

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Álamo-Tuxpan (3014),
Estado de Veracruz***

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.**

DCVIII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "GOLFO CENTRO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE VERACRUZ							
3014	ÁLAMO-TUXPAN	154.6	73.7	21.886208	17.9	59.013792	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.



Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN
EL ACUÍFERO ÁLAMO-TUXPAN (3014), ESTADO DE
VERACRUZ***

México, D.F., Enero de 2010

CONTENIDO

1.	GENERALIDADES	1
	Antecedentes.....	1
1.1.	Localización	1
1.2.	Situación administrativa del acuífero	4
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3.	FISIOGRAFÍA	5
3.1.	Provincia fisiográfica	5
3.2.	Clima.....	6
3.3.	Hidrografía	7
3.4.	Geomorfología	8
4.	GEOLOGÍA	8
4.1.	Estratigrafía.....	10
4.2.	Geología estructural	11
4.3.	Geología del subsuelo	12
5.	HIDROGEOLOGÍA	13
5.1.	Tipo de acuífero	13
5.2.	Parámetros hidráulicos	13
5.3.	Piezometría.....	14
5.4.	Comportamiento hidráulico.....	14
5.4.1.	Profundidad al nivel estático.....	14
5.4.2.	Elevación del nivel estático.....	15
5.4.3.	Evolución del nivel estático.....	15
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	16
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	16
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
7.1.	Entradas.....	17
7.1.1.	Recarga vertical (Rv)	18
7.1.2.	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	18
7.2.	Salidas	19
7.2.1.	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	20
7.2.2.	Bombeo (B).....	20
7.2.3.	Evapotranspiración (ETR)	20
7.2.4.	Descarga a través de manantiales (Dm)	21
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	21
8.	DISPONIBILIDAD	22
8.1.	Recarga total media anual (Rt).....	23
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM)	23
8.3.	Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)	23
8.4.	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS)	23
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	24

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-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa).

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 Álamo-Tuxpan, definido con la clave 3014 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se ubica en la porción norte del estado de Veracruz, entre los paralelos 20° 23' y 21°16' de latitud norte y los meridianos 97°12' y 98°32' de longitud oeste, abarcando una superficie de 6,340 km². Hacia su extremo suroccidental abarca parte de los estados de Puebla e Hidalgo.

Limita al norte y oeste con el acuífero Tampico-Misantla, del estado de Veracruz; al este con el Golfo de México, al sur con los acuíferos Poza Rica, del estado de Veracruz y Puebla, Acaxochitlán, estados Hidalgo y Puebla, y Valle de Tulancingo, estado de Hidalgo; al suroeste con el acuífero Mezquitlán, que comprende parte de los estados de Hidalgo y Veracruz (figura 1).

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 3014 ALAMO-TUXPAN							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	97	12	50.8	20	47	20.3	
2	97	14	1.5	20	46	36.3	
3	97	22	11.4	20	44	33.3	
4	97	35	52.4	20	44	11.0	
5	97	40	2.1	20	40	39.4	
6	97	48	13.3	20	37	53.1	
7	97	45	34.0	20	32	28.7	
8	97	56	53.3	20	24	10.1	
9	98	1	3.6	20	21	2.2	
10	98	4	2.7	20	20	46.0	
11	98	8	3.0	20	17	7.8	
12	98	10	27.0	20	17	27.4	
13	98	12	15.6	20	17	7.2	
14	98	15	23.3	20	17	25.9	
15	98	17	23.1	20	17	25.1	
16	98	18	35.2	20	19	12.0	
17	98	20	10.6	20	23	20.5	
18	98	24	42.8	20	22	25.8	
19	98	27	46.0	20	24	25.4	
20	98	28	13.5	20	26	15.0	
21	98	31	22.6	20	28	57.0	
22	98	30	11.9	20	29	44.2	
23	98	30	54.6	20	30	4.0	
24	98	30	4.8	20	32	16.6	
25	98	25	59.4	20	36	5.0	
26	98	21	55.2	20	38	30.3	
27	98	18	0.6	20	41	16.1	
28	98	11	31.0	20	43	45.0	
29	98	6	50.9	20	51	25.6	
30	98	1	49.3	20	54	26.0	
31	98	2	56.4	21	5	52.2	
32	97	57	19.9	21	10	22.2	
33	97	54	19.5	21	12	1.8	
34	97	53	55.2	21	14	11.1	
35	97	51	56.7	21	15	23.9	
36	97	46	22.8	21	13	38.4	
37	97	43	21.8	21	9	7.5	
38	97	42	3.0	21	6	37.7	
39	97	39	55.6	21	6	24.7	
40	97	36	35.9	21	3	18.5	
41	97	33	31.1	21	2	42.2	
42	97	28	7.8	21	6	34.2	
43	97	21	45.9	21	5	30.7	DEL 43 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	97	12	50.8	20	47	20.3	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Álamo-Tuxpan pertenece al Organismo de Cuenca “Golfo Centro”. En el territorio completo del acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua para 2011, los municipios de Zacualpan, Huayacocotla, Tlachichilco, Texcatepec, Zontecomatlán de López y Fuentes, Benito Juárez, Ixhuatlán de Madero, Chicontepec, Tepetzintla, Cerro Azul, Tancoco, Chontla, Tihuatlán y Castillo de Teayo, se clasifican como zona de disponibilidad 9 y los municipios de Agua Blanca de Iturbide, Honey, Tenango de Doria, Pahuatlán, San Bartolo Tutotepec, Tlaxco, Tlacuilotepec, Huhuetla, Jalpan, Venustiano Carranza, Pantepec, Francisco Z. Mena, Temapache, Cazonas, Tuxpan y Temapache se clasifican como zona de disponibilidad 8.

