



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO TEHUANTEPEC (2007), ESTADO DE
OAXACA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización	2
1.2 Situación administrativa del acuífero	6
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	7
3. FISIOGRAFÍA.....	8
3.1 Provincias fisiográficas	8
3.2 Clima	10
3.3 Hidrografía.....	11
3.4 Geomorfología	13
4. GEOLOGÍA	14
4.1 Estratigrafía.....	16
4.2 Geología estructural.....	19
4.3 Geología del subsuelo.....	21
5. HIDROGEOLOGÍA.....	21
5.1 Tipo de acuífero.....	21
5.2 Parámetros hidráulicos.....	22
5.3 Piezometría.....	22
5.4 Comportamiento hidráulico.....	23
5.4.1. Profundidad al nivel estático	23
5.4.2. Elevación del nivel estático	24
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	24
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	25
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	26
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	26
7.1 Entradas.....	27
7.1.1 Recarga vertical (Rv)	27
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	28
7.1.3 Recarga incidental (Ri)	29
7.2 Salidas.....	30
7.2.1 Bombeo (B).....	30
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	30
7.2.3 Descarga a través de manantiales (Dm)	30
7.2.4 Evapotranspiración (ETR).....	30
7.1 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	32
8. DISPONIBILIDAD.....	33
8.1 Recarga total media anual (R).....	34
8.2 Descarga natural comprendida (DNC)	34
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	34
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	35
9. BIBLIOGRAFÍA.....	36

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 Tehuantepec, definido con la clave 2007 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroriental del estado de Oaxaca, entre los paralelos 16°07'20" y 17°22'28" de latitud norte y entre los meridianos 94°28'30" y 96°39'16" de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 14,015 km².

Limita al norte con los acuíferos Tuxtepec y Coatzacoalcos, al este con Ostuta; al oeste con los acuíferos Río Verde-Ejutla y Miahuatlán; al suroeste con Huatulco, al sur con Santiago Astata y Morro Mazatán; al noroeste con Valles Centrales, todos ellos del estado de Oaxaca. Al sureste su límite natural es el Golfo de Tehuantepec en el Océano Pacífico (Figura 1).

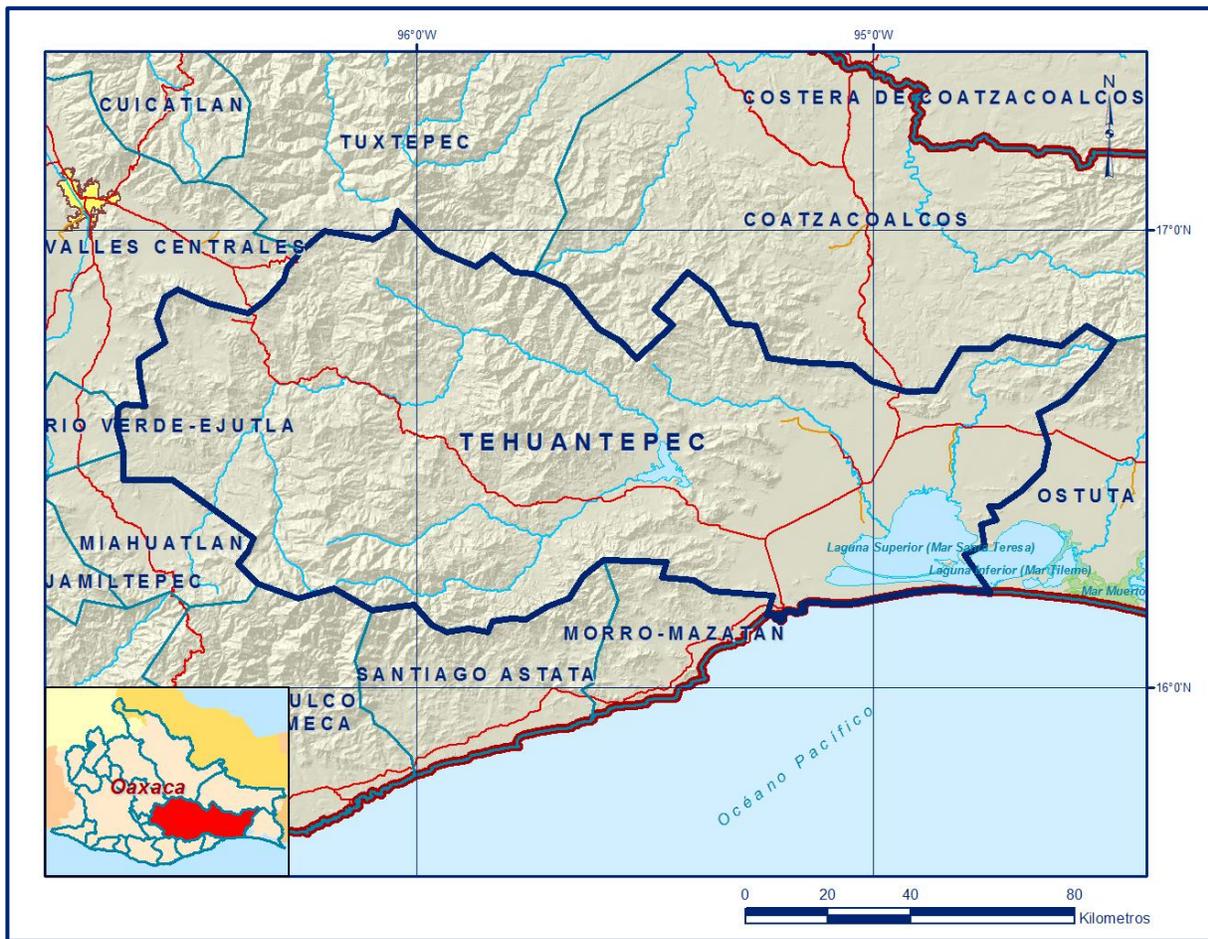


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, la superficie que cubre el acuífero comprende totalmente los municipios El Espinal, Magdalena Tlacotepec, Santa Catarina Quioquitani, San Blas Atempa, San José Lachiguiri, San Juan del Río, San Juan Lajarcia, San Pedro Comitancillo, San Pedro Huilotepec, San Pedro Mártir Quiechapa, San Pedro Quiatoni, San Pedro Totolápam, Santa Ana Tavela, Santa Catalina Quierí, Santa María Jalapa del Marqués, Santa María Mixtequilla, Santa María Quiegolani, Santa María Totolapilla, Santa María Xadani, Santa María Zoquitlán, Unión Hidalgo, Yaxe, San Bartolo Yautepec y San Mateo del Mar.

De manera parcial comprende los municipios Santiago Laollaga, Santo Domingo Chihuitán, Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza, San Juan Lachigalla, Santo Domingo Tepuxtepec, San Dionisio Ocotepec, Santo Domingo Ingenio, San Baltazar Chichicápam, Ciudad Ixtepec, San Pedro Taviche, San Francisco Logueche, Nejapa de Madero, Magdalena Tequisistlán, San Lorenzo Albarradas, San Jerónimo Taviche, San Juan Juquila Mixes, San Juan Mixtepec Dto. 26, Santa María Guienagati, Santa María Tepantlali, San Carlos Yautepec, Asunción Tlacolulita, Santa María Ecatepe, San Luis Amatlán, Salina Cruz, Guevea de Humboldt, San Pedro

Mixtepec Dto. 26, Santiago Matatlán, Coatecas Altas, Santiago Lachiguiri, Santo Domingo Tehuantepec, Asunción Ixtaltepec, San Dionisio del Mar, Tlacolula de Matamoros, San Miguel Tilquiápam, San Cristóbal Amatlán, Santiago Niltepec, San Miguel Chimalapa, Tamazulápam del Espíritu Santo, San Pedro y San Pablo Ayutla, San Miguel Quetzaltepec, San Miguel Tenango, Heroica Ciudad de Ejutla de Crespo, San Pablo Villa de Mitla, Magdalena Teitipac, San Lucas Camotlán, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Santa María Chimalapa, Santo Domingo Ozolotepec, San Lucas Quiaviní, Santo Domingo Petapa, San José del Progreso y San Bartolomé Quialana.

