



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO PUNTA DE MITA (1808), ESTADO DE
NAYARIT**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1. GENERALIDADES..... | 2 |
| Antecedentes | 2 |
| 1.1 Localización | 2 |
| 1.2 Situación administrativa del acuífero | 3 |
| 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD | 4 |
| 3. FISIOGRAFÍA..... | 5 |
| 3.1 Provincia fisiográfica | 5 |
| 3.2 Clima | 5 |
| 3.3 Hidrografía..... | 6 |
| 3.4 Geomorfología..... | 6 |
| 4. GEOLOGÍA..... | 7 |
| 4.1 Estratigrafía..... | 9 |
| 4.2 Geología estructural | 9 |
| 5. HIDROGEOLOGÍA..... | 10 |
| 5.1 Tipo de acuífero..... | 10 |
| 5.2 Parámetros hidráulicos | 10 |
| 5.3 Piezometría..... | 10 |
| 5.4 Comportamiento hidráulico..... | 11 |
| 5.4.1 Profundidad al nivel estático..... | 11 |
| 5.4.2 Elevación del nivel estático..... | 12 |
| 5.4.3 Evolución del nivel estático | 13 |
| 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea | 13 |
| 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA | 14 |
| 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS..... | 15 |
| 7.1 Entradas..... | 15 |
| 7.1.1 Recarga vertical..... | 16 |
| 7.1.2 Entradas subterráneas horizontales | 17 |
| 7.2 Salidas | 18 |
| 7.2.1 Evapotranspiración | 18 |
| 7.2.2 Bombeo..... | 21 |
| 7.2.3 Salida de flujo subterráneo horizontal..... | 21 |
| 7.3 Cambio de almacenamiento..... | 21 |
| 8. DISPONIBILIDAD | 22 |
| 8.1 Recarga total media anual (R)..... | 22 |
| 8.2 Descarga natural comprometida (DNC)..... | 22 |
| 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)..... | 23 |
| 8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)..... | 23 |

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

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

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Punta de Mita, designado con la clave 1808 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroeste del estado de Nayarit, entre los paralelos 20°44' y 20°51' de latitud norte y los meridianos 105°34' y 105°24' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 58 km². Limita al norte con el Océano Pacífico y con el acuífero Zacualpan-Las Varas, al oriente con Valle de Banderas, ambos pertenecientes al estado de Nayarit, al occidente y sur con el Océano Pacífico (figura 1).

El acuífero integra principalmente territorios del municipio Bahía de Banderas.



Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan el acuífero

| VERTICE | LONGITUD OESTE | | | LATITUD NORTE | | | OBSERVACIONES |
|---------|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|--|
| | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | |
| 1 | 105 | 27 | 58.9 | 20 | 50 | 11.3 | |
| 2 | 105 | 26 | 5.7 | 20 | 48 | 30.8 | |
| 3 | 105 | 24 | 54.9 | 20 | 46 | 41.9 | |
| 4 | 105 | 26 | 20.7 | 20 | 44 | 53.4 | DEL 4 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMARA A LO LARGO DE LA COSTA |
| 1 | 105 | 27 | 58.9 | 20 | 50 | 11.3 | |

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago- Pacífico”, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Nayarit. Su territorio completo se

encuentra sujeto a la disposición del decreto de veda tipo II, donde “Se establece por causa de utilidad pública el Distrito de Acuacultura No. 1 ‘Nayarit’, para preservar, mejorar, fomentar y explorar las especies acuáticas, animales y vegetales, así como la explotación de sales y minerales”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de mayo de 1972. 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 del agua subterránea es una empresa particular denominada AGUABAN S.A. de C.V., que suministra el recurso hídrico a los desarrollos turísticos de la zona. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido 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 dos estudios con información hidrogeológica específica con el fin de evaluar la disponibilidad de agua. A continuación se mencionan los puntos más relevantes y las principales conclusiones.

Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en el estado de Nayarit, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, México, Empresa contratada: Rocha y Asociados, S. A. (ROASA), Diciembre de 1977 (SARH, 1977). En el estudio se llevó a cabo una actualización del inventario de aprovechamientos, reportando 101, de los cuales 52 eran pozos, 28 manantiales y una galería filtrante. Los niveles reportados de este censo fluctúa entre 5 y 60 m, y caudales de alrededor de los 40 lps. Reportan como áreas favorables para la perforación de pozos de explotación: en el municipio de Compostela, en las inmediaciones de Zacualpan, Las Varas y El Capomo, recomendando exploraciones a profundidades del orden de 200 m. La calidad del agua es en general, buena.

Estudio de actualización de las condiciones hidrogeológicas del acuífero 1808 Punta de Mita, Nayarit, Comisión Nacional del Agua, Organismo Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico (CONAGUA, 2007). Realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

El objetivo de este estudio fue conocer las condiciones actuales de explotación del agua subterránea y funcionamiento geohidrológico del acuífero, recopilando toda la información existente y con actividades de campo. Se reportan 28 aprovechamientos

subterráneos, cuyo uso principal es el de servicios (59%).

La profundidad al nivel estático se encuentra entre los 0 y 86 m. Se nivelaron 22 brocales. Se colectaron y analizaron 6 muestras de agua, los resultados indican que la concentración de sólidos disueltos totales va de 424 a 792 ppm, la calidad del agua es buena; exceptuando un pozo que manifiesta intrusión salina (El Banco).

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron 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

La zona del acuífero, según el INEGI (1991), se ubica dentro de la provincia Sierra Madre del Sur, ésta provincia está representada en el estado de Nayarit por una pequeña área del sur del estado, por medio de la subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima.

