



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SAN MARTÍN DE BOLAÑOS (1456),
ESTADO DE JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	5
2. FISIOGRAFÍA.....	5
2.1 Provincia fisiográfica.....	5
2.2 Clima.....	6
2.3 Hidrografía.....	6
2.4 Geomorfología.....	7
3. GEOLOGÍA.....	7
3.1 Estratigrafía.....	7
3.2 Geología estructural.....	9
3.3 Geología del subsuelo.....	10
4. HIDROGEOLOGÍA.....	11
4.1 Tipo de acuífero.....	11
5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	11
5.1 Entradas.....	12
5.1.1 Recarga vertical (Rv).....	12
5.2 Salidas.....	18
5.2.1 Bombeo (B).....	18
6. DISPONIBILIDAD.....	19
6.1 Recarga total media anual (R).....	19
6.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	19
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	20
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	20
7. BIBLIOGRAFÍA.....	21

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 San Martín de Bolaños, definido con la clave 1456 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción norte del estado de Jalisco, entre las coordenadas 20°54' y 21°57' de latitud norte y 103°24' y 104°05' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 4156.9 km² (figura 1).

Geopolíticamente el acuífero se localiza en siete municipios que son: Villa Guerrero, Bolaños, San Martín de Bolaños, Totatiche, Chimaltitán, Tequila y San Cristóbal de la Barranca en el estado de Jalisco y el municipio de la Yesca en el estado de Nayarit.

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero

ACUIFERO 1456 SAN MARTIN DE BOLAÑOS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	30	35.8	21	22	6.3	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	103	24	36.1	21	6	33.3	
3	103	24	57.7	21	6	17.8	
4	103	25	22.5	21	3	47.4	
5	103	30	49.6	21	3	32.1	
6	103	31	56.8	21	1	26.8	
7	103	31	12.7	21	0	23.7	
8	103	33	46.9	20	58	35.6	
9	103	36	41.1	20	58	26.4	
10	103	39	41.5	20	54	31.0	
11	103	41	8.3	20	54	32.7	
12	103	42	51.1	20	55	42.1	
13	103	47	34.0	20	56	49.4	
14	103	49	44.8	20	57	53.2	
15	103	51	55.5	21	0	34.7	
16	103	50	38.6	21	4	56.2	
17	103	53	58.6	21	4	56.2	
18	104	3	35.4	21	9	17.7	
19	104	4	16.0	21	11	15.4	
20	104	5	52.1	21	15	57.4	
21	104	3	3.6	21	19	0.5	
22	104	3	16.5	21	23	50.7	
23	104	0	52.9	21	26	58.6	
24	103	59	11.1	21	30	24.7	
25	103	57	47.5	21	31	18.0	
26	103	56	24.8	21	36	39.0	
27	103	55	48.3	21	38	31.1	DEL 27 AL 28 POR EL LIMITE ESTATAL
28	103	55	11.8	21	46	1.0	
29	103	53	43.2	21	47	22.0	
30	103	50	38.6	21	48	15.9	
31	103	48	4.8	21	49	2.0	
32	103	46	40.2	21	48	54.3	
33	103	44	52.5	21	49	48.2	
34	103	44	21.7	21	51	51.2	
35	103	42	34.1	21	53	0.4	
36	103	40	0.2	21	53	23.5	
37	103	37	57.2	21	53	54.3	
38	103	36	40.3	21	55	41.9	
39	103	35	0.3	21	57	21.9	
40	103	33	20.3	21	57	6.6	
41	103	31	55.7	21	55	49.6	
42	103	31	17.2	21	53	8.1	
43	103	28	51.1	21	51	51.2	
44	103	27	26.1	21	50	18.7	DEL 44 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	103	30	35.8	21	22	6.3	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero San Martín de Bolaños pertenece al Organismo de Cuenca VIII, "Lerma-Santiago-Pacífico", y al Consejo de Cuenca "Río Santiago" instalado el 14 de julio de 1999. La totalidad de su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones de un decreto de veda, "*Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en zonas no vedadas en diversos Municipios del Estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los municipios del Estado de Jalisco*", publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de diciembre de 1987

Esta veda es de tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

La porción no vedada del acuífero San Martín de Bolaños clave 1456, se encuentra sujeta a las disposiciones del "*ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican*", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en la porción no vedada del acuífero San Martín de Bolaños, clave 1456, que en el mismo se indica, se prohíbe la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, así como el incremento de volúmenes autorizados o registrados, sin contar con concesión, asignación o autorización emitidos por la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

2. FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1964), la superficie del acuífero se ubica en la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental; ésta constituye un importante sistema montañoso, de origen ígneo, volcánico en su mayor parte, la sierra se levanta con una región escarpada orientada al occidente, hacia el oriente la sierra desciende

a una región con grandes mesetas; por sus condiciones geológicas y fisiográficas está surcada por numerosos cañones profundos.

