

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE SANTA MARÍA DEL ORO  
(1812), ESTADO DE NAYARIT**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. GENERALIDADES.....</b>                                  | <b>2</b>  |
| 1.1 Localización .....  | 2         |
| 1.2 Situación administrativa del acuífero .....               | 4         |
| <b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b> | <b>5</b>  |
| <b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>                                    | <b>6</b>  |
| 3.1 Provincia fisiográfica .....                              | 6         |
| 3.2 Clima .....   | 7         |
| 3.3 Hidrografía.....  | 8         |
| 3.4 Geomorfología.....  | 9         |
| <b>4. GEOLOGÍA.....</b>                                       | <b>9</b>  |
| 4.1 Estratigrafía .....                                       | 11        |
| 4.2 Geología estructural .....                                | 11        |
| <b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>                                  | <b>12</b> |
| 5.1 Tipo de acuífero.....                                     | 12        |
| 5.2 Parámetros hidráulicos .....                              | 12        |
| 5.3 Piezometría.....  | 13        |
| 5.4 Comportamiento hidráulico.....                            | 13        |
| 5.4.1 Profundidad al nivel estático.....                      | 13        |
| 5.4.2 Elevación del nivel estático.....                       | 14        |
| 5.4.3 Evolución del nivel estático .....                      | 16        |
| 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....      | 17        |
| <b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>       | <b>18</b> |
| <b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>                  | <b>19</b> |
| 7.1 Entradas.....   | 19        |
| 7.1.1 Recarga vertical (Rv).....                              | 19        |
| 7.1.2 Entradas subterráneas horizontales (Eh).....            | 21        |
| 7.2 Salidas .....   | 22        |
| 7.2.1 Evapotranspiración (ETR).....                           | 22        |
| 7.2.2 Bombeo (B).....   | 24        |
| 7.2.3 Salida de flujo subterráneo horizontal (Sh).....        | 25        |
| 7.2.4 Descarga través de manantiales (Dm).....                | 25        |
| 7.3 Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ) .....            | 25        |
| <b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>                                | <b>26</b> |
| 8.1 Recarga total media anual (R).....                        | 26        |
| 8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....                  | 26        |
| 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....   | 27        |
| 8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)..... | 27        |
| <b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                  | <b>29</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-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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 Valle de Santa María del Oro, designado con la clave 1812 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro sur del estado de Nayarit, entre los paralelos 21° 13' y 21° 32' de latitud norte y los meridianos 104° 41' y 104° 26' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 478 km<sup>2</sup>. Limita al norte y oriente con el acuífero Valle Santiago-San Blas, al occidente con el acuífero Valle de Matatipac y al sur con el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán, todos ellos pertenecientes al estado de Nayarit (figura 1). El acuífero abarca parcialmente el municipio de Santa María del Oro (99%) y una pequeña porción del municipio La Yesca (1%).



Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

| ACUIFERO 1812 VALLE DE SANTA MARIA DEL ORO |                |         |          |               |         |          |
|--|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|
| VERTICE                                    | LONGITUD OESTE |         |          | LATITUD NORTE |         |          |
|  | GRADOS         | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS        | MINUTOS | SEGUNDOS |
| 1  | 104            | 33      | 12.8     | 21            | 13      | 35.3     |
| 2  | 104            | 36      | 50.8     | 21            | 14      | 25.2     |
| 3  | 104            | 37      | 14.7     | 21            | 16      | 16.7     |
| 4  | 104            | 38      | 41.1     | 21            | 16      | 34.0     |
| 5  | 104            | 40      | 2.4      | 21            | 16      | 40.4     |
| 6  | 104            | 39      | 24.4     | 21            | 22      | 2.9      |
| 7  | 104            | 39      | 59.3     | 21            | 23      | 27.2     |
| 8  | 104            | 38      | 3.4      | 21            | 26      | 5.2      |
| 9  | 104            | 36      | 12.0     | 21            | 28      | 0.0      |
| 10   | 104            | 34      | 37.5     | 21            | 31      | 14.5     |
| 11   | 104            | 33      | 29.8     | 21            | 31      | 11.8     |
| 12   | 104            | 32      | 13.5     | 21            | 30      | 19.4     |
| 13   | 104            | 31      | 53.4     | 21            | 29      | 53.9     |
| 14   | 104            | 32      | 4.5      | 21            | 28      | 6.9      |
| 15   | 104            | 29      | 5.9      | 21            | 27      | 37.5     |
| 16   | 104            | 28      | 19.7     | 21            | 26      | 21.1     |
| 17   | 104            | 28      | 44.1     | 21            | 20      | 45.4     |
| 18   | 104            | 27      | 51.2     | 21            | 18      | 58.0     |
| 19   | 104            | 26      | 52.7     | 21            | 16      | 56.7     |
| 20   | 104            | 31      | 17.0     | 21            | 14      | 54.4     |
| 1  | 104            | 33      | 12.8     | 21            | 13      | 35.3     |

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

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

La mayor parte de su territorio se encuentra sujeto a la disposición del decreto de veda tipo II donde “Se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en los municipios de Santa María del Oro y Xalisco, y en la parte correspondiente de los de Tepic, San Blas y Compostela, todos del estado de Nayarit, que no están considerados en la veda establecida según Decreto que creó el Distrito de Acuacultura No. 1”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de febrero de 1975.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. Las localidades de Zapotanito, Cerro Blanco y Santa María del Oro tienen como fuente principal pozos profundos para uso pecuario.

El principal usuario del agua subterránea es la Productora Pecuaria Alpera, S.A. de C.V. En el acuífero no se localiza Distrito o Unidad de Riego alguna, ni tampoco se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca (16) Río Santiago, instalado el 14 de julio de 1999.

## **2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En la zona que comprende el acuífero y la región aledaña se han realizado 3 estudios, dos con información hidrogeológica específica con el fin de evaluar la disponibilidad de agua en la zona.

