CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO VALLES CENTRALES (2025) ESTADO DE OAXACA

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1 GENERALIDADES 2
Antecedentes 2
1.1 Localización 2
1.2 Situación administrativa del acuífero 5
2 ESTUDIOS TECNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD. 7
3 FISIOGRAFIA 8
3.1 Provincia fisiográfica 8
3.2 Clima 9
3.3 Hidrografía 9
3.4 Geomorfología 10
4 GEOLOGÍA 11
4.1 Estratigrafía 12
4.2 Geología estructural 13
4.3 Geología del subsuelo 14
5 HIDROGEOLOGÍA 15
5.1 Tipo de acuífero 15
5.2 Parámetros hidráulicos 16
5.3 Piezometría 16
5.4 Comportamiento hidráulico 16
5.4.1 Profundidad al nivel estático 16
5.4.2 Elevación del nivel estático 17
5.4.3 Evolución del nivel estático 17
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea 18
6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA 18
7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 19
7.1 Entradas 19
7.1.1 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) 19
7.1.2 Recarga vertical (Rv) 20
7.2 Salidas 20
7.2.1 Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh) 20
7.2.2 Evapotranspiración (ETR) 20
7.2.3 Extracción por bombeo (B) 20
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS) 21
8 DISPONIBILIDAD 21
8.1 Recarga total media anual (R) 21
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) 21
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 22
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 22
9 BIBLIOGRAFIA 24

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 Valles Centrales, definido con la clave 2025 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro del estado de Oaxaca, entre los paralelos 16°34' a 17°12' de latitud Norte y los meridianos 96°14' a 97°01' de longitud Oeste, cubriendo una superficie de 3,769 km^2 (figura 1).

Limita al norte con el acuífero Cuicatlán, al este con Tuxtepec, al sureste con Tehuantepec, al sur con Río Verde-Ejutla, al oeste Jamiltpec y al noroeste Nochixtlán, todos pertenecientes al estado de Oaxaca).

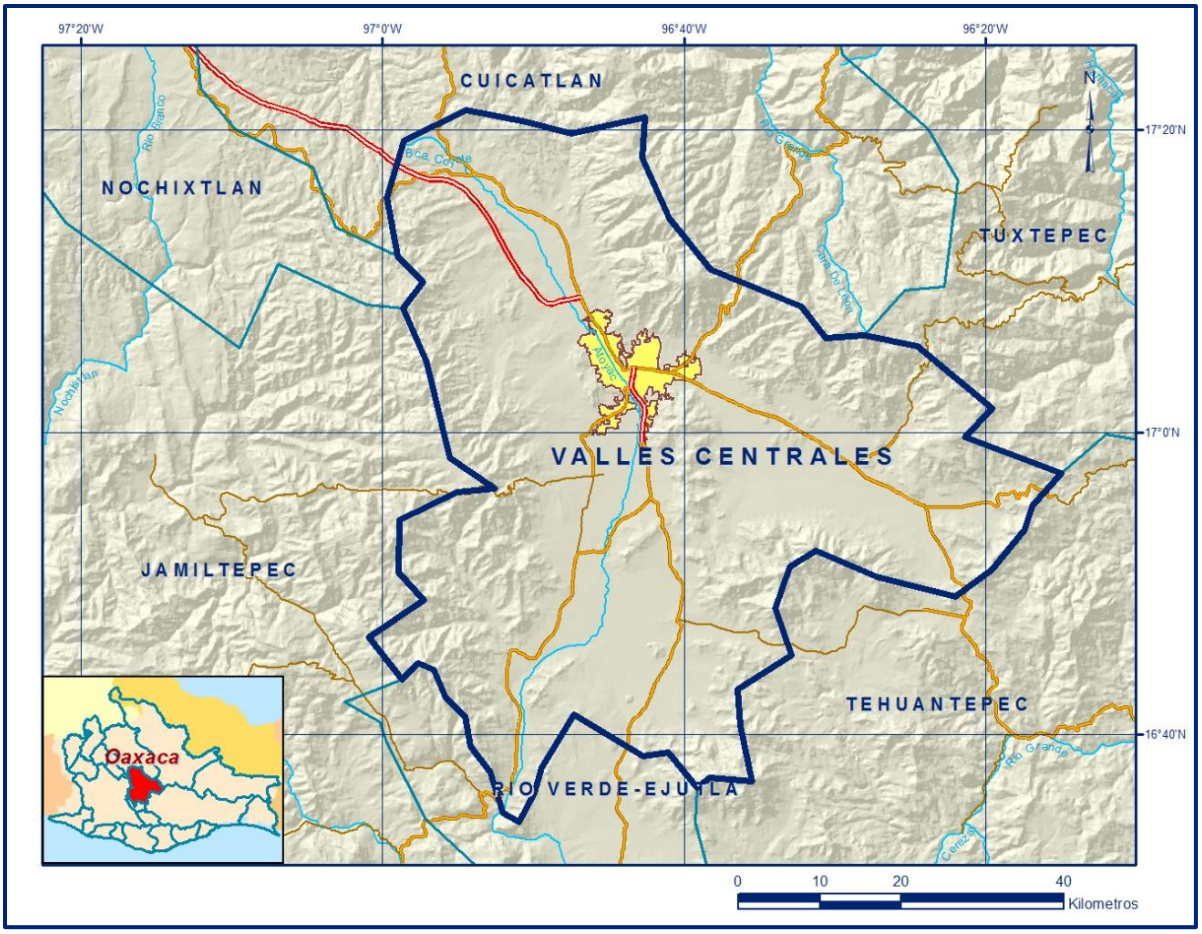

Figura 1. Localización del acuífero

El acuífero Valles Centrales está constituido por tres zonas que son Etla, Tlacolula y Zimatlán, convergiendo en el área donde se ubica la Ciudad de Oaxaca. Comprende una extensión de 5940 km^2 de los cuales aproximadamente 1130 km^2 conforman la zona de extracción.

