

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO VILLA DE JESÚS MARÍA (0227)
ESTADO DE BAJA CALIFORNIA

Contenido

1.	GENERALIDADES	3
Ant	ecedentes	3
Loc	alización	3
Situ	ación administrativa del acuífero	5
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3 .	FISIOGRAFÍA	7
3.1	Provincia fisiográfica	7
3.2 (Clima	7
3.3 H	Hidrografía	8
4.	GEOLOGÍA	8
4.1 E	Estratigrafía	9
4.2	Geología estructural	14
4.3 (Geología del subsuelo	15
5.	HIDROGEOLOGÍA	16
5.1 T	ipo de acuífero	16
5.2 F	Parámetros hidráulicos	16
	5.3 Piezometría	16
	5.4 Comportamiento hidráulico	17
	5.4.1 Profundidad al nivel estático	17
	5.4.2 Elevación del nivel estático	17
	5.4.3 Evolución del nivel estático	18
5.5 H	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	19
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	19
7 .	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	20
7.1 E	Entradas	20
	7.1.1 Recarga vertical (Rv)	21
	7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	21
7.2 9	Salidas	22
	7.2.1 Evapotranspiración (ETR)	22
	7.2.2 Extracción por bombeo (B)	25
	7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	25
7.3 (Cambio de almacenamiento (ΔVS)	25
8.	DISPONIBILIDAD	26
8.1 F	Recarga total media anual (R)	26
	Descarga natural comprometida (DNC)	
8.3 \	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	27
	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	
9.	BIBLIOGRAFÍA	29

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.

Localización

El acuífero Villa de Jesús María, definido con la clave 0227 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción norte del estado de Sonora, entre las coordenadas geográficas 28° 13' y 28° 39' de latitud norte y entre los 113° 00' y 114° 08' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1,600 km².

Limita al norte con el acuífero Nuevo Rosarito, al este con La Bocana-Llanos de San Pedro, al sur con Llanos del Barreno, y al oeste con el Océano Pacífico (figura 1). Geopolíticamente cubre el territorio del municipio de Ensenada.

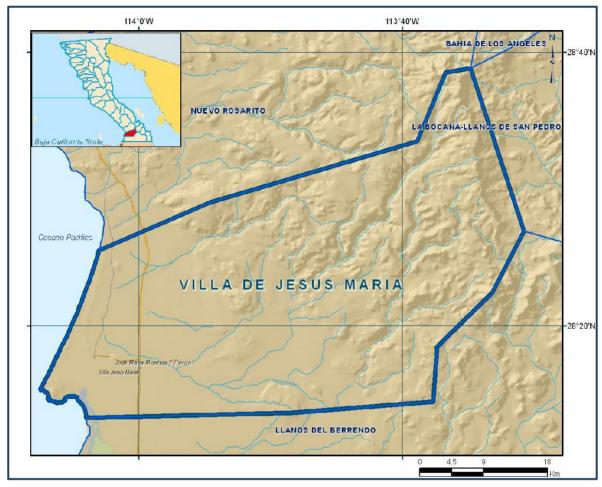


Figura 1. Localización del acuífero.

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

ACUIFERO 0227 VILLA DE JESUS MARIA							
VERTICE	LONGITUD OESTE		LATITUD NORTE			OBSERVACIONES	
VERTICE	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SECUNDOS	OBSERVACIONES
1	114	3	59.5	28	В	17.6	DEL 1AL 2 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
2	114	3	2.6	28	25	30.1	
3	113	54	36.0	28	29	0.7	
4	113	38	54.2	28	33	29.2	
5	113	36	44.2	28	38	30.6	
6	113	34	513	28	38	47.9	
7	113	30	47.1	28	26	55.0	
8	113	33	10.6	28	22	25.3	
9	113	37	22.7	28	18	28.9	
10	113	37	414	28	14	26.6	
11	113	48	22.5	28	В	38.8	
1	114	3	59.5	28	В	17.6	

Situación administrativa del acuífero

El acuífero 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 (DOF) el 15 de mayo de 1965. Este decreto es de tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos 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 3. Dentro de su territorio no existe distrito o unidad de riego alguna ni se ha constituido a la fecha en Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). El principal usuario dentro del acuífero es el sector agrícola.

El acuífero se localiza dentro del Consejo de Cuenca (2) Baja California, instalado el 7 de diciembre de 1999. La totalidad de su territorio se encuentra dentro de la Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre "Valle de Los Cirios", con fecha de decreto 2 de junio de 1980.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo muy pocos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes se encuentran los siguientes:

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA SUR DE BAJA CALIFORNIA NORTE, elaborado por la empresa INGEO, S.C., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1979.

El estudio identifica dos unidades hidrogeológicas, una permeable y otra impermeable; la primera está constituida por limonitas— areniscas, conglomerados, depósitos eólicos y lacustres así como por una unidad volcánica con fuerte fracturamiento, provocado por enfriamiento y por actividad tectónica.

La unidad permeable actúa como acuífero o zonas de recarga. Con base en las expresiones topográficas, su acomodo estratigráfico y sus efectos estructurales, esta unidad constituye el acuífero o las zonas de recarga.

La unidad impermeable está compuesta por rocas metamórficas, intrusivas y metasedimentarias prebatolíticas, que se consideran el basamento y la barrera al flujo de agua subterránea.