La franja irregular de la subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima que penetra en el estado de Nayarit, corresponde a la zona en forma de cuerno que encierra por el norte a la Bahía de Banderas y el territorio contiguo; abarca todo el municipio de Bahía de Banderas, parte de los municipios de Compostela, Ahuacatlán, Amatlán de Cañas y una pequeña fracción de los municipios de Ixtlán del Río y San Pedro Lagunillas. Su extensión equivale al 8% de la superficie total del estado (INEGI, 2007).

3.2 Clima

El tipo de clima en el acuífero, con base en la clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García, para las condiciones de la República Mexicana (1981), es Aw0 (w); cálido sub-húmedo con lluvias en verano y sequía en invierno, con menos del 5% de lluvia invernal.

Ocurren tormentas tropicales y huracanes. La humedad relativa media anual que corresponde a la zona es de 80%, siendo de las más altas del Pacífico Mexicano.

La época de estiaje en la zona se presenta de noviembre a mayo, mientras que la temporada de lluvias cubre el período de junio a octubre, con máximos en el mes de agosto que sobrepasan los 320 mm. Para el análisis de las condiciones climáticas de la

región, se analizó la información de 10 estaciones climatológicas, ubicadas en su entorno cercano del acuífero: Cuestecomate, Cerro Blanco, Cumbre de Huicicila, El Refilón, Gaviotas, Miravalles, Paso de Arocha, Peñita de Jaltemba, San José del Valle y Zapotán, con un registro que comprende el periodo 1970-2006.

La precipitación media anual reportada es de 1200 mm. La temperatura media anual en la zona es de 27.1° C. Las temperaturas más altas se presentan de mayo a octubre, sobre todo en la zona de Costa Bandera. Y las temperaturas más bajas se presentan en los meses de diciembre y enero. La evaporación media anual es de 1,582.5 mm, presentando máximos de marzo a junio con valores mayores a los 150 mm, en enero y diciembre se presentan los valores mínimos inferiores a los 100 mm. El mes que presenta la mayor evaporación es mayo con 199.35 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica 13, Huicicila (cuenca río Huicicila-San Blas). La región hidrológica Huicicila está dividida en dos porciones, la norte y la sur limitadas por la cuenca del río Ameca. La del norte se conoce como de la cuenca Río Huicicila-San Blas en Nayarit y abarca la parte occidental del municipio de Bahía de Banderas y drena los ríos El Naranjo, Huicicila, Los Otates, La Tigra, El Agua Azul, Calabazas, Charco Hondo y Lo de Marcos. Al norte de esta cuenca se encuentran zonas de marismas y esteros cerca de San Blas.

Otro rasgo hidrográfico importante es el lago San Pedro. Se asientan poblaciones de importancia como: Jalcocotán, Zacualpan, Compostela, Las Varas, Sayulita, Higuera Blanca y Punta Mita; en su zona litoral hay numerosas localidades turísticas.

3.4 Geomorfología

Nayarit presenta en la mayor parte de su territorio, terrenos con relieve muy accidentado de origen volcánico, en etapa geomorfológica juvenil (provincias fisiográficas: Sierra Madre Occidental y Eje Neovolcánico) y madura (Sierra Madre del Sur); sin embargo, a diferencia de estos grandes rasgos topográficos, en la porción oeste del estado se localiza parte de la provincia Llanura Costera del Pacífico, la cual se encuentra en una etapa de juventud incipiente dentro del ciclo geomorfológico.

La zona tiene una geomorfología de planicie costera, caracterizado por ser terreno semiplano con pequeñas ondulaciones.

El municipio de Bahía de Banderas, al cual pertenece el acuífero de Punta de Mita, se caracteriza porque un poco más del 70% del relieve del suelo corresponde a terrenos montañosos, que dan origen a la Sierra Madre del Sur que se prolonga hasta Oaxaca y Chiapas.

En la zona, de la ensenada de Litigú a Punta Pantoque corresponde a una llanura costera de suelo rocoso con sólo dos elevaciones importantes, el cerro del Mono, también conocido como cerro de Pátzcuaro (330 msnm) y el de Carelleros justo en la punta de la península con una altura de 220 msnm (Periódico Oficial, 2005).

4. GEOLOGÍA

El acuífero Punta de Mita, es una península, ubicada en el límite Noroeste del Bloque Jalisco. Se encuentran diversos afloramientos de rocas extrusivas, dentro de estas rocas se tienen riolitas al Noroeste de Punta Mita fechadas por Gastil y colaboradores, 1979, con 11.1 Millones de años las cuales corresponden a la Sierra Madre Occidental; Basaltos de Punta Negra fechados por Gastil y colaboradores, 1979, con 10.2 Millones de años, así como basaltos hacia la parte Sureste entre Punta Pantoque, Punta El Burro y Punta Las Cargadas en flujos de lava basálticas, diques y flujos piroclásticos con clastos de basalto vesicular, estas rocas no han sido estudiadas a detalle y algunos autores las refieren, pero en realidad hablan de rocas ubicadas hacia Punta Rosa, al Noreste de Punta Mita (Cruz-Ocampo y colaboradores, 2002).