El usuario principal del agua es el sector público-urbano, para dotación de agua potable a los centros de población. En el acuífero no existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero Álamo-Tuxpan se han realizado algunos estudios hidrogeológicos de evaluación y otros en acuíferos vecinos para determinar su recarga media anual, entre los más importantes se mencionan los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN DIVERSAS LOCALIDADES DEL ESTADO DE VERACRUZ. TLACOLULA, CHICONTEPEC, VERACRUZ. Elaborado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A., para la Dirección General de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, del Gobierno del estado Veracruz, en 1982. Entre sus objetivos principales están el de definir las condiciones geohidrológicas del área para proponer los aprovechamientos más adecuados, determinar la calidad del agua por medio de análisis fisicoquímicos y proponer los lugares más adecuados para realizar perforaciones de pozos o captaciones de agua superficial.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN LOS ACUÍFEROS CUICATLÁN, COATZACOALCOS, EN EL ESTADO DE OAXACA; JALAPA-COATEPEC, TECOLUTLA Y ÁLAMO-TUXPAN, EN EL ESTADO DE VERACRUZ. Elaborado por la empresa Consultoría BETSCO, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 2010. El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el análisis de la evolución de los niveles del agua; obtener información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua

subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

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

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de Provincias Fisiográficas del INEGI (1977), la porción oeste del acuífero se ubica en la Provincia Fisiográfica V Sierra Madre Oriental, esta provincia corre en sentido paralelo a la Costa del Golfo de México desde la frontera norte del país hasta sus límites con el Eje Neovolcánico, es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados. Estos estratos son de antiguas rocas sedimentarias marinas (del Cretácico y del Jurásico Superior), entre las que predominan las calizas y, en segundo término, las areniscas y las lutitas.

En estas sierras el plegamiento se manifiesta de múltiples maneras, pero su forma más notable es la que produce una topografía de fuertes ondulados paralelos, el ondulamiento de las rocas en las crestas, las estira y las fractura, haciéndolas más susceptibles a los procesos erosivos. Es por ello que en su estado actual de desarrollo son comunes en esta gran sierra las estructuras constituidas por dos flancos residuales de un anticlinal con un valle al centro. Los rumbos de los plegamientos siguen la orientación de la sierra (paralelos a la costa).

En general, las altitudes en las cumbres de la Sierra Madre Oriental van de los 2000 a 3 000 msnm. La cordillera presenta una imponente escarpa sobre la Llanura Costera del Golfo Norte, pero su transición hacia la Mesa Central y la provincia del Eje Neovolcánico es menos abrupta debido, en parte, a la altitud media de las mismas y a rellenos de materiales aluviales y volcánicos. Dado el predominio de calizas en la provincia, se han producido, particularmente en la porción media y sur de la misma, considerables manifestaciones de Carso, esto es, de geoformas resultantes de la disolución de la roca por el agua. La intensa infiltración de agua al subsuelo ha formado extensísimos sistemas cavernarios y también ha generado copiosos manantiales.

La porción oriental del acuífero se ubica en la Provincia Fisiográfica VIII Llanura Costera del Golfo Norte, esta provincia se extiende por la costa del Golfo desde el río Bravo -en el tramo que va de Reynosa, Tams., a su desembocadura- hasta la zona de Nautla, Ver.

Entre los materiales aflorantes dominan los sedimentos marinos no consolidados (arcillas, arenas y conglomerados), cuya edad aumenta conforme su distancia respecto de la costa. Los ríos que desembocan en sus costas son el Bravo, Soto La Marina, Tamesí, Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla y otros.

De acuerdo con la regionalización fisiográfica del INEGI, la porción norte del acuífero ubica en la subprovincias Llanuras y Lomeríos, en ella se encuentra gran parte de la cuenca baja del Pánuco en la que dominan llanuras aluviales y salinas, inundables y con lagunas permanentes. Hay también algunas llanuras no inundables asociadas con lomeríos.

La porción sur se localiza en la Subprovincia del Carso Huasteco, es una zona de sierras plegadas constituidas predominantemente por rocas calizas. Presenta un fuerte grado de disección, inclusive desarrollo de cañones, así como la expresión de rasgos propios de un karst.

Hacia las porciones altas se caracteriza por Sierras escarpadas, entre los 1,000 y 2,000 msnm, constituidas por las lutitas, areniscas y calizas del Jurásico. En las porciones medias (200 a 1000 msnm) se tienen sierras y mesetas; y hacia las porciones menos elevadas aparecen los valles con llanuras y laderas donde se tienen principalmente lutitas, areniscas y lutitas-areniscas del Paleógeno-Neógeno y en las márgenes del río Tuxpan se encuentran amplios depósitos del Cuaternario, constituidas por material bien clasificado proveniente de la disgregación y subsecuente acarreo de los materiales antes descritos.

Finalmente hacia las partes bajas (menores a 200 msnm), predominan las llanuras y lomeríos de la Llanura Costera del Golfo, con extensos depósitos de material aluvial del Cuaternario con patrones meándricos que sobreyacen a las lutitas y areniscas del Oligoceno y Mioceno, aflorando al norte y al sur de la zona. Los principales ríos de la región tienen un patrón de escurrimiento de tipo dendrítico o ramificado, y en la planicie los ríos tienden a formar meandros, esteros o lagunas.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García, para las condiciones de la República Mexicana, el clima de la región, de acuerdo a la elevación topográfica de la zona presenta siete variantes orientadas en sentido este oeste. En las partes topográficamente cercanas a la costa el clima es de tipo Aw1(x') y Aw2(x'), cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. La precipitación del mes más seco de 0 a 60 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. En la zona central es de tipo Am(f), cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.

