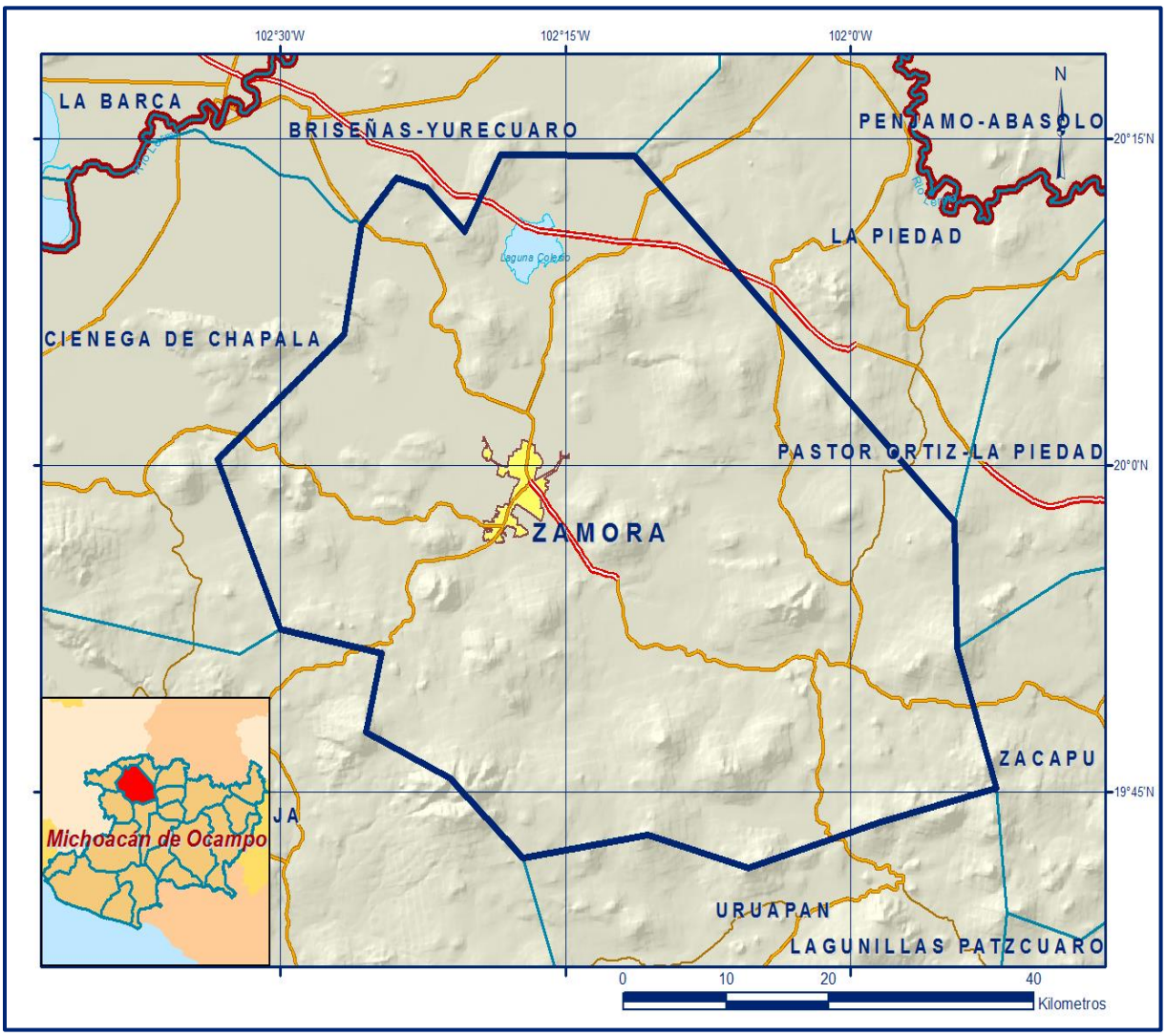

Figura 1. Localización del acuífero

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

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	30	0.8	19	52	27.4
2	102	33	17.9	20	0	16.9
3	102	26	38.6	20	6	1.5
4	102	25	43.3	20	11	2.3
5	102	23	53.0	20	13	12.0
6	102	22	18.0	20	12	44.0
7	102	20	18.0	20	10	45.0
8	102	18	27.0	20	14	17.0
9	102	11	25.0	20	14	14.0
10	101	54	33.0	19	57	24.8
11	101	54	24.8	19	51	35.0
12	101	52	22.6	19	45	11.2
13	101	58	36.9	19	43	33.0
14	102	5	24.0	19	41	30.0
15	102	10	40.0	19	43	1.0
16	102	17	14.0	19	41	58.0
17	102	21	6.4	19	45	38.0
18	102	25	29.9	19	47	44.7
19	102	24	41.3	19	51	23.3
1	102	30	0.8	19	52	27.4

La participación municipal en el acuífero Zamora en el estado de Michoacán se muestra en la tabla 2, y en la tabla 3 se muestra el número de habitantes en cada una de las poblaciones importantes.

Tabla 2. Participación municipal en el acuífero

MUNICIPIO		% DE PARTICIPACIÓN EN EL ACUÍFERO	MUNICIPIO		% DE PARTICIPACIÓN EN EL ACUÍFERO
CLAVE	NOMBRE		CLAVE	NOMBRE	
021	CHARAPAN	15	056	NAHUATZEN	10
023	CHAVINDA	95	070	PUREPERO	100
024	CHERAN	60	084	TANGAMANDAPIO	70
025	CHILCHOTA	100	085	TANGANCICUARO	85
028	CHURINTZIO	5	094	TLAZAZALCA	95
030	ECUANDUREO	8	104	VILLAMAR	3
042	IXTLAN	15	107	ZACAPU	5
043	JACONA	100	108	ZAMORA	100

Tabla 3. Número de habitantes en cada población importante

MUNICIPIO			POBLACIONES IMPORTENTES
CLAVE	NOMBRE	**POBLACION N° DE HABITANTES	
023	CHAVINDA	10,698	CHAVINDA
025	CHILCHOTA	31,676	CHILCHOTA, CARAPAN
042	IXTLAN	15,146	IXTLAN DE LOS HERVORES
043	JACONA	58,732	JACONA DE PLANCARTE
070	PUREPERO	15,658	PUREPERO
084	TANGAMANDAPIO	23,442	TANGAMANDAPIO
085	TANGANCICUARO	34,237	TANGANCICUARO
094	TLAZAZALCA	8,772	TLAZAZALCA
108	ZAMORA	169,133	ZAMORA, ARIO DE RAYON, CHAPARACO, ATACHEO, ATECUARIO, TARECUATO Y LA CANTERA
	SUMA	**367,494**	