La zona del acuífero pertenece a dos subprovincias fisiográficas la primera Mesetas y Cañadas del Sur, que está formada por superficies diferentes en extensión, mesetas grandes con valles, lomerío con valles, cañón típico y pequeñas porciones de llanuras aluviales; la segunda Sierras y Valles Zacatecanos está caracterizada por sierras altas alargadas en sentido norte-sur, frecuentemente rematadas por mesetas que alternan con valles.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García (1981), para las condiciones de la República Mexicana, el clima que predomina en la mayor parte del acuífero es el semicálido subhúmedo ((A)C(wo)), con temperatura media anual entre los 18 y 22°C, régimen de lluvias de verano en el que el periodo de máxima precipitación se presenta en el periodo de junio a octubre; otros climas que se registran en las inmediaciones del acuífero corresponden al templado subhúmedo (C(wo)), el semiárido cálido (BS1(h')w) y en una porción pequeña el cálido subhúmedo (Awo).

Para la determinación de las variables climatológicas se analizó la información de 10 estaciones climatológicas que tienen influencia en la superficie del acuífero determinada por medio del método de polígonos de Thiessen, estas estaciones son: Santa Rosa, Magdalena, Bolaños, Totatiche, Paso de la Yesca, Paso de Analco (CFE), Cuixtla y Villa Guerrero en el estado de Jalisco; Teul de González Ortega y Excame en Zacatecas con registros para el periodo 1962-1988 (27 años), donde se determinan los valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **779.6 mm** y **22.4 °C** respectivamente.

2.3 Hidrografía

El área cubierta por el acuífero se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica 12 "Lerma-Santiago", que cubre el 50.8 % de la superficie del estado de Jalisco y en la subregión Hidrológica río Bajo y Alto Santiago, dentro de las cuencas hidrológicas río Bolaños, río Santiago Guadalajara y una parte muy pequeña en las cuencas del río Huaynamota y Santiago Aguamilpa.

El acuífero se encuentra parcialmente sobre las subcuencas río Carbonera, río Bolaños

Bajo, río Cuixtla, río Chico, río Verde-P. Santa Rosa, río Bolaños- P. Santa Rosa, y porciones pequeñas de las subcuencas río Bolaños-Huaynamota, río Bolaños Alto y río Huichol.

El cauce principal presente en la zona del acuífero es el río Bolaños, cabe mencionar que al sur del territorio del acuífero en algunas intersecciones también transita el río Santiago, aunque por ese motivo el de mayor influencia es el primero, estos dos ríos caudalosos son de corriente perenne alimentados de corrientes intermitentes de temporal.

2.4 Geomorfología

El paisaje característico de la provincia y subprovincias, está formado por altas mesetas, que son interrumpidas abruptamente por cañones, que son resultado de erosión fluvial sobre diversos tipos de roca volcánica ácida que constituyen la Sierra, predominando la tectónica de bloques paralelos, separados por valles longitudinales, se observan lomeríos con valles y pequeñas zonas de llanura aluvial.

La geomorfología de la subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos está caracterizada por sierras altas alargadas, rematadas por mesetas que alternan con valles.

3. GEOLOGÍA

El acuífero está situado en la terminación sur de la Sierra Madre Occidental de formación volcánica, caracterizada por una secuencia andesítica inferior y una secuencia riolítica superior con desarrollo posterior de estructuras extensivas; litológicamente la zona está integrada principalmente por rocas ígneas extrusivas de las cuales un 85% corresponde a riolita-toba ácida, que se considera como roca poco permeable; también hay afloramientos de lavas riolíticas y andesíticas, estas rocas andesíticas representan la parte basal de dicha zona.

Los basaltos y riolitas que cubren a las unidades andesíticas se componen de ignimbritas y tobas de composición riolítica, estas rocas se clasifican de composiciones basálticas posteriormente cubiertas con la presencia de suelos aluviales y residuales en las partes bajas (figura 2).

