

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO PANTLA (1214) ESTADO DE GUERRERO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica	6
3.2 Clima.....	7
3.3 Hidrografía.....	8
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1 Estratigrafía.....	10
4.2 Geología estructural	12
4.3 Geología del subsuelo	13
5. HIDROGEOLOGÍA.....	13
5.1 Tipo de acuífero	13
5.2 Parámetros hidráulicos.....	14
5.3 Piezometría	14
5.4 Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	16
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	16
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	18
7.1 Entradas	18
7.1.1 Recarga vertical (Rv)	19
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	19
7.2 Salidas.....	20
7.2.1 Bombeo (B).....	21
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	21
7.2.3 Evapotranspiración (ETR)	21
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	23
8. DISPONIBILIDAD	24
8.1 Recarga Total Media Anual (R).....	24
8.2 Descarga Natural Comprometida (DNC)	24
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	25
8.4 Disponibilidad media anual de Aguas Subterráneas (DMA)	25
9. BIBLIOGRAFÍA	27

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”.

Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

1.1 Localización

El acuífero Pantla, identificado con la clave 1214 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción occidental del estado de Guerrero, limitada por los paralelos 17° 42´ y 17° 55´ de latitud norte y los meridianos 101° 31´ a 101° 42´ de longitud oeste; cubre una superficie aproximada de 207 km² (figura 1).

El valle se presenta con una dirección NE-SW, delimitado al nororiente por la Sierra Madre del Sur y al sur-suroeste por el océano Pacífico y se localiza dentro de la región conocida como Costa Grande de Guerrero.

Limita al norte y oriente con el acuífero La unión y al sur y este con el acuífero Ixtapa.



Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente se encuentra ubicado en los municipios de José Azueta y Unión de Isidro Montes de Oca. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1214 PANTLA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	41	54.1	17	46	25.5	
2	101	39	8.4	17	48	5.4	
3	101	35	45.4	17	53	43.1	
4	101	33	44.9	17	54	54.9	
5	101	31	29.9	17	54	20.6	
6	101	30	43.1	17	51	39.8	
7	101	31	37.2	17	49	12.3	
8	101	33	48.7	17	46	39.2	
9	101	36	58.9	17	44	41.7	
10	101	39	18.2	17	42	47.3	DEL 10 AL 11 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
11	101	42	24.3	17	45	59.0	
1	101	41	54.1	17	46	25.5	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Pantla pertenece al Organismo de Cuenca Pacífico Sur, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Guerrero. Su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en los Municipios de José Azueta, Petatlán, Tecpan de Galeana, Atoyac de Álvarez y Benito Juárez, Gro.” y a las del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona del Bajo Balsas, estableciéndose veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha zona.” Publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de marzo de 1978 y el 27 de junio de 1975 respectivamente. Ambos decretos son de tipo II en los que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

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

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero y la región aledaña se han realizado algunos estudios hidrogeológicos con el fin de evaluar su potencial, tanto para abastecimiento de agua potable a los centros urbanos como para los servicios de la zona turística de Ixtapa-Zihuatanejo. A continuación, se mencionan los más relevantes y sus principales conclusiones.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL RÍO IXTAPA, GRO. 1979. REALIZADO POR INGENIEROS CIVILES Y GEÓLOGOS ASOCIADOS, S. A. CONSULTORES PARA LA SARH. En este estudio se definen las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas que rigen el funcionamiento hidrodinámico del acuífero localizado en el Valle del río Ixtapa, determinando sus características de recarga y descarga, así como su capacidad de almacenamiento, con la finalidad de evaluar la disponibilidad hidráulica superficial y subterránea para su futura captación, como fuente de abastecimiento para el desarrollo turístico de Ixtapa-Zihuatanejo.

Dicho estudio fue de utilidad para tener un panorama general de las condiciones hidrogeológicas dentro de la cuenca del río Ixtapa, así como para obtener información sobre la ubicación de los aprovechamientos censados y la profundidad al nivel del agua subterránea.

Concluye que, para el área de balance considerada de La Salitrera hacia el mar, el valor de la recarga media anual es de 13.2 hm³, de los cuales 1.7 corresponden a las entradas subterráneas, 8.5 a las infiltraciones a lo largo del cauce del Río Ixtapa y por efecto de la lluvia, los 3.0 hm³ restantes a una probable recarga que vuelve a ser drenada hacia el río. Dado que el cambio de almacenamiento es nulo, el valor de las salidas es de también 13.2 hm³, de los cuales 3.4 salen subterráneamente hacia el mar, 4.4 se extrae por bombeo y los 5.4 hm³ restantes se evapotranspiran.