Se encuentra comunicado por las Carreteras Federales No. 175 que va a San Pedro Pochutla, la No. 131, que va a Puerto Escondido y una carretera estatal que conduce de la Ciudad de Oaxaca a Villa de Zaachila, Oax., la No. 190 o Panamericana así como por la Supercarretera Cuacnopalan-Oaxaca y por la Línea de Ferrocarril Ciudad de México-Puebla-Tehuacán-Oaxaca. Finalmente, en la localidad de San Agustín de las Juntas se localiza el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Oaxaca. Tomando como base la compleja división territorial del estado de Oaxaca, dentro de los límites del acuífero quedan incluidos, parcial o totalmente, aproximadamente 80 de los más de 500 municipios de que consta la división política de la entidad.

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 2025 VALLES CENTRALES						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	96	52	32.1	16	56	16.8
2	96	55	32.0	16	58	19.2
3	96	57	4.6	17	4	40.3
4	96	58	36.7	17	8	13.6
5	96	57	17.8	17	9	56.3
6	96	58	59.7	17	11	41.3
7	96	59	40.9	17	15	31.3
8	96	58	35.9	17	19	16.3
9	96	54	25.8	17	21	19.6
10	96	50	28.5	17	20	34.4
11	96	47	29.5	17	19	45.0
12	96	42	36.9	17	20	51.0
13	96	42	45.8	17	18	11.6
14	96	40	59.9	17	14	10.8
15	96	38	13.4	17	10	46.2
16	96	32	13.0	17	8	20.5
17	96	30	36.7	17	6	16.2
18	96	28	2.0	17	6	23.7
19	96	24	32.2	17	5	43.8
20	96	19	36.3	17	1	36.2
21	96	21	20.2	16	59	39.7
22	96	14	58.7	16	57	19.0
23	96	16	54.9	16	55	8.1
24	96	17	25.4	16	53	32.0
25	96	19	35.5	16	50	56.2
26	96	22	2.9	16	49	8.1
27	96	27	14.0	16	50	27.4
28	96	31	15.8	16	52	10.5
29	96	33	0.0	16	51	6.9
30	96	33	56.7	16	48	21.4
31	96	32	53.0	16	45	15.9
32	96	36	25.9	16	43	0.4
33	96	36	14.7	16	40	37.0
34	96	35	29.7	16	36	53.0
35	96	38	19.1	16	37	8.6
36	96	39	7.5	16	36	30.5
37	96	41	1.4	16	38	48.5
38	96	42	44.1	16	38	35.7
39	96	47	19.1	16	41	20.4
40	96	49	26.4	16	37	46.3
41	96	49	54.9	16	36	7.9
42	96	50	54.7	16	34	12.1
43	96	52	1.3	16	34	49.3
44	96	52	50.8	16	37	31.8
45	96	54	11.3	16	39	13.5
46	96	54	29.7	16	41	10.2
47	96	55	50.2	16	42	30.4
48	96	56	35.4	16	44	16.6
49	96	57	35.4	16	44	42.7
50	96	58	40.9	16	43	37.7
51	97	0	54.3	16	46	27.7
52	96	57	15.9	16	48	52.6
53	96	58	56.3	16	50	44.8
54	96	58	51.0	16	54	11.5
55	96	55	1.8	16	56	3.6
1	96	52	32.1	16	56	16.8

Entre los municipios más importantes destacan: Zimatlán de Álvarez, Tlacolula de Matamoros, San Pablo Mitla, Soledad Etla, San Andrés Zautla, Reyes Etla, Santo Tomás Mazaltepec, Nazareno Etla, Guadalupe Etla, San Agustín Etla, San Pablo Etla, Villa de Etla, Tlacochahuaya de Morelos, Villa Tlalistac, Ciénega de Zimatlán, Trinidad Zaachila, Villa de Zaachila, Santiago Apóstol, Santa Catarina Quiané, San Bartolo Coyotepec y Oaxaca de Juárez. Este último se localiza en el punto de intersección de las zonas de Zimatlán, Etla y Tlacolula. La zona geohidrológica queda delimitado por los siguientes vértices:

Tomando como base la compleja división territorial del estado de Oaxaca, dentro de los límites del acuífero quedan incluidos, parcial o totalmente, aproximadamente 80 de los más de 500 municipios de que consta la división política de la entidad.

Conforme el Censo General de Población y Vivienda 1995, en los municipios enmarcados vivían aproximadamente 500,000 habitantes, de los cuales la mayor parte vivían en localidades con más de 2,500 habitantes.

La actividad económica preponderante es la prestación de servicios, particularmente el turismo, seguida de la agricultura y la industrial en muy baja proporción y concentrada en la zona conurbada de la Ciudad de Oaxaca. La mayor parte de los establecimientos son empresas familiares de poco capital y modestos talleres artesanales. La región dispone de múltiples atractivos naturales y arqueológicos. En la Ciudad de Oaxaca se cuenta con 144 establecimientos de hospedaje temporal, con 4310 cuartos, indicativo de la importancia de la actividad turística de la zona.

Las actividades agropecuarias se reducen al cultivo en pequeña de la alfalfa, hortalizas y frijol de temporal. La industria de la región se reduce a pequeñas fábricas caseras de mezcal, losa, cobijas y textiles usando métodos rudimentarios.

El comercio se realiza particularmente en las poblaciones de mayor importancia, destacando los tianguis de Zimatlán de Álvarez, Ocotlán de Morelos y Villa de Zaachila.

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Valles Centrales, pertenece al Organismo de Cuenca “Pacífico Sur”.

La totalidad del territorio del acuífero Valles Centrales se encuentra sujeto a las disposiciones del *“DECRETO por el que se establece la zona reglamentada del*

acuífero 2025 de Valle Centrales del estado de Oaxaca", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de noviembre de 2021. Con este Decreto se establece zona reglamentada para la administración, control de la extracción, explotación uso o aprovechamiento y conservación de las aguas del subsuelo del acuífero Valles Centrales como unidad de gestión, de conformidad con lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales; se reconocen y salvaguardan los derechos de las comunidades indígenas; y se derogan dentro del territorio del acuífero las vedas de aguas del subsuelo y el Acuerdo de suspensión provisional de libre alumbramiento, emitidos con anterioridad a su entrada en vigor.

