

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Tehuantepec (2007),
Estado de Oaxaca***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE OAXACA							
2007	TEHUANTEPEC	103.3	43.0	39.097631	52.8	21.202369	0.000000

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

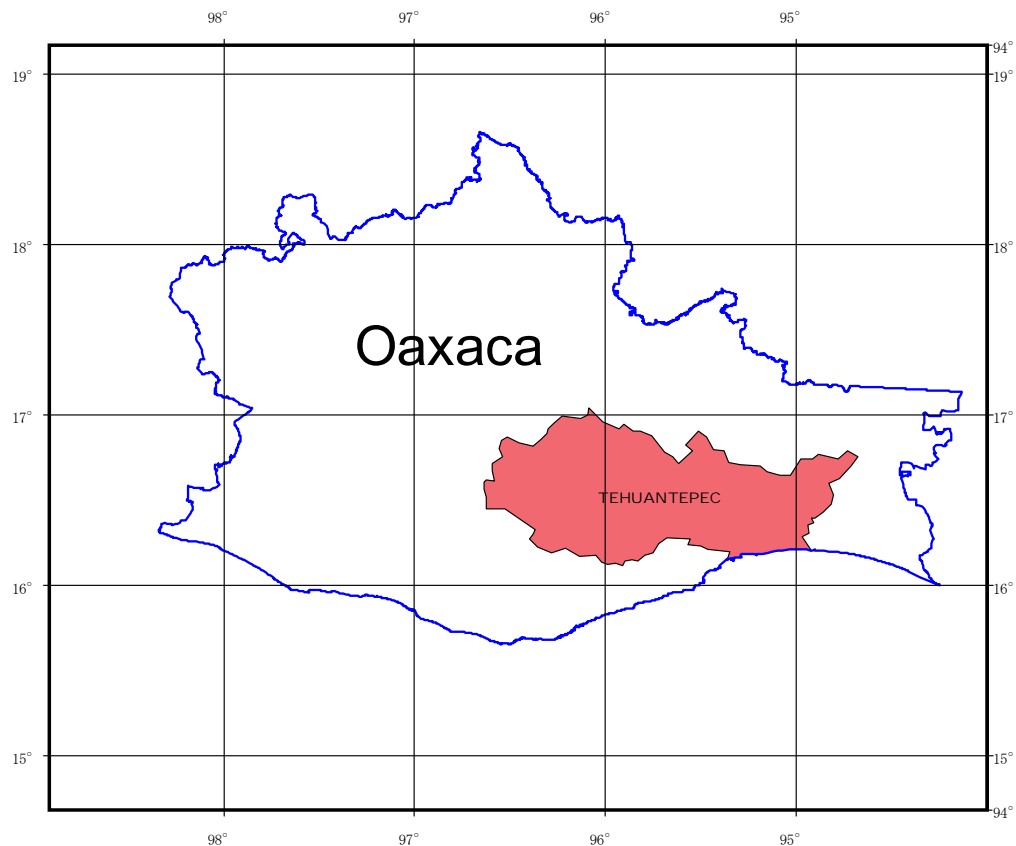


Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO TEHUANTEPEC, ESTADO DE OAXACA.



1. Generalidades.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Localización, extensión y límites del acuífero.....	4
1.3 División municipal.....	6
1.4 Población.....	6
1.5 Situación administrativa del acuífero.....	7
1.6 Organización de usuarios.....	8
2. Estudios técnicos realizados con anterioridad.....	9
3. Fisiografía.....	10
3.1 Provincias fisiográficas.....	10
3.2 Clima.....	11
3.2.1 Temperatura media anual.....	11
3.2.2 Precipitación media anual.....	11
3.2.3 Evaporación potencial media anual.....	11
3.3 Hidrografía.....	12
3.3.1 Región hidrológica.....	12
3.3.2 Cuenca.....	13
3.4 Geomorfología.....	13
4. Geología.....	13
4.1 Estratigrafía.....	14
4.2 Geología estructural.....	16
4.3 Geología del subsuelo.....	16
5. Hidrogeología.....	17
5.1 Tipo de acuífero.....	17
5.2 Parámetros hidráulicos.....	17
5.3 Piezometría.....	17
5.3.1 Profundidad al nivel del agua subterránea.....	17
5.3.2 Elevación del nivel del agua subterránea.....	18
5.3.3 Evolución de los niveles del agua subterránea (2000-2002).....	19
6. Censo de aprovechamientos e hidrometría del bombeo.....	20
7. Balance de agua subterránea.....	21
7.1 Entradas.....	22
7.1.1 Recarga natural.....	22
7.1.2 Flujo horizontal.....	22
7.1.3 Recarga inducida.....	23
7.2 Salidas.....	23
7.2.1 Evapotranspiración.....	23
7.2.2 Bombeo.....	25
7.2.3 Flujo subterráneo horizontal.....	25
7.3 Cambio de almacenamiento.....	26

8. Disponibilidad.....	27
8.1 Recarga total media anual.....	27
8.2 Descarga natural comprometida.....	27
8.3 Volumen anual de agua concesionado e inscrito en el REPDA.....	27
8.4 Disponibilidad de agua subterránea.....	27
9. Bibliografía.....	28

1 Generalidades

1.1 Antecedentes.

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CNA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana (NOM), “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales” (NOM de Disponibilidad). Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CNA.

Con la publicación de la LAN en diciembre de 1992, se establece que los aprovechamientos de agua subterránea deberán de estar inscritos en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), estimándose a esa fecha un universo de 140 000 pozos existentes en todo el país, de los cuales, unos 42 600 contaban con registro nacional y otros 10 000 tenían algún tipo de autorización. A finales de 1995 se emitieron Decretos Presidenciales que otorgan facilidades a los usuarios para inscribir sus pozos en el REPGA, que se prorrogaron hasta finales de 1999, con lo que se ha logrado captar a casi todo el universo de usuarios. Uno de los instrumentos que le dará certidumbre jurídica a los actos de autoridad de la CNA, es la publicación en el DOF de los datos de disponibilidad de agua subterránea en cada uno de los acuíferos del país y la publicación de los estudios técnicos correspondientes. Esta publicación deberá estar dentro de los lineamientos que establece la NOM de disponibilidad.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPGA.

Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA). La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobre explotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.2 Localización, extensión y límites del acuífero.

Se localiza al sureste del estado de Oaxaca, (Figura No. 1), tiene un área aproximada de 14,000 km², limita al norte con los acuíferos de Coatzacoalcos y Tuxtepec, al oriente con Ostuta, al poniente con los acuíferos Valles Centrales, Río Verde-Ejutla y Miahuatlán y al sur con los acuíferos Huatulco, Santiago Astata y Morro Mazatán.

