



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO MATOMÍ-PUERTECITOS (0238),
ESTADO DE BAJA CALIFORNIA**

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.....	5
3.1 Provincia fisiográfica	5
3.2 Clima	5
3.3 Hidrografía.....	6
3.4 Geomorfología.....	6
4. GEOLOGÍA.....	7
4.1 Estratigrafía	8
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.....	17
5.4.3 Evolución del nivel estático	20
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	20
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	20
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
7.1 Entradas.....	22
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	22
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	23
7.2 Salidas	25
7.2.1 Evapotranspiración (ETR).....	25
7.2.2 Bombeo (B)	25
7.2.3 Salidas por flujo horizontal (Sh).....	26
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)	27
8. DISPONIBILIDAD	27
8.1 Recarga total media anual (R).....	28
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	28
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	28
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	29
9. BIBLIOGRAFÍA	30

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 Matomí-Puertecitos, definido con la clave 0238 por la Comisión Nacional del Agua, con un área de 1,259 km², se localiza en el sureste del estado de Baja California y está delimitado por las coordenadas geográficas 115° 01' y 114° 39' longitud Oeste y 30° 43' y 30° 17' de latitud norte.

Colinda al norte con el acuífero San Felipe-Punta Estrella, al Noreste con Valle Chico-San Pedro Mártir, al oeste con El Rosario, al sur con El Huerfanito y al este con el Golfo de Baja California.

Se encuentra delimitado por las Sierras de Santa Isabel hacia el sur, al noroeste con la Sierra de San Felipe y más hacia el noreste se encuentra la Sierra San Pedro Mártir.

Geopolíticamente se encuentra ubicado en el municipio de Ensenada.



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 geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	114	43	17.5	30	17	39.0	
2	114	46	14.9	30	18	38.1	
3	114	47	51.8	30	21	32.2	
4	114	52	53.9	30	22	26.4	
5	114	55	48.0	30	19	37.2	
6	114	58	14.2	30	21	20.7	
7	115	0	49.4	30	30	51.4	
8	114	58	25.7	30	29	59.6	
9	114	57	10.4	30	36	58.5	
10	114	54	58.2	30	41	58.3	
11	114	50	39.0	30	43	33.1	
12	114	46	47.7	30	42	10.4	
13	114	42	16.1	30	42	59.9	DEL 13 AL 14 POR LA LINEA DE BAJAMARA A LO LARGO DE LA COSTA
14	114	39	9.8	30	17	14.6	
1	114	43	17.5	30	17	39.0	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Matomí-Puertecitos pertenece al Organismo de Cuenca I “Península de Baja California” y su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en el Estado de Baja California”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de mayo de 1965. Clasificado como tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El uso principal del agua subterránea es el doméstico. Dentro de su territorio 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

TRABAJOS DE PERFORACIÓN CON EL FIN DE OBTENER INFORMACIÓN SOBRE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA EL USO AGRÍCOLA. Realizados del 10 al 15 de julio de 1975 por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección de Geohidrología de Zonas Áridas Residencia en el estado de Baja California.

Para el pozo PBCEM-1 en el Ejido Matomí se obtuvieron los siguientes resultados: NE = 34.87 m, el gasto máximo $Q = 0.3$ lps, y el Nivel Dinámico ND = 38.26 m, con una profundidad total del pozo de 99.0 m. Así como valores de conductividad eléctrica con 2300 Micromhos/cm, temperatura de 25 °C y pH de 8.0.

Para 1984 se retoma la opinión omitida en el estudio anterior donde no se creyó conveniente la explotación del agua subterránea para el uso agrícola, esto con el fin de obtener información reciente que permita rectificar dicha opinión.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo a las Provincias Fisiográficas realizada por E. Raíz (1964), Baja California está constituida fundamentalmente por un bloque de falla inclinado, de 1,600 km de largo y de 48 a 96 km de ancho, en la parte norte existen sierras abruptas, cuyas rocas son principalmente granitos, con alturas que alcanzan los 3,300 m. En el sur predominan las rocas estratificadas constituidas por lavas y clásticos con echados en su mayor parte horizontales siendo de 660 m las alturas de las sierras. Incisiones a todo lo largo de la provincia son típicas de desiertos, cañones con paredes escarpadas, amplios valles rellenos con arena y una ramificación intensa de tributarios, son comunes también los grabens rellenos, muchos de los cuales tienen volcanes.

El acuífero Matomí-Puertecitos se encuentra localizado en la subprovincia fisiográfica de la Sierra Volcánica (Manuel Álvarez Jr). Que inicia con el Volcán de las Tres Vírgenes y la Sierra de Santa Lucía, que forma el extremo norte de la cadena de montañas conocida como la Sierra la Giganta, que se extiende por el borde oriental de la península hasta cerca del área de la Paz.

Ésta sierra está formada por cuellos volcánicos y lavas que forman mesetas inclinadas hacia el Pacífico, por lo que las crestas más elevadas se encuentran a lo largo del Golfo de California; de ellos el Cerro de la Giganta se eleva a más de 1,900 m.

3.2 Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García (1964), para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana, el acuífero Matomí-Puertecitos presenta a nivel regional: Tipos de climas muy secos BW (con lluvias en verano, invierno y escasas todo el año)

Subtipos muy secos, muy cálidos y cálidos: BW (h´) hw (x')

Subtipos muy secos templados: BWKw (x')

Subtipos muy secos semicálidos: BWhw (x')

Tipos de climas secos BSo (con lluvias en invierno mayor de 36 mm).

De la estación climatológica, Agua de Chale clave 02-132 se obtuvo para el acuífero una precipitación anual muy variable para el periodo 1982-2008, una precipitación media anual de 72 mm, el año en que se registró la mayor precipitación fue en 1997, con un valor de 279.5 mm, en tanto que el año en que se registró la menor precipitación total anual fue en 1989, con un valor del orden de los 18 mm.

La estación climatológica Agua de Chale, para el periodo de 1982-2008, indica una temperatura media anual de 23° C en el mes de agosto es el más caluroso con una temperatura promedio de 31.6° C y el más frío es enero con 15.1° C.

3.3 Hidrografía

La cuenca hidrológica del Valle de Matomí Puertecitos se encuentra ubicada en la región hidrológica No.4. Baja California Noreste.

En el área existen varios cauces, todos ellos de tipo intermitente presentando dos tipos de drenaje, radial centrípeto en la parte donde escurren los cauces de la Mesa Cuadrada y el Cerro Amparo, y de tipo subparalelo más hacia la costa, donde la Mesa El Tábano y una porción de la Sierra Santa Isabel escurren. El orden tributario del drenaje es principalmente de 1er y 2do orden aunque también se encuentran en la parte Sur del acuífero, tributarios de 3er orden que provienen de la Sierra de Santa Isabel.

3.4 Geomorfología

El acuífero Matomí-Puertecitos está integrado por un conjunto de Sierras, Mesetas y Valles producto de los procesos tectónicos y sedimentarios que ha sufrido a través de su historia. Las elevaciones mínimas se encuentran cercanas a la costa, con pendientes menores a 1°, la elevación más alta se encuentra en el límite Noroeste del acuífero en la Sierra de San Felipe con una elevación de 1,280 msnm.

En la parte intermedia entre la sierra de San Felipe y la línea de costa existen algunas geoformas como mesas y lomeríos que presentan alturas que varían entre los 600 m en promedio.

La Sierra de San Felipe, tiene una longitud de 67.5 km. aproximadamente y una amplitud de 20 km, está ubicada en la porción Sur-central de lo que es la subprovincia fisiográfica.

Esta estructura, de acuerdo al análisis geológico estructural, se considera que ha sido afectada por fallas laterales de evolución compleja, alcanza elevaciones de 1,200 msnm y tiene una orientación norte-sur.

