



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LOS LAMENTOS (0826), ESTADO DE
CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES	2
	Antecedentes	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
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.....	8
3.2	Geología estructural.....	10
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
5.2.2	Descarga por manantiales (Dm).....	18
6	DISPONIBILIDAD	18
6.1	Recarga total media anual (R).....	19
6.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	19
6.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	19
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 Los Lamentos, definido con la clave 0826 en la CONAGUA, se localiza en la porción norte del estado de Chihuahua, entre las coordenadas geográficas 30° 12' y 30° 53' de latitud norte y 105° 23' y 105° 59' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 2309.15 km².

Limita al noroeste con el acuífero El Cuarenta; al sur con Laguna Tres Castillos; al oeste con Laguna de Patos; al noreste con Valle del Peso; al sureste con Aldama-El Cuervo,

todos pertenecientes al estado de Chihuahua (figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, comprende parcialmente la superficie de los municipios Ahumada, Guadalupe y Coyame del Sotol. 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 0826 LOS LAMENTOS						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	105	37	5.9	30	47	21.6
2	105	36	15.8	30	42	36.9
3	105	31	24.6	30	32	24.8
4	105	29	30.6	30	24	34.8
5	105	24	32.9	30	18	11.3
6	105	23	23.6	30	12	39.4
7	105	35	44.7	30	15	15.1
8	105	51	26.5	30	16	16.4
9	105	53	27.9	30	21	36.6
10	105	54	37.2	30	24	46.3
11	105	54	9.8	30	27	44.4
12	105	57	12.5	30	30	45.6
13	105	58	24.5	30	32	31.7
14	105	53	3.0	30	39	45.3
15	105	49	5.1	30	48	9.7
16	105	38	54.9	30	53	24.9
17	105	36	17.1	30	49	21.5
1	105	37	5.9	30	47	21.6

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Los Lamentos pertenece al Organismos de Cuenca VI “Río Bravo”, al Consejo de Cuenca “Río Bravo”, instalado el 21 de enero de 1999.

En la totalidad de su territorio no rige ningún decreto de veda, sin embargo, se encuentra sujeto a las disposiciones del “ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento de las aguas nacionales del subsuelo en los 96 acuíferos que se indican”, publicado en el DOF el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite 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, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de 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 4. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. No se han constituido ningún Distrito de Riego ni Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2001), el acuífero se ubica en territorio de la provincia Sierras y Llanuras del Norte, abarca la subprovincia Sierras Plegadas del Norte.

La Sierra Madre Occidental es una cadena montañosa que abarca todo el oeste mexicano y el extremo suroccidental de los Estados Unidos. En sus 1500 km de longitud recorre Arizona, parte de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Nayarit y Jalisco, lugar donde se une al Eje Volcánico Transversal de México. Cubre 289,000 km² y ocupa la sexta parte del territorio mexicano. Su ancho promedio es de 150 km, con alturas de hasta 3000 msnm. Presenta una orientación NW-SE y comprende la porción sur-occidental del estado de Chihuahua; es una extensa meseta formada por rocas volcánicas disectada por fallas normales y grabens, cuyo borde occidental se caracteriza por presentar una terminación abrupta con fallas normales que presentan grandes desplazamientos y zonas de barrancas profundas.

La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida que se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila. Se orienta más o menos noroeste-sur sureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua y Coahuila. El origen de la provincia está relacionado con el plegamiento de las secuencias marinas del mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento Paleozoico y Precámbrico, así como por el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, que dieron lugar a la formación de cuencas endorreicas.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García, en 1981, con aportaciones del INEGI, para las condiciones particulares de la República Mexicana, en el acuífero, prevalece el clima muy árido templado BWkw. Se caracteriza por presentar una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, la temperatura media del mes más frío es entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente mayor de 22 °C. Presenta lluvias en verano y el porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

En una porción menor del acuífero se presenta un clima árido templado BSokw. con una temperatura media anual entre 12° y 18°C, con una temperatura del mes más frío entre -3° y 18°C, con lluvias en verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de isoyetas e isotermas del Atlas del INEGI. De acuerdo con estos datos, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **224.9 mm y 17.1 °C** respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en la Región Hidrológica número 34 Cuencas Cerradas del Norte y dentro de la Cuenca R. del Carmen y Cuenca del Carrizo y Otros, encontrándose dentro las subcuencas Rancho El Cuarenta y Félix U Gómez.