Se censaron 37 aprovechamientos, 4 pozos, 28 norias y 5 manantiales. Se efectuaron análisis fisicoquímicos en 32 aprovechamientos, 9% corresponde a agua de buena calidad con concentraciones de sólidos totales disueltos de 250 a 1000 ppm, el 56% de los aprovechamientos muestreados contienen de 1000 a 2000 ppm de sólidos totales disueltos y menos de 250 ppm de sulfatos, el 35% cae dentro de la clasificación de agua de mala calidad.

LAS POSIBILIDADES HIDROLÓGICAS DEL SUBSUELO EN EL VALLE DE JESÚS MARÍA MUNICIPIO DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, elaborado por GEOFIMEX, S.A., para la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en 1973. Se concluyó que en la parte baja de la zona existe cierta capacidad acuífera que se utiliza para pequeños regadíos.

Se ubicaron mediante geofísica 240 hm³ de material aluvial, del que se calculó una posibilidad acuífera de 50 a 100 lis. Por lo que es de interés evaluar la posible existencia de volúmenes utilizables en arenas graníticas.

El agua subterránea se clasificó como mixta clorurada; la concentración de sólidos totales disueltos variaba entre los 900 y 5800 ppm. De manera general los pozos presentaron mejores condiciones de calidad que las norias.

El volumen de la recarga estimado para el año de estudio fue de 6.4 Mm³, aunque se estimó que llegaría a los 7 Mm³/año; la recarga fue igual que la extracción para ese periodo.

CENSO DE APROVECHAMIENTOS PARA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

1998. Comisión Nacional del Agua. Encontraron 274 obras, de las cuales 64 fueron pozos, 209 norias y 1 manantial. Del total sólo 216 se encontraron activas.

ESTUDIO TÉCNICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LOS ACUÍFEROS EL ROSARIO, VILLA DE JESÚS MARÍA, BAHÍA DE LOS ÁNGELES, LA RUMOROSA-TECATE Y SAN RAFAEL-LA PALMA, ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, elaborado por la empresa Sanx Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del

Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California, en 2007. Mediante actividades de campo que incluyeron el análisis y localización del censo de aprovechamientos registrados en el REPDA, piezometría, nivelación diferencial de brocales, recopilación de información hidrogeológica y la realización de algunos reconocimientos y estimaciones de campo, fue posible plantear el balance de aguas para evaluar la recarga media anual que reciben los acuíferos y, a partir de ella, calcular su disponibilidad.

Los resultados y conclusiones del estudio de 2007 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

El acuífero se encuentra localizado dentro de la provincia fisiográfica Sierras de Baja California, Subprovincia de la Sierra Volcánica, (Manuel Álvarez Jr). Presenta un relieve abrupto conformado por sierras en dirección norte-sur y noreste-sureste, con elevaciones que alcanzan los 1,500 msnm, y sobresalen hasta 800 m del piso de los valles. Dominan las amplias mesetas constituidas por derrames basálticos, tobas y brechas riolíticas, así como rocas ácidas y metasedimentarias. Los valles están rellenos de material aluvial y son paralelos a las serranías. El Valle de Villa Jesús María está constituido por depósitos lacustres y dunas orientadas paralelamente a la línea de costa.

3.2 Clima

De acuerdo con el sistema de clasificación climatológica de Köppen, modificado por Enriqueta García (1964) para las condiciones de La República Mexicana, el área presenta tipos de climas muy secos BW con lluvias en verano e invierno y escasas durante el año. Subtipos muy secos, muy cálidos y cálidos: BW (h´) hw (x´), subtipos muy secos templados: BWKw (x´) y subtipos muy secos semicálidos: BWhw (x´).

En el área se ubica la estación climatológica José María Morelos y Pavón Núm. 070, con información del año 1970 a 2007. En el acuífero se presenta una precipitación anual muy variable.

El análisis estadístico de la temperatura media anual es de 17.1 °C, con una máxima de 20.9 °C y una mínima de 6.3 °C. Se reporta una lámina de evaporación anual promedio de 1.830 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero se encuentra localizado dentro de la Región Hidrológica 2, denominada Baja California Centro — Oeste. A lo largo de la costa destacan Bahía de Sebastián Vizcaíno, Isla de Cedros y la Laguna de San Ignacio.

El arroyo Paraíso, localizado dentro de este acuífero, se encuentra dentro de la cuenca San Miguel — Arroyo del Vigía; la mitad de esta cuenca corresponde a Baja California, y en ella existen dos corrientes de poca importancia, debido a la escasa lluvia anual de 100 mm.

El arroyo Paraíso se origina en la Sierra de San Borja y de Calmalli, su cauce se dirige hacia el suroeste y se prolonga hasta muy cerca del litoral, al que no llega debido a una barrera arenosa cercana al morro de Santo Domingo.

4. GEOLOGÍA

Las unidades de roca que afloran en el área varían en edad del Mesozoico Inferior al Reciente. La base de la secuencia Mesozoica está representada por una unidad metasedimentaria de probable edad Triásica o Jurásica Tardía; sobre ésta se encuentra discordantemente la Formación Alisitos constituida por miembros volcánicos y vulcano-sedimentarios de edad Cretácico Inferior. El Cretácico Medio está representado por una serie de intrusiones batolíticas de diversas composiciones, predominando la Tonalita y granodiorita.

Sobreyace a las secuencias anteriores en discordancia litológica y angular, depósitos de rocas marinas y continentales que varían en edad desde el Paleoceno al Mioceno, con la notoria ausencia de estratos pertenecientes al Oligoceno. Los depósitos reflejan la gran inestabilidad de la península durante esta época y la tendencia hacia el Mioceno a la consolidación de la masa continental.