3.1 Estratigrafía

El área está situada hacia la terminación sur de la provincia volcánica de la Sierra

Madre Occidental, la cual ha sido dividida en Secuencia Volcánica Inferior de edad variable de 45 Ma (Eoceno) a 100 Ma (Albiano), y Secuencia Volcánica Superior confinada en el intervalo de 27 Ma a 35 Ma (Oligoceno). A continuación, se describen brevemente las unidades litológicas presentes en la superficie del acuífero.

CENOZOICO

Mioceno

La unidad más antigua consiste de lavas riolíticas y andesíticas con niveles de piroclásticos, sin embargo, la parte basal del acuífero corresponde a los depósitos de la Sierra Madre Occidental secuencia de andesita-toba andesítica (TomA-TA).

Esta unidad basal es cubierta por otra compuesta de una serie de ignimbrita y toba de composición riolítica con niveles de lavas y brechas de composición basáltica a andesítica-basáltica, y de lavas y brechas de composición riolítica. Hacia el límite sur, en la zona del río Grande de Santiago se pueden encontrar tobas riolíticas que subyacen a basaltos del cinturón Volcánico Mexicano.

Plioceno

Cubriendo discordantemente a la secuencia anteriormente mencionada, afloran sedimentos asociados a relleno de fosa, compuestos principalmente de areniscas y conglomerados, que por su posición estratigráfica se podría considerar del Plioceno Inferior.

En relación discordante y cubriendo los rellenos de fosa, se presenta una secuencia de lavas y brechas de composición andesita-basalto (TplA-B), de color gris a oscuro, con abundante plagioclasa, piroxenos, calcita y clorita, correlacionable al evento volcánico del eje Neovolcánico. La unidad más joven está representada por aluvión que se restringen principalmente a los márgenes de los ríos.

