

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO JARAL DE BERRIOS-VILLA DE REYES
(2412), ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	5
3.1 Provincia fisiográfica	5
3.2 Clima	5
3.3 Hidrografía.....	6
3.4 Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA.....	8
5. HIDROGEOLOGÍA.....	9
5.1 Tipo de acuífero.....	9
5.2 Piezometría.....	10
5.3 Comportamiento hidráulico	11
5.3.1 Profundidad al nivel estático.....	11
5.3.3 Evolución del nivel estático	14
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	15
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	15
7.1 Entradas.....	16
7.2 Salidas.....	17
7.3 Cambio de almacenamiento	17
8. DISPONIBILIDAD.....	18
8.1 Recarga total media anual (R)	19
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	19
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	19
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	20

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 Jaral de Berrios-Villa de Reyes, definido con la clave 2412 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro de la República Mexicana cubriendo el extremo norte del estado de Guanajuato, que corresponde al Valle de Jaral de Berrios, y parte del suroeste del estado de San Luis Potosí, correspondiente al área de Villa de Reyes, entre los paralelos 21° 25' y 22° 01' de latitud norte y entre los meridianos 100° 44' y 101° 23' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 2,303 km²(figura 1)..

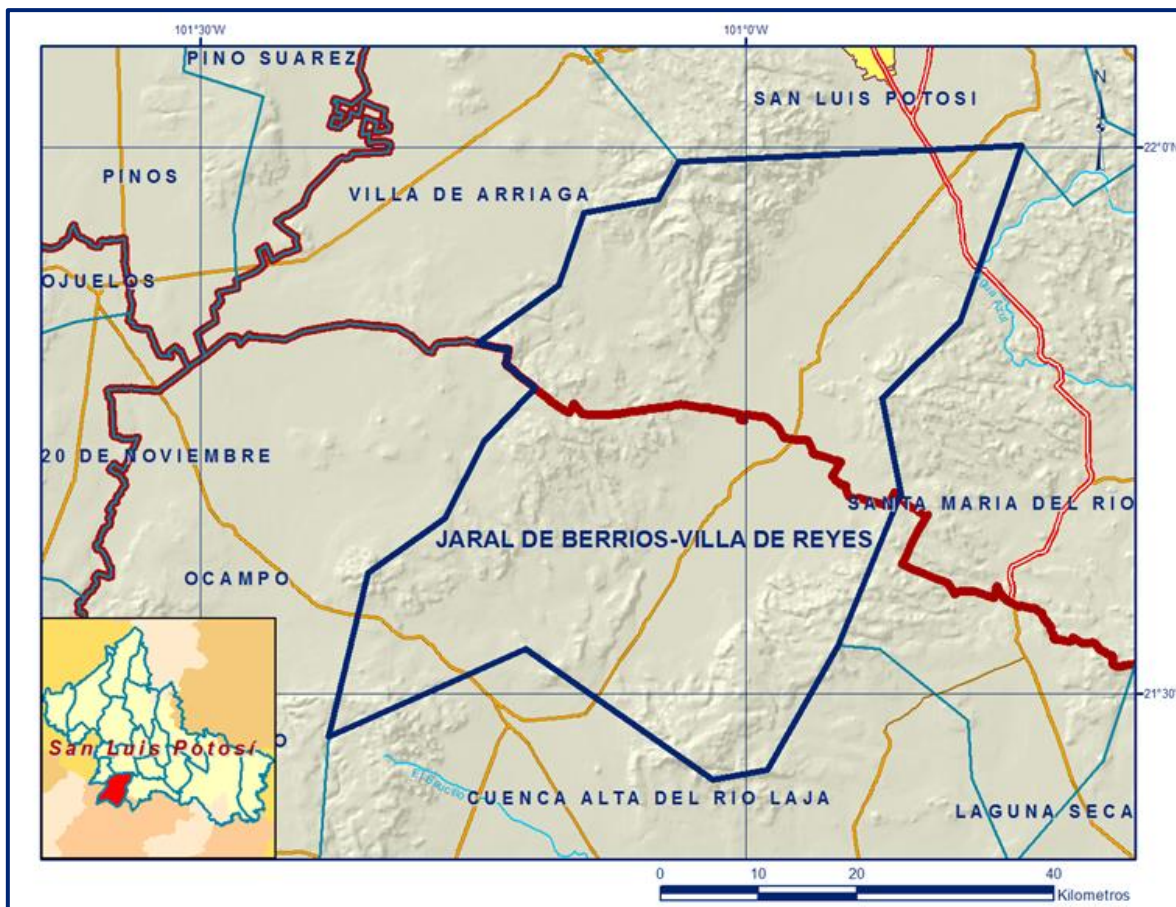


Figura 1. Localización del acuífero.

Limita al noroeste con el acuífero Villa de Arriaga, al norte con San Luis Potosí y al noreste con Santa María del Río, pertenecientes al estado de San Luis Potosí; al sur con el acuífero Cuenca Alta del Río Laja y al suroeste con Ocampo, pertenecientes al estado de Guanajuato. El límite nor-oriental lo define la Sierra de San Miguelito, el límite oriental se define por la Sierra de Santa María y el límite sur por la Sierra de San Felipe – San Diego de la Unión. El eje principal del valle tiene una extensión de 91 km con dirección SW-NE, su eje menor tiene un promedio de 45 km. y una superficie aproximada de 2 370 km².

