



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO VISTA DEL MAR (1425), ESTADO DE  
JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Provincia fisiográfica.....	5
2.2 Clima.....	5
2.3 Hidrografía.....	5
2.4 Geomorfología.....	6
<b>3. GEOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
3.1 Estratigrafía.....	8
3.2 Geología estructural.....	9
3.3 Geología del subsuelo.....	10
<b>4. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
4.1 Tipo de acuífero.....	11
<b>5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>12</b>
5.1 Entradas.....	12
5.1.1 Recarga vertical (Rv).....	12
5.2 Salidas.....	19
5.2.1 Bombeo (B).....	19
5.2.2 Descarga por manantiales (Dm).....	19
<b>6. DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>19</b>
6.1 Recarga total media anual (R).....	20
6.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	20
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	20
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	21
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>22</b>

## **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 Vista del Mar, definido con la clave 1425 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción Oeste del estado de Jalisco, entre las coordenadas geográficas 20° 08' y 20° 30' de latitud norte y 105° 06' y 105° 32' de longitud oeste y abarca un área de 1441.74 km<sup>2</sup>.

Limita al norte con el océano Pacífico; al este con los acuíferos Puerto Vallarta y Santa María en el estado de Jalisco; al sur con el acuífero Tomatlán del estado de Jalisco y al

oeste con el océano Pacífico (figura 1).

Geopolíticamente su territorio cubre en su mayoría al municipio de Cabo Corrientes del estado de Jalisco y parcialmente a los municipios de Talpa de Allende, Tomatlán y Puerto Vallarta pertenecientes al estado de Jalisco.