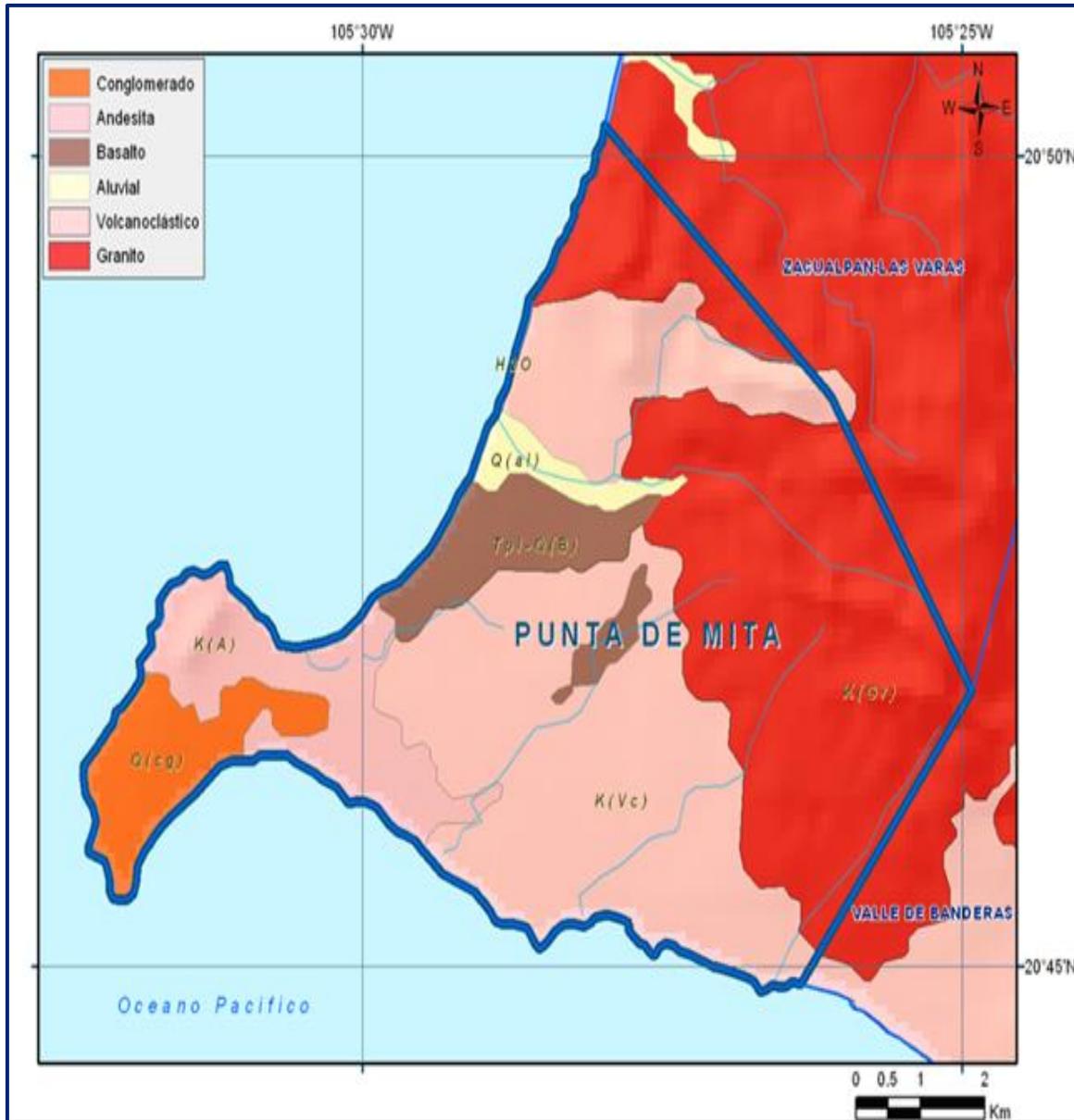


Figura 2. Geología general del acuífero

En la zona abundan las rocas ígneas intrusivas de la era mesozoica del tipo volcanoclástico (40%, 23.19 km²) y del tipo granito (36%, 20.85 km²).

En menor proporción se encuentran rocas del tipo andesita; así como rocas del cenozoico, basalto y conglomerados (tabla 2, INEGI). En la figura 2 se observa la distribución espacial de los tipos de rocas en el acuífero Punta de Mita.

Tabla 2. Descripción de la geología de la zona.

| Clave | Clase | Tipo | Era | Período | Área km ² |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------|-------------|----------------------|
| K(Gr) | Ígnea intrusiva | Granito | Mesozoico | Cretácico | 20.85 |
| K(Vc) | Ígnea extrusiva | Volcanoclástico | Mesozoico | Cretácico | 23.19 |
| Q(al) | Suelo | Aluvial | Cenozoico | Cuaternario | 1.14 |
| Tpl- Q(B) | Ígnea extrusiva | Basalto | Cenozoico | Neógeno | 3.8 |
| K(A) | Ígnea extrusiva | Andesita | Mesozoico | Cretácico | 5.52 |
| Q(cg) | Sedimentaria | Conglomerado | Cenozoico | Cuaternario | 3.51 |

4.1 Estratigrafía

La composición pétrea de Punta de Mita está constituida por rocas ígneas intrusivas y sedimentarias, todas ellas de diferentes edades geológicas.

El Batolito Puerto Vallarta (Gastil y colaboradores, 1978), aflora en forma de complejos ígneos, troncos, apófisis y diques, cuya composición varía de diorita a tonalita en la región de Punta Mita.

Las rocas de la porción SE corresponden a flujos de lavas basálticas del tipo de basaltos vesiculares, los cuales se prolongan desde la costa hasta el piso marino, se encuentran intercalados con flujos piroclásticos los cuales contienen clastos de basalto vesicular, areniscas epiclásticas y areniscas-conglomerado, también se aprecian en la costa pillow lavas asociadas a lavas basálticas, estas rocas presentan una alteración abundante sobre todo de la matriz, en promedio de un 50 al 60% de la roca total, esto es un factor que ha impedido realizar fechamiento a las rocas y el uso de determinados diagramas, por la movilidad de los elementos (Cruz-Ocampo y colaboradores, 2002).

4.2 Geología estructural

Se trata de una región con grandes esfuerzos tectónicos, debido probablemente a la cercanía del punto triple (confluencia de los grabens de Chapala y Colima septentrional y la zona de extensión de Tepic-Zacoalco, (Luhr y colaboradores, 1985). El resultado de estos esfuerzos es la alta sismicidad registrada.

La placa continental presenta muchos rasgos estructurales, resultado de estos esfuerzos. Algunos alineamientos de sismicidad coinciden con estos rasgos estructurales.