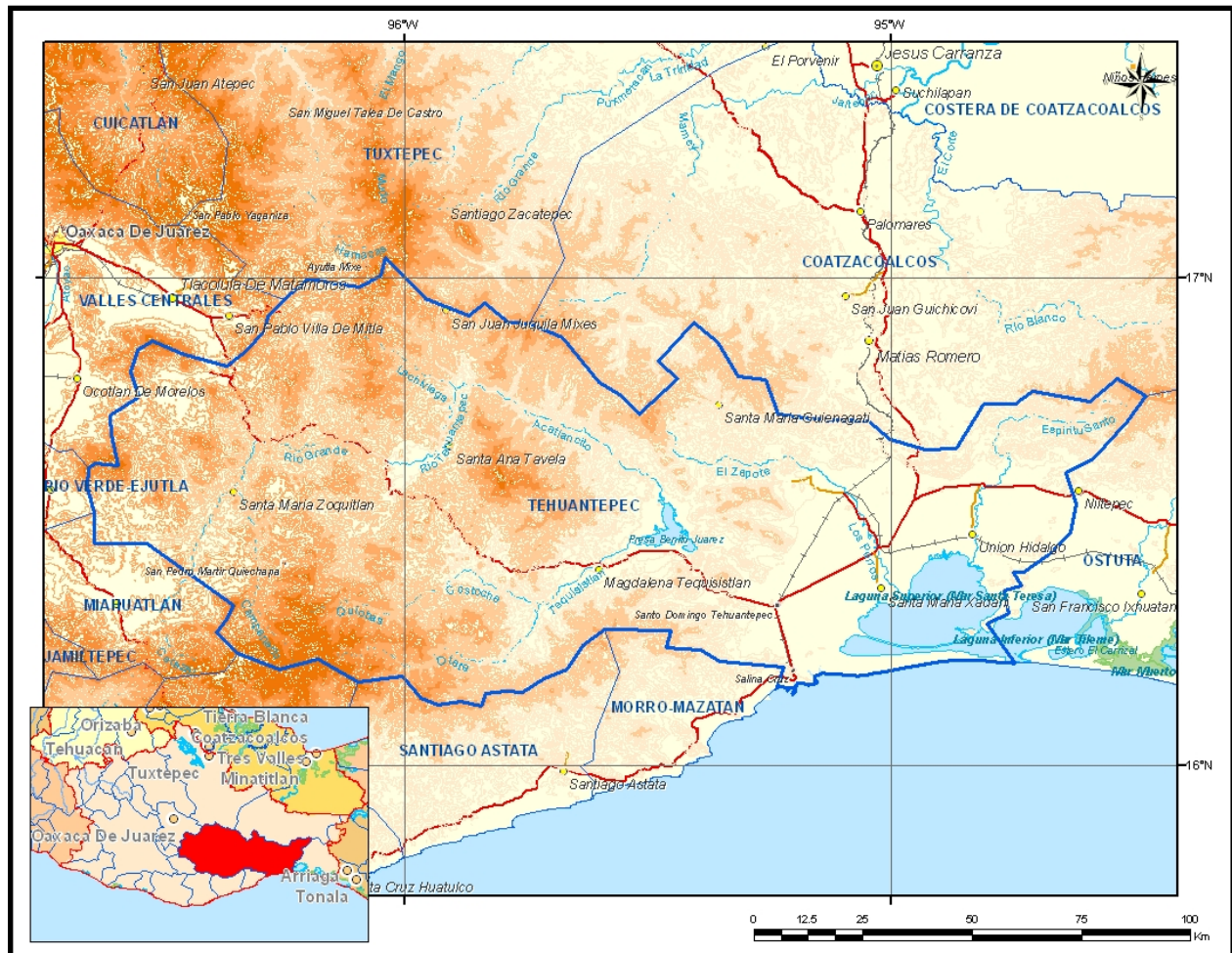


Figura No. 1. Ubicación del acuífero Tehuantepec, estado de Oaxaca

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla No. 1.

En la siguiente página se presenta la Tabla No. 1. Poligonal simplificada del acuífero Tehuantepec.

Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Tehuantepec, Oaxaca.

ACUIFERO 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	
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	

1.3 División municipal

Dentro de los límites del acuífero se localizan los municipios de Santo Domingo Ingenio, Unión Hidalgo, Juchitán de Zaragoza, El Espinal, Santa María Xadani, San Mateo del Mar, Salina Cruz, San Pedro Huilotepec, San Blas Atempa, Ciudad Ixtepec, Santo Domingo Chihuitan, Santiago Laollaga, San Pedro Comitancillo, Magdalena Tlacotepec, Santa María Mixtequilla, Santa María Jalapa del Marqués, Santa María Totolapilla, Nejapa de Madero, San Carlos Yautepec, Magdalena Tequisistlán, San Juan Juquila Mixes, Santa María Tepantlali, Santo Domingo Tepuxtepec, San Juan del Río, San Pedro Quiatoni, Santa Ana Tavela, San Juan Lajarcia, San Bartolo Yautepec, Santa María Ecatepec, Santa María Quiebolani, San Pedro Totolapa, San Pedro Mártir Quiechapa, San Dionisio Ocotepec, San Baltasar Chichicapam, San Jerónimo Taviche, Yaxe, Santa María Zoquitlán, San Juan Lachigalla, San José Lachiquiri, San Francisco Lagueche, Santa Catalina Quieri, Santa Catalina Quioquitani; y de manera parcial los municipios de San Juan Mixtepec, San Cristóbal Amatlán, San Miguel Chimalapa, Asunción Ixtaltepec, Santiago Niltepec, San Dionisio del Mar, Santo Domingo Tehuantepec, Santa María Guienagati, Guevea de Humboldt, Santiago Lachigüiri, Asunción Tlacolulita, Tamazulapan de Espíritu Santo, San Lorenzo Albarradas, Santiago Matatlán, San Miguel Tiquilpan, Ejutla de Crespo, Coatecas Altas, San Luís Amatlán y San Pedro Mixtepec.

Las vías de comunicación terrestre más importantes son la Carretera Federal No. 180, que llega de Oaxaca a Tehuantepec; la Carretera Federal No. 185, que comunica a Acayucan con Tehuantepec; y la Carretera Federal No. 200 que conduce de Tehuantepec hasta Tapachula. Otra vía de comunicación es la del Ferrocarril Transistmico desde Veracruz y Coatzacoalcos hasta Salina Cruz, que pasa por Tehuantepec, con conexión hacia Tapachula, Chis.

1.4 Población

Los principales poblados dentro del acuífero son: Santo Domingo Tehuantepec, Salinas Cruz, Juchitán de Zaragoza, El Espinal, Unión Hidalgo, Santa María del Mar, Asunción Ixtaltepec, Ciudad Ixtepec, Santa María Jalapa del Marqués y Santa María Mixtequilla.

La región del Istmo a lo largo de la historia, y de manera cada vez más acentuada desde la colonización española, ha sido considerada por las autoridades políticas y los poderes económicos como un espacio de frontera, enlace estratégico entre dos espacios económicos diferenciados: la cuenca del Pacífico Mesoamericano y el Caribe. Desde mediados del siglo pasado, la vocación de enlace del Istmo ha estado en el centro de las políticas de desarrollo y de control territorial que se implementaron en la región. Hoy en día, la opción de desarrollo hacia fuera y de articulación con los mercados internacionales, que constituye el eje de la política económica mexicana, tiende a reforzar aún más dicha vocación. Por otra parte, la paulatina saturación del tránsito transoceánico por el canal de Panamá y el desarrollo creciente de los intercambios entre dos de la zonas económicas más dinámicas del planeta, el Pacífico oriental y la cuenca Golfo-Caribe, verdadero mediterráneo americano, resaltan las ventajas comparativas del Istmo mexicano.

La población económica se refiere a la población de 12 años y más, la cual en el país era de alrededor de 68.6 millones en el 2000. De esta población, casi 34 millones estaba activa y 34.6 millones inactiva (estudiantes, hogar, jubilado, incapacitado, etc.). En el Istmo, de la población de 12 años y más (1.5 millones de personas), alrededor de 697 mil personas (31.6%) era activa, y 38.3 % inactiva, siendo muy similar los porcentajes en los municipios que conforman el Istmo del estado de Oaxaca y los de Veracruz. En este sentido, hay que señalar que las diferencias con las proporciones nacionales están relacionadas con la distinta estructura por edades de la población, además de factores dependientes de las características de los mercados de trabajo.

De la población ocupada, la mayor proporción lo hace en el sector terciario a nivel nacional (53.6%), seguida por el secundario (27.9%), y en el sector primario sólo está 15.5% de la población ocupada. Esta situación es muy distinta en algunas entidades, como es el caso de Oaxaca donde la población en el sector primario representa el 41%, en el terciario 37.6 y en el secundario 19.4%.

En el Istmo, 30.7% de la población ocupada está en el sector primario, 21.4 en el secundario y 45.6% en el terciario. En la porción del Istmo del estado de Oaxaca hay mayor población en el sector primario (33%) y menor en el terciario (42.7%).

1.5 Situación administrativa del acuífero.

Los municipios de San Pedro Quiatoni, San Juan del Río, San Lorenzo Albarradas, San Dionisio Ocoatepec, Tlacolula de Matamoros, San Pedro Totolapa, Santa María Zoquitlán, Yaxe, San Pedro Taviche, San Baltazar Chichic, San Jerónimo Taviche; y de manera parcial los municipios de Santo Domingo Albarradas, San Pablo Villa de Mitla, Santiago Matatlán y San Miguel Tilqui; todos ellos en la porción poniente del acuífero, se encuentran dentro de la veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona conocida como Valle de Oaxaca, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de septiembre de 1967.

En el primer artículo se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona conocida como Valle de Oaxaca, correspondiente al Estado de Oaxaca, cuya extensión y límites geopolíticos comprenden los ex distritos de ETLA, Centro, Tlacolula, Zimatlán y Ocotlán.

La veda, queda comprendida en la tercera clasificación del artículo 11 del Reglamento de la Ley Reglamentaria del párrafo quinto del artículo 27 Constitucional en materia de agua del subsuelo y se define como: Zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Excepto cuando se trate de alumbramientos de aguas para usos domésticos, desde la vigencia de este Decreto, nadie podrá extraer aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, ni modificar los aprovechamientos existentes, sin previo permiso escrito de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, consecuentemente se requerirá de permiso de que

se habla, para terminar las obras iniciales y no terminadas y para instalar equipos en las que se carezca de ellos.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos concederá permiso únicamente en los casos en que de los estudios relativos se advierta que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.