La Sierra de Santa Isabel, está localizada en la porción Sur-central de la subprovincia; constituida principalmente por tobas de composición ácida y derrames aislados de composición basáltica. Alcanza elevaciones de 1,240 msnm, con una orientación aproximada Norte-Sur, y con una longitud de 50 km y una amplitud de 37.5 km.

4. GEOLOGÍA

En el valle Matomí-Puertecitos afloran rocas de distintas edades y composición, la zona de recarga del acuífero está compuesta por tonalitas de edad mesozoico tardío, con fracturamiento de dirección NW-SE, hacia la parte Sureste afloran rocas volcánicas extrusivas de composición ácida y de edad cenozoico que presentan la misma tendencia de fracturamiento, estas dos unidades forman la zona de recarga del acuífero.

Dentro de la cuenca existen pequeños afloramientos de tonalitas, dioritas y riolitas cubiertas por depósitos de rocas y material sedimentario, como es la capa de sedimentos aluviales que cubre al valle en su mayoría, areniscas y conglomerados todos estos de edad reciente (figura 2).

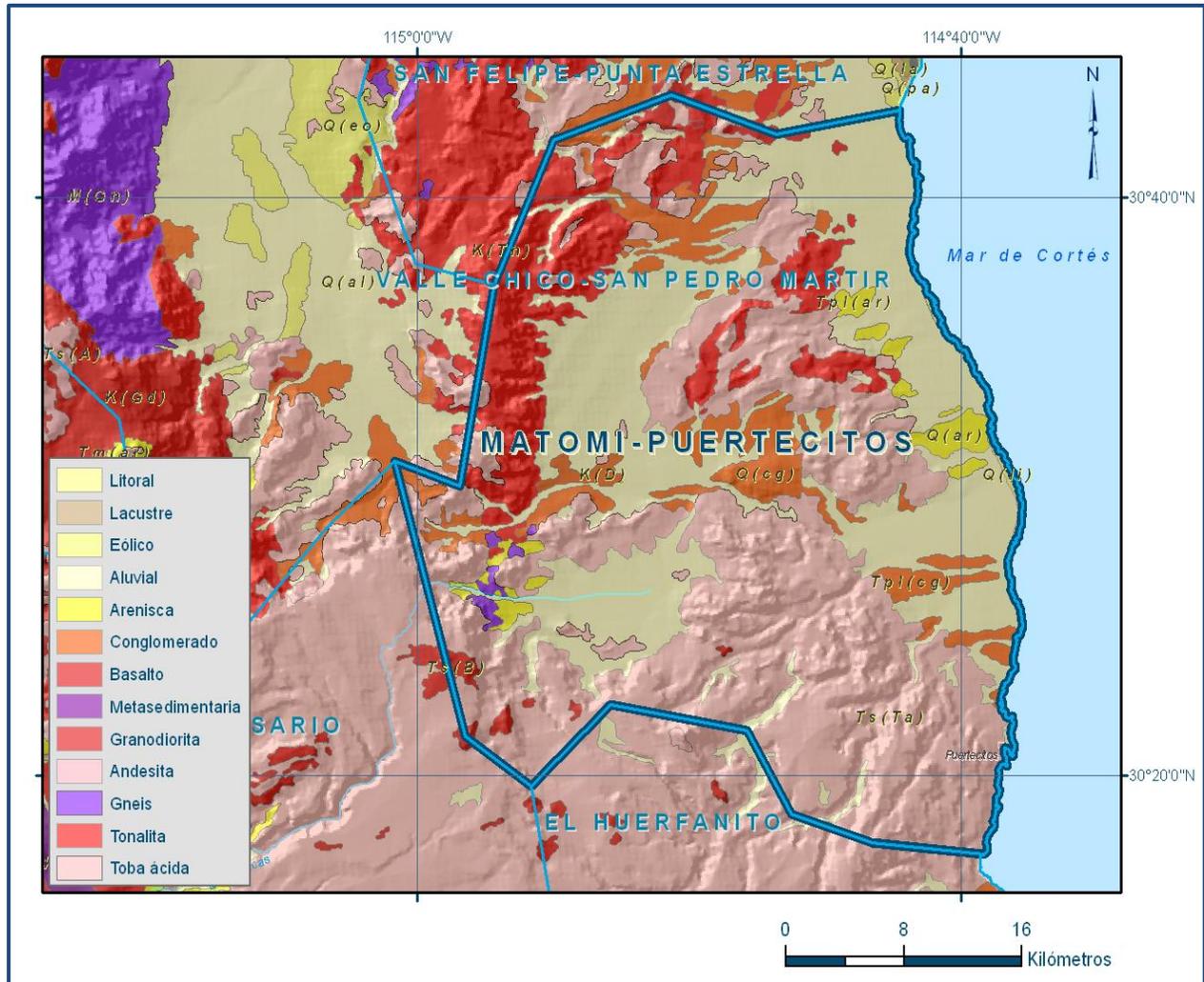


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

El acuífero Matomí-Puertecitos está compuesto por distintas unidades geológicas dispuestas en formaciones de distinta composición y edad, estas formaciones se describen a continuación.

Complejo Metamórfico Paleozoico. Está constituido por mármol, esquisto y gneis generados por dinamometamorfismo de alto grado en rocas sedimentarias, que provoca una foliación con rumbo de N70°W con 30 o 40 grados de inclinación hacia el NE.

Esta unidad representa el basamento regional de la península, con presencia de fósiles en metareniscas y en calizas levemente metamorfoseadas, que sitúan a esta unidad dentro del Mississipico-Pensilvánico. Morfológicamente forma lomeríos de pendiente suave, en ocasiones interrumpidos por pequeños escarpes.

Formación San Hipólito (Tr – Jr). La constituyen una serie de rocas carbonatadas, clásticas y volcánicas que fueron sometidas a un proceso de dinamometamorfismo así como a un proceso de metamorfismo de contacto, dando como resultado filitas, esquistos, skarns y hornfels, la orientación principal de su foliación es Noroeste-Sureste. Esta unidad sedimentaria se atribuye a una secuencia de arco insular. Presenta un espesor de 200 m aproximadamente. Morfológicamente forma cerros de topografía abrupta, a diferencia de la unidad paleozoica y junto con esta forma el cinturón metamórfico prebatolítico, que tiene sus principales afloramientos en las sierras de Juárez y San Pedro Mártir.

Formación Alisitos (Kas). De edad Aptiano-Albiano, serie volcanosedimentaria representada en la base por rocas metasedimentarias consistentes en esquistos, filitas, calizas, lutitas, areniscas y hornfels, que se distribuyen en afloramientos de poca extensión.

Posteriormente un depósito de meta andesitas, meta dacitas y meta riodacitas, posteriores a estas rocas se encuentran andesitas, brechas andesíticas, tobas andesíticas, dacíticas y riodacitas. En la cima se encuentran calizas con crinoides, rudistas, corales y restos de braquiópodos intercaladas en las rocas volcánicas.

Formación Rosario (Kr). Está formada por un grupo de lutitas, areniscas y conglomerados con presencia de fósiles de origen continental y marino. Esta formación sobreyace discordante a la formación Alisitos formando el tercer cinturón (postbatolítico), cuyo límite oriental es la llamada línea “Santilla Barrer”, que representa el límite de dos eventos tectónicos. Tiene un espesor aproximado de 750 m situado en el Maestrichtiano.

Formación Bedford Canyon (KsGd-Tn). Integrada por un conjunto de bloques caóticos empastados en una masa arcillosa, de calizas del Jurásico Medio al Tardío.