Los municipios comprendidos en esta área son: San Felipe, Gto. y Villa de Reyes, S.L.P. que se encuentran constituidos por ejidos y rancherías con menos de 15,000 habitantes. Los principales centros de población dentro del área son las ciudades Villa de Reyes y Santa María del Río en San Luis Potosí, y San Bartolo de Berrios, Carretón y Puerto Sandoval en Guanajuato. Las coordenadas que definen el polígono que enmarca la zona de del acuífero se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero.

ACUÍFERO 2412 JARAL DE BERRIOS-VILLA DE REYES							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDO	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	14	42.7	21	49	16.8	
2	101	10	16.3	21	52	26.8	
3	101	8	55.2	21	56	26.4	
4	101	4	50.3	21	57	8.5	
5	101	3	43.3	21	59	13.3	
6	100	44	51.6	22	0	6.5	
7	100	48	13.2	21	50	24.0	
8	100	52	32.3	21	46	14.5	
9	100	51	28.6	21	41	0.2	
10	100	54	56.2	21	32	38.5	
11	100	58	48.7	21	25	48.0	
12	101	1	49.1	21	25	15.7	
13	101	12	8.4	21	32	28.4	
14	101	22	55.8	21	27	38.9	
15	101	20	47.2	21	36	38.6	
16	101	16	33.3	21	39	38.7	
17	101	14	25.6	21	43	49.0	
18	101	11	36.3	21	46	47.8	DEL 18 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	101	14	42.7	21	49	16.8	

La vía de acceso principal es la carretera federal número 57 que comunica a las ciudades de Querétaro y San Luis Potosí, atravesando la ciudad de Santa. María del Río. También se puede citar la carretera federal número 37 que enlaza las ciudades de León, Gto. y San Luis Potosí, S.L.P., que atraviesa la región central del acuífero de Jaral de Berrios. La zona se considera bien comunicada dado que cuenta con diversas carreteras pavimentadas que unen centros urbanos importantes como: Villa de Reyes, Jaral de Berrios, Laguna San Vicente, Emiliano Zapata, Guadalupe, San Bartolo de Berrios, Carretón y Puerto Sandoval. Cuenta también con terracerías y brechas que comunican a las rancherías de la región.

En la ciudad de Villa de Reyes se unen dos vías de ferrocarril que conducen a la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. y que se originan en las ciudades de México y de Dolores, Hidalgo.

En el área de productividad, la región de Jaral de Berrios no cuenta con buenos recursos debido a la alta diseminación de la población y a la baja disponibilidad de agua, lo que implica escasez de áreas de trabajo que da lugar a la baja densidad de población, producto de la migración a las grandes ciudades en busca de mayores oportunidades.

La actividad económica de la zona se basa en actividades agropecuarias, siendo las de mayor importancia la producción de carne de bovino, ovino, caprino, avícola y leche. En el contexto agrícola existe un alto porcentaje de cultivos de temporal, siendo los principales: frijol, maíz y otros.

1.2 Situación administrativa del acuífero

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En 1999 se realizó un Estudio Hidrogeológico y Modelo Matemático del acuífero Jaral de Berrios, Gto., por la Compañía Lesser y Asociados, S. A. de C. V. Ya anteriormente se había realizado un Estudio de Simulación Hidrodinámica y Diseño Optimo de la red de observación de los acuíferos de Celaya, Jaral de Berrios y Pénjamo Huanímaro. Realizado por la Compañía GYMSA, Estudios de Planeación Regional, S.A. de C. V., en 1997.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El área se encuentra comprendida dentro de la provincia fisiográfica Mesa del Centro (INEGI, 1982), y de la subprovincia Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato. La provincia de la Mesa del Centro se sitúa a 1 900 msnm, en promedio, y se encuentra limitada por las dos grandes sierras de México en sus flancos: la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, y por el Cinturón Volcánico Mexicano en el sur. En general presenta sierras dispersas de naturaleza volcánica alternando con amplias llanuras. El área también se localiza en la porción sur de la subprovincia de Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato caracterizada por un terreno moderadamente montañoso, con un amplio valle en la porción central, limitado por dos sierras compuestas por rocas volcánicas del tipo riolitas, tobas riolíticas, latitas, traquitas y basaltos de edades que van del Oligoceno al Mioceno y Plio-Pleistoceno.

3.2 Clima

La zona en general presenta un clima semidesértico a templado, manifestando una variación de acuerdo a la clasificación de Köppen, donde la zona del valle presenta un clima seco, semi-cálido, con lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal mayor de 10.2 mm/año.

En tanto que las elevaciones topográficas que lo circundan se clasifican como de clima seco, templado, con lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm/año. En la zona se puede observar que el estiaje se presenta de noviembre a abril, en tanto que la temporada de lluvias cubre los meses de marzo a octubre, presentando concentración en los meses de junio y septiembre, con máximas en el mes de julio. La precipitación media anual es de 435 mm/año.