A continuación se mencionan los puntos más relevantes y sus principales conclusiones de estos estudios.

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

**Estudio fotogeológico en la zona de Santa María del Oro, estado de Nayarit, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Departamento de Exploración, Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas, México, Empresa contratada: InGeo, S. C., D.F., 1981.** En el estudio reportan que las rocas basales de la región comprendida en la Provincia de la Sierra Madre Occidental corresponden a la base de la secuencia andesítica incluida dentro de la Unidad Volcánica Antigua considerada del Cretácico-Terciario Inferior.

El arreglo tectónico considera que puede estar representado por fosas y pilares tectónicos, originados por el diastrofismo interno a que estuvo sujeta la región y que dieron lugar al emplazamiento de valles alargados orientados generalmente de noroeste a sureste, sobresaliendo las cadenas montañosas de topografía accidentada.

Consideran que los recursos geohidrológicos se encuentran restringidos a dichos valles y específicamente a los materiales granulares que los rellenan. Concluyen que no se llegó a observar continuidad física o hidrológica entre todos los sedimentos terciarios de la zona. Los únicos sedimentos que tienen continuidad o intercalación hidrológica, son los que constituyen al valle localizado entre Santa María del Oro y La Labor hacia el poniente, y San José de Mojarras hacia el norte. Recomiendan realizar perforación de pozos de exploración favorables a profundidades del orden de 150 m en Santa María del Oro.

**Estudio de actualización de las condiciones hidrogeológicas del acuífero 1812 Valle de Santa María del Oro, Nayarit, Comisión Nacional del Agua, Organismo Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico, 2007.** El objetivo de este estudio fue conocer las condiciones actuales de explotación del agua subterránea y funcionamiento geohidrológico del acuífero, recopilando toda la información existente y con actividades de campo.

Se reportan 27 aprovechamientos subterráneos, de los cuales 25 son pozos y 2 norias; los usos principales son pecuario (57%) y agrícola (14%). La profundidad al nivel estático se encuentra entre los 1.31 y 69.23 m. Se nivelaron 17 brocales. Se colectaron y analizaron 5 muestras de agua, los resultados indican que la concentración de sólidos disueltos totales va de 96 a 212 ppm, la calidad del agua es buena; exceptuando en los pozos: 181219 rebasa el límite permisible de nitratos y coliformes totales, en los pozos 181224 y 181205.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

La zona se ubica dentro de dos provincias: i) Provincia Eje Neovolcánico, la cual comprende en su totalidad a la subprovincia Sierras Neovolcánicas Nayaritas y parte de la subprovincia Sierras de Jalisco, ii) Provincia Sierra Madre Occidental, está integrada por las subprovincias Mesetas y Cañadas del Sur y Pie de la Sierra. El acuífero pertenece a las subprovincias: Sierras Neovolcánicas Nayaritas y, Mesetas y Cañadas del Sur.

La subprovincia Sierras Neovolcánicas Nayaritas está limitada al norte y este por la provincia de la Sierra Madre Occidental; al noroeste, por la provincia Llanura Costera del Pacífico; al oeste, por el Océano Pacífico; al sur, por la provincia Sierra Madre del Sur; y al sureste por la subprovincia Sierras de Jalisco.

Comprende de manera íntegra los municipios de Xalisco y San Pedro Lagunillas, y parte de San Blas, Santiago Ixcuintla, Tepic, Santa María del Oro, Jala, Ixtlán del Río, Ahuacatlán y Compostela (INEGI, 2007).

La integran grandes sierras volcánicas, grandes derrames lávicos, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas.

La fracción estatal de la subprovincia Mesetas y Cañadas del Sur comprende la porción oriental, es alargada y tiene dirección general noroeste-sureste.

Abarca una extensión de 46.23% del territorio y limita al norte con la zona sur de los estados de Sinaloa y Durango, continúa hasta la región sureste del estado, donde se encuentra el cañón formado por el Río Grande de Santiago; su flanco occidental limita con la subprovincia Pie de la Sierra, perteneciente a la misma provincia y con la subprovincia Sierras Neovolcánicas Nayaritas, de la provincia Eje Neovolcánico; al sureste colinda con la subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos, también integrante de la provincia Sierra Madre Occidental.

Está formada principalmente por rocas ígneas extrusivas (basalto, andesita). Forma parte de la espina dorsal de la sierra y su máxima elevación en la entidad es el cerro El Vigía, con 2,740 msnm; comprende al municipio Del Nayar y parte de los de Acaponeta, Huajicori, Ixtlán del Río, Jala, Ruíz, Santa María del Oro, Tepic, La Yesca, Rosamorada y Santiago Ixcuintla (INEGI, 2007).

### **3.2 Clima**

Para el análisis de las condiciones climáticas de la región, se analizó la información de 10 estaciones climatológicas, ubicadas en su entorno cercano del acuífero:

Cuestecomate, Cerro Blanco, Cumbre de Huicicila, El Refilión, Gaviotas, Miravalles, Paso de Arocha, Peñita de Jaltemba, San José del Valle y Zapotán, con un registro que comprende el periodo 1970-2006.

La época de estiaje en la zona se presenta de noviembre a mayo, mientras que la temporada de lluvias cubre el período de junio a octubre, con máximos en el mes de agosto que sobrepasan los 320 mm. La precipitación media anual reportada en la zona, va de los 1,050 mm a los 1,250 mm, en sentido de sur a norte.

La temperatura media anual en la zona es de 21° C. Las temperaturas más altas se presentan de mayo a octubre, sobre todo en la zona agrícola El Zapotanito.

Las temperaturas más bajas se presentan en los meses de diciembre y enero. La evaporación media anual en la zona es de 1,730 mm, presentando máximos de marzo a junio con valores mayores a los 150 mm, en enero y diciembre se presentan los valores mínimos inferiores a los 100 mm. El mes que presenta la mayor evaporación es mayo con 199.35 mm.