El Mioceno está representado por una secuencia volcánica en la que predominan las ignimbritas y los derrames ácidos con muy escasas andesitas.

El Plioceno está formado por derrames basálticos emplazados por fisura, así como la formación de conos aislados; este evento volcánico continuó hasta inicios del

Cuaternario. Durante el Plioceno se formaron también grandes abanicos aluviales que coronan la secuencia geológica del área.

En los abanicos aluviales la erosión labró el paisaje de terrazas tan prominente en el área estudiada. Durante el Pleistoceno y el Reciente ha predominado la formación de suelos y la destrucción y modelado de las diversas unidades estratigráficas y morfotectónicas formadas con anterioridad (figura 2).

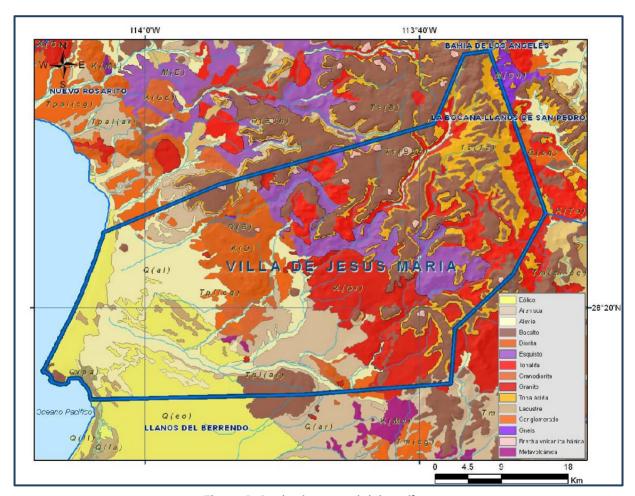


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

A continuación, se hace una breve descripción de las unidades geológicas que se encuentran en el área.

Formación Esquisto Julián: la localidad tipo se encuentra en el poblado Julián, Condado de San Diego California en Estados Unidos. Consiste de lutitas, areniscas y conglomerados metamorfoseados, con pequeños cuerpos de anfibolita y mármol, interdigitados con esquistos, filitas, pizarras y gneis.

El grado de metamorfismo es muy variable. Los esquistos son micáceos, con abundante clorita de facies esquisto verde; en algunas áreas como la del Arroyo Corral Blanco, se presentan se textura como el talco.

La unidad presenta su foliación orientada de noroeste a sureste y sólo en pequeñas porciones cambia esa orientación a este-oeste (Punta San Francisquito).

Debido a su comportamiento estructural tan complejo, es difícil estimar su espesor. Esta unidad está ampliamente en la porción central del área, desde el camino Punta Prieta-Bahía de Los Ángeles al norte, hasta el Rancho Santa Cruz al sur, y de Rosarito, al occidente, hasta el Rancho San Regis al Oriente.

Mesozoico Plutónico-Metamórfico (Mp). Consiste de rocas metamórficas e intrusivas de probable edad Cretácica, con metamorfismo incipiente y zonas de intrusión con bandeamiento gnéisico en los bordes de las masas intruSiv£tS. Consiste de rocas metamórficas derivadas de diorita, granodiorita y tonalita, en las que se reconoce la mineralogía típica de las rocas intrusivas originales; en algunas zonas presenta arreglo gnéisico, en otras zonas se observan minerales metamórficos de contacto, así como abundante epidota y ocasionalmente clorita. Aflora en la faja central del área al borde de las rocas plutónicas. Las rocas están cubiertas discordantemente por rocas sedimentarias y volcánicas más recientes.

Mesozoico volcánico sedimentario (kas, kav)

Formación Alisitos (Kas): en esta área la secuencia consta de cuatro miembros, de abajo hacia arriba: Tobas en capas delgadas con Sills de diorita; Calizas y Areniscas; ROC IS volcánicas y volcanoclásticas de composición intermedia.

El miembro superior consiste de calizas biógenas que hacia la cima se interdigitan con rocas volcánicas intermedias. El miembro inferior consiste de rocas calcáreas y derrames de composición dacítica-riolítica que se encuentran interestratificadas. Las calizas se presentan en estratos masivos a delgados, de color gris oscuro a claro, con lentes de limolita calcárea y poco contenido de arcillas. La caliza está silicificada y algo metamorfoseada, su fracturamiento es intenso. La unidad calcárea está interestratificada también con tobas líticas de composición ácida. En las áreas cercanas al cuerpo intrusivo presenta aureola de metamorfismo.

En los alrededores del Arroyo Santo Domingo y hacia el norte y sur del área, se encuentra una secuencia metasedimentaria formada por pizarras, esquistos, meta areniscas, meta conglomerados, calizas y escaso mármol, afectadas por diques andesíticos o fuertemente plegada.

Estas unidades han sido correlacionadas con la Formación Alisitos, pero teniendo en cuenta sus características litológicas y estructurales, podrían ser más antiguas.

Kav.- Este miembro de la unidad está formado por tobas, brechas y derrames de lava, cuya composición cambia de riodacita a traquiandesita. Se presenta en capas lenticulares de variados espesores; presenta zonas de oxidación y en los afloramientos abunda la epidota y la silicificación, su color varía de gris oscuro a rojo violáceo. Los derrames tienen textura afanítica y ocasionalmente porfídica. El afloramiento de esta unidad está restringido a una faja localizada en el extremo nor-occidental del área, desde la línea de costa al oeste hasta la carretera Transpeninsular. Los afloramientos localizados más hacia el sur, dentro del área, se encuentran a la altura del arroyo Santo Domingo.