En el mes de enero los valores de la temperatura suben un poco más de 10° C, en tanto que en el mes de junio los valores son ligeramente mayores a los 18° C. La temperatura media anual es de 16.4° C, obtenida de medias anuales en el período de 1960 a 1997. Para esta zona se observan promedios mensuales mínimos de evaporación de 1 000 mm que se incrementan hasta cerca de 2 300 mm en abril, disminuyendo gradualmente de abril a diciembre. A partir de las mediciones hechas de 1963 a 1996 se obtiene una evaporación media anual de 1950 mm.

3.3 Hidrografía

El área se encuentra comprendida dentro de la Región Hidrológica 26 (Pánuco), y en la porción suroeste de la cuenca del río Tamuín. El área de Jaral de Berrios se ha definido como una cuenca de tipo exorreico debido a que las aguas superficiales de la zona tienen salida hacia el Río Pánuco, por lo que la zona se considera como subcuenca del mismo.

Las corrientes principales que drenan el área son: el río San Bartolo en la porción de Guanajuato, y el río Altamira, que posteriormente se nombra río Santa María en la porción de San Luis Potosí, ambos con régimen intermitente. El principal eje hidrográfico en la porción que corresponde a Guanajuato lo conforma el río San Bartolo, el cual nace en las estribaciones del cerro Peña Amarilla, continuando hacia la presa Chirimoya, que constituye el aprovechamiento superficial de mayor importancia, y sigue con dirección a la expresa de San Bartolo. Las corrientes secundarias que drenan esta zona son afluentes del río San Bartolo.

En la porción de San Luis Potosí la principal red hidrográfica se encuentra representada por el río Altamira, que corre en dirección noreste y continúa su trayecto hacia Villa de Reyes, en donde cambia su dirección; es en ésta zona donde nace el río Santa María, el cual corre hacia el sureste de la zona hasta salir de ella y convertirse en tributario del Pánuco. El principal aprovechamiento en ésta área lo constituye la presa Santa Ana.

En el área se encuentran varias presas antiguas, aunque la mayoría se encuentran azolvadas. La presa Chirimoya se localiza aproximadamente 4.0 km al poniente del poblado de San Bartolo de Berrios; fue construida entre 1975 y 1977, tiene una capacidad de 5.5 hm³, longitud de cortina de 60 m. y altura de cortina de 42.6 m, regando una superficie de 751 has que benefician a los ejidos de Chirimoya, Santa Rosa, San Bartolo de Berrios y Lequeitio. El caudal del canal principal es de 1 200 lps.

La Presa Santa Ana se encuentra localizada 500 m al poniente de la comunidad de Calderón, San Luis Potosí y por medio de su canal principal con capacidad para conducir 456 lps.

3.4 Geomorfología

Los elementos geomorfológicos principales están definidos por sierras de grandes altitudes y pendientes abruptas, orientadas NE-SW, delimitando un valle para conformar un graben. Estas unidades pueden ser agrupadas y descritas de la siguiente forma:

Valles: los más importantes dentro del área son: Villa de Reyes con una pendiente suave, con elevación máxima de 1 900 msnm y anchura de 15 km, limitado por sierras de topografía abrupta conformada por materiales de composición ácida; y el valle de Jaral de Berrios con una forma angosta y alargada, localizado en la porción sur del área, con una anchura aproximada de 15-20 km y elevación máxima de 1 990 msnm. Ambos se encuentran limitados por la Sierra San Miguelito hacia el noroeste y por rocas ácidas de relieve abrupto hacia el sureste, presentando una orientación preferencial en dirección noreste.

Sierras: estos elementos orográficos forman parte de un sistema montañoso denominado Sistema Montañoso de San Luis Potosí, que inicia en Villa de Reyes y toma diferentes denominaciones según la zona. Los elementos principales son: sierra de San Miguelito hacia el Noroeste del área, cuyas elevaciones máximas alcanzan los 2 800 msnm y se encuentra constituida principalmente por rocas volcánicas de composición ácida (ignimbritas y riolitas); sierra de Santa María, formada por un conjunto de cerros hacia el oriente de Jaral de Berrios y extendiéndose hacia el noreste del área, compuesta por rocas riolíticas con pendientes moderadas de altitud máxima de 2 500 msnm.

El graben se produjo en rocas volcánicas terciarias de composición principalmente riolítica, que afloran en las sierras que limitan al valle y que han sido detectadas también en el subsuelo del valle a profundidades aproximadas de 200 a 300 m.