Se propone la extracción adicional de 500 lps, de los 364 serían extraídos del almacenamiento del acuífero y 136 lps más del escurrimiento del río. Para ello se propone dos alternativas: una galería filtrante o una batería de 5 pozos, con la posibilidad de sobreexplotar estacionalmente el acuífero durante la temporada de estiaje, sabiendo que al llover y escurrir agua a lo largo del cauce se recuperaran los niveles del agua subterránea.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN EL VALLE DE LA SALITRERA, PARA DEFINIR EL CAUDAL DE EXPLOTACIÓN PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A LA LOCALIDAD DE IXTAPA ZIHUATANEJO, GRO. 1990-1991. IPESA DE C. V. En este estudio se hace énfasis en el interés por conocer la capacidad de explotación del acuífero que sustenta el valle de La Salitrera, con base en el análisis de las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas, así como en el análisis de la información climatológica, prospecciones geofísicas y la realización de mediciones piezométricas, para obtener un balance de aguas subterráneas, para conocer su potencial de explotación. Proporciona información sobre las condiciones hidrogeológicas de la región para este periodo de análisis, y un censo de captaciones que fue de gran utilidad para el seguimiento de las observaciones piezométricas llevadas a cabo en estudios posteriores.

ACTUALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS EN LOS ACUÍFEROS DE IXTAPA, BAHÍA DE ZIHUATANEJO Y BAHÍA DE ACAPULCO, ESTADO DE GUERRERO, 2003. REALIZADO POR LA EMPRESA CONSULTORÍA BETSCO, S. A. DE C.V. PARA LA CNA.

Con la piezometría recabada en campo y la nivelación de brocales fue posible elaborar las configuraciones del nivel estático y actualizar el conocimiento de la posición de los niveles del agua subterránea en la red piloto, definida previamente, para el monitoreo de la calidad y los niveles del agua subterránea.

Concluye que, aunque no existen evidencias de sobreexplotación debido a la constante renovación del agua alojada en los depósitos aluviales del Río Ixtapa, es necesario tener control de las extracciones y recomienda llevar a cabo un estudio de actualización hidrogeológica que incluya el censo completo de aprovechamientos, pruebas de bombeo, cálculo de la extracción y monitoreo de la calidad del agua.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El área se localiza dentro de la en la provincia fisiográfica “Sierra Madre del Sur”, que, de acuerdo a la clasificación de INEGI, (1991) cubre totalmente la superficie del Estado de Guerrero. Esta provincia incluye a la región montañosa, desde la porción sur del estado de Nayarit, hasta el Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca. Esta provincia está limitada al norte por la provincia del Eje Neovolcánico, mientras que hacia el oriente se encuentra la denominada Meseta Oaxaqueña.

El estado de Guerrero a su vez está dividido en 3 subprovincias; “Cuenca Balsas-Mexcala”, “Vertiente Sur” y “Planicie Costera del Pacífico”. La segunda de ellas está constituida por rocas metamórficas del Paleozoico, calizas, lutitas, limolitas y areniscas del Mesozoico, así como por rocas intrusivas de composición granítica, mientras que la Planicie Costera la constituyen principalmente rocas cenozoicas (boleos, gravas, arenas, limos y arcillas), formando depósitos de litoral, aluviales, deltaicos y depósitos eólicos.

Con base en la expresión superficial y morfología de la zona, se observan dos tipos de relieves, el primero de ellos formado por sierras de origen ígneo y el segundo está representado por los sedimentos que conforman la planicie costera, los cuales están formados por arena de granulometría media a fina, así como por los depósitos aluviales, producto de la desintegración de las rocas preexistentes.

Particularmente, el área se encuentra dentro de la subprovincia fisiográfica denominada Taludes Meridionales, que pertenece a la Sierra Madre del Sur. Esta última inicia en la porción centro-oeste de la República Mexicana

La zona en donde se ubica el acuífero pertenece a la subprovincia de “Taludes Meridionales”, la cual presenta afloramientos de rocas volcánicas andesíticas con capas rojas de limonita, conglomerado volcánico y capas de caliza arrecifal, rocas metamórficas del Paleozoico, así como rocas intrusivas de composición granítica. La planicie costera está conformada por materiales clásticos del Cenozoico (boleos, gravas, arenas, limos y arcillas), formando depósitos de litoral, aluviales, deltaicos y eólicos.

3.2 Clima

Considerando la relación directa que existe entre las condiciones atmosféricas y la recarga a los acuíferos, la cual responde invariablemente a las condiciones de precipitación pluvial, y con el fin de conocer las características climáticas de la zona, se consultó la información hidrológica y datos de estaciones climatológicas existentes de la zona.

La información recabada procede de la Gerencia del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua, así como del programa ERIC II, desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el cual integra dentro de una base de datos los registros históricos de todas las estaciones climatológicas de la República Mexicana.

A este respecto, dentro de la zona se localiza la estación J. Azueta, con la clave 12153, no obstante, esta presenta solo un registro de 8 años con muchas deficiencias, por lo que únicamente se considera la estación La Unión con la clave 12127, localizada en la zona de Zihuatanejo con las coordenadas 17° 38' y 101° 33'.

Es este sentido se realiza un análisis general de la información obtenida de la estación. La precipitación pluvial presenta su temporada principal de lluvias en verano, extendiéndose hasta el otoño (mayo-octubre). Los valores varían de 900 a 1,500 mm con una media anual de **1,195 mm**.