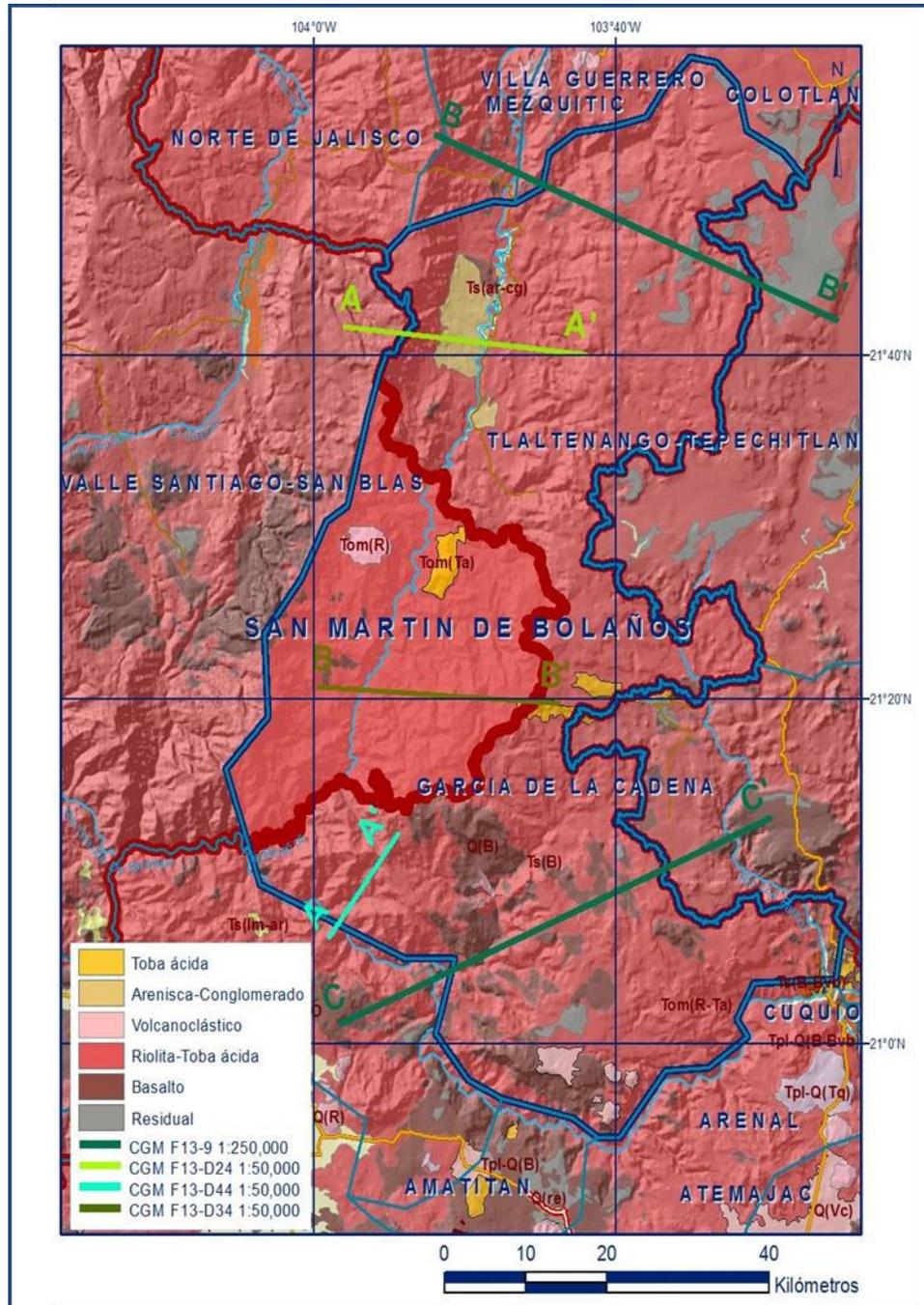


Figura 2. Geología general del acuífero

3.2 Geología estructural

La estructura más importante de la región está representada por el Graben de Bolaños, que es una fosa tectónica de 70 km de longitud, de rumbo general NE 10° SW, de 12 km de ancho en su parte más angosta y 16 km en su parte más ancha; ésta se extiende al norte y al sur y tiene desnivel de hasta 1,500 m en su parte más profunda,

a la altura del poblado de San Martín de Bolaños.

La deformación frágil está determinada además por otras fallas normales que afectan indistintamente a todas las unidades litológicas que conforman el paquete volcánico cenozoico. La falla El Escalón es un rasgo estructural importante, pues es la falla principal y flanco occidental del Graben de Bolaños, se localiza en la porción occidental con una orientación general NE 20° SW, aunque presenta algunos cambios de rumbo en la parte sur, y con echado de 80° al SE. Cruza de norte a sur con una longitud de 30 km y un salto de falla que se estima superior a los 300 m, se encuentra afectando a las unidades volcánicas cenozoicas.

La falla Banco Colorado corresponde al flanco oriental del Graben de Bolaños, presenta un rumbo general NE 15° SW con echado variable de 78° a 84° al NW, localizada al oriente, su presencia es menos escarpada que su contraparte del flanco poniente y se manifiesta con una serie de pequeños escalones con caída al NW, hacia el centro de la fosa.

La falla Colima con rumbo NW 25° SE echado de 70° al SW y longitud de 7 km, así como la falla Salto de Las Ánimas de rumbo NW 10° SE con echado de 50° al SW y longitud de 5 km y la falla Charco Azul de rumbo NW 15°SE con echado de 70° al SW y longitud de 11 km, forman parte del sistema NW-SE, el cual tiene mayor expresión al este de la falla Banco Colorado, al oriente del acuífero. Este sistema de fallas está afectando principalmente a la unidad ignimbrítica.

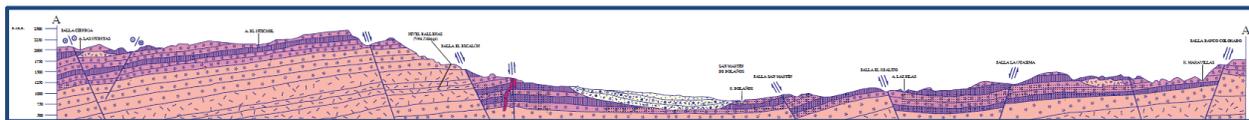
3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la geología superficial y la información de cortes litológicos (figura 3) se determina que el acuífero está constituido de la siguiente manera:

Porción superior: En las márgenes de los ríos se tienen depósitos de aluvión restringido solo a estas zonas; en los alrededores del poblado de San Martín de Bolaños afloran sedimentos asociados a relleno de fosa, compuestos principalmente de areniscas y conglomerados (Ar-Cgp); en relación discordante y cubriendo los rellenos de fosa, se presenta una secuencia de lavas y brechas de composición andesita-basalto (TplA-B).