El valle de Jaral de Berrios se localiza dentro de una estructura geológica de características regionales denominada graben de Jaral-Villa de Reyes. Esta estructura es el resultado de una tectónica distensiva que prevaleció en las postrimerías del Oligoceno, en el sector de la Mesa Central. Se encuentran grandes fallas que dan origen al graben y que presentan una orientación NNE-SSW, reflejándose en el campo como numerosos escarpes en la dirección mencionada. Se encuentran también fallas y fracturas de menores dimensiones que afectan a las rocas volcánicas que afloran en las sierras que circundan al valle

Existe otro graben que se extiende en dirección NW-SE, el cual corta al valle de Jaral a la altura de la presa El Refugio y el poblado de Jaral de Berrios. Las fallas de este graben se continúan en dirección NW rumbo al valle de Bledos, así como al SE del poblado de Melchor. Fallas paralelas a los dos sistemas mencionados se encuentran a dos km al norte de El Saucillo, y a cuatro km al sur de la Laguna San Vicente. Las rocas volcánicas que forman las elevaciones topográficas presentan un gran número de fracturas, encontrándose en mayor proporción en la zona ubicada al oeste de Jaral de Berrios. Este fracturamiento presenta relación con las zonas de permeabilidad de las rocas volcánicas.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

A partir de las propiedades petrofísicas de las rocas que componen la columna estratigráfica del área, se diferenciaron dos secuencias litológicas en función de su porosidad, ya sea primaria (intergranular) o secundaria (por fracturamiento), característica estrechamente relacionada a la génesis de las rocas. De esta manera, en la mayor parte de la secuencia volcánica el movimiento del agua subterránea se efectúa a través de un medio fracturado, en donde la excepción la constituye la fracción de tobas arenosas, materiales que presentan porosidad tanto intergranular como por fracturamiento.

Por otra parte, los materiales de origen sedimentario de facies fluviales presentan características texturales que permiten suponer que la circulación del agua subterránea se manifiesta a través de un medio poroso.

La distribución e interrelación de las diferentes unidades litológicas tipificadas dentro de los medios poroso y fracturado establecen las condiciones del movimiento del agua subterránea dentro del área. De tal forma, la heterogeneidad lateral y vertical de los materiales configuran una serie de cuerpos de geometría lenticular con diferentes porcentajes de porosidad efectiva, y como consecuencia, de permeabilidad.

Asimismo, estas diferencias en la litología dan la pauta para considerar cambios locales del sistema acuífero libre heterogéneo regional, a semiconfinado y confinado. El comportamiento generalizado del sistema acuífero es del tipo libre heterogéneo, en donde existe conductividad hidráulica entre los medios poroso y fracturado.

De acuerdo con la constitución del acuífero puede ser descrito en dos partes definidas en sentido vertical. La parte superior se ubica en una superficie de unos 60 km², localizada en la margen izquierda del Río Altamira.

Es un acuífero colgado, libre y alojado en el relleno aluvial del graben, con un espesor saturado entre 5 y 25 m. Dado que el nivel estático se encuentra entre 0.5 y 6 m de profundidad, la explotación se hace a través de norias y una galería filtrante, mediante tracción manual cuando se trata de usos domésticos y en una menor proporción en forma mecánica, para el riego de pequeñas parcelas destinadas al autoconsumo. La parte inferior del acuífero se encuentra constituida por depósitos aluviales, lacustres, piroclásticos y rocas volcánicas fracturadas, dentro de una fosa tectónica. Los espesores varían entre 200 y 450 m, los niveles piezométricos se encuentran entre 40 y 120 m de profundidad y los caudales extraídos varían entre 15 y 90 lps.

5.2 Piezometría

Con base en los estudios consultados, los datos de los niveles estáticos fueron dosificados en someros y profundos, y se asociaron con las características geológicas en que se ubican éstos, con lo cual se destaca que en las obras someras las aguas subterráneas se asocian principalmente con materiales granulares, pertenecientes a los depósitos aluviales existentes en el valle de Jaral de Berrios. Además, estas obras frecuentemente se encuentran en zonas adyacentes a los principales escurrimientos superficiales de la región, lo que sugiere que estos últimos elementos actúan como factores de recarga.

Las zonas de recarga están representadas por las cadenas montañosas existentes tanto al norponiente como al suroriente del área, mientras que los aprovechamientos distribuidos a lo largo de la zona de descarga se relacionan con el valle de Jaral de Berrios. En los estudios consultados se menciona cierta relación entre los niveles piezométricos más profundos y los derrames de roca volcánica, mismas que se profundizan en la parte central del valle, por lo que el fracturamiento debe ser alto para permitir un flujo profundo, ubicándose en la zona de descarga, por lo que debe corresponder con el sistema de flujo regional.

Es posible inferir que el flujo de agua subterránea presenta una dirección que va de las zonas de recarga hacia la parte central del valle, para posteriormente tomar un rumbo en sentido noreste, presentando zonas con alta explotación que han generado áreas de abatimientos como en la presa San Bartolo, Melchor y Villa de Reyes. Los niveles piezométricos de las obras someras presentan profundidades que van de centímetros a 13 m; los primeros se observan principalmente en las inmediaciones de Puerto Sandoval y áreas cercanas a la Laguna San Vicente.

Los niveles más profundos (mayor a 10 m), se ubican al norponiente del ejido El Zapote, en el poblado de Alberto Carrera, zonas adyacentes a Villa de Reyes, Emiliano Zapata y Pardo. Con respecto a los pozos cuya profundidad es mayor de 200 m generalmente alcanzan materiales ígneos, lo cual permite determinar las características del acuífero que se desarrolla en esos materiales. De acuerdo con la distribución de niveles piezométricos, se observa que en la zona de recarga generalmente el nivel del agua se profundiza con respecto a la profundidad del pozo, en tanto que en las zonas de descarga el nivel estático disminuye sin importar la profundidad del aprovechamiento.