Paleoceno (Ticg, Tiar — Im)

Formación Tepetate (Tiar-Im): Litológicamente, la unidad marina consiste en una intercalación de areniscas amarillentas a café rojizas, con areniscas conglomeráticas, lodolitas y fangolitas con lentes concrecionales. La arenisca se presenta en estratos por lo general delgados a medianos de no más de 40 cm; presenta ligera inclinación hacia el mar, está constituida de grano fino con buena clasificación y algunas capas tienen residuos de halita (cloruro de sodio). Presenta un sistema de fracturas de espaciamiento moderado, con relleno de yeso, así como estratos muy fosilíferos con abundantes turritelas y foraminíferos.

Ticg: En la porción noroccidental del área, las areniscas gradúan hacia arriba a conglomerados de guijarros compuestos de fragmentos de rocas graníticas y meta volcánicas. Presentan poca cementación, pero buena tenacidad y alto ángulo de reposo, por su matriz arenosa. En el Arroyo Santo Domingo existen paleocanales rellenos de conglomerado de edad más reciente. Las rocas marinas de esta edad se encuentran aflorando solamente en las cercanías de la Costa del Pacífico. Los sedimentos marinos se ubican en una faja que se extiende desde Punta Santa Rosalía hasta el Arroyo Trinidad, y el afloramiento más oriental se localiza en las riveras del Arroyo La Zacatera.

Las rocas continentales se localizan al noreste de las rocas marinas en una amplia faja que se extiende desde San Javier al sur, hacia el norte y oriente del área.

Se encuentra cubriendo discordantemente a rocas intrusivas del Cretácico y rocas metavolcánicas y metasedimentarias más antiguas. Están cubiertas de igual manera por areniscas miocénicas y conglomerados del Plioceno. Las rocas de esta unidad, de acuerdo con sus fósiles, se depositaron en ambientes marinos cercanos a la costa, lagunares y mixtos, así como típicamente continentales.

Mioceno

Tsar: Designa a una secuencia sedimentaria de edad incierta y probable ambiente continental que podría correlacionarse con las areniscas y conglomerados horizontales que se encuentran debajo de las rocas volcánicas miocénicas y que Emmons y Merril (1814) denominaron como "Arenisca Mesa", en el área de El Mármol, en los alrededores de Santa Inés Cataviña.

Formación El Salto: consiste fundamentalmente de areniscas de grano medio a grueso, sin fósiles, poco cementada y en algunos lugares conglomeráticas. Está constituida principalmente por fragmentos de roca, cuarzo y feldespatos. En algunos afloramientos se intemperiza en forma esferoidal. Los estratos generalmente son gruesos a masivos y moderadamente fracturados.

En las cercanías del paraje Los Paredones, se encuentran intrusionadas por diques de basalto y tiene estratificación graduada; en otras capas ocasionalmente presenta estratificación cruzada y grietas de desecación de lodos. Presenta un espesor aproximado de 170 a 210 m en las areniscas de Santa Inés. Se encuentra ampliamente distribuida en la zona central del acuífero Villa de Jesús María. En el área el espesor aproximado es de 300 m.

Sobreyace discordantemente a las rocas del Paleoceno-Eoceno y rocas intrusivas y metamórficas más antiguas. Está cubierta de la misma manera por la secuencia volcánica ácida de la Formación Comondú. De acuerdo con la distribución de sus afloramientos, se considera formada en cuencas continentales de extensión restringida, con lagos que ocasionalmente se desecaban, producto de los cambios del clima y de la topografía de esa época.

Neógeno Volcánico (Tsa, Tei, Tsb)

Formación Pelones, Minitas, Pilares, Hornillas y Ricason (Tsa): Grupo Comondú, definido por Heim en 1922, así como basaltos que coronan la secuencia volcánica de edad pliocénica sin nombre formacional. Los derrames miocénicos de basalto corresponden a la Formación Pilares.

El Grupo Comondú, tiene su localidad tipo cerca del poblado de San José de Comondú e incluye a rocas volcánicas y detríticas derivadas de ellas, grandes cuerpos porfídicos, lavas riolíticas, andesíticas y basálticas asociadas con tobas y aglomerados de composición similar.

Consiste en gran proporción de tobas y brechas riolíticas, con abundante pumicita y cristales rotos de cuarzo.

Las tobas son típicas de tonos rosáceos y en algunos lugares presenta estructura columnas. Hacia el oeste, la secuencia continúa predominantemente pumicita, pero se encuentran intercalaciones de tobas arenosas de composición más intermedia, coronadas por derrames dacíticos o riodacíticos que ocupan la parte superior de la secuencia.

El espesor de la unidad es muy variable, hacia la zona central y occidental del área, su espesor promedio es de 100 a 150 m, en la porción oriental, se incrementa considerablemente hasta aproximadamente 600 m.

Tsi.- La unidad está constituida por andesitas de textura afanítica de color rojizo y de extensión muy reducida que forman domos volcánicos; localmente se aprecian tobas andesíticas de características similares a los derrames. El espesor de la unidad es también muy reducido, las andesitas forman pequeños cuerpos hipabisales.

Tsb.- Unidad constituida por gran cantidad de derrames de basalto y acumulaciones locales de brechas y tobas básicas. El basalto varía en su composición; la más extendida es el basalto de olivino, sin embargo, en algunas áreas se presenta de labradorita. Los derrames constituyen amplias mesetas, en contraste con las tobas y las brechas que son comúnmente reducidas. En general los derrames presentan abundante fracturamiento y ocasionalmente intemperismo esferoidal.