A este efecto, los interesados en extraer aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, inclusive las Dependencias del Gobierno Federal e Instituciones Descentralizadas, así como particulares y contratistas, no podrán llevar a cabo alumbramientos sin tener previamente el permiso correspondiente.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos (Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales) 2006, los municipios que se localizan dentro de los límites del acuífero pertenecen a las zonas de disponibilidad 5 y 7. Calificando al acuífero como zona de disponibilidad 7.

1.6 Organización de Usuarios

Los Consejos de Cuenca son instancias de coordinación y concertación entre la Comisión Nacional del Agua, las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal, municipal y los representantes de los usuarios de la respectiva cuenca hidrológica. Su objetivo es formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca.

El acuífero Tehuantepec pertenece al Consejo de Cuenca de la Costa de Oaxaca, instalado oficialmente el 7 de abril de 1999. No se tiene a la fecha instalado el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

El 18 de noviembre de 1999, se instaló el Comité de Cuenca del Río Los Perros.

Los Consejos Ciudadanos del Agua Estatales son canales de participación en los ámbitos locales que trabajan a favor de la difusión de información del agua, tendiente a fomentar su cuidado y uso sustentable. En el estado de Oaxaca con fecha 2 de noviembre del 2000, se instaló el Grupo del Agua.

Dentro de los límites de este acuífero, se localiza el Distrito de Riego No. 19 Tehuantepec, El Acuerdo Presidencial que establece el Distrito es de Fecha 30 de enero de 1946 y el 21 de noviembre de 1962 se emite el Acuerdo Presidencial que Limita el Distrito. En el año de 1962 inició sus operaciones.

Este Distrito se abastece principalmente de la derivación directa de la Presa Benito Juárez, cuya capacidad total es de 946.5 (10^6 m³).

2 Estudios técnicos realizados con anterioridad

(a) Estudio geohidrológico preliminar de la zona de Tehuantepec, Oaxaca. Realizado por la compañía ROASA 1979, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Programas de Infraestructura Hidráulica. Subdirección de Geohidrológica y Zonas Áridas. 1979.

Las condiciones de explotación en que se encuentra actualmente el acuífero son muy reducidas, la gran mayoría de los aprovechamientos que existen son norias de uso doméstico o pecuario y los pozos son de uso industrial, sin embargo por ser reducido el número de industrias también lo es, el volumen extraído es poco significativo. Por otra parte 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.

(b) Exploración Geofísica en el Distrito de Riego del Istmo de Tehuantepec. Realizado en noviembre de 1990 por la Compañía GEOELEC, S.A. de C. V. para la Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Administración del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Exploración Geohidrológica.

Sus principales conclusiones fueron:

- Otra formación con posibilidades de contener el acuífero lo constituyen las calizas del Albiano-Cenomaniano K (cz), debido a su permeabilidad secundaria por fracturamiento.
- Al paquete aluvial, aquel que contiene el acuífero actualmente en explotación, se le han interpretado espesores de hasta 350 m en la región comprendida al oeste de las localidades de Espinal y norte de Juchitán, y al suroeste de Comitancillo.

(c) 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. 2002. Realizado por la Compañía COPEI Ingeniería, para la Comisión Nacional del Agua. Gerencia Regional Pacífico Sur. Subgerencia Técnica, bajo contrato No. SGT-GRPS-OAX-02-047-CE-I3.

La conformación de las curvas de igual profundidad al nivel estático, presentan los valores más bajos de 1 a 2 metros, incrementándose hasta los 10 metros en las estribaciones de las sierras que lo circundan; una zona de comportamiento particular es la correspondiente a la planicie que se encuentra entre los ríos Tehuantepec y Los Perros en el extremo oeste del valle, en donde las curvas muestran una fuerte distorsión, conformando una especie de lengüeta marcada por la curva de valor de 1 metro que se introduce empujando al resto de las curvas de mayor valor hacia la porción noroeste de esta franja, así mismo, a lo largo del cauce del río Tehuantepec, es notable el efecto de este sobre las curvas de 2 y 4 metros, en todo el valle se nota de igual manera la influencia de las corrientes superficiales.

En base a los datos registrados en el censo de noviembre del año 2000, el flujo subterráneo en este valle proviene de toda la extensión de las estribaciones de las sierras

que lo circundan, observándose fuertemente el efecto de las corrientes superficiales principalmente en lo que corresponde a los ríos Los Perros, Tehuantepec y Chicapa.

El desarrollo mas fuerte del valle se da en la parte central del mismo en donde se encuentra el río de Los Perros que ya dentro del mismo tiene un recorrido de aproximadamente 46 km; en esta parte del valle el gradiente hidráulico promedio dado entre las equipotenciales de 5 msnm cerca de la costa hasta la de 70 msnm en la salida del río al valle es de 0.0023; en el extremo oriente donde se encuentra el río Chicapa el gradiente hidráulico es de 0.0015 dado por la diferencia de carga entre las curvas de 5 msnm en la costa y la de 25 msnm en la parte alta, mientras que en el extremo poniente en donde se encuentra el río Tehuantepec, el gradiente es de 0.0023 por la diferencia de carga que dan las curvas de 5 msnm en la costa y la de 50 msnm en la salida del río por el noroeste del valle.

En la configuración de la evolución del nivel estático en el valle de Tehuantepec, se cubre un periodo de 2 años observándose un comportamiento distinto según la parte del valle que se considere, así en la parte central, en donde se encuentra el Río Los Perros, hay una zona en donde resultan valores negativos de poco mas de 1 metro (-1.24), dando una curva cerrada, envuelta por la curva de valor cero cubriendo una amplia área, hacia el extremo poniente hasta antes del río Tehuantepec se tienen valores positivos de hasta tres metros.

En el extremo oriente, entre lo que es el río Chicapa y el límite con el valle del Río Ostuta, se tienen valores negativos desde -0.55 metros cerca de la costa a -1.70 metros en la parte alta.

3 Fisiografía

3.1 Provincias fisiográficas

La zona pertenece a la vertiente del Pacífico, en el extremo oriental de las provincias fisiográficas del área montañosa de Guerrero-Oaxaca, (Manuel Álvarez Jr, 1959), comprendiendo las planicies, lagunas y esteros del Golfo de Tehuantepec. En general, se trata de una planicie costera con una amplia 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. Esta planicie queda interrumpida por algunas elevaciones montañosas intermedias de roca de origen volcánico y metamórfico con alturas del orden de 200 a 500 msnm.

Abarca parte de las Provincias Fisiográficas: a) Sierra Madre del Sur , con las subprovincias Costas del Sur ubicada en la línea de costa, Sierras Orientales que va de norte a sur en la parte centro-oriente del estado, Sierras Centrales de Oaxaca del centro hacia el norte y paralelamente al occidente *Mixteca Alta*, b) Cordillera Centroamericana, con la subprovincia Sierras del Sur de Chiapas en la parte oriente del estado, y hacia el sur de ésta sobre la costa del Golfo de Tehuantepec, la discontinuidad fisiográfica Llanuras del Istmo .

3.2 Clima

El tipo de clima es caliente subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media del mes más frío es superior a los 18° C.

La denominación de lluvias en verano se da a los que poseen por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más lluvioso de la mitad caliente del año, que en el mes menos lluvioso. Debe hacer por lo menos un mes con precipitación media menor de 60 mm.

3.2.1 Temperatura media anual

La temperatura media anual, obtenida con la información de las estaciones climatológicas 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; es de 24.2° C

3.2.2 Precipitación media anual

La precipitación media anual es de 901.5 mm, como se observa en la figura No. 2, valor promedio tomado de las mismas estaciones climatológicas:

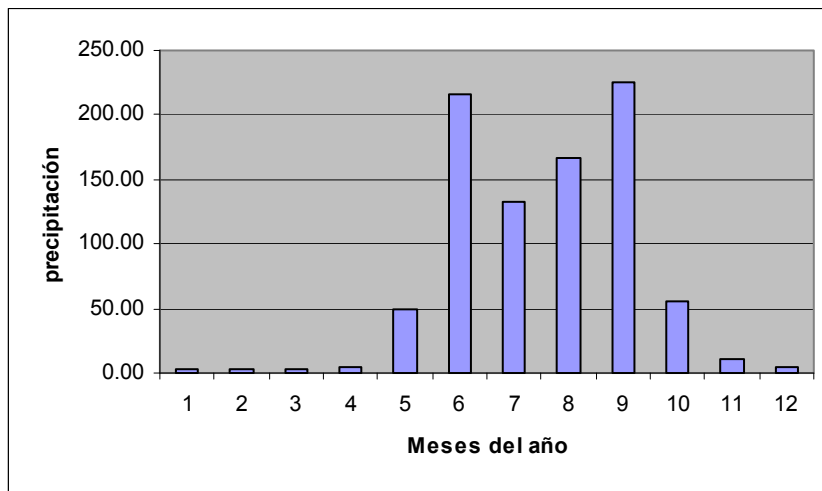


Figura No. 2. Precipitación promedio anual

3.2.3 Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial media anual, tomada de 41 estaciones climatológicas localizadas dentro de los límites del acuífero es de 2417 mm.