La temperatura media mensual varía entre los 21 y 33° C, siendo junio el mes más caluroso, en tanto que el valor medio anual es de **26.5° C**, con valores extremos de 22 y 36° C, dependiendo de la altura sobre el nivel medio del mar. El valor de la evaporación potencial varía de los 1,300 a 2,100 mm anuales, con una media anual de **1,766 mm** mayor que la precipitación, excepto para los meses de junio a septiembre cuando se registran los valores más altos de lluvia.

3.3 Hidrografía

El territorio del estado de Guerrero queda dividido por tres Regiones Hidrológicas. La RH-18 “Balsas” localizada al norte del estado cubre más del 60% del territorio de su territorio, mientras que la RH-19 “Costa Grande de Guerrero” y la RH-20 “Costa Chica de Guerrero” localizadas sobre la vertiente sur del estado cubren una superficie aproximada del 40%.

El acuífero se encuentra ubicada en la Región Hidrológica 19 “Costa Grande de Guerrero”, destacando su posición hacia la parte más occidental de la región. Específicamente la zona pertenece a la cuenca denominada Río Ixtapa y Otros. En esta cuenca los escurrimientos más importantes tienen su origen en las partes altas de la Sierra Madre del Sur.

3.4 Geomorfología

La expresión geomorfológica del acuífero corresponde a un sistema montañoso en su porción norte, donde se alcanzan elevaciones superiores a los 1,800 msnm, en el parteaguas definido en la Sierra Madre del Sur. Esta zona es cortada por drenaje profundo que origina grandes escarpes, mientras que hacia su porción sur las máximas elevaciones son de apenas unos metros, respecto a la línea de costa

Presenta sierras abruptas, constituidas por rocas metamórficas e ígneas, y cerros redondeados conformados por rocas volcánicas. La red hidrográfica es de tipo dendrítico, en la que el Río Pantla es su corriente principal, destacando la presencia también del arroyo Buenavista, el cual desemboca al Océano Pacífico.

Las sierras constituidas por rocas sedimentarias carbonatadas, presentan un ciclo geomorfológico maduro, ya que sus perfiles son suaves y ondulados. En contraste, las sierras conformadas por rocas ígneas-metamórficas, muestran un relieve juvenil sumamente accidentado. Ambas unidades geomorfológicas se continúan hasta formar la línea de costa, que en combinación con la erosión hídrica de la región (lluvias y oleaje) dan origen a acantilados y depresiones colmatadas que motivan playas y pequeños valles.

Puede considerarse que esta cuenca se encuentra en estado juvenil, con una topografía abrupta, cerros redondeados y fuertes pendientes hasta una distancia de 7 kilómetros de la línea de costa, tierra adentro, hasta el poblado La Soledad, a partir de donde se inicia la planicie costera, con una topografía casi plana.

4. GEOLOGÍA

La geología regional de la zona se encuentra dominada por rocas metamórficas, ígneas intrusivas y depósitos recientes, su distribución se muestra en la figura 2. A nivel regional, la geología general del área comprende a las rocas metamórficas del Paleozoico, las rocas volcánicas del Paleógeno-Neógeno, las calizas y lutitas del Cretácico Inferior, así como los materiales recientes formados por gravas, arenas, limos y arcillas producto de la alteración y acarreo de rocas preexistentes. Las rocas de mayor antigüedad corresponden a extensos afloramientos de rocas metamórficas cuya formación tuvo lugar durante el Paleozoico. Posteriormente durante el Cretácico Inferior tuvo lugar una transgresión, lo que motivó el depósito de sedimentos calcáreos que dieron origen a calizas de estructura masiva.

Al finalizar el Cretácico y durante el Paleógeno-Neógeno se desarrolló una actividad tectónica acompañada por la intrusión de batolitos graníticos. A fines del Neógeno y hasta el Reciente, por efectos del intemperismo se ha facilitado la erosión de las rocas preexistentes, y por acción de las aguas fluviales se han labrado cauces de ríos y fosas que posteriormente fueron rellenadas por los materiales granulares transportados y que actualmente forman delgadas planicies de inundación.