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 2007 TEHUANTEPEC							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	95	14	2.9	16	9	25.2	
2	95	13	13.2	16	12	3.0	
3	95	21	8.9	16	12	40.5	
4	95	23	31.1	16	14	5.9	
5	95	27	44.5	16	14	25.2	
6	95	27	9.6	16	16	30.6	
7	95	35	23.2	16	16	43.1	
8	95	38	4.3	16	14	40.0	
9	95	40	0.2	16	11	42.5	
10	95	42	48.3	16	10	37.9	
11	95	45	31.9	16	8	53.7	
12	95	47	26.0	16	9	3.7	
13	95	49	59.5	16	8	45.5	
14	95	50	37.2	16	7	16.2	
15	95	53	5.8	16	7	49.0	
16	95	55	59.6	16	7	19.7	
17	95	58	3.4	16	8	14.6	
18	96	0	16.5	16	10	52.5	
19	96	5	49.5	16	10	9.9	
20	96	10	47.1	16	13	0.1	
21	96	15	28.9	16	11	42.9	
22	96	20	40.0	16	13	40.2	
23	96	23	20.7	16	16	16.3	
24	96	21	59.8	16	17	54.6	
25	96	21	15.1	16	19	35.4	
26	96	31	57.1	16	27	14.0	
27	96	38	27.6	16	27	12.9	
28	96	38	23.6	16	31	3.8	
29	96	39	15.4	16	34	9.8	
30	96	39	7.5	16	36	30.5	
31	96	38	19.1	16	37	8.6	
32	96	35	29.7	16	36	53.0	
33	96	36	14.7	16	40	37.0	
34	96	36	25.9	16	43	0.4	
35	96	32	53.0	16	45	15.9	
36	96	33	56.7	16	48	21.4	
37	96	33	0.0	16	51	6.9	
38	96	31	15.8	16	52	10.5	
39	96	27	14.0	16	50	27.4	
40	96	22	2.9	16	49	8.1	
41	96	19	35.5	16	50	56.2	
42	96	17	25.4	16	53	32.0	
43	96	16	54.9	16	55	8.1	
44	96	14	58.7	16	57	19.0	
45	96	12	1.2	16	59	51.0	
46	96	5	36.2	16	58	46.2	
47	96	3	2.1	17	0	13.1	
48	96	2	26.7	17	2	28.4	
49	95	57	29.7	16	57	29.9	

ACUÍFERO 2007 TEHUANTEPEC							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
50	95	52	5.3	16	55	15.7	
51	95	50	9.3	16	56	48.5	
52	95	47	10.8	16	54	29.0	
53	95	44	39.4	16	54	16.0	
54	95	40	35.7	16	52	38.2	
55	95	36	5.7	16	47	6.6	
56	95	33	9.8	16	45	27.2	
57	95	31	5.5	16	43	8.0	
58	95	26	20.4	16	47	34.9	
59	95	28	42.9	16	49	37.5	
60	95	24	22.4	16	54	27.7	
61	95	21	18.7	16	52	8.4	
62	95	18	50.9	16	47	46.7	
63	95	15	23.9	16	47	23.2	
64	95	13	51.1	16	43	14.6	
65	95	9	44.1	16	42	38.1	
66	95	2	43.1	16	42	16.6	
67	95	0	7.3	16	40	8.9	
68	94	55	40.4	16	38	47.7	
69	94	51	54.9	16	38	54.3	
70	94	48	34.4	16	44	27.5	
71	94	44	27.4	16	44	30.9	
72	94	42	23.0	16	46	3.7	
73	94	35	23.7	16	44	45.8	
74	94	31	59.8	16	47	29.8	
75	94	28	29.7	16	45	27.0	
76	94	30	41.7	16	42	16.3	
77	94	34	57.3	16	37	43.1	
78	94	38	25.1	16	36	0.3	
79	94	37	7.4	16	32	3.0	
80	94	37	49.4	16	28	33.1	
81	94	40	48.5	16	25	38.8	
82	94	43	33.0	16	23	44.2	
83	94	44	49.4	16	23	43.5	
84	94	43	54.1	16	21	58.1	
85	94	45	57.2	16	21	25.6	
86	94	45	23.8	16	18	39.8	
87	94	48	7.4	16	17	26.4	
88	94	44	40.2	16	12	31.5	DEL 88 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	95	14	2.9	16	9	25.2	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Pacífico Sur y al Consejo de Cuenca Costa de Oaxaca, instalado el 7 de abril de 1999. Su territorio se encuentra parcialmente vedado. La porciones occidental y noroccidental están sujetas a las disposiciones de dos decretos de veda; en la mayor parte de esta superficie rige el *“Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona conocida como Valle de Oaxaca, cuya extensión y límites geopolíticos comprenden los ex distritos de Etlá, Centro, Tlacolula, Zimatlán y Ocotlán, Oaxaca”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 25 de septiembre de 1967. Esta veda es tipo III en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros. Una área pequeña está sujeta al *“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”, publicado en el DOF el 6 de agosto de 1973. Esta veda es tipo II en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

En la mayor parte de la superficie no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea. La porción no vedada del acuífero Tehuantepec, clave 2007, se encuentra sujeta a las disposiciones del *“ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican”,* publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo

El uso principal del agua subterránea es el agrícola. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. A la fecha no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). En el territorio que cubre el acuífero se localiza el Distrito de Riego 019Tehuantepec.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL SUBALVEO DEL RÍO TEHUANTEPEC, ESTADO DE OAXACA. Realizado en 1976 por Petróleos Mexicanos. Tuvo como objetivo la cuantificación y evaluación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y la localización de sitios favorables para la perforación de pozos que abastecerían de agua a la refinería localizada en Salina Cruz. Entre sus actividades de campo más relevantes destacan el censo e hidrometría de las extracciones, piezometría, aforos

de ríos, realización de pruebas de bombeo, muestreo de aguas, exploraciones geofísicas y reconocimientos de campo

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICOPRELIMINAR DE LA ZONA DE TEHUANTEPEC, OAXACA. Realizado en 1979 por Rocha y Asociados, S. A. de C.V. (ROASA), para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). El estudio tuvo como objetivo determinar la condición de explotación del acuífero. Concluye que debido a que la extracción era poca significativa, principalmente a través de un número muy grande de norias y algunos pozos para uso industrial, el acuífero estaba en condición de subexplotación y que la baja permeabilidad de los materiales ubicados fuera del cauce de los ríos no permite considerar a los acuíferos de la zona como fuente potencial de agua subterránea

EXPLORACIÓN GEOFÍSICA EN EL DISTRITO DE RIEGO EN EL ISTMO DE TEHUATEPEC, OAXACA. Realizado en 1990 por GEOELEC, S. A. DE C.V., para la Comisión Nacional del Agua. Identifica un espesor de hasta 350 m de depósitos aluviales del acuífero en explotación en la región comprendida al oeste de las localidades de Espinal, norte de Juchitán y suroeste de Comitancillo. Las calizas cretácicas que afloran en la región constituyen una fuente potencial debido sus condiciones favorables de permeabilidad secundaria por fracturamiento.

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN DE MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS EN LOS ACUÍFEROS TEHUATEPEC, RÍO OSTUTA, NOCHIXTLÁN Y HUATULCO DEL ESTADO DE OAXACA Y CUAJINICUILAPA DEL ESTADO DE GUERRERO. Realizado en 2002 por COPEI, Ingeniería, S.A. de C.V, para la Comisión Nacional del Agua. Recaba información piezométrica y realiza configuraciones del nivel estático para analizar y describir su comportamiento.

INFORMACIÓN PIEZOMÉTRICA DEL ACUÍFERO TEHUANTEPEC, OAXACA. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Pacífico Sur, 2019. Se utilizó la información piezométrica para la elaboración de las configuraciones del nivel estático.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964) el área que cubre el acuífero se localiza entre las Provincias Fisiográficas Sierra Madre del Sur y Provincia Sierras Cristalinas de Chiapas, en el extremo oriental de la Provincia Fisiográfica Zona Montañosa de Guerrero-Oaxaca,

(Manuel Álvarez Jr., 1959). Por otro lado, según la regionalización fisiográfica del INEGI, se localiza entre las Provincias Fisiográficas Sierra Madre del Sur, Subprovincias Sierras y Valles de Oaxaca, Sierras Orientales y una pequeña zona en Costas del Sur; y en la provincia Cordillera Centroamericana, en la Discontinuidad Llanura del Istmo y Subprovincia Sierras del Sur de Chiapas.

La Provincia Sierra Madre del Sur presenta una estructura compleja, se encuentra constituida por una serie de montañas y sierras que presentan grandes desniveles considerables. Su representación dentro del área estudiada se manifiesta con una serie de prominencias topográficas que adquieren sus mayores elevaciones en la parte meridional, lugar en donde configuran barrancas y hondonadas, así como cimas que alcanzan altitudes mayores a 2,500 msnm. Es una cadena montañosa localizada en el sur de México que se extiende a lo largo de 1200 km desde el sur de Jalisco hasta el Istmo de Tehuantepec, al oriente de Oaxaca. Está orientada de manera paralela a la costa del océano Pacífico y a la porción occidental del Eje Neovolcánico, del que es separada por la Depresión del Balsas. Es la provincia de mayor complejidad geológica, debido a la presencia de rocas sedimentarias, ígneas y la mayor abundancia de rocas metamórficas del país. El choque de las placas tectónicas de Cocos y Norteamericana, provocó el levantamiento de esta sierra y determina en gran parte su complejidad.

La Subprovincia Sierras y Valles de Oaxaca se localiza totalmente en el estado de Oaxaca, en su porción centro-sur-suroeste. Está formada por un conjunto de sierras bajas respecto de las llanuras que las rodean, constituidas por rocas volcánicas terciarias, excepto en el extremo oriente donde afloran rocas sedimentarias de la misma edad.