También se encuentra dentro de una pequeña porción de la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos y de la Cuenca R. Bravo-Cd Juárez y las subcuencas R. Bravo-Fuerte Quitman y R. Bravo-Country Line.

La Cuenca R. del Carmen tiene una pendiente general de baja a moderada. La corriente superficial más importante el río El Carmen.

La pendiente general de la Cuenca del Carrizo y Otros es en la porción alta media, mientras que en la parte inferior es baja. El sistema orográfico que configura esta cuenca forma subcuencas cerradas que originan vasos de tipo lacustre aluvial muy azolvados y por tanto en proceso de extinción.

Los usos del agua superficial son reducidos, se limitan al riego de pequeñas áreas, abastecimiento a la industria minera, pecuario y doméstico.

2.4 Geomorfología

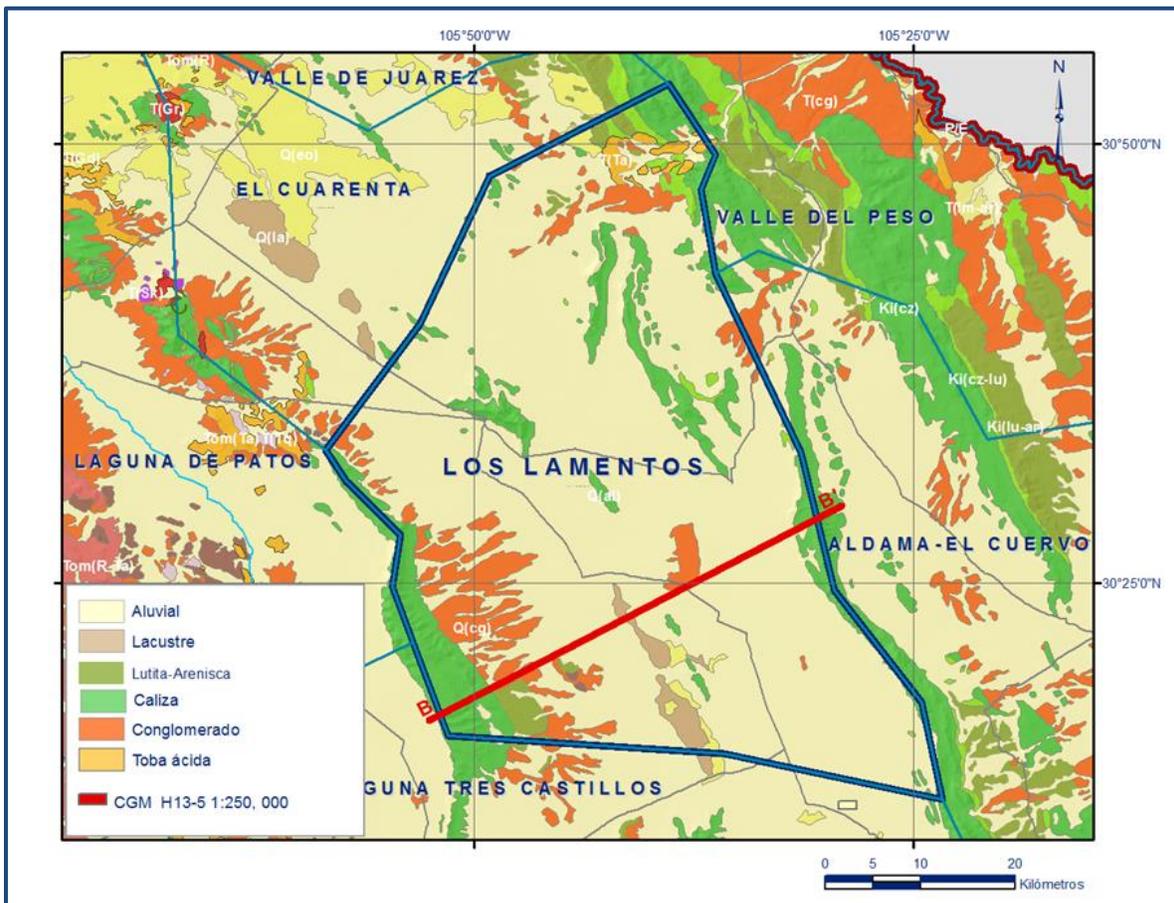
El sistema de topoformas del acuífero Los Lamentos se constituye principalmente de bajadas, lomeríos, sierras plegadas y llanuras.

Localmente los principales rasgos geomorfológicos son: Sierra Los Lamentos, Sierra El Hacha, Sierra El Águila, Sierra El Perdido y Cerros Prietos.

