

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO TAMAZULAPAN (2015), ESTADO DE
OAXACA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1. Provincia fisiográfica.....	5
3.2. Clima.....	6
3.3. Hidrografía.....	6
3.4. Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	7
4.1. Estratigrafía.....	9
4.2. Geología estructural.....	12
4.3. Geología del subsuelo.....	14
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1. Tipo de acuífero.....	14
5.2. Parámetros hidráulicos.....	15
5.3. Piezometría.....	15
5.4. Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	16
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	18
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
7.1. Entradas.....	20
7.1.1. Recarga vertical.....	21
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	21
7.2. Salidas.....	22
7.2.1. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	22
7.2.2. Evapotranspiración (ETR).....	22
7.2.3. Extracción por bombeo (B).....	24
7.2.4. Descarga por flujo base de los ríos (Dfb).....	24
7.3. Cambio de almacenamiento (ΔV_S).....	24
8. DISPONIBILIDAD	25
8.1 Recarga total media anual (R).....	26
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	26
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	26
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	27
9. BIBLIOGRAFÍA	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 Tamazulapan, definido con la clave 2015 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el extremo occidental del estado de Oaxaca, entre los paralelos 17°21' a 17°49' de latitud Norte y los meridianos 97°20' a 97°44' de longitud Oeste, cubriendo una superficie de 1,225 km². Limita al noroeste con el acuífero Huajuapán de León, al suroeste con Juxtlahuaca, al noreste con Cuicatlán, al este con Nochixtlán y al sur con el acuífero Jamiltepec, todos ellos pertenecientes al estado de Oaxaca (figura 1).

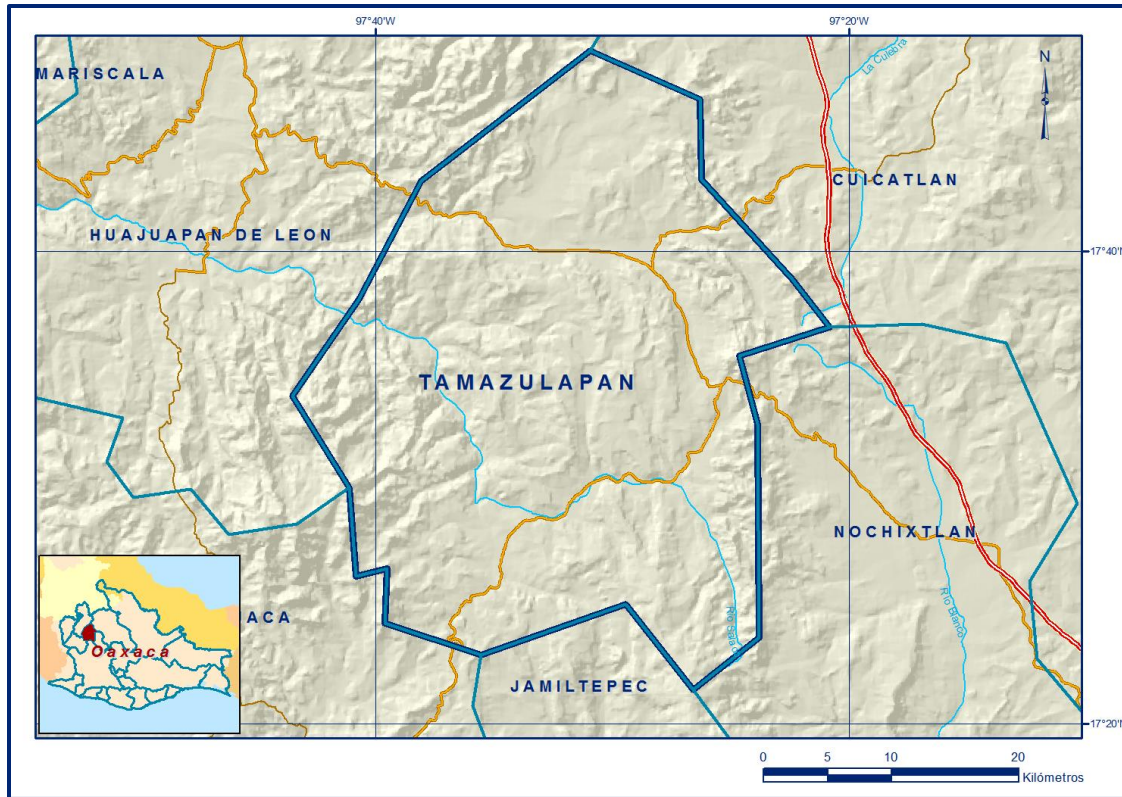


Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUÍFERO 2015 TAMAZULAPAN						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	97	23	48.7	17	23	40.0
2	97	26	35.4	17	21	27.5
3	97	29	27.3	17	25	4.8
4	97	35	33.2	17	22	56.0
5	97	39	38.7	17	24	15.7
6	97	39	32.8	17	26	34.7
7	97	40	51.2	17	26	14.5
8	97	41	8.4	17	30	0.1
9	97	43	33.5	17	33	51.8
10	97	40	42.7	17	37	58.1
11	97	38	6.3	17	42	59.6
12	97	30	56.7	17	48	29.7
13	97	26	18.7	17	46	26.5
14	97	26	14.5	17	43	2.9
15	97	22	23.5	17	38	48.3
16	97	20	49.7	17	36	47.0
17	97	24	37.8	17	35	34.1
18	97	23	51.7	17	32	41.5
1	97	23	48.7	17	23	40.0

Geopolíticamente el área que cubre el acuífero comprende en su totalidad a los municipios de La Trinidad Vista Hermosa, San Antonio Acutla, San Andres Lagunas, San Pedro Yucunama, Santiago Yolomecatl.

Cubre parcialmente a los municipios de Villa de Chilapa de Diaz, San Antonino Monte Verde, San Sebastian Nicananduta, San Pedro Martir Yucuxaco, San Martin Huamelulpam, Santa Cruz Tayata, Santa Maria Nduayaco, Magdalena Yodocono de Porfirio Díaz, Santiago Nejapilla, San Vicente Nuñu, San Pedro y San Pablo Teposcolula, San Juan Teposcolula, Santo Domingo Tonaltepec, Villa Tejupam de la Unión, San Miguel Tulancingo, Santa Magdalena Jicotlán, San Pedro Nopala, Teotongo, Villa de Tamazulápam del Progreso, San Andres Dinicuiti y Santo Domingo Yodohino.