Porción inferior: El basamento del acuífero es muy probable que corresponda a secuencias de andesita-toba andesítica (TomA-TA), estas secuencias subyacen a

algunas lavas riolíticas y andesíticas. De modo que también puede estar compuesta de una serie de ignimbrita y toba de composición riolítica con niveles de lavas y brechas de composición basáltica a andesítica-basáltica y de lavas y brechas de composición riolítica detectadas en la Sierra Madre Occidental.



Fuente: Carta Geológico-Minera F13-D24 "San Martín de Bolaños". Esc. 1:50,000 (SGM, 2000)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

4. HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten establecer que el sistema del acuífero es de **tipo libre**, la composición volcánica en la que se encuentra está constituida por una secuencia de lavas y brechas de composición andesita-basalto (TplA-B), existen zonas de sedimentos que rellenan fosas tectónicas, compuestos de arenisca, conglomerados y aluviones en las márgenes de los ríos, estas últimas representan el medio poroso que existe en el conjunto de fallas denominado Graben o fosas tectónicas de Bolaños.

El medio fracturado de las fallas, conformado por las rocas volcánicas, permite el desplazamiento del agua subterránea a través de la permeabilidad relacionada con las fracturas, por lo que se considera que estas zonas funcionan como recarga.

La roca que subyace al acuífero de tipo andesítico basáltico corresponde a la roca más antigua detectada en la Sierra Madre Occidental, estas rocas ígneas se consideran el basamento del acuífero.

5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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

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

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

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

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero San Martín de Bolaños están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). No existe información piezométrica actual ni histórica que cubra la zona del acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo hechos se encuentra dispersa en tiempo y espacio, de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas.

Por estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de **4,156.9 km²** del acuífero para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

5.1.1 Recarga vertical (Rv)

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

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

Donde:

$\mathbf{V_{LL}}$ = Volumen de lluvia;

$\mathbf{V_{ETR}}$ = Volumen evapotranspirado;

$\mathbf{V_{ESC}}$ = Volumen escurrido;

$\mathbf{V_{INF}}$ = Volumen infiltrado;

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

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (4,156.9 km²) por la lámina de precipitación media anual (779.6 mm):

$$V_{LL} = 4,156.9 \text{ km}^2 (0.7796 \text{ m}) = 3,240.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando el valor medio anual de precipitación de 779.6 mm y temperatura de 22.4 °C.

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

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

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc, es que la precipitación no debe ser menor a la relación 0.31L. En caso contrario se obtiene una ETR > P y para estos casos se debe considerar a ETR = P. De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de **712 mm anuales**.

Por lo tanto, el volumen de ETR es:

$$V_{ETR} = 4,156.9 \text{ km}^2 (0.712 \text{ m}) = 2,959.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

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

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

El coeficiente de escurrimiento (C_e) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo (figura 5).

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

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

$$\begin{aligned} \text{Si } K \text{ resulta menor o igual que } 0.15 & \quad C_e = K (P-250) / 2000 \\ \text{Si } K \text{ es mayor que } 0.15 & \quad C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5 \end{aligned}$$

Donde:

P = Precipitación anual;

C_e = Coeficiente de escurrimiento anual;

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

Tabla 2. Valores de K en función del tipo y uso del suelo

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

De acuerdo con la cartografía de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) escala 1:1,000,000 en la zona que comprende el acuífero San Martín de Bolaños predominan los siguientes tipos de suelo: Cambisol, cuerpos de agua, Feozem, Litosol y Luvisol que se clasificaron en dos tipos de suelo: A y C (figura 4).