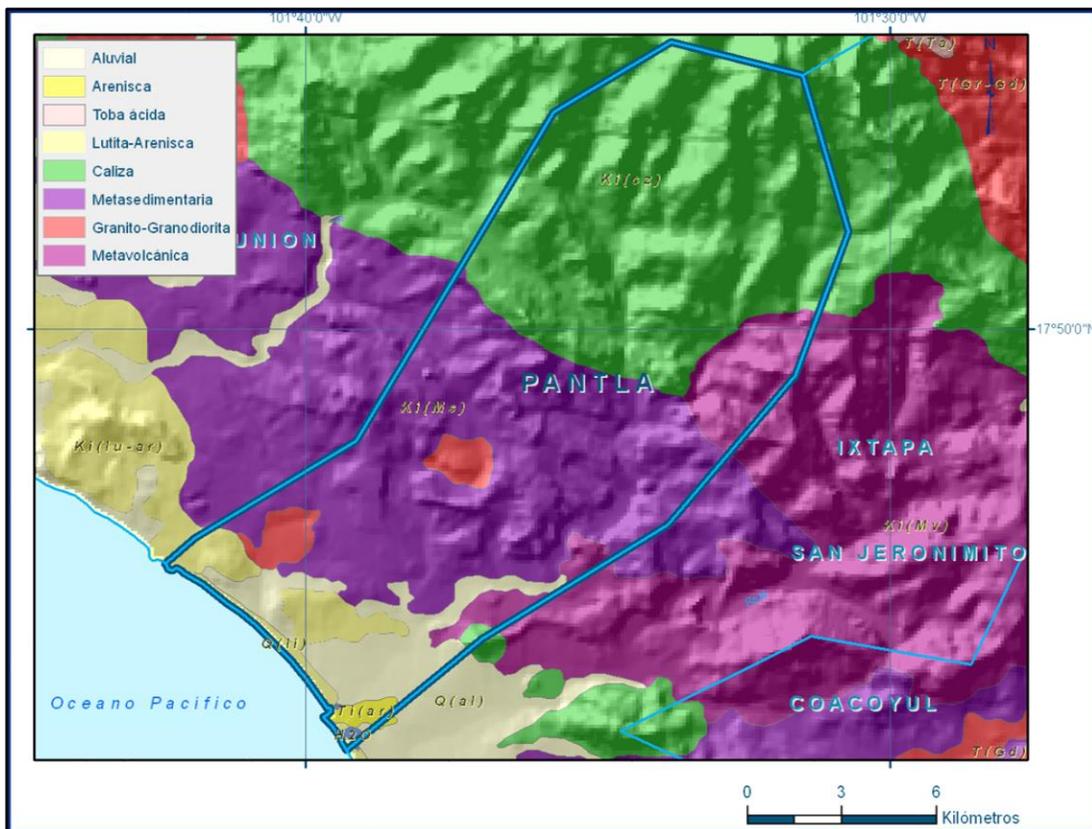


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

El registro estratigráfico comprende del Paleozoico al Reciente y está conformado por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. A continuación, se describe la columna estratigráfica, de la unidad más antigua a la más reciente.

Rocas Metamórficas Paleozoicas (Pmet). - Esta unidad es un complejo de rocas metamórficas representado por pizarras y filitas que constituye el basamento de la región. Sus afloramientos se identificaron en la margen izquierda del río Ixtapa, en el acuífero vecino al sur, cubiertos en algunas partes por sedimentos de pantano y suelos residuales. Por su constitución litológica y por tratarse de una roca consolidada, esta unidad se considera impermeable, ya que funciona como una barrera natural para el flujo del agua subterránea.

Calizas y lutitas del Cretácico Inferior (Ki). - Las rocas de esta unidad afloran en las estribaciones de la sierra, y consisten de calizas de color gris, de estratificación gruesa, que se encuentran intercaladas con lutitas, las cuales están cubiertas por arcillas, producto de su misma alteración.

Esta unidad se encuentra aflorando principalmente en el cerro La Salitrera, ubicado al noreste del poblado del mismo nombre, fuera del área, en el acuífero Ixtapa vecino hacia el sur. De acuerdo con la constitución litológica de esta unidad, sólo cuando se encuentra fracturada puede presentar permeabilidad secundaria.

Granito (Gi). - Esta unidad se presenta al suroeste del área, en un corte de la carretera que comunica al poblado Barrio Nuevo con la carretera federal No. 200, formando el cerro La Hedionda.

Está constituida por un granito que se encuentra muy alterado y fracturado en su parte superior, razón por la cual en algunas zonas ya se han formado suelos, como consecuencia del intenso intemperismo y la erosión a la que ha sido sometido. Salvo la parte alterada y fracturada, que cuando alcanza un espesor considerable llega a almacenar cantidades significativas de agua, la parte sana del granito se considera impermeable.

Andesita (Ta). - Se presenta como un derrame andesítico porfídico de color morado, fracturada y un poco alterada, que aflora en las estribaciones de la sierra.

Posiblemente su edad corresponda al Paleógeno-Neógeno ya que se encuentra cubierta por una capa de suelo limo-arcilloso. Por su constitución litológica se clasifica como una unidad impermeable para fines hidrogeológicos.

Brecha volcánica (Tb). - Esta unidad corresponde a una brecha volcánica compacta con escaso fracturamiento, que aunado a su baja porosidad le confieren su naturaleza impermeable. Aflora en una pequeña sierra que se encuentra sobre la margen de los Ríos, a la altura del poblado Barrio Nuevo.

Sedimentos de Pantano (Qpl). - Estos sedimentos de ambiente paludal se localizan al sur de la zona, sobre ambas márgenes del río, cerca de la línea de costa. Esta unidad está constituida por limos y arcillas de poco espesor se encuentra sobreyaciendo discordantemente a las rocas del Paleozoico (Pmet). Por su constitución litológica, baja permeabilidad y transmisividad, carece de interés hidrogeológico.

Depósitos de playa (Qpb). - Esta unidad está constituida por arenas de granulometría media y fina que forman una barra en la desembocadura del río Ixtapa. Por su constitución y buena porosidad, se considera que esta unidad es de interés local.