Álvarez (2005) plantea la hipótesis de que el cambio de orientación del cañón de Banderas, de E-W a N-E, ocurrió hace unos 5 Millones de años asociado a un proceso tectónico de gran envergadura, que creó el sistema de fallas NE y dio origen a la zona de graben del Valle de Banderas. El proceso más conspicuo en ese lapso fue el inicio de la migración de Baja California hacia el NW, por lo que preliminarmente asociamos la reorientación del eje del cañón de Banderas a ese proceso.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero corresponde a uno de tipo libre. Asimismo, no se tiene registro de los cortes litológicos de los 28 pozos que se han perforado en la zona. Los materiales que conforman el acuífero son: roca volcanoclástica, andesita y conglomerado. El marco litológico representado por roca volcanoclástica muestra fracturas que dan como resultado una permeabilidad media; está intrusionada por granito de permeabilidad también baja.

La unidad subyace a conglomerado poco consolidado, de matriz areno-arcillosa, muy permeable, que está expuesto en las puntas Mita y Villela. Los espesores máximos explorados en la zona del valle son de 210 m.

5.2 Parámetros hidráulicos

La información de los parámetros hidráulicos procede de la interpretación de 5 pruebas de bombeo, realizadas durante el estudio de 2007, se interpretaron mediante el método de Hantush, Theis y Cooper-Jacob para las pruebas de abatimiento y el método Theis para las pruebas de recuperación.

En los resultados se observa que los valores de T (prueba de abatimiento) varían de 0.325×10^{-3} a 0.0585×10^{-3} m²/s y de T (prueba de recuperación) varían de 0.141×10^{-3} a 0.00617×10^{-3} m²/s, en tanto que para K se obtuvieron valores que oscilan entre 0.049680 y 0.187488 m/d en las pruebas de abatimiento; 0.004095 y 0.093312 m/d en las pruebas de recuperación.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se tomó en cuenta la información recabada en el estudio de 2007. Se nivelaron 22 pozos.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

En términos generales el comportamiento de la profundidad al nivel estático para el mes de octubre del 2007 varía de 0 hasta 70 m; el pozo 180822 del predio Emiliano Zapata presentó una profundidad de 85.76 m, siendo este el de mayor profundidad, seguido del 180823 con 73.7 m, este último localizado en el predio Coamiles, ambos ubicados en la localidad de Punta de Mita.

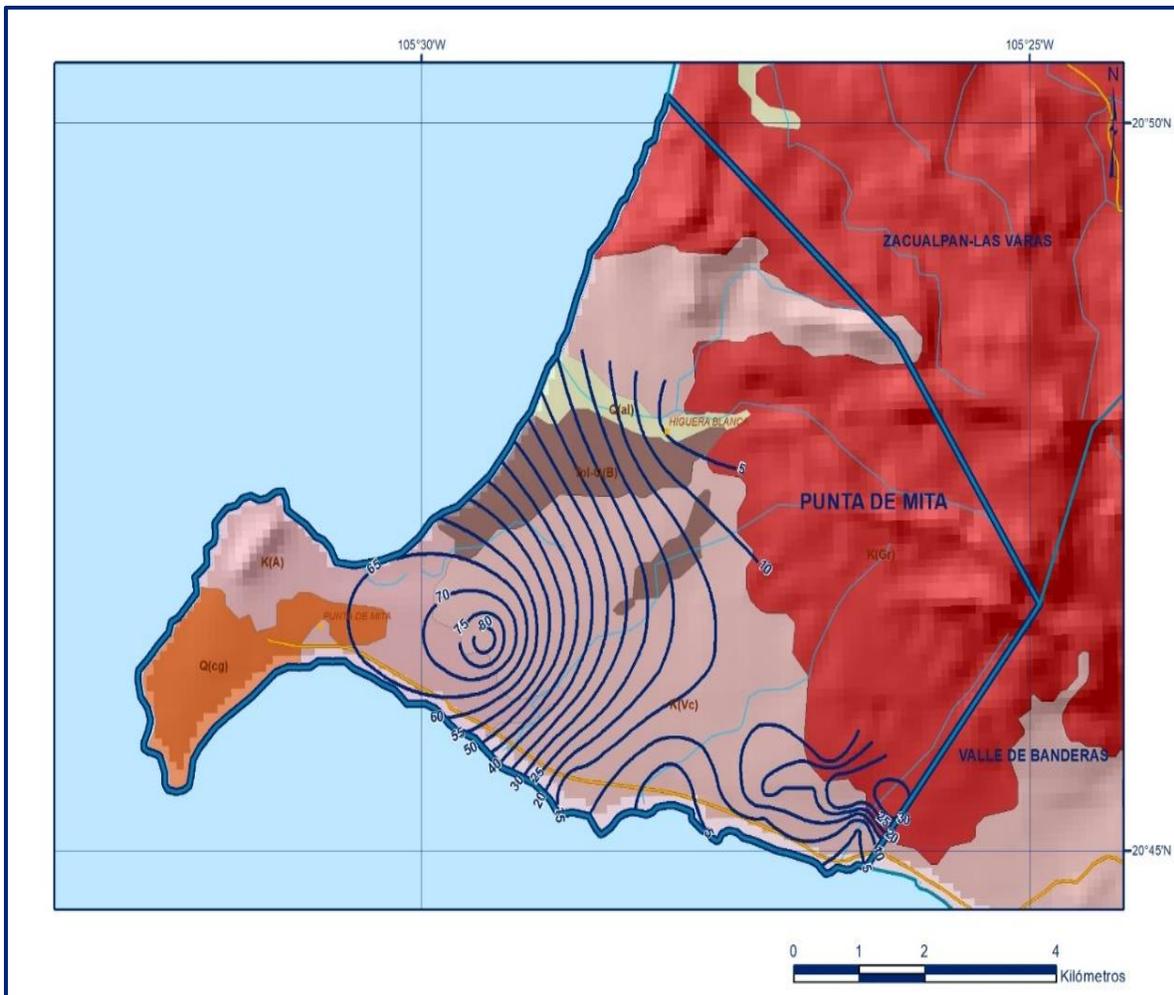


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2007)

La configuración de profundidades tiene un comportamiento relativamente somero en las proximidades a las serranías, debido a que en esta zona el acuífero está siendo explotado. Y las partes de Punta de Mita, arriba mencionadas, imperan las profundidades mayores, debido al intenso bombeo del recurso (figura 3). En la configuración de profundidad de noviembre, no presenta variación significativa con respecto a la obtenida en el mes de octubre.