A la fecha no existe ninguna organización de usuarios establecida específicamente para la extracción de aguas del acuífero. El acuífero forma parte del ámbito territorial del Consejo de Cuenca de la Costa de Oaxaca el cual se estableció oficialmente el día 7 de abril de 1999, pero aún no se ha promovido la formación del COTAS que agrupe en particular a los usuarios de aguas subterráneas.

No existe ningún Distrito de Riego establecido en la zona. Las unidades de riego que utilizan aguas subterráneas son 218, de las cuales 77 están registradas ante la SAGAR y 143 aún no están registradas. Esas unidades se encuentran conformadas por un padrón de 5,861 usuarios. La superficie de riego de las 218 unidades es de más de 4430 hectáreas, las cuales se benefician con la extracción de aguas subterráneas por un volumen anual de 51.3 millones de m^3 definiéndose una lámina bruta de riego de 1.0 m anual.

En promedio cada usuario dispone de 0.70 has de terreno de cultivo con riego, indicativo de la pulverización en la tenencia. Respecto a las obras que se utilizan en las unidades de riego se tiene que suman más de 800, la mayoría de las cuales son norias de bajo rendimiento.

Por uso, los mayores volúmenes de extracción corresponden a los Públicos Urbanos, destacando el organismo operador que suministra agua a la Ciudad de Oaxaca, ADOSAPACO, con un volumen de extracción anual de 14.6 millones de m^3, seguido por los que proporcionan agua a las localidades más importantes como San Pablo Huixtepec, Santa Cruz Xoxocotlán, San Francisco Telixtlahuaca, San Pablo Huitzo, entre otras, con volúmenes de extracción de 1.0 a 0.5 hm^3.

Respecto a los usos agrícolas, los principales usuarios son las unidades de riego, destacando entre los más importantes volúmenes de extracción de 1.7 a 0.5. hm^3. El

uso Industrial está poco desarrollado, destacando únicamente las empresas Embotelladoras de Refrescos y agua potable.

2 ESTUDIOS TECNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.

En 1978 PROYESCO realizó un **estudio en los valles de Etla y Zimatlán para determinar las fuentes de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Oaxaca**, Efectuando 71 sondeos eléctricos verticales distribuidos en 13 perfiles de investigación una longitud total de más de 30 km de longitud, con una separación máxima entre las líneas de emisión de la corriente (AB) de 600 m, fotointerpretación, análisis hidrogeoquímico, pruebas de bombeo, piezometría y el censo de aprovechamientos correspondiente.En este estudio se establece que el acuífero en esa porción está constituido por la unidad o formación aluvial, misma que descansa sobre un complejo basal constituido por rocas metamórficas clasificadas como Gneiss Granítico y Esquistos. Señala dos áreas de interés hidrogeológico, la primera localizada entre la Ciudad de Oaxaca y el Aeropuerto, donde el acuífero alcanza espesores del orden de los 100 m, con una profundidad media de 60 m y una segunda área en la zona de Zaachila, donde la profundidad media aprovechable es de 50 m disminuyendo hacia las estribaciones montañosas

Asimismo, establece que las aguas del acuífero se clasifican como Sódico-bicarbonatadas de reciente infiltración, químicamente apta para consumo humano. La transmisividad presenta condiciones de fuerte contraste y se estableció en un rango de 1×10^{-3} a 10×10^{-3}.

Estimó un volumen de extracción anual de 23.5 millones de m^3/año, a los que adicionó 9.5 millones de m^3 por la extracción que realizan los pozos de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de Oaxaca y al aplicar la ecuación del balance de aguas subterráneas determinó una recarga total de 53.5 millones de m^3/año, constituida por 27.6 millones de m^3 provenientes del flujo subterráneo del Acuífero de Etla, 25.2 millones de m^3 provenientes del acuífero de Tlacolula y 0.7 millones de m^3 de la recarga vertical y definió una disponibilidad del recurso en 14.8 millones de m^3 al año. (470 lps)

La empresa GEOCA, S.A. en 1980 realizó el **Estudio de las Condiciones Geohidrológicas del Valle de Tlacolula y alrededores, Edo. de Oaxaca**. Como conclusiones importantes destacan la identificación de zonas de recarga en las rocas terciarias y calizas mesozoicas, fuera del área y al norte.

De los resultados isotópicos, identifica también dos zonas de recarga: la primera debida a infiltraciones a gran altura que alimenta los materiales de relleno y la segunda debida a la infiltración directa del agua pluvial en los rellenos de dicho valle Técnicos Asesores y Constructores, S.A. en 1984 realizó el **estudio Geohidrológico preliminar de acuífero**, con el objetivo de conocer las condiciones geohidrológicas de los valles de Etla y Zimatlán, determinar el régimen de explotación y cuantificar la disponibilidad del agua subterránea, realizando actividades de campo tales como reconocimientos geohidrológicos de campo, inventario de aprovechamientos de agua subterránea más representativos, nivelación topográfica de brocales, piezometría e hidrología de corrientes superficiales.

Asigna al Aluvión como la unidad hidrogeológica más importante para fines de explotación, si bien presenta poco espesor, manifestando hacia la porción central del Valle una profundidad de 10 a 100 m, adelgazándose hacia los bordes y en el extremo norte del mismo una depresión muy localizada cuyo espesor alcanza los 250 m, estimando un espesor saturado de 15 a 100 m aproximadamente.Para ese entonces registraron 283 captaciones significativas que extraían 45.5 hm^3 anuales.

Establece que las profundidades de los niveles estáticos varían de 1.0 a 10.0 m, las más someras al centro del valle y las mayores hacia las márgenes de las sierras que rodean al mismo y que el flujo subterráneo principal muestra una dirección predominante de Noroeste a Sureste, aunque en las proximidades de Cuilapan de Guerrero presenta una dirección de Oriente a Poniente.