Los protolitos de la formación Bedford Canyon y por lo consiguiente de la formación Valle Frenchman así como la del esquisto Julián han sido interpretados como trincheras o depósitos trinchera-talud.

Los ambientes de ante-arco y retro-arco son posibles (Todd, 1988). Hacia la parte oriental se encuentran granitoides fuertemente deformados de edad Jurásico Medio, su historia geológica se deduce del esquisto Julián.

Formación Esquisto Julián. Consiste de lutitas, areniscas y conglomerados metamorfoseados con pequeños cuerpos de anfibolita y mármol. Se trata de una secuencia metasedimentaria de paquetes interdigitados de esquistos, filitas y pizarras, predominando en algunas partes gneis.

En general el grado de metamorfismo es variable. Los esquistos que se observan son micáceos y de facies de esquistos verdes con clorita y en otras localidades como la del arroyo Corral Blanco son talcosos.

Formación San Diego (Plc). Suprayace a la formación Rosarito Beach y en discordancia a la formación Linda Vista, formada por conglomerados, con intercalaciones de arenisca de matriz café a rojiza, presenta además sedimentos fluviales depositados en los lechos de los ríos, coluviales; estos asociados a fuertes pendientes y aluviones debido a movimientos de ladera.

Sierra Las Pintas (KsD). Constituida por rocas volcánicas que pertenecen a dos probables períodos de vulcanismo; el primero dio origen a dacitas y andesitas que afloran en la porción centro-norte, la edad varía de 7.6 a 9.5 \pm 10 Ma (Gastil, 1975) estas rocas se encuentran afectadas por cuerpos intrusivos porfídicos de composición andesítica y riodacítica, el segundo periodo de vulcanismo generó derrames riolíticos y andesíticos que afloran en la misma proporción que las rocas anteriores.

Las rocas mencionadas anteriormente pertenecen a la secuencia volcánica Sierra las Pintas con espesor de más de 1500 m, estas sobreyace a rocas metamórficas de edad paleozoica y graníticas cretácicas (Leie-Hangel-Hardt, 1993).

Además presentan discordancias internas y bloques basculados que sugieren una actividad tectónica fuerte en este centro volcánico que fue deformado y sobreyace

concordantemente a esta secuencia y discordantemente a las unidades paleozoicas y mesozoicas se encuentra la unidad de basalto de edad Mioceno tardío.

Unidad Eólica (Qhoal). Integrada por arena de grano fino a medio, se encuentran bien redondeadas y clasificadas, derivadas de rocas ígneas y metamórficas, presenta además minerales y fragmentos de moluscos, expuestos en las zonas costeras y en algunos valles presentando pocos metros de espesor y formando dunas paralelas a la línea de costa.

Batolito Cretácico de Baja California (Kr). Grupo de cuerpos intrusivos de composición granítico-tonalítica-granodiorítica, que localmente están constituidos por plutones de diorita y gabro. Estos, se encuentran afectando a las formaciones San Hipólito y Alisitos produciendo en estos halos de metamorfismo.

Esta unidad conforma al cinturón batolítico que ha dividido a las rocas del Cretácico y Jurásico como rocas post y pre batolíticas respectivamente.

Unidad Volcánica. Se encuentra representada por rocas piroclásticas de composición ácida, derrames andesíticos y dacíticos, casi todos cubiertos por basaltos plio-cuaternarios. Por su posición dentro de la columna estratigráfica se le ha asignado una edad Mioceno-Plioceno. Su expresión morfológica es de mesetas cortadas que oscilan hacia el oriente, en algunas partes estas mesetas alcanzan grandes alturas.

Depósitos Cuaternarios (Qr). Están principalmente constituidos por sedimentos continentales del tipo aluvial y marino de tipo costero, incluso depósitos deltaicos y de llanura de inundación. Sus espesores son muy variados y se les encuentra rellenando valles y zonas bajas en toda la península, aunque sus mayores extensiones se localizan en el noreste de la misma.

4.2 Geología estructural

En el acuífero se realizó trabajo de fotointerpretación en el cual se pudo determinar los lineamientos existentes correspondientes a posibles fallas y fracturas, para esto se utilizaron cartas topográficas escala 1:50 000, modelos de elevación y la observación en campo de la zona.

Estructuralmente la zona es compleja debido al tectonismo bajo la que ha sido sometida, por tal motivo se observan lineamientos con distintas orientaciones. Al Noreste el acuífero se encuentra delimitado por la Sierra de San Felipe la cual presenta lineamientos con dirección preferencial NE-SW, al contrario de lo que se observa en la parte sur donde se encuentra la Sierra de Santa Isabel que contiene lineamientos conjugados de dirección NE-SW. Hacia el Este se encuentra una Mesa denominada Mesa El Avión que presenta geometría rectangular alargada preferencialmente en dirección NW-SE.

4.3 Geología del subsuelo

Las unidades hidrogeológicas son las siguientes:

Unidad impermeable: formada por rocas de composición ígnea intrusivas y extrusivas, que en conjunto actúan como el basamento de la zona.

Unidad semipermeable: esta unidad se constituye por materiales de tipo granular muy compactos, algunos conglomerados no consolidados, areniscas, materiales de composición ígnea de tipo extrusiva.

Su límite inferior y lateral es la unidad Impermeable, a esta unidad también se asocia otra con materiales granulares de grano fino, predominantemente arcillosos, el agua que presenta esta zona tiene alto grado de salinidad, por lo que los valores de conductividad eléctrica son altos.

Unidad permeable: está constituida por materiales de tipo granular poco compactos de granulometría variada, predominantemente gruesos y saturados.

La integran depósitos aluviales, fluviales y eólicos constituidos por boleos y cantos rodados, así como arenas gravas y gravillas, los cuales tienen mayor capacidad de almacenamiento.

En el valle se encuentra también una unidad compuesta por sedimentos sueltos de granulometría variada, en ocasiones su base está saturada; es continua en todas direcciones, presentando un espesor máximo de 120 m.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

En el acuífero Matomí-Puertecitos existe una capa extensa de sedimentos de edad Paleógeno-Neógeno - Cuaternaria, con espesores que varían de 80 a más de 120 m, estos materiales se encuentran descansando sobre rocas ígneas de composición ácida, las cuales constituyen el basamento de la región.

Todas las unidades litológicas se encuentran afectadas por estructuras, como fallas y fracturas que en algunas ocasiones aumentan su permeabilidad debido a la disposición, distribución y características que presentan.

Debido al acomodo de los depósitos granulares que por sus características permeables conforman la superficie acuífera esta superficie se encuentra dividida en tres áreas de explotación ya que existen barreras impermeables que delimitan lateralmente cada una de estas, cada una de las áreas dan lugar a un **acuífero libre** el cual tiene una descarga hacia el Golfo de California.

5.2 Parámetros hidráulicos

No existen estudios previos donde se evalúen los parámetros hidráulicos por lo que para el presente estudio se tomaron en cuenta los resultados de una prueba de bombeo realizada en el pozo PBCEM-1 en el año 1975, localizado en el Ejido Matomí, del cual se obtuvieron los datos de profundidad al nivel estático, dinámico, gasto, profundidad total del pozo y con los que se obtuvieron los parámetros de transmisividad y permeabilidad que se reportan en la tabla 2:

Tabla 2. Parámetros Hidráulicos resultado de la prueba de bombeo realizada en el pozo PBCEM-1.