La Subprovincia Sierras Orientales es un sistema montañoso que forma parte del extremo oriental de la Sierra Madre del Sur y comprende parte de los estados de Puebla, Veracruz y Oaxaca; se extiende en dirección noroeste-sureste desde la región de Orizaba, Veracruz, hasta las proximidades de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca. La porción norte, en el estado de Veracruz, llamada Sierra de Zongolica, es algo menos abrupta que el resto y en ella predominan las rocas calcáreas del Cretácico que le dan afinidad con la Sierra Madre Oriental. Desde la proximidad de San Juan Bautista Valle Nacional hasta la cañada del río Tehuantepec, se conoce como Sierra Mixe; es más alta y escarpada que la de Zongolica, con cumbre máxima de 3,280 m en el cerro Zempoaltépetl ubicado al noreste de Santa María Tlahuitoltepec; su litología es muy compleja, con rocas

metamórficas, aluviones antiguos y, en su porción sur, rocas ígneas ácidas y algunos afloramientos calcáreos

La Provincia Cordillera Centroamericana inicia en el Istmo de Tehuantepec y se extiende en dirección sureste hasta la República de Nicaragua, atravesando los territorios de Guatemala, Honduras y El Salvador, es otro gran batolito ígneo emergido sobre el sitio de subducción de la placa de Cocos. En casi todo Chiapas, el cuerpo intrusivo ígneo está plenamente expuesto, pero a partir del volcán Tacaná, compartido entre México y Guatemala, queda casi todo sepultado por los productos de los numerosos volcanes juveniles de los países centroamericanos. En México abarca parte de los estados de Chiapas y Oaxaca, así como una pequeña porción de Veracruz.

La discontinuidad Llanura del Istmo inicia al oeste de Santo Domingo Tehuantepec en Oaxaca y se extiende con rumbo sur-sureste hasta Tonalá, Chiapas; tiene una longitud y un ancho máximo aproximados de 185 y 50 km, respectivamente. El origen de esta llanura costera con línea de costa cóncava hacia el Océano Pacífico, se relaciona tanto con el depósito de materiales del Pleistoceno al Reciente, provenientes de las sierras cercanas, como con procesos de emersión de la zona. Encierra a las lagunas Superior, Inferior y Mar Muerto por medio de barras anchas de bocas estrechas, tiene la particularidad de presentar al norte del Mar Muerto, afloramientos pequeños de rocas ígneas intrusivas, extrusivas y metamórficas.

En la Subprovincia Sierras del Sur de Chiapas afloran las rocas graníticas del batolito, integrando sierras de orientación noroeste-sureste que se internan en territorio de Guatemala; sólo al norte de Santiago Niltepec, Oaxaca, se presenta un afloramiento de rocas volcánicas seguido por otro de rocas metamórficas con manchones calcáreos. Esta subprovincia forma parte de la zona conocida regionalmente como Sierra Atravesada.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (1964), para las condiciones de la República Mexicana, el clima que predomina en la superficie baja del acuífero es de tipo cálido subhúmedo, con las siguientes tres variantes: A $w_0(w)$ que se registra en las zonas más próximas a la costa, el más seco de este tipo. A $w_1(w)$, con humedad intermedia dentro de este tipo y el clima A $w_2(w)$, el más húmedo dentro de este tipo, se registra en la porción oriental y nororiental. Todas las variantes presentan un régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvias invernales entre 5 y 10.2% del total anual, con temperatura

media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. La precipitación del mes más seco es menor de 60 mm y la relación entre precipitación y temperatura (P/T) entre 43.2 y 55.3.

Debido a la extensión del acuífero y la gran variación en las altitudes, se presentan otros tipos de climas conforme se asciende topográficamente, los principales son BSl(h')w semiárido cálido, BSo(h')w árido, cálido; ambos con temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18 °C, lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. (A)C(wo) semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C, con índice P/T menor de 43.2. C(w2) templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente menor de 22°C, con índice P/T mayor de 55. Ambos con régimen de lluvias en verano, precipitación del mes más seco menor de 40 mm y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 21 estaciones climatológicas que tienen influencia en la superficie del acuífero que contienen registros para diferentes periodos: San Carlos Yautepec, Unión Hidalgo, Yautepec, San Bartola, Ciudad Ixtepec, Santa María Zoquitlán, Asunción Ixtaltepec, Totolapa, Las Cuevas, Santa María Ecatepec, San Jerónimo Taviche, Magdalena Tequisistlán, San Miguel Chimalapa, Jalapa del Marqués, Comitancillo, Salina Cruz, Santa María del Mar, Santo Domingo Tehuantepec, Santiago Laollaga, Juchitán de Zaragoza y Santiago Chivela. Con estos datos, se determinaron valores medios anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial de **901.5 mm, 24.2 °C y 2417 mm**, respectivamente, representativos del acuífero.

3.3 Hidrografía

El área cubierta por el acuífero se ubica en la Región Hidrológica (RH)RH-22 "Tehuantepec". Subregión Hidrológica Río Tehuantepec, Cuencas Río Tehuantepec, Río Los Perros, Arroyo Guichilona, Laguna Quirio, Río Chicapa y Río Espantaperros. Esta región está incluida totalmente dentro del estado de Oaxaca, drena un área que representa 19.2% de territorio estatal, incluye gran parte de la región del Istmo de Tehuantepec y corresponde a la vertiente del Océano Pacífico; colinda al norte con las regiones hidrológicas Papaloapan (RH-28) y Coatzacoalcos (RH-29); al sur con la RH-21 Costa de Oaxaca (Puerto Ángel) y con el Golfo de Tehuantepec; al oeste con la RH-20 Costa Chica-Río Verde; mientras que al este con la Región Hidrológica Costa de Chiapas (RH-23), además de internarse al estado de Chiapas.

Se encuentra dividida en dos cuencas: Lagunas Superior e Inferior (A) y Río Tehuantepec (B), esta última enclavada en su totalidad en la entidad.

La cuenca del Río Tehuantepec drena 10.7% de territorio estatal e incluye las vertientes interiores de las Sierras Madre del Sur y Juárez. El río Tehuantepec es el de mayor importancia dentro de esta cuenca, está considerado como uno de los más caudalosos de la vertiente del Océano Pacífico dentro del estado de Oaxaca; drena un área de 10,374 km² y nace a más de 3,200 msnm en la Sierra Madre del Sur, al sureste de Miahuatlán de Porfirio Díaz, donde es conocido con el nombre de río Quiechapa, después se dirige al norte-noroeste hasta San José del Peñasco, donde se flexiona hacia el norte-noreste hasta llegar a San Pedro Totolapa, a partir de donde sigue un curso en general hacia el oriente; posteriormente, en la zona al norte de Nejapa de Madero, cambia su cauce a una dirección norte-noreste, para después volver en general a dirigirse al este a la altura de la población Santo Domingo Narro, a continuación, sufre una deflexión para dirigirse en general al sureste, donde alimenta junto con el río Tequisistlán, el vaso de la presa Presidente Benito Juárez. Por último, el río Tehuantepec sigue en dirección sureste hasta desembocar al Golfo de Tehuantepec, al este del puerto Salina Cruz. Su longitud aproximada es de 240 km.

Los afluentes del río Tehuantepec son numerosos, en general los más importantes son los de la margen derecha. El primero es el río La Virgen que nace al sur de Yautepec, fluye de sur a norte y entra al río Grande, 37 km abajo de Totolapan. El otro afluente de importancia es el río Tequisistlán, que sigue una dirección noreste y entra a Tehuantepec 30 km aguas arriba de la ciudad de Tehuantepec. El Tequisistlán se llama en sus orígenes Amarillo, en su tramo medio Carrizal y Otates y aguas abajo de Tlacolulita es donde adopta el nombre de Tequisistlán.

Los afluentes izquierdos del Tehuantepec son el río San Antonio, que nace en las cercanías de Taviche, desciende hacia el sureste y entra en Mijangos 15 km aguas arriba de Totolapan. También puede citarse el río Las Margaritas que nace en la zona de Tepuxtepec, escurre directamente hacia el sur y entra al río Grande, 17 km aguas abajo de Totolapan.

La infraestructura hidráulica de la cuenca está integrada principalmente por las presas de almacenamiento Presidente Benito Juárez, José María Armenta y El Capitán. La primera tiene capacidad de almacenamiento de 942 Mm³, la cortina tiene una altura de 85.5 m y longitud de 375 m, el vertedor es de cresta libre con capacidad de desfogue de 5.5 m³/s; el propósito principal de su construcción es

para el desarrollo del riego y el control de avenidas del río Tehuantepec. La distribución del agua de esta presa se realiza mediante la derivadora Las Pilas, construida 20 km aguas abajo; cuenta con dos obras de toma, una planta de bombeo en la margen derecha para suministro de agua a la refinería Antonio Duvalí; de la margen izquierda se abastece el canal principal del Distrito de Riego 019 Tehuantepec, además cuenta con otras derivadoras que en conjunto benefician 17,000 ha. La presa José María Armenta se localiza en el municipio de San Baltazar Chichicápam, fue construida sobre el arroyo La Mina, la capacidad de almacenamiento es de 3 Mm³, la altura de la cortina y su longitud es de 34 y 238 m, respectivamente; la capacidad máxima del vertedor es de 0.5 m³/s; esta obra beneficia 373 ha de riego. La presa El Capitán tiene la capacidad de almacenar 579,060 m³ de agua, la altura de la cortina es de 14 m con longitud de 318 m; su uso principal es el almacenamiento para la distribución en zonas de riego, además se utiliza para el desarrollo de la actividad piscícola.