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

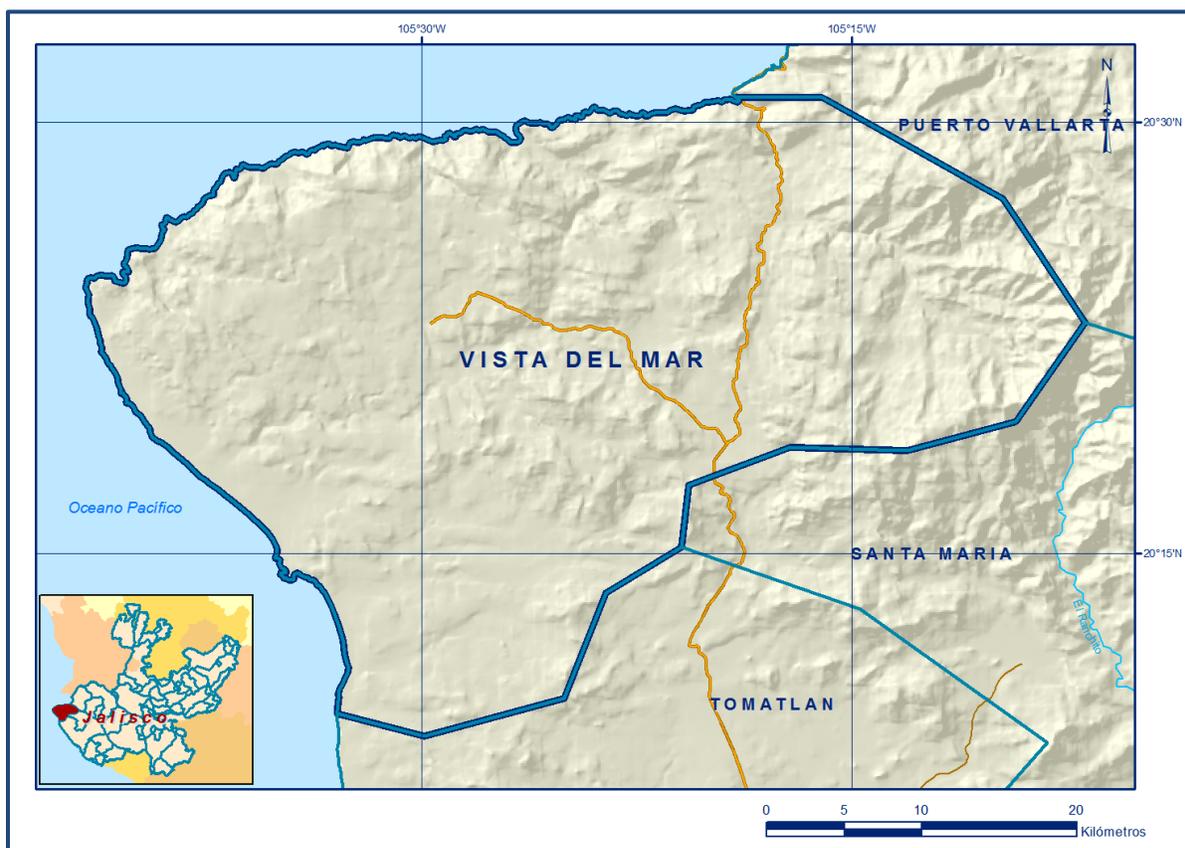


Figura 1. Localización del acuífero

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1425 VISTA DEL MAR							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	105	6	54.6	20	23	1.1	
2	105	9	19.3	20	19	35.4	
3	105	13	5.0	20	18	35.6	
4	105	17	10.6	20	18	42.3	
5	105	20	43.1	20	17	22.6	
6	105	20	57.5	20	15	13.0	
7	105	23	35.7	20	13	36.9	
8	105	25	2.0	20	9	57.8	
9	105	29	54.0	20	8	38.2	
10	105	32	56.5	20	9	24.9	DEL 10 AL 11 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
11	105	19	2.6	20	30	52.7	
12	105	17	50.5	20	30	52.5	
13	105	16	4.2	20	30	52.5	
14	105	9	45.8	20	27	20.1	
1	105	6	54.6	20	23	1.1	

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Vista del Mar pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma Santiago Pacífico”. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones de tres decretos de veda. Una porción noreste del acuífero está regida por el “*Decreto en el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos ubicados en el Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco*”; publicada en el DOF el 12 de enero de 1978. Esta veda es de tipo II, donde se permite la extracción para usos domésticos.

Del mismo modo, la mayor parte del acuífero Vista del Mar, se rige por el “*Decreto en el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en zonas no vedadas en diversos Municipios del Estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamientos de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del Estado de Jalisco*”, éste fue publicado en el DOF el 07 de diciembre de 1987. Esta veda es de tipo III, que permiten extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Por último, una porción del acuífero en el suroeste está comprendida por el “*Decreto en el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en la parte que corresponde a los Municipios de Tomatlán, La Huerta, Cihuatlán y Tonalá del Estado de Jalisco*”. Este fue publicado en el DOF el 21 de septiembre de 1984.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca Costa Pacífico Centro, al Comité de Playas Limpias de Jalisco-Nayarit (aprobado el 25 de octubre de 2007).

## **2. FISIOGRAFÍA**

### **2.1 Provincia fisiográfica**

De acuerdo con la clasificación de las provincias fisiográficas realizada de INEGI, la superficie cubierta por el acuífero se localiza en la Provincia de la Sierra Madre del Sur, subprovincia fisiográfica Sierras de la Costa de Jalisco y Colima.

### **2.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por E. García, para las condiciones de la República Mexicana, en el área cubierta por el acuífero predomina el cálido subhúmedo (Aw2), con temperatura media anual mayor a 22° C y temperatura mínima de 18°C en el mes más frío. Tiene precipitaciones entre 0 y 60 mm en el mes más seco, con lluvias en verano con índice P/T mayor a 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

Usando el método de isólinas con la información de temperatura y precipitación media anual obtenida del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a escala 1:1,000,000, se calcularon los promedios anuales los cuales son **24.2°C** y **1,331 mm**, respectivamente.

El régimen de lluvias ocurre durante los meses de junio a octubre, concentrándose principalmente entre junio y septiembre. La máxima precipitación se registra en el mes de agosto.

### **2.3 Hidrografía**

El acuífero se ubica en las Regiones Hidrológicas 13 Río Huicicila y 15 Costa de Jalisco; donde se ubican las cuencas de Tecomala, Río Tecolotán y Río Ipala.

Los ríos principales son: El Tuito, Comara, Zicatán, Ipala, Los Horcones, La Puerta y Tabo. Al norte, el patrón de drenaje que predomina es de tipo rectangular o enrejado, donde hay varios afluentes y corrientes que se unen en ángulos rectos y orientaciones rectilíneas. El patrón está controlado por las fracturas que se encuentran en la zona.