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con base en la piezometría levantada en octubre y noviembre de 2007, se realizaron las configuraciones del nivel estático con variaciones espaciales de la carga hidráulica que revelan una dirección preferencial del flujo de aguas subterráneas en sentido NE-SW proveniente de las zonas de mayor elevación (figura 4).

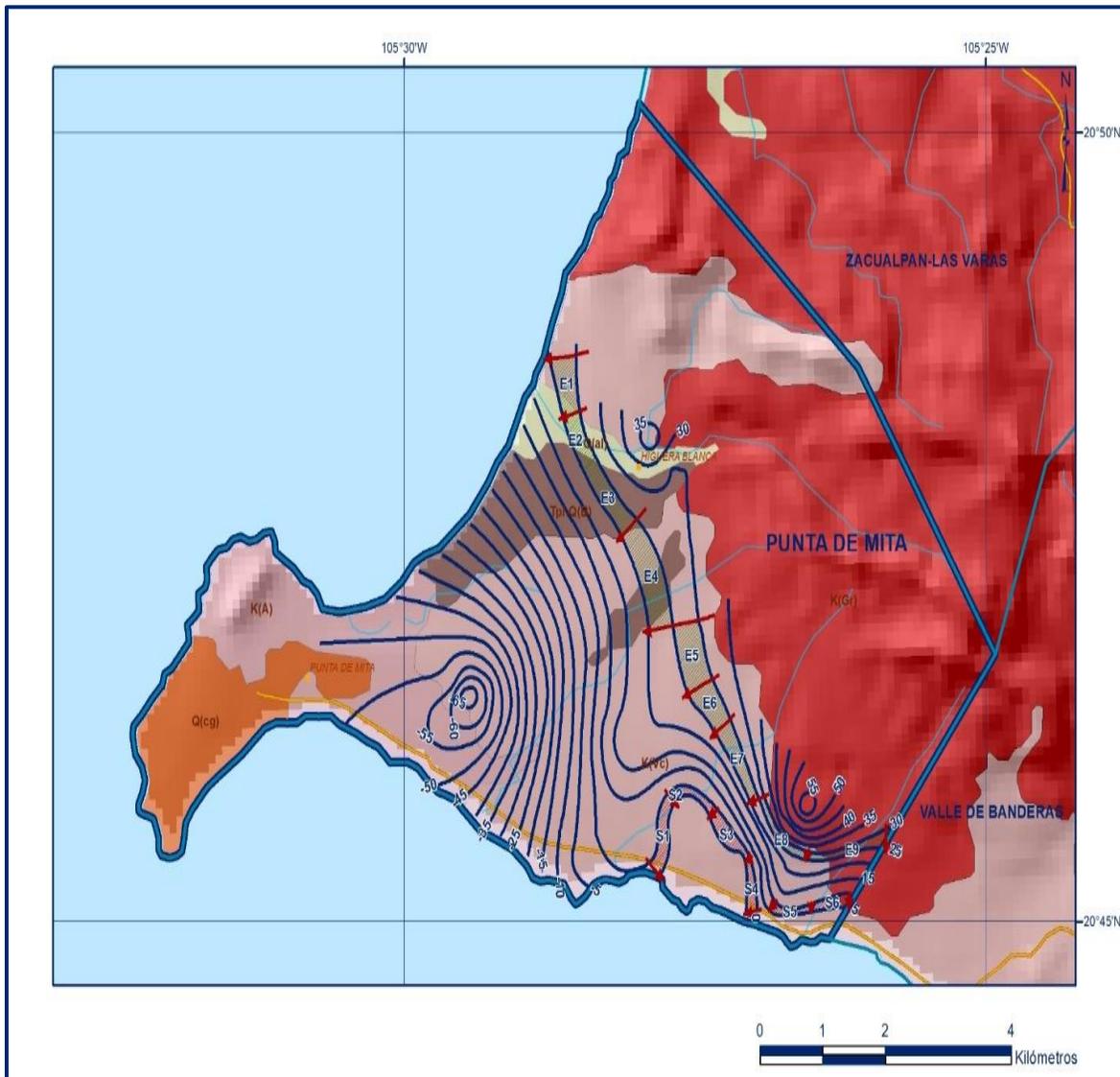


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2007)

Los gradientes hidráulicos varían de 0.015 a 0.038 debido a los cambios de permeabilidad en los depósitos granulares más arcillosos, en contraste con las arenas gruesas, y la proximidad con las rocas graníticas de muy baja permeabilidad.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Para determinar la evolución del nivel estático con respecto al tiempo fueron tomados en cuenta las mediciones piezométricas realizadas en el segundo recorrido piezométrico del estudio de 2007.

No se detectan conos de abatimiento o inversiones de gradientes hidráulicos en general, excepto en la zona de Coamiles donde hay un abatimiento de 4 m, atribuido al incremento del bombeo por el término de la temporada de lluvias (figura 5).