Por ultimo en las sierras predominan los siguientes climas: (A)C(m)(f) semicálido húmedo, 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. La precipitación anual es mayor de 500 mm y precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. C(f) templado, húmedo, 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 bajo 22° C. La precipitación en el mes más seco mayor de 40 mm; lluvias todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual. C(m) Templado, húmedo, 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 bajo 22° C. La precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Cb'(m) semifrío, húmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5° C y 12° C, temperatura del mes más frío entre -3° C y 18° C; temperatura del mes más caliente bajo 22° C. La precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información tomaron datos del Sistema Meteorológico Nacional, Comisión Federal de Electricidad y Comisión Nacional del Agua. Contando con un total de 3,037 estaciones climatológicas. Los valores de lluvia y temperatura media anual se obtienen con base en los polígonos de Thiessen calculados para las cuencas hidrográficas e intersección del acuífero.

De acuerdo con estos registros, la temperatura media anual es de **23.8° C**. La precipitación media anual aunque varía de la planicie a las partes topográficamente altas es de **1458.5 mm**. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1,117.6 mm anuales**.

3.3. Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica 27 Tuxpan-Nautla, se localiza en la parte central del Golfo de México, ocupa la porción noreste del territorio veracruzano y está integrada por las cuencas de los ríos Nautla, Tecolutla, Cazones y Tuxpan. Los ríos señalados desembocan en el Golfo de México y tienen su origen en mayor número fuera de la entidad.

El acuífero de Álamo-Tuxpan cubre la mayor parte de la cuenca del Río Tuxpan, por lo que va desde el inicio del río hasta su desembocadura al mar. Esta corriente nace en el estado de Hidalgo con el nombre de río Pantepec a una elevación de 2,750 msnm a 8 km al oeste de Tenango de Doria, en el parteaguas con la cuenca del río Metztlán. Desemboca en el Golfo de México en el sitio denominado Barra de Tuxpan, en donde se forma por su margen derecha, el estero de Jácome.

3.4. Geomorfología

El área del acuífero se extiende en los estados de Veracruz, Hidalgo y Puebla, con elevaciones de entre 0 y 2,000 msnm. Al Occidente se localiza la Sierra Madre Oriental, constituida por numerosas montañas que alcanzan elevaciones de consideración y constituyen los sitios en donde ocurren las mayores precipitaciones, en consecuencia en ellas se generan los escurrimientos que fluyen hacia la planicie dando lugar a corrientes generalmente de régimen torrencial, con gastos de consideración aún en el estiaje, que labran su curso por valles y lomeríos paralelos a las corrientes principales.

Al oriente se extiende la planicie costera formando un litoral cóncavo y sinuoso, aparecen conos, sierras o cadenas aisladas de poca importancia topográfica, las que excepcionalmente llegan a 200 m de altitud; la actividad tectónica ha tenido gran importancia ya que ha originado las estructuras en que se alojan los yacimientos petrolíferos.

La planicie se extiende al suroeste y casi toda ellas es plana con suave inclinación; es la región donde se encuentran las zonas de riego actuales y potenciales por ser áreas de alto valor agropecuario y está cubierto por depósitos aluviales de poco espesor.

El litoral del Golfo en general es una playa baja arenosa, que solo excepcionalmente presenta afloramientos rocosos, es dominante la tendencia a que la costa siga una línea continua con numerosos esteros, barras y cordones litorales.

4. GEOLOGÍA

La región se encuentra ubicada en la porción norte-centro de la paleocuenca sedimentaria Tampico-Misantla, observándose en la superficie unidades de origen marino e ígneo de tipo extrusivo, cuyas edades van entre el Oligoceno y Mioceno. A nivel regional, el accidente más notable lo integra la estructura de origen ígneo de tipo extrusivo formada por la sierra de Tantima que constituye un fenómeno aislado dentro del marco sedimentario de la cuenca.

Las porciones superficiales en el área se encuentran constituidas por un depósito de origen marino que corresponde a una unidad arcillosa, compacta e impermeable estratificada en capas delgadas e interestratificadas con lentes o pequeños estratos de arenisca. Por la posición que guardan en la superficie fueron sometidas a efectos de plegamiento moderado y no presentan rasgos de fracturamiento. Tal depósito forma el marco litológico que predomina en la superficie y la expresión topográfica se traduce en estructuras con forma de lomeríos y montículos de escasa elevación. Los depósitos de origen ígneo se encuentran constituyendo el alto estructural denominado sierra de Tantima e integrados básicamente por emisiones del tipo basáltico, masivo e intensamente fracturado, presentando permeabilidad secundaria por tal característica (figura 2).

4.1. Estratigrafía

La secuencia estratigráfica que aflora en esta región está constituida por sedimentos cuya edad varía del Jurásico Inferior al Reciente. A continuación se describen las distintas unidades litológicas de la más antigua a la más reciente:

Formación Huayacocotla (JiLu-Ar)

Es la unidad más antigua que aflora, consiste de areniscas de color gris verdoso dispuestas en estratos de 20 a 60 cm, plegados y estirados formando "boudines", intercaladas con un conglomerado de color verde oscuro conformado por fragmentos de cuarzo y rocas metamórficas, así como con lutitas carbonosas de color gris oscuro. Subyace en forma transicional a la Formación Cahuasas, en tanto que su contacto inferior no se observa.