Las más antiguas presentan arcilla muy escasa, producto del intemperismo de la roca. Las más recientes no tienen alteración alguna. El espesor de esta unidad es muy variable, desde unos 10 m o menos en aquellos lugares donde sólo se encuentra un derrame, hasta cerca de 200 m, en donde se acumularon varios derrames sucesivos.

Depósitos recientes no consolidados

- **(si)**.- Esta unidad incluye a los depósitos aluviales y de pie de monte del área. Está constituida por arenas limpias de grano medio a grueso y por gravas bien graduadas. Los elásticos se han derivado de rocas ígneas y metamórficas y de fragmentos minerales de cuarzo lechoso, feldespato y micas. Forma planicies aluviales y el relleno de los valles fluviales. Su espesor máximo ocurre en el Valle de Las Flores, al sur del poblado Bahía de Los Ángeles.
- **(eo)**.- Esta unidad está expuesta en las zonas costeras y en algunos valles; está formada por dunas paralelas a la línea de costa, su afloramiento mayor se encuentra al oeste del Valle de Jesús María.

El espesor de la unidad es de unos cuantos metros, las arenas que la constituyen son de grano fino a medio, bien redondeadas y bien clasificadas y son de fragmentos de rocas ígneas, metamórficas, minerales y fragmentos de moluscos.

- (la).- La unidad de depósitos lacustres tiene pocos afloramientos y están restringidos a las partes bajas. Está compuesta por estratos delgados y laminares de arenas finas intercalados con algunos horizontes de arcillas.
- **(B)**.- Unidad constituida por basaltos de olivino que forman aparatos volcánicos y derrames de lava de estructura acordonada. Estos basaltos presentan un fracturamiento moderado.

4.2 Geología estructural

Las estructuras que afectan las unidades litológicas son principalmente: fracturamiento, fallamiento y plegamiento en rocas sedimentarias. Las fallas son principalmente de tipo normal, cuya representación fisiográfica es la Sierra de San Borja.

Con base en la relación que muestran las rocas afectadas por las estructuras, se concluye que éstas son de edad pre-miocénica, con sentidos de movimiento horizontal izquierdo para el primer sistema de esfuerzos y de tipo vertical normal, principalmente para el sistema post-miocénico.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con los valores de resistividad obtenidos de los sondeos eléctricos verticales realizados en 1973, se clasificaron los materiales del subsuelo como se muestra en la tabla 2:

RESISTIVIDAD (OHM/m)	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	
300 A 328	ALTA	MATERIAL DE GRANO MEDIO, A GRUESO, ALUVIAI	
ENTRE 50 Y 90	MEDIA	MATERIAL DE GRANO MEDIO A FINO	
20 o Menor	BAJA	LUTITAS, ARCILLAS GRISES, ARCILLAS LIMOSAS	

Tabla 2. Unidades Geoeléctricas.

A partir de la interpretación de la geología del subsuelo y las características de las unidades litológicas que lo conforman, es posible definir un sistema acuífero heterogéneo y anisótropo, de tipo libre, conformado por un medio granular, hacia la parte superior, y otro fracturado subyacente. El medio granular es el que se explota actualmente. Existe interconexión hidráulica entre ambos medios, de tal manera que el espesor del acuífero puede alcanzar varias centenas de metros en el centro de los valles, dependiendo de la profundidad del fracturamiento, y disminuir gradualmente hacia los flancos de las sierras que los rodean.

Verticalmente la frontera superior es la posición del nivel freático y las fronteras inferiores y laterales están constituidas por las rocas que constituyen el medio fracturado, cuando su permeabilidad secundaria por fracturamiento desaparece, así como las rocas ígneas intrusivas y metamórficas que conforman las sierras que delimitan el acuífero. De acuerdo con el comportamiento geoeléctrico y a los afloramientos, se identificaron tres unidades, que de la base a la cima son:

Unidad Impermeable: representada por la Formación Esquisto Julián, que de acuerdo a sus características litológicas y estructurales, se considera el basamento impermeable del área, y por lo tanto, sin ninguna posibilidad de explotación de agua subterránea.

Unidad semipermeable: está constituida por limolitas y areniscas; debido a su carácter interestratificado representan un pequeño dren hacia el Océano Pacífico.

Unidad permeable: constituida por depósitos granulares del Cuaternario, integrados por gravas y arenas y material arcillo arenoso originados por la erosión de formaciones preexistentes, transportadas de las partes altas de la cuenca por las corrientes a las zonas topográficamente bajas, en las que se encuentra la zona de explotación.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de tipo libre y está constituido por sedimentos no consolidados, muy heterogéneos del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario, con espesores de 80 a 100 m, limitado vertical y horizontalmente por rocas metamórficas e ígneas impermeables, que constituyen el basamento. La recarga ocurre a través de la infiltración de la lluvia y de los arroyos intermitentes de la zona.