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca IV “Balsas”. En la superficie que comprende el acuífero sólo rige un decreto de veda para la extracción de agua subterránea en una pequeña zona en la parte noreste del acuífero, en el límite con el acuífero Cuicatlán y es el *“Decreto que declara de utilidad pública el establecimiento del Distrito de Acuacultura Número Dos Cuenca del Papaloapan para preservar, fomentar y explotar las especies acuáticas, animales y vegetales, así como para facilitar la producción de sales y minerales”*, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 06 de Agosto de 1973.

Esta veda es tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

El principal uso del agua es el Doméstico. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

No se han realizado estudios geohidrológicos de evaluación en el territorio que comprende el acuífero, el único que abarca su superficie es el estudio denominado:

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LOS ACUÍFEROS JAMILTEPEC, MIAHUATLÁN, HUATULCO, CUICATLÁN, COATZACOALCOS, HUAJAUAPAN DE LEÓN, TAMAZULAPAN, JUXTLAHUACA, CHACAHUA, BAJOS DE CHILA Y COLOTEPEC-TONAMECA, EN EL ESTADO DE OAXACA, elaborado por la Universidad Autónoma Chapingo, para la Comisión Nacional del Agua, en 2010. El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos y recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

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

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica XII Sierra Madre del Sur. Esta provincia se caracteriza por ser montañosa, aunque en la zona donde se ubica el acuífero la provincia presenta barrancas y hondonadas profundas y en la red de drenaje domina el rectangular, de hecho, en esta subprovincia se origina el Río Mixteco, en altitudes que alcanzas poco más de los 3,000 m.

En el límite de esta provincia se define un escarpe orientado sensiblemente en la dirección sur-norte, con elevaciones de hasta 2,500 m, que se alza poco más de 500 m sobre la región poniente, sirviendo como límite el cauce del Río Juxtlahuaca en una longitud de unos 25 km hasta su confluencia con el Río Mixteco.

Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la zona que corresponde al área del acuífero se localiza en la Provincia Mixteca Alta.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el territorio que cubre el acuífero es templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad; este clima es el menos húmedo de los templados subhúmedos con lluvias en verano, se halla principalmente en la zona de transición hacia los climas semisecos.

La temperatura media anual que lo caracteriza es igual a la de los otros templados, entre 12.0 °C y 18.0 °C, pero la cantidad de lluvia total anual es menor: varía entre 500 y 700 mm. Los terrenos con estas condiciones se localizan en: Tlacotepec Plumas, Santa Magdalena Jicotlán, San Miguel Tulancingo, Santiago Teotongo, Villa de Tamazulápam del Progreso, San Pedro y San Pablo Teposcolula y Santiago Yolomécatl, entre otros lugares.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 4 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: Tamazulápam del Progreso, Suchixtlahuaca, Santiago Teotongo y Magdalena Jicotlán, cuyo registro comprende un periodo de 22, 49, 33 y 34 años, respectivamente. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **900.1 mm** y **13.9 °C** respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1706.3 mm anuales**.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos períodos de ocurrencia uno en verano de junio a septiembre, cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias que abarca de diciembre a febrero, con precipitaciones menos significativas. En el mes de septiembre se tiene la mayor lámina de precipitación con 390.3 mm; mientras que en el mes de abril solo se registra una lámina de precipitación de 55.2 mm. En cuanto a la distribución mensual de la temperatura media, mayo es el mes más cálido, con una temperatura media de 16.7°C, en tanto que el mes de enero registra la menor temperatura media, con 10.6 °C.

3.3. Hidrografía

El área cubierta por el acuífero pertenece a la Región Hidrológica 18 Balsas, Cuenca del Río Atoyac. En la porción suroriental del acuífero existe una serie de vertientes del Río Grande, que confluyen en la corriente principal del río Salado; en tanto que al noroeste los tributarios más importantes son La Culebra y Río Blanco.

Predomina el drenaje dendrítico sobre el rectangular, éste se define en los afloramientos de rocas metamórficas duras y el dendrítico en las rocas jurásicas y esquistos micáceos.

3.4. Geomorfología

La región se caracteriza por constituir barrancas profundas y valles intermontanos; las laderas de las barrancas y valles definen pendientes mayores al 35%. Las elevaciones máximas de poco más de 3,000 msnm no definen orientación y se establecen en las rocas ígneas.

Los afloramientos calcáreos alcanzan altitudes de unos 2,500 m y se orientan sensiblemente en dirección sur-norte y los conglomerados conforman lomeríos que se alzan unos 150 m arriba de las hondonadas y barrancas que los disectan; el drenaje que se adapta en éstas rocas es rectangular en las corrientes de primer y segundo orden, condicionado por los sistemas de fracturas y fallas que afectan a las rocas, adaptándose también los drenajes de tipo radial divergente y dendrítico en las elevaciones y en las rocas suaves.

En la Subcuenca Balsas-Mexcala afloran principalmente esquistos del Paleozoico, lutitas, areniscas y conglomerados de Edad Jurásica. En ella se definen formas de lomeríos y hondonadas que profundizan unos 250 m bajo las cimas aplanadas de las lomas.

4. GEOLOGÍA

En la región en la que se ubican las unidades hidrogeológicas estudiadas afloran rocas metamórficas, sedimentarias continentales, sedimentarias de litoral, sedimentarias marinas de plataforma, ígneas extrusivas y en menor proporción, ígneas intrusivas (Carta Geológica-Minera E14-9 "Oaxaca", escala 1:250,000, S.G.M. 2000). La distribución de las unidades geológicas se presenta en la figura 2.

Las rocas metamórficas son las más antiguas y conforman el basamento de la región; las de Edad Precámbrica, integradas en el Complejo Oaxaqueño constituyen el basamento de la porción oriente del área, es decir de la Unidad Hidrogeológica Tamazulapan.