3.3 Hidrografía

La corriente principal, nace al sureste de Miahuatlán, a una altitud de 3200 msnm y en esta parte fluye hacia el norte con el nombre de río de La Ciénega. Después de un recorrido de 20 km desvía un poco su curso hacia el noreste hasta llegar a Totolapan, zona en la que recibe el nombre de río Mijangos. En Totolapan se desvía francamente hacia el este hasta Nejapa, y, en este punto, se inicia una amplia convexidad hacia el norte en la que, al principio, el río se llama Grande y ya en el tramo descendiente, que lleva un rumbo sureste y el cual conserva hasta la desembocadura, adquiere su denominación final de río Tehuantepec por pasar junto a esta ciudad, 20 km antes de dicha desembocadura en las cercanías de Salina Cruz.

La longitud total aproximada de la corriente es de 240 km y como su nacimiento ocurre a una altitud de 3200 msnm, su pendiente media es de 1.333 por ciento que es significativa, en particular, en los tercios inicial y final de su recorrido.

Los afluentes del río Tehuantepec son numerosos pero, en general, son más importantes los de la margen derecha.

El primero es el río de la Virgen, que nace al sur de Yautepec, fluye de sur a norte y entra al río Grande, 37 kilómetros abajo de Totolapan.

El otro afluente de mucha 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, Tequisistlán.

Los afluentes izquierdos del Tehuantepec son el río San Antonio, que nace en las cercanías de Taviche, baja 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, baja directamente hacia el sur y entra al río Grande, 17 km aguas abajo de Totolapan.

La cuenca del Tehuantepec abarca parcialmente varios distritos del estado de Oaxaca que son los de: Miahuatlán, Ejutla, Ocotlán, Tlacolula, Mixe, Yautepec y Tehuantepec.

El régimen del río se mide en el cauce principal, en la estación hidrométrica llamada Boquilla No. 1, que esta situada 7.5 km aguas abajo de Nejapa.

En el mes de junio de 1961 empezó a almacenar la Presa Benito Juárez, construida de 1956 a 1961.

3.3.1 Región Hidrológica

El acuífero se localiza dentro de dos Regiones Hidrológicas, al Poniente la Región Hidrológica No. 22 "Tehuantepec", y al Oriente la Región Hidrológica No. 23 "Costa de Chiapas". De forma muy alargada en el sentido este a oeste queda limitando por el norte

con las cuencas de los ríos Papaloapan y Coatzacoalcos; por el Oriente, con los orígenes del río Grijalva y otros ríos de poca importancia de la Región Hidrológica No. 23; por el sur con el Golfo de Tehuantepec y las cuencas de los ríos Copalita, Zimatlán y otros menos notables de la Región No. 2; y por el Oeste, con la cuenca del río Verde o Atoyac (Región No. 20).

3.3.2 Cuenca

Dentro de la Región No. 22 se encuentra la Cuenca del río Tehuantepec y en la Región No. 23 la Cuenca del Mar Muerto.

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 amplia 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. Esta planicie queda interrumpida por algunas elevaciones montañosas intermedias de roca 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 Mixteca Alta.

4. Geología

Los procesos geológicos identificados indican que la zona Zapoteca y parte de la Huave pertenecen a la Era Cenozoica Cuaternaria y, de acuerdo a INEGI, es la formación más reciente en la Región del Istmo, conformada por rocas sedimentarias de tipo aluvial. Sin embargo dentro de la misma zona Zapoteca encontramos formaciones geológicas que datan de la Era Paleozoica Precámbrica, en las que predominan rocas de tipo metamórfico como sucede en los municipios de Chahuities y Tapanatepec (figura No. 3).

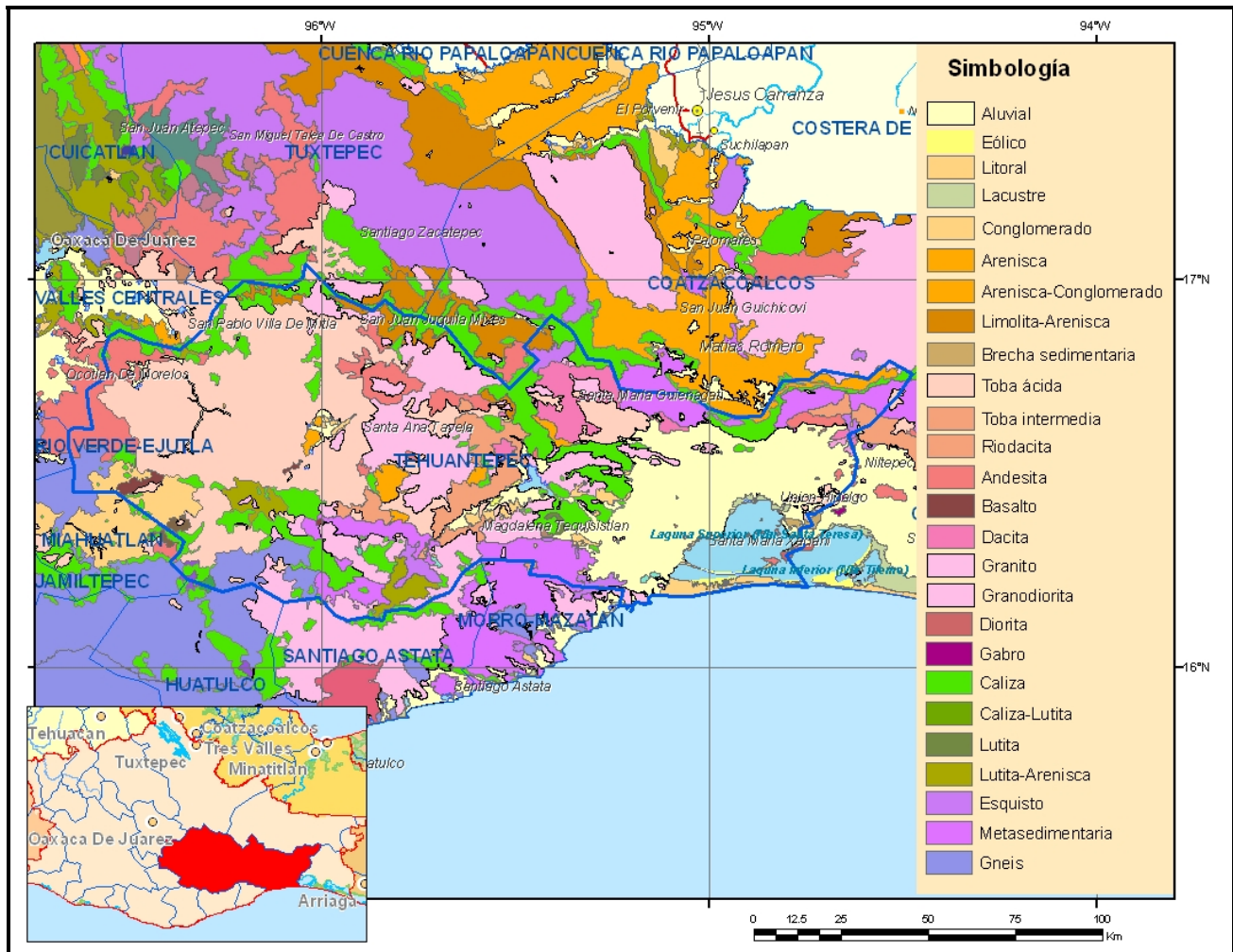


Figura No. 3. Mapa Geológico

4.1 Estratigrafía

Paleozoico

(Igi). Son rocas de origen ígneo intrusivo (granito) se encuentran distribuidas en la mayor parte del área y es más notoria en la parte suroeste de la ciudad de Tehuantepec, en el valle se hacen notar pequeños afloramientos ocasionalmente agrupados formando montículos.