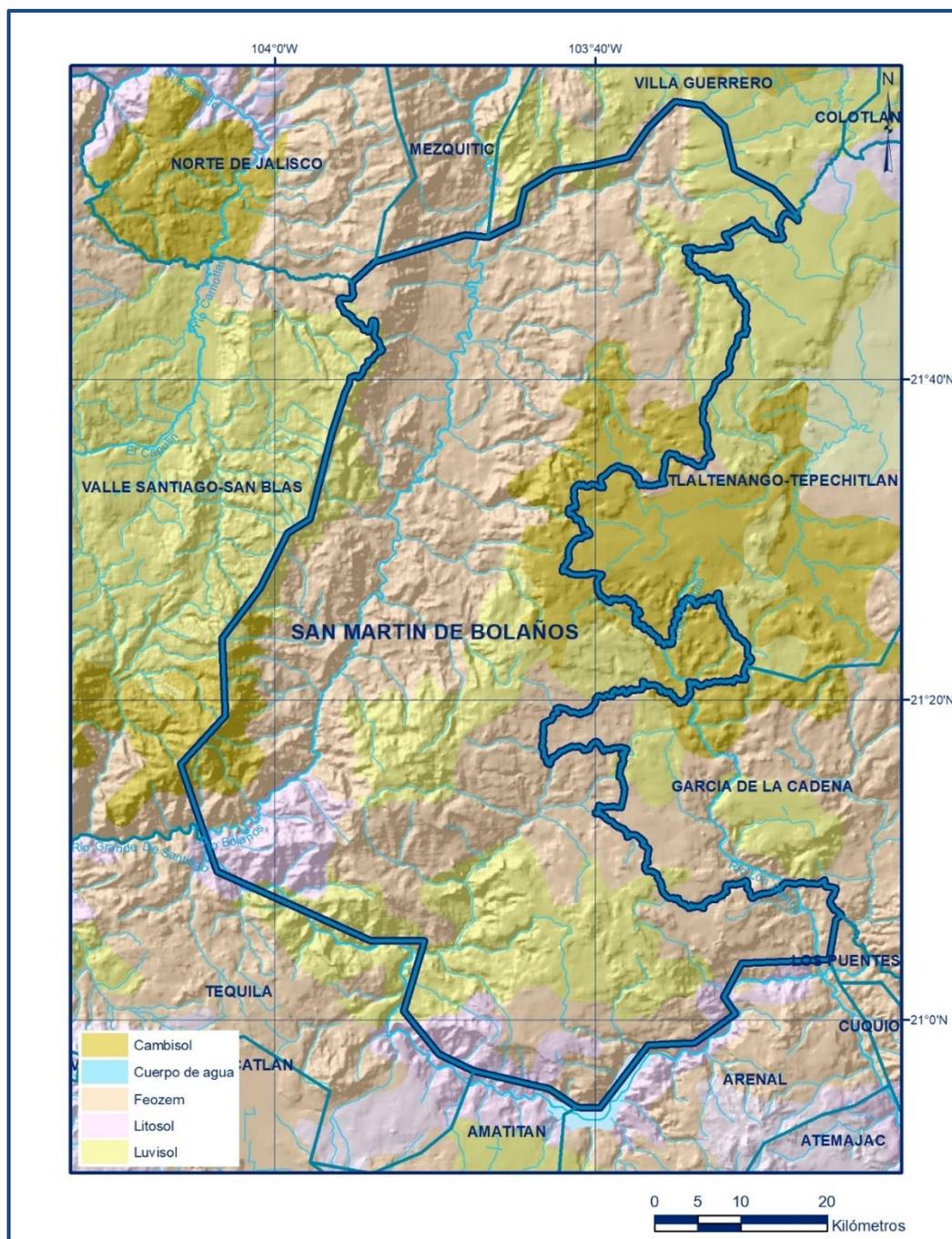


Figura 4. Tipo de suelo

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

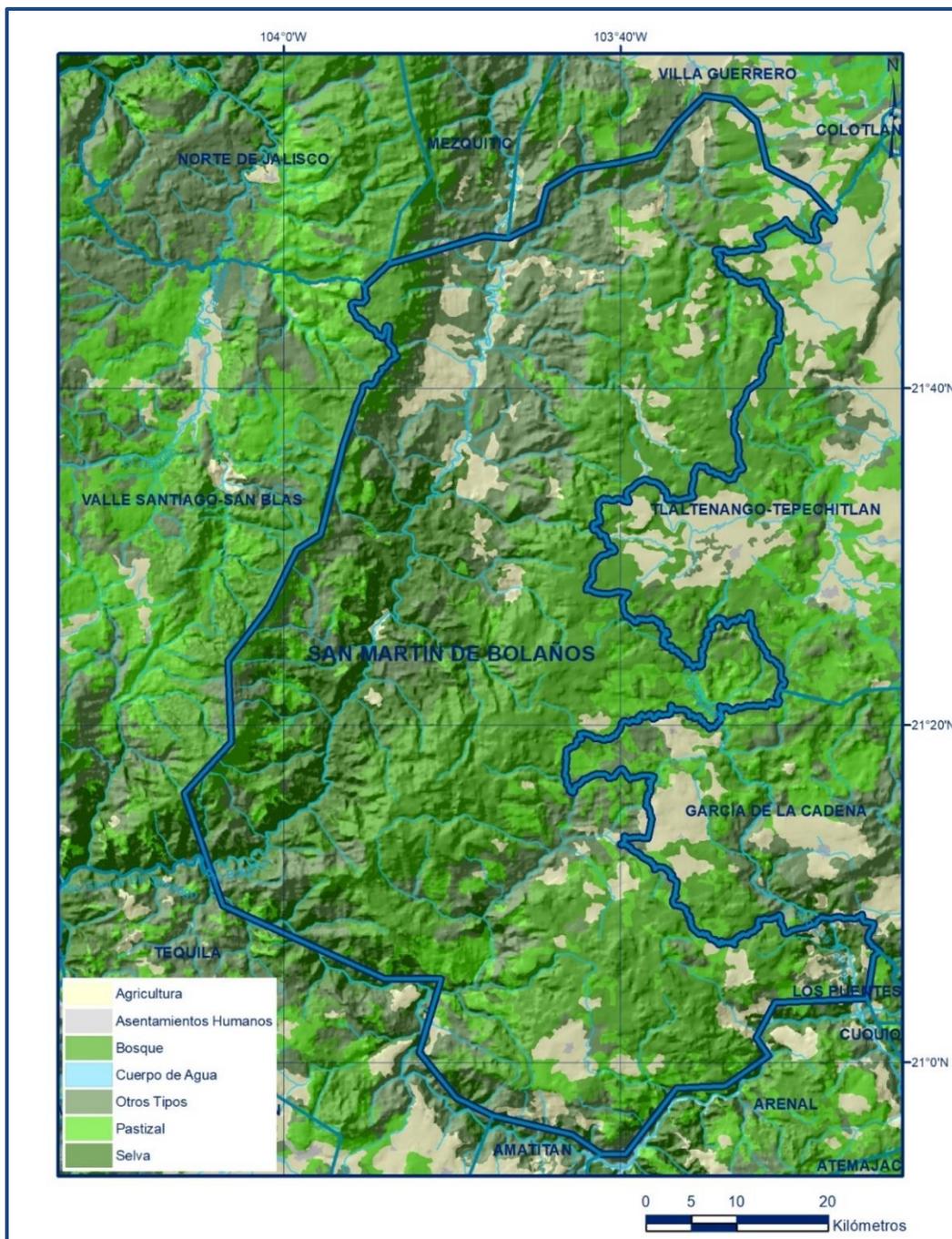


Figura 5. Uso de Suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.16, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

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

$$C_e = 0.044$$

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

$$V_{ESC} = 0.044 (3,240.7 \text{ hm}^3) = 142.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\begin{aligned} V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \text{ (2)} \\ V_{INF} &= 3,240.7 - 2,959.7 - 142.6 \\ V_{INF} &= 138.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 3,240.7 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0427.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 138.4 hm³/año en los 4,156.9 km² de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 138.4 hm³ anuales**

5.2 Salidas

Las salidas de agua subterráneas estimadas en este balance son las siguientes:

La descarga del acuífero ocurre principalmente por caudal base hacia los ríos y a través de manantiales (DM). La descarga del acuífero corresponde a la descarga que ocurre naturalmente a través del caudal base del río San Martín de Bolaños, estimado en **130.0 hm³ anuales**, además de la extracción registrada por bombeo.

5.2.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPD), se tiene registrado un volumen de extracción de **7.3 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

6. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

6.1 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 en recarga vertical.

Para este caso, el valor estimado de la recarga total media anual que recibe el acuífero es de **138.4 hm³ anuales**.

6.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero San Martín de Bolaños se considera que el valor de la descarga natural comprometida corresponde al caudal base del río y es de **130.0 hm³ anuales**.

6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **7'304,618 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre del 2022**.

6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 138.4 - 130.0 - 7.304618 \\ \text{DMA} &= 1.095382 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe disponibilidad de **1'095,382 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

7. BIBLIOGRAFÍA

Servicio Geológico Mexicano, 2000. Carta Geológico-Minera F13-D24, "San Martín de Bolaños", Jalisco, Nayarit y Zacatecas, escala 1: 50,000.