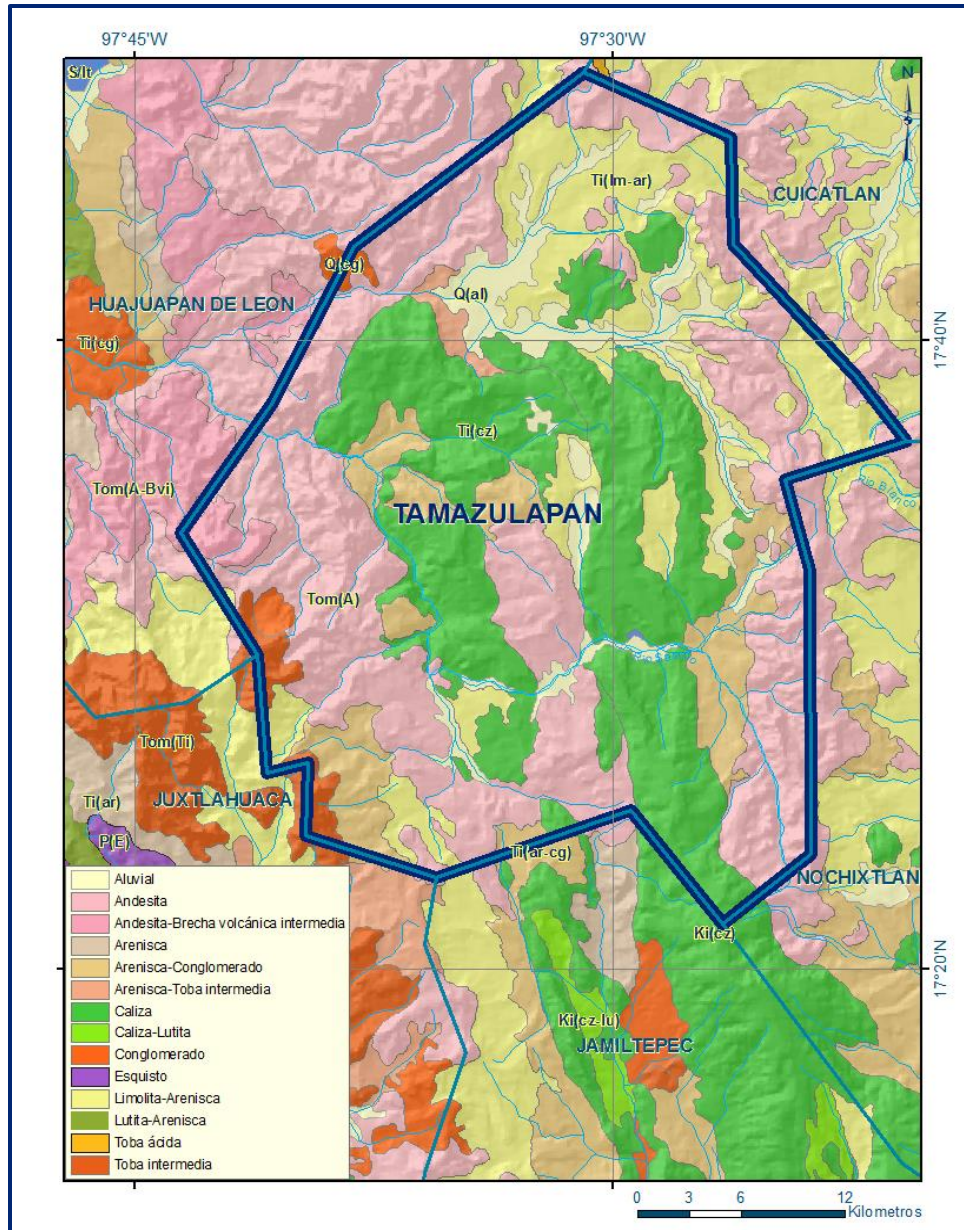


Figura 2. Geología general del acuífero

Los afloramientos de rocas del Precámbrico y Paleozoico, se ubican al sur y sur-poniente de la Unidad Hidrogeológica, existiendo entre ambos tipos de rocas, calizas de la Formación Teposcolula del Cretácico Temprano, depositadas en un medio ambiente de plataforma y debajo de ellas, lutitas y areniscas del Cretácico Inferior, además de otras rocas de edad Cenozoico; estas rocas, impiden observar el contacto entre las rocas metamórficas, cuyo contacto debe ser de tipo tectónico por falla de desplazamiento lateral, con un rumbo sensiblemente norte-sur, del mismo sentido que definen las estructuras anticlinales y sinclinales que observan las rocas sedimentarias Mesozoica

Las calizas del Cretácico Inferior que incluyen a la Formación Teposcolula y otras de constitución margosa y arenosa de la base del Cretácico, sobreyacen a rocas de Edad Jurásica de ambientes continentales, costeros y litorales, depositadas en las márgenes de la denominada Cuenca de Tlaxiaco, que tuvo su mayor expresión con el depósito de calizas de plataforma del Cretácico Medio.

Ésta cuenca a pesar de la Tectónica Laramídica y Cascadiana que la afectaron, indica que su desarrollo longitudinal fue en sentido norte-sur. Las rocas del Jurásico Inferior, Medio y Superior, afloran al poniente de una línea norte-sur, que toca a la Ciudad de Huajuapán de León; ésta línea, pudiera determinar la margen poniente de la mencionada cuenca, puesto que las rocas jurásicas se extienden ampliamente al poniente, teniendo sus localidades tipos en el Estado de Guerrero; hacia el oriente no se detectan y las calizas cretácicas parecen descansar al Complejo Oaxaqueño.

La depresión persistió en el Cenozoico, como lo evidencian los depósitos de limolitas, areniscas y conglomerados del Terciario Inferior, denominados Conglomerado Huajuapán y Conglomerado Tamazulápam.

El área de la unidad hidrogeológica es también afectada por fallas de transcurrancia con sentido distinto al norte-sur, como es posible verificar observando el valle donde se asienta el Poblado de Tamazulápam, el cual presenta una elongación este-oeste, de acuerdo al sentido que define la traza de la falla de transcurrancia que flexionó hacia el poniente y posiblemente desplaza, a las rocas calcáreas de la Formación Teposcolula.

4.1. Estratigrafía

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero comprende edades que varían del Precámbrico al Cuaternario. A continuación, se describen de la más antigua a la más reciente:

PRECÁMBIRCO

Se definen estratigráficamente las principales formaciones mediante las cuales es posible comprender la evolución geológica de la región. Las rocas metamórficas que se encuentran aflorando en el estado de Oaxaca han sido ampliamente estudiadas y se incluyen en el complejo oaxaqueño; Fries *et al.* (1962) y Fries y Rincón Orta (1965), definen al Complejo Oaxaqueño como una secuencia metamórfica de alto grado.