3.4 Geomorfología

La zona comprende las planicies, lagunas y esteros del Golfo de Tehuantepec. En general, se trata de una planicie costera con una amplitud variable de 15 a 40 km, de poco relieve, que se encuentra en un periodo de estabilización, lo cual se confirma por las planicies aluviales y barras que se han formado. La planicie es interrumpida por algunas elevaciones montañosas intermedias de origen volcánico y metamórfico con alturas del orden de 200 a 500 msnm. También abarca Sierras Orientales que van de norte a sur en la parte centro-oriente del estado, Sierras Centrales de Oaxaca del centro hacia el norte y paralelamente al occidente de la Mixteca Alta.

La planicie tiene una elevación máxima de 50 msnm y desciende hasta la costa, se caracteriza por una serie de lagunas marginales separadas del Océano Pacífico por medio de barras conocidas como Laguna Superior y Laguna Inferior. Esta planicie contiene lomeríos con elevaciones variables entre 50 y 60 m sobre el nivel del terreno que constituyen estrangulamientos del cauce del río Tehuantepec a la altura del poblado del mismo nombre y otro cerca de Huilotepec. Está rodeada hacia el oeste y norte por serranías con elevaciones hasta de 1,500 msnm.

Debido a la poca pendiente de la planicie, el sistema de drenaje está definido únicamente por el cauce de los ríos Tehuantepec, Los Perros y Espíritu Santo, con su red de arroyos tributarios, así como el sistema de drenaje del Distrito de Riego 19. La planicie costera es una planicie de erosión con poco depósito de materiales aluviales, salvo en las zonas de influencia del cauce de los ríos y en las márgenes de

las lagunas costeras y sus barras respectivas. El resto de la planicie está cubierta por suelos residuales sobre roca compacta que son indicio de que hubo una erosión con poco depósito de materiales aluviales. De acuerdo con el proceso erosivo que ha sufrido la planicie, actualmente se encuentra en etapa de madurez del ciclo geomorfológico.

4. GEOLOGÍA

A nivel regional, en la zona se encuentran implicados los Terrenos Tectonoestratigráficos Xolapa y Maya, así como los bloques Arco Chontal y Mixtequita. El Terreno Xolapa aflora en el extremo suroccidental y está constituido por ortogneises, migmatitas, anfibolitas y diques aplíticos con metamorfismo en facies de anfibolita. La interpretación de la edad de esta unidad es compleja ya que estudios isotópicos ha reportado edades desde el Precámbrico hasta el Paleoceno. Otras edades miocénicas están relacionadas con grandes emplazamientos plutónicos no deformados de composición granodiorítica con variaciones a dioritas (Figura 2).

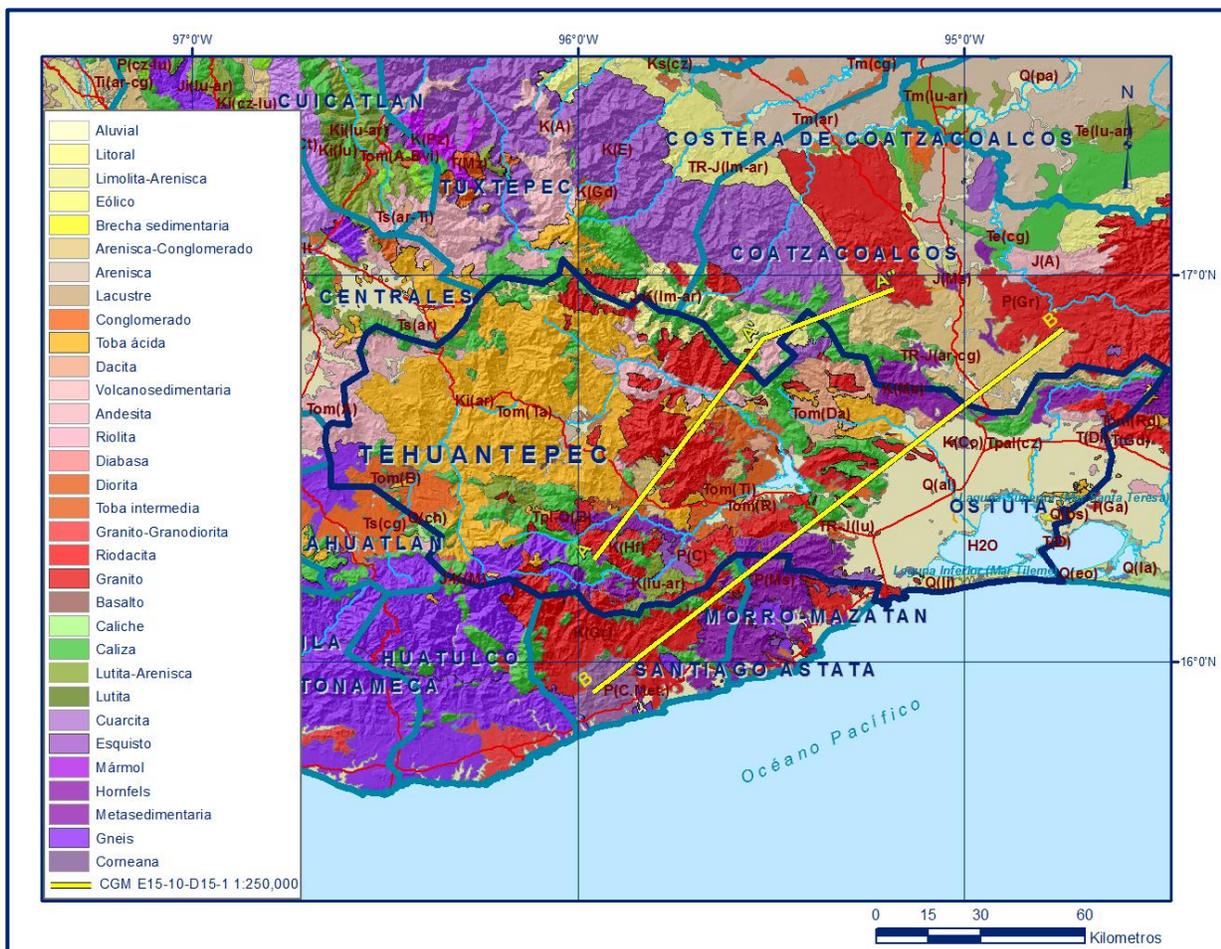


Figura 2. Geología general del acuífero

El Bloque Arco Chontal se presenta en la porción suroriental; se constituye como el arco volcánico mesozoico más oriental con respecto a los situados al occidente de México. El Basamento de este bloque no se reconoció, sin embargo, algunos autores consideran que puede ser rocas pertenecientes al Complejo Xolapa. El Arco Chontal consiste de una secuencia vulcanosedimentaria conformada por andesitas, areniscas, lutitas y limolitas con interestratificaciones de lentes calcáreos.

La parte superior está constituida por estratos delgados de calizas marmorizadas y esquistas; conglomerados polimícticos con clastos calcáreos y andesitas; fragmentos de rudistas le dan una edad Neocomiano-Turoniano o Cretácico Temprano (Carfantán, 1981, 1983). La cubierta del Arco Chontal está representada por calizas y dolomías pertenecientes a la Formación Teposcolula, a la cual la sobreyace en concordancia la Formación Yucunama constituida por calizas y lutitas.

El Bloque La Mixtequita se caracteriza por contener dos unidades que se han denominado Complejo Guichicovi y Batolito La Mixtequita. Las rocas más antiguas de la región corresponden al Complejo Guichicovi conformado por paragneises, ortogneises, charnoquitas y anortositas de edades isotópicas entre 911 y 1,760 Ma que corresponden al Proterozoico Medio, coincidiendo tanto en litología como en edades con el basamento del Terreno Oaxaca (Complejo Oaxaqueño). Por otra parte, el Batolito La Mixtequita está constituido por granitos con variaciones a granodioritas de edades isotónicas que varían de 196 a 318 Ma, correspondientes al Carbonífero-Jurásico, la relación con el Complejo Guichicovi es por intrusión. Estas unidades se encuentran cubiertas discordantemente por limolitas, conglomerados, areniscas y andesitas de la Formación Todos Santos (?) del Jurásico Medio.

El Terreno Maya comprende la mayor parte del área de estudio y su basamento lo constituye el Complejo Sierra de Juárez, de probable edad Carbonífero-Pérmico. Está constituido por una potente secuencia de esquistos de clorita, sericita y cuarzo, metasedimentos cuarzopelíticos, rocas verdes y gabroicas metamorfizadas en facies de esquistos verdes, ocasionalmente se encuentran serpentinitas y franjas milonitizadas. A partir del Pérmico hasta el Triásico se desarrolla un arco magmático continental en la margen pacífica que origina rocas de composición granítico-granodiorítico, con variaciones a dioritas y tonalitas, que constituyen el Macizo de Chiapas. Sobreyaciendo discordantemente a las unidades anteriores, se encuentra la Formación Todos Santos (?) del Jurásico Medio, constituida por limolitas, areniscas y conglomerados polimícticos, con intercalación de coladas

andesíticas. Sobre esta formación se depositan las secuencias relacionadas a la cuenca jurásica de la Depresión Ístmica y jurásica-cretácica de la Sierra de Chiapas.