3 GEOLOGÍA

En el área del acuífero afloran rocas sedimentarias e ígneas volcánicas. Forma parte del terreno tectonoestratigráfico Chihuahua, constituido por un conjunto cratónico de areniscas, lutitas y calizas del Paleozoico cubierto por sedimentos mixtos y continentales del Mesozoico depositados en la cuenca de Chihuahua y rocas Cenozoicas de origen volcánico y continental.

La distribución general de las distintas unidades litológicas se muestra en la figura 2.



3.1 Estratigrafía

En el acuífero se presenta una gran variedad de rocas que representan un intervalo geológico que va del Jurásico Superior al Reciente. A continuación se describe de forma breve su litología en orden cronológico de ocurrencia.

JURÁSICO SUPERIOR

Formación La Casita

Durante el Jurásico Superior se inicia el depósito sobre la cuenca de Chihuahua con arenisca calcárea y lutita. Es de edad Kimmeridgiano-Portlandiano.

Formación Navarrete

Consiste de una secuencia de caliza arcillosa de estratificación delgada con intercalaciones de lutita y yeso en forma masiva, de edad Berriasiano-Valanginiano; el contacto superior es transicional y concordante con la Formación Las Vigas.

Formación Las Vigas

La Formación Las Vigas de edad Valanginiano-Hauteriviano, está constituida por una secuencia de areniscas con intercalaciones de lutita, limolita rojiza y verdosa en estratos que varían de delgados a gruesos, intemperizando a color rojizo, presentan huella de oleaje y estratificación cruzada; le sobreyace de manera transicional y concordante la secuencia del Grupo Cuchillo.

Grupo Cuchillo

El Grupo Cuchillo de edad Barremiano-Aptiano constituido por las formaciones La Virgen (yeso con intercalaciones de caliza) Cupido (caliza) y La Peña (caliza con intercalaciones de arenisca calcárea, lutita y lutita calcárea).

Grupo Aurora

El grupo Aurora está conformado por la Formaciones Coyame, constituida por estratos medios de caliza con alternancia de lutita; Benigno, formada por caliza masiva y lutita calcárea; Walnut, compuesta por una alternancia de caliza arcillosa y lutita calcárea en estratos delgados; Finlay formada por caliza masiva con pedernal. Le sobreyace de manera transicional y concordante los sedimentos representados por la Formación Benavides.

Formación Benavides

De edad Albiano Medio-Superior, está constituida por lutita con intercalaciones de

caliza arcillosa, le sobreyace concordantemente la Formación Loma de Plata.

Formación Loma de Plata

Está constituida una alternancia de caliza nodular en estratos delgados con cuerpos de caliza masiva y con bandas de pedernal de edad Albiano Superior.

CRETÁCICO SUPERIOR

Grupo Washita

Durante el Cenomaniano se depositaron de manera transicional y concordante los sedimentos del Grupo Washita constituido por las Formaciones Del Río, compuesta por lutita y arenisca en estratos delgados, y Buda, representada por caliza arcillosa en estratos delgados. Le sobreyace de manera concordante y transicional la Formación Ojinaga.

Formación Ojinaga

Está formada por una secuencia de lutita fisil con estratos delgados de caliza arcillosa y esporádicas intercalaciones de capas delgadas de arenisca calcárea de grano medio a grueso, es de edad Cenomaniano-Turoniano.

CENOZOICO

PALEÓGENO

Formación El Uno

El proceso erosivo se presenta durante el Paleoceno, como lo demuestra el depósito de arenisca y conglomerado polimíctico denominado informalmente como Formación El Uno.

NEÓGENO

Durante el Mioceno se inicia la etapa distensiva de cuencas y sierras, originando el depósito de forma discordante del conglomerado polimíctico con niveles de arenisca, así como derrames y tobas de composición riolítica cubierta discordantemente por intercalaciones de arenisca y conglomerado polimíctico.

CUATERNARIO

HOLOCENO

Cubriendo discordantemente a las unidades anteriores, afloran los depósitos semiconsolidados y no consolidados del Holoceno, constituidos por conglomerados polimícticos, depósitos lacustres y aluviones de planicie.