Posteriormente, Schlaepfer (1970), lo define como una secuencia de gneises de hornblenda y augen gneises de color café amarillento con notable foliación que se encuentra aflorando en la porción suroriental del área fuera del límite del área de estudio. Está constituido por gneis de colores rojizo a gris oscuro al fresco y de tonalidades rojizas por efectos del intemperismo; constituye el basamento sobre el cual descansan discordantemente los sedimentos terrígenos mesozoicos del Grupo Puebla, el cual se ubica al nororiente del área de estudio y también los yesos de la Formación San Juan Teita.

Se le considera una edad Precámbrica de acuerdo con los resultados obtenidos por el método Plomo-Alfa (Fries *et al.* 1974), en muestras recolectadas en el área de Santa Inés de Zaragoza, Oaxaca, en donde se obtuvieron edades de 1,190 +/- 20 millones de años y 839 +/- 80 millones de años. Se correlaciona con el Gneis Novillo de Tamaulipas y con el Gneis Huiznopala de Hidalgo.

Los sedimentos que dieron origen a esta secuencia metamórfica, fueron depositados en un geosinclinal que se extendía desde Oaxaca hacia el oriente del Estado de Hidalgo y al poniente de Tamaulipas, denominado como Geosinclinal Oaxaqueño por Fries (1962).

MESOZOICO

Formación Teposcolula

Fue descrita originalmente por Salas (1949), como Caliza Teposcolula ubicándola en el Jurásico Superior; Guzmán (1950), encuentra una secuencia carbonatada en Zapotitlán Lagunas, Oaxaca y la denomina como Caliza del Cretácico Medio.

Erben (1956), la correlaciona con la Caliza con *Cidaridites* del Oxfordiano. Cárdenas-Vargas (1966), estudia estas mismas rocas y las correlaciona igual que Erben (*Op. Cit.*), pero lo duda por la presencia de *hipurites sp.* López-Ticha (1970), la define formalmente como Formación Teposcolula y la sitúa en el Albiano-Cenomaniano, citando como localidad tipo los afloramientos expuestos en la Sierra de San Pedro Teposcolula, Oaxaca. Aflora en los poblados de Tlacotepec Lagunas, Guadalupe del Recreo, San José el Guamúchil, Xixingo de los Reyes, Tlaquetzala, San José Buenavista, Ixcateopan, al oriente de Zapotitlán Lagunas, en Zoyatitlanapa, en Cuaxoxocatlán, en el Cerro los Pelones, al norte de Huamuxtitlán y al poniente de Coyahualco.

Se encuentra constituida por una caliza de textura wackstone, de miliólidos, de color gris e intemperismo gris oscuro, en estratos medianos, con abundantes restos de moluscos, pelecípodos y escasos nódulos de pedernal; se observan huellas de disolución y escasas estilolitas paralelas a la estratificación; hacia la base se presentan brechas y conglomerados calcáreos masivos.

El espesor máximo medido en esta formación, es de 1,000 metros. Sobreyace normal y transicionalmente al Grupo Tlaxiaco; el contacto con la Formación Yucunama que le sobreyace no se observa por encontrarse cubierto por material reciente.

En base a la fauna reportada por Alencaster (1973), quien cita *toucasia polygyra*, *chondrodonta munsoni* y *coalcona ramosa*, se le asignó una Edad que va del Barremiano-Aptiano al Albiano-Cenomaniano.

La parte basal se correlaciona en tiempo con la parte superior de los grupos Tlaxiaco y Puebla de esta misma región, la parte superior es correlacionable con las formaciones Tlaltepexi por cambio de facies, Petlalcingo, Cipiapa y Orizaba de los Estados de Puebla y Veracruz. Por las características sedimentológicas observadas, se infiere que esta formación se depositó en un ambiente de plataforma interna, de baja energía y con circulación restringida.

Formación Yucunama

Fue citada inicialmente por Salas (1949), como Margas Tilantongo, para designar una secuencia margosa, que aflora en las inmediaciones del poblado de Tilantongo y Chila de Flores; López-Ticha (1975), nomina como Formación Chila a la secuencia descrita por Salas (*Op. Cit.*). González-Alvarado (1970) y Ferrusquia-Villafranca (1970), las definen formalmente como Formación Yucunama y Marga Yucunama respectivamente, para designar una secuencia constituida por margas, lutitas y calizas, que sobreyacen a la Formación Teposcolula, situando la localidad tipo en el poblado de Yucunama, Oaxaca.

Se encuentra aflorando sobre los caminos que van de Zapotitlán Lagunas a Guadalupe del Recreo y de Zapotitlán Lagunas a San Mateo Nejápam. Se encuentra constituida por margas en estratos delgados, de color gris oscuro, mudstone color gris oscuro en estratos delgados y lutitas laminares ligeramente calcáreas de color verde amarillento.

El espesor presente en el área es muy reducido, pero en otras áreas se han observado hasta 800 metros de espesor. En el área sobreyace normal y concordantemente a la Formación Teposcolula y a los Yesos Tlaltepexi y le sobreyace de manera discordante la Formación Huajuapán y la secuencia volcánica del Terciario.

Por la posición estratigráfica que guarda con las rocas que la encajonan y por el contenido microfaunístico presente, se considera que esta Formación se depositó durante el periodo que va del Turoniano al Maestrichtiano, es correlacionable en tiempo con las formaciones Maltrata y Guzmantla de la plataforma de Córdoba. Las microfacies descritas de esta unidad, se consideran como depósitos de plataforma con circulación restringida, con un considerable aporte de terrígenos, indicativo de una facies de relleno de cuenca de tipo arcillo-calcáreo.

Sistema cuaternario

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

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

Los depósitos aluviales están constituidos por material fino a arenoso sin consolidar, constituido principalmente por arcillas y arenas derivadas de las partes altas de la Meseta de Zapotitlán, con abundante material y pequeños cristales de yeso y anhidrita. Por sus características sedimentológicas y relaciones estratigráficas y estructurales, se deduce que pertenecen al reciente.

4.2. Geología estructural

El paisaje geomorfológico que exhibe la región mixteca, es consecuencia de los eventos geológicos internos que afectaron las rocas que la conforman, dado que las estructuras resultantes determinan la eficacia con que los agentes erosivos las atacan, teniendo también decisiva influencia la litología. Por esta razón, es de esperarse que en los sistemas de fallas y fracturas se configuraran depresiones y valles, mismos rasgos que se definen en rocas no duras como lutitas y margas.