5.3 Comportamiento hidráulico

5.3.1 Profundidad al nivel estático

Los estudios consultados muestran la profundidad al nivel estático representativa de los meses de noviembre y diciembre de 1998 (figura 3), en los cuales se observa que el nivel del agua se encuentra relativamente somero al sur de la Laguna de San Vicente, así como alrededor de la presa El Refugio, donde alcanza 50 m. En el extremo sur de la zona, los aprovechamientos existentes corresponden a un horizonte superficial, donde se registran valores de entre 20 y 40 m de profundidad.

Hacia el centro del valle el nivel se encuentra por lo general a 70 m de profundidad. Profundidades más someras pueden encontrarse hacia la parte central, entre Villa de Reyes y Jaral de Berrios con profundidad entre 50 y 70 m, y profundidades mayores tanto hacia el norte como al sur y hasta los flancos del valle, donde se llegan a registrar hasta 100 m de profundidad al nivel del agua.

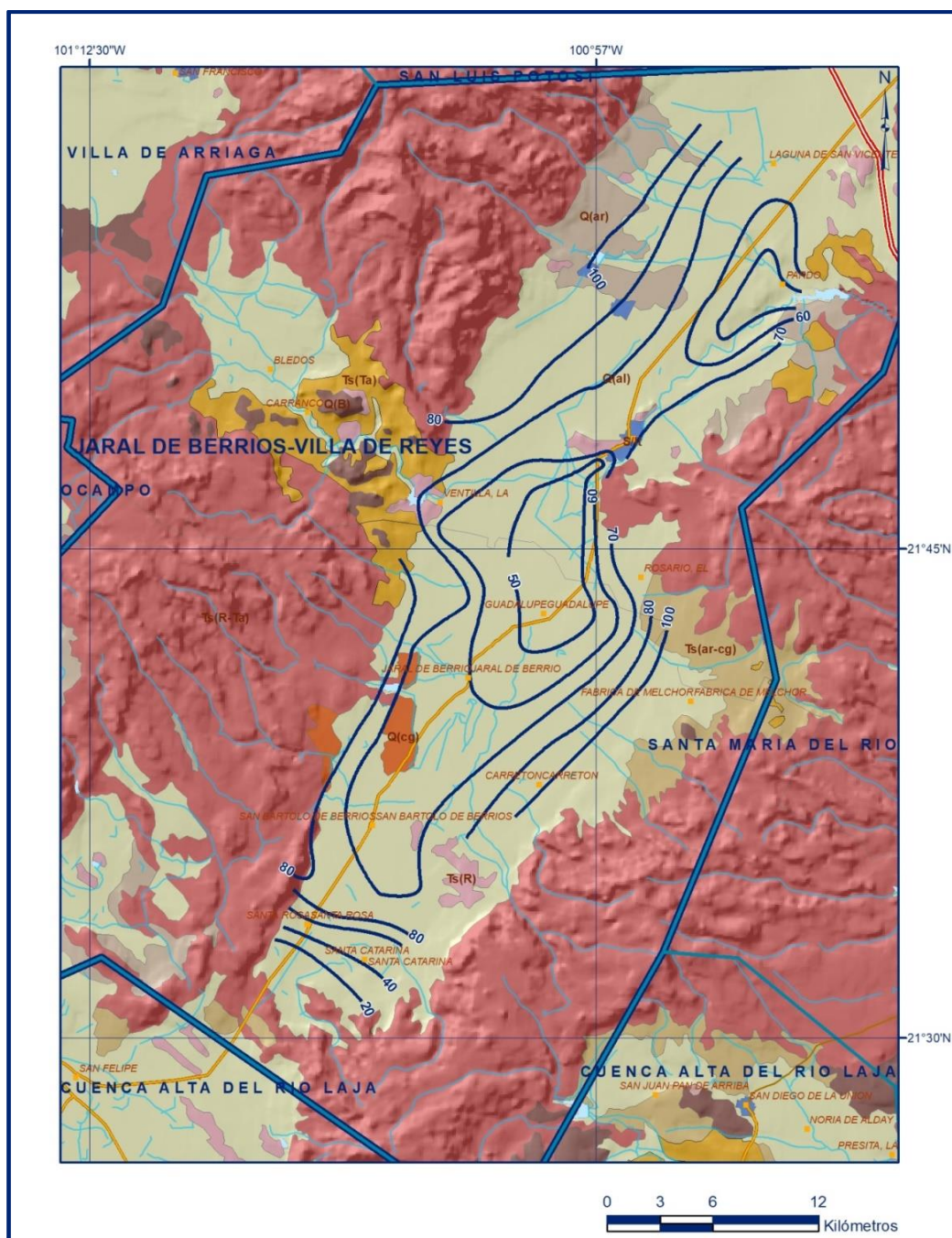


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (1998).