Formación Cahuasas (JbjbAr-Lm)

Está constituida por limolitas de color rojo, areniscas y conglomerados, dispuestas en estratos de espesor de 20 a 90 cm, y cubiertas en forma transicional por un paquete representado por las formaciones Santiago, Tamán y Pimienta (JoKbeCz-Lu). Estas formaciones están agrupadas en una misma unidad debido a que sus litologías son muy similares y por la dificultad para ser cartografiadas. Están compuestas por calizas arcillosas en capas de 10 a 40 cm alternando con lutitas calcáreas. Presentan clivaje y pliegues sinsedimentarios, con presencia frecuente de amonitas, radiolarios y bioclastos indeterminados.

Formación Tamaulipas Indiferenciada (KbeceCz-Lu)

Las formaciones Santiago, Tamán y Pimienta (JoKbeCz-Lu) subyacen discordantemente a la Formación Tamaulipas Indiferenciada. Al igual que la unidad anterior, se agruparon con este nombre a las formaciones Tamaulipas Inferior y Superior definiéndolas como Formación Tamaulipas Indiferenciada (KbeceCz-Lu). Consiste de calizas plegadas con líneas estilolíticas paralelas a la estratificación y fractura concoidea. Sus estratos varían en espesor de 0.20 a 1.0 m y subyace en forma concordante y transicional a la Formación San Felipe y Agua Nueva (KcessCz-Lu).

Formaciones San Felipe-Agua Nueva (KcessCz-Lu)

Debido a la pequeña área de exposición, similitud litológica y correlación geológica, se agruparon estas formaciones en una misma unidad. Consisten de calizas arcillosas con abundancia de microfósiles, que se encuentran interestratificadas con lutitas y horizontes de bentonita. El espesor de sus estratos varía de 5 a 40 cm y subyace concordantemente a la Formación Méndez.

Formación Méndez (KcmLu-Mg)

Está formada por lutitas y margas que presentan fracturamiento concoide, clivaje en forma de lápiz y grado de deformación moderado. Se observan intercalaciones delgadas de capas de arenisca de 5 a

10 cm de espesor. Tiene un espesor estimado de 100 m y subyace de manera concordante y transicional a sedimentos terciarios de la Formación Chicontepec.

Formación Chicontepec (TpaeAr-Lu)

Las unidades sedimentarias subsecuentes a la Formación Chicontepec representadas por las formaciones Guayabal (TeLu-Ar), Chapopote-Tantoyuca (TeMg-Lu), Palma Real (ToAr-Lu), Mesón (ToAr-Lm), Escolín (TmCgp-Ar) y Tuxpan (TmAr-Cgp) contienen litologías muy semejantes que consisten en areniscas, lutitas y limolitas; por su medio ambiente de depósito sus contactos son discordantes.

Cuerpos Volcánicos

El vulcanismo está representado por espesos derrames de basalto del Mioceno (TmB-BvB) y Pleistoceno (TplQptB) cuyos afloramientos varían en su extensión de 10 km (al sur de Martínez de La Torre) hasta 55 kilómetros al norte de Villa Ávila Camacho, así como por tobas de composición riolítica a dacítica (TplQptTR-Da) que cubren de manera discordante a todo el paquete sedimentario, principalmente al sur del acuífero.

Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios se ubican en la costa, como resultado del desarrollo fluvial-deltaico de los ríos Tuxtla, Cazones, Tecolutla y Bobos y algunos otros menos importantes como Tenistepec, Negro y Misantla. También existen depósitos eólicos y lagunares.

4.2. Geología estructural

Los lineamientos con orientación NW-SE son los más importantes, tienen una longitud aproximada de 800 km, desde Tamaulipas hasta Veracruz en donde se manifiestan varios cuerpos de rocas intrusivas y extrusivas de composición alcalina a calcoalcalina. Estos lineamientos limitan a la Sierra Madre Oriental con la Cuenca Tampico-Misantla y algunas fosas internas rellenas por material reciente.

Otros lineamientos con rumbo NE-SW, se encuentran representados en los arroyos y ríos en el extremo suroeste de la región, hacia el extremo noroeste y la Planicie Costera del Golfo, perdiéndose bajo la cubierta sedimentaria reciente, se asocia a estos lineamientos un vulcanismo fisural representado por derrames de basalto, destacándose éste rasgo por el río Cazones.

Entre Poza Rica y Álamo se observa una estructura semicircular, abierta en el extremo oriental delimitada por fallas que controlan la traza de los ríos Tuxpan, Pantepec y Cazones. Es posible que ésta estructura se asocie a la erosión diferencial de las rocas arcillo-calcáreas del Paleógeno-Neógeno.

Hacia el oriente se presentan pliegues suaves en las rocas sedimentarias del Paleógeno-Neógeno. Estas estructuras se orientan en su mayoría al noroeste y en menor proporción al noreste. Se conforman anticlinales y sinclinales con flancos de pendientes muy suaves, tendiendo a desaparecer al oriente.

En la zona poniente se tiene la presencia del frente de la Sierra Madre Oriental, donde se manifiestan con mayor intensidad la deformación, evidenciando anticlinales y sinclinales normales asimétricos y fallas normales con componente de movimiento lateral, orientadas en su mayoría al noroeste y en menor proporción al noreste.