La Cuenca de la Depresión Ístmica se caracteriza por secuencias sedimentarias de edad Jurásico Superior, de distribución restringida. En la zona solo aflora su unidad basal que es la Formación Mogoñé, de edad Calloviano-Oxfordiano, constituida por calizas y lutitas apizarradas. La Cuenca de Chiapas está constituida por la Formación Uxpanapa del Kimmeridgiano-Tithoniano, formada por calizas y dolomías, sobreyacida discordantemente por la Formación San Ricardo de edad Hauteriviano-Barremiano, conformada por areniscas y limolitas. La Unidad Indiferenciada del Jurásico Medio al Cretácico Inferior está constituida por areniscas, esquistos y filitas, las cuales se encuentran en una zona de cizalla en la región de La Ventosa y que pueden corresponder a la Formación Todos Santos y formaciones del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, pero metamorizadas. Yaciendo discordantemente sobre esta unidad se presentan metacalizas de color gris claro a gris oscuro, en parte masivas, marmorizadas y foliadas, lo que sugiere que esta unidad está muy tectonizada y pudiera participar de la deformación de las zonas de cizalla. Cubriendo discordantemente a las formaciones anteriores, aflora la Formación Sierra Madre de edad Albiano-Turoniano, formada por calizas y dolomías. A partir del Paleoceno-Eoceno el Terreno Maya y Bloque Chontal comparten una cubierta terciaria representada por molasas continentales constituidas por conglomerados polimícticos con clastos de rocas metamórficas, calizas, fragmentos de cuarzo y areniscas. Sobreyaciendo en discordancia a los conglomerados aflora una secuencia volcánica constituida por tobas andesíticas, andesitas, dacitas y riolitas con intercalaciones delgadas de areniscas y calizas lacustres pertenecientes a la Formación Laollaga. Durante el Pleistoceno se depositaron arenas, arcillas y limos mal consolidados. Por último, se tienen depósitos de aluvión, palustre, litoral eólico de edad Holoceno (Carta Geológico-Minera Juchitán E15-10 D15-1. Escala 1:250,000. SGM, 2000).

4.1 Estratigrafía

En la región en la que se ubica el acuífero aflora una secuencia estratigráfica constituida por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas cuya edad comprende del Precámbrico al Reciente. A continuación, se describen de manera general las distintas unidades litológicas, comenzando con la más antigua.

PRECÁMBRICO

Rocas Metamórficas

Este grupo está formado por rocas de alto grado de metamorfismo como esquistos y gneises cristalinos. En general se presentan muy compactos y con algunas superficies alteradas por intemperismo y en ocasiones por fracturamiento, en la planicie se localiza un solo afloramiento frente a la pista aérea de Salina Cruz. Desde el punto de vista geohidrológico se consideran impermeables.

Complejo Basal

Está representado por esquistos y por el intrusivo granítico que aflora en las cercanías de Tehuantepec, formando el estrechamiento del río. Aguas abajo, sobre la margen izquierda, se localizan otros afloramientos. Es sobre la margen derecha donde afloran en mayores superficies. En general, son compactos, pero en algunas zonas están muy fracturados y afallados, debido a los movimientos de la corteza terrestre por fenómenos de diastrofismo. También se consideran impermeables.

PALEOZOICO

Cuarcita Huilotepec

Los dos únicos grandes afloramientos de esta unidad se localizaron en la parte baja del valle, conformando el estrechamiento de los materiales aluviales a la altura del poblado de Huilotepec, que deben reducir el espesor aluvial. La cuarcita se presenta compacta y se considera impermeable.

Mármol Jalapa

Esta roca de bajo grado de metamorfismo se presenta compacta y en algunas localidades fracturado y alterado por efecto del intemperismo. Se localiza en la margen izquierda y parte alta del valle, a la altura de la presa derivadora Las Pilas. Se considera impermeable desde el punto de vista geohidrológico.

Intrusivos Ultramáficos

Están asociados y sobreyacen a los gneises y esquistos cristalinos. Sus afloramientos se localizan únicamente en la margen derecha de la planicie. Físicamente se presentan muy compactos, por lo que se consideran impermeables.

Rocas Metamórficas Tlacolulita

Afloran en la porción oriental del valle, son muy compactas y con muy escaso fracturamiento. Superficial. En general este tipo de rocas ha sido poco estudiado, por lo que no se ha determinado su edad con precisión. Debido a su grado de compactación se consideran impermeables.

Argilita Jalapa

Está compuesta por lodolitas y limolitas, su distribución en el área es muy esporádica aflorando al norte del poblado de Jalapa del Márquez. Por su naturaleza se considera impermeable

CRETÁCICO

El Cretácico Inferior está representado por calizas y lutitas impermeables de color gris, que se encuentran distribuidas al suroeste de la ciudad de Tehuantepec. Presentan estratificación delgada a media y forman estructuras anticlinales y sinclinales casi horizontales con fallamientos y fracturas.

Del Cretácico Medio son las **Calizas Sierra Madre**, que se caracterizan por estar parcialmente marmorizadas. Su distribución es muy amplia en casi en toda el área formando sierras alargadas, generalmente se encuentran masivas, y ocasionalmente se hace notar su estratificación. Son correlacionables en edad a las calizas Teposcolula de la región Mixteca. El Cretácico Superior está representado por rocas ígneas intrusivas de tipo granítico, que intrusionan a las rocas calizas. Forman grandes cuerpos de forma alargada y afloran en la porción norte de Tehuantepec.

TERCIARIO

A este periodo pertenecen las andesitas y dacitas que afloran en el valle formando pequeños montículos agrupados, y esporádicamente forman cuerpos irregulares hacia la porción norte del valle. En esta misma región norte se localiza tobas y cenizas volcánicas del Mioceno. A esta edad corresponden también los conglomerados, clastos calcáreos y volcánicos con cementante arcilloso calcáreo, que se observan al oeste de Tehuantepec y en el vaso de la presa "Presidente Benito Juárez". Es muy compacto y actúa como material impermeable. Pequeños cuerpos de caliza del Terciario afloran al este y noreste de La Ventosa, aparentemente son dos bloques afallados; son extremadamente porosas y con cavernas de disolución, por el aspecto que presentan parecen ser de origen lacustre.

CUATERNARIO

Depósitos de Esteros y Arenas de Playa

Se localizan tanto a la orilla de la línea de costa, como en las márgenes más cercanas a la Laguna Superior. Estos materiales no tienen ninguna relación directa con la zona de mayor permeabilidad, aunque se consideren más permeables que todos los descritos anteriormente.

Suelo Residual

Forma una capa de material areno-arcilloso producto de la alteración in situ, especialmente de los granitos y rocas metamórficas, por lo que se localizan en ambas márgenes de la zona, pero fuera de la zona de influencia del cauce aluvial del Río Tehuantepec. Desde el punto de vista geohidrológico se considera poco permeable.

Depósitos de Talud o Pie de Monte

Se localizan en las partes bajas de los afloramientos, su origen se debe a la alteración y fracturamiento de los taludes de roca que han sufrido poco transporte. La granulometría de los fragmentos es variable

Depósitos Aluviales

Este tipo de materiales se localizan a lo largo de ambas márgenes del cauce de divagación del Río Tehuantepec; está conformado por limos, arenas y gravas, constituyendo el material más importante desde el punto de vista geohidrológico debido a su mayor permeabilidad con respecto a los demás mencionados anteriormente. Su presencia se debe exclusivamente a sedimentos que deposita el Río Tehuantepec durante su trayecto hasta su desembocadura.

Material Aluvial Reciente del Río Tehuantepec

Estos depósitos se encuentran sobre los aluviones antes mencionados, constituyendo también zonas permeables y receptoras del agua subterránea. La diferencia entre estos dos materiales se debe a un aumento en la permeabilidad de éstos últimos.

4.2 Geología estructural

Parte del Terreno Maya en esta región, se relaciona con la evolución tectónica del Golfo de México, que inicia con la separación de la región sureste de México de la Pangea. Algunos autores consideran que durante el Triásico Tardío-Jurásico Medio el bloque Yucatán, localizado para ese tiempo en la porción que ocupa el Golfo de México, se movió hacia el sur, a su posición actual a través de una falla transformante que permitió la expansión del Golfo y la deriva del Bloque Yucatán. Otros autores consideran que esta falla transformante de movimiento dextral cruzaba el Istmo de Tehuantepec; discrepan en el sentido de la rotación del Bloque Yucatán. Dickinson y Coney (1980) suponen que el Bloque Yucatán se separó de Norteamérica mediante una megacizalla, con movimiento izquierdo que conectaba el sistema de expansión del Golfo de México con una zona de subducción que actuaba a lo largo de la costa del Pacífico y consideran que este

bloque durante su separación de Norteamérica permaneció unido al borde noroccidental de América del Sur, del cual se separó al terminar el movimiento de la megacizalla, ocurrido entre 150 y 125 Ma. La actual posición del Complejo Guichicovi puede estar asociado con desplazamientos transcurentes dextrales ocurridos durante el Mesozoico. Murillo (1994), propone un modelo con dos alternativas; una que este complejo se desplazó desde el NW a través de la falla Valle Nacional, o bien que se movió a través de la falla Villa Alta, viajando 300 km.