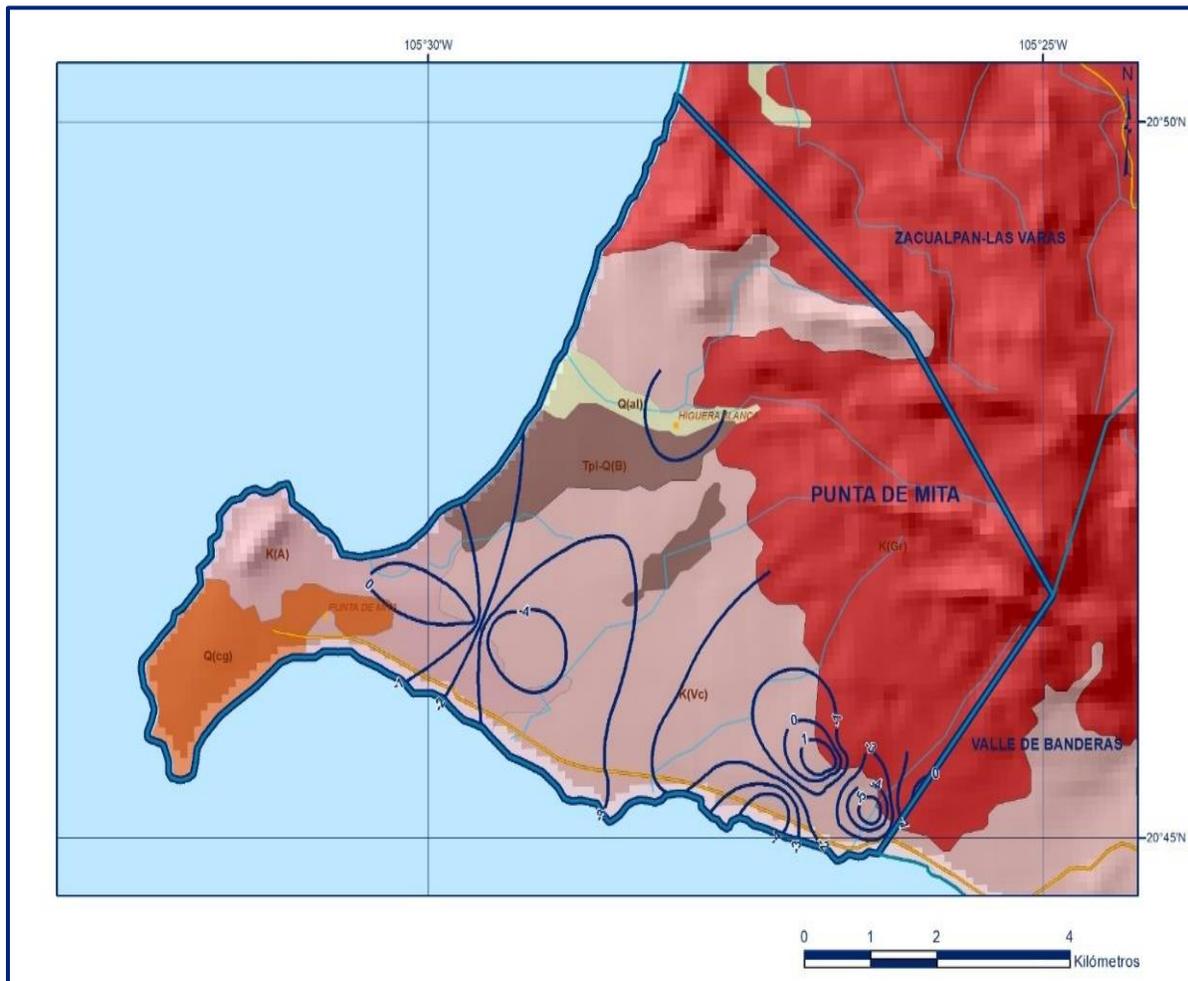


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (2007)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Dentro de las actividades del estudio realizado en 2007, se analizaron 6 muestras de agua subterránea, los resultados fisicoquímicos sugieren que en términos generales el agua es de moderada salinidad por lo que en cuanto a elementos mayores se refiere, básicamente no presenta problemas de calidad para uso y consumo humano.

Las concentraciones de sólidos totales disueltos (STD) no superan las 800 partes por millón (ppm), por debajo de las 1000 ppm que establece la Norma Oficial Mexicana para el agua destinada al consumo humano. La mayor salinidad se presenta en los pozos costeros.

Las familias de aguas que predominan son HCO₃-Ca y HCO₃-Mix; los pozos que están clasificados como HCO₃-Ca son los localizados en las cercanías del inicio de las partes más altas del acuífero, topográficamente hablando. Y los otros 3 pozos restantes están localizados en la planicie de la península del acuífero Punta de Mita.

El pozo que manifiesta contaminación difusa por intrusión salina es el IMTA 04, localizado en el predio El Banco.

El análisis bacteriológico realizado, nos muestra que el 80% de las muestras analizadas tienen presencia de coliformes fecales y coliformes totales. Por lo que se recomienda clorar el agua para consumo humano.

De acuerdo con la clasificación de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de alto contenido de salinidad (C3) y bajo contenido de sodio (S1), 67% y 83% de las muestras respectivamente.

Existe un sitio detectado con problemas de altos contenidos de salinidad (C3) y de sodio (S3), en el predio de Coamiles, lo que requiere de un manejo especial del suelo, que tenga un drenaje adecuado y se le agregue materia orgánica.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el censo realizado en 2007, existen 28 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 24 se encuentran activos.

El uso principal del agua es servicios (59%), el segundo lugar lo ocupa el doméstico y servicios (21%) y en menor medida, público-urbano (8%), doméstico (8%), y agrícola (4%), utilizando para este análisis únicamente los pozos activos.

La extracción estimada es de **2.8 hm³/año**.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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:

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

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 en el acuífero:

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

$$E_h + R_v - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(s)$$

Donde:

E_h Entradas horizontales subterráneas

R_v Recarga vertical

B Bombeo

S_h Salidas horizontales subterráneas

ETR Evapotranspiración

$\Delta V(s)$ Cambio de almacenamiento

Considerando que la información previa disponible no permite plantear un balance para un periodo de tiempo mayor que corresponda a la misma temporada del ciclo climatológico, se decidió plantear el balance para el año 2007 (octubre).