4.3. Geología del subsuelo

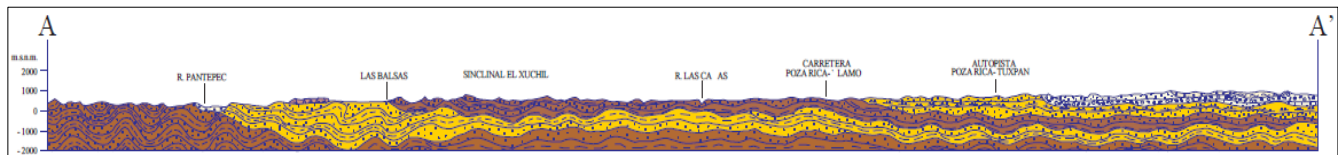
En base a las observaciones litológicas se evidencia que la sedimentación de la cuenca se efectuó en dos episodios que resultaron en la acumulación de una facie flysch, seguida por una facie molasa. Los sedimentos de tipo flysch se acumularon al oeste de la cuenca, como consecuencia de las primeras pulsaciones de la orogenia que, posteriormente dio lugar a la Sierra Madre Oriental. Durante este episodio se depositaron la Formación Velasco y la Formación Chicontepec. Contrastando con los sedimentos anteriores, se presentan en sucesión vertical los sedimentos conglomeráticos y arcillo-arenosos de las formaciones más jóvenes, que muestran una granulometría más fina hacia arriba y son el resultado del acarreo post-orogénico de terrígenos. Su distribución espacial es sensiblemente paralela a la facies de depósito de tipo flysch y constituyen una facies molasa en la cuenca.

La Planicie Costera se encuentra cubierta por una cuña de rocas sedimentarias consolidadas y no consolidadas del Cenozoico. Estos sedimentos descansan sobre las rocas del Mesozoico y tienen un espesor que varía de pocos metros, cerca de sus límites hacia tierra, a más de 6,000 m en la zona costera.

De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos fluviales de granulometría variada que constituyen el lecho y la llanura de inundación de ríos Tuxpan y otros arroyos tributarios, así como areniscas y conglomerados. Los depósitos granulares y conglomeráticos tienen varios cientos de metros de espesor y fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas que se produjeron durante la revolución Laramídica. Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la región. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas, entre las que destacan intercalaciones de calizas, lutitas areniscas y basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas y areniscas constituyen horizontes acuíferos que pueden presentar condiciones de confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas. Este es un acuífero que aún no ha sido explorado.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas sedimentarias marinas y volcánicas al desaparecer el fracturamiento y por las secuencias de depósitos terrígenos finos que conforman las lutitas y limolitas. A mayor profundidad se considera que el basamento geohidrológico regional está constituido por la secuencia de limolitas y areniscas que conforman la Formación Cahuasas.

La figura 3 muestra una sección que atraviesa el acuífero de forma longitudinal en una dirección N66°E, la principal zona acuífera se encuentra en los materiales granulares que se ubican a lo largo de las planicies de inundación del cauce principal cuya corriente es el Río Tuxpan.



Fuente: Carta Geológica-Minera F14-12 "Poza Rica" Esc. 1:250 000 (SGM, 2004)

Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas, permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisotrópico, tanto en sentido horizontal como vertical, constituido por sedimentos aluviales, fluviales y eólicos depositados tanto en los subálveos de las corrientes fluviales como en la planicie costera. La granulometría de estos materiales varía de gravas a arcillas, conformando un acuífero de reducidas dimensiones y poca capacidad de almacenamiento. Se puede apreciar en su porción superior sedimentos aluviales y conglomerados cuaternarios, que presentan granulometría y permeabilidad variable. En su porción inferior el acuífero se aloja en rocas volcánicas, areniscas y lutitas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se ejecutaron 15 pruebas de bombeo de corta duración tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se establece que los valores de transmisividad varían de 2.7×10^{-7} a 3.80×10^{-2} m/s, con un valor promedio de 7.6×10^{-3} m/s.

Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no se pudieron obtener valores del coeficiente de almacenamiento.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada de las actividades del estudio realizado en 2010.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

De acuerdo a la configuración de profundidad al nivel estático para el 2010, mostrada en la figura 4, se observa que los valores varían desde algunos metros, a lo largo del río Tuxpan y en la planicie costera, hasta los 6 m, aumentando gradualmente de la zona costera hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero, conforme se asciende topográficamente. Los valores más someros se ubican en la parte baja y alrededores del río Tuxpan; en tanto que los más profundos se registran en los alrededores del río Vinazco y las localidades de La Defensa, La Reforma y El Tzocohuite.