Se identificaron dos etapas de intrusión, la primera está representada por el Tronco de Jalpa del Marqués, de composición granítica-granodiorítica, probablemente del Cretácico Superior, y rocas de composición granodiorítica con edades que varía de 14.2 ± 7 y 27.9 ± 1.8 Ma, y por migración del magmatismo hacia el oriente esos intrusivos presentan una edad miocénica. Las estructuras más importantes son las siguientes: Falla Chacalapa, con una orientación general W-E, constituye el límite tectónico entre el Terreno Xolapa y el Bloque Chontal, tiene deformación dúctil con desarrollo de milonitas y desplazamiento lateral izquierdo. La Falla Astata, con rumbo general $N80^{\circ}W$, pertenece al mismo sistema de desplazamiento. La Falla Tehuantepec representa el límite entre el Bloque Chontal y el Terreno Maya, con rumbo general $N45^{\circ}W$, de movimientos lateral derecho afecta a rocas de la Formación Teposcolula e intrusivas del Cretácico Superior, con reactivación a falla normal durante el Terciario. La Falla Villa Alta Cruz tiene un rumbo general $NW 65^{\circ}SE$ y es lateral dextral, con reactivación a falla normal en la región del Istmo; en la región suroriental se desarrollaron zona de milonitas, afectando a rocas intrusivas terciarias. La Falla Valle Nacional presenta orientación $NW35^{\circ}SE$, es el límite entre el Bloque Mixtequita y el Terreno Maya, es lateral sinistral y en la unidad litológica Indiferenciado presenta reactivación a fallas normales. El sistema de estructuras entre las fallas Valle Nacional y Villa Alta Cruz, conforman una zona compleja de cizalla en la región del Istmo, reflejada en la unidad litológica Indiferenciado y calizas. En la porción oriental, se presentan las fallas Chepe Negro, El Baúl, y Rizo de Oro, las primeras dos son normales y la última es lateral derecha, relacionadas al Cinturón Milonítico de Chiapas.

El Terreno Xolapa se ha considerado como alóctono (Campa y Coney, 1983), proveniente del Pacífico que acrecionó al continente en el Mesozoico; sin embargo Robinson (1989) y Morán (1992) plantean la hipótesis de que sea la raíz de un arco magmático autóctono Mesozoico desplazado hacia el sureste junto con la tectónica de desplazamiento lateral izquierdo del Bloque Chortis, resultado de la interacción de la unión triple de las placas Norteamericana-Cocos-caribe y su migración hacia el este (Tolson, 1989). El Bloque Chontal, se relaciona con el

tienen el mismo origen, evolución y constitución geológica, es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, tanto en sentido horizontal como vertical, de baja capacidad de almacenamiento, conformado por dos medios hidrogeológicos, uno de naturaleza porosa y otro fracturado. El medio poroso constituye la unidad superior y está representado por los sedimentos aluviales de granulometría que varía de gravas a arcillas, que constituyen el lecho y la llanura de inundación del río Tehuantepec y arroyos tributarios, así como depósitos eólicos, litorales y conglomerados que conforman la planicie costera. 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 principalmente volcánicas, entre las que destacan andesitas, dacitas y tobas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas y areniscas constituyen horizontes acuíferos que pueden presentar condiciones de **confinamiento o semiconfinamiento**, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas.

5.2 Parámetros hidráulicos

En el estudio realizado en 1979 (SARH) se llevaron a cabo pruebas de bombeo de corta duración en norias, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Adicionalmente, como parte del estudio llevado a cabo en 2010 en acuíferos vecinos que tiene origen, evolución y constitución geológica común, se ejecutaron otras pruebas de bombeo. Los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales reportaron valores de transmisividad que varían en un rango muy amplio de **2.5×10^{-4} a $49.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (21.6 a 4294.0m²/día)**. La conductividad hidráulica varía de **4.3 a 155.5 m/d (5.0×10^{-5} a $1.8 \times 10^{-3} \text{ m/s}$)**, considerando el espesor saturado de las norias. Los valores más altos corresponden a los sedimentos clásticos de mayor granulometría y mejor clasificados que constituyen el cauce de los ríos y arroyos, o a zonas de mayor espesor saturado.

En cuanto a los valores del coeficiente de almacenamiento, sólo una prueba se realizó con pozo de observación (PEMEX, 1976), obteniendo un rendimiento específico de 0.042 Sin embargo, para fines del balance de aguas subterráneas, se adoptó un valor de rendimiento específico S_y de **0.06**.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información recabada como parte de las actividades del estudio realizado en

2002 además de registros históricos durante el periodo 2000-2019, obtenidos por el Organismo de Cuenca Pacífico Sur, en la red de monitoreo piezométrico. Para el planteamiento del balance de aguas subterráneas se eligió el periodo 2009-2019 que tiene mayor y mejor distribución espacial. Debido a que los niveles estáticos se han mantenido más o menos constantes, únicamente se describen las configuraciones del 2019.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel del agua subterránea en el año 2019 presentó valores que variaron desde algunos centímetros en la zona costera hasta 20 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía, de la planicie costera y del cauce del río Tehuantepec y arroyos hacia las estribaciones de las sierras que limitan el valle, conforme se asciende topográficamente. Los niveles estáticos más someros, menores de 3 m, se registraron en la porción costera, en la zona que bordea a la Laguna Superior y en el área agrícola del Distrito de Riego 019; en tanto que las mayores profundidades, de 10 a 20 m, se presentaron en las porciones norte y oeste del acuífero, entre las poblaciones Santo Domingo Ingenio y Ciudad Ixtepec, y entre Santo Domingo Tehuantepec y Santa María Mixtequilla, respectivamente, (Figura 4).

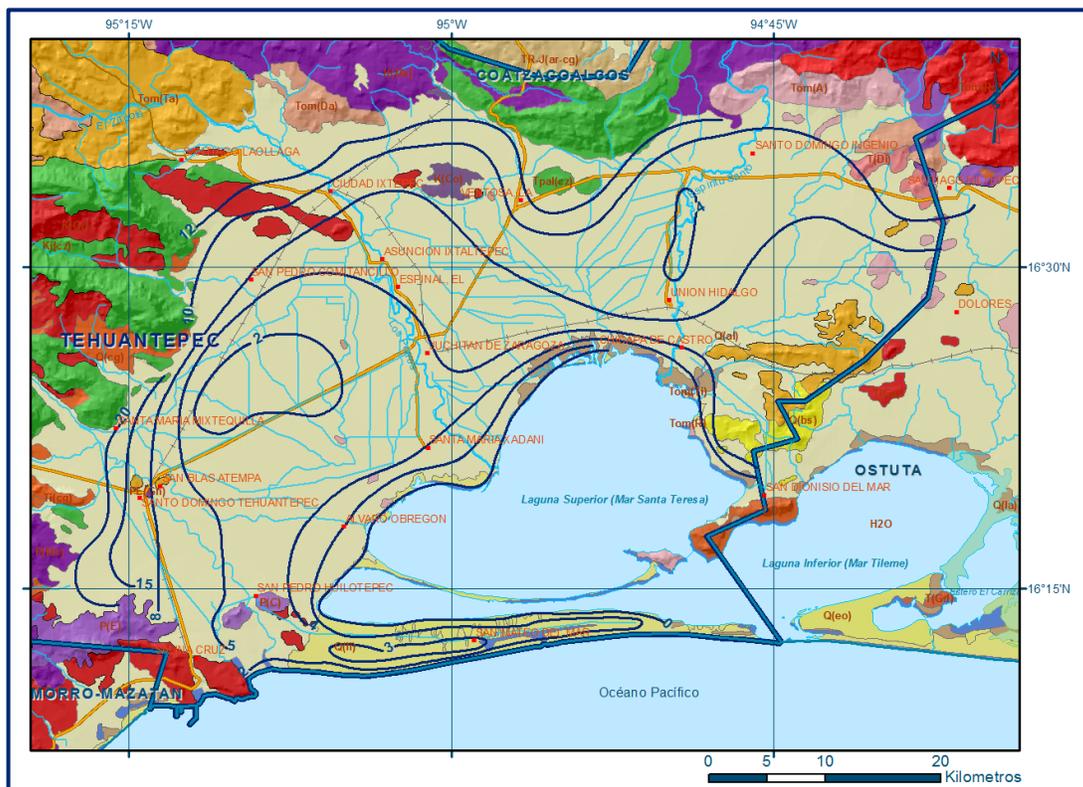


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2019)

5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, en 2019 se registraron valores que variaron de 4 a 100 msnm, que se incrementan de la planicie costera y del cauce del río Tehuantepec, en dirección a los flancos de las sierras que delimitan el acuífero. Los valores más altos, 70 a 100 msnm, se registran en el extremo noroccidental del acuífero, entre Ciudad Ixtepec y Santiago Laollaga, desde donde descienden gradualmente hacia el sureste y sur por efecto de la topografía, al igual que los valores de profundidad, hacia la planicie costera y hacia la Laguna Superior. Los valores más someros, de 2 a 4 msnm, se presentan en la zona que rodea a la Laguna Superior y en la barra arenosa costera, mostrando de esta manera una dirección preferencial del flujo subterráneo noroeste-sureste y norte-sur, paralela a la dirección del escurrimiento superficial. Las zonas de recarga se localizan en las sierras constituidas por calizas y rocas volcánicas que limitan al valle (Figura 5).