5.3.2 Elevación del nivel estático

Las elevaciones mayores del nivel estático se encuentran al sur del valle con 1 900 msnm, que descienden gradualmente en dirección N-NE hasta el norte de Villa de Reyes, donde se encuentra una depresión piezométrica señalado por la curva 1 740 msnm (figura 4).

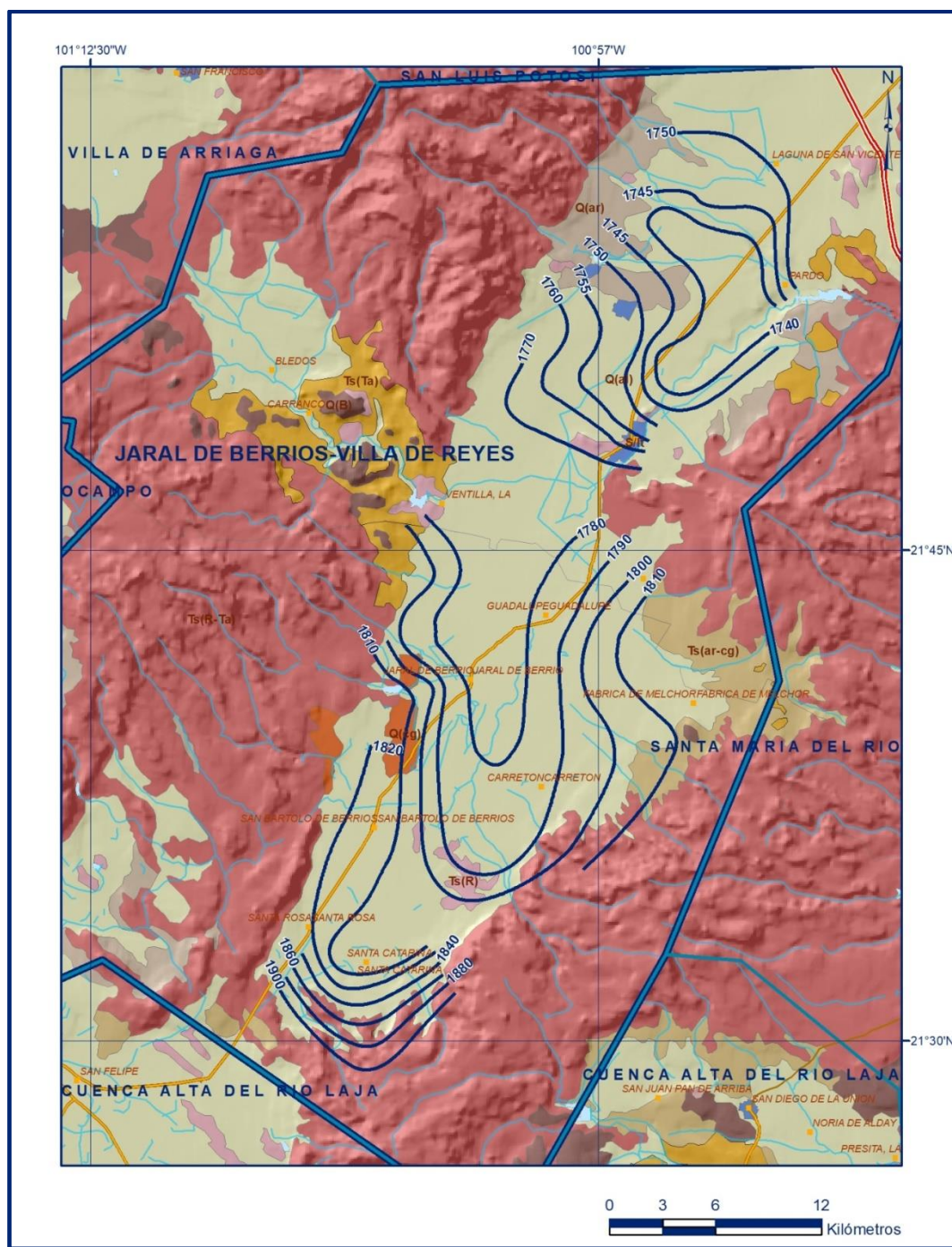


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (1998).

En este mismo análisis se observó que la dirección del flujo subterráneo se establece desde ambos flancos del valle hacia el centro del mismo, y del sur al norte-noreste, para concentrarse en el cono piezométrico ubicado al norte de Villa de Reyes como una unidad acuífera, debido a que no existe salida por flujo subterráneo.

5.3.3 Evolución del nivel estático

Los abatimientos anuales estimados para el período 1986-1995 generan un promedio de 1.4 m, aunque en las cercanías de la central termoeléctrica se presentaron abatimientos de hasta 2.7 m.