En 1996 el Instituto Politécnico Nacional a través del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, realizó trabajos de modelación matemática del acuífero de Etla. Para conocer la geometría del basamento Geohidrológico efectuaron 23 sondeos eléctricos verticales con una separación entre electrodos máxima de 250 m, 216 sondeos con el método electromagnético y de resistividad, con separación de bobinas de 10, 20 y 40 m, 70 estaciones gravimétricas a cada 500 m de separación y abarcando 140 km lineales de exploración, piezometría en 52 pozos, muestreo y análisis del agua de 50 pozos.

3 FISIOGRAFIA

3.1 Provincia fisiográfica

La zona geohidrológica del Valle de Zimatlán pertenece a la Provincia Fisiográfica “Sierra Madre del Sur”, Subprovincia Tierras Altas de Oaxaca (Up Land)”, según la clasificación de Erwin Raisz, 1964, y definida por el Ing. Manuel Álvarez Jr. Como

Provincia Fisiográfica “Zona Montañosa de Guerrero-Oaxaca”, Subprovincia “Sierras y Valles de Oaxaca”. Esta Subprovincia se caracteriza por haber sufrido intensos movimientos originando plegamientos que a su vez formaron valles intermontanos, entre los que se incluye el que la erosión ha transformado en bloques montañosos y algunos lomeríos redondeados y sierras altas escarpadas que alcanzan elevaciones de 2, 600 a 3,100 msnm.

3.2 Clima

El principal clima que prevalece en la parte central del valle, de acuerdo a la clasificación de Köppen, es semicálido, con un régimen de lluvias de Verano; hacia la periferia el clima es Semicálido y subhúmedo y en las sierras circundantes es templado subhúmedo. Dentro de la zona se localizan las estaciones climatológicas San Francisco Telixtlahuaca, San Pablo Huitzo, Villa de Etla, Oaxaca, Santa Ana Tlapacoyan, Zimatlán de Álvarez, y el Observatorio Meteorológico de Oaxaca, cuyos valores medios para el periodo 1974-1994 se utilizaron para describir el clima de la región.

La precipitación media anual de la zona acuífera es de 757.6 mm. La época de lluvia está comprendida entre los meses de mayo a octubre, presentándose una pequeña sequía intraestival o canícula en el mes de agosto. La temperatura media anual es de 19.7° C, con temperaturas máximas entre los meses de marzo a junio y mínimas en los meses de noviembre a febrero. La evaporación potencial es del orden de 2,100 mm/año.

3.3 Hidrografía

El acuífero Valles Centrales se localiza en la Región Hidrológica 20 Costa Chica de Guerrero, en la Subregión 20B. Costa Chica – Río Verde, Cuenca del Río Atoyac y sus límites laterales coinciden con el parte aguas de la Subcuenca Río Atoyac-Oaxaca de Juárez, siendo su principal corriente superficial el Río Atoyac.

El Río Atoyac nace cerca de San Sebastián Sedas, en la zona de Etla, a elevaciones del orden de los 2,000 m. En su primer tramo toma una dirección general hacia el Sureste hasta la Ciudad de Oaxaca, donde ingresa a la zona geohidrológica de Zimatlán y a la altura de San Agustín de las Juntas recibe por la margen izquierda las aguas del Río Salado, que es uno de sus principales afluentes. De allí sigue hacia el Sur-Suroeste pasando por Zimatlán de Álvarez y continúa hasta la altura de Santa Gertrudis, donde confluye el Río Ocotlán, por su margen izquierda. En éste punto cambia hacia el Suroeste y pasa por Santa Ana Tlapacoyan donde se le unen las

aguas del Río La Asunción o San Bernardo. Después continúa hacia el Sur Suroeste por 15 Km más, pasando por Santa María Ayoquezco de Aldama y San Andrés Zabache para salir del Valle de Zimatlán.

A la altura de la Ciudad de Oaxaca se ubicaba la estación hidrométrica Oaxaca, que operó durante tres años (1972 a 1974) y donde se registró un gasto máximo de 343 m^3/seg y un volumen anual de escurrimientos del orden de los 138.5 millones de m^3, presentando gastos muy bajos a nulos durante los meses de marzo a mayo.

En las cercanías de Zimatlán de Álvarez opera otra estación hidrométrica donde el Río Atoyac ha registrado un gasto máximo de 272.7 m^3/s y un volumen anual de escurrimiento del orden de los 287.3 millones de m^3.

Finalmente, en Santa Ana Tlapacoyan se ubica otra estación hidrométrica, 1 km aguas arriba de la confluencia del Río San Bernardo, donde se registra un gasto máximo de 223.5 m^3/s y un volumen de 339.0 millones de m^3 anuales.

En la zona se localiza la presa Matías Romero o Los Cuajilotes sobre el Río Negro, afluente del Río Atoyac, la cual cuenta con una capacidad de almacenamiento 3 millones de m^3, destinadas al uso agrícola para el riego de 482 hectáreas. También se cuenta con una galería filtrante, actualmente fuera de uso. Se utilizan además tomas directas para el riego de terrenos aledaños.

3.4 Geomorfología

La expresión geomorfológica del área es poligenética siendo el resultado inicial de la acción de los movimientos tectónicos que conformaron el relieve original, el cual posteriormente fue modelado por agentes erosivos actuantes en el mismo. Se distinguen los siguientes elementos geomorfológicos.

Sierras y montañas que rodean al valle, complejas, constituidas por rocas metamórficas cuarzo feldespáticas de edad Precámbrica, se encuentran en el parteaguas de la Subcuenca, con alturas hasta de 3,000 msnm (Cerro del Cárcamo) con promedios de 2,700 msnm. En zonas específicas y al noroeste se presentan plegamientos que en general forman estructuras falladas, fracturadas y afectadas en puntos específicos por eventos volcánicos, constituidas por calizas correlacionables con la Formación Teposcolula de edad Cretácico Inferior que funciona como zona de recarga hacia la cuenca del Río Papaloapan.