1.2 Situación administrativa del acuífero

Según información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua, en 1987 se estableció una veda en todo el Estado de Michoacán, aunque se trata de una veda de control que no limita la construcción de nuevos aprovechamientos para todo uso. Hasta la fecha, no se ha decretado ninguna zona de reserva de agua para un uso específico. Las diferentes zonas de vedashasta ahora decretadas son las siguientes: *"El Salitre"*, publicada el 11 de febrero de 1956; *"Bajo Balsas",* publicada el 27 de junio de 1975; *"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 1.

Los usuarios del agua subterránea no están organizados bajo ninguna figura asociativa. Dentro de la zona de estudio se encuentra el Distrito de Riego 061 Zamora el cual se compone de cuatro módulos de usuarios. El volumen anual concesionado según los registros del balance hidráulico de este acuífero a diciembre de 1999 es de 107.144 hm^3, siendo los principales usuarios para uso agrícola, los diversos productores del valle de Zamora; dentro del uso público urbano los principales usuarios son: los organismos operadores de los diversos municipios que forman parte del acuífero; dentro del uso industrial están principalmente las empacadoras de frutas; en el uso de servicios se encuentran como principales usuarios los hospitales del IMSS, diversas empacadoras y gasolineras.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE EVALUACIÓN Y CENSO EN EL ESTADO DE MICHOACÁN. - TOMO I (DICIEMBRE 1977). Con el censo realizado para elaborar este estudio, se contabilizó en el área estudiada, un total de 250 captaciones de agua subterránea, de las cuales 147 son pozos, 32 norias y 71 manantiales.

El volumen extraído anualmente por pozos y norias es de unos 26 hm^3, destinados en su totalidad a usos domésticos, potables e industriales. El volumen descargado anualmente por los manantiales es de unos 275 hm^3, destinados casi en su totalidad al uso agrícola. Las aportaciones al río Duero provenientes de los acuíferos basálticos y del almacenamiento subterráneo el cual asciende a unos 58.5 hm^3, de los cuales 37 hm^3/año provienen del acuífero basáltico y tiene lugar principalmente en la cañada El Platanal, a la entrada del valle de Zamora; y 21.5 hm^3/año, son descargados del almacenamiento subterráneo del acuífero en relleno a lo largo del río, a su paso por el valle de Zamora.

La otra fracción de la recarga de los acuíferos basálticos, que no afloran por manantiales, circula a profundidad a través de planos de fallas. Esta fracción de la recarga constituye la disponibilidad adicional de los acuíferos basálticos, es absolutamente indispensable explorar las condiciones que presentan los acuíferos basálticos a profundidad y en áreas relativamente alejadas de los manantiales.

ESTUDIO DE DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS ACTUALES Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE OPERACIÓN DEL ACUÍFERO DE ZAMORA, MICHOACÁN. – CONTRATO No. GRLB-046/92. De acuerdo al estudio, la zona geohidrológica de Zamora, dispone de un volumen medio anual de agua del orden de 344 hm^3/año: 290 de fuentes superficiales y 54 de fuentes subterráneas, en las condiciones actuales de renovación y aprovechamiento.

La fuente de agua superficial es el río Duero, cuyo escurrimiento medio anual es de unos 400 hm^3 en la estación Camecuaro, cabe aclarar que cerca del 70% de este volumen es aportado por manantiales de acuíferos basálticos “colgados”.En este estudio (1992), se consideraba factible incrementar la extracción de agua del subsuelo, por lo menos en unos 30 hm^3/año, con pozos distribuidos en las áreas donde el acuífero tiene mayor transmisividad y donde la superficie freática se halla menos profunda.

El acuífero es explotado por medio de 250 captaciones de agua, cuyo volumen de extracción no rebasa los 20 hm^3/año.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El área estudiada está localizada en la subprovincia de "Zonas de Fosas Tectónicas", ubicada al noroeste, la cual se caracteriza por el alineamiento de sus cuencas, en este caso fosas tectónicas rellenadas, sensiblemente este-oeste, como es el caso de los lagos de Chapala, Cuitzeo y el valle de interés, entre otros. Así mismo, su constante actividad volcánica, reflejada por innumerables aparatos volcánicos y rocas extrusivas, conformadas esencialmente por rocas basálticas y andesíticas.

Fisiográficamente, presenta un desnivel en igual dirección que el Río Duero, sureste-noroeste, además de que los valles son escalonados, con orientación noreste-suroeste. En lo que respecta al Valle de Zamora, tiene altitudes entre 1,530 y 1,600 msnm, desarrollado en una antigua cuenca lacustre, con espesores de más de 300 m; rodeado por conos cineríticos, que sobresalen del piso del valle; al norte, se distinguen alineamientos debidos a los esfuerzos ejercidos sobre las rocas ígneas extrusivas del Terciario Inferior, de composición andesítica que constituyen el basamento de la región, dieron lugar a un fallamiento secundario, que ocasionó la formación de fosas y pilares tectónicos de complejo arreglo estructural.

3.2 Clima

La temperatura media anual en el período referido, fue de 16.5° C; la más alta se registró en la estación Zamora con 21.5° C y la más baja en la estación Carapan con 18.2° C.

Los datos climatológicos de la zona estudiada –precipitación pluvial, temperatura y evaporación potencial, se obtuvieron de las estaciones ubicadas dentro del área en cuestión y en sus alrededores. Para su análisis, se trazaron las gráficas climatológicas correspondientes al lapso 1951-1976 y 1989-1992, que fue la información disponible.

La precipitación media anual de la zona varía entre 750 y 1,200 mm., con un promedio de 813.1 mm. Los valores menores se registran en la porción occidental, en las partes bajas de la cuenca; los mayores en las partes más elevadas. La época de lluvias tiene lugar, generalmente de mayo a septiembre, siendo julio el mes más lluvioso con 225 mm de precipitación. Fuera de la temporada lluviosa, casi no llueve, siendo febrero el mes más seco, con 4.4 mm.