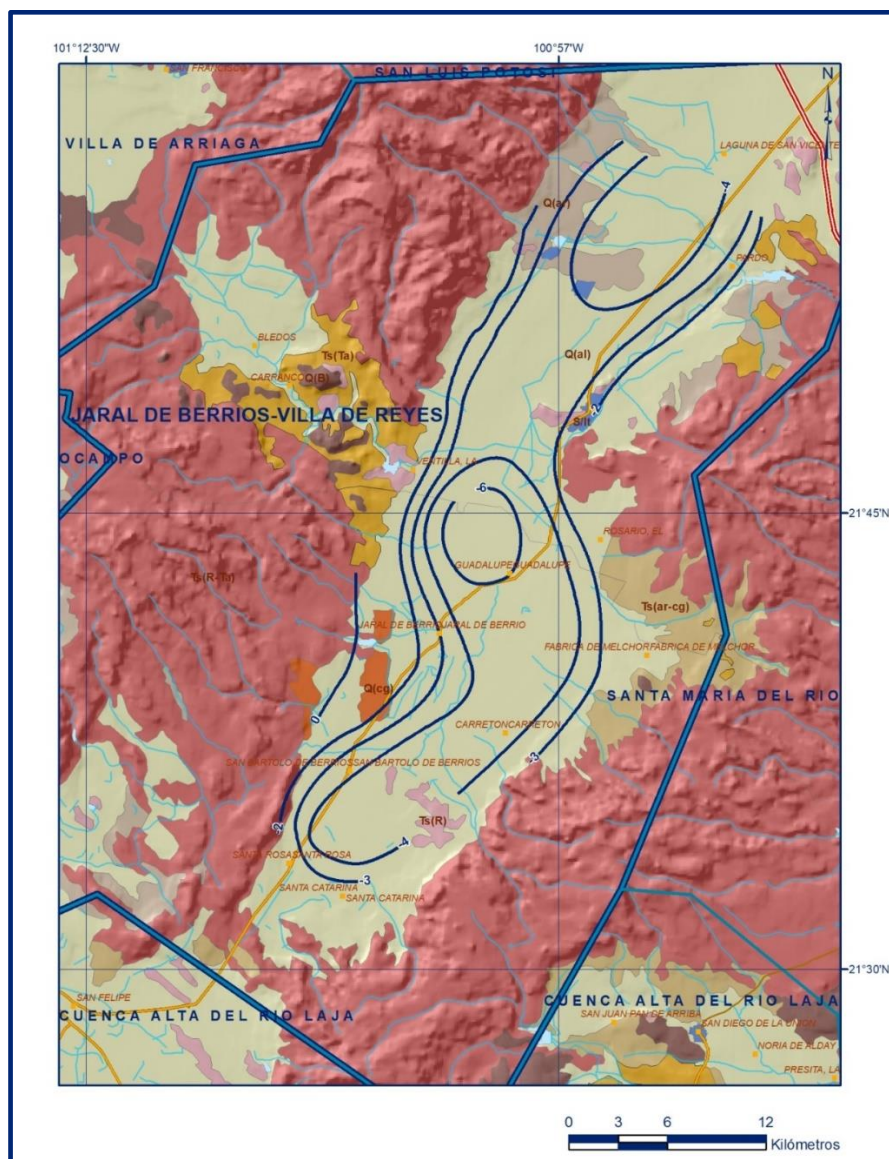


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (1996-1998).

Los descensos en los niveles estáticos son un reflejo de la sobreexplotación a que se encuentra sometido el acuífero, debido a que la extracción sobrepasa a la recarga natural del mismo.

La evolución del nivel estático obtenida para el período 1996-1998 (figura 4), muestra que las mayores evoluciones correspondieron a abatimiento generado al suroeste de la Laguna de San Vicente con 4 m y al suroeste de la Presa El Refugio con 6 m. En general en el valle predomina la curva de evolución de -3 a -4 m, de donde se puede deducir que la media anual fue de -1.5 a -2 m.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Lesser 1999, menciona un total de 637 aprovechamientos de los cuales 417 corresponden a pozos, 207 a norias y 13 de ellos a manantiales. De estos 637 aprovechamientos, 447 se utilizan en la agricultura, 59 se destinan al agua potable de las comunidades, 15 se utilizan en el sector agropecuario, 21 son de uso industrial y 95 se encuentran fuera de uso.

La extracción anual para uso agrícola es de $189.17 \text{ hm}^3/\text{año}$ de los cuales el 60% se localiza en la porción del estado de Guanajuato; el riego agrícola es el principal uso de las aguas del acuífero, ya que utiliza el 81% del agua extraída. El abastecimiento de los centros de población ocupa un volumen anual de 5 hm^3 , que representa aproximadamente el 3% de la extracción total. El uso industrial y de servicios ocupa el segundo lugar en importancia de uso con un volumen extraído de 18.4 hm^3 , siendo utilizado principalmente por la termoeléctrica Villa de Reyes, San Luis Potosí.

Otros usos para el agua extraída incluyen el uso doméstico y para abrevadero, alcanzando un volumen de 0.67 hm^3 .

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó en una superficie que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. 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:

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

7.1 Entradas

La recarga del acuífero proviene principalmente de las infiltraciones en las zonas de riego por exceso de agua de irrigación en los campos de cultivo, de aportes laterales del flujo subterráneo natural, y del agua de lluvia que también contribuye a la recarga; sin embargo, su aporte está limitado por la baja precipitación y alta evaporación regionales. En diferentes partes del valle existen variaciones de la carga hidráulica con la profundidad, lo cual indica la presencia de sistemas de flujo. Pozos muy cercanos perforados a distinta profundidad muestran niveles estáticos que difieren hasta 30 m.