Pie de Monte: en forma de pequeños abanicos aluviales donde es notoria la presencia de un cuerpo sedimentario como areniscas, en ocasiones intercaladas por lutitas, formando parte de las estribaciones de las sierras.

Valles: amplios y limitados hacia sus márgenes por agrupaciones de sierras de mediana altura, están cubiertos predominantemente por material de acarreo cuyo espesor varía de pocos metros hasta los 120 m. Son de forma alargada, de hasta 65 km de longitud por 20 km en su parte más ancha, con altitudes de 1,420 a 1,540 msnm.

Los elementos tectónicos se presentan en forma más definida hacia la porción Noreste y Suroeste, constituyéndose por plegamientos anticlinales y sinclinales de rumbo NW – SE, y de Norte - Sur, teniendo mayor distribución y continuidad las estructuras del sur donde predominan los sedimentos del Cretácico de medio ambiente de depósito Marino, en tanto que las del Norte son aisladas y de menor amplitud, aunque su composición es similar.

En general la alineación preferencial de las sierras y valle es de Norte a Sur. Por las características descritas se infiere que la región presenta una etapa de madurez y únicamente la porción sur atraviesa por una etapa de juventud.

4 GEOLOGÍA

La geología superficial del acuífero Valles Centrales es muy variada, está constituida por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, rocas sedimentarias y metamórficas, su distribución se muestra en la figura 2.

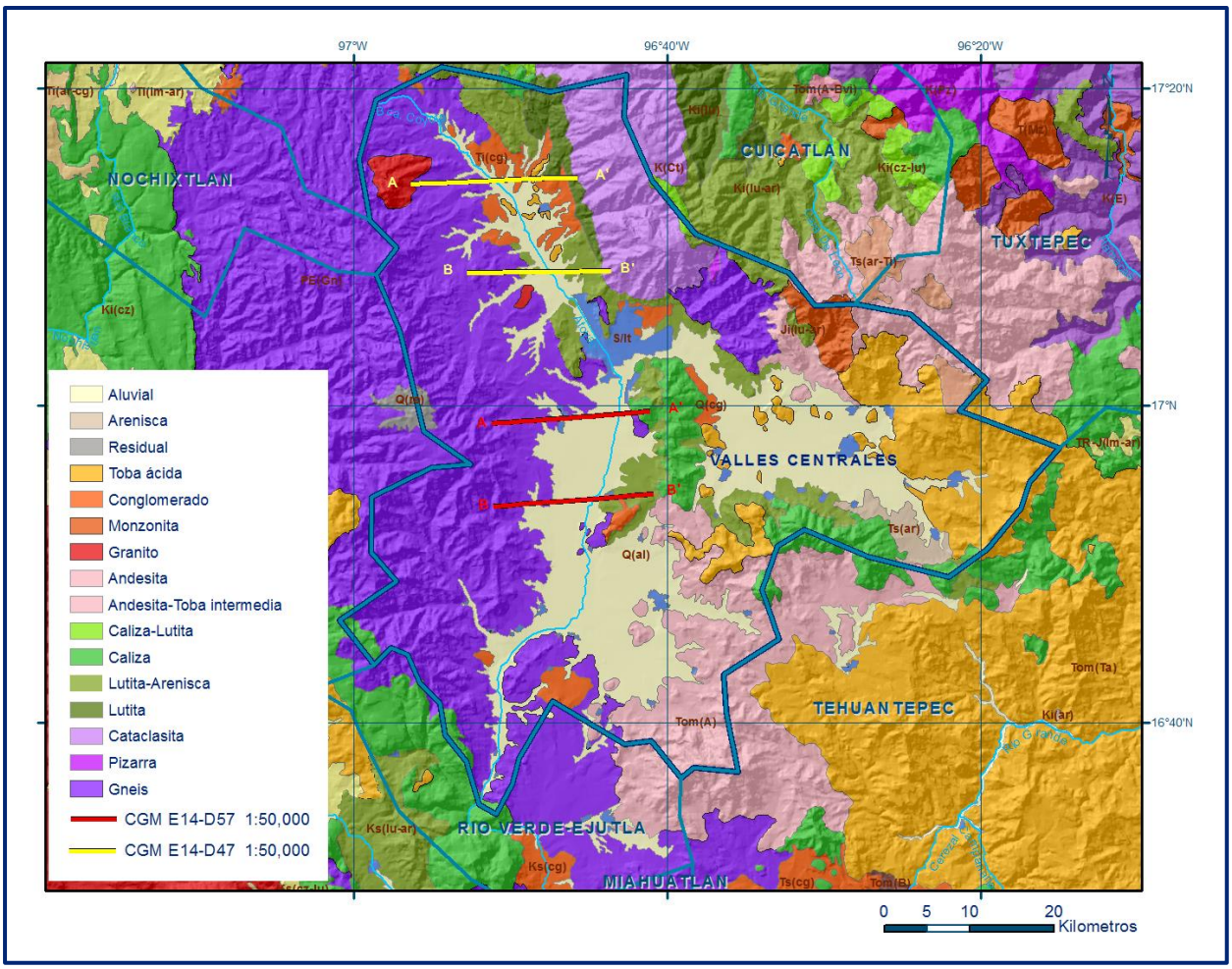

Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

Desde el punto de vista estratigráfico se tienen afloramientos asignados al Precámbrico, Cretácico, Terciario y Reciente, lo que marca un gran hiatus o una fuerte etapa de erosión, aunque se da preferencia a lo primero.

Rocas Metamórficas (Pe): constituida por Gneises y Esquistos datados del Precámbrico, denominada Complejo Oaxaqueño por Ortega (1981), Estas rocas constituyen el basamento de la región, sobre la cual descansa toda la secuencia estratigráfica.