### **3.3 Hidrografía**

El municipio de Santa María del Oro hidrográficamente está integrado por los ríos Grande Santiago, que corre por la parte norte, el Zapotanito, que nace en la vertiente norte de los cerros de Tepetiltic y Tequepexpan, Acuitapílco, Santo Domingo, Las Huesitas, El Saladito, Arroyo Hondo, El Buruato, San Juan, La Galinda San Pedro, Agua Buena, La Tía y Cofradías. Cuenta con la Laguna de Santa María del Oro de origen volcánico (INAFED, 2005).

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica 12, Lerma-Santiago (RH-12). Esta es una de las regiones más importantes del país y la más extensa de Nayarit; ubicada en las porciones oriental, central y sur-oriental de la entidad, donde cubre una extensión de 39.74%. Colinda –en su mayor parte- con Jalisco y su porción noreste con Durango; hacia el sur limita con la RH-14 Ameca y hacia el norte y noroeste con la RH-11 Presidio-San Pedro. La principal corriente que la drena es el río Grande de Santiago.

La relevancia de la corriente denominada “Lerma-Santiago” se debe a su longitud y caudal; se origina en el Estado de México para continuar con una dirección general sureste-noroeste, hasta desembocar en el Lago de Chapala, donde cambia de nombre a Grande Santiago, y sigue su curso a través de los estados de Jalisco y Nayarit, hasta desembocar en el Océano Pacífico; recibe el aporte de numerosos afluentes, siendo los principales: Bolaños, De Joraviejo, La Palmilla, Santa Fe, Guásimas y Huaynamota.

### **3.4 Geomorfología**

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

Estas condiciones topográficas y sus diferencias altitudinales, son las causas fundamentales de las variaciones de humedad y temperatura, principales componentes del clima, así como de los diferentes tipos de vegetación; por consecuencia, al interactuar todos estos factores con el material parental a través del tiempo, han motivado la formación de diversos tipos de suelo en la entidad que, de acuerdo a su cubrimiento superficial, son: Regosol, Feozem, Cambisol, Luvisol, Litosol, Acrisol, Solonchak, Fluvisol, Vertisol y Andosol (INEGI, 2007).

En la zona la orografía está constituida por terrenos de depósitos sedimentarios clásicos del Paleógeno-Neógeno, afloramiento de rocas sedimentarias marinas y metamórficas del mesozoico.

Las zonas accidentadas, se localizan al este, oeste y norte del municipio de Santa María del Oro, abarca el 75% de la superficie municipal, formada en su mayor parte por los cerros Tepame y Las Cuevas.

En esta zona inicia la Sierra Volcánica Transversal que se dirige hacia el volcán de Colima, por un extremo, y hacia El Sangangüey que desemboca en Tepic. Sus zonas semiplanas abarcan el 17% del suelo municipal, encontrándose algunos valles como el de La Labor, San José de Mojarras y el Santa María del Oro (INAFED, 2005).

### **4. GEOLOGÍA**

El acuífero se ubica en la Sierra Madre Occidental, la cual se ha señalado como la de mayor abundancia de riolitas (tabla 2, figura 2) en el mundo, de las cuales la mayor parte se desarrolló durante el Oligoceno y el Mioceno Inferior, procedentes de un magma de composición calco-alcalina.