5.2 Parámetros hidráulicos

Para el acuífero no se cuenta con datos de pruebas de bombeo, por lo que los parámetros hidráulicos se infirieron del caudal específico. Para lo que se utilizaron datos de la perforación exploratoria de los pozos PBCEVJM-04, PBCEVJM-05 y PBCEV-06, los valores se muestran en la tabla 3:

PBCEVJM-**VALORES** PBCEVJM-5 **VALORES** PBCEVJM-6 **VALORES** 04 36.66 21.62 NE(m) 15.82 NE(m) NE(m) ND(m) 49.6 ND(m) 49.5 ND(m) 42.75 25 Q(lps) Q(lps) Q(lps) 45.34 78.18 B(m) B(m) B(m) 84.18 **POZOS** $T(cm^2/s)$ K(m/s) 1.02 X10⁻⁵ 4.64 X 10⁻⁴ PBCEVJM-04 1.5 X 10⁻⁵ 8.97 X 10⁻⁴ PBCEVJM-05 2 20559 X 10⁻⁶ PBCEVJM-06 1.86 X 10⁻⁴

Tabla 3. Parámetros Hidráulicos.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento del acuífero se cuenta con información correspondiente al 2007.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático para el año 2007 varía de 8 a 18 m en el área cercana a la costa, mientras que cerca del poblado Villa Jesús María alcanza profundidades de 23 a 30 m. En la porción este, aguas arriba la profundidad al nivel estático alcanza 20 m (figura 3).

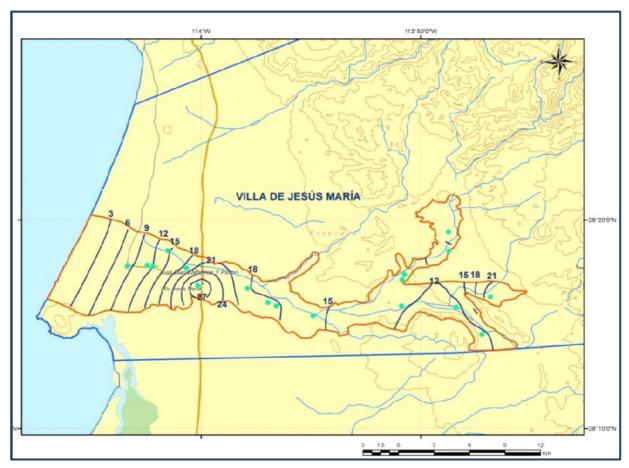


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2007).

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático varía de 5 msnm en los alrededores de los Poblados Villa Jesús María y José María Morelos y Pavón, y se incrementa hacia el este hasta alcanzar 121 msnm (figura 4).

El agua subterránea circula desde las partes más elevadas localizadas al oriente hacia la costa, en dirección este-oeste. La recarga ocurre en la porción este y existe una descarga de agua subterránea hacia el mar.

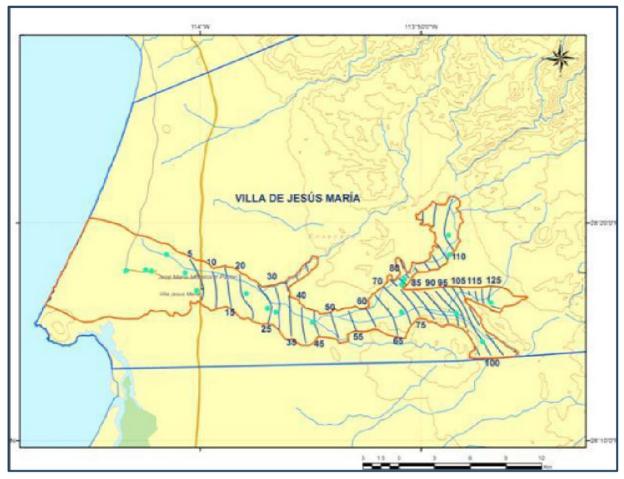


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2007)

5.4.3 Evolución del nivel estático

En la figura 5 se presenta la evolución del nivel estático en el acuífero, para el período 1973-2007.

En general, se observa un ligero incremento en la elevación del nivel del agua de hasta 0.5 m al año en la porción más cercana a la costa correspondiente al Ejido José María Morelos.

En la parte alta del acuífero se observan ligeros abatimientos de hasta -0.2 m al año. En la mayor parte del acuífero no se registran variaciones en la posición del nivel estático

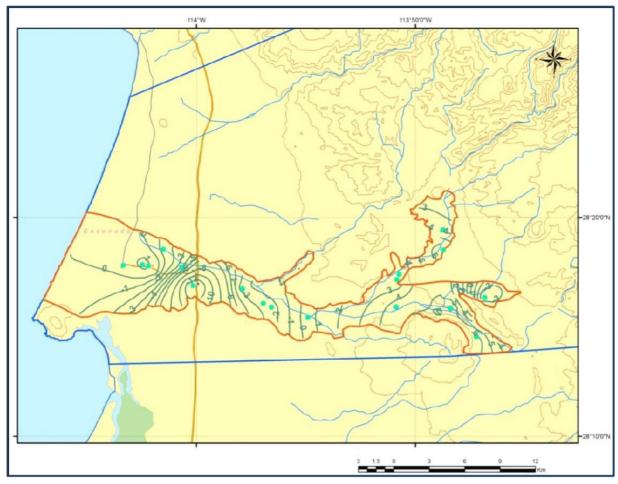


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (1973-2007)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La concentración de sólidos totales disueltos del agua subterránea en noviembre del 2007 variaba de 395 a 4000 ppm; las menores concentraciones se localizan en el Ejido Villa de Jesús María al oriente del valle y las mayores se observan en la margen izquierda del Arroyo, en el Ejido José María Morelos. Las altas concentraciones de sólidos totales disueltos no se deben a una intrusión marina, se generan por mineralización natural del agua y por prácticas agrícolas deficientes al disponer los agroquímicos dentro de los pozos o norias, obteniendo mediante el bombeo agua mezclada con agroquímicos que utilizan en riego, lo cual incrementa la concentración de sólidos totales en el acuífero.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

El volumen de extracción total se estima que es de **1.0 hm³/año**, de los cuales 92 % se destina para uso agrícola, 3 % para uso público urbano, 4.5% para uso pecuario y el 0.5% restante para uso doméstico.