Suelos (Qsr). - La unidad de suelos residuales se encuentra ampliamente distribuida en las partes bajas de la estrecha planicie costera, cubriendo con una capa delgada a las rocas preexistentes.

Se trata de sedimentos limo-arcillosos formados como producto de la alteración de las rocas metamórficas, así como sedimentos arcillosos provenientes de la erosión de las rocas calcáreas del Cretácico y la alteración por intemperismo del granito.

A pesar de manifestar buena porosidad y ser considerada como una unidad permeable, debido a que esta unidad tiene poco espesor, presenta pocas perspectivas de almacenamiento de agua.

Sedimentos fluviales (Qf). - Esta unidad está constituida principalmente por gravas gruesas, arenas y limos, que por su distribución y granulometría fue dividida en dos tipos de sedimentos fluviales:

Playones y terrazas. Esta unidad tiene su origen en el transporte de las aguas fluviales, cuyos materiales han sido depositados en las vegas del río, formando playones y terrazas de poca altura, en las que superficialmente abundan las arenas. Por su litología esta unidad presenta alta permeabilidad, misma que superficialmente facilita la infiltración del agua de lluvia. Además, esta unidad es susceptible de inundarse durante las crecientes del río, razón por la cual puede llegar a funcionar como acuífero, cuando alcanza un espesor considerable.

Cauce aluvial. Son materiales clásticos constituidos por gravas de diversos tamaños, arena, boleos y cantos rodados, transportados por la acción de las aguas fluviales y depositados en las depresiones formadas en las rocas metamórficas, principalmente por la acción erosiva de las corrientes. Esta unidad presenta buena porosidad y alta permeabilidad debido a la naturaleza propia de los materiales que la conforman. Su espesor varía de 10 a 60 m y constituye el acuífero principal que sustenta el desarrollo de la región.

4.2 Geología estructural

Al inicio del Mesozoico se presentan levantamientos en la superficie, plegando las rocas y acentuando su metamorfismo. Contemporáneamente la plataforma emergió propiciando la transgresión de aguas marinas, generando el depósito de sedimentos calcáreos, representados actualmente por calizas de estructura masiva y de espesor reducido, propiamente durante el Cretácico Superior.

Posterior a otro levantamiento cortical, se originaron plegamientos y procesos erosivos, los cuales fueron acompañados de una intensa actividad ígnea, representada por rocas graníticas que en el subsuelo constituyen batolitos y que, en particular, en la zona, se presentan en pequeños cuellos que durante el Paleógeno-Neógeno fueron erosionados, quedando los remanentes que actualmente se aprecian como pequeñas elevaciones.

Para fines del Neógeno y hasta nuestra época, por procesos de intemperismo, erosión y transporte de las aguas fluviales, se han labrado cauces y arroyos sobre las planicies costeras. La geología estructural está influenciada por la complejidad tectónica que presenta la zona. De forma tal que en las rocas cretácicas que conforman la unidad de calizas y lutitas es común la presencia de plegamientos, pero debido a su naturaleza compacta no se han desarrollado conductos de disolución.

La sobreposición de diferentes dominios tectónicos hace posible el contacto, por falla o en discordancia, de diferentes unidades litoestratigráficas que generalmente funcionan como barreras al flujo subterráneo y que le imprimen un particular rasgo a toda esta región del sur del país. Como resultado de los procesos geológicos que se han desarrollado en la zona de interés, la secuencia litológica con excepción de los depósitos aluviales, está afectada por fallas normales, fallas inversas, fallas de inflexión y algunas otras de tipo rotacional, producto de la tectónica que ha imperado en la región, lo que tiene una influencia directa en el desarrollo del relieve.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información obtenida en campo se puede deducir que el acuífero, está limitado horizontal y verticalmente por rocas graníticas y/o metamórficas probablemente paleozoicas, mismas que conforman el núcleo de las sierras limítrofes cuya configuración estructural de intrusiones y fallamiento en el subsuelo determina fuertes cambios en el espesor del relleno granular.

En este sentido la información de los cortes litológicos de los pozos y los registros eléctricos realizados en el estudio de 1991, permiten definir que el acuífero principal se encuentra alojado en los sedimentos fluviales que constituyen el lecho y la llanura de inundación del Río Pantla, su espesor varía de 10 a 85 m tendiendo a acunarse hacia las laderas de los cerros adyacentes.

Dependiendo de la naturaleza de los materiales o rocas con los que se encuentra en contacto, hacia la parte alta del cauce del río, los límites lateral e inferior del acuífero están constituidos por las rocas metamórficas que constituyen el basamento y las barreras al flujo subterráneo.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de **tipo libre** alojado en los sedimentos fluviales de permeabilidad media a alta, de reducidas dimensiones y poca capacidad de almacenamiento, que tiene como principal fuente de recarga a los escurrimientos superficiales que se producen en temporada de lluvias.

Su espesor varía de 10 a 85 m y tiene como basamento y fronteras laterales al flujo subterráneo a las rocas metamórficas, graníticas, andesitas y la brecha volcánica.