En la estación Estanzuela ocurrió la evaporación máxima anual, en el año de 1969 con 2,221.8 mm. y la mínima se registró en la estación Carapan en el año de 1963, con 1,403 mm.

3.3 Hidrografía

EL acuífero Zamora se ubica dentro de la Región hidrológica No. 12, de la cuenca Lago de Chapala y de la subcuenca Río Duero.

La zona de interés se encuentra en la Región Hidrológica No.12 (Parcial) y ocupa las porciones alta y media de la subcuenca del Río Duero, que es el colector general de los escurrimientos superficiales.

El Río Duero nace al oriente de la zona en cuestión, en los cerros El Tecolote y El Tule. Es formado por la confluencia de los ríos Chilchota, Tlazazalca y El Pejo; toma el nombre del Río Duero a partir de la estación Camécuaro, cruza el Valle de Zamora con dirección sureste-noroeste, y atraviesa la Ciénega de Chapala para confluir finalmente con el Río Lerma.

Debido a que durante todo el año recibe aportaciones de manantiales ubicados al sur y al oriente de la zona, originados en rocas basálticas, así como del acuífero del valle, su régimen es perenne.

Una de las corrientes tributarias del Duero, es el Río Chilchota, que se origina en el Cerro El Tecolote. Al pasar por la localidad de Carapan recibe las descargas de los manantiales Ostácuaro e Ichan-Aricho, con un gasto algo mayor de 0.5 m^3/s; luego a su paso por la Cañada de los Once Pueblos, recibe las aportaciones de los manantiales Chilchota, El Nogal, Tanaquillo y El Pedregal, y más adelante se le incorporan los escurrimientos procedentes del Lago de Camécuaro, formado por el manantial del mismo nombre.

La otra corriente formadora del Río Duero es el Río Tlazazalca, que nace en el Cerro El Tule y confluye con el Río Chilchota en las proximidades del poblado Tangancícuaro.

El Río Celio, afluente del Río Duero por su margen izquierda, nace en la porción sur del Valle de Zamora, en el Cerro El Patamban, y recibe la descarga de los manantiales ubicados en las inmediaciones de la localidad de Jacona.

Los escurrimientos del Río Duero son aforados en las estaciones hidrométricas Camécuaro y La Estanzuela. La primera se localiza inmediatamente aguas debajo de la confluencia del Río Tlazazalca, con un área drenada de 1,221 km^2 y registra un escurrimiento medio anual de 74.6 hm^3. La estación La Estanzuela registra los volúmenes de salida del Río Duero con 93.6 hm^3.

En su mayor parte, el escurrimiento del Río Duero procede de 71 manantiales, que en conjunto descargan un volumen de 275 hm^3/año (8.8 m^3/s), según el estudio realizado en 1977, de acuíferos basálticos "colgados".

Los más importantes son: Cuerámaro, con un gasto de 2,000 lps, Chilchota con 1,212 lps; Presa Verduzco con 1,183 lps; Junguarán con 463 lps; Guario con 438 y Cupatziro con un gasto de 424 lps. Todos ellos se encuentran ubicados en las porciones sur y oriente de la zona estudiada.

Los manantiales por rango de caudales, se clasifican en: 25 de ellos originados en basaltos de edad Cuaternaria, tienen gastos de 200 a 2,000 lps, totalizando 8.6 m^3/s; los otros 36, alimentados por rocas basálticas del Terciario, tienen caudales de 1 a 20 lps, con un total de 0.2 m^3/s.

En el año de 1977, se realizó un balance hidrogeológico, en la época de estiaje, en el tramo del Río Duero, que está dentro del Valle de Zamora, con los siguientes resultados:

De las aportaciones que tiene ese río, proviene la mayor parte de la estación Camécuaro, con un volumen de 272 hm^3/año; del Lago de Camécuaro, con 65 Mm^3; aportaciones del Río Celio, con 8 hm^3 y 268 hm^3 anuales, procedentes de los drenes El Tajo y Chavinda, en la margen izquierda y General y "A", en la margen derecha; lo que suma un total de 613 hm^3 de entradas superficiales. A su vez, salen 178.6 hm^3, distribuidas de la siguiente forma: 93.6 hm^3 del valle por medio de la estación La Estanzuela; de las derivaciones de la margen derecha del Río Duero, 44 hm^3 y de las de la margen izquierda, 41 hm^3.

En la zona de Zamora se encuentra el Distrito de Riego No. 061, "Valle de Zamora", el cual está sustentado por varias fuentes: los ríos Duero y Tlazazalca, y los manantiales Camécuaro, La Estancia, Orandino, El Bosque, Chiripas y Presa Verduzco.

Los manantiales de la cañada de Los Once Pueblos se aprovechan para el riego de 1,200 Has. En el Distrito de Riego No. 061 se derivan del Río Duero unos 292 hm^3año: 208 hm^3 por su margen derecha para regar unas 10,500 Has. Y unos 84 hm^3 por su margen izquierda para el riego de 4,500 Has.

El distrito de riego cuenta con la Presa Urepetiro, al oriente de la zona ubicada en la cabecera del Valle de Guadalupe, la cual controla las avenidas del Río Tlazazalca.

Su capacidad útil es de 11 hm^3 y suministra agua para regar la mayor parte del Valle de Guadalupe, mediante los canales de las márgenes derecha e izquierda; los excedentes se vierten al Río Duero, aguas arriba de la estación Camécuaro.

3.4 Geomorfología

La zona en estudio está ubicada en la provincia geológica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) que constituye una franja volcánica que cruza transversalmente la República Mexicana a la altura del paralelo 20°, con una orientación este-oeste.

Entre las principales características de esta "provincia", está el alineamiento sensiblemente este – oeste que presentan cuencas estructurales o fosas tectónicas que ocurren en ella y de ahí toma nombre, tales como la de los lagos de Chapala, Cuitzeo y Yuriria y valles como los del Bajío, Queréndaro, Ciénega de Chapala y Zamora entre otros, que corresponden a antiguas áreas lacustres.

Otra de las características de esta provincia es la de estar constituida por una gran variedad de rocas y aparatos volcánicos, donde son abundantes los derrames y productos piroclásticos de composición basáltica y andesítica, aunque existen numerosas unidades dacíticas, riocacíticas y manifestaciones locales aisladas de vulcanismo riolítico.