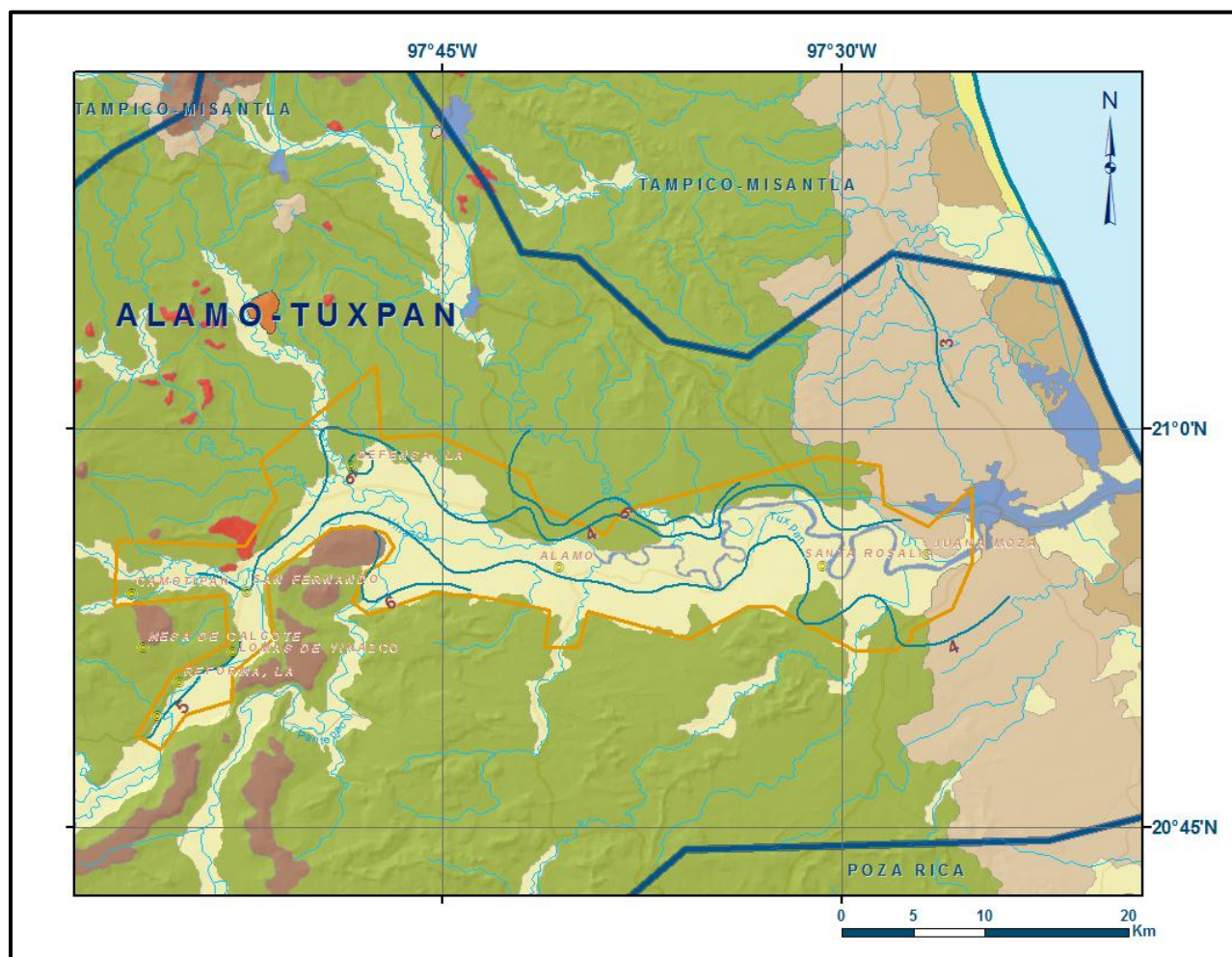


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 2010

5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5, se observa que los valores varían entre 1 y 90 msnm, mostrando el reflejo de la topografía, al igual que los valores de profundidad, lo que indica que el flujo subterráneo no ha sufrido alteraciones causadas por la concentración de pozos o del bombeo. Los valores más bajos se localizan en la porción costera, desde donde se incrementan gradualmente por efecto de la topografía hacia la porción occidental, mostrando de esta manera una dirección preferencial del flujo subterráneo de occidente al oriente.