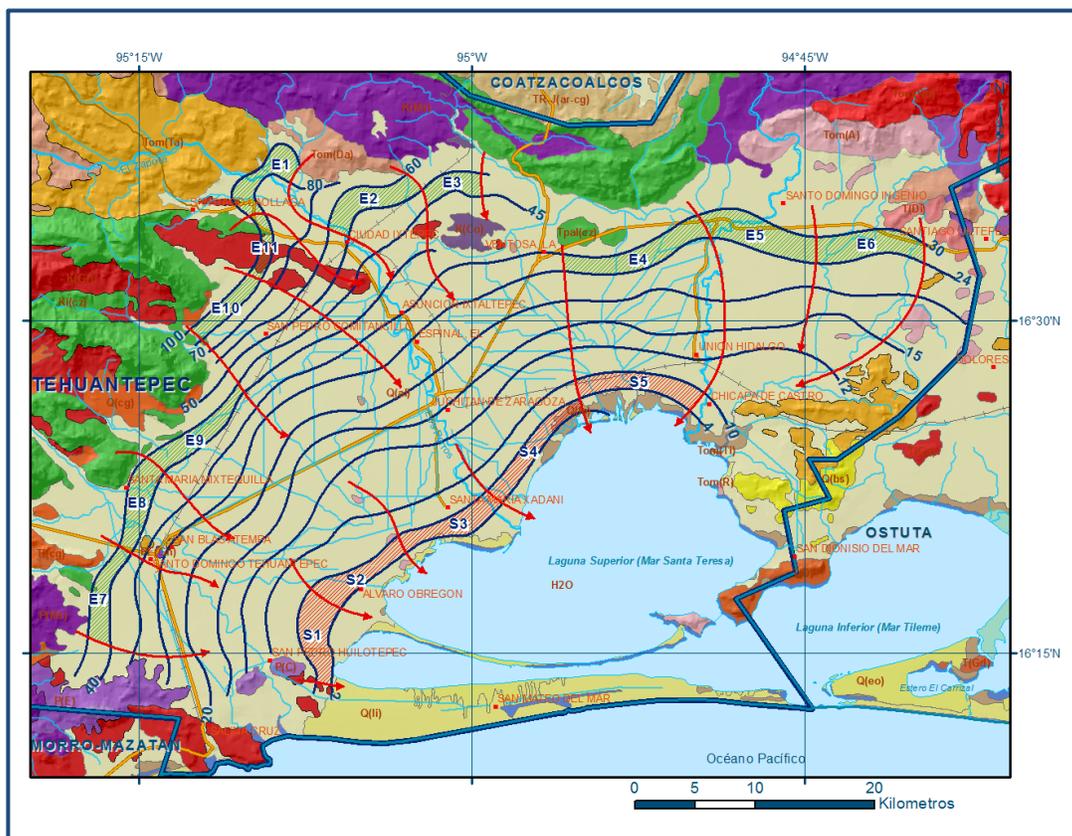


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2019)

5.4.3. Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2009-2019 registró valores tanto de recuperación como de abatimiento. Los primeros varían de 3 a 6 m, es decir de 0.3 a 0.6 m anuales, y se registraron en las porciones noroccidental y

occidental del valle, entre las poblaciones San Pedro Comitancillo, Santa María Mixtequilla y Santo Domingo Tehuantepec. Los abatimientos varían de 0.5 a 3 m, que representan 0.05 a 0.3 m anuales, y se presentaron en la zona del distrito de riego, entre los poblados San Lucas Atempa, Álvaro Obregón y Santa María Xadani; y en la porción norte entre los poblados Ciudad Ixtepec, Juchitán, Unión Hidalgo y La Ventosa. En la mayor parte de la zona de explotación los niveles del agua subterránea no presentaron variaciones importantes en su posición (Figura 6).

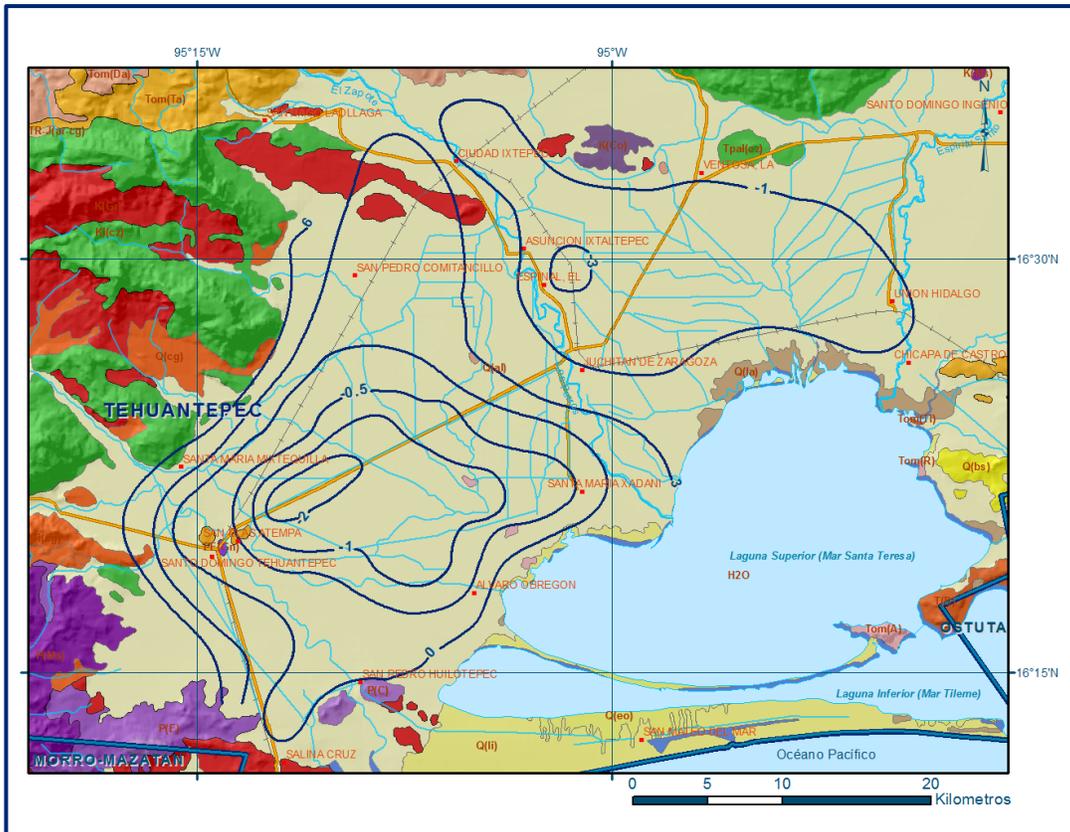


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2009-2019)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en XXX, se tomaron XX muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron: temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, nitratos, dureza total, iones mayoritarios, sólidos totales disueltos (STD), hierro, manganeso, nitratos y análisis bacteriológicos.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos. La concentración de sólidos totales disueltos

presenta valores que varían de 130 a 370 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible (LMP) de 1000 ppm establecido en Norma Oficial Mexicana 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, 4 muestras presentaron concentraciones de fierro que sobrepasan el LMP de 0.3 mg/l que establece la norma mencionada y en 6 muestras se exceden el LMP de 0.15 mg/l en la concentración de manganeso.

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 220 a 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

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 baja (C_1) y contenido bajo de sodio intercambiable (S_1), lo que indica que es apropiada para su uso en riego sin restricciones. Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó como familia dominante la bicarbonatada-cálcica-sódica, que corresponde a agua de reciente infiltración, con periodos cortos de residencia, que han circulado a través de rocas calizas y volcánicas.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos del año 2002, proporcionada por el Organismo de Cuenca Pacífico Sur, se registró la existencia de 533 aprovechamientos del agua subterránea; y de acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se tiene registrado un volumen de extracción de **38.6 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022. De los cuales 24.4 hm³ (63.2%) son para uso agrícola, 13.1 hm³ (33.9%) para abastecimiento de agua potable a las comunidades, 0.1 hm³ (0.3%) para uso doméstico-pecuario, 0.3 hm³ (0.8%) para servicios y 0.7 hm³ (1.8%) para uso múltiple

Adicionalmente, a través de los 2 **manantiales** más importantes que son los conocidos con los nombres de La Ollaga y Tlacotepec, se descarga un volumen de 39.6 y 52.5 hm³ anuales, respectivamente, que en total suman **92.1 hm³ anuales**.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2009-2019, en un área de balance de **1,394 km²**, que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos.