PBCEM-1		
Nivel Estático (NE)	34.87	m
Nivel Dinámico (ND)	38.26	m
Gasto (Q)	0.3	lps
Abatimiento	3.39	m
Gasto Especifico (Qe)	0.088	lps/m
Transmisividad (T)	8.85E-05	m ² /s
Espesor (b)	60.74	m
Permeabilidad (k)	1.45E-06	m/s
		m/dí
(k)	0.125	a

5.3 Piezometría

Para el año 2008 se realizó un recorrido en donde se midió la profundidad del nivel estático de 12 aprovechamientos, de los cuales 6 son pozos y 6 norias, 9 de los aprovechamientos se encuentran activos y 3 inactivos, dentro del recorrido de campo se tomó la lectura del pozo CNA-MP02 con coordenadas latitud norte 30° 42' 58" y longitud oeste 114° 42' 57.2", con nivel dinámico, el cual presenta un gasto (Q) de 3 lps y una Profundidad al Nivel Dinámico de 18.84 m.

Tomando en cuenta los datos obtenidos en campo se realizaron las configuraciones de profundidad al nivel estático y elevación extrapolando los datos de los puntos localizados hacia la línea de costa considerando para ésta una profundidad del nivel estático de 0 m y de este modo, observar el comportamiento Hidráulico en el acuífero. Se delimitaron tres áreas de explotación en el acuífero debido a las características que presenta éste.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Área de Explotación 1 (AE1). Para el año de análisis 2008, se observa que las profundidades cercanas a la costa varían de 6.64 a 13.86 m, esto en el área donde se encuentran concentrados los aprovechamientos, en el punto más alejado de la costa, esto a tres kilómetros aproximadamente de esta, se tiene una profundidad de 180 m, considerando así que el flujo de agua desciende gradualmente hacia la línea de costa (figura 3).

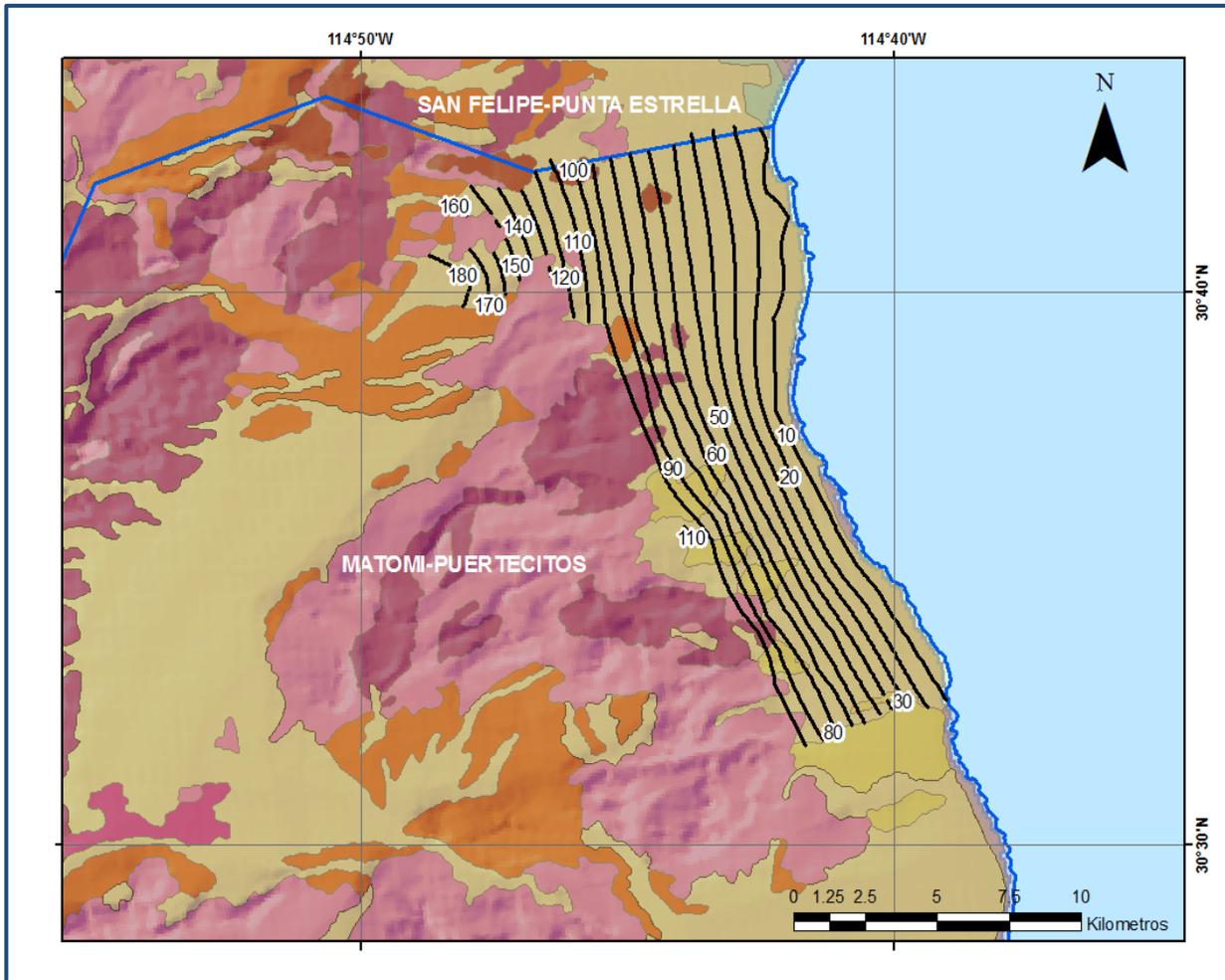


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2008). Área de explotación AE1

Área de Explotación 2 (AE2). En esta área para el año de análisis 2008 se presentan profundidades de hasta 35.23 m esto a 3.8 km al oeste de la línea de costa, las cuales ascienden conforme se acercan al límite de la Sierra donde las profundidades alcanzan los 110 m, con lo que se observa que el flujo de agua descenden gradualmente (figura 4).