La predominancia de las 2 etapas geomórficas a nivel regional se refleja fielmente a nivel local en el área estudiada, en donde los valles de Guadalupe, Zamora y Chavinda, exhiben una etapa geomórfica de madurez temprana; las áreas que los bordean presentan las etapas de juventud temprana y tardía, acentuada la primera de ellas en las porciones sur y oriente, en donde en esta última existen algunos valles construccionales como los de Tlazazalca y Purépero.

Describiendo el área en forma particular, se tiene lo siguiente:

El desnivel se lleva a cabo en sentido SE-NW, al igual que la dirección del río Duero, corriente principal del área; los valles existentes se presentan escalonados, teniendo el escalonamiento una dirección NE-SW.

En la porción oriente y nor-oriente del área, al sur del poblado de Purépero, se localiza el valle de Ichan, el cual, junto con los ubicados al sur de Carápan, son de tipo construccional, formados al ser rellenadas las depresiones por materiales volcánicos del Cuaternario, y observan alturas medias entre 2000 y 2200 msnm.

Al poniente de los mismos valles se ubican, mencionándolos de sur a norte la barranca de los "Once Pueblos", labrada por el río Chilchota, en materiales volcánicos del Cuaternario. En esta parte el sentido del río es E-W y al cambiar de rumbo sale de la barranca y entra a una amplia planicie, denominada Valle de Guadalupe por su margen derecha y Valle de Tangancícuaro por la izquierda. Ambos valles presentan altitudes entre 1650 y 1800 msnm.

El valle de Guadalupe tiene una cabecera en la presa Urepetiro, que regula las avenidas del río Tlazazalca el cual, antes de entrar al vaso, cruza un estrecho valle de igual nombre, labrado en basaltos del Terciario Superior.

El río Tlazazalca después de atravesar el valle de Guadalupe, se une al Chilchota al norte del poblado de Tangancícuaro y forman el Duero, que escurre por la barranca del Platanal, formado por rocas del Terciario Superior y entra al valle de Zamora por su extremo sur-oriente.

El valle de Zamora, con altitudes de entre 1530 y 1600 msnm es el de mayor amplitud y está desarrollado en una antigua cuenca lacustre, cuyos depósitos presentan espesores mayores a unos 300 m.

El paisaje semiplano del valle de Zamora es interrumpido por algunos conos cineríticos, que sobresalen del piso del valle, el cual termina en un estrechamiento localizado a la altura del poblado de La Estanzuela, en donde el río Duero se abre paso a través de coladas basálticas. Pasando estrechamiento, el río entra a la denominada Ciénega de Chapala.

Las principales elevaciones de la cuenca se localizan en las porciones sur y oriente, en donde alcanzan alturas hasta de 2500 msnm, como en el caso del cerro Patámban, ubicado en el límite S-SW, siendo las alturas de los restantes cerros de entre 2800 y 3000 msnm. Presentando, además, fuertes pendientes y formas arredondeadas, coronadas por un crestón correspondiente al tapón del conducto volcánico.

Entre las estructuras antes descritas se localizan gran número de pequeños conos cineríticos, por donde fluyen derrames y escorias del Cuaternario, que, al rellenar las barrancas, formaron valles intermontanos y de reducidas dimensiones.

En la parte norte, las elevaciones se presentan a un máximo de 2400 msnm, exhibiendo también formas arredondadas y amplias, que sobresalen de los lomeríos constituidos por derrames basálticos, entre los que se distinguen alineamientos debidos a fallas que afectaron principalmente a rocas del Terciario Inferior, como puede verse muy claramente al norte del valle de Zamora.

En la parte occidental, hacia el valle de Chavinda y el de Santiago Tangamandapio, las elevaciones presentan notables alineamientos, entre los que se observan escarpes verticales y algunos conos cineríticos.

Por último, en la porción nor-occidental, hacia el norte del poblado de Ixtlán, se suceden amplios lomeríos, constituidos por arenas finas y tobas de color blanco, sobre las que descansan promontorios que han quedado como testigos de coladas correspondientes al Plioceno superior.

4. GEOLOGÍA

La geología superficial del acuífero Zamora está constituida por rocas ígneas y sedimentarias, así como depósitos aluviales, su distribución se muestra en la figura 2.