De acuerdo a lo anterior, la cresta que se define en sentido sur-norte, que limita a las subprovincias, está constituida por sedimentos calcáreos de Edad Cretácica; hacia el oriente predominan los afloramientos de estas rocas, así como limolitas, areniscas y conglomerados del Terciario Inferior y, tobas y lavas de composición andesítica y edad Oligoceno-Mioceno; en estas últimas se conforman los agrupamientos de cerros en los que nacen las corrientes que constituyen el Río Mixteco, existiendo también algunos afloramientos de areniscas, lutitas y margas de edad Jurásica, en donde la erosión define hondonadas y lomeríos en limos, al igual que en las limolitas, areniscas y conglomerados de edad Terciaria.

Las rocas correspondientes al Jurásico Inferior y Medio, constituidas principalmente por sedimentos de origen continental, costeros y de plataforma, definen lomeríos con pendiente moderada y elevaciones máximas de 2,000 m, en los que el drenaje es de tipo dendrítico y de baja densidad, los cauces son estrechos y las pendientes de aproximadamente del 10% aumentan hacia la cabecera.

En las rocas de Edad Jurásico Superior y Cretácico Inferior, compuestas por sedimentos arcillosos y arcillo-calcáreos, modelan formas más suaves que las citadas anteriormente, con un denso drenaje dendrítico desarrollado en su superficie. En lo que corresponde a los sedimentos arenosos, costeros y calcáreos que fueron depositados cercanos la plataforma, forman elevaciones moderadas, con alturas máximas de 2,000 msnm; desarrollándose en ellas un drenaje de tipo dendrítico con cauces estrechos y pendientes máximas de 25%.

Las rocas sedimentarias del Cretácico Medio y Superior, corresponden principalmente a calizas, dolomías, yesos y calizas arcillosas, plegadas, que definen amplias sierras con pendiente moderada y elevaciones máximas de 2,500 msnm.

En ellas, por ser permeables, no se observa un drenaje superficial definido, por presentar fenómenos cársticos que propician un drenaje subterráneo.

Por último, las rocas ígneas extrusivas principalmente de tipo andesítico, compuesta por una serie alternante de tobas y derrames, constituye sierras escarpadas con elevaciones de hasta 2,600 msnm sobre las que se desarrolló un sistema de drenaje de tipo dendrítico.

4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos fluviales de granulometría variada, que constituyen el lecho y la llanura de inundación de los Ríos Salado y Texupán y en los conglomerados polimícticos.

Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la región. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias, principalmente calizas de la Formación Teposcolula, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. A mayor profundidad, las calizas de las formaciones Olinalá y las areniscas y lutitas de las Formaciones Rosario, Cualac, Chimeco, Sabinal y el Grupo Tecocoyunca, constituyen horizontes acuíferos que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento o de confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas. Este es un acuífero que aún no sido explorado.

Las fronteras y barreras al flujo subterráneo, así como el basamento geohidrológico del acuífero están representadas por las mismas rocas sedimentarias fracturadas al desaparece el fracturamiento y por las secuencias de depósitos terrígenos finos que conforman las lutitas y limolitas. A mayor profundidad se considera que el basamento geohidrológico regional está constituido por la secuencia de rocas metamórficas del Complejo Acatlán. Los depósitos granulares y conglomeráticos tienen varios cientos de metros de espesor y fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas formadas durante la revolución Laramídica.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar varios metros en el centro del valle. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias entre las que destacan las calizas de la Formación Olinalá, que presenta permeabilidad secundaria por fracturamiento y/o disolución, que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento o de confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2011, se realizaron 5 pruebas de bombeo de corta duración a caudal constante, en etapa de abatimiento y recuperación.

Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos de Neuman, Theis y Jacob, tanto en etapa de abatimiento como recuperación.

Los resultados de su interpretación indican que los valores medios de transmisividad varían entre **0.0108 y 0.292 m²/s**, con un valor promedio de **0.151 m²/s**.

Los valores de conductividad hidráulica varían de **2.21 x10⁻⁵ a 5.49 x10⁻³ m/s** (1.9 y 474.3 m/día), que se asocian a sedimentos de granulometría fina y media. Ninguna prueba de bombeo contó con pozo de observación por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con información de estudios anteriores y con la información recabada como parte de las actividades del estudio realizado en el año 2011, correspondiente al periodo de 2003-2011.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2011, mostrada en la figura 3, se puede observar que las profundidades varían desde 1 hasta 10 metros con respecto a la superficie del terreno, aumentando gradualmente a lo largo del cauce de los ríos y arroyos, conforme se asciende topográficamente.

En el 30% del área estudiada las profundidades al nivel estático varían de 0.5 a 3.0 m, donde evidentemente el acuífero presenta descarga natural por evapotranspiración y en el 70% las profundidades varían de 3 a 10 m, que obedecen a la topografía, ya que se encuentra en las partes más altas.