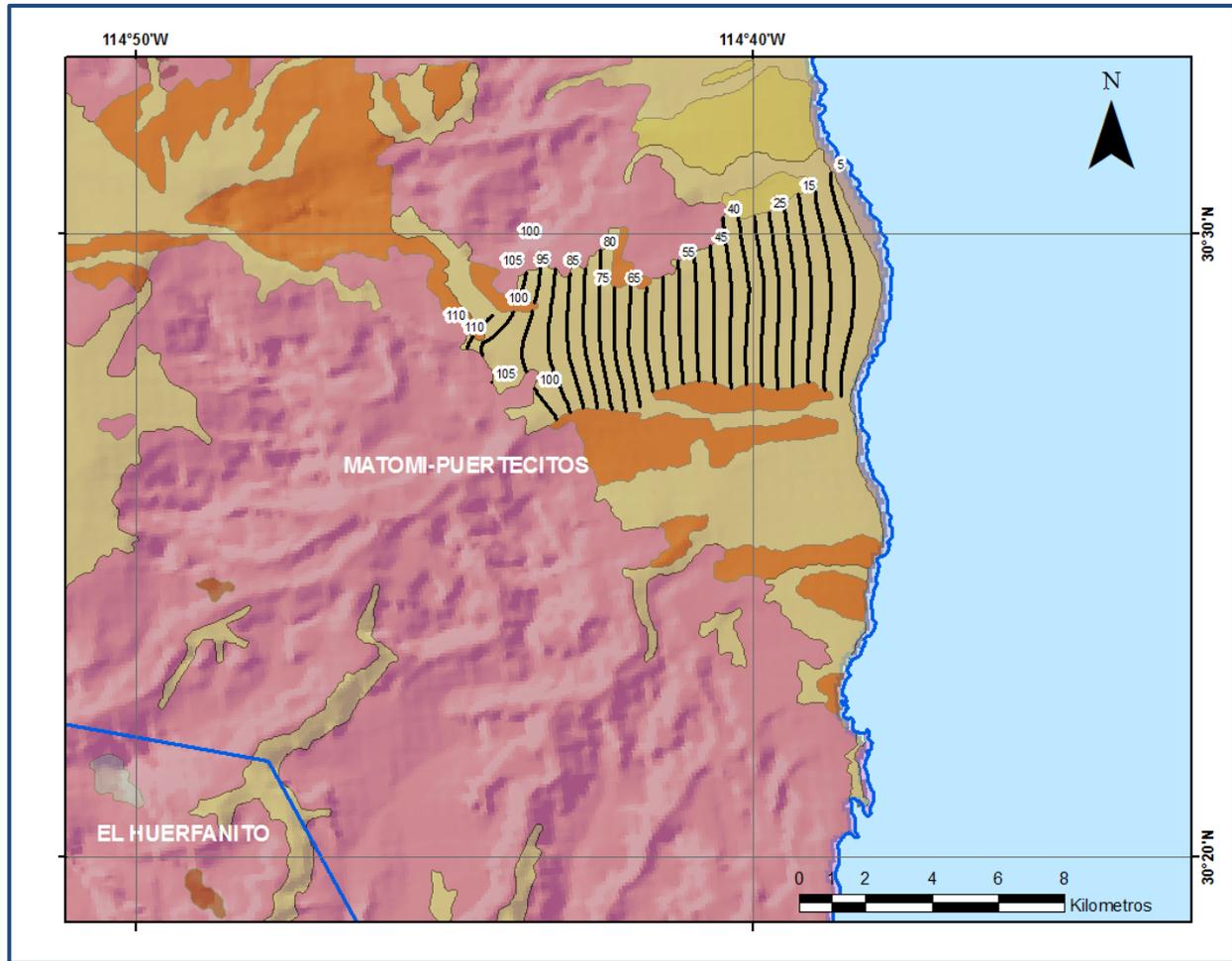


Figura 4. Profundidad al Nivel Estático 2008. Área de explotación AE2

Área de Explotación 3 (AE3). Esta área presenta profundidades de 22.97 m a 1.52 km de la línea de costa, de igual forma las profundidades del nivel estático descienden de forma gradual hacia la costa (figura 5).

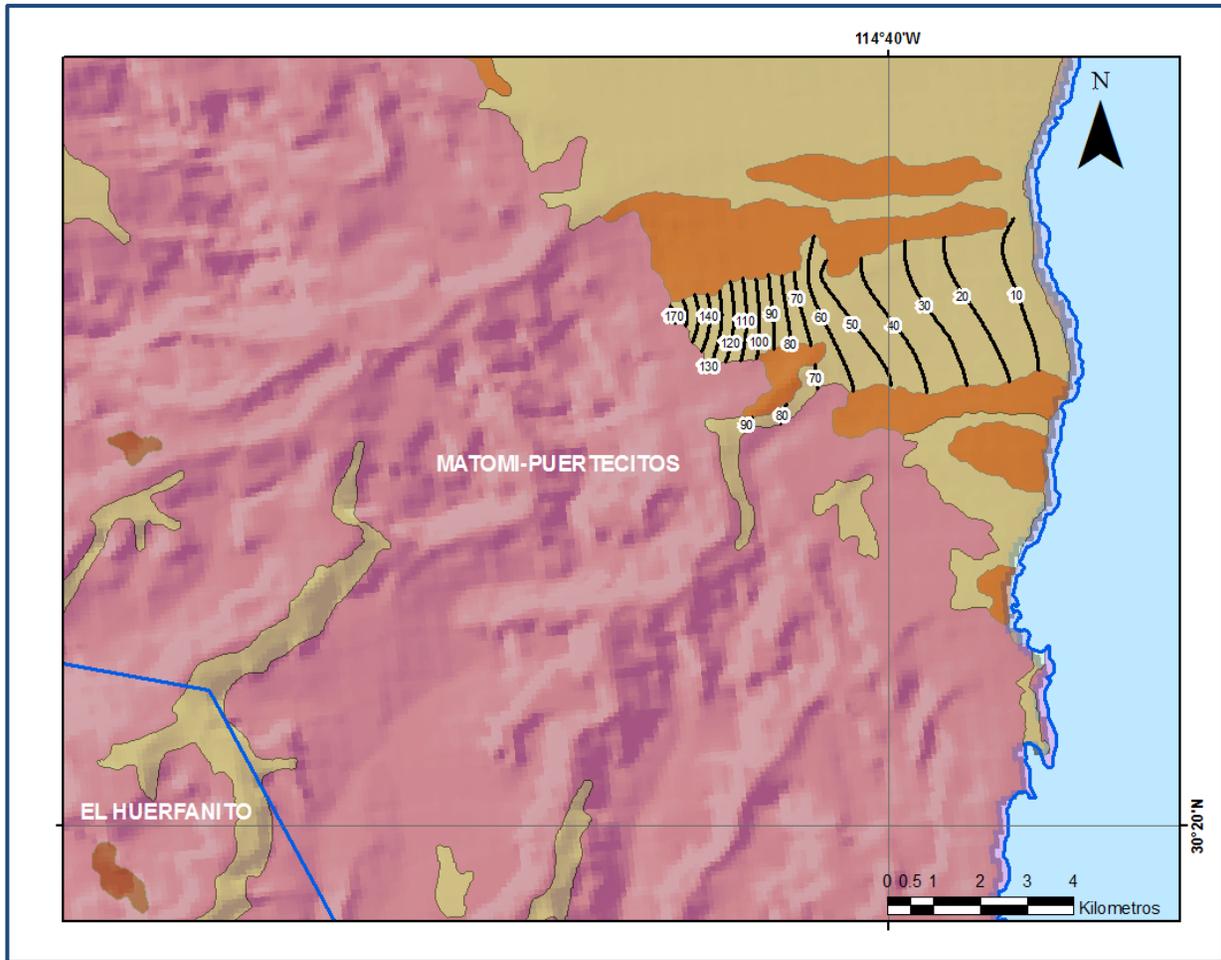


Figura 5. Profundidad al nivel estático en m (2008). Área de explotación AE3

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración para el análisis en cuanto a la elevación del nivel estático (figuras 6, 7 y 8), indica que:

Área de Explotación 1 (AE1). Existe una variación en la elevación del nivel estático de 15 a 0 msnm, el comportamiento de las curvas desciende gradualmente dentro de toda el área, observándose que en el poblado de Matomí donde se concentran los aprovechamientos las líneas equipotenciales tienden a presentar pequeñas flexiones debido a que existe mayor extracción de agua, la dirección del flujo subterráneo es hacia el Noreste, donde se localizan las salidas de flujo subterráneo, mientras que las entradas están localizadas al Noroeste y Suroeste (figura 6).