Grupo Sabinal (Jss): Secuencia de calizas y lutitas negras laminadas y conglomerado de cuarzo que únicamente se identifican en las proximidades del área urbana de Oaxaca. Tienen un rumbo general Norte-Sur; y a manera de reconstrucción estructural forman un pequeño anticlinal cortado transversalmente al Sur por el Valle y el Río Atoyac. Al Norte se cubre primeramente por conglomerados y

posteriormente por Esquistos y Gneises, impidiendo seguir su continuidad, siendo importante recalcar su reducida distribución superficial, se les data del Jurásico Superior.

Grupo Puebla: (Ki) Alternancia de areniscas y lutitas de origen marino calcáreas cuyos intersticios u oquedades desarrollados por disolución y fracturamiento se encuentran rellenados parcialmente por calcita y en pequeñas proporciones cuarzo. Se les asigna una edad del Cretácico Inferior.

Caliza Teposcolula (Km): Calizas Cretácicas de color gris claro a café claro en estratificaciones delgadas, gruesas y en ocasiones masivas. Parcialmente dolomitizada, que afloran al noreste de la zona, en la serranía que separa los valles de Zimatlán y Tlacolula, así como al Suroeste en donde se observa el mayor afloramiento

Rocas volcánicas del Terciario (Tige): Forma lomeríos generalmente agrupados constituidos por rocas ígneas extrusivas del terciario, compuestos por tobas, riolitas, andesita y ocasionalmente Ignimbritas, asociadas normalmente a rocas de origen piroclástico.

Suchilquitongo (Tlm) (s): Pequeños cuerpos de rocas lacustres de cuencas diferentes representados por arcillas y conglomerados de color café claro. Pueden apreciarse en forma dispersa y aislada en las estribaciones de las sierras.

Aluvión (Qal): Materiales recientes, conglomerados en términos generales representados por gravas y cantos rodados de origen ígneo, sedimentario y metamórfico. Sus espesores son variables y se ha llegado a detectar hasta la profundidad de 120.0 m hacia la zona del Aeropuerto de la Ciudad de Oaxaca.

4.2 Geología estructural

Las fases de deformación corresponden a un primer evento tectónico contemporáneo a la Orogenia Grenvilliana que en el Precámbrico da origen a las rocas del Complejo Oaxaqueño, donde se ubican de modo general las estructuras principales y cuya foliación gnéisica es hacia el norte y noroeste, aunque localmente se presenta subhorizontal y el bandeamiento original ha sido deformado por pliegues suaves posteriores con rumbo de ejes aproximadamente al noreste.

Las rocas plegadas del Mesozoico permiten inferir una etapa compresiva tal vez sucedida en el inicio del Cenozoico y que puede asociarse con el volcanismo Oligo-

Miocénico. Una última fase, de carácter distensivo, probablemente Plio-Cuaternario es la responsable del fracturamiento y fallamiento normal que involucra a todas las unidades de rocas.

Paralelo al valle de Zimatlán se localiza la Falla Regional Oaxaca, misma que limita los terrenos tectonoestratigráficos Zapoteco y Cuicateco (Modificado de Ortega Gutiérrez 1992) en dirección Noroeste a Sureste.

La zona más plegada se localiza al norte del valle de Etla, correspondiendo a materiales calcáreos que presentan un rumbo de capa Norte-Sur, con echados al Noreste, infiriéndose como zona de recarga a la Cuenca del Papaloapan.

4.3 Geología del subsuelo

De la interpretación de los sondeos geofísicos realizados en 1978 por PROYESCO, se definieron unidades geoeléctricas, definidas por sus valores de resistividad:

Unidad con resistividad de 2-24 Ω-m que se refiere a un horizonte superficial fundamentalmente arcilloso, de reducido espesor y que carece de interés práctico de explotación.

Unidad con resistividades de 15-45 Ω-m, que corresponde a depósitos aluviales de granulometría media a fina y saturada, con espesores de 40 a 80 m y en sitios puntuales con espesor superior a los 100 m.

Unidad con resistividad de 35-55, Ω-m que corresponde a formaciones de mayor compactación, asociadas a lutitas y depósitos arcillosos, con un espesor de 20 m
Unidad con resistividades mayores a 100 Ω-m, que no presenta condiciones favorables de explotación.

De manera general, se considera que el espesor del relleno aluvial de los valles varía de 60 a 90 m. De acuerdo a sus características y capacidad de almacenar y transmitir agua las unidades se clasifican de la siguiente manera

Complejo Metamórfico: No presenta permeabilidad primaria que permita la circulación de agua subterránea a través de ella y el fracturamiento que se observa en estas rocas se encuentra rellenado por material arcilloso, sin embargo, es factible que ese fracturamiento origine una cierta aportación lateral, considerándosele como una unidad poco favorable, es decir de permeabilidad baja y ocasional.

Caliza Teposcolula: Constituida por una secuencia de calizas que se observan en estratos delgados, gruesos y en ocasiones masivas, presentan permeabilidad secundaria debido al fracturamiento y disolución, por lo que se le considera como de permeabilidad buena.

Grupo Puebla: Las areniscas y lutitas que constituyen esta unidad son calcáreas y los intersticios u oquedades desarrollados por disolución y fracturamiento se encuentran rellenados parcialmente por calcita u otro material, por lo que se le clasifica como de permeabilidad mala.

Caliza Teposcolula: Constituida por una secuencia de calizas que se observan en estratos delgados, gruesos y en ocasiones masivas, presentan permeabilidad secundaria debido al fracturamiento y disolución, por lo que se le considera como de permeabilidad buena.

Rocas Volcánicas Terciarias: Debido a su origen, estas rocas presentan nula permeabilidad primaria y el fracturamiento que pudiese originar una permeabilidad secundaria se encuentra en la mayoría de los casos relleno por material de precipitación, sin embargo, en zonas de mayor fracturamiento la unidad puede originar pequeñas aportaciones de agua subterránea al acuífero, por lo que se clasifica como de permeabilidad baja.