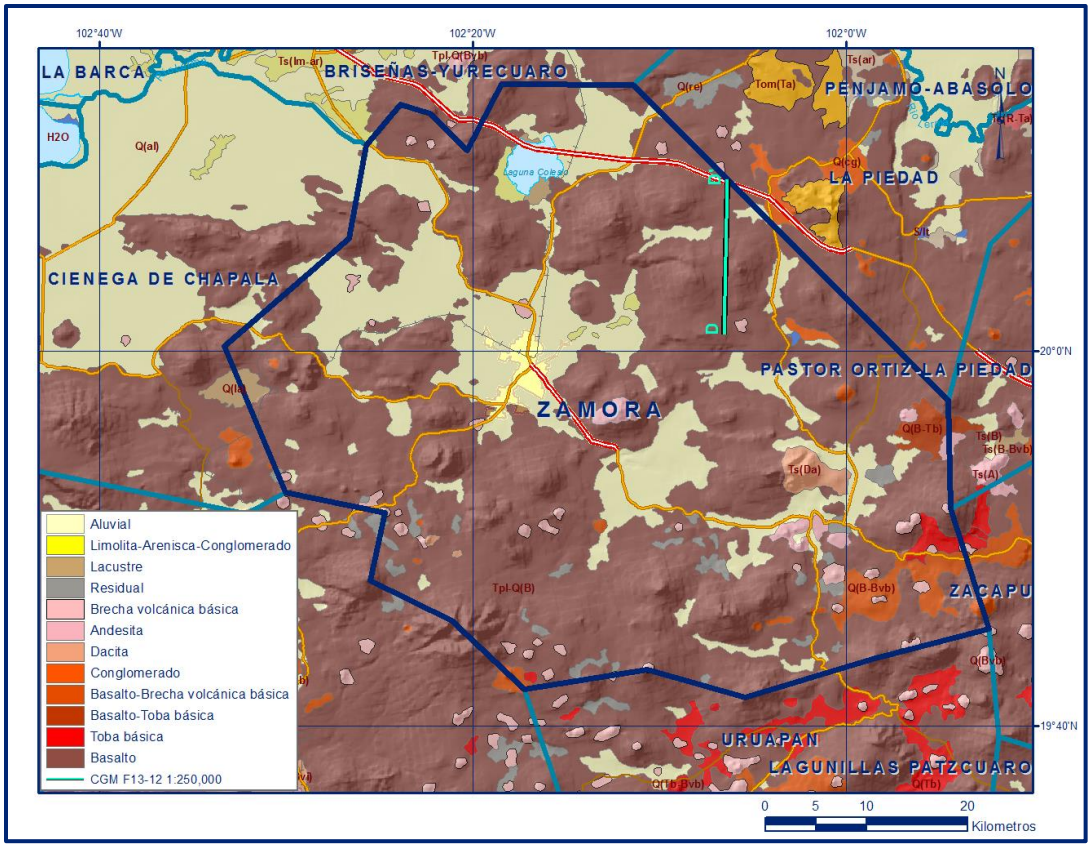

Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

El inicio de la actividad volcánica de la Faja Volcánica Transmexicana, está relacionada principalmente a la subducción de la Placa de Cocos bajo la corteza continental mexicana.

Las rocas que afloran en el área estudiada son de origen extrusivo, parte de ellas, principalmente las de menor cohesión y las formadas por minerales lábiles, han sido fragmentadas, transportadas y depositadas sus productos en las depresiones estructurales o en las cercanías de sus fuentes, dando lugar a la existencia de depósitos clásticos de diferentes espesores granulometría.

Las unidades que a continuación se describen de la más antigua a la más reciente, son en las que se agruparan las rocas, tanto las que se encuentran aflorando, como las que forman el subsuelo hasta una profundidad de 800 m, que es la máxima a que ha perforado la Comisión Federal de Electricidad en el área.

Terciario Inferior Andesítico (Tia)

A esta unidad se le asignó una edad que va de la parte superior del Oligoceno a la base del Mioceno. Está constituida por derrames y aglomerados de composición andesítico-basáltico, con una colada basáltica en la cima.

Los afloramientos de esta unidad se presentan alargados y estrechos, con frentes casi verticales, los derrames andesíticos exhiben sistemas de fracturamiento y diaclasas muy cerradas, perpendiculares a sus frentes, los que observan direcciones E-W a E-NE. En general, todos los afloramientos de esta unidad corresponden a los bloques altos de fallas escalonadas, que formaron y delimitaron las cuencas estructurales del área.

Terciario Superior Basáltico (Tbs)

La edad asignada a esta unidad abarca del Mioceno al Plioceno. En ella se agruparon derrames, coladas, aglomerados, piroclásticos y tobas de composición basáltica y basalto-andesítica; igualmente se incluyeron 2 paquetes de sedimentos lacustres, uno en la base, que suprayace a la unidad anterior y el otro, constituyendo la parte inferior de la porción superior, que consta de aglomerados y derrames.

Los paquetes de sedimentos lacustres limitan verticalmente, al menos dentro del valle, a los derrames, brechas y piroclásticos, que se ubicaron en la porción media de este grupo.

La distribución de las rocas de esta unidad amplia, se presentan bordeando los valles de Zamora, Chavinda, norte de Tangancícuaro y Tlazazalca y forman los grandes aparatos volcánicos del área, que en la porción sur y occidente sobresalen de entre los derrames más recientes

Terciario Inferior Andesítico (Tia)

Las rocas que conforman el marco geológico de la región tienen edades que van del Terciario Inferior al Reciente. Las más antiguas son las andesíticas (Oligoceno-Mioceno), constituidas por derrames y aglomerados de composición andesítico-basáltica. Forman afloramientos alargados y estrechos, con frentes casi verticales y los derrames andesíticos presentan fracturamiento y diaclasas muy cerradas, perpendiculares a sus frentes, con direcciones este-oeste y este-noreste.

Se observan al norte del Valle de Zamora, al sur de la localidad de Jacona y al occidente con una superficie grande de afloramientos.

Sin embargo, también se localiza al oriente, con una reducida exposición, que corresponde al alto de una falla de aproximadamente 12 km de largo y 500 de ancho, por donde corre el Río Tlazazalca.

Terciario Superior Basáltico (Tsb)

Derrames, coladas, aglomerados, piroclásticos y sedimentos lacustres subyaciendo a la unidad anterior y constituyendo la porción inferior de los aglomerados y derrames y tobas de composición basáltica y basáltico-andesítica, constituyen a la unidad del Mioceno-Pleistoceno.

Los lomeríos que limitan al valle están constituidos por derrames fragmentados con fracturas verticales, con orientación noreste-suroeste, lajeados y con algunos frentes de falla. Debajo de éstos, se hallan los derrames de lavas, brechas y piroclásticos, de mediana a pobre compactación, los cuales tienden a exfoliarse, dando un aspecto de aglomerado compacto.

Por otro lado, los depósitos lacustres tienen tamaños que van de arena mediana a arcillas, su compactación es de nula a alta y tienen una amplia distribución, bordeando el valle, subyaciendo a los derrames basálticos, así como en la margen derecha del Río Duero. También se le puede observar hacia la Ciénega de Chapala.

Se presentan en bandas de 2 a 3 m. de espesor, intercalados con estratos de estructura laminar, su granulometría es de fragmentos del tamaño de la arena mediana a gruesa, en bancos estratificados y de limo a arcilla los masivos; los componentes muestran la angulosidad típica de origen volcánico. En la ladera sur del valle, cerca de Ixtlán de los Hervores, afloran los aglomerados, las brechas y los derrames fracturados.

Basaltos y Tobas del Cuaternario (Qbt)

Derrames, brechas, aglomerados y cenizas, todos ellos de composición basáltica, componen la unidad de edad Plioceno-Reciente. Las brechas, los aglomerados y los piroclásticos están conformados por bloques basálticos, siendo los últimos del tamaño de la arena mediana y de la arcilla; están intercaladas con coladas y derrames.

Los derrames y las coladas presentan estructura vesicular, con fracturas espaciadas, de 1 a 1.5 metros. De esta unidad, los aglomerados son los que denotan mayor compactación.