3.2 Geología estructural

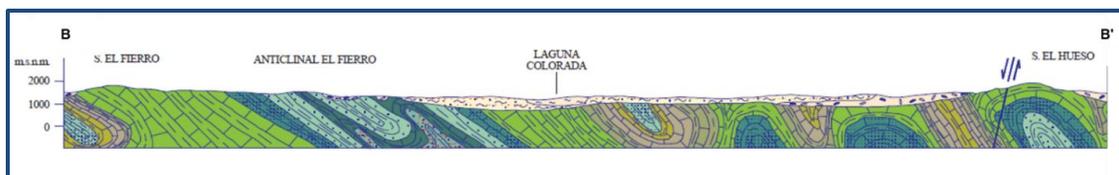
Los eventos tectónicos empiezan a fines del Mesozoico, con el desarrollo de la Orogenia Laramide, provocando una inestabilidad tectónica, lo anterior se refleja como un frente de deformación dúctil-frágil, emersión continental y magmatismo, produciendo un intenso plegamiento, cabalgamiento y fallamiento inverso en las rocas Mesozoicas.

Dentro del acuífero se definieron estructuras del tipo dúctil-frágil, como resultado de la Orogenia Laramide provocando un esfuerzo de máxima compresión que afecta principalmente a las unidades mesozoicas, formando anticlinales, sinclinales y cabalgaduras.

La deformación frágil se origina como resultado del evento distensivo de Sierras y Cuencas y la apertura del rift del Río Grande generando principalmente fallas normales y fosas tectónicas, las cuales se encuentran afectando a rocas Mesozoicas principalmente.

3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la geología superficial y por correlación con acuíferos vecinos, se determina que el acuífero está constituido en su porción superior, por depósitos no consolidados de granulometría variada de origen aluvial y lacustre, los conglomerados polimícticos que rellenan el valle. La porción inferior se extiende una secuencia de calizas, lutitas y areniscas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento (figura 3).



Fuente: Carta Geológico-Minera H13-5 "San Antonio El Bravo". Esc. 1:250,000 (SGM, 2003)

Figura 3. Sección geológica esquemática

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

Las unidades consideradas como permeables actúan como acuíferos o zonas de recarga, las unidades impermeables en cambio, sirven de barrera al flujo del agua subterránea.

De acuerdo con la información geológica, es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo libre a semiconfinado**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por depósitos recientes de granulometría variada, además de conglomerados polimícticos, areniscas y rocas volcánicas. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias fracturadas con permeabilidad de media a alta.

5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Debido a la poca información piezométrica actual e histórica en la superficie que cubre el acuífero y a que se encuentra dispersa en espacio y tiempo; hace imposible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas tradicional. Por lo tanto, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en el área de balance de **2,301.1 km²** del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

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:

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

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 del acuífero:

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

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Los Lamentos están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

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 de balance 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 (2,301.1 km²) por la lámina de precipitación media anual (224.9 mm):

$$\mathbf{V_{LL} = 2,301.1 \text{ km}^2 (0.2249 \text{ m}) = 517.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando el valor medio anual de precipitación de 224.9 mm y temperatura de 17.1 °C.

Coutagne propuso la siguiente expresión para el cálculo de la evapotranspiración real:

COUTAGNE

$$ETR = P - \chi P^2$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración m/año

P = precipitación en m/año

$$\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$$

t = temperatura en °C

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre $1/8X$ y $1/2X$, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que $1/8\lambda$ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que $1/2\lambda$ la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por: $ETR = 0.20 + 0.035 T$. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de 209 mm anuales.

Se optó por la estimación conservadora de la infiltración que se obtiene al tomar en cuenta la lámina de evapotranspiración obtenida con la fórmula de Coutagne, que es de **209 mm anuales**, que representa el 92.9% de evapotranspiración respecto a la lluvia; por lo que el volumen de la ETR (V_{ETR}) es:

$$V_{ETR} = 2,301.1 \text{ km}^2 (0.209 \text{ m}) = 480.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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 del 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, Geografía e Informática, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso 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:

Si K resulta menor o igual que 0.15

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

Si K es mayor que 0.15

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

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 A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pasizal:			
% 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 Los Lamentos, predominan los siguientes tipos de suelo: Litosol, Regosol, Xerosol y Yermosol que se clasifican en tres tipos de suelo: A, B y C (figura 4).