En el norte del acuífero de Vista del Mar existe un conjunto de fracturas paralelas con dirección SE-NW, asimismo hay arroyos que corren con direcciones N-SW que responden a las orientaciones de los valles intermontanos.

En contraste, al sur del acuífero, al sur del río Tecolotlán, el patrón de drenaje y es de tipo dendrítico, aunque localmente presenta también drenaje enrejado y anular en ciertas partes, con mayor densidad hidrográfica, a pesar de la baja altitud: 200 a 300 m (Lugo, 1980).

## **2.4 Geomorfología**

En su porción más occidental, el área del acuífero se observa una meseta que está fuertemente disectada al NW por los ríos Tecomala, El Tuito.

En la costa norte del acuífero, el litoral es de tipo abrasivo, directamente sobre la línea de costa se levantaban bruscamente montañas abruptas cuyas cimas superan incluso los 800 m (Lugo, 1980). Aquí se alternan cabos, ensenadas y promontorios rocosos con acumulaciones de sedimentos de playa. Las ensenadas son valles fluviales originados por los escurrimientos que se desprenden desde la sierra El Cuale, y están controlados por lineamientos en sentido NNW-ESE y NE-SW. Estos valles se encuentran inundados en su porción final debido parcialmente al aumento del nivel del mar en el Pleistoceno, así como por el hundimiento de los bloques serranos. Tal es el caso de boca Quimixto y Yelapa (UG, 2001). Estas desembocaduras fluviales al sur de la bahía de Banderas son del tipo de estuarios (o bocas), originados por un descenso brusco de la corriente hacia el mar, depositando sus materiales en un medio relativamente profundo (Lugo, 1980).

Sin embargo, más al SW hay un paisaje más suave donde se aprecian una planicie acumulativa aluvial en la costa más occidental del acuífero misma que se ensancha y que es parcialmente cortada por los ríos Tecolotlán e Ipala pero que continúa hasta el límite sur del acuífero.

En cambio, el territorio en el NE es diferente, con valles en V paralelos y en diferentes orientaciones. Al sur de Puerto Vallarta se aprecian fuertes pendientes que pertenecen al bloque montañoso que rodea a la ciudad. Esta es la zona de contacto de 3 rasgos orográficos muy importantes en el país: la Sierra Madre del Sur, la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre Occidental.

### 3. GEOLOGÍA

Litológicamente el acuífero está constituido mayoritariamente por granito del Mesozoico y en la frontera oeste se localiza un afloramiento de tobas ácidas del Cenozoico. En cambio, en la costa se encuentran conglomerados y depósitos aluviales recientes. En la región central del acuífero en los límites con el acuífero Santa María también hay depósitos aluviales (figura 2).



Figura 2. Geología general del acuífero

### **3.1 Estratigrafía**

A continuación, se describen brevemente las unidades litológicas presentes en la superficie del acuífero, en orden cronológico de la más antigua a la más reciente.

#### **JURÁSICO**

##### **Rocas metamórficas**

Las rocas metamórficas del Jurásico consisten en esquistos, filitas y pizarras, que afloran al poniente de Talpa de Allende y al noreste de Mascota (SGM,2021).

#### **CRETÁCICO INFERIOR**

##### **Granito-granodiorita**

En cambio, en el acuífero se identifican rocas ígneas intrusivas cretácicas (como el granito). Se presentan principalmente en forma de batolitos cuya composición en general es de tipo granítico y granítico-diorítico (Delgado y otros, 1978). Según descripciones del SGM, son el basamento de esta zona. A estas rocas se le denomina Batolito Puerto Vallarta y se le atribuye una edad 103 a 101 Ma (Schaaf P. 1995). En la parte occidental aflora el Batolito Puerto Vallarta en forma de complejos ígneos, troncos, apófisis y diques, cuya composición varía de granito a granodiorita en la región central y de diorita a tonalita en Cabo Corrientes. Las edades radiométricas (K-Ar) varían de 100 a 83 Ma (Gastill et al. 1978, Allan 1986, Kohler et al. 1988).