Conglomerado: La permeabilidad de esta unidad depende del tipo de material cementante, de la clasificación de sus fragmentos y del grado de compactación de éstos, por lo que se clasifica como de permeabilidad baja, además de su pequeña extensión en la zona.

Material Aluvial: Este material está constituido por sedimentos muy pobremente compactados, de clasificación granulométrica variable formando una mezcla heterogénea de cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas. Es capaz de almacenar y suministrar agua subterránea, por lo que se le considera la más favorable desde el punto de vista hidrogeológico, clasificándosele como de permeabilidad buena.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero en explotación actual está constituido por la unidad hidrogeológica del material aluvial, que funciona como acuífero libre, constituido por arenas sedimentos

no consolidados tales como cantos rodados, gravas, arenas, arcillas y limos formando una mezcla heterogénea, manifestándose en mayor proporción hacia la porción central de los valles, en donde varía de 10 a 100 m, adelgazándose hacia los bordes. El espesor saturado varía de unos 15 m a 100 m aproximadamente.

El basamento está constituido por rocas metamórficas y en algunas zonas se ha llegado a cortar calizas y riolita. Sobre esta base se encuentra un área de alteración proveniente del mismo basamento. Lateralmente el acuífero está delimitado por material impermeable constituido por Rocas metamórficas (Gneiss y Esquistos) y rocas volcánicas extrusivas, que circundan el valle y que por su grado de fracturamiento se consideran aportadoras de agua subterránea al acuífero.

5.2 Parámetros hidráulicos

PROYESCO EN 1978 realizó pruebas de bombeo, con duración entre 0.5 horas a 14 horas, predominando los períodos de 1 a 2 horas. Los valores de transmisividad varían de 6.8 x 10^{-5} a 3.2 x 10^{-2} m^2/s utilizando el método de Jacob para su interpretación. Respecto al coeficiente de almacenamiento, según la granulometría del relleno aluvial, se calcula en 0.06.

5.3 Piezometría

En los valles que comprende esta unidad hidrogeológica se han llevado algunos recorridos piezométricos. El más reciente lo realizó en 1984 la empresa TACSA.

PROYESCO realizó lecturas durante los meses de noviembre de 1978 y enero y febrero de 1979, TACSA durante los meses de enero, febrero y julio de 1984. Desde entonces no se cuenta con lecturas piezométricas. El comportamiento hidráulico que se describe corresponde a los datos generados por TACSA.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Durante el mes de enero en general se observaron profundidades al nivel estático de 2.0 a 15.0 m, siendo más profundas hacia las márgenes de las sierras y las más someras hacia el centro del valle,

El fenómeno de evapotranspiración se localiza en las porciones centrales de los valles, donde los niveles son más someros.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La posición de las curvas indica una dirección predominante del flujo subterráneo para la zona de Zimatlán de Noreste a Suroeste.

Durante el mes de Julio las líneas equipotenciales mostraron valores de 1,480 a 1,530 msnm manifestando un flujo subterráneo proveniente del valle de Etla y de las sierras localizadas en la porción Nororiental y un flujo subterráneo proveniente de las Sierras de Minas y Taviche, convergiendo con el flujo principal a la altura de Santiago Apóstol.

El gradiente hidráulico en ese mes varía de 3.0 x 10^{-3} a 5.0 x 10^{-3} en las celdas de entrada de la porción norte y de 11.0 x 10^{-3} a 17.0 x 10^{-3} en las celdas de entrada de la porción oriental a la altura de Ocotlán de Morelos.

En la zona de salida el gradiente varió de 2.0 x 10^{-3} a 3.0 x10^{-3}.

Para el caso de Etla, el flujo subterráneo tiene una dirección predominante de Noroeste a Sureste, sensiblemente paralelo al cauce del Río Atoyac.

En el centro del Valle recibe una aportación lateral que proviene de la Sierra que limita al valle por su flanco noreste, con un gradiente hidráulico de 10x10^{-3}, para unirse al flujo subterráneo y continuar su curso hacia la salida del valle.

Antes de salir del Valle de Etla, para unirse al flujo subterráneo que proviene del valle de Tlacolula, el gradiente hidráulico disminuye hasta registrar un valor promedio de 5.8x10^{-3}.

Para el caso de Tlacolula, el flujo subterráneo cruza el valle con una dirección de Sureste a Noroeste. Hacia el extremo Noroeste el flujo presenta un gradiente de 10.0 x 10^{-3} y al salir del Valle de Tlacolula disminuye a 8.3 x 10^{-3}.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Comparativamente, de los datos de 1978 a 1984 en general se apreciaron abatimientos del orden de –2.81 m, para el caso de Zimatlán, sugiriendo una sobreexplotación debido a la gran concentración de aprovechamientos en la zona central del valle, con un abatimiento promedio anual de 0.15 m. Para el Valle de Etla, en este mismo periodo, el abatimiento promedio fue de 0.23 m/año.

En el estudio de modelación matemática el CIIDIR observó para el periodo 1997-1998 que los niveles piezométricos en general son más profundos, con un abatimiento del acuífero del orden de 1.0 m en promedio en el período de un año, detectando la formación de conos de abatimiento en las poblaciones de San Lorenzo Cacaotepec, Santa María Atzompa y San Jacinto Amilpas, a la salida del valle de Etla.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De acuerdo a la interpretación de los análisis fisico-químicos de las aguas subterráneas, se clasifican como Sódica-Bicarbonatadas de reciente infiltración, susceptibles de ser aprovechadas para consumo humano, ya que los parámetros indican que se encuentran dentro de las normas establecidas para tal fin.

Las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos van de 100 a 950 ppm, predominando los valores de 300 a 400 ppm. Los bicarbonatos, varían de 50 a 605 ppm. Respecto al Sodio, que por su gran movilidad indica las áreas donde el agua tiene sales principalmente de Cloruro de Sodio.