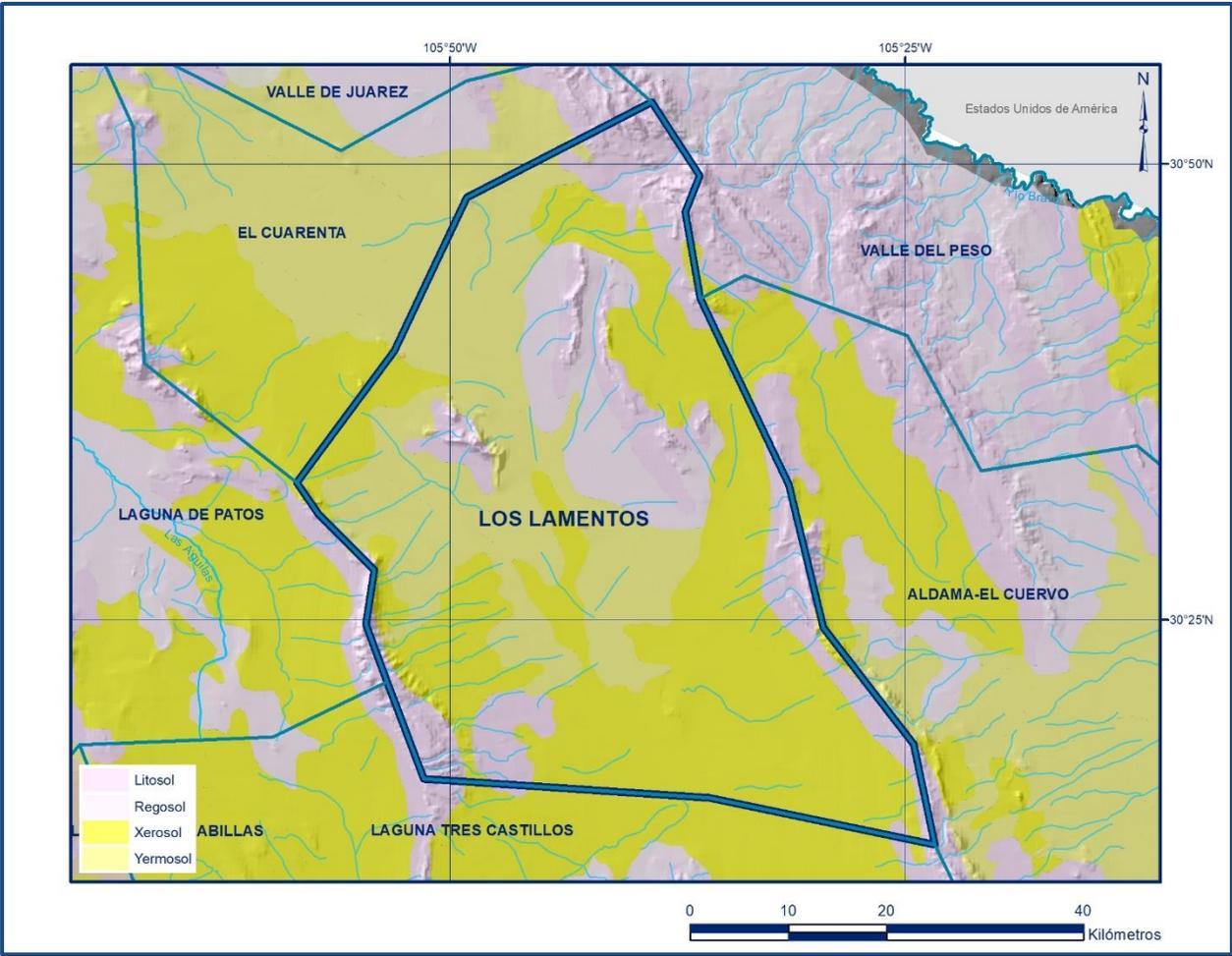


Figura 4. Tipo de suelo

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

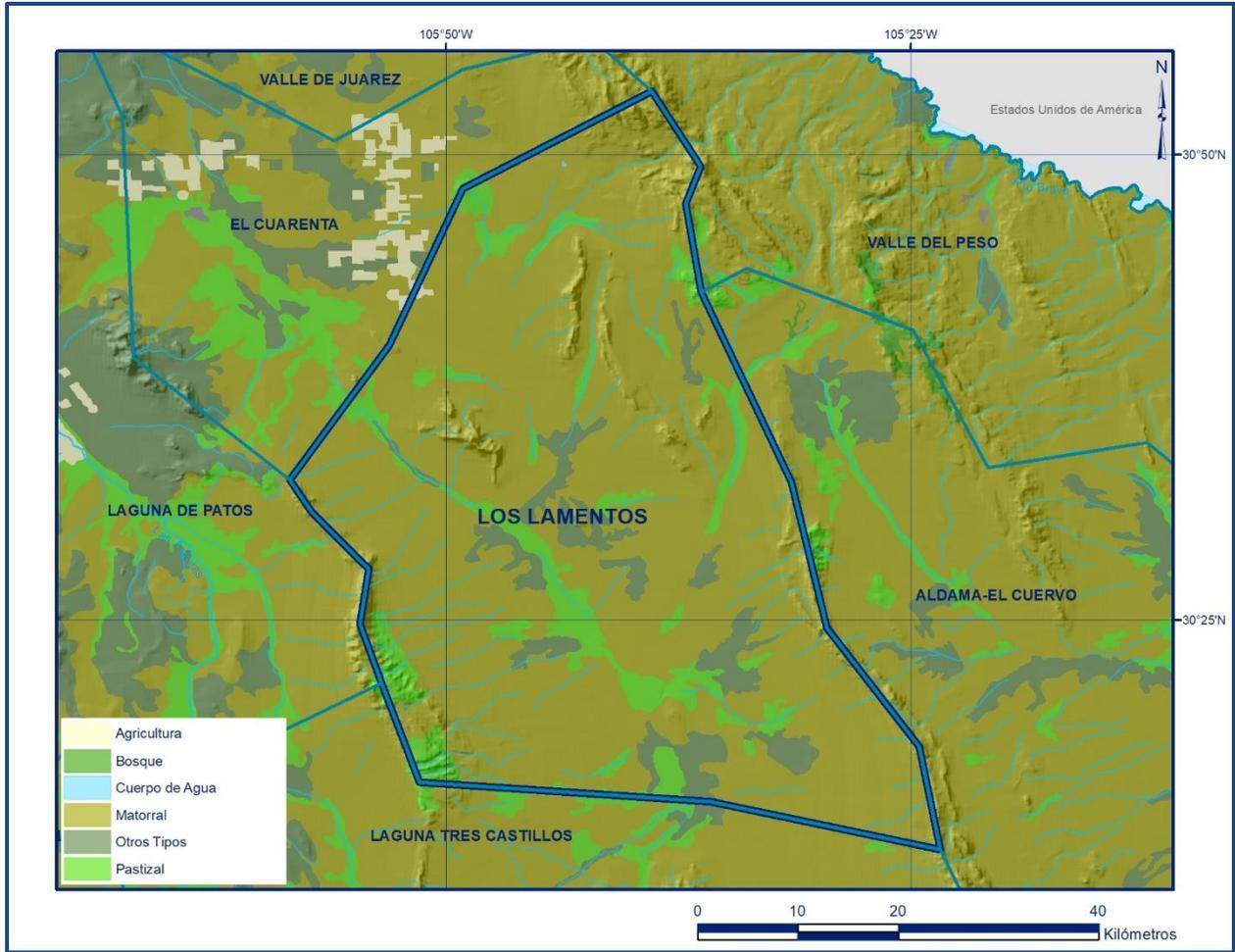


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.22, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

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

$$\mathbf{C_e = 0.044}$$

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

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.044 (517.5 \text{ hm}^3) = 22.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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

$$\begin{aligned}V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2) \\V_{INF} &= 517.5 - 480.9 - 22.8 \\V_{INF} &= 13.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}\end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es 517.5 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0267.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 13.8 hm³/año en la superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 13.8 hm³ anuales**

5.2 Salidas

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

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), Descarga por manantiales (Dm) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración, pero no se cuenta información piezométrica ni hidrométrica para su estimación.

5.2.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), se tiene registrado un volumen de extracción de **2.2 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

5.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

El caudal conjunto que descargan el manantial representan un volumen anual de **Dm = 0.01 hm³ anuales**.

6 DISPONIBILIDAD

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

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

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. Para este caso, su valor es de **13.8 hm³ anuales**, todos ellos son de recarga natural.

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 este caso, su valor es de 0.01 hm³ anuales, que corresponde a la descarga de manantiales. Por lo tanto, **DNC = 0.0 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 (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 **2,222,313 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 13.8 - 0.0 - 2.222313 \\ \text{DMA} &= 11.577687 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **11,577,687 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

7 BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1982. Servicios de Prospección Geohidrológica en el Valle de Los Lamentos, municipios de Praxedi, G. Guerrero y Coyame, estado de Chihuahua. Elaborado por In Geo, S.C.

Servicio Geológico Mexicano, 2003. Carta Geológico-Minera H13-5 "San Antonio El Bravo", escala 1:250,000.