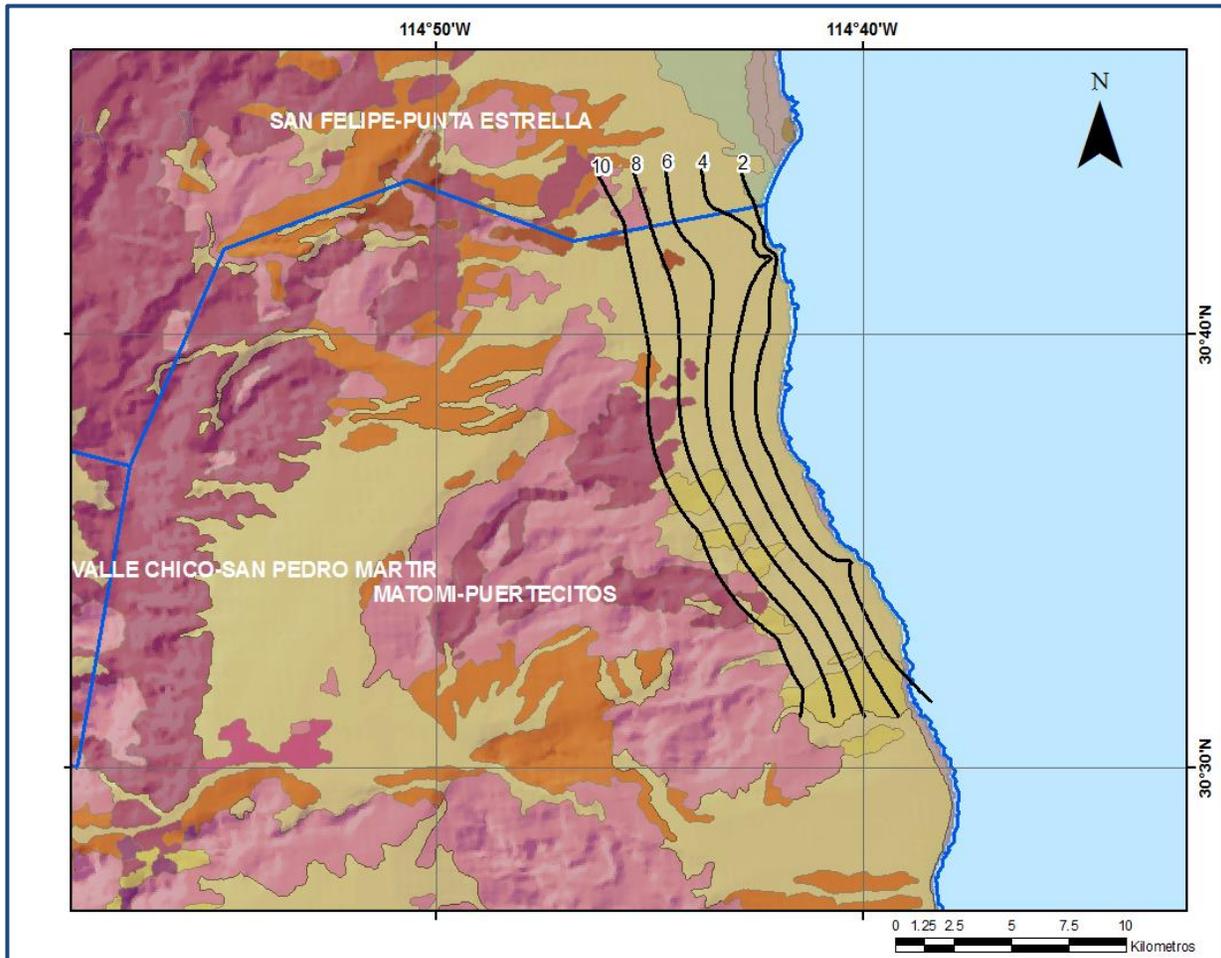


Figura 6. Elevación del nivel estático en msnm (2008). Área de explotación AE1

Área de Explotación 2 (AE2). Se observa una variación del nivel estático de 0.5 a 8.5 msnm disminuyendo de Oeste a Este de forma gradual hasta descargar en el Golfo de California (Figura 7).

Área de Explotación 3 (AE3). En esta área el comportamiento del flujo subterráneo es similar al del área de explotación 1 y dos ya que este disminuye en cuanto se acerca a la costa, salvo que en el punto donde se encuentra el aprovechamiento se observa un pequeño cono de abatimiento el cual puede ser originado debido a que la profundidad del pozo sobrepasa el espesor del material granular considerado como permeable y quedando ubicado a un nivel bajo el mar (figura 8).

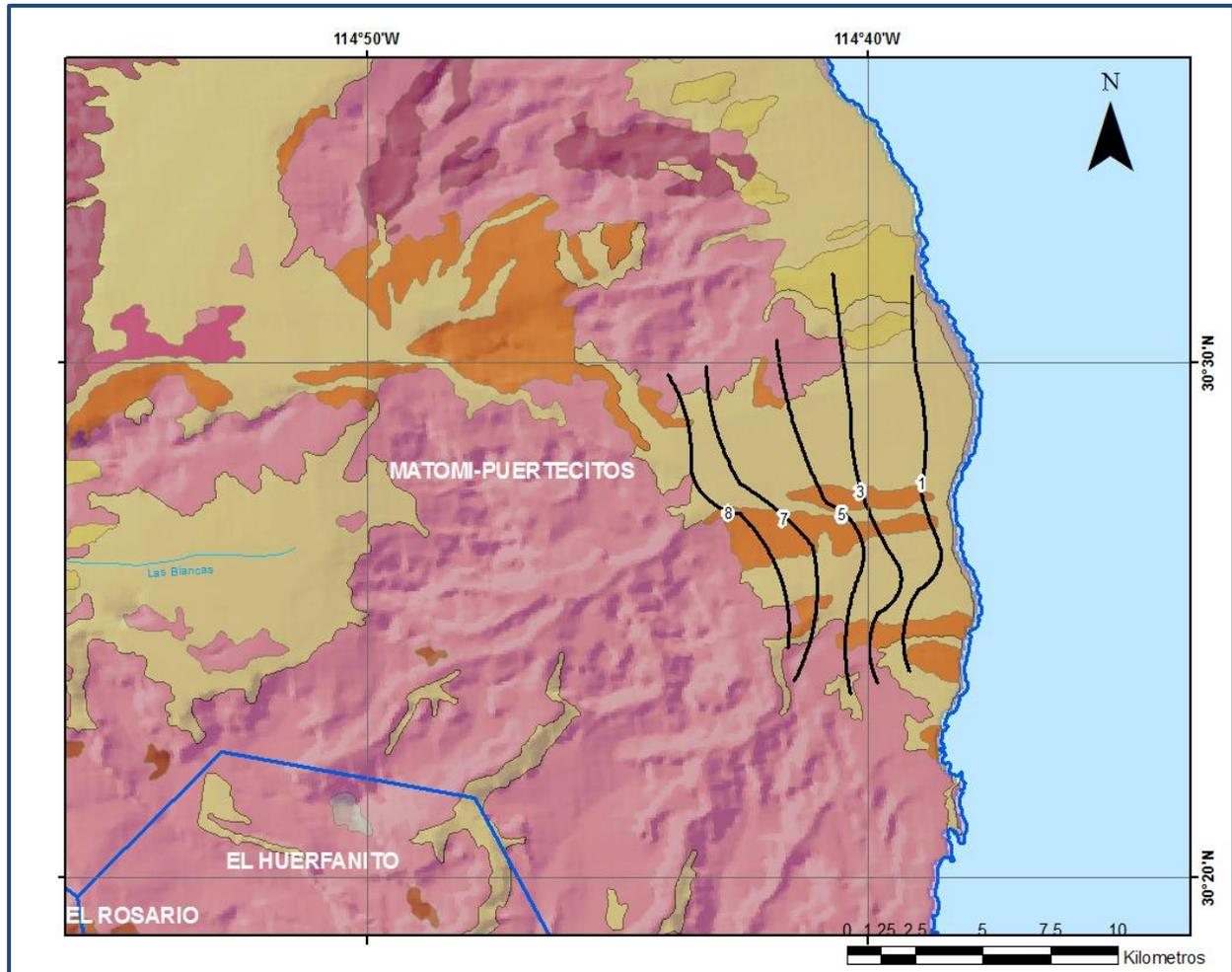


Figura 7. Elevación del nivel estático en msnm (2008). Área de explotación AE2 y AE3

La elevación del nivel estático es el principal indicador del flujo subterráneo, si las cargas están referidas a la elevación media del mar, se puede observar que las zonas de saturación de mayor elevación generan que el movimiento del agua subterránea sea en dirección a las zonas donde la elevación de los niveles de saturación son menores, considerando que dentro de cada área de explotación considerada no existen fronteras que impidan la dirección del flujo. Para las tres áreas de balance consideradas dentro del acuífero, las elevaciones reflejan que el flujo del agua en el subsuelo tiene semejanza con un hipotético flujo en condiciones naturales con dirección Oeste a Este, cuyo comportamiento es gradual hacia la costa.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Para este acuífero no se cuenta con información piezométrica histórica para poder realizar un análisis respecto a la evolución del nivel estático, así como tampoco existe un historial de extracciones (extracción actual no significativa).