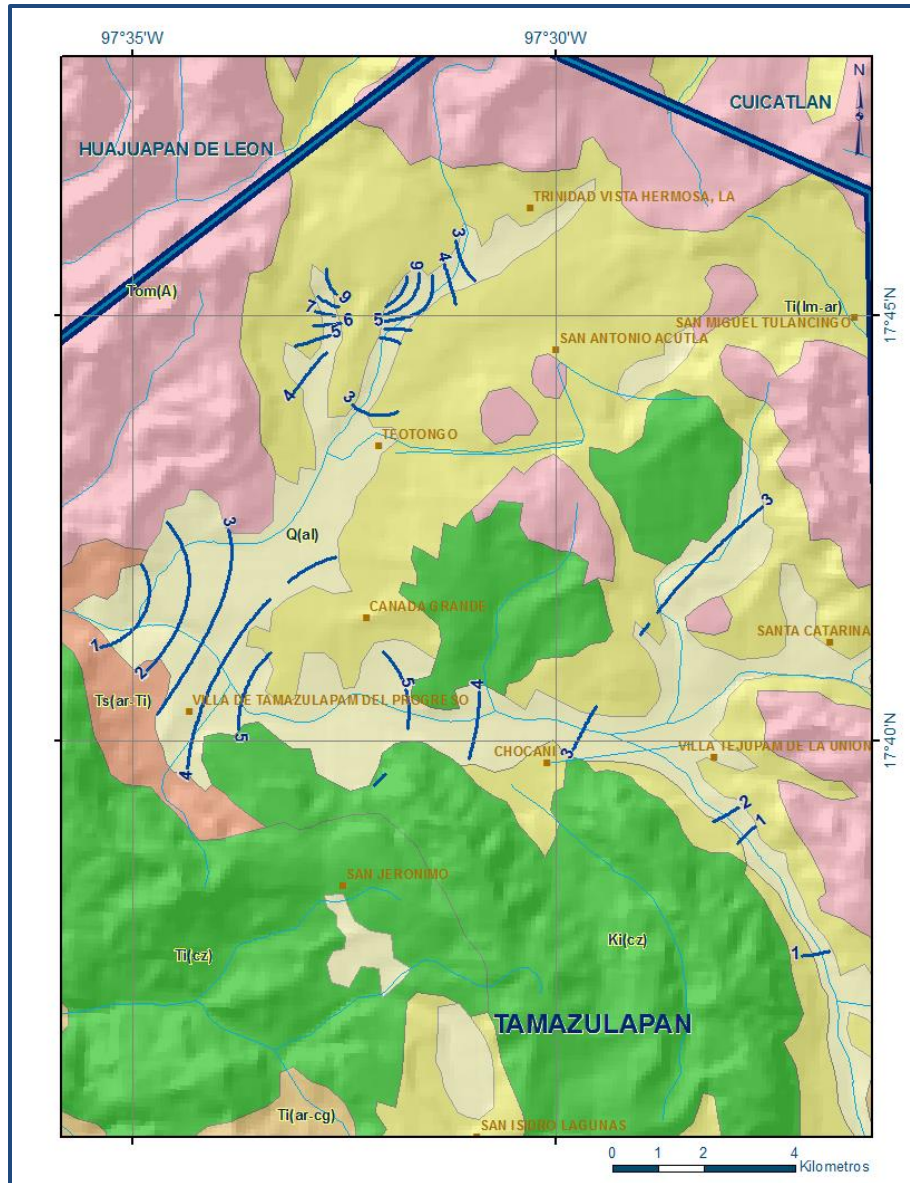


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2010)

5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 4, se puede observar que la carga hidráulica varía desde la equipotencial 2,160 msnm hasta la equipotencial 1,960 msnm y decrece de las partes altas del acuífero (aguas arriba del río) hasta la parte más baja del mismo; es válido suponer que las direcciones del flujo subterráneo son más o menos perpendiculares a las curvas de igual elevación; por lo que en este plano se trazaron las líneas de corriente, perpendiculares a las equipotenciales, obteniéndose el esquema de flujo subterráneo que permite conocer las direcciones del movimiento del agua subterránea en el subsuelo de la planicie.

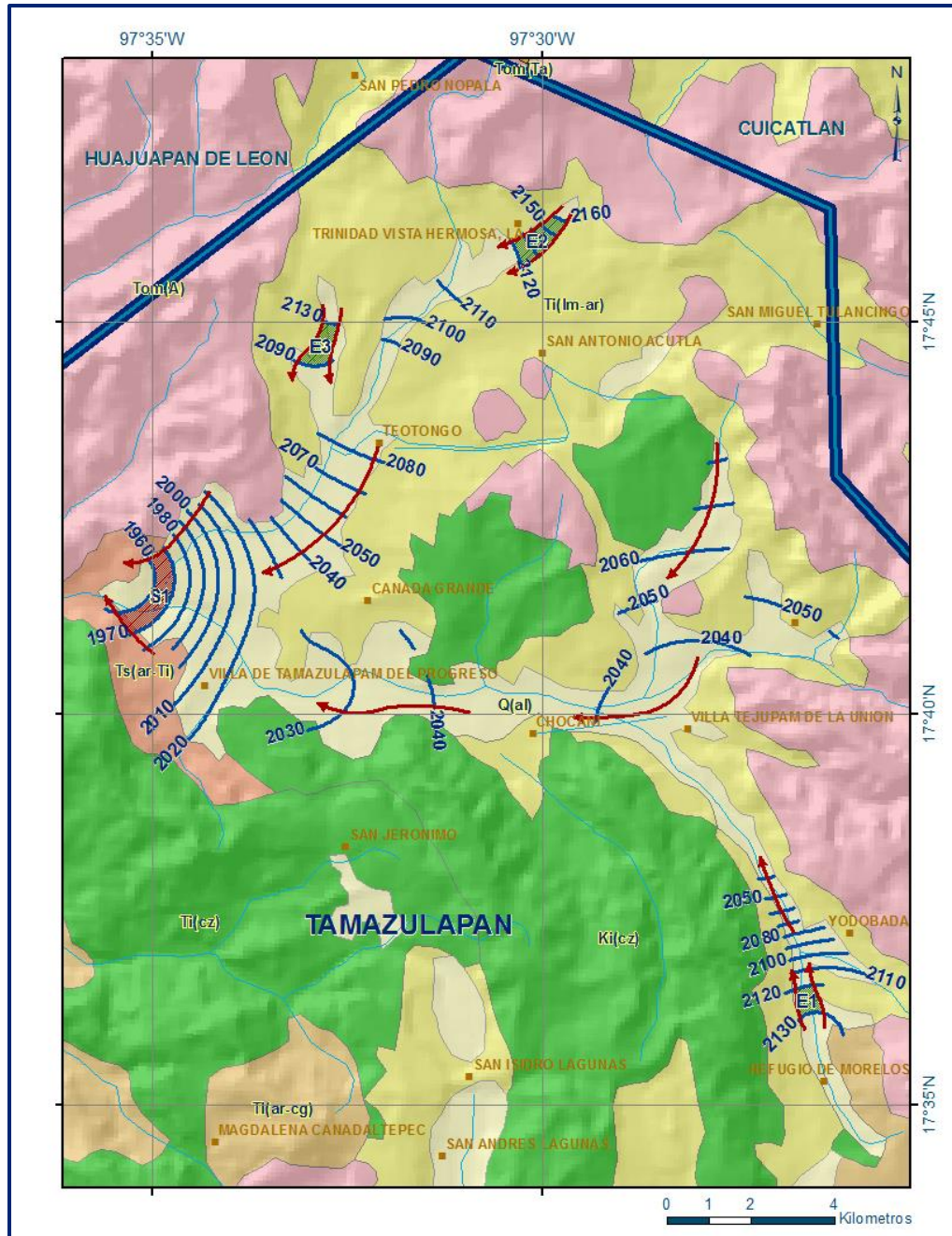


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

La dirección predominante del flujo subterráneo es del noreste hacia el suroeste, desde la zona de recarga aguas arriba del río con el potencial hidráulico 2,160 hasta descargar a las corrientes aguas abajo del acuífero.