Las concentraciones más comunes son menores a 100 ppm. La Dureza Total del agua, varía de1 140.0 de ppm a 460 ppm, predominando las concentraciones de 200 a 300 ppm, pudiendo formar incrustaciones en los sistemas de generación de energía, calderas y tuberías que conduzcan agua caliente. Aunque no se cuenta con información cuantitativa, se establece la posibilidad de contaminación bacteriológica en las obras cercanas al Río Atoyac, ya que las aguas residuales producto del uso público urbano de las principales localidades se descargan a este cuerpo sin tratamiento alguno. Mención particular corresponde a la Ciudad de Oaxaca, detectándose pozos que están fuera de uso por ese tipo de contaminación.

Así mismo, se tiene conocimiento de altos contenidos de Hierro y Manganeso en algunos pozos, particularmente en los que suministran agua para el servicio potable de la Ciudad de Oaxaca, detectable por la turbidez y color que adquiere el agua al clorarse como parte de su potabilización.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo a los datos más recientes de la Gerencia Regional Pacífico Sur de la CNA, existe un total de 3348 aprovechamientos del agua subterránea, en su mayor parte norias de bajo rendimiento (aproximadamente el 90 %), que en total extraen un volumen promedio anual de **88.0 hm³**, destinados principalmente al uso agrícola y al abastecimiento de agua potable a los centros de población.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La ecuación de balance de aguas subterráneas está basada en el principio de la conservación de las masas, que, en su forma más simple, está representado por la expresión siguiente:

Recarga Total = Cambio de almacenamiento + Descarga Total

De la información disponible se infiere lo siguiente:

La Recarga está representada por un flujo subterráneo generado por la infiltración de agua de lluvia de las rocas fracturadas expuestas en las sierras circundantes y sus escurrimientos transitorios en los flancos de los mismos, por un flujo de agua subterránea y por la infiltración directa de la lluvia en los Valles.

La Descarga corresponde al drenado subterráneo horizontal, así como a la extracción por bombeo, también es posible la descarga vertical por evapotranspiración de aguas del acuífero en aquellas áreas donde se presentan niveles freáticos someros.

7.1 Entradas

7.1.1 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

La entrada al acuífero por flujo horizontal que proviene de las sierras que rodean a los valles, constituidas por rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas alteradas y fracturadas, así como los depósitos de pie de monte, fue evaluada con base en la ecuación de Darcy expresada de la siguiente forma:

$$Q = (T)(i)(B)$$

Donde:

Q = caudal de flujo que pasa en una celda de flujo (m^3/s)
T = transmisividad del acuífero (m^2/s)
i = gradiente hidráulico en el canal de flujo (adimensional)
B = ancho del canal (m)

Las celdas de flujo fueron marcadas en el plano de elevación del nivel estático para el año 1984. El valor de la recarga por este concepto es de **61.9 hm^3/año**.

7.1.2 Recarga vertical (Rv)

Se desconoce la magnitud de la recarga por infiltración de la lluvia ocurrida en el área de captación del acuífero; sin embargo, corresponde a la infiltración inmediata y del escurrimiento, debido a una precipitación promedio anual de 758 mm que ocurre en una superficie de 1130 km^2. Su valor se obtuvo al considerarla como incógnita y posteriormente despejarla de la ecuación de balance. El volumen calculado de esta manera asciende a **91.7 hm^3/año**.

7.2 Salidas

7.2.1 Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Al igual que las entradas por flujo subterráneo, las salidas horizontales se calcularon por medio de la ecuación de Darcy, identificando las celdas de salida en el plano de elevación del nivel estático para el año 1984. El valor calculado es de **14.6 hm^3/año**.

7.2.2 Evapotranspiración (ETR)

Para la determinación de este parámetro se utilizó el método de L. Turc, en aquellas zonas donde el nivel freático es somero (menor o igual a 5 metros) obteniéndose un valor de **48.6 hm^3/año**.

7.2.3 Extracción por bombeo (B)

Para su estimación se consideró los volúmenes requeridos para cada uso, así, para el uso Público urbano se estimó que la Ciudad de Oaxaca recibe un gasto de 384.0 lps del valle de Zimatlán, equivalente a 12.110 millones de m^3 anuales más los 9.981 que recibe de Etla.

Para el resto de la población asentada en el valle, se consideró una cobertura de servicio de agua entubada de 48.5 % y una dotación diaria de 125 lps.

La población restante utiliza norias de uso doméstico cuya dotación no es fácil de establecer. Para el uso agrícola, el volumen de extracción se calculó indirectamente considerando superficie y lámina de riego y volumen de extracción y tiempo de operación.

Para el caso del uso pecuario, se tomó en cuenta la población y clase de ganado y se asignó una dotación mínima, según INEGI. Para el sector industrial, el uso principal es de las embotelladoras de refrescos y de agua potable, los cuales tienen medidores de flujo.

Considerando todos estos aspectos, se calculó un volumen de extracción promedio anual de **88.0 hm³/año**.

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

El valor que se calculó del cambio de almacenamiento es el que se indica a continuación:

ΔV(S)= 2.4 hm³

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 ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	-	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 corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural, más la recarga inducida. En este caso, es la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales.

De esta manera la Recarga Total es de **153.6 hm³/año.**

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos

alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionarios como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes.

Para el caso de la zona en estudio la descarga natural comprometida es el volumen que actualmente sale como flujo subterráneo y asciende a **18.4 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 **132,169,747 m³ 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 = 153.6 – 18.4 – 132.169747

DMA = 3.030253 hm^3/año.

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **3,030,253 m^3 anuales.**

9 BIBLIOGRAFIA

Comisión Nacional del Agua, 1994, Manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos.

Comisión Nacional del Agua, 1999. Ley Federal de Derecho en Materia de Agua.

Comisión Nacional del Agua, 1999, Registro Público de Derechos de Agua. Base de datos de aprovechamientos inscritos.

GEOCA, S.A. en 1980 realizó el Estudio de las Condiciones Geohidrológicas del Valle de Tlacolula y alrededores, Edo. de Oaxaca.