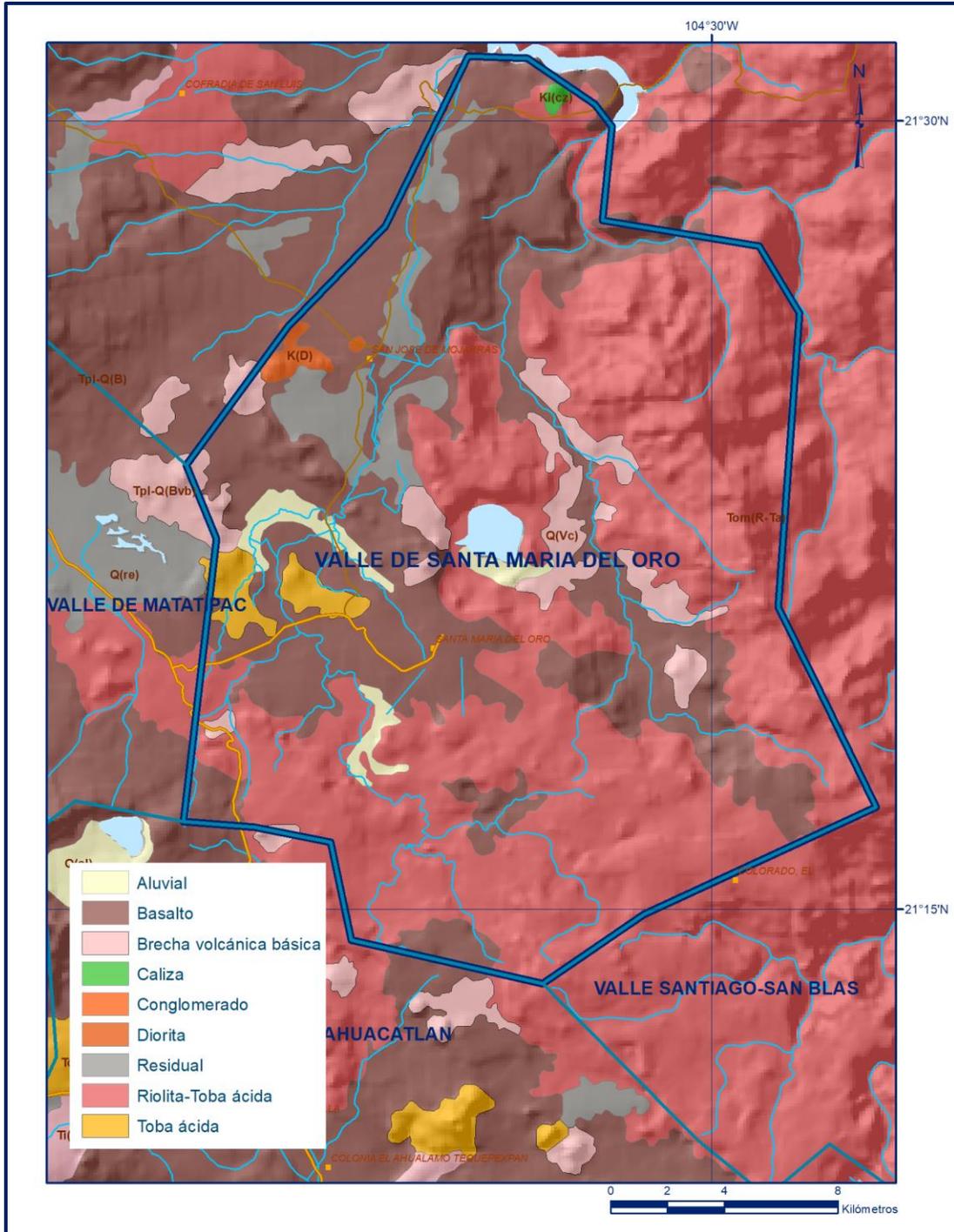


Figura 2. Geología general del acuífero

Tabla 2. Descripción de la geología de la zona

| Clave      | Clase           | Tipo                    | Era       | Período           | Área km <sup>2</sup> |
|------------|-----------------|-------------------------|-----------|-------------------|----------------------|
| Q(al)      | Suelo           | Aluvial                 | Cenozoico | Cuaternario       | 1.900                |
| K(D)       | Ígnea extrusiva | Diorita                 | Mesozoico | Cretácico         | 0.243                |
| Ki(cz)     | Sedimentaria    | Caliza                  | Mesozoico | Cretácico         | 0.690                |
| Q(re)      | Suelo           | Residual                | Cenozoico | Cuaternario       | 27.499               |
| Q(Vc)      | Ígnea extrusiva | Volcanoclástico         | Cenozoico | Cuaternario       | 18.059               |
| Tom(R-Ta)  | Ígnea extrusiva | Riolita-Toba ácida      | Cenozoico | Paleógeno-Neógeno | 257.465              |
| Tom (Ta)   | Ígnea extrusiva | Toba ácida              | Cenozoico | Paleógeno-Neógeno | 3.186                |
| Tpl-Q(B)   | Ígnea extrusiva | Basalto                 | Cenozoico | Cuaternario       | 160.172              |
| Tpl-Q(Bvb) | Ígnea extrusiva | Brecha volcánica básica | Cenozoico | Cuaternario       | 5.177                |

El paquete ignimbrítico se deriva probablemente del fenómeno de fusión de la corteza terrestre, encima de donde se generan los magmas andesíticos, lo cual puede relacionarse también con la subducción de la placa Farallón debajo de la placa de Norteamérica y a la apertura del Golfo de California. Los basaltos son los últimos representantes de la emisión ígnea (Plio-cuaternarios).

#### 4.1 Estratigrafía

Las rocas que afloran en el área varían del Cenozoico Inferior al Reciente, con abundancia de rocas ígneas intrusivas de la era cenozoica del tipo riolita-toba ácida (53.5%, 257.465 km<sup>2</sup>) y de basalto (33.3%, 160.172 km<sup>2</sup>). En menor proporción se encuentran los suelos del tipo residual; así como volcanoclástico.

#### 4.2 Geología estructural

En la provincia Sierra Madre Occidental se desarrollaron dos secuencias volcánicas durante el Paleógeno-Neógeno, con amplia representación dentro del estado; la primera formada por rocas de composición intermedia del Paleógeno, que muestra fracturas y fallas normales, así como deformación y alteración hidrotermal, producto de intrusiones diabásicas y en algunos sitios, ácidas, lo que provocó la formación de yacimientos minerales.

En la segunda secuencia, de edad Oligoceno–Mioceno, el volcanismo se manifiesta con una composición ácida, de carácter ignimbrítico; la posición que guardan estos materiales rocosos es de horizontal a ligeramente inclinada, producto de

pseudoestratificación, basculamiento, sistema de fallas y fracturas, que originaron mesetas escalonadas. El contacto con la secuencia del Paleógeno es de tipo discordante, lo que marca un lapso de calma volcánica.

En la provincia Eje Neovolcánico, ampliamente expuesta en el estado, se desarrolló volcanismo, calcoalcalino a finales del Plioceno y durante el Cuaternario; dicho volcanismo originó rocas de composición basáltica y andesítica, así como piroclásticos. Diversos estudios indican que el eje se encuentra fragmentado en tres sistemas de fosas tectónicas, las cuales convergen en el estado de Jalisco y cuyas direcciones son: norte-sur, oeste-este y noroeste-sureste; la última dirección corresponde a la fosa de Tepic denominada también "rift" de Tepic, localizada parcialmente dentro de Nayarit; en él se sitúan tres centros eruptivos principales (estratovolcanes): San Juan, Sangangüey y Ceboruco, con numerosas asociaciones de conos cineríticos.

Las rocas calcoalcalinas, además de los abundantes aparatos volcánicos monogenéticos que muestran, forman diques básicos, los cuales cortan a las rocas volcánicas ácidas del Oligoceno-Mioceno (INEGI, 2007).

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de acuífero**

El acuífero corresponde a uno de tipo libre. Asimismo, no se tiene registro de los cortes litológicos de los 25 pozos que se han perforado en la zona.

Los materiales que conforman el acuífero varían del Cenozoico Inferior al Reciente, con abundancia de rocas ígneas entre tobas riolíticas y basaltos. Los valles están formados por material de acarreo como arcillas, arenas, gravas, boleos, entre otros. Los espesores máximos explorados en la zona del valle son de 200 m.