El esquema de flujo subterráneo no presenta ninguna deformación notable o cono de abatimiento por la extracción de los aprovechamientos existentes, más bien, sigue las mismas direcciones de los escurrimientos superficiales.

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, mostrada en la figura 5, se puede observar que en el área donde se tiene información piezométrica se presentan recuperaciones del nivel estático en el 100% de ella; las recuperaciones van de 0.5 m a 1.5 m y se presentan los máximos ascensos en el centro del área de balance.

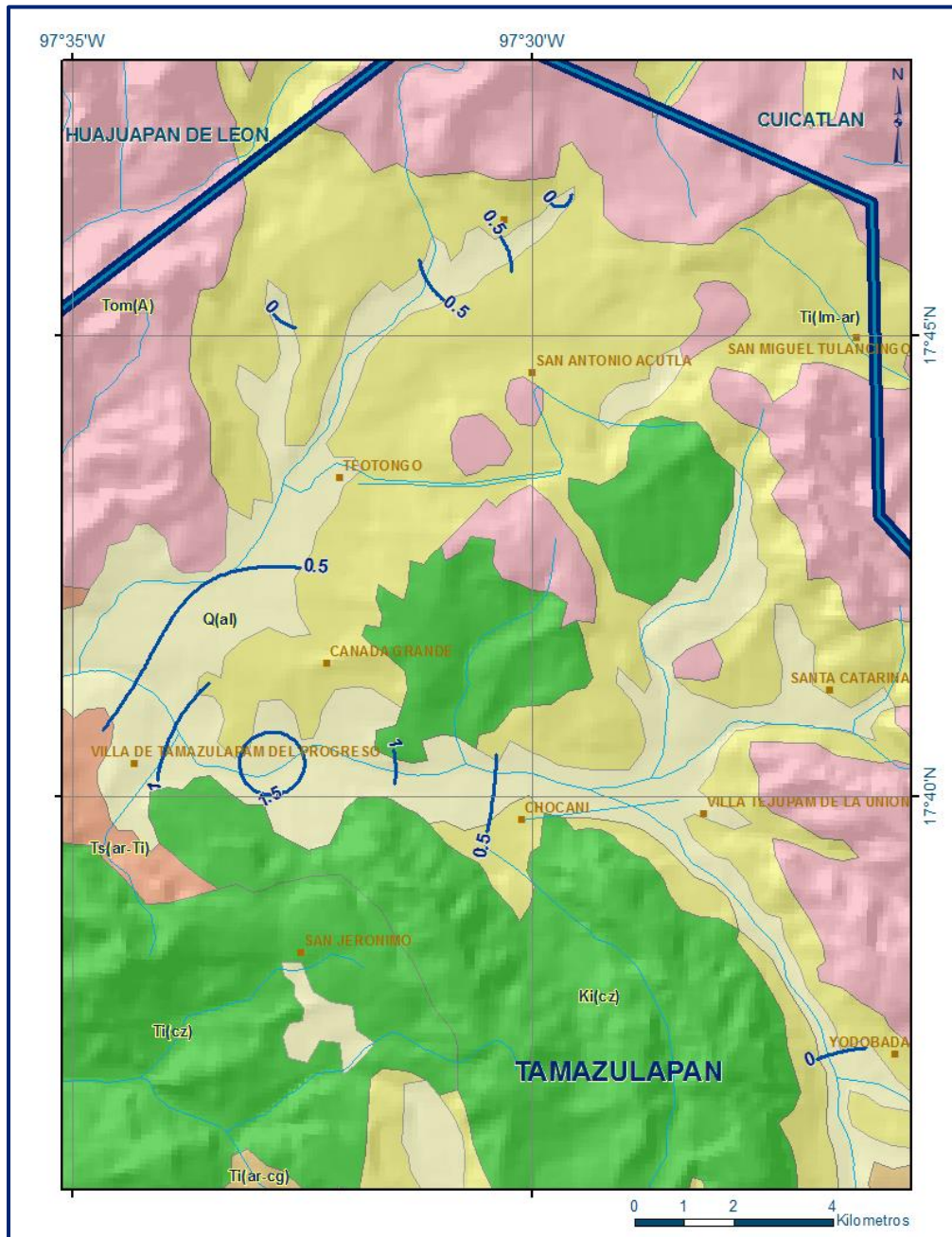


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (2003 - 2010)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2010, se tomaron 15 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (STD), pH, Eh, Nitratos, iones mayoritarios y dureza total. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 260 a 990 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido en la NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022. de STD, solamente un aprovechamiento sobrepasa el límite permisible con un valor de 1240 ppm.

Con respecto a la conductividad eléctrica, el agua se clasifica de manera general como dulce, de acuerdo al criterio establecido por la American Potability and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de 500 a 1980 $\mu S/cm$, solamente un aprovechamiento sobrepasa el límite con 2510 $\mu S/cm$. Todos los valores de pH en el área de estudio se encuentran entre los límites máximos permisible que marca la Norma Oficial Mexicana para el agua destinada al consumo humano, ya que se registran valores de 7.2 a 8.1, que representa agua ligeramente alcalina en la que existe predominio en el contenido de carbonatos, con respecto a los sulfatos. Los valores de temperatura registrados varían 18.4 a 24.4.

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó como familia dominante la sódico-cálcico-bicarbonatada, que, con excepción de dos muestras, es agua es de muy buena calidad, que corresponde a agua de reciente infiltración

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad media y alta (C_1 y C_2) y contenido bajo de sodio intercambiable (S_1), lo que indica que es apropiada para su uso en riego con ciertas restricciones.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en el 2010, se registró un total de 72 aprovechamientos: 32 norias, 12 pozos y 28 manantiales, del total de aprovechamientos, 57 se encuentran activos y los restantes 3 inactivos permanentemente.

El volumen de extracción asciende a **1.0 hm³ anuales**, de los cuales 0.61 hm³ (61 %) se destinan al uso doméstico, el 0.32 (32%) se destinan al uso agrícola y el 0.07 hm³ (7 %) restantes se utilizan para usos pecuarios y otros servicios.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el año 2011 en una superficie de 58.2 km², que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localizan los aprovechamientos del agua subterránea. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1. Entradas

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

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Para este caso, dado que el volumen destinado para usos público-urbano y agrícola es pequeño, se considera que no existe recarga inducida. Por lo que **Ri = 0**.