(Gne). Correspondiente a esta misma edad, son rocas metamórficas representadas por gneises y esquistos cristalinos compactos, en las partes superficiales, se encuentran alteradas por el intemperismo y ocasionalmente fracturadas y afalladas, aflorando hacia la parte noroeste de la ciudad de Salina Cruz.

(Pch). Están incluidos en el Paleozoico, se trata de cuarcita Huilotepec, son rocas metamórficas compactas pertenecientes al Paleozoico, se encuentra distribuida en una pequeña porción, su localidad tipo aflora en el poblado de Huilotepec.

Jurásico

(Jaj). Formación 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.

Cretácico Inferior

(Ki). Representado por calizas y lutitas impermeables de color gris, estas rocas se encuentran distribuidas hacia la parte suroeste de la ciudad de Tehuantepec, se hace muy notoria su estratificación, y forman estructuras como anticlinales y sinclinales casi horizontales con afallamientos y fracturas.

Cretácico Medio

(Km). Son rocas denominadas calizas Sierra Madre caracterizada por estar parcialmente marmolizada equivalente a la edad de las calizas Teposcolula de la Mixteca, su distribución es muy notoria aparece casi en toda el área formando sierras alargadas, generalmente se encuentran masivas, y ocasionalmente se hace notar su estratificación.

Cretácico Superior

(Ks). Son rocas ígneas intrusivas de tipo granítico, éstas rocas se encuentran intrusionando a las rocas calizas, forman grandes cuerpos de forma alargada y afloran en la porción norte de Tehuantepec.

Terciario

(Ige). Son rocas ígneas extrusivas (andesitas y dacitas) se distribuyen dentro del valle formando pequeños montículos agrupados, y esporádicamente forman cuerpos irregulares hacia la parte norte del valle.

(Mi). Constituido de material tobáceo y cenizas volcánicas del Mioceno, se manifiestan hacia la parte norte de la región, no es muy predominante su afloramiento.

(Eeb). Se le asigna esta misma edad a los conglomerados, clastos calcáreos y volcánicos con cementante arcilloso calcáreo, se presentan hacia la parte oeste de Tehuantepec y en el vaso de la presa "Presidente Benito Juárez", este conglomerado es muy compacto y actúa como material impermeable.

(Tem). Pequeños cuerpos de caliza del Terciario que se encuentran al este y noreste de la Ventosa, aparentemente son dos bloques afallados, extremadamente porosas y con cavernas de disolución, por el aspecto que presentan parecen ser de origen lacustre.

Cuaternario

(Qdt). Depósitos de talud, generalmente descansan en los flancos de las sierras y montañas, consisten en fanolomerados, están en posición discordante con las unidades más antiguas.

(Qal). El aluvión se encuentra cubriendo a la mayor parte del área, su composición es de arcillas, arenas y gravas producto de la desintegración de las formaciones adyacentes y también de lugares lejanos, que han sido transportados por corrientes de ríos o arroyos; el espesor de este material es variable.

4.2 Geología Estructural.

La estructura actual del Istmo resulta de la superposición de tres episodios tectónicos distensivos distintos que se produjeron desde el Mioceno Superior (10 Ma.) El más antiguo tuvo lugar entre 10 y 8 Ma. Dejando por consecuencia una zona de ruptura mayor transístmica a lo largo de un sistema de fallas normales orientadas N-S. Este sistema de fallas es responsable del basculamiento hacia el NW del batolito de Chiapas y de la cadena plegada de la Sierra de Chiapas. Después de este período distensivo, dos episodios extensivos distintos se desarrollaron simultáneamente e independientemente, respectivamente en las regiones Norte y Sur del Istmo de Tehuantepec. Estos continúan activos. La extensión "multidireccional" puesta en evidencia por un estudio de las deformaciones de ruptura en el Norte del Istmo, se asocia a la evolución de la margen pasiva del Golfo de México, mientras que la extensión N-S a NNE-SSW, ligada con el desplome de la planicie costera de Tehuantepec al sur del Istmo, esta asociada al proceso de subducción de la zona de fracturas de Tehuantepec.

4.3 Geología del Subsuelo.

Los sondeos geoelectrónicos y cortes litológicos de los pozos construidos en el área, indican que el espesor de los sedimentos granulares es muy variable pero en general reducido con excepción de alguna pequeña zona en que su espesor pudiera resultar en pozos de caudales mayores a los que se han obtenido.

Los materiales de relleno forman el acuífero granular, siendo el de mayor permeabilidad en la zona y el principalmente explotado. Por lo que la disponibilidad de agua subterránea en la zona se reduce a la que es posible aprovechar en las zonas de inundación de los ríos y aquellas zonas en que el espesor de los rellenos proporcionarán cantidades significativas de agua.

Los espesores pueden oscilar entre los 15 y 60 m; dicho acuífero los constituyen arenas, limos y gravas. A lo largo de la línea costera, se presentan materiales arenosos, testigos de la erosión llevada a cabo por las olas, presentando además un paisaje de ambiente litoral a lo largo de la misma.

Otra fuente potencial de agua subterránea la constituye las formaciones calcáreas que afloran principalmente al norte del acuífero y que requieren la realización de actividades complementarias para conocer su extensión debajo de los materiales granulares del valle y que de acuerdo a los manantiales que afloran al norte de la zona puedan suministrar volúmenes considerables para incrementar el desarrollo.

5 Hidrogeología

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero está constituido por materiales aluviales de acarreo, como son arenas, limos y gravas, que rellenan la parte central del valle, por lo que se considera de tipo libre, los espesores pueden oscilar entre los 15 y 60 m. Este acuífero está limitado por rocas ígneas y metamórficas, siendo éstas las fronteras que funcionan como barreras laterales al flujo del agua subterránea.

La concentración de sólidos totales disueltos varía de 300 ppm en las estribaciones de la sierra, hasta 4,000 ppm en la porción sur de la margen derecha del Río Tehuantepec.

5.2 Parámetros hidráulicos

En el estudio realizado por la compañía ROASA, en 1979; se menciona que para conocer las características hidráulicas de los acuíferos representados por su transmisividad y coeficiente de almacenamiento, se realizaron pruebas de bombeo de corta duración en los aprovechamientos equipados y cuyos propietarios presentaron colaboración para llevarlas a cabo.

La mayoría de las pruebas se realizaron en norias y su interpretación se efectuó mediante el método propuesto por I. S. Papadopolus que consideran el almacenamiento en el pozo; sin embargo no presenta los resultados.

Para fines del cálculo de entradas y salidas subterráneas del acuífero, se consideró una conductividad hidráulica de **0.0005** m³/s, que es el valor representativo para el tipo de material que conforma al acuífero y de la profundidad del espesor saturado.

5.3 Piezometría

5.3.1 Profundidad al nivel del agua subterránea (2002).

Para octubre del 2002, fecha de medición de los aprovechamientos con los que se conformó la red definitiva en Tehuantepec, se observa que a lo largo de la costa en lo que es la Laguna Superior, se presentan los valores más bajos de 1 a 2 metros, incrementándose hasta los 10 metros en las estribaciones de las sierras que lo circundan de igual manera que para noviembre del 2000; una zona de comportamiento particular es la correspondiente a la planicie que se encuentra entre los ríos Tehuantepec y Los Perros, en donde las curvas de nuevo muestran una fuerte distorsión, conformando una especie de lengüeta marcada por la curva de valor de 1 metro que se introduce empujando al resto de las curvas de mayor valor hacia lo que es la población de Asunción Ixtaltepec, prevaleciendo en todo el valle la influencia de las corrientes superficiales, como se observa en la figura No. 4.



Figura No. 4. Profundidad al nivel del agua subterránea. Octubre del 2002

5.3.2 Elevación del nivel del agua subterránea (2002).

Las condiciones que rigen el flujo subterráneo se dan a partir de las estribaciones de las sierras que lo circundan, que este es un valle en el que inciden tres corrientes principales, observándose una influencia mayor de parte del río Los Perros que se encuentra en la parte media del valle que es en donde este es mas ancho. Es claro que el flujo subterráneo sigue sensiblemente la dirección de las corrientes superficiales principales y reconociendo en forma general hacia la Laguna Superior excepto en el extremo poniente en el sitio al que se extiende la Laguna Inferior, figura No. 5. El gradiente en la parte media es de 0.00237, dado por las curvas de 5 msnm cerca de la costa y la 70 msnm en donde el río Los Perros ingresa al valle; en el extremo oriente el gradiente es de 0.0015 entre lo que son las curvas de 5 msnm y la de 20 msnm y en el extremo poniente, el gradiente es de 0.00196 entre la curva de valor 5 msnm en la costa y la 40 msnm en donde el río Tehuantepec ingresa al valle.