El área de balance definida es 29.09 km² que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica, en la cual se localizan la mayoría de los aprovechamientos.

7.1 Entradas

La recarga total (R_t) al acuífero Punta de Mita está integrada primordialmente por las entradas subterráneas (E_h) y la recarga vertical por lluvia (R_v) que se infiltra en las zonas no cubiertas por la capa impermeable de las zonas urbanas.

7.1.1 Recarga vertical

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene escasa información se decidió emplear el balance hidrometeorológico.

Para realizar este balance se requiere conocer entre otros parámetros, los volúmenes de escurrimiento que se presentan por lluvia dentro del área, es decir, es necesario determinar el volumen de agua que se genera por cuenca propia; sin embargo, no se disponen de aforos específicos que permitan cuantificar dicho volumen, en este sentido a continuación se menciona la forma en que se procedió para obtenerlo.

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se puede utilizar el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 17 de abril de 2002, que señala que en caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento (tabla 3).

Tabla 3. Balance hidrometeorológico.

| Coeficiente de Escurrimiento (Ce) | Balance hidrometeorológico | | | | Coeficiente de infiltración |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------|
| | Escurrimiento (hm ³ /año) | Precipitación (hm ³ /año) | Evapotranspiración (hm ³ /año) | Infiltración (hm ³ /año) | |
| 0.1569 | 5.5 | 34.9 | 25.8 | 3.642 | 0.104 |

| Área (km ²) | Temperatura (°C) | L Turc | X Coutagne | Precipitación (mm) | Evapotranspiración Turc (mm) | Evapotranspiración Coutagne (m) |
|-------------------------|------------------|--------|------------|--------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 29.09 | 27.1 | 1972.6 | 0.217675 | 1200 | 1064.8 | 0.887 |

El volumen anual medio de escurrimiento natural en términos genéricos es igual a la precipitación media anual multiplicada por el área y un coeficiente de escurrimiento.

El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que está en función del tipo y uso de suelo. Al respecto para la zona se consideró un valor medio ponderado de K=0.225, que corresponde a suelos medianamente permeables, uso de suelo cubierto del 50 al 75% (0.24), Bosque cubierto del 50 al 75% (0.22) y zonas urbanas (0.29), con 15%, 80% y 5% del área respectivamente, aplicando a su vez el valor de K en la ecuación del coeficiente de escurrimiento se obtiene un valor de Ce= 0.1569.

La recarga vertical, por éste método, únicamente se calculo en el área del valle, para no duplicar áreas con el cálculo de las entradas horizontales.

$$C_e = \frac{K(P - 250)}{2000} + \frac{(K - 0.15)}{1.5}$$

Donde:

C_e Coeficiente de escurrimiento

K Parámetro en función del tipo de suelo

TURC

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

Donde:

ETR Evapotranspiración (mm/año)

P Precipitación (mm/año)

T Temperatura (°C)

COUTAGNE

$$ETR(m) = P - XP^2 \quad X = \frac{1}{(0.8 + 0.14t)}$$

Donde:

ETR Evapotranspiración (m/año)

P Precipitación (m/año)

t Temperatura (°C)

El valor estimado de la recarga es de **3.6 hm³/año**.

7.1.2 Entradas subterráneas horizontales

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 fluyen hacia la planicie y hacia el mar.

Para su cálculo se utilizó la configuración de las curvas de igual elevación del nivel estático correspondiente a octubre de 2007, mostrada en la Figura 4. Con base en esta

configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal Q que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 4 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de 0.7 hm³/año.

$$Q = B * i * T$$

Donde:

B: Ancho (m) del caudal de flujo

i: Gradiente hidráulico ($i = h_2 - h_1 / L$); h y L: son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo

T: Transmisividad (m²/s) en el canal de flujo

Tabla 4. Entradas subterráneas por flujo horizontal.

| Canal | Longitud L [m] | Ancho B [m] | h_2-h_1 [m] | Gradiente i [adimensional] | Transmisividad T [m ² /s] | Caudal Q [m ³ /s] | Volumen V [hm ³ /año] |
|-------|----------------------|-------------------|------------------|----------------------------------|--|------------------------------------|--|
| E1 | 930 | 330 | 5 | 0.0152 | 0.000141 | 0.001987 | 0.062656 |
| E2 | 710 | 240 | 5 | 0.0208 | 0.000141 | 0.002086 | 0.065772 |
| E3 | 780 | 240 | 5 | 0.0208 | 0.000141 | 0.002291 | 0.072257 |
| E4 | 1130 | 360 | 5 | 0.0139 | 0.000141 | 0.002213 | 0.069787 |
| E5 | 950 | 420 | 5 | 0.0119 | 0.000059 | 0.000662 | 0.020864 |
| E6 | 690 | 340 | 5 | 0.0147 | 0.000059 | 0.000594 | 0.018720 |
| E7 | 1190 | 150 | 5 | 0.0333 | 0.000086 | 0.003423 | 0.107955 |
| E8 | 900 | 90 | 5 | 0.0556 | 0.000086 | 0.004315 | 0.136078 |
| E9 | 1130 | 130 | 5 | 0.0385 | 0.000086 | 0.003751 | 0.118283 |
| | | | | | | | 0.7 |

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son valores promedio obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en el estudio de 2007.

7.2 Salidas

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

7.2.1 Evapotranspiración

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

Existen dos formas de evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR). Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración.

En algunas zonas del área de balance los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración.

Se aplicó el método de Turc para calcular que la lámina de evapotranspiración real es de 1,064.8 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 27.1° C y precipitación de 1,200 mm.