### **5.2 Parámetros hidráulicos**

La información de los parámetros hidráulicos procede de la interpretación de 4 pruebas de bombeo realizadas para el estudio de 2007, se interpretaron mediante el método de Neuman y Hantush para las pruebas de abatimiento y el método Theis para la prueba de recuperación.

En los resultados se observa que los valores de T (prueba de abatimiento) varían de  $10.8 \times 10^{-3}$  a  $0.34 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s y de T (prueba de recuperación) es de  $0.178 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, en tanto que para K se obtuvieron valores que oscilan entre 0.146880 y 4.665600 m/d en

las pruebas de abatimiento; 0.153792 m/d en la prueba de recuperación.

### **5.3 Piezometría**

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se tomó en cuenta la información recabada en el estudio de 2007. Se nivelaron 17 pozos.

### **5.4 Comportamiento hidráulico**

#### **5.4.1 Profundidad al nivel estático**

En términos generales el comportamiento de la profundidad al nivel estático para el mes de octubre del 2007 varía de 1.31 hasta 69.2 m; en las zonas de Cerro Blanco y Santa María, en la parte centro y noroeste los niveles están en el orden de los 30 m, y en la parte sur del acuífero en el poblado El Zapotanito las curvas de nivel están en los 10 m, el pozo 181205 (El Seminario) presentó una profundidad de 69.23 m, teniendo una marcada diferencia de sus pozos colindantes, estos últimos con profundidades de 15.0 m a 19.9 m (figura 3).

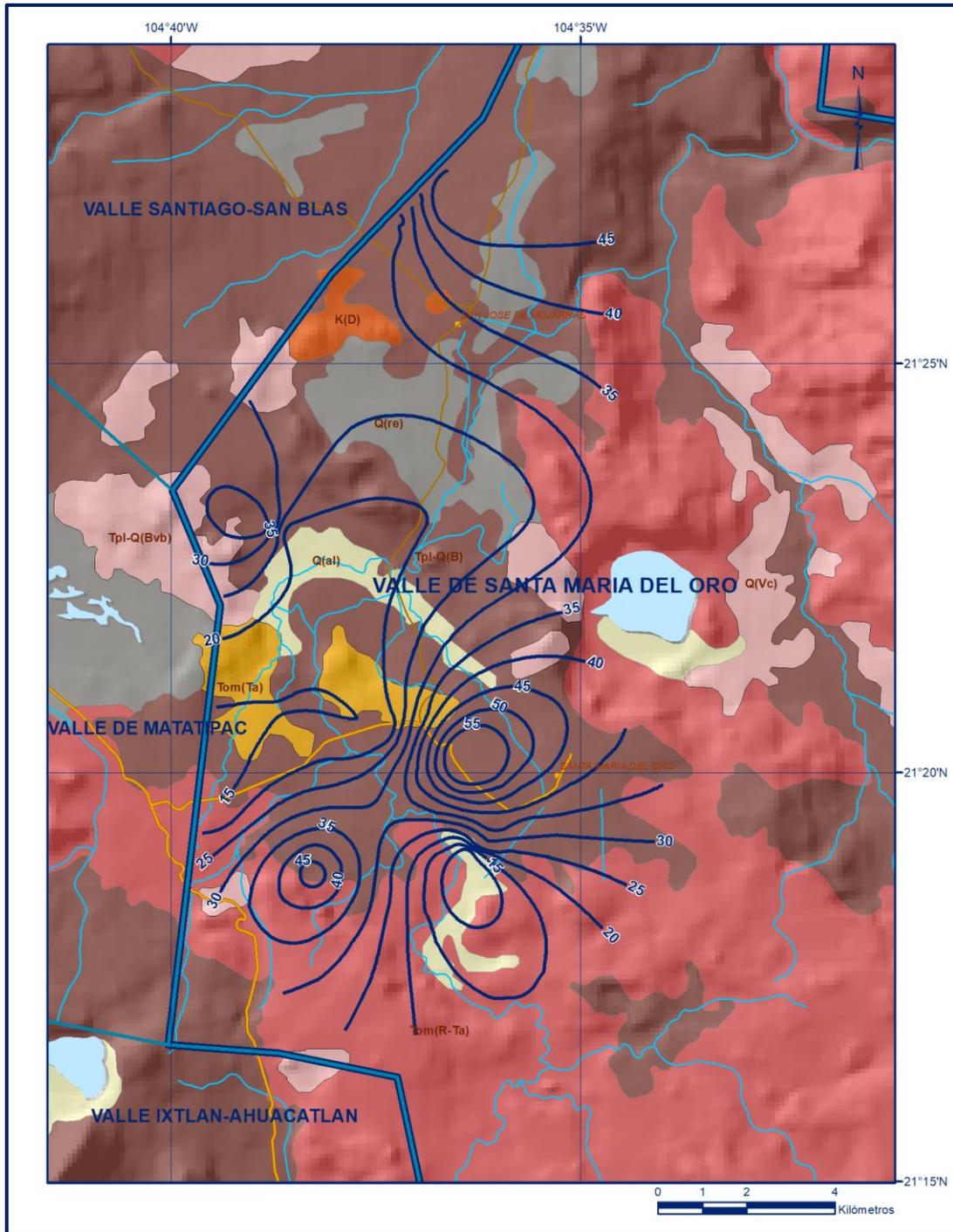


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2007).

En la configuración de profundidades de noviembre, no presenta variación significativa con respecto a la obtenida en el mes de octubre.

#### 5.4.2 Elevación del nivel estático

Con base en la piezometría levantada en octubre de 2007, se realizó la configuración



Los valores van de los 790 msnm en el norte a los 1150 msnm en la porción sur del acuífero. En noviembre se presenta el mismo comportamiento, debido a que no hay mucho tiempo de diferencia entre las dos mediciones.