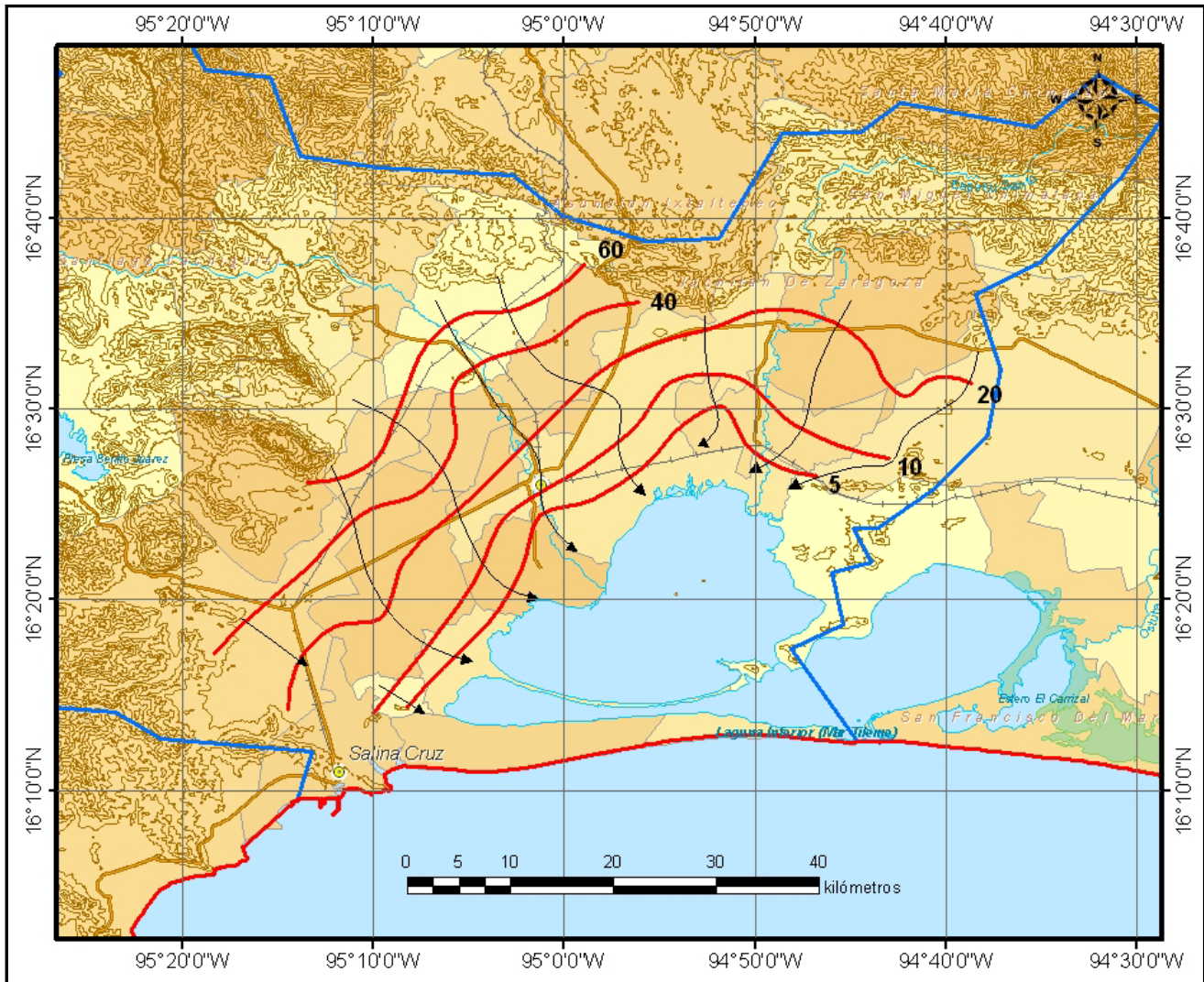
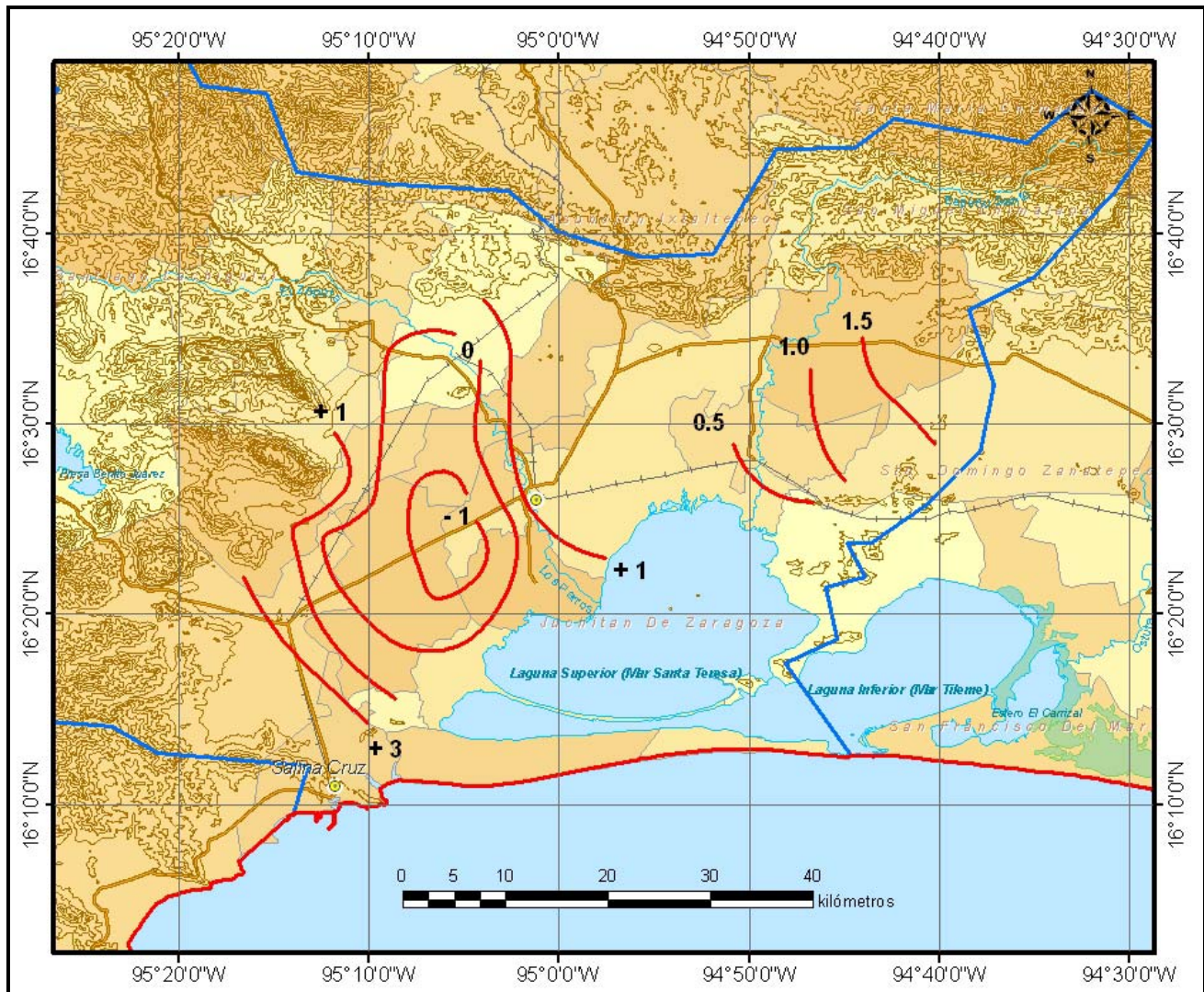


Figura No. 5. Elevación del nivel del agua subterránea. Octubre del 2002

5.3.3 Evolución de los niveles del agua subterránea (2000 -2002).

La configuración de la evolución del nivel estático corresponde a un periodo de 2 años (noviembre 2000 – octubre 2002), observándose un comportamiento distinto según la parte del valle que se considere, así en la parte central, en donde se encuentra el río Los Perros, hay una zona en donde resultan valores negativos de poco mas de 1 metro (-1.24), dando una curva cerrada, envuelta por la curva de valor cero cubriendo una amplia área, hacia el extremo poniente hasta antes del río Tehuantepec se tienen valores positivos de hasta tres metros. En el extremo oriente, entre lo que es el río Chicapa y el límite con el valle del Río Ostuta, se tienen valores negativos desde -0.55 metros cerca de la costa a -1.70 metros en la parte alta, figura No. 6.