7.1.1. Recarga vertical

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se cuenta con información para calcular el cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$), las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Donde:

R_v = Recarga vertical;

E_h = Entradas por flujo horizontal subterráneo;

B = Bombeo;

S_h = Salidas por flujo horizontal subterráneo;

ETR = Evapotranspiración;

D_{fb} = Descarga por flujo base;

$\Delta V(S)$ =Cambio en el volumen almacenado;

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene la siguiente ecuación:

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

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. Para el cálculo de las entradas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2011, mostrada en la figura 4. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal " Q " en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

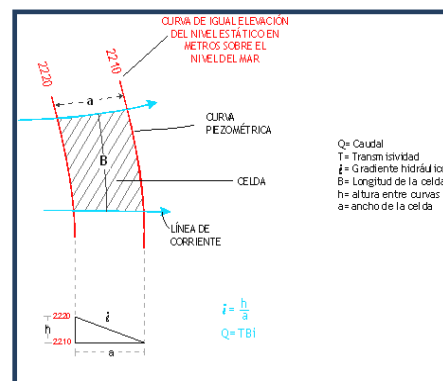
Donde:

Q = Gasto;

T = Transmisividad;

B = Longitud de la celda;

i = Gradiente hidráulico;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos, en la tabla 2 se observan los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **1.5 hm³/año**. Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado en cada zona.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo

Celda	B (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente hidráulico (i)	K (m/s)	b (m)	T (m ² /s)	Q (m ³ /s)	V (hm ³ /año)
E1	530	10	0.01786	0.0001	15	0.0015	0.0141987	0.4
E2	480	40	0.03636	0.0001	15	0.0015	0.0261792	0.8
E3	450	40	0.01	0.0001	15	0.0015	0.00675	0.2
TOTAL								1.5

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), salidas subterráneas horizontales (Sh), a través de evapotranspiración (ETR) y por descarga por flujo base de los ríos (Dfb).

7.2.1. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas se evalúan de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del NE del año 2010 (figura 4), el cálculo se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo

Celda	B (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente hidráulico (i)	K (m/s)	b (m)	T (m ² /s)	Q (m ³ /s)	V (hm ³ /año)
S1	1,800	10	0.03846	0.0001	20	0.002	0.138456	4.4
TOTAL								4.4

El volumen total estimado de salidas por flujo subterráneo asciende a **4.4 hm³ anuales**.

7.2.2. Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto, es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema.

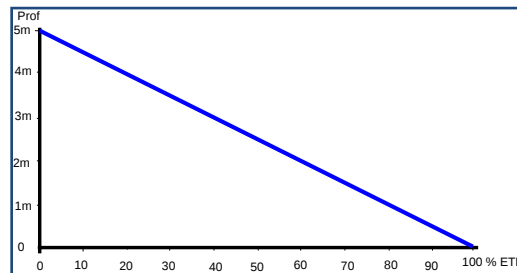
Existen dos formas de evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real). Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación:

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	13.9		
P(mm) =	900.1	P ² =	810180.01
L =	781.78095	L ² =	611181.4538
ETR (mm)	603.3		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 5 m, hasta la que penetra la vegetación en este tipo de climas, bajo el siguiente proceso: En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 5 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR.

Suponiendo una profundidad límite de extinción de 5 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 5 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 4 m el 20%, a 2 m el 60% etc.



De esta manera, la estimación del valor de la evapotranspiración se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno por la lámina de evapotranspiración obtenida y por el % que le corresponde de acuerdo con la gráfica anterior.

De esta manera, tomando en cuenta una superficie de 17.5 km² de la zona aledaña al cauce de los ríos de la zona en la que la profundidad media al nivel del agua subterránea es de 2 m y la lámina de evapotranspiración obtenida de 603.3 mm (con valores de 900.1 mm anuales para la precipitación y 13.9 °C de temperatura), de acuerdo con la gráfica, tenemos que la ETR = 17.5 km² (0.6033 m) (0.6) = 6.3.

Por lo tanto, la **ETR = 6.3 hm³/año**.

7.2.3. Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **1.0 hm³/año**.

7.2.4. Descarga por flujo base de los ríos (Dfb)

Las descargas del acuífero durante el estiaje, a lo largo de los ríos que atraviesan el área de balance, se estimaron con base en el análisis y procesamiento de la información hidrológica superficial y subterránea del estudio base para este documento para un sistema abierto en condiciones naturales, en donde se determinó un valor estimado que asciende a **3.7 hm³ anuales**, que se descarga del acuífero en la temporada de estiaje.

7.3. Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Para la estimación del cambio de almacenamiento, se tomó en cuenta la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2003-2010, mostrada en la figura 5, en donde se observa que se registran valores puntuales de recuperación de hasta 1.5 m.

Para el resto de la superficie de balance, aunque las mediciones puntuales reflejan un ascenso del nivel estático, éstas se localizan en zonas topográficamente más altas, fuera del área de balance.

Con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, y considerando un coeficiente de almacenamiento $S = 0.15$, se determinó la variación del almacenamiento con la siguiente expresión:

$$\Delta VS = S * A * h$$

Donde:

$\Delta V S$ = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

S= Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

A= Área entre curvas de igual evolución del nivel estático (km²);

h= Valor medio de la variación piezométrica en el período (m);

A nivel de todo el acuífero se manifiesta un cambio de almacenamiento de 4.2 hm³ para el periodo 2003-2010, que equivalen a 0.60 hm³ anuales, por lo que **$\Delta V(S) = 0.6$ hm³/año.**

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la infiltración vertical (Rv), el cual será calculado a partir de la ecuación (2):

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh + ETR + Dfb \pm \Delta V(S) - Eh & (2) \\ R_v &= 1.0 + 4.4 + 6.3 + 3.7 + 0.6 - 1.5 \\ R_v &= 14.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el valor de la recarga total (R) es igual a la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + Eh \\ R &= 14.5 + 1.5 \\ R &= 16.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

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 **16.0 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de **DNC = 8.1 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 (REPDa), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero. Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **5,437,271 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 16.0 - 8.1 - 5.437271 \\ \text{DMA} &= 2.462729 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **2,462,729 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio para determinar la disponibilidad de aguas subterráneas de los acuíferos Jamiltepec, Miahuatlán, Huatulco, Cuicatlán, Coatzacoalcos, Huajuapán de León, Tamazulapan, Juxtlahuaca, Chacahua, Bajos de Chila y Colotepec-Tonameca, en el estado de Oaxaca, elaborado por la Universidad Autónoma Chapingo.