#### **5.4.3 Evolución del nivel estático**

Para establecer la evolución del nivel estático en el área se realizó con las mediciones piezométricas realizadas en los meses de octubre y noviembre del estudio de 2007.

Se presentan cambios en la configuración del nivel estático en las proximidades de las localidades de Santa María, el Seminario y Santa Bárbara, con diferencias de 1 a 2 m atribuidos al fin de temporada de lluvias (figura 5).

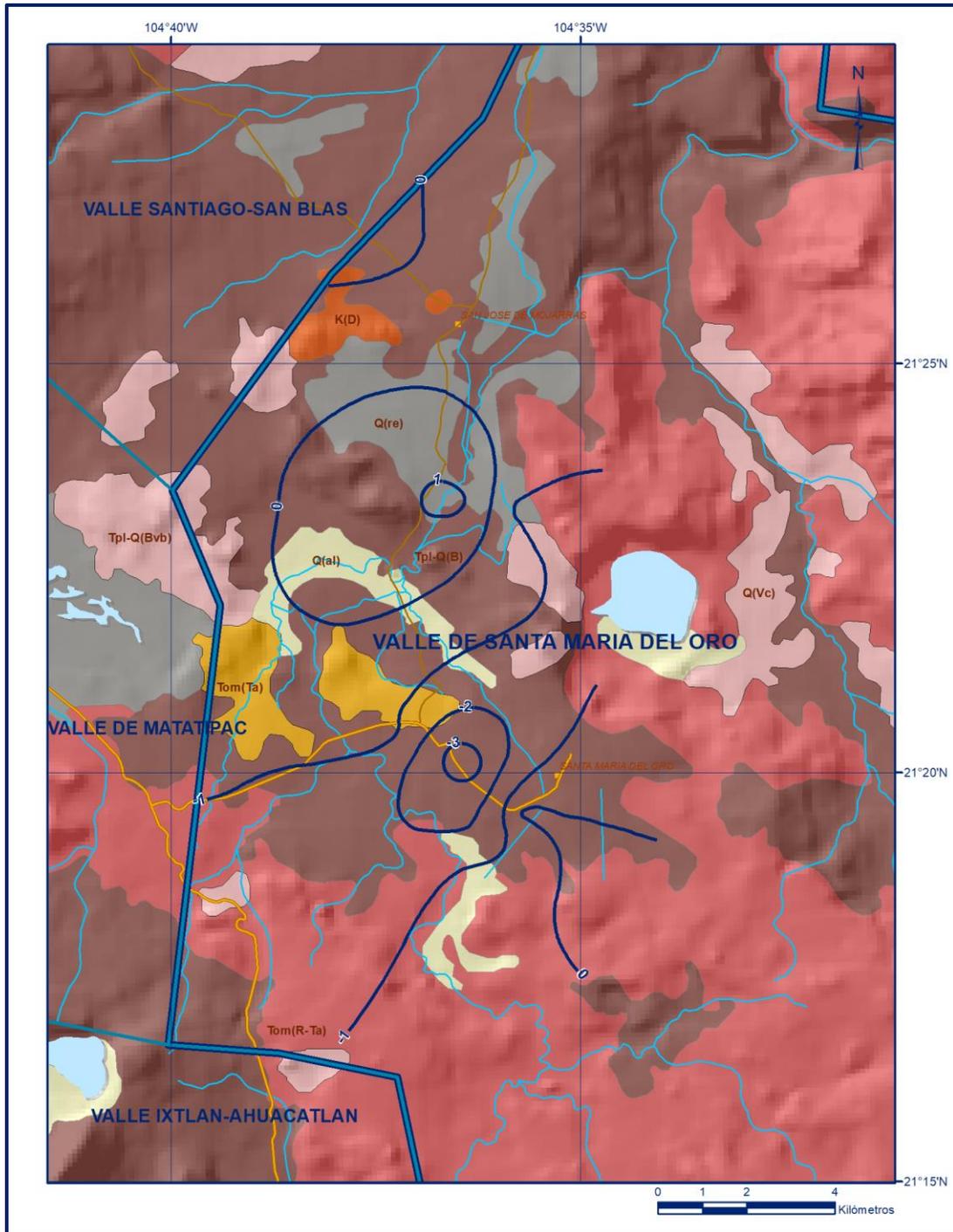


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (oct-nov 2007)

### 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Dentro de las actividades realizadas en el estudio de 2007, se analizaron 5 muestras de agua subterránea, los resultados fisicoquímicos sugieren que en términos generales el agua es de baja salinidad por lo que en cuanto a elementos mayores se refiere,

básicamente no presenta problemas de calidad para uso y consumo humano.

Las concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) no superan las 220 partes por millón (ppm), muy por debajo de las 1000 ppm que establece la Norma Oficial Mexicana para el agua destinada al consumo humano.

La familia de aguas que predomina es la familia HCO<sub>3</sub>-Na, producto del intercambio iónico y sólo una muestra está clasificada como HCO<sub>3</sub>-Mix; los pozos que están clasificados como HCO<sub>3</sub>-Na están localizados en la parte centro-norte del acuífero, son 4 y están perforados en roca del tipo basalto, a diferencia del pozo localizado en la parte sur del acuífero este está en suelo aluvial, tiene una profundidad al nivel estático de 4.01 m. Este pozo presenta contaminación por nitratos, el uso de agua de este pozo es pecuario (Granja Rosalina).

La muestra que presenta menor salinidad es el pozo operado por el SIAPA, en la localidad de Santa María del Oro. El análisis bacteriológico realizado, nos muestra que el 50% de las muestras analizadas tienen presencia de coliformes fecales y coliformes totales.