Existen otras unidades hidrogeológicas que, dado su contenido de sedimentos finos, le confieren baja permeabilidad, constituyendo acuicludos que se encuentran en contacto con el acuífero principal. A esta clasificación pertenecen los suelos residuales, arcilla y limos que constituyen las terrazas, y los depósitos palustres.

Es indudable que la recarga al acuífero está compuesta por infiltraciones locales pluviales y fluviales, y en menor grado por una alimentación subterránea proveniente de las partes altas de la cuenca del río Pantla.

5.2 Parámetros hidráulicos

En el estudio previo de 1990 se realizaron 4 pruebas de bombeo de corta duración, en norias de apenas 7 metros de profundidad y un pozo a 15 metros. De los resultados de su interpretación se deduce que los valores de transmisividad varían de 1.5 a 3.3 $\times 10^{-3}$ m²/s, en las norias mientras que en el pozo se obtuvo un valor de 11.0 $\times 10^{-3}$ m²/s, valores que se sitúan dentro del mismo rango que se presentan en el acuífero vecino Ixtapa.

Con base en la relación anteriormente señalada, se tomaron los valores de conductividad hidráulica reportados en la zona de Ixtapa, los cuales oscilan entre 0.12 y 9.12 $\times 10^{-3}$ m²/s, con un valor promedio de 3.6 $\times 10^{-3}$ m²/s. No existen datos del coeficiente de almacenamiento dado que ninguna de las pruebas de bombeo reportadas contó con pozo de observación.

El valor de 6.5 $\times 10^{-4}$ reportado en la zona de Ixtapa, fue obtenido en una noria de 5 metros de profundidad alojada en una terraza aluvial y posiblemente corresponde a sedimentos limo-arcillosos que no representan el acuífero principal.

5.3 Piezometría

La información piezométrica recabada en los estudios previos muestran profundidades someras en el acuífero, destacando la información referente al estudio realizado en el año de 1990, donde se realizaron dos recorridos, uno durante la temporada de lluvias cuando existe escurrimiento de agua en el cauce del río, cuando ocurre la recarga al acuífero y uno más en la época de estiaje.

Dicha información permitió observar la rápida respuesta de los materiales aluviales a este fenómeno. No obstante, no se cuenta con la ubicación de estos aprovechamientos ni de los planos que muestren su ubicación.

5.4.2 Elevación del nivel estático

Dado que los datos existentes no presentan la elevación de los pozos visitados en el año 1990, se realizó un cálculo de su elevación en función de su posición geográfica.

De esta forma se tiene que el nivel del agua subterránea se encuentra a una altitud máxima de 31 metros al norte de la comunidad Buenavista.

En las inmediaciones de esta comunidad las elevaciones varían de 20 a 25 msnm, descendiendo al sur con dirección hacia la línea de costa, hasta alcanzar altitudes de 5 msnm, identificadas a 2 kilómetros de la costa.

Cabe destacar que hacia la zona donde se localiza la comunidad Pantla, la elevación del nivel estático muestra importantes variaciones con respecto a la zona donde se localiza la comunidad Buenavista, destacando una elevación máxima de 12 metros, identificadas al norte de Pantla disminuyendo gradualmente hacia el sur, en dirección hacia la línea de costa, hasta alcanzar una elevación de 6 metros.

Por otra parte, se carece de apoyo piezométrico para inferir las características del flujo subterráneo en las porciones central de la zona, caracterizada por la presencia de elevaciones topográficas que superan los 100 metros de altitud; no obstante, se supone que ahí la circulación del agua subterránea es muy sinuosa, debido a la heterogeneidad de la masa rocosa y a la compleja estructura geológica que caracterizan esta porción del país, Figura 4.

5.4.3 Evolución del nivel estático

De acuerdo con información recopilada, los niveles del agua subterránea en esta zona presentan variaciones estacionales, con recuperaciones importantes durante las épocas de lluvia, descendiendo hasta 3 metros durante la época de estiaje.

No obstante, no se cuenta con los planos del estudio realizado en el año 1990, donde se señalan estas zonas, así como la ubicación de los aprovechamientos, por lo que no fue posible elaborar una configuración de evolución del nivel estático.