Afloran en la porción sur del área de estudio, representados por conos de piroclásticos, que constatan el tipo explosivo, por lo que fueron expulsados a la superficie. En el resto de la zona, afloran en forma de pequeñas lomas, también de aparatos volcánicos de constitución piroclástica, de 50 a 60 m. de altura.

En las porciones noroccidental, suroccidental y oriente de la ciudad de Zamora, se encuentran los derrames basálticos, cubiertos en parte, por limos y arcillas de hasta 20 m. de espesor, así como en el área que circunda a la localidad de Chavinda, al suroeste de la zona de interés, en los bordes del Cerro Tepeguaje, y al sur y sureste del poblado El Llano, con espesores hasta de 200 m.

Depósitos Aluviales (Qal)

Formado por los depósitos aluviales y fluviales –fragmentos y peñascos, de edad Reciente, se distribuyen en los bordes del valle, en contacto con las rocas más antiguas del área de interés. Su tamaño es de “matatenas” y guijarros de 2 a 6 cm y peñascos hasta de 2 m; tienen compactación variable: compactados en donde los vacíos están rellenos de arcillas y limos de origen tobáceo, y mediana a baja consolidación de donde los materiales finos son menores respecto a las oquedades.

Se localizan en el valle, asociados a los afloramientos andesíticos del Terciario Superior, a los frentes de la falla del cerro El Encinal, en los bordes del Cerro El Tepeguaje, el frente de la falla de Rincón del Mezquite, en toda la ladera sur del valle y el oriente de la ciudad de Zamora.

En lo que respecta a los depósitos aluviales –gravas, arenas, limos y arcillas, de edad Reciente, se localizan en las márgenes de los cauces de ríos y arroyos, así como diseminados en el área en cuestión, con espesores no mayores de 20 m. Su compactación es de mediana a baja.

4.2 Geología estructural

Fallas normales, de tipo escalonados, se observan en las porciones sur y norte de la zona, con bloques caídos hacia el norte y hacia el sur respectivamente. Hacia el oriente, se encuentra un graben, por donde corre el Río Tlazazalca, antes de entrar a la Presa Urepetiro y otro en la Barranca del Platanal.

Así mismo, se han evidenciado, en estudios anteriores, fallas y fracturas con dirección este-oeste, en las porciones sur y oriental de la zona.

Dichos sistemas de fallas son afectados por otros oblicuos a ellos, que también hunde al bloque más de 300 m. al sur de la población Ario de Rayón, al noroeste de la ciudad de Zamora, y al oriente del valle. Estos fallamientos se manifiestan, además en la porción oriente de las localidades Guadalupe y Tangancícuaro, donde una falla, de orientación este-oeste, da origen a la fosa rellena de sedimentos lacustres allí alojada.

Los derrames que conforman la porción superior del Terciario Superior Basáltico (Tsb), forman los aparatos volcánicos, como los cerros de La Beata, Tangancícuaro, Patamban, El Encinal, Ecuandureo, entre otros, los cuales presentan fallamiento en bloques.

Menos fragmentados que los anteriores, los lomeríos que limitan a la zona de estudio, desde Zamora hasta el norte de Ixtlán, muestran lajas y sistemas de fracturas verticales, con orientación noreste-suroeste.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las rocas más antiguas andesíticas y basálticas, se consideran como impermeables por su estructura masiva.

En las sierras que rodean al valle afloran basaltos del Cuaternario, subyaciendo a rocas volcánicas de menor permeabilidad. Por su textura vesicular y denso fracturamiento, tienen permeabilidad y capacidad de infiltración muy altas, por tanto, son excelentes receptores de recarga y constituyen acuíferos muy permeables en el subsuelo de la porción sur del valle, donde están cubiertos por depósitos aluviales del Reciente.

Por el contrario, los basaltos del Terciario son de capacidad de infiltración y permeabilidad muy bajos, debido a que su estructura es masiva y poco fracturada. En el subsuelo del valle presentan una configuración escalonada, a causa del tectonismo, y constituyen el basamento geohidrológico del acuífero.

El acuífero principal del valle está formado por derrames basálticos, piroclásticos, materiales aluviales y depósitos lacustres. Los tres primeros son los elementos más permeables, y los últimos constituyen acuitardos de permeabilidad media a baja. Su espesor aumenta de los bordes hacia el centro del valle, donde alcanza valores hasta de 350 m; está limitado inferiormente por depósitos lacustres antiguos, y en las porciones bajas del valle está semiconfinado por los depósitos lacustres recientes.

5.2 Parámetros hidráulicos

Los coeficientes de transmisividad obtenidos varían de 0.000036 y 0.044 m^2/s (tabla 4); los valores más altos –0.009 a 0.044 m^2/s- corresponden al Valle de Tangancícuaro y están asociados con materiales granulares y basaltos; los más bajos corresponden al Valle de Zamora –0.000036 a 0.0024 m^2/s-, donde el relleno acuífero es de menor permeabilidad.

Tabla 4. Coeficientes de transmisividad obtenidos

Núm. de Aprov.	Localización	Duración (Hrs.)		Caudal (lps)	Qe (lps/m)	Coeficiente de Transmisividad ($x10^{-3}$ m^2/s)	
		Abat. m	Recup. m			Abat.	Recup.
22	Tangancícuaro	10.50		70.00	8.42	8.10	
22	Tangancícuaro		12.25	70.00			10.70
28	Tangancícuaro	10.50		70.00		44.17	
28	Tangancícuaro		10.50	70.00			41.30
52	S. Juan Palmira	8.50		75.00	4.80		
52	S. Juan Palmira		1.75	75.00			22.90
58	Chavinda	6.50		87.40	17.73	23.90	
69	Atecuario	8.75		58.10	1.30	1.30	
69	Atecuario		3.50	58.10			2.10
78	Rinconada	8.00		33.50	0.89	0.28	
89	Rancho Nuevo	9.00		6.40	0.14	0.03	
91	Rancho Nuevo	8.50		27.70	1.54	0.24	

Los valores iniciales del coeficiente de almacenamiento se fijaron a partir de consideraciones sobre la litología y el tipo de acuífero, ya que no pudieron ser obtenidos por medio de pruebas de bombeo. Como el acuífero que nos ocupa es del tipo “libre”, el coeficiente de almacenamiento es igual, numéricamente, al rendimiento específico, siendo este de 0.005 a 0.3, dependiendo de su granulometría; sin embargo, como en el área estudiada existen materiales arcillosos, se estimó un valor representativo del rendimiento específico no mayor de 0.10.