##### **Rocas vulcano-sedimentarias**

Pertencientes al Cretácico Inferior, cuyo espesor es variable, están constituidas por riolitas y limolitas, con metamorfismo de facies de esquistos verdes (Ferrar et al. 1997). También se encuentran lutitas, areniscas y calizas alternadas con tobas riolíticas, riódacíticas y andesitas y que han sido correlacionadas con secuencias similares en otras localidades hacia el oriente y occidente de la región asignándole una edad Neocomiano-Aptiano (SGM, 2001). Este paquete hace parte del terreno Guerrero.

#### **CRETÁCICO SUPERIOR**

##### **Toba riolítica**

Sobreyaciendo a las rocas vulcano-sedimentarias se encuentra una secuencia pseudoestratificada de tobas riolíticas en horizontes de brechas y tobas que representan un vulcanismo cretácico superior cuyas edades están entre 114-83 Ma (Gástill, 1983 en Zimmerman J.L. et al. 1988). Esta edad es similar a la del Batolito Puerto Vallarta.

### **Brecha volcánica andesítica-andesita**

Aunque son escasos, afloran especialmente en la porción Central y Oeste del acuífero hacia el acuífero de Puerto Vallarta. Estas se correlacionan con el vulcanismo del Complejo Volcánico Inferior de la Sierra Madre Occidental (MacDowell, et al. 1991), constituido por pórfidos, tobas, aglomerados andesíticos en contacto transicional a dacitas y riolitas. La edad de estas rocas es del Cretácico superior (Righter et al. 1995).

## **PLIOCENO-CUATERNARIO**

### **Toba riolítica**

Es la roca más abundante en esta área, McDowell y Clabaugh (1979) la consideran como parte del Complejo Volcánico Superior de la Sierra Madre Occidental (en C.R.M., 1999), sin embargo, con fechamientos más recientes se la ha atribuido una edad de  $3.17 \pm 0.04$  Ma, es decir del Plioceno y la consideran una cubierta del Eje Neovolcánico. Es una roca color pardo a rosado y está intercalada en algunas regiones con andesitas basálticas, (SE, 2004 y SGM, 2001).

## **PLEISTOCENO**

### **Conglomerados**

En la costa del acuífero se encuentran conglomerados polimícticos constituidos por clastos de rocas ácidas, andesitas y basaltos de hasta 50 cm, bien redondeados, en una matriz arenosa a lo que se les asigna una edad del Pleistoceno superior.

### **Depósitos Lacustres**

Por otro lado, a estos los cubren sedimentos aluviales también del Cuaternario en las mismas zonas del acuífero y también se localizan en los límites con el acuífero Santa María.

## **3.2 Geología estructural**

En el área se presentan estructuras producto de deformaciones dúctil y frágil, las primeras originadas por procesos compresivos que dieron lugar a plegamientos y foliación durante la Orogenia Laramide, mientras que las frágiles se originaron durante procesos de distensión post-cretácico.

La deformación dúctil se presenta en las rocas vulcano-sedimentarias con desarrollo de esquistosidad, estructuras sigmoidales elongadas y plegamiento isoclinal.

Por otra parte, el Batolito de Puerto Vallarta muestra foliación magmática al sur de este puerto y foliación tectónica al oriente de Valle de Banderas (SGM,1999).

La deformación frágil está representada por un sistema de fallamiento transtensivo sinistral de dirección NW70°-80°SE, desplazado por un fracturamiento conjugado orientado NW45-60SE y NE20-60SW; también se presenta un fracturamiento secundario casi norte-sur (SGM,1999).

Estas estructuras habrían sido originadas por un movimiento predominantemente extensivo que produce la separación del Bloque Jalisco del resto del territorio mexicano actual, desde el Plioceno temprano (Luhr et al. 1985), con reactivaciones periódicas (Ferrari, 2000; Rosas et al., 1996).