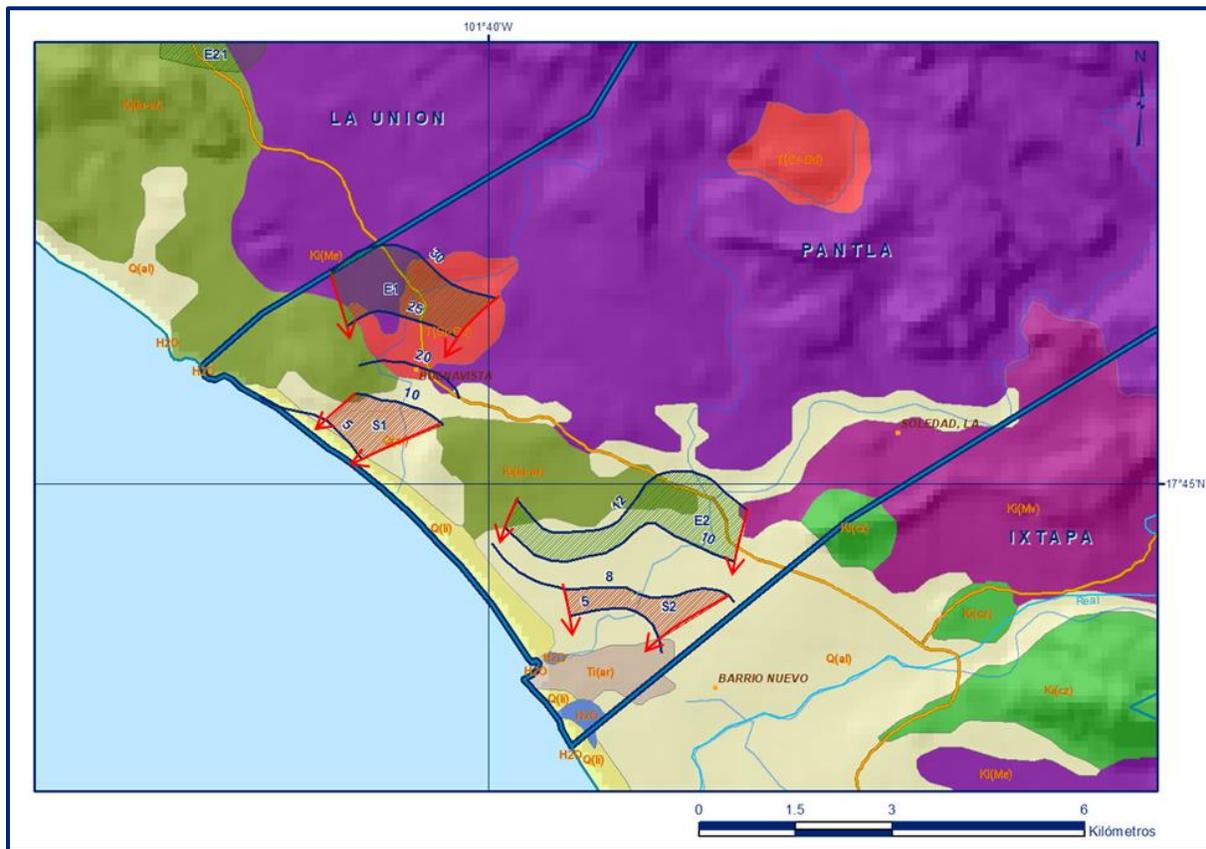


Figura 4. Elevación del nivel estático en m.s.n.m. (2007)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

No se cuenta con información referente a este tema. Sin embargo; por su cercanía al acuífero Ixtapa, se puede inferir que el agua es en general de buena calidad, al presentar concentraciones de Sólidos Totales Disueltos menores a las 1,000 ppm.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el censo realizado en el año 1990, el número de aprovechamientos visitados fue de 26; de estos, 1 es pozo y 25 norias. 25 de ellos se encontraron activos y 1 se reportó como inactivo.

En cuanto a los usos, 22 aprovechamientos se utilizan para la agricultura, 2 para uso público urbano y 1 para uso industrial (figura 7). Un gran porcentaje de los aprovechamientos presentan bombas sumergibles con diámetros de succión y descarga de 2 y 4 pulgadas, sin embargo, el equipo no es permanente en los aprovechamientos ya que estos son trasladados de noria en noria de acuerdo a la zona de riego.

En conjunto el volumen de extracción asciende a **1.1 hm³ anuales**, de los cuales 1 hm³ (88%) se destinan al uso agrícola, .1 más (8 %) para satisfacer las necesidades público-urbanas y .004 hm³ (4%) para uso industrial.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó únicamente para el año 2007, en una superficie de **25 km²**, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. 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 masa se expresa como:

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

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

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos de los arroyos (Rv) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola 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 volumen destinado al uso agrícola es pequeño, 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:

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

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh: Entradas por flujo horizontal

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo horizontal

ETR: Evapotranspiración real

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales. El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2007 (figura 4). De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos, se tiene que:

$$Q = V \cdot A$$

Considerando una sección, con una longitud (B) y ancho (a), con una diferencia de alturas de (Δh). El área de la sección quedará definida por:

$$A = B \cdot a$$

Mientras que la velocidad será:

$$V = K \cdot i$$

Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

i = Gradiente hidráulico ($\Delta h / \Delta L$) Δh y ΔL son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

Sustituyendo en la ecuación de continuidad tenemos que:

$$Q = B \cdot a \cdot K \cdot i$$

Ya que la transmisividad $T = K \cdot a$, la ecuación queda reducida a:

$$Q = T \cdot B \cdot i$$

Donde:

T = Transmisividad en m^2 / s .

B= Longitud de la celda en m.