5.3 Piezometría

De la información existente, se cuenta con una historia piezométrica con varias lecturas anuales, desde 1977 hasta 1992, en 72 pozos piloto 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

En mayo de 1992, la profundidad al nivel estático variaba entre menos de 5 m y unos 30 m. Los valores mayores de 30 m. se registran en la porción occidental de la zona, en el área de Villa Chavinda, debido al bombeo de las captaciones ahí concentradas, valores de 10 a 30 m. se encuentran en los bordes superiores del valle, y los menores que 10 m. en las partes bajas del mismo.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La circulación subterránea es muy semejante a la superficial de las partes altas del valle, donde se genera la descarga del acuífero hacia la faja fluvial del Duero y a lo largo de ésta hacia aguas abajo.

En el área de Chavinda se observa una depresión de los niveles del agua, con elevaciones mínima de 1,526 msnm, originada por la operación de los pozos ahí emplazados.

En la parte baja del valle, la configuración muestra la descarga subterránea del acuífero hacia la zona de la Ciénega de Chapala.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Se analizó la evolución de los niveles del agua subterránea en el lapso 1977-1992. Puede notarse que durante ese intervalo los niveles del agua subterránea no tuvieron fluctuaciones considerables: sólo se registraron abatimientos de 1 a 2 m. en el sector de Ario de Rayón.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Con el objeto de clasificar el agua de acuerdo con su composición química, se calcularon los porcentajes de miliequivalentes por litro en que se encuentra cada unión con respecto al total de aniones y cada catión con respecto a su total.

Se observa entonces que el agua puede clasificarse dentro de las familias que se muestran en la tabla 5. Prácticamente en toda la zona, el agua es de la familia sódica-bicarbonatada.

Tabla 5. Clasificación de las familias de agua

FAMILIA	% DE MUESTRAS
SODICA BICARBONATADA	61
MAGNESIANA BICARBONATADA	27
MIXTA BICARBONATADA	12

Otra familia de agua encontrada fue la cálcica – bicarbonatada, en los pozos localizados al norte de la ciudad de Zamora, lo cual se debe a la recirculación de aguas y concentración de sales, donde la abundancia de calcio predomina sobre la de sodio.

En el valle de Chavinda se encontró agua de la familia cálcico – bicarbonatada, lo cual indica cierta diferencia, entre este valle y el de Zamora. En algunos flancos de las sierras se detectó agua magnesiana bicarbonatada, que corresponde agua de basaltos.

El valle estudiado se encuentra dentro de una provincia geotérmica, que abarca parte del eje neovolcánico, donde se presentan manifestaciones termales, tanto en forma de manantiales como de geisers.

El origen del termalismo en esta zona ha sido estudiado por muchos autores y la mayor parte lo atribuyen a la presencia de cámaras magmáticas que se encuentran a poca profundidad disipando calor e incrementando la temperatura del agua que circula cerca de ellas. Estas cámaras se encuentran frecuentemente alineadas a lo largo de las fallas tectónicas, por lo cual algunos autores han atribuido el termalismo a este tipo de movimientos.

El agua subterránea de la zona presenta en su gran mayoría termalismo, con temperaturas ligeramente arriba de la del medio ambiente, hasta lugares donde alcanza 95°C, como es el caso de Ixtlán de los Hervores.

El agua para uso potable, comparando los análisis químicos del agua de esta región con las normas de calidad o límites máximos permisibles, se deduce que el agua es químicamente de buena calidad y apropiada para uso doméstico, ya que cumple con los requisitos mencionados.

Con la Relación de Absorción del Sodio (RAS) y la conductividad eléctrica media del agua, se obtuvo la clasificación de agua para riego.

El 38% de las muestras pertenecen a la clase C1 – S1, que corresponden a aguas con bajo contenido tanto de sales como de sodio y que pueden ser utilizadas prácticamente en cualquier tipo de suelo. El 42% corresponde al tipo C2 – S1, o sea de agua con baja concentración de sodio y concentración salina media, la cual es apropiada para riego, procurando algunos lavados periódicos del suelo.

El 15% de las muestras es de tipo C3 – S1, o sea agua con alto contenido de sales y baja proporción de sodio, apropiada para riego siempre y cuando se lleven a cabo prácticas especiales para evitar la salinidad, de preferencia debe utilizarse en terrenos arenosos. El 5% restante de las muestras analizadas, corresponden a aguas de los tipos C3 – S2 y C4 – S2, la cual presenta contenidos altos y medios de sodio; puede ser utilizada en riego, siempre y cuando se lleven a cabo lavados periódicos y prácticas especiales para el control de la salinidad.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

El último censo que se realizó en esta zona fue en 1977, censándose un total de 250 captaciones de aguas subterráneas, a la fecha en los registros de esta Gerencia, existen alrededor de 742 aprovechamientos de agua subterránea, los cuales tienen la siguiente distribución por tipo de uso:

TIPO DE USO	No. ESTIMADO DE POZOS	%	VOLUMEN EXTRAIDO hm^3/año
AGRICOLA Y PECUARIO	382	51.5	74.231
PUBLICO URBANO	161	21.7	22.884
INDUSTRIAL	77	10.4	2.477
SERVICIOS Y OTROS	122	16.4	7.552
SUMAS	**742**	**100.0**	**107.144**

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El acuífero Zamora, para su análisis, se dividió en tres zonas: zona sur, central o de valles y norte.

La zona sur está compuesta por la zona alta boscosa de la meseta Purepecha, zona donde por su textura vesicular y denso fracturamiento de las rocas, tienen permeabilidad y capacidad de infiltración muy altas, por tanto, son excelentes receptores de recarga.

La zona central o zona de valles, es la parte baja del acuífero, donde se concentra la mayor densidad de aprovechamientos subterráneos. El acuífero principal del valle está formado por derrames basálticos, piroclásticos, materiales aluviales y depósitos lacustres.

La zona norte, que es zona cerril con pendiente moderada y matorrales que se encuentra en la parte norte y central del área.

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga natural

En la zona estudiada, las fuentes de recarga natural del acuífero granular son: parte por el flujo subterráneo proveniente de la lluvia precipitada sobre los afloramientos basálticos (Zona Sur).