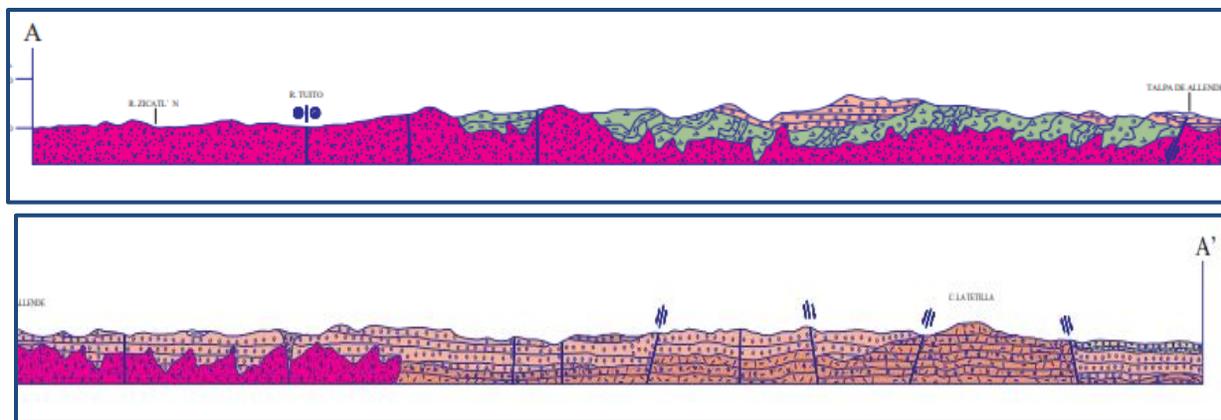
### **3.3 Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información geológica y geofísica, así como la geología superficial recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible establecer que el acuífero se encuentra constituido, en la costa y límite con el acuífero Santa María, por sedimentos de granulometría variable, que conforman los depósitos aluviales. Así como los conglomerados polimícticos, que han sido transportados por los escurrimientos superficiales desde las regiones topográficamente más altas.

A mayor profundidad se encuentran tobas riolíticas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Asimismo, más abajo se encuentran tobas riolíticas del cretácico que sobreyacen a las rocas vulcano-sedimentarias del Cretácico (aunque éstas también afloran en gran parte del área de estudio). Ambas se asumen con permeabilidad media a baja por su fracturamiento moderado.

Finalmente, en ciertos sitios el batolito Vallarta y las tobas del Cretácico inferior actúan como basamento. Estas rocas también poseen una permeabilidad baja por lo que actúan como confinantes. Estas rocas también intrusionan en estratos superiores o afloran en superficie (sobre todo al Oeste del acuífero) por lo que también controlan el flujo regional en esta zona (figura 3).



Fuente: Carta Geológico-Minera F13-11 "Puerto Vallarta" Esc. 1: 250,000 (SGM, 1999)

Figura 3. Sección geológica esquemática

## 4. HIDROGEOLOGÍA

### 4.1 Tipo de acuífero

Teniendo en consideración las características físicas (grado de compactación, granulometría, fracturamiento, etc.) de los materiales que afloran en la zona, se puede asignar de manera cualitativa a cada material una permeabilidad y agruparlos en unidades hidrogeológicas:

#### Formación hidrogeológica I

Comprende a los depósitos aluviales y conglomerados polimícticos, los cuales presentan una variada granulometría; su permeabilidad es alta, hidrogeológicamente actúa como un acuífero libre de buena potencialidad.

#### Formación hidrogeológica II

Comprende a los depósitos volcano-sedimentarios del Cretácico, las tobas ácidas del Cuaternario; los cuales presentan un fracturamiento moderado. La permeabilidad de la unidad va de media a baja. Hidrológicamente estos materiales actúan en superficie como una zona de recarga restringida, mientras que en el subsuelo pueden llegar a conformar bajo condiciones especiales, acuíferos semiconfinados de baja potencialidad.

El resto de las unidades litológicas, por la baja permeabilidad que presentan no constituyen acuíferos.

## 5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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 del acuífero:

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

### 5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Vista del Mar están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). No existe información piezométrica actual ni histórica que cubra la zona del acuífero, de tal manera que no es posible interpolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas. Por estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de **1,436.8 km<sup>2</sup>** del acuífero para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

#### 5.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

Donde:

$V_{LL}$  = Volumen de lluvia;

$V_{ETR}$  = Volumen evapotranspirado;

$V_{ESC}$  = Volumen escurrido;

$V_{INF}$  = Volumen infiltrado;

Por lo tanto, despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

Como se mencionó anteriormente para obtener los valores de precipitación media anual (PMA) y temperatura media anual (TMA) se calcularon a partir de las áreas delimitadas por las isoyetas e isotermas, abarcando un área total de 1,436.8 km<sup>2</sup> para el balance. En el caso del acuífero Vista del Mar la PMA es de 1,331 mm/año y la TMA es de 24.2 °C.