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

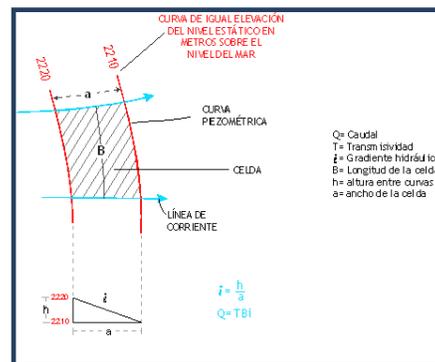


Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	2200	800	5	0.00625	0.004	0.055	1.7
E2	3910	620	2	0.00323	0.004	0.0505	1.6
TOTAL							3.3

Valores de T fueron obtenidos de estudios anteriores y extrapolados para el espesor saturado en cada sitio. De la tabla anterior se observa que el valor de las entradas subterráneas asciende a **3.3 hm^3 anuales**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas (Sh) y evapotranspiración (ETR).

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **1.1 hm³ anuales**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

El volumen de las salidas por flujo subterráneo se calculó de la misma manera que las entradas subterráneas, utilizando la configuración de elevación del nivel estático para el año 2008, aplicando la ley de Darcy a las secciones de salida, localizada al sur, como lo demuestran las curvas equipotenciales, como se muestra en la tabla.

Tabla 4. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2 - h_1$ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	1200	750	5	0.00667	0.002	0.016	0.5046
S2	2770	350	3	0.00857	0.002	0.0475	14975
TOTAL							2.0021

Por lo tanto, el valor de las salidas subterráneas es de **2.0 hm³/año**.

7.2.3 Evapotranspiración (ETR)

La evapotranspiración tiene dos componentes: la evaporación directa del agua subterránea y la transpiración de las plantas que toman agua del subsuelo. La primera tiene lugar donde aflora la superficie freática, así como en las áreas adyacentes a ésta, donde se presentan niveles freáticos someros.

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, y 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 no mayores a 2 metros.

A este respecto, de acuerdo con la Norma Oficial NOM-011-CONAGUA-2000, la descarga de agua subterránea por evapotranspiración, dada la dificultad de su cálculo, puede no ser estimada por separado y su valor quedará implícito en el resultado del balance.

No obstante, se estimó la evapotranspiración real por medio del método de L. Turc, investigador que realizó un análisis estadístico de más de 200 cuencas en diferentes regiones climáticas, concluyendo que la evapotranspiración real, ETR, está dada por la expresión:

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

T (°C) =	26.5		
P(mm) =	1195	P ² =	1428025
L =	1892.98125	L ² =	3583378.01
ETR (mm)	1048.7		

Sustituyendo los valores: P = 1195 mm/año y T = 26.5° C en las expresiones anteriores, resulta:

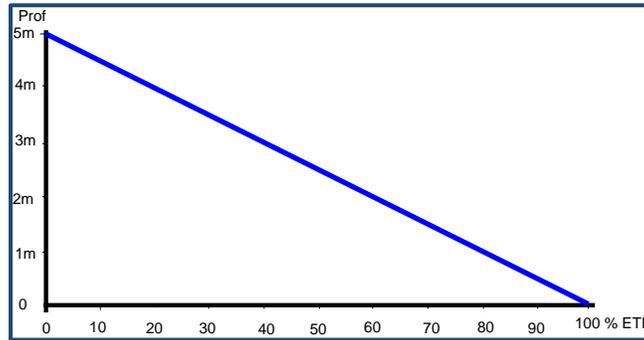
$$L = 1,892.9$$

$$ETR = 1,048.7 \text{ mm/año}$$

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 10 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 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 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.



El resultado de este proceso se presenta en la siguiente tabla, en la que se muestra que el valor de la evapotranspiración real calculado es de **9.1 hm³** anuales.

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 determinado. Los escasos registros existentes están dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Adicionalmente, 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 se considera nulo; es decir, $\Delta V(S) = 0$.

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia y por las infiltraciones a lo largo del cauce del río, mediante la expresión (2):

$$\begin{aligned} R_v &= Sh + B + ETR \pm \Delta V(S) - E_h & (2) \\ R_v &= 2.0 + 1.1 + 9.1 + 0.0 - 3.3 \\ R_v &= 8.9 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

De esta manera la recarga total media anual:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h \\ R &= 8.9 + 3.3 \\ R &= 12.2 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga Total Media Anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es de **12.1 hm³/año**.

8.2 Descarga Natural Comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Pantla, se considera como descarga comprometida **6.5 hm³ anuales**, de los cuales 2.0 corresponden a las salidas subterráneas hacia el mar que se deben dejar escapar para mantener el equilibrio de la interfase marina y los 4.5 hm³ restantes al 50% de la evapotranspiración que debe comprometerse para preservar el ecosistema costero.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **2,959,965 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de Aguas Subterráneas (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 12.1 - 6.5 - 2.959965 \\ \text{DMA} &= 2.640035 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **2,640,035 m³ anuales**.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que actualmente existe información hidrogeológica para su evaluación.

No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor. Sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance una superficie mayor ni los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) "Estudio Geohidrológico del Río Ixtapa". Realizado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Consultores, S. A. de C.V. (1979).