**Figura No. 6. Evolución de los niveles del agua subterránea.
(noviembre 2000 – octubre 2002)**

6 Censo de aprovechamientos e hidrometría del bombeo.

Para el uso agrícola se destinan 50,642,347 m³ anuales, en el riego de 8,440.39 hectáreas; en el uso pecuario para un total de 463,523 animales, divididos en 99,194 cabezas de ganado bovino, 43,791 cabezas de ganado porcino y 320,538 aves, 728,831 m³ anuales; para el uso público urbano 121,496 m³ anuales; y para el tipo de uso varios entre los cuales se encuentra el doméstico, industrial y servicios un volumen de 1'280,971 m³ anuales. Dando un volumen total por bombeo de 52,773,644 m³ anuales.

En la tabla No. 2, se observan los datos del censo de aprovechamientos, por uso.

Uso	Dotación m ³ /año	Agrícola (has)	Pecuario (cabezas)	Público Urbano (habitantes)	Doméstico, Industrial, Servicios y Varios
Superficie de Riego	6,000.000	8,440.39			
Ganado Bovino	1.800		99,194		
Ganado Porcino	11.900		43,791		
Aves	0.091		320,538		
De 30,000 a 70,000 Habitantes en Clima Cálido	0.250			485,982	
Volumen Total (m³)	52,773,643.808	50,642,346.72	728,831	121,496	1,280,970.53

Tabla No. 2. Censo de aprovechamientos por uso.

7 Balance de aguas subterráneas

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \dots\dots\dots (1)$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y cambio de almacenamiento de un acuífero, representado como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en el acuífero} \dots\dots\dots(2)$$

Más específicamente par la región que nos ocupa, la ecuación queda como sigue:

$$[Eh + I_1 (\text{Volumen lluvia}) + I_2 (\text{Uso público urbano}) + I_3 (\text{Usos agrícola + otros})] - [Sh + Q_{\text{base}} + \text{Manantiales} + \text{Evapotranspiración} + \text{Extracción}] = \Delta V(s) \dots\dots\dots (3)$$

La ecuación de balance definida es:

$$Rv + Eh + Ri - ERT - B - Sh = \Delta V(S)$$

- Donde: Rv = Recarga natural vertical
 Eh = Entradas Subterráneas Horizontales
 Ri = Recarga Inducida
 ETR = Evapotranspiración real
 B = Bombeo
 Sh = Salidas subterráneas horizontales
 ΔV(S) = Cambio de almacenamiento

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga natural

La recarga natural por lluvia se dejó como incógnita en la ecuación de balance, que al despejarla el valor es de **40.5** hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

7.1.2 Flujo horizontal

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ella y a través de los piedemonte, para posteriormente llegar a recargar al acuífero.

Para su cálculo se utilizó la configuración de las curvas de igual elevación del nivel estático. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la Ley de Darcy para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos, En la tabla No. 3 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de **46.7** hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

$$Q = B * i * T$$

Donde: B: Ancho (m) del canal de flujo
 i: Gradiente hidráulico ($i = h_2 - h_1 / L$); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.
 T: Transmisividad (m²/s) en el canal de flujo

Núm. celda	Conductividad Hidráulica K (m/s)	Ancho de celda B (m)	Espesor saturado de celda b (m)	Sección Transversal A = B x b (m ²)	Diferencia de cargas h ₂ -h ₁ (m)	Espesor de celda L (m)	Gradiente Hidráulico i = (h ₂ -h ₁)/L	Caudal (Q=K(Bb) (h/b)	Tiempo (s)	Volumen (m ³ /año)
E1	0.0005	2,450.0	15	36,750.0	5	2,300.0	0.0022	0.0399	15,552,000	0.6
E2	0.0005	2,750.0	15	41,250.0	5	2,700.0	0.0019	0.0382	15,552,000	0.6
E3	0.0005	4,250.0	15	63,750.0	5	2,350.0	0.0021	0.0678	15,552,000	1.1
E4	0.0005	3,750.0	15	56,250.0	5	2,375.0	0.0021	0.0592	15,552,000	0.9
E5	0.0005	3,800.0	10	38,000.0	5	2,250.0	0.0022	0.0422	15,552,000	0.6
E6	0.0005	3,300.0	10	33,000.0	5	1,675.0	0.0030	0.0493	15,552,000	0.8
E7	0.0005	2,350.0	10	23,500.0	10	1,100.0	0.0091	0.1068	15,552,000	1.6
E8	0.0005	1,650.0	10	16,500.0	10	950.0	0.0105	0.0868	15,552,000	1.3
E9	0.0005	1,500.0	10	15,000.0	10	850.0	0.0118	0.0882	15,552,000	1.4
E10	0.0005	10,550.0	15	158,250.0	10	1,400.0	0.0071	0.5652	15,552,000	8.8
E11	0.0005	4,250.0	15	63,750.0	10	750.0	0.0133	0.4250	15,552,000	6.6
E12	0.0005	3,800.0	15	57,000.0	10	600.0	0.0167	0.4750	15,552,000	7.4
E13	0.0005	2,450.0	15	36,750.0	10	650.0	0.0154	0.2827	15,552,000	4.4
E14	0.0005	2,000.0	15	30,000.0	10	800.0	0.0125	0.1875	15,552,000	2.9
E15	0.0005	1,700.0	15	25,500.0	10	950.0	0.0105	0.1342	15,552,000	2.1
E16	0.0005	1,850.0	10	18,500.0	10	1,350.0	0.0074	0.0685	15,552,000	1.1
E17	0.0005	1,900.0	10	19,000.0	10	1,600.0	0.0063	0.0594	15,552,000	0.9
E18	0.0005	5,800.0	10	58,000.0	5	2,775.0	0.0018	0.0523	15,552,000	0.8
E19	0.0005	5,250.0	10	52,500.0	5	3,075.0	0.0016	0.0427	15,552,000	0.7
E20	0.0005	4,750.0	15	71,250.0	5	3,125.0	0.0016	0.0570	15,552,000	0.9
E21	0.0005	6,600.0	15	99,000.0	5	3,225.0	0.0016	0.0767	15,552,000	1.2

Tabla No 3. Entradas por flujo subterráneo.

7.1.3 Recarga inducida

Volumen de agua subterránea utilizada para riego 50.6 hm³/año, aplicando del 20 al 25 % de retorno, la recarga por retorno de riego es **12.2 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales), Tabla No. 4.

Tipo de aprovechamiento	No. Aprov.	Volumen (m3)	% de retorno	Volumen de retorno hm ³ /a
Unidades de Riego	44	9,533,794.00	20	1.9
Particulares	302	41,108,552.72	25	10.3
Total	346	50,642,346.72	45	12.2

Tabla No. 4. Retornos de riego

El cálculo del volumen de infiltración por fugas en la red de abastecimiento se observa en la tabla No. 5.

Volumen extraído diario (m ³)	Población servida (hab)	Dotación (m ³ /hab/día)	Aportación (m ³ /hab/día)
2,340.78	485,982	0.00	0.00
Residuo total (m ³ /día)	Residuo total (m ³ /año)	% de residuo para retorno	Volumen de retorno (hm ³ /año)
585.20	213,596.52	5.00	0.01

Tabla 5. Retornos por fugas en la red de abastecimiento.

7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración

La evapotranspiración tiene dos componentes: la evaporación directa del agua subterránea y la transpiración. La primera tiene lugar, donde aflora la superficie freática, así como en las áreas adyacentes a ésta, donde la misma superficie está poco profunda. En el subsuelo, el agua puede ascender, a partir del nivel freático, hasta una altura (“la altura capilar”) cuyo valor depende del tamaño de los poros o fisuras; en los materiales granulares esa altura es inversamente proporcional al tamaño de los granos, variando entre unos cuantos decímetros en las gravas hasta cerca de tres metros en los materiales limo-arcillosos. Este mecanismo de descarga se presenta en la zona donde los niveles freáticos están a profundidades menores a 10 metros, que se considera para fines prácticos el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración.