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:

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos y arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las fugas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otras fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga incidental (Ri). Debido a que el volumen de agua subterránea para uso público-urbano es pequeño, sólo se considera la recarga incidental debida a los retornos del riego agrícola.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

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

$$\text{Rv} + \text{Ri} + \text{Eh} - \text{B} - \text{Sh} - \text{Dm} - \text{ETR} = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

- Rv:** Recarga vertical
- Eh:** Entradas por flujo subterráneo horizontal
- Ri:** Recarga Incidental
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas por flujo subterráneo horizontal
- Dm:** Descarga a través de manantiales
- ETR:** Evapotranspiración
- $\Delta V(S)$:** Cambio en el volumen almacenado

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

$$R_v = S_h + B + D_m + ETR - E_h - R_i \pm \Delta V(S) \quad (2)$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

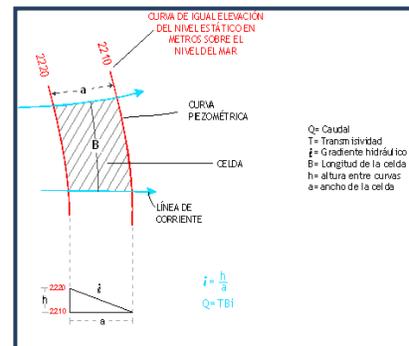
Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2019 mostrada en la figura 5. Con base en ella 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:

$$Q = T * B * i$$

Donde:

- Q:** Caudal (m^3/s)
- T:** Transmisividad (m^2/s)
- B:** Longitud de la celda (m)
- i:** Gradiente Hidráulico (adimensional)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas, en la tabla 2 se observan los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal es de **38.8 hm³/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal (2019)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	8010	1026	20	0.0195	0.0060	0.9368	14.6
E2	8439	1941	10	0.0052	0.0050	0.2174	3.4
E3	4908	1562	5	0.0032	0.0030	0.0471	0.7
E4	17411	1827	6	0.0033	0.0030	0.1715	2.7
E5	9284	3158	6	0.0019	0.0070	0.1235	1.9
E6	8932	2124	6	0.0028	0.0050	0.1262	2.0
E7	8138	1425	5	0.0035	0.0030	0.0856	1.3
E8	7670	2278	5	0.0022	0.0070	0.1178	1.8
E9	9474	1560	5	0.0032	0.0050	0.1519	2.4
E10	6682	1380	20	0.0145	0.0030	0.2906	4.5
E11	5655	1009	20	0.0198	0.0020	0.2243	3.5
TOTAL							38.8

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 de la región donde se localizan las celdas.

7.1.3 Recarga incidental (R_i)

Aún en sistemas de riego eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Debido a la falta de información de láminas de riego por cultivo, se considera que el 30% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero en forma de recarga incidental, considerando la profundidad somera al nivel del agua subterránea en las zonas agrícolas y la presencia de estratos de permeabilidad media en el subsuelo. De esta manera, tomando en cuenta que para uso agrícola se utiliza un volumen promedio anual de 24.4 hm³ de agua subterránea; al aplicar el 30% de retornos de riego, se obtiene un volumen de 7.3 hm³. Por tanto, **R_i = 7.3 hm³ anuales**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente a través del bombeo (B), por salidas subterráneas horizontales (Sh) y por evapotranspiración (ETR) en las áreas de niveles freáticos someros.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es de **38.6 hm³ anuales**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2019, mostrada en la figura 5, tal como se muestra en la tabla 3. El volumen total de salidas por flujo horizontal subterráneo asciende a **10.3 hm³/año**.

Tabla 3. Cálculo de las salidas por flujo horizontal (2019)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	7403	2520	2	0.0008	0.0030	0.0176	0.6
S2	7697	1295	2	0.0015	0.0030	0.0357	1.1
S3	8579	1968	2	0.0010	0.0070	0.0610	1.9
S4	10514	1348	2	0.0015	0.0050	0.0780	2.5
S5	10329	1392	6	0.0043	0.0030	0.1336	4.2
TOTAL							10.3

7.2.3 Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, se identificaron 2 manantiales importantes, La Ollaga y Tlacotepec, que descargan un caudal de 1,257 y 1,665 lps, respectivamente, que equivalen a caudal conjunto de 2922 lps, es decir 92.1 hm³ anuales. Por lo tanto, **Dm = 92.1 hm³ anuales**.

7.2.4 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). El escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR) es un parámetro utilizado para la recarga potencial de infiltración.

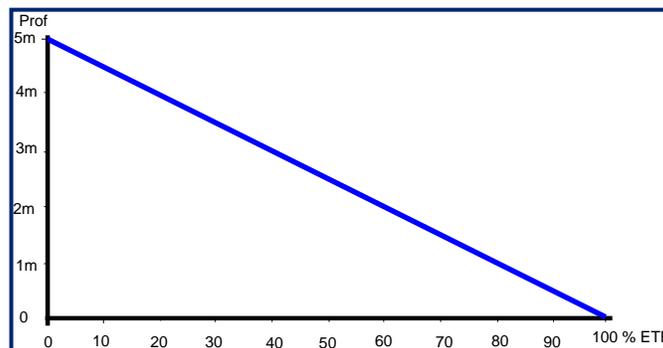
Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de temperatura y precipitación de 24.2 °C y 901.5 mm. Con ellos se obtiene una lámina de evapotranspiración de 818.8 mm anuales, como se muestra a continuación:

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	24.2		
P(mm) =	901.5	P ² =	812702.25
L =	1613.6244	L ² =	2603783.7
ETR (mm)	818.8		

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 evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno por la lámina de evapotranspiración obtenida y por el porcentaje que le corresponde de acuerdo con la gráfica anterior, tomando en cuenta las superficies entre curvas de igual valor de profundidad al

nivel estático. El cálculo se puede observar en la tabla 4. El volumen de evapotranspiración **ETR = 171.3 hm³/año.**

Tabla 4. Cálculo de la evapotranspiración (2019)

RANGOS DE PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	ÁREA (km ²)	LÁMINA ETR (m)	% ETR	VOLUMEN ETR (hm ³ /año)
4 a 5	4.5	388.8	0.8188	0.1	31.8
2 a 4	3.0	113.5	0.8188	0.4	37.2
0 a 2	1.0	96.8	0.8188	0.8	63.4
2	2.0	70.3	0.8188	0.6	34.5
3	3.0	13.4	0.8188	0.4	4.4
	Total	682.8		TOTAL	171.3

7.1 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

El cálculo del cambio de almacenamiento se realizó a partir de la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2009-2019 que se muestra en la figura 6. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico $S_y = 0.06$ se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

ΔVS : 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

h: Valor medio de la variación piezométrica en el período

El detalle de cálculo se presenta en la tabla 5, en la que se puede observar que el cambio de almacenamiento para el periodo es de -3.5 hm^3 , es decir, un promedio anual de **-0.3 hm^3** .

Tabla 5. Cálculo del cambio de almacenamiento (2009-2019)

Evolución (m)	Evolución media (m)	Área (km ²)	Sy	ΔV(S) (hm ³ /año)
-2	-2.0	14.3	0.06	-1.7
-1 a-0.5	-0.8	97.2	0.06	-4.4
-2 a -1	-1.5	90.2	0.06	-8.1
0 a -0.5	-0.25	185.3	0.06	-2.8
-3	-3	6.6	0.06	-1.2
-1 a -3	-2	274.3	0.06	-32.9
3 a 0	1.5	323.5	0.06	29.1
6 a 3	4.5	68.6	0.06	18.5
	TOTAL	1060.0	TOTAL	-3.5
		Promedio anual		-0.3

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión 2, que fue establecida con anterioridad:

$$R_v = S_h + B + D_m + ETR - E_h - R_i \pm \Delta V(S)$$

$$R_v = 10.3 + 38.6 + 92.1 + 171.3 - 38.8 - 7.3 - 0.3$$

$$R_v = 265.9 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, la recarga total es igual a la suma de todas las entradas:

$$R = R_v + E_h + R_i$$

$$R = 265.9 + 38.8 + 7.3$$

$$R = 312.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

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

R: Recarga total media anual

DNC: Descarga natural comprometida

VEAS: Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como incidental. Para este caso su valor es **312.0 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprendida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Tehuantepec, su valor es de **188.1 hm³ anuales**, de los cuales 10.3 hm³ corresponden a las salidas por flujo subterráneo horizontal hacia la zona costera y la Laguna Superior, 92.1 hm³ a la descarga de los manantiales y 85.7 hm³ al 50% del volumen de evapotranspiración para protección de los ecosistemas costeros y ribereño del Río Tehuantepec. Por lo tanto, **DNC = 188.1 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 **104'802,948 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 312.0 - 188.1 - 104.802948 \\ \text{DMA} &= 19.097052 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible de **19'097,052 m³** para otorgar nuevas concesiones.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 1990. Exploración geofísica en el distrito de riego en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Realizado en 1990 por GEOELEC, S. A. DE C.V.

Comisión Nacional del Agua. 2002. Estudio de actualización de mediciones piezométricas en los acuíferos Tehuantepec, Río Ostuta, Nochixtlán y Huatulco del estado de Oaxaca, y Cuajinicuilapa del estado de Guerrero. Realizado por COPEI, Ingeniería, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Pacífico Sur, 2017. Información piezométrica del acuífero Tehuantepec, estado de Oaxaca.

Petróleos Mexicanos, 1976. Estudios geohidrológico del subálveo del río Tehuantepec, estado de Oaxaca.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1979. Estudio geohidrológicopreliminar de la zona de Tehuantepec, Oaxaca. Realizado por Rocha y Asociados, S. A. de C.V. (ROASA).

Servicio Geológico Mexicano, 2000. Carta Geológica-Minera E15-10 D15-1 "Juchitán". Escala. 1:250.000.