Por lo que se recomienda clorar el agua para consumo humano. El de mayor contaminación de coliformes fecales es el pozo conocido como El Seminario.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída de todas las muestras se clasifica como de baja salinidad (C1) y bajo contenido de sodio (S1).

## **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

De acuerdo con el censo realizado en 2007, existen 27 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 14 se encuentran activos. El uso principal del agua es pecuario (57%), el segundo lugar lo ocupa el agrícola (14%) a la par que el público-urbano (14%), en menor medida están el agrícola-servicios (7%) y doméstico-pecuario (7%), utilizando para este análisis únicamente los pozos activos.

La extracción de agua subterránea en el área es del orden de 5.1 hm<sup>3</sup>/año, destinado principalmente al uso pecuario.

El volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos inscritos en el Registro

Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, considera un volumen de 7.5 hm<sup>3</sup> anuales por salida de manantiales.

## **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

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

El área de balance definida es 96.0 km<sup>2</sup> que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica, en la cual se localiza la mayoría de los aprovechamientos.

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

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

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:

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

### **7.1 Entradas**

La recarga total (R) al acuífero Valle de Santa María del Oro está integrada primordialmente por las entradas subterráneas (Eh) y la recarga vertical por lluvia (Rv) que se infiltra en las zonas no cubiertas por la capa impermeable de la zona urbana.

#### **7.1.1 Recarga vertical (Rv)**

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

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

sentido a continuación se menciona la forma en que se procedió para obtenerlo.

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

Tabla 3. Balance hidrometeorológico

| Área<br>(km <sup>2</sup> ) | T<br>(° C) | L<br>Turc | X<br>Coutagne | P<br>(mm) | Evapotranspiración<br>Turc<br>(mm) | Evapotranspiración<br>Coutagne<br>(m) |
|----------------------------|------------|-----------|---------------|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 96.00                      | 21.0       | 1288.1    | 0.267380      | 1150      | 882.8                              | 0.796                                 |

| Coeficiente de<br>escurrimiento<br>(Ce) | Balance hidrometeorológico              |                             |  |  | Coeficiente de<br>infiltración |
|---|---|-----------------------------|--|--|--------------------------------|
|   | Escurrimiento<br>(hm <sup>3</sup> /año) | P<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Evapotranspiración<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Infiltración<br>(hm <sup>3</sup> /año) |                                |
| 0.2071                                  | 22.9                                    | 110.4                       | 76.5   | 11.085                                 | 0.10                           |

El volumen anual medio de escurrimiento natural en términos genéricos es igual a la precipitación media anual por el área y un coeficiente de escurrimiento. El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que está en función del tipo y uso de suelo.

Al respecto para la zona se consideró un valor medio ponderado de K=0.275, que corresponde a suelos medianamente permeables, uso de suelo tipo cultivos (0.27), Bosque cubierto menos 25% (0.28) y zonas urbanas (0.29), con 50%, 40% y 10% del área respectivamente, aplicando a su vez el valor de K en la ecuación del coeficiente de escurrimiento se obtiene un valor de Ce= 0.2071.

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

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

Donde:

- Ce** Coeficiente de escurrimiento  
**K** Parámetro en función del tipo de suelo

### TURC

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

Donde:

- ETR** Evapotranspiración (mm/año)  
**P** Precipitación (mm/año)  
**T** Temperatura (°C)

### COUTAGNE

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

Donde:

- ETR** Evapotranspiración (m/año)  
**P** Precipitación (m/año)  
**t** Temperatura (°C)

El valor estimado de la recarga es de **11.1 hm<sup>3</sup>/año**.

#### 7.1.2 Entradas subterráneas horizontales (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemonte, para posteriormente llegar a recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que fluyen hacia la planicie.

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

Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal Q que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 4 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de 7.7 hm<sup>3</sup>/año.

$$Q = B * i * T$$

Donde:

**Q**= Gasto;

**T**= Transmisividad;

**B**= Longitud de la celda;

**i**= Gradiente hidráulico;

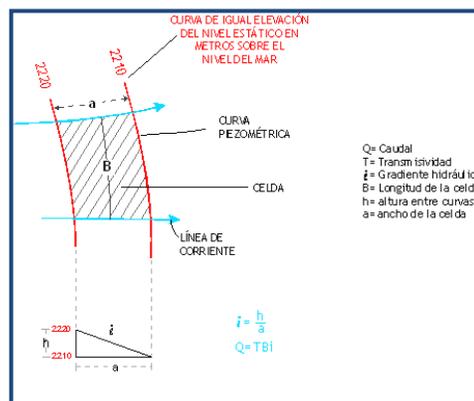


Tabla 4. Entradas subterráneas por flujo horizontal.

| Canal | Longitud L [m] | Ancho B [m] | $h_2-h_1$ [m] | Gradiente i [adimensional] | Transmisividad T [m <sup>2</sup> /s] | Caudal Q [m <sup>3</sup> /s] | Volumen V [hm <sup>3</sup> /año] |
|-------|----------------|-------------|---------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| E1    | 1550           | 445         | 10            | 0.0225                     | 0.000340                             | 0.011843                     | 0.373471                         |
| E2    | 2565           | 855         | 10            | 0.0113                     | 0.000340                             | 0.009854                     | 0.310763                         |
| E3    | 1595           | 795         | 10            | 0.0126                     | 0.000340                             | 0.006821                     | 0.215119                         |
| E4    | 1860           | 400         | 10            | 0.0250                     | 0.004659                             | 0.216644                     | 6.832069                         |
|       |                |             |               |                            |                                      |                              | <b>7.731423</b>                  |

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

## 7.2 Salidas

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

### 7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por

evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema.

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

En algunas zonas del área de balance los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración. Se aplicó el método de Turc para calcular que la lámina de evapotranspiración real es de 882.8 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 21° C y precipitación de 1,150 mm.