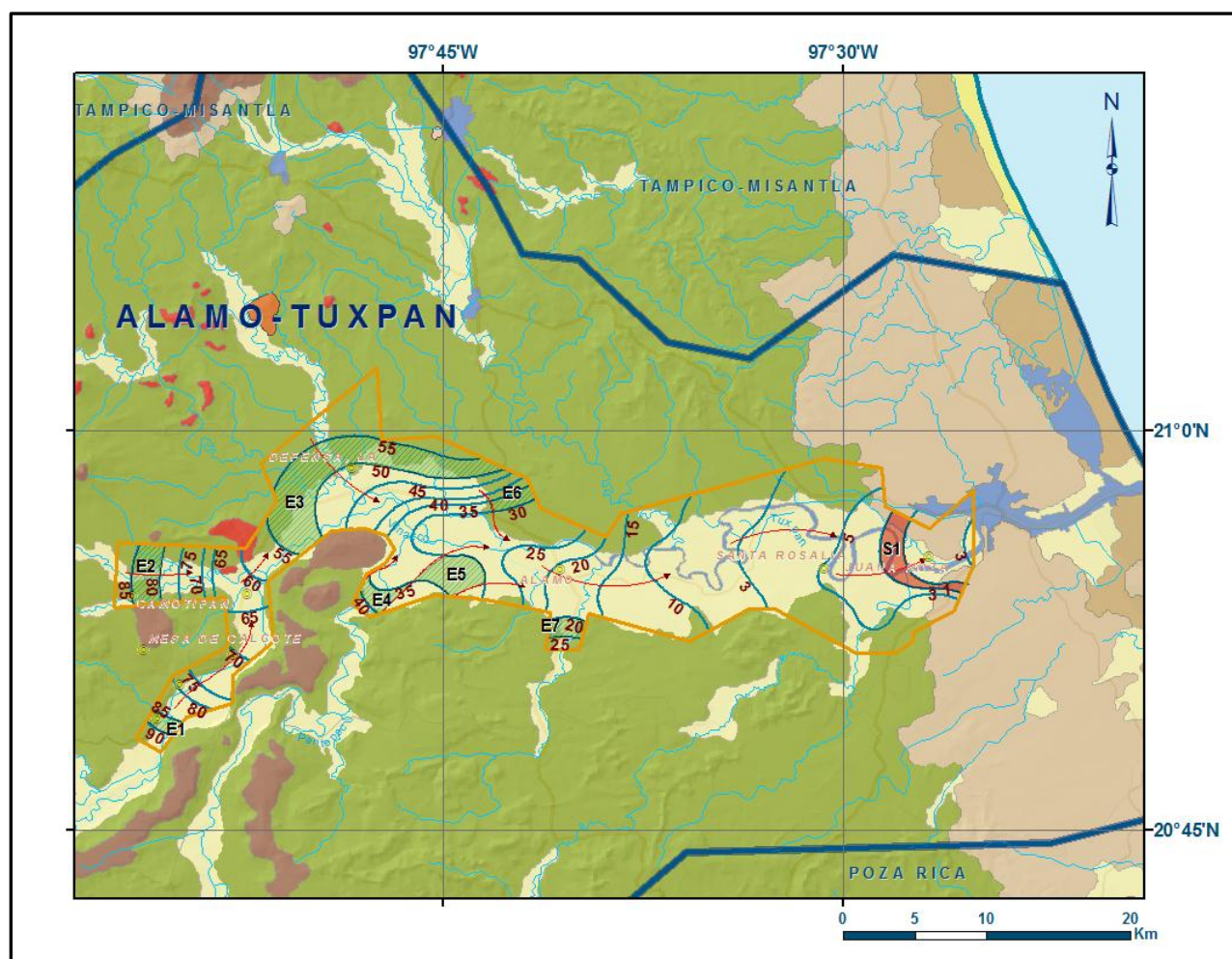


Figura 5. Elevación del nivel estático (msnm), 2010

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no

demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Las mediciones realizadas en el año 2010 serán el punto de partida para el establecimiento del monitoreo de los niveles del agua subterránea.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el 2010, se tomaron 30 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (22 norias, 3 pozos, 3 manantiales y 2 galerías), para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica y pH, para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

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 (STD) presenta valores que varían de 221 a 921 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano. Valores superiores a las 1000 ppm se registran en cinco aprovechamientos (CNA14-59, 103, 165, 167 y 182) ubicados en la zona costera. Las menores concentraciones se registran en los aprovechamientos localizados hacia las partes topográficamente más altas, ubicadas en el extremo occidental del acuífero.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída en la mayoría de las muestras se clasifica como de salinidad alta (C_3) y contenido bajo de sodio intercambiable (S_1). Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó como familia dominante la bicarbonatada-cálcica, que corresponde a agua de reciente infiltración.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró la existencia de 403 aprovechamientos, de los cuales 34 son pozos, 342 norias, 21 galerías filtrantes, 4 manantiales y 2 cárcamos de bombeo. Del total de obras, 381 se encontraron activos y 22 inactivos. A su vez de los 381 pozos activos, 267 son de uso

doméstico, 85 público-urbano, 9 de servicios, 8 para uso pecuario, 8 uso agrícola y 4 de uso industrial.

El volumen de extracción se ha estimado en **17.9 hm³ anuales**, de los cuales 15.82 hm³ (88.38%) para uso público-urbano, 1.29 hm³ (7.20%) para uso agrícola, 0.67 hm³ (3.74 %) se destinan para satisfacer necesidades de uso doméstico, 0.08 hm³ (0.45%) para uso pecuario y 0.03 hm³ (0.17%) para uso industrial y 0.01 hm³ (0.06%) para uso de servicios.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el año 2010, en un área de **508 km²** del acuífero que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localizan 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 como sigue:

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

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 de un acuífero:

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (Rt) ocurre por dos procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos a lo largo de los 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 subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola (Rr), que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes y el riego agrícola es incipiente, se considera que no existe recarga inducida.

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Dónde:

Rv=Recarga vertical;

Eh= Entradas por flujo subterráneo horizontal;

B= Bombeo;

Sh=Salidas por flujo subterráneo horizontal;

ETR=Evapotranspiración;

Dm = Descarga a través de manantiales

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

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

$$Rv = Sh + B + ETR + Dm - Eh \pm \Delta V(S) \quad (2)$$

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemonte, para posteriormente llegar a recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático para el año 2010, mostrada en la figura 5. Con base en estas configuraciones se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

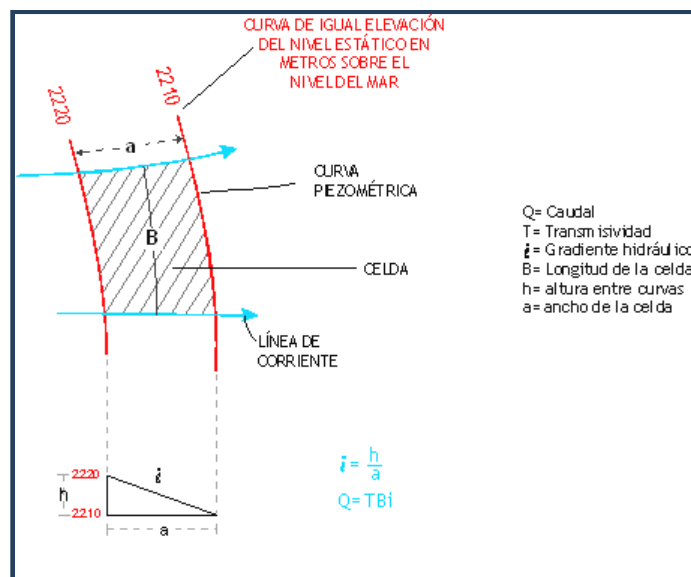
$$Q = B * i * T$$

Donde:

B= Largo del canal de flujo;

i= Gradiente hidráulico ($i = h_2 - h_1 / a$);

T= Transmisividad;



Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado en cada zona.