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

$$P (mm) = 1200$$

$$P^2 = 1440000$$

$$L = 1972.63$$

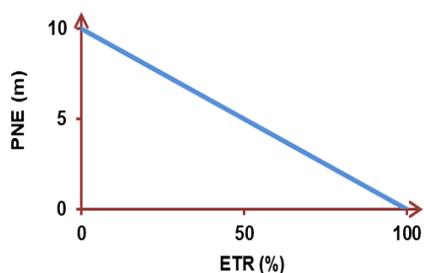
$$L^2 = 3891251.56$$

$$ETR (mm) = 1064.8$$

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, 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 retenido, 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 es nulo y a 0 m el valor es del 100%, a 5 m el 50%, a 2 m el 80%, etc.



De la configuración de profundidad al NE mostrada en la Figura 3, correspondiente a octubre de 2007, se consideran las curvas menores e iguales a 10 m, se calcula el área entre ellas y se toma el valor promedio (entre las curvas de 2 y 4 metros en valor promedio será 3, por ejemplo).

El resultado de multiplicar el valor promedio por el área entre las curvas, deberá ponderarse de acuerdo a la relación lineal mencionada anteriormente, en este caso particular como el valor medio de profundidad es de 3 m, se multiplicará por 0.7 (que significa que a esta profundidad, el 70% es susceptible de evapotranspiración. Lo mismo se hace para cada área comprendida entre dos curvas de profundidad menor a 10 m. Al final se obtendrá la suma de los volúmenes evapotranspirados.

El resultado de este proceso se presenta en la tabla 5, en la que se muestra que el valor de la evapotranspiración real calculado es de 1.6 hm³ anuales.

Tabla 5. Cálculo de la evapotranspiración.

| Intervalo curvas [m] | Profundidad considerada [m] | Área [km ²] | % | ETR [m] | Vol ETR [hm ³ /año] |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|-----|---------|--------------------------------|
| 2 a 4 | 3 | 0.210162 | 0.7 | 1.065 | 0.157 |
| 2 a 4 | 3 | 0.027872 | 0.7 | 1.065 | 0.021 |
| 0 a 2 | 1 | 0.124561 | 0.9 | 1.065 | 0.119 |
| 2 a 4 | 3 | 0.427381 | 0.7 | 1.065 | 0.319 |
| 4 a 6 | 5 | 0.356099 | 0.5 | 1.065 | 0.190 |
| 6 a 8 | 7 | 0.426572 | 0.3 | 1.065 | 0.136 |
| 8 a 10 | 9 | 0.488797 | 0.1 | 1.065 | 0.052 |
| 2 a 4 | 3 | 0.174366 | 0.7 | 1.065 | 0.130 |
| 4 a 6 | 5 | 0.334732 | 0.5 | 1.065 | 0.178 |
| 6 a 8 | 7 | 0.565750 | 0.3 | 1.065 | 0.181 |
| 8 a 10 | 9 | 0.704094 | 0.1 | 1.065 | 0.075 |
| 9 a 11 | 10 | 0.016602 | 0.0 | 1.065 | 0.000 |
| | | | | | 1.6 |

7.2.2 Bombeo

La extracción de agua subterránea en el área ha variado a través del tiempo y de acuerdo con la estimación más reciente, dicha extracción efectuada por bombeo es del orden de 2.8 hm³/año, destinado principalmente a servicios.

7.2.3 Salida de flujo subterráneo horizontal

Las salidas subterráneas que ocurren como descarga hacia el mar fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del NE presentado en la Figura 4. El valor estimado es de 0.03 hm³ anuales, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Salidas subterráneas por flujo horizontal

| Canal | Longitud L [m] | Ancho B [m] | h ₂ -h ₁ [m] | Gradiente i [adimensional] | Transmisividad T [m ² /s] | Caudal Q [m ³ /s] | Volumen V [hm ³ /año] |
|-------|----------------|-------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| S1 | 900 | 230 | 5 | 0.0217 | 0.000006 | 0.000121 | 0.003807 |
| S2 | 900 | 150 | 5 | 0.0333 | 0.000006 | 0.000185 | 0.005837 |
| S3 | 690 | 120 | 5 | 0.0417 | 0.000006 | 0.000177 | 0.005594 |
| S4 | 540 | 150 | 5 | 0.0333 | 0.000006 | 0.000111 | 0.003502 |
| S5 | 690 | 160 | 5 | 0.0313 | 0.000006 | 0.000133 | 0.004196 |
| S6 | 600 | 180 | 5 | 0.0278 | 0.000006 | 0.000103 | 0.003243 |
| | | | | | | | 0.026179 |

7.3 Cambio de almacenamiento

Una vez calculados los componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar el cambio de almacenamiento, tomando en cuenta todas las variables anteriormente calculadas y sustituidas en la siguiente expresión:

$$\Delta V(s) = Eh + Rv - B - Sh - ETR$$

$$\Delta V(s) = 0.7 + 3.6 - 2.8 - 0.03 - 1.6$$

$$\Delta V(s) = -0.13$$

En la tabla 7 se presenta el resumen del cálculo del balance en el acuífero.

Tabla 7. Resumen del balance.

| Entradas | Volumen [hm ³ /año] | Salidas | Volumen [hm ³ /año] |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Recarga vertical | 3.6 | Evapotranspiración | 1.6 |
| Recarga inducida | 0.0 | Bombeo | 2.8 |
| Entrada subterránea | 0.7 | Salidas subterráneas | 0.03 |
| | | Cambio de almacenamiento | -0.13 |
| Total de entradas | 4.3 | Total de salidas | 4.3 |

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **4.3 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Punta de Mita, el volumen de la descarga natural comprometida es de **DNC= 0.0 hm³/año**, correspondiente a las salidas subterráneas hacia el mar.

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 (REPGA), 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 **3,509,915 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 4.3 - 0.0 - 3.509915 \\ \text{DMA} &= 0.790085 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **790,085 m³ anuales**.