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 con la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

Entradas (E) – Salidas (S) = Cambio de masa

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

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

El balance de aguas subterráneas se definió para el periodo 1973-2007, en una superficie de 185 km² que corresponde a la zona donde se localizan los aprovechamientos de agua subterránea.

La ecuación de balance propuesta para este acuífero es:

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

Donde

Eh = Entradas por flujo subterráneo horizontal

Rv = Recarga vertical

B = Bombeo

Sh = Salidas por flujo subterráneo horizontal

ETR = Evapotranspiración

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y por flujo subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (Ri). En la zona, el volumen de agua subterránea explotado para uso agrícola representa más del 90% total. Sin embargo de acuerdo con los métodos de riego empleados (tecnificados), se considera despreciable el retorno de riego, así como también la infiltración de infraestructura hidroagrícola, debido a que no existen centros de población importantes recarga por fugas en la red es insignificante. Por esta razón **Ri = 0.**

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 (1).

De esta manera, despejando la recarga vertical (Rv) se obtiene la siguiente expresión:

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

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 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, mediante la siguiente expresión:

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

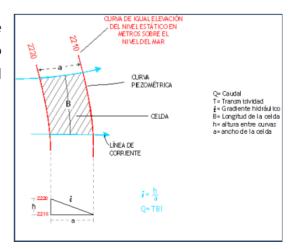
Donde:

 \mathbf{Q} = Gasto:

T = Transmisividad:

B = Longitud de la celda;

i = Gradiente hidráulico;



Las celdas se trazan a partir de la geología y la configuración de elevación del nivel estático (figura 4) y se calcula el flujo a través de cada una de ellas (tabla 4).

CELDA	LONGITUD B (m)	Gradiente i	T (m²/s)	CAUDAL Q (m³/s)	VOLUMEN (hm³/año)
E1	0.810	0.00909	1.910	0.0141	0.400
E2	1.090	0.00909	1.389	0.0138	0.400
E3	2.600	0.00862	1.563	0.0350	1.100
E4	0.480	0.00505	1.042	0.0025	0.100
				TOTAL	2.0

Tabla 4. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo 2007.

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Eh) para el año 2007 es de **2.0 hm³ al año.**

7.2 Salidas

Las componentes del balance que representan las salidas del acuífero, son las descargas por flujo subterráneo hacia el mar (Sh), la evapotranspiración (ETR) y el bombeo de los aprovechamientos de aqua subterránea (B).

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Esta componente está representada por la descarga de una unidad hidrogeológica 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. Para la estimación de la evapotranspiración se descartaron los métodos de Turc y el de Smith, ya que para obtener resultados confiables se requieren precipitaciones mayores a 320 y 300 mm respectivamente.

Por lo que se utilizó la relación empírica de Gardner y Fireman (1958), la cual determina la tasa máxima de evaporación, a partir de las propiedades hidráulicas del medio y su granulometría. Su expresión matemática es:

$$E = Ks \left[\frac{-a\pi}{LN(sen(\pi/N))} \right]^{N}$$

Donde:

Ks= Conductividad Hidráulica a Saturación [cm/día];

a y N = Parámetros que representan la forma del suelo. Donde a [cm] y N [adim];

L= Profundidad [cm]:

El área presenta una granulometría que varía de media a gruesa, conformada por arenas y cantos rodados arrastrados a lo largo del arroyo, además existe la presencia de depósitos eólicos hacia la costa. Los parámetros **a** y **N** seleccionados de acuerdo a las características descritas arriba, son **a** = -19 cm y N = 3.7, mientras que Ks = 30 cm/día. Con estos parámetros se construye la gráfica para la relación tasa máxima de evaporación – profundidad de influencia (figura 6). Mientras que en la tabla 5 se muestra el volumen de evapotranspiración de acuerdo al área susceptible al fenómeno así como la tasa de evaporación para los dos años de análisis. Por lo tanto el valor estimado para este componente para el 2007 fue **0.50 hm³/año.**

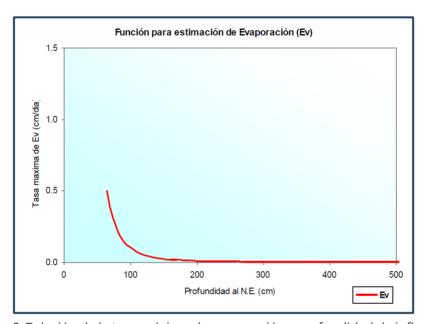


Figura 6. Relación de la tasa máxima de evaporación y profundidad de influencia.

PROFUNDIDAD MEDIA AL NIVEL ESTÁTICO (cm)	ÁREA (km²)	TASA DE EVAP. (mm/día)	VOLUMEN ETR (hm3/año)
100	1.3	1.01	0.48
200	0.85	0.08	0.02
300	0.4	0.02	0.00
		TOTAL	0.50

Tabla 5. Volumen de evapotranspiración de acuerdo al área

Una forma adicional para evaluar la evapotranspiración considera un porcentaje de lo medido en el tanque evaporímetro, donde la evaporación es comparativamente más alta en los niveles freáticos menores a 100 cm de la superficie del suelo, hasta tender a cero, para las zonas donde los niveles freáticos son mayores a 300 cm, según White citado por Keith (1973) figura 7.