Los datos muestran que la recarga promedio anual del acuífero es de 132.1 hm³/año (millones de metros cúbicos anuales). Las entradas de agua corresponden al flujo subterráneo, así como a la infiltración vertical que puede ser ocasionada por la infiltración de lluvia, flujo regional ascendente o por excedentes de riego. El cálculo del caudal de entrada de agua por flujo subterráneo arroja un total de **85.9 hm³/año** (tabla 2).

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal.

CELDA	LONGITUD B (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	6500	0.0077	0.0070	0.3499	11.03
E2	6500	0.0133	0.0070	0.6065	19.13
E3	11500	0.0045	0.0020	0.1044	3.29
E4	5500	0.0286	0.0050	0.7857	24.78
E5	5000	0.0250	0.0037	0.4625	14.59
E6	5000	0.0083	0.0010	0.0417	1.31
E7	6600	0.0050	0.0010	0.0330	1.04
E8	5000	0.0045	0.0090	0.2025	6.39
E9	4000	0.0077	0.0016	0.0492	1.55
E10	6500	0.0050	0.0010	0.0325	1.02
E11	3300	0.0083	0.0020	0.0550	1.73
TOTAL					85.9

La recarga por infiltración vertical al acuífero es de **17.1 hm³/año** (millones de metros cúbicos anuales), resultado de multiplicar el área de 490 km², por la precipitación de 435 mm, por el coeficiente de infiltración de 0.08.

La recarga natural considerada como la suma de la infiltración del agua de lluvia más el flujo subterráneo proveniente de las zonas montañosas que rodean al valle se ha calculado en **103.0 hm³/año** (millones de metros cúbicos anuales).

Se incluyó como componentes de la recarga inducida a las fugas en las redes de agua potable y de drenaje en las ciudades, las infiltraciones por sobre riego directamente en las parcelas, ya sea por riego mediante pozos como por las aguas residuales. El monto total de la recarga inducida se ha calculado en **29.1 hm³/año** (millones de metros cúbicos anuales). Resultado de multiplicar los 5 hm³/año para uso público-urbano por 0.12 y los 190.0 hm³/año para uso agrícola más otros, por 0.15.

7.2 Salidas

Las salidas del sistema acuífero están integradas por las descargas naturales que en condiciones originales presentaba el sistema, y que aun cuando hayan sido modificadas por las condiciones actuales de explotación pudieran existir, más las descargas artificiales por efecto del bombeo en los pozos.

Considerando que el esquema de flujo subterráneo es de manera concéntrica hacia la parte central del valle, se estima que no existen otras salidas más que la ocasionada por el bombeo.

La extracción de agua subterránea se ha calculado en **213.4 hm³/año** (millones de metros cúbicos anuales), que involucra la extracción en pozos de bombeo captados para diferentes usos.

7.3 Cambio de almacenamiento

Por lo que se refiere al cambio de almacenamiento, éste se dedujo de la evolución que sufrió el acuífero en el período 1996 a 1998.

El cambio de almacenamiento fue negativo en **- 81.3 hm³/año** (millones de metros cúbicos anuales). En la tabla 3 se presentan los resultados del balance de aguas subterráneas.

Tabla 3. Balance de aguas subterráneas.

BALANCE DEL ACUÍFERO JARAL DE BERRIOS - VILLA DE REYES				1998	
Área total del acuífero			km²	2,370	
RECARGA TOTAL					
Recarga natural por lluvia	Área de valle	I ₁	km²	490	
	Coeficiente			0.08	
	Precipitación		mm/año	435.0	
			hm³/año	17.1	
Entradas horizontales			E _h	hm³/año	85.9
Total de recarga natural				hm³/año	103.0
Público Urbano			I ₂		0.12
Recarga inducida P. U.				hm³/año	0.6
Agrícola más otros			I ₃		0.15
Recarga inducida Agrícola + otros				hm³/año	28.5
RECARGA TOTAL			R _t	hm³/año	132.1
DESCARGA TOTAL					
Salidas horizontales			Sh	hm³/año	0.00
Caudal base			Q _{base}	hm³/año	0.00
Evapotranspiración				hm³/año	0.00
637 447 59 21 110	Extracción total			hm³/año	213.4
	Manantiales comprometido			hm³/año	0.0
	Agrícola			hm³/año	189.2
	Público urbano			hm³/año	5.0
	Industrial			hm³/año	18.4
	Otros			hm³/año	0.8
DESCARGA TOTAL				hm³/año	213.4
Cambio de almacenamiento			DA	hm³/año	-81.3
Coeficiente de almacenamiento			S		0.08292
Volumen drenado (2.00 m/año)			V _d	hm³/año	980

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:

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

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

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **132.1 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para este caso, su valor es de **1.3 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **135,080,805 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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 132.1 - 1.3 - 135.080805 \\ \text{DMA} &= -4.280805 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **4,280,805 m³ anuales**.