La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y que el volumen total de entradas por flujo subterráneo asciende a **20.2 hm³/año**.

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas por flujo horizontal

CELDA	LARGO B (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	2052	0.005	0.0079	0.0811	2.6
E2	4285	0.003	0.0079	0.1016	3.2
E3	18842	0.003	0.0032	0.1809	5.7
E4	2800	0.002	0.0032	0.0179	0.6
E5	3358	0.002	0.0032	0.0215	0.7
E6	2937	0.006	0.0032	0.0564	1.8
E7	2406	0.004	0.0184	0.1771	5.6
Total entradas					20.2

7.2. Salidas

Las descargas en el acuífero ocurren principalmente por evapotranspiración (ETR), bombeo (B) y salidas por flujo subterráneo (Sh) hacia el mar. No se cuenta con información de estaciones hidrométricas para estimar el flujo base en ríos.

7.2.1. 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 del elevación del nivel estático del 2010, mostrada en la figura 5. Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación, hacia el mar. El valor estimado para este año de análisis se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Calculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	LARGO B (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	8803	0.002	0.0012	0.0211	0.7
Total salidas					0.7

El volumen total de salidas subterráneas horizontales asciende a **0.7 hm³/año**.

7.2.2. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de la extracción asciende a **17.9 hm³ anuales**.

7.2.3. Evapotranspiración (ETR)

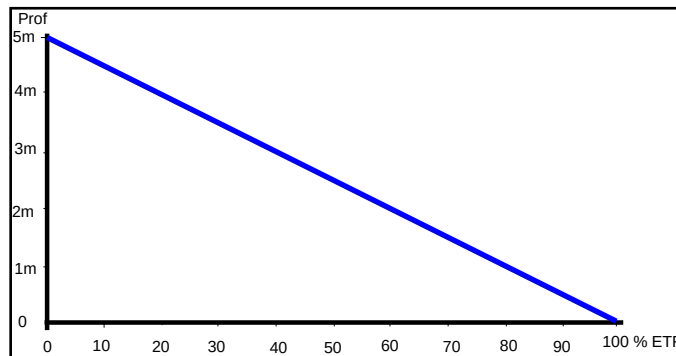
La evapotranspiración es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR).

Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación:

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

T (°C) =	23.8		
P(mm) =	1458.5	P ² =	2127222.25
L =	1569.0636	L ² =	2461960.58
ETR (mm)	1098.1		

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 una superficie de 284 km² en la que la profundidad media al nivel del agua subterránea es de 3 m y una lámina de evapotranspiración obtenida de 1098.1 mm. $ETR = 284 \text{ km}^2 (1.0981 \text{ m}) (0.4) = 124.7$.

Por lo tanto; la **ETR = 124.7 hm³/año**.

7.2.4. Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, únicamente se identificaron 4 manantiales; sin embargo, de acuerdo con la información de las concesiones de agua superficial procedente de manantiales (2010), en el territorio del acuífero existen 849 títulos por un volumen concesionado de **11.3 hm³ anuales**, que representan un caudal aproximado de 360 lps.

7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes recabados en recorridos de campo se encuentran dispersos en

tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento.

Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero.

Por lo tanto para fines del balance $\Delta V(S) = 0$.

Solución de 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:

$$\begin{aligned} R_v &= Sh + B + ETR + Dm - Eh \pm \Delta V(S) & (2) \\ R_v &= 0.7 + 17.9 + 124.7 + 11.3 - 20.2 - 0.0 \\ R_v &= 134.4 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + Eh \\ R_t &= 134.4 + 20.2 \\ R_t &= 154.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular 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 siguiente expresión:

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS \quad (3)$$

Donde:

DAS= Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica;

R_t= Recarga total media anual;

DNCOM= Descarga natural comprometida;

VCAS= Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA;

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso el valor estimado de la recarga total media anual d el acuífero asciende a **154.6 hm³/año**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos 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 Álamo-Tuxpan se considera que el valor de la descarga natural comprometida corresponden al 50 % del volumen de evapotranspiración, que se debe comprometer para preservar el ecosistema natural del río Tuxpan y a la descarga por manantiales que están concesionados para los diferentes usos. No se considera comprometido el valor de la salida subterránea porque tiende a descargar hacia el río Tuxpan y su valor es muy pequeño comparado con el que conduce.

Por lo tanto, **DNCOM = 73.7 hm³ anuales**

8.3. Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)

De acuerdo con la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero, a la fecha de corte de **31 de Marzo de 2011, es de 21'886,478 m³/año**.

8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS)

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, de acuerdo con la expresión (3), se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

$$\text{DAS} = \text{Rt} - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \quad (3)$$

$$\text{DAS} = 154.6 - 73.7 - 21.886478$$

$$\text{DAS} = 59.013522 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

El resultado indica que actualmente existe un volumen de **59'013,522 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

9. BIBLIOGRAFÍA

Gobierno del Estado de Veracruz, Dirección General de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, 1982. Estudio Geohidrológico de Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable en Diversas Localidades del estado de Veracruz, Tlacolula, Chicontepec, Veracruz. Realizado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A.

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Golfo Centro, 2010. Estudio Geohidrológico en los Acuíferos Cuicatlán, Coatzacoalcos, en el estado de Oaxaca; Jalapa-Coatepec, Tecolutla y Álamo-Tuxpan, en el estado de Veracruz. Realizado por la empresa Consultoría BETSCO, S.A. de C.V.

Servicio Geológico Mexicano, 2004. Carta Geológica-Minera F14-12 "Poza Rica", escala 1:250,000.