En la tabla 6 se muestran los porcentajes respecto al volumen de evapotranspiración en promedio del año de balance para las profundidades de 100, 200 y 300 cm.

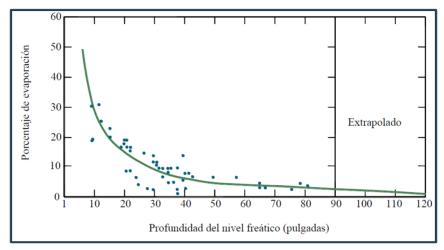


Figura 7. Evaporación del agua Subterránea expresada en % como una función de la profundidad y del nivel freático (según White).

El porcentaje evaporado se estimó de la representación gráfica realizada por White, respecto a la evaporación de los suelos que varían desde arcillas a limos. Para obtener el volumen total de evapotranspiración, se multiplicó el porcentaje estimado de acuerdo a la profundidad media al nivel estático (100, 200 y 300 cm) por la lámina evaporada, de 1,642 mm/año para el año de balance; finalmente multiplicando por el área susceptible a la evaporación para cada año de análisis se obtuvo un volumen anual de evapotranspiración. El volumen de evapotranspiración se estimó en **0.2** hm³/año como valor total para el año 2007.

Tabla 6. Volumen evapotranspiración respecto al % estimado a la gráfica de White de acuerdo con el área

PROFUNDIDAD MEDIA AL NIVEL ESTÁTICO (m)	ÁREA (km²)	LÁMINA ETR (mm/año)	% ETR (ESTIMADO GRÁFICA DE WHITE)	VOLUMEN ETR (hm3/año)
1	1.3	1.642	0.0250	0.1000
2	0.85	1.642	0.0375	0.1000
3	0.4	1.642	0.0092	0.0060
TOTAL	2.55			0.200

Finalmente, el volumen de evapotranspiración se estimó promediando los resultados de las dos metodologías, resultando un valor de **0.4 hm³/año**.

7.2.2 Extracción por bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría el volumen de extracción medio anual es de **1.0 hm³/año.**

7.2.3 Salidas por flujo subterráneo 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 de elevación del nivel estático.

Debe hacerse énfasis que el acuífero Villa de Jesús María 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, esto provoca que se modifique el gradiente hidráulico y los valores de transmisividad.

Las salidas subterráneas se cuantificaron de la misma manera que las entradas por flujo subterráneo como se muestra en la tabla 7.

CELDA	LONGITUD B (m)	Gradiente i	T (m²/s)	CAUDAL Q (m³/s)	VOLUMEN (hm³/año)
S1	1.100	0.0049	1.157	0.0062	0.200
S2	2.200	0.0042	3.472	0.0321	1.000
TOTAL 1.2					

Tabla 7. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo 2007.

El valor total del flujo subterráneo horizontal (Sh) para el año 2007 es de 1.2 hm³ al año.

7.3 Cambio de almacenamiento (\(\Delta VS \)

El cambio de almacenamiento se estimó a partir de la evolución del nivel estático del período 1973–2007. Se obtuvo un cambio en el volumen almacenado de -323.97 hm³ que multiplicado por el coeficiente de almacenamiento Sy para el acuífero Villa de Jesús María de 0.03 (GEOFIMEX 1973); arrojó como resultado un valor de -9.7 hm³, Que corresponde a un cambio de almacenamiento promedio anual de **-0.3 hm³.**

Solución de la ecuación del balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical como promedio medio anual para los 35 años del periodo analizado, mediante la expresión (2):

Rv =
$$\Delta$$
V(S) + (B + Sh + ETR) — Eh (2)
Rv = -0.3 + (1.0 + 1.2 + 0.4) — 2.0
Rv = 0.3 hm* anuales

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

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:

DISPONIBILIDAD MEDIA **=** RECARGA **-** DESCARGA **-** EXTRACCIÓN DE ANUAL DE AGUA DEL TOTAL NATURAL AGUAS SUBSUELO EN UN MEDIA COMPROMETIDA SUBTERRÁNEAS ACUÍFERO ANUAL

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, corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para el acuífero Villa de Jesús María la recarga total media anual es de **2.3** 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; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. La descarga natural comprometida se consideró un 10 % de las salidas por flujo subterráneo horizontal, que estima el volumen mínimo necesario para mantener la posición de la interfase marina. Por lo tanto, la descarga natural comprometida es de **0.1 hm³/año**.

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 **1,829,536 hm³ 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 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.

> DMA = R - DNC - VEAS DMA = 2.3 - 0.1 - 1.829536 DMA = 0.370464 hm³/año.

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **370,464 m³ anuales.**

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e 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 los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo en pozos cercanos a los pie de monte, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California. 2007. Estudio Técnico para Determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Subterráneas de los acuíferos El Rosario, Villa de Jesús María, Bahía de Los Ángeles, La Rumorosa-Tecate y San Rafael-La Palma, estado de Baja California", elaborado por la empresa Sanx Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1973. Las posibilidades hidrológicas del subsuelo en el Valle de Jesús María municipio de Ensenada, Baja California. Elaborado por la compañía GEOFIMEX, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1979. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la Zona Sur de Baja California Norte. Elaborado por la Empresa INGEO, S.C.