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

$$T (^{\circ}C) = 21$$

$$P (mm) = 1150 \quad P^2 = 1322500$$

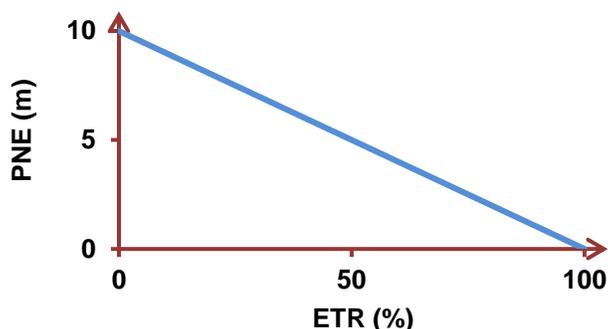
$$L = 1288.05 \quad L^2 = 1659072.8$$

$$ETR (mm) = 882.8$$

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso:

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen retenido, partiendo de una relación lineal entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100%, a 5

m el 50%, a 2 m el 80%, etc.



De la configuración de profundidad al NE mostrada en Figura 3, correspondiente a octubre de 2007, se consideran las curvas menores e iguales a 10 m, se calcula el área entre ellas y se toma el valor promedio (entre las curvas de 4 y 6 metros en valor promedio será 5, por ejemplo).

El resultado de multiplicar el valor promedio por el área entre las curvas, deberá ponderarse de acuerdo a la relación lineal mencionada anteriormente, en este caso particular como el valor medio de profundidad es de 5 m, se multiplicará por 0.5 (que significa que a esta profundidad, el 50% es susceptible de evapotranspiración. Lo mismo se hace para cada área comprendida entre dos curvas de profundidad menor a 10 m. Al final se obtendrá la suma de los volúmenes evapotranspirados.

El resultado de este proceso se presenta en la tabla 5, en la que se muestra que el valor de la evapotranspiración real calculado es de 0.3 hm<sup>3</sup> anuales.

Tabla 5. Cálculo de la evapotranspiración.

| Intervalo curvas [m] | Profundidad considerada [m] | Área [km <sup>2</sup> ] | %   | ETR [m] | Vol. ETR [hm <sup>3</sup> /año] |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|-----|---------|---------------------------------|
| 4 a 6                | 5                           | 0.312940                | 0.5 | 0.883   | 0.138                           |
| 6 a 8                | 7                           | 0.530841                | 0.3 | 0.883   | 0.141                           |
| 8 a 10               | 9                           | 0.781065                | 0.1 | 0.883   | 0.069                           |
|                      |                             |                         |     |         | <b>0.348</b>                    |

### 7.2.2 Bombeo (B)

La extracción de agua subterránea en el área ha variado a través del tiempo y de acuerdo con la estimación más reciente, dicha extracción efectuada por bombeo es

del orden de 5.1 hm<sup>3</sup>/año, destinado principalmente al uso pecuario.

### 7.2.3 Salida de flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas que ocurren como descarga hacia el mar fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del NE presentado en la Figura 4. El valor estimado es de 1.2 hm<sup>3</sup> anuales, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Salidas subterráneas por flujo horizontal.

| Canal | Longitud<br>L<br>[m] | Ancho<br>B<br>[m] | h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub><br>[m] | Gradiente<br>i<br>[adimensional] | Transmisividad<br>T<br>[m <sup>2</sup> /s] | Caudal<br>Q<br>[m <sup>3</sup> /s] | Volumen<br>V<br>[hm <sup>3</sup> /año] |
|-------|----------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--|------------------------------------|--|
| S1    | 1860                 | 445               | 10                                    | 0.0225                           | 0.000340                                   | 0.014211                           | 0.448166                               |
| S2    | 2390                 | 485               | 10                                    | 0.0206                           | 0.000340                                   | 0.016755                           | 0.528374                               |
| S3    | 1060                 | 530               | 10                                    | 0.0189                           | 0.000340                                   | 0.006800                           | 0.214445                               |
|       |                      |                   |                                       |                                  |  |                                    | 1.190985                               |

### 7.2.4 Descarga través de manantiales (Dm)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, de manantiales es de 7.5 hm<sup>3</sup>/año.

### 7.3 Cambio de almacenamiento (ΔV<sub>s</sub>)

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

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

$$\Delta V(s) = 7.7 + 11.1 - 5.1 - 1.2 - 1.3 - 7.5$$

$$\Delta V(s) = 4.7$$

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

Tabla 7. Resumen del balance.

| Entradas            | Volumen [hm <sup>3</sup> /año] | Salidas                  | Volumen [hm <sup>3</sup> /año] |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Recarga vertical    | 11.1                           | Evapotranspiración       | 0.3                            |
| Recarga inducida    | 0.0                            | Bombeo                   | 5.1                            |
| Entrada subterránea | 7.7                            | Salidas subterráneas     | 1.2                            |
|                     |                                | Descarga de manantiales  | 7.5                            |
|                     |                                | Cambio de almacenamiento | 4.7                            |
| Total de entradas   | 18.8                           | Total de salidas         | 18.8                           |

## 8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

**R** = Recarga total media anual

**DNC** = Descarga natural comprometida

**VEAS** = Volumen de extracción de aguas subterráneas

### 8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **18.8 hm<sup>3</sup>/año**, todos ellos son de recarga natural.

### 8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para el caso del acuífero Valle de Santa María del Oro, la descarga natural comprometida corresponde al volumen concesionado de manantiales por el REPDA y las salidas subterráneas hacia acuíferos adyacentes, resultando un total **DNC = 8.7 hm<sup>3</sup> anuales**.

### **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 **9,207,626 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 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 18.8 - 8.7 - 9.207626 \\ \text{DMA} &= 0.892374 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **892,374 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Departamento de Exploración, Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas. 1981. fotogeológico en la zona de Santa María del Oro, estado de Nayarit. Realizado por la Compañía InGeo, S. C.