Por lo tanto, para calcular el volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se multiplicó el área del balance (1,436.8 km<sup>2</sup>) por la precipitación media anual (1,331 mm):

$$V_{LL} = 1,436.8 \text{ km}^2 (1.331 \text{ m}) = 1,912.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por otro lado, para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los mismos valores de PMA y TMA.

Turc, a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas por todos los climas del mundo, define la siguiente expresión para la estimación de la evapotranspiración real:

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$$

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc, es que la precipitación no debe ser menor a la relación 0.31L. En caso contrario se obtiene una ETR > P y para estos casos se debe considerar a ETR = P. De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de **1,059 mm anuales**.

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

T(°C)=	24.2		
P(mm)=	1,331	p <sup>2</sup> =	1,771,561
L=	1,616.456449	L <sup>2</sup> =	2612931.452271450
ETR(mm)=	1,059		

Por lo tanto, el volumen de ETR es:

$$V_{ETR} = 1,436.8 \text{ km}^2 (1.059 \text{ m}) = 1,521.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 27 de marzo de 2015, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento. El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \text{PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA} * \text{AREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO}$$

El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Con apoyo de la cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos:

A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso que, en la cuenca estudiada existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado.

Dependiendo del valor obtenido para K, el coeficiente de escurrimiento (Ce), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

Si K resulta menor o igual que 0.15

$$Ce = K (P-250) / 2000$$

Si K es mayor que 0.15

$$Ce = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$$

Donde:

**P** = Precipitación anual;

**Ce** = Coeficiente de escurrimiento anual;

**K** = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

De acuerdo con el sistema FAO/UNESCO y modificado por la Dirección General de Geografía, en la zona que comprende el acuífero Vista del Mar predominan los siguientes tipos de suelo: Cambisol, Litosol y Regosol que se clasificaron en dos tipos de suelo: B y C (figura 4).