Los manantiales del sur y oriente de la zona tienen un área de captación que se extiende más allá del parteaguas hidrográfico de la cuenca; en efecto hacia el sur y oriente, se localiza la Meseta Purepecha, formada principalmente por basaltos de alta permeabilidad y elevada capacidad de infiltración, aunado con una abundante precipitación pluvial. Son estas sierras las que constituyen el área principal de recarga.

En forma cualitativa los acuíferos basálticos de la zona sur tienen un gran potencial; en efecto los 275 Mm^3/año que descargan los manantiales, lo demuestran. Este volumen representa la recarga mínima que reciben las formaciones basálticas que circundan el valle (zona central).

En cuanto a la recarga vertical (rv= Rv + 275), en este estudio se considera como incógnita por ser el parámetro más inconsistente en su determinación.

7.1.2 Recarga inducida

Los acuíferos reciben una importante alimentación inducida por el desarrollo agrícola, originada por las pérdidas en los canales de riego no revestidos y por la infiltración de excedentes de riego, para lo cual se consideró que un porcentaje de retorno de acuerdo al tipo de material en las zonas de riego es del 4%, el volumen anual utilizado para riego es 270.0 hm^3, usado para regar una superficie aproximada de 15,000 Has., por lo que el volumen de retorno por excedentes de riego será:

$$Rrr = 270 \times 0.04 = 10.8\ hm^3$$

7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración

Una estimación aproximada de las descargas por evapotranspiración se efectuó aplicando la evaporación potencial media, en el área donde ocurre este tipo de descarga.

En el área del Distrito de Riego de Zamora, donde se cree que tiene lugar el fenómeno de evapotranspiración, los niveles freáticos se encuentran a profundidades entre 0.5 y 2 m y los suelos son predominantemente finos, por lo que se estimó que la perdida por evapotranspiración del almacenamiento subterráneo es de un 20% de la evaporación potencial (2 m/año), o sea de 40 cm; lámina que, aplicada a los 40 km^2, resulta un volumen descargado a la atmósfera del orden de 16 hm^3/año.

Igualmente, en el valle de Tangancícuaro-Guadalupe, a unos 2.5 km de distancia del río Duero en ambas márgenes, el nivel freático se encuentra a 1 m, en un área de 25 km^2, se estima que la pérdida por evapotranspiración potencial (1.75 m/año), o sea de 0.43 cm, lámina aplicada a los 25 km^2, resulta un volumen descargado a la atmósfera del orden de 10 hm^3/año, resultando un total de 26 hm^3/año.

7.2.2 Descargas naturales

En lo referente a la descarga natural del acuífero se consideraron las descargas por los diversos manantiales que se originan en la porción sur y oriente del valle, Sm = 180.176 hm^3/año.

7.2.3 Bombeo

En los registros de esta Gerencia existen 742 aprovechamientos de aguas subterráneas que extraen: Sb = 107.144 hm^3/año.

7.2.4 Flujo subterráneo

Es probable que existan descargas del acuífero a través de las fallas orientadas oriente-poniente, hacia la ciénega de Chapala, más sin embargo no se tiene la información necesaria para determinarla.

7.3 Cambio de almacenamiento

Este factor se determinó a partir de la información de la evolución de los niveles estáticos del agua subterránea correspondiente a un intervalo de tiempo de 7 años y, adoptando un coeficiente de almacenamiento de 0.005*, se determinó el volumen drenado (Vd).

EVOLUCIONES m	AREA TRIBUTARIA km^2	ABATIMIENTO PROMEDIO m	VOLUMEN DRENADO Mm^3
4-10	244.28	7.0	1,709.96
5-15	499.21	10.0	4,992.10
SUMAS	**743.49**		**6,702.06**

$$6{,}702.06/7 = 957.44 \times 0.005 = 4.787\ hm^3/año$$

Utilizando la información obtenida de pruebas de bombeo, de cortes geológicos y caudales específicos de pozos y de sondeos geofísicos, interpretada conjuntamente con criterio hidrogeológico, y que al ser un acuífero de tipo “libre”, se asignó un coeficiente de almacenamiento de 0.005 (Iglesias op. Cit) que se consideró el más apropiado para las condiciones litológicas de la zona.

ECUACIÓN DE BALANCE:

Recarga total (suma de entradas)	=	Cambio de almacenamiento de la unidad hidrogeológica	+	Descarga Total (suma de salidas)

ENTRADAS

rv = Rv + 275

Rrr = 10.8 hm^3/año

SALIDAS

Sev = 26.0 hm^3/año

Sm = 275 hm^3/año

Sb = 107.144 hm^3/año

CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

v = 4.787 hm^3/año

Aplicando la ecuación de balance:

$$rv + Rrr = v + (Sev + Sm + Sb)$$
$$rv + 10.8 = -4.787 + (26.00 + 275.00 + 107.144)$$

Despejando la recarga vertical y considerando que rv = Rv + 275

$$\mathbf{Rv+275 = -4.787 + (26.0 +275 + 107.144) - 10.8}$$
$$\mathbf{Rv = -4.787 + (26.0 +275 + 107.144) - 10.8 - 275}$$
$$\mathbf{Rv = 117.557\ hm^3 año.}$$

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:

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R = Recarga total media anual
DNC = Descarga natural comprometida
VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Zamora es de **308.5 hm^3/año.**

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el acuífero Zamora la descarga natural comprometida es de **180.2 hm³/año.**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **144,210,982 m³ anuales,** que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022.**

8.4 Disponibilidad de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar el volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas:

$$\mathbf{DMA = R - DNC - VEAS}$$
$$\mathbf{DMA = 308.5 - 180.2 - 144.210982}$$
$$\mathbf{DMA = -15.910982\ hm^3/año.}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **15,910,982 m³ anuales.**

9. BIBLIOGRAFÍA

"Estudio de Diagnóstico de las Condiciones Geohidrológicas Actuales y Análisis de Alternativas de Operación del Acuífero de Zamora, Michoacán", Servicios, Estudios, Proyectos de Ingeniería y Ciencias de la Tierra, S. A de C. V., 1993.

"Estudio Geohidrológico de Evaluación y censo en el Estado de Michoacán", Servicios, Geológicos, S. A., 1977.