Por estas situaciones se considera que la evolución del nivel estático es nula y que el acuífero se encuentra en equilibrio hidrodinámico. Además de presentar malas condiciones en cuanto a la calidad del agua.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el presente estudio 2008, se realizó una visita de reconocimiento en donde se midieron parámetros físico-químicos en los aprovechamientos localizados dentro del acuífero, esto tomando en cuenta la zona de recarga, media y en el área de descarga, tomando un conductivímetro para el análisis.

Reportando una conductividad eléctrica de entre 2610 a 5420 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica que al agua es salobre con un pH de entre 6.15 y 6.55, solo el aprovechamiento CNA-MPI3, localizado en el área de explotación 3 se presenta un valor en cuanto a Conductividad Eléctrica se refiere superior a los 19000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, este valor se debe principalmente a que en la zona existen puntos con hidrotermalismo, considerando así que existen depósitos locales de azufre por donde circula el agua dándole una mala calidad.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo a la actualización de las mediciones piezométricas en el 2008, se tomaron valores de 12 aprovechamientos, correspondientes a 6 pozos y 6 norias, con un total de 9 aprovechamientos activos y 3 inactivos. Del total de los aprovechamientos, 10 se encuentran en la primera área de explotación, 8 activos y 2 inactivos, 1 aprovechamiento activo en la segunda área y 1 aprovechamiento inactivo en la tercera área.

De acuerdo a los diámetros de las descargas y a los periodos de mayor consumo se consideró para el área de explotación 1, un volumen de extracción anual de 54,857.2 m^3 .

Para el área de explotación 2, que se encuentra en el aprovechamiento CNA-MP12 y abastece de agua potable a las colonias de pescadores que se encuentran ubicados al sur de este, se consideró un volumen de extracción anual de 7,300 m³. Por lo tanto el valor total de extracción en el acuífero es de **62,157.2 m³**.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo únicamente para el año 2008, considerando tres áreas de explotación (balance), en base a las redes de flujo y de acuerdo a la topografía y el material sedimentario depositado, con características hidrológicas así como espesores se cuantificaron las componentes para el balance de cada sistema acuífero, delimitando así el área de explotación 1 (AE1) con una superficie de 110.96 km², el área de explotación 2 (AE2) 46.55 km², y el área de explotación 3 (AE3) 18.50 km², que corresponden a la zonas de mayor potencial geohidrológico y donde se establece el acuífero.

El agua subterránea del sistema acuífero tiene un movimiento general con sentido Oeste-Este, y de esta manera se considera la presencia de salidas de agua por flujo subterráneo hacia el Golfo de California (Mar de Cortés), a lo largo de la línea de costa, considerando como otra salida de agua subterránea a través del bombeo.

Con apoyo del monitoreo piezométrico y el análisis del mismo, se evidencian cinco entradas de agua al sistema a través de la porción Occidental del área de explotación 1, y dos entradas horizontales por flujo subterráneo en las áreas 2 y 3 en el mismo sentido, además de la recarga por lluvia directa hacia el Valle.

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 de un acuífero:

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

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 (R_v) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h). 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 (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, el riego agrícola es incipiente y utiliza sistema tecnificado, no existe recarga inducida.

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

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:

$$R_v + E_h - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

R_v : Recarga Vertical

E_h : Entradas por flujo horizontal

B : Bombeo

S_h : Salidas por flujo horizontal

ETR : Evapotranspiración real

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

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 las entradas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2008, mostrada en la figura 8.

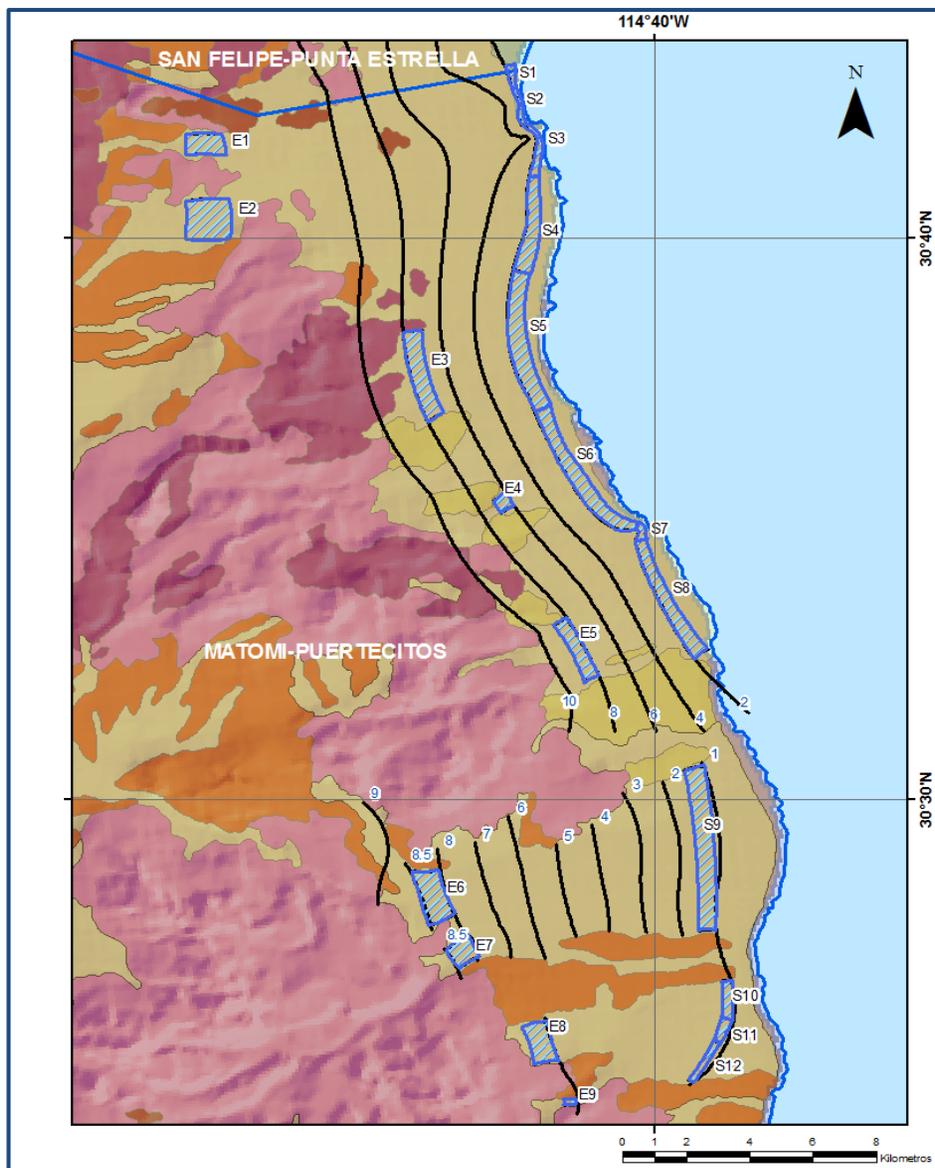


Figura 8. Celdas de Entradas y de Salidas de flujo subterráneo

Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la Ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

T = Transmisividad en m² /s.