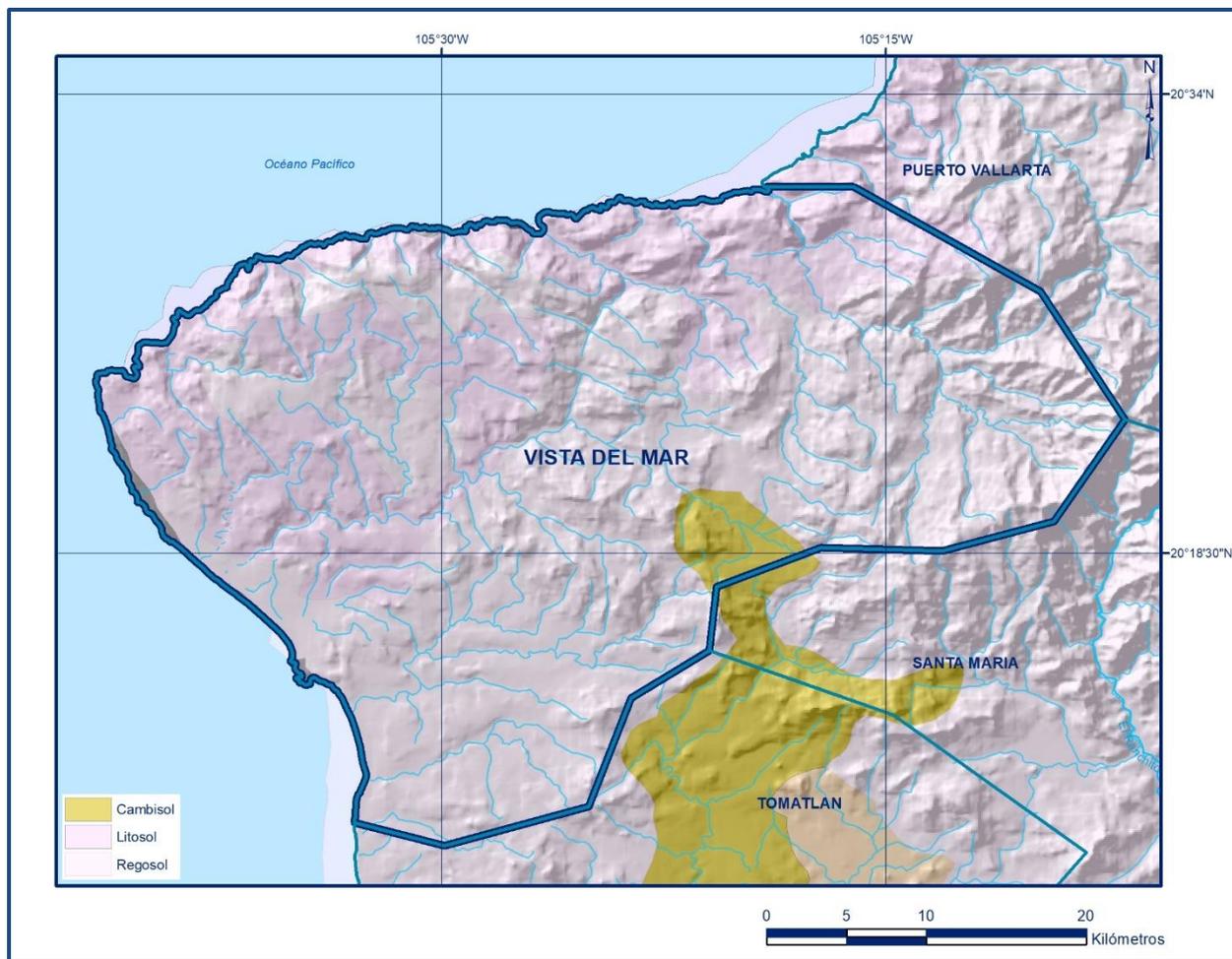


Figura 4. Tipo de suelo

En cuanto al uso de suelo, de acuerdo con la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) escala 1: 250,000, en el área donde se localiza el acuífero hay al menos ocho usos de suelo diferentes: agricultura, asentamientos humanos, bosque, cuerpos de agua, desprovisto de vegetación, otros tipos, pastizal y selva (figura 5).