Fórmula:
Método de Turc

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

Temperatura = 24.2° C
 Precipitación = 901.5 mm

$$L = 300 + 25(T) + 0.05 (T^3) = 1,613.6$$

$$L^2 = 2603783.7$$

$$P^2 = 812702.25$$

$$ETR (mm) = 901.5 / \sqrt{0.9 + 812702.25 / 2603783.7}$$

$$ETR (mm) = 818.8$$

Lámina de Evapotranspiración = 818.8 mm

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 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 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



De la configuración de profundidad al NE mostrada en la figura No. 4, correspondiente a octubre de 2002, se consideran las curvas menores e iguales a 10 m, se calcula el área entre ellas y se toma el valor promedio. El resultado de multiplicar el valor promedio por el área entre las curvas, deberá ponderarse de acuerdo a la relación lineal mencionada anteriormente. Lo mismo se hace para cada área comprendida entre dos curvas de profundidad menor a 10 m. Al final se obtendrá la suma de los volúmenes evapotranspirados, como se observa en la tabla No. 6.

Nivel Freático	Superficie (km ²)	% Incidencia	Evapotranspiración
De 0.0 a 2.0	17	0.9	12.5
De 2.0 a 3.0	10	0.75	6.1
De 3.0 a 5.0	13	0.6	6.4

Tabla No. 6. Áreas donde ocurre Evapotranspiración

Total de volumen evapotranspirado = **25.0 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

7.2.2 Bombeo

La extracción de agua subterránea en el área del acuífero ha variado a través del tiempo y de acuerdo con la estimación más reciente, dicha extracción efectuada por bombeo es de **52.8 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales). destinados principalmente al uso agrícola.

7.2.3 Flujo subterráneo horizontal

Las salidas subterráneas que ocurren como descarga hacia el mar o a la Laguna, fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del nivel estático. El valor estimado es de **25.5 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales). tal como se muestra en la tabla No. 8.

Núm. celda	Conductividad Hidráulica K (m/s)	Ancho de celda B (m)	Espesor saturado de celda b (m)	Sección Transversal A = B x b (m ²)	Diferencia de cargas h ₂ -h ₁ (m)	Espesor de celda L (m)	Gradiente hidráulico i= (h ₂ -h ₁ /L)	Caudal Q = Kai	Tiempo (s)	Volumen (m ³ /año)
										25.5
S1	0.0005	3,500.0	15	52,500.0	5	3,000.0	0.0017	0.0438	31,536,000	1.4
S2	0.0005	2,400.0	15	36,000.0	5	2,850.0	0.0018	0.0316	31,536,000	1.0
S3	0.0005	2,700.0	15	40,500.0	5	3,000.0	0.0017	0.0338	31,536,000	1.1
S4	0.0005	3,100.0	15	46,500.0	5	3,200.0	0.0016	0.0363	31,536,000	1.1
S5	0.0005	2,600.0	15	39,000.0	5	2,850.0	0.0018	0.0342	31,536,000	1.1
S6	0.0005	2,550.0	15	38,250.0	5	2,350.0	0.0021	0.0407	31,536,000	1.3
S7	0.0005	2,250.0	15	33,750.0	5	2,050.0	0.0024	0.0412	31,536,000	1.3
S8	0.0005	1,950.0	20	39,000.0	5	1,900.0	0.0026	0.0513	31,536,000	1.6
S9	0.0005	2,200.0	20	44,000.0	5	1,900.0	0.0026	0.0579	31,536,000	1.8
S10	0.0005	1,800.0	20	36,000.0	5	2,100.0	0.0024	0.0429	31,536,000	1.3
S11	0.0005	2,500.0	20	50,000.0	5	2,900.0	0.0017	0.0431	31,536,000	1.4
S12	0.0005	3,100.0	15	46,500.0	5	2,550.0	0.0020	0.0456	31,536,000	1.4
S13	0.0005	2,050.0	15	30,750.0	5	2,250.0	0.0022	0.0342	31,536,000	1.1
S14	0.0005	2,500.0	15	37,500.0	5	2,400.0	0.0021	0.0391	31,536,000	1.2
S15	0.0005	4,100.0	15	61,500.0	5	3,150.0	0.0016	0.0488	31,536,000	1.5
S16	0.0005	3,900.0	20	78,000.0	5	3,850.0	0.0013	0.0506	31,536,000	1.6
S17	0.0005	4,200.0	20	84,000.0	5	3,950.0	0.0013	0.0532	31,536,000	1.7
S18	0.0005	4,000.0	15	60,000.0	5	4,000.0	0.0013	0.0375	31,536,000	1.3
S19	0.0005	7,350.0	15	110,250.0	5	6,400.0	0.0008	0.0431	31,536,000	1.3

Tabla 8. Salidas subterráneas

7.3 Cambio de almacenamiento

Para la determinación de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero en un intervalo de tiempo de 2 años, que comprende de 2000 a 2002. Con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático (figura No. 6), y considerando un coeficiente de almacenamiento $S = 0.003$, se determinó la variación del almacenamiento con la siguiente expresión:

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

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 (abatimiento o recuperación)

La tabla No. 9, muestra los cálculos del cambio de almacenamiento en el acuífero y el valor de 3.9 Mm³ anuales que ganó el acuífero.

Celda	h_2-h_1 (m)	Superficie (m)	S	Volumen (hm ³)
Σ Total				3.9
1	-0.5	291,000,000	0.003	-0.4
2	0.5	1,168,000,000	0.003	1.8
3	2	427,000,000	0.003	2.5

Tabla 9. Cálculo del cambio de almacenamiento

Solución de la ecuación de balance

De la ecuación (2), tenemos

$$Rv = Sh + ETR + B - \square \Delta V(S) - Eh - Ir - If \quad (2)$$

$$Rv = 25.5 + 25.0 + 52.8 - 3.9 - 46.7 - 12.2 - 0.01$$

$$Rv = 40.5 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

En la Tabla No. 10 se presenta un resumen de los valores de entradas y salidas, así como del cambio de almacenamiento, del balance de aguas subterráneas del acuífero Tehuantepec, estado de Oaxaca.

Tabla 10. Balance de aguas subterráneas

(Mm³ anuales)

Entradas		Salidas	
Concepto	Cantidad	Concepto	Cantidad
Recarga Vertical estimada por diferencia	40.5	Cuerpos de Agua Superficial	0.00
Flujo Subterráneo	46.7	Flujo Subterráneo	25.5
Infiltración por Riego	12.2	Evapotranspiración	25.0
Retornos por Fugas	0.01	Bombeo	52.8
Cambio de almacenamiento (+)	3.9		
TOTAL	103.3	TOTAL	103.3

8 Disponibilidad

8.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual en el acuífero Tehuantepec es de **103.3 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

8.2 Descarga natural comprometida

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales, o del caudal base de los ríos provenientes del acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser preservadas para no afectar a los acuíferos adyacentes que reciben esta recarga. Para el caso de este acuífero se consideran como descargas naturales comprometidas, las salidas horizontales para evitar la intrusión salina (25.5 hm³/anuales) y un 70 % de la evapotranspiración (17.5 hm³/anuales), para mantener la vegetación nativa. Por lo tanto la descarga natural comprometida es de **43.0 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

8.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

De acuerdo a la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero, al 31 de mayo de 2005, es de 40'082,641 m³/año.

8.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de agua subterránea de acuerdo a la NOM 011 CNA 2000, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, es la siguiente:

Disponibilidad = Rt - DNC – Volumen Concesionado

Disponibilidad = $103.3 - 43.0 - 40.659112$ (valor al 31 de mayo del 2005)

Disponibilidad = $20.217359 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales).

La cifra indica que existe un volumen disponible de **19'640,888** m³/año para nuevas concesiones, en el acuífero denominado Tehuantepec, estado de Oaxaca.

9. Bibliografía

ROASA. Estudio Geohidrológico Preliminar de la zona de Tehuantepec, Oax. 1979. Para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Programas de Infraestructura Hidráulica. Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas.

GEOELEC, S.A. de C. V. Exploración Geofísica en el Distrito de Riego del Istmo de Tehuantepec. Noviembre de 1990, para la Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Administración del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Exploración Geohidrológica.

COPEI Ingeniería. Estudio de actualización de mediciones piezométricas en los acuíferos de Tehuantepec, Río Ostuta, Nochixtlán y Huatulco del estado de Oaxaca y Cuajinicuilapa del estado de Guerrero. 2002, para la Comisión Nacional del Agua. Gerencia Regional Pacífico Sur. Subgerencia Técnica, bajo contrato No. SGT-GRPS-OAX-02-047-CE-I3.