B= Longitud de la celda en m.

i = Gradiente Hidráulico, en m.

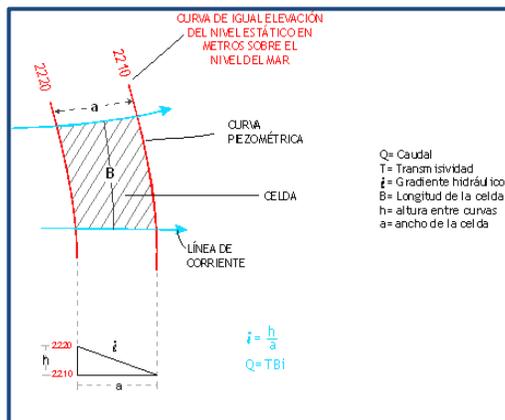


Tabla 3. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo 2008 para el área de explotación 1 (AE1)

Celda	T (10 ⁻³ m ² /s)	Longitud B (m)	i	Caudal Q (m ³ /s)	Vol anual (hm ³)
E1	6.481	678	0.00096	0.0042	0.133
E2	6.481	1,274	0.00082	0.0068	0.214
E3	6.481	2,904	0.0019	0.0352	1.111
E4	7.407	463	0.0022	0.0075	0.236
E5	7.407	2,091	0.0022	0.0345	1.089

Tabla 4. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo 2008 para el área de explotación 2 (AE2)

Celda	T (10 ⁻³ m ² /s)	Longitud B (m)	i	Caudal Q (m ³ /s)	Vol anual (hm ³)
E6	5.671	1,696	0.00063	0.0061	0.192
E7	5.671	733	0.00070	0.0029	0.092

Tabla 5. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo 2008 para el área de explotación 3 (AE3)

Celda	T (10 ⁻³ m ² /s)	Longitud B (m)	i	Caudal Q (m ³ /s)	Vol anual (hm ³)
E8	5.671	1,307	0.00069	0.0051	0.161
E9	5.671	199	0.00155	0.0017	0.055

En las tablas 3, 4 y 5 se pueden observar los volúmenes obtenidos en cuanto a entradas de flujo subterráneo horizontal para el año de análisis 2008, para cada área de explotación, en el que se plantea un valor de **2.78 hm³/año** para el área de explotación 1, **0.28 hm³/año** en el área de explotación 2 y **0.22 hm³/año** para el área 3. Siendo el total de entradas de **3.3 hm³/año**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh). No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del arroyo.

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

La Evapotranspiración se representa por la descarga de un acuífero a la atmósfera y tiene lugar por evaporación directa del agua freática somera o bien por la transpiración de la flora, que en esta zona no es significativa por el tipo de vegetación que existe.

Debido a la baja precipitación que se presenta en el área (259 mm máxima), se invalidaron los métodos empíricos para el cálculo de la evapotranspiración (Turc y Smith), ya que éstos son aplicables en regiones con valores mayores a los 300 mm, considerando además, que el área en la que no se tienen niveles freáticos someros donde pueda llevar a cabo este fenómeno. Por lo tanto el valor de evapotranspiración tiende a ser muy bajo o casi nulo. **ETR = 0**.

7.2.2 Bombeo (B)

Esta componente se determinó de acuerdo a lo observado en el recorrido, en base a los diámetros de las descargas y a los periodos de mayor consumo, para el año de balance se determinó una extracción por bombeo en el área de explotación 1 de **0.055 hm³**.

Para el área de explotación 2 considerando un solo aprovechamiento esté con uso Público Urbano se determinó una extracción por bombeo de **0.0073 hm³**, mientras que para el área de explotación 3 se estimó que la extracción por bombeo es **nula** debido a que el aprovechamiento localizado en esta se encuentra inactivo. Por tanto el bombeo para toda el área del acuífero se estimó en **0.06 hm³**.

7.2.3 Salidas por flujo horizontal (Sh)

Para calcular el volumen que se descarga naturalmente del área de balance por flujo subterráneo, se consideraron los parámetros hidráulicos del mismo y las configuraciones; el acuífero Matomí-Puertecitos es un acuífero costero, por lo que existe una zona a partir de la cual, el espesor del acuífero va disminuyendo debido a la presencia de la zona de interfase agua marina-agua continental (tabla 6, 7 y 8).

Tabla 6. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo 2008 para el área de explotación 1 (AE1).

Celda	T (10^{-3} m ² /s)	Longitud B (m)	i	Caudal Q (m ³ /s)	Vol. anual (hm ³)
S1	1.852	771	0.0040	0.0057	0.180
S2	1.852	1,273	0.00828	0.0195	0.615
S3	1.852	1,869	0.00480	0.0166	0.524
S4	1.852	3,185	0.00256	0.0151	0.477
S5	1.852	4,634	0.00211	0.0181	0.570
S6	1.852	4,922	0.00279	0.0254	0.801
S7	1.852	372	0.00334	0.0023	0.073
S8	1.852	4,139	0.00241	0.0184	0.582

Tabla 7. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo 2008 para el área de explotación 2 (AE2).

Celda	T (10^{-3} m ² /s)	Longitud B (m)	i	Caudal Q (m ³ /s)	Vol. anual (hm ³)
S9	3.472	5,364	0.0009	0.0174	0.550

Tabla 8. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo 2008 área de explotación 3 (AE3).

Celda	T (10^{-3} m ² /s)	Longitud B (m)	i	Caudal Q (m ³ /s)	Vol. anual (hm ³)
S10	3.472	1,271	0.0015	0.0067	0.212
S11	3.472	775	0.00189	0.0051	0.161
S12	2.894	1,499	0.00282	0.0123	0.000

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) en el área de explotación 1 es de **3.82 hm³/año**, para área de explotación 2 se obtuvo un volumen de **0.55 hm³/año**, y para el área de explotación 3 un volumen de **0.37 hm³/año**. El volumen total de salidas es de **4.7 hm³/año**.

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

Para el cálculo del cambio de almacenamiento se considera que el sistema se encuentra en equilibrio, teniendo de esta forma que todo lo que entra sale por lo que no se tiene un cambio del volumen almacenado considerando para este componente un valor de **0**.

Solución a la ecuación de balance

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

$$R_v = Sh + B + ETR \pm \Delta V(S) - E_h$$

$$R_v = 4.7 + 0.06 + 0.0 - 0.0 - 3.3$$

$$R_v = 1.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical, y las entradas horizontales subterráneas.

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 1.5 + 3.3$$

$$R = 4.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **4.8 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.

En este sentido la descarga natural comprometida se considera como un porcentaje de las salidas por flujo subterráneo horizontal el cual se estimó en un 70%, estimando un volumen de **3.3 hm³/año**.

El porcentaje se considera porque la zona no presenta un entorno ecológico el cual requiera de este recurso para sostenerse o bien mantenerse en equilibrio, además de que el acuífero se encuentra afectado naturalmente por intrusión marina, por lo que se propone controlar el bombeo dentro de la zona cercana a la costa manteniendo los niveles de agua dulce por arriba del nivel del mar, para de cierta forma no incrementar la entrada de agua de mar hacia el área de explotación.

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 **32,667 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 4.8 - 3.3 - 0.032667 \\ \text{DMA} &= 1.467333 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **1,467,333 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua (2005). Estudio para Actualizar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales Superficiales en las 85 (ochenta y cinco) Sub-regiones Hidrológicas de las 7 (siete) Regiones Hidrológicas de la Península de Baja California, Mediante la Aplicación de la NOM-011-CONAGUA-2000. Universidad Autónoma de Baja California.