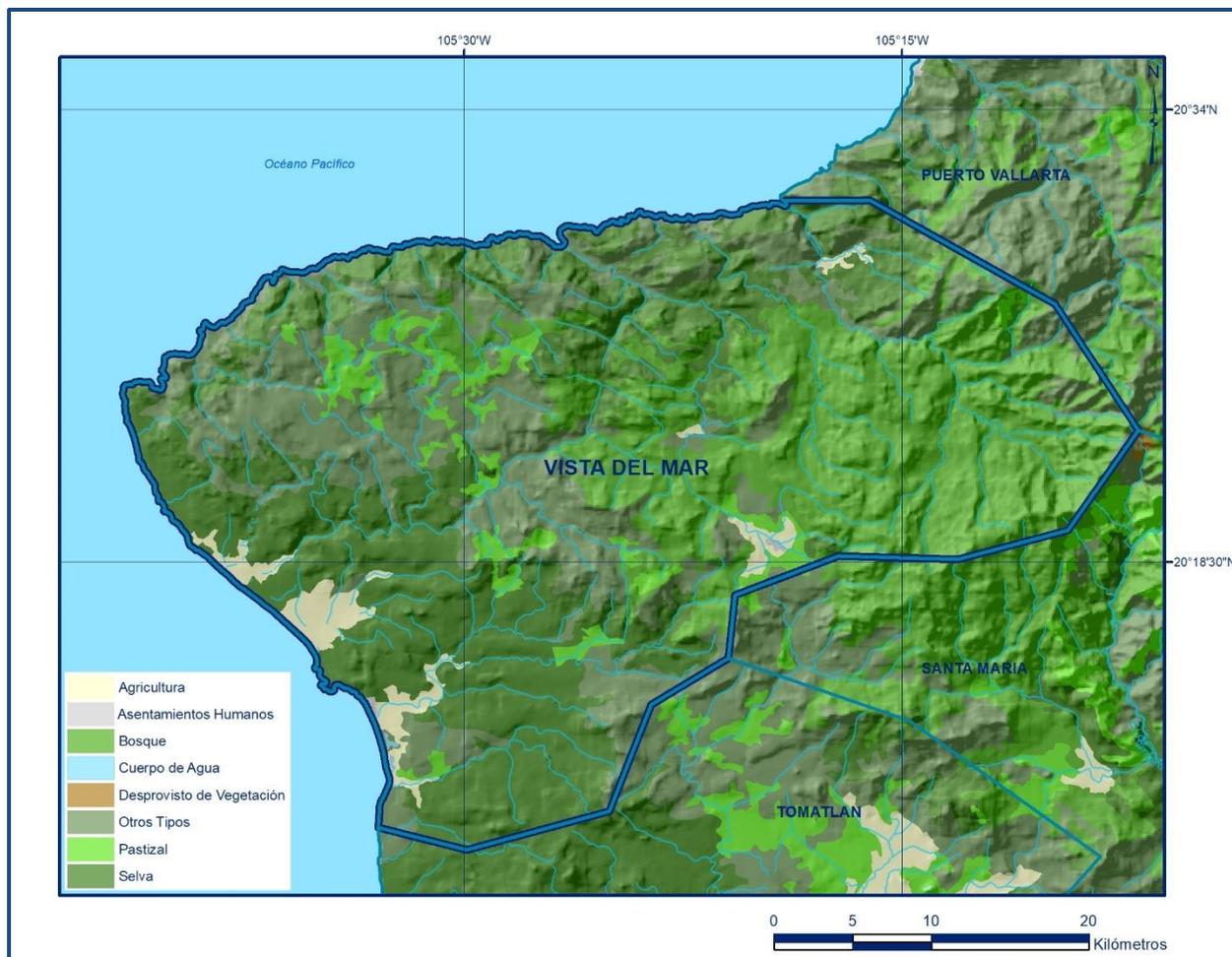


Figura 5. Uso de suelo

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pasízal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.25, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$

$$Ce = 0.201$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$V_{ESC} = 0.201 (1,912.4 \text{ hm}^3) = 384.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \text{ (2)} \\V_{INF} &= 1,912.4 - 1,521.6 - 384.0 \\V_{INF} &= 6.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}\end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 1,912.4 hm<sup>3</sup>/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0036.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es:

$$Rv = 6.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 5.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y a través de manantiales (Dm).

### 5.2.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), se tiene registrado un volumen de extracción de **2.2 m<sup>3</sup> anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

### 5.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

Se identificó la existencia de 18 manantiales, que representan un volumen calculado de **4.2 hm<sup>3</sup> anuales**.

## 6. 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:

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

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

### **6.1 Recarga total media anual (R)**

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R) corresponde a la suma de los volúmenes que ingresan al acuífero en forma de recarga vertical.

Para este caso, el valor estimado de la recarga total media anual que recibe el acuífero es de **6.8 hm<sup>3</sup> anuales**.

### **6.2 Descarga natural comprometida (DNC)**

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

Para el caso del acuífero de Vista del Mar se considera que el valor de descarga natural comprometida es de **DNC = 4.2 hm<sup>3</sup> anuales**.

### **6.3 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 **2,225,700 m<sup>3</sup> 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 del 2022**.

#### **6.4 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.

Por lo tanto, la disponibilidad de aguas subterráneas es:

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 6.8 - 4.2 - 2.225700 \\ \text{DMA} &= 0.374300 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe disponibilidad de **374,300 m<sup>3</sup> anuales** para otorgar nuevas concesiones.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Ferrari L. 2000. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen 53, Número 1, pp.84-92.

García E., 2004. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libros. Número 6. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

Lugo-Hubp J.L., Ortiz-Perez M.A. 1980. Análisis geomorfológico-estructural del conjunto montañoso de la región de Cabo Corrientes, Jalisco. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XLI, Números 1 y 2. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería. 2011. TEXTO GUÍA CARTA MAGNÉTICA “PUERTO VALLARTA” F13-11. Escala 1:250000. Editado por el Consejo de Recursos Minerales.

Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería. 2004. INFORME DE LA CARTA GEOLÓGICO-MINERA “El Tuito” F13-C79. Escala 1:50,000. Editado por el Consejo de Recursos Minerales.

Servicio Geológico Mexicano. 1999. Carta Geológico-Minera F13-11 “Puerto Vallarta” Esc. 1: 250,000.

Universidad de Guadalajara. 2001. Las regiones geomorfológicas del estado de Jalisco. Año 2, Número 3. Geocalli. Cuadernos de Geografía. Departamento de Geografía y Ordenación Territorial.