



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO BUSANI (2609), ESTADO DE SONORA**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES .....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.1 Situación administrativa del acuífero .....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....</b>	<b>5</b>
<b>3. FISIOGRAFIA.....</b>	<b>6</b>
3.1 Provincia fisiográfica.....	6
3.2 Clima.....	6
3.3 Hidrografía .....	7
3.4 Geomorfología.....	9
<b>4. GEOLOGIA.....</b>	<b>11</b>
4.1 Estratigrafía .....	11
4.2. Geología estructural.....	13
4.3 Geología del subsuelo.....	14
<b>5. HIDROGEOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
5.1 Tipo de acuífero.....	16
5.2 Parámetros hidráulicos.....	17
5.3 Piezometría.....	18
5.4 Comportamiento hidráulico .....	18
5.4.1 Profundidad al nivel Estático .....	18
5.4.2 Elevación del nivel estático .....	18
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	18
5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>21</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS .....</b>	<b>22</b>
7.1 Entradas.....	22
7.1.1 Recarga natural .....	22
7.1.2 Recarga inducida.....	22
7.2 Salidas .....	22
7.2.1 Evapotranspiración .....	22
7.2.2 Bombeo.....	22
7.2.3 Flujo subterráneo .....	23
7.3 Cambio de almacenamiento.....	23
<b>8. DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>23</b>
8.1 Recarga total media anual (R).....	24
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	24
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	24
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	25

## **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 Busani, definido con la clave 2609 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, ocupa un área de 1,019 km<sup>2</sup>, incluyendo el área de recarga, la subcuenca a la que pertenece es la del arroyo Busani, la cual colinda al norte con la subcuenca del Río Altar, al sur con la subcuenca del Río Concepción, al oriente con la subcuenca del arroyo El Coyotillo y al poniente con la subcuenca del Río altar y la continuación del Río Concepción (figura 1).

El acuífero Busani se encuentra localizado en la porción noroccidental del Estado de Sonora, esta área queda comprendida dentro de la cuenca del Río Magdalena y subcuenca del arroyo El Busani. Abarca parcialmente los municipios de Nogales, Atil, Altar, Santa Ana, Trincheras, Tubutama y Oquitoa). La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

En este acuífero no se encuentran grandes ciudades; el poblado más importante es el Ocuca y los ejidos San Manuel y La Sangre así como rancherías menores las cuales se distribuyen a lo largo del cauce del arroyo. El número de habitantes en esta cuenca es del orden de las 1000 personas en total.

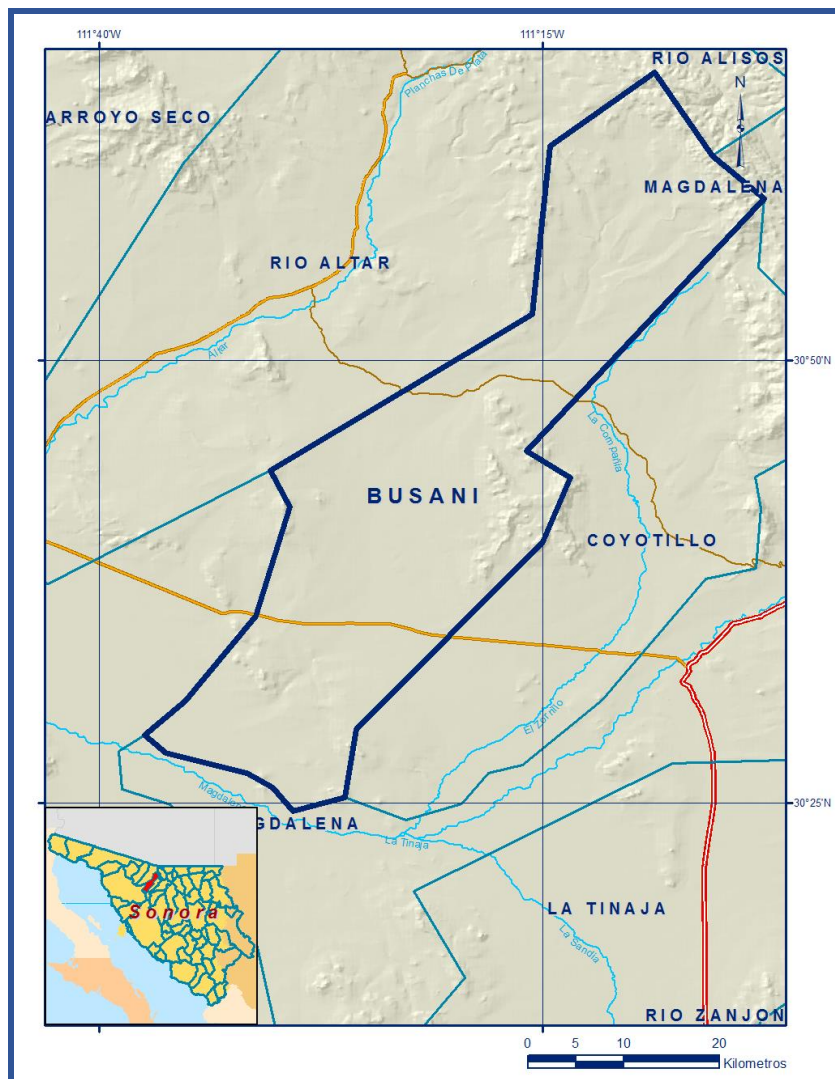


Figura 1. Localización del acuífero

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 2609 BUSANI						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	111	26	10.3	30	25	19.1
2	111	29	5.1	30	24	34.5
3	111	30	11.7	30	25	52.2
4	111	31	40.2	30	26	43.7
5	111	36	14.1	30	27	50.8
6	111	37	26.1	30	28	52.6
7	111	35	8.9	30	30	46.9
8	111	31	10.3	30	35	35.0
9	111	29	14.9	30	41	42.9
10	111	30	20.4	30	43	46.1
11	111	15	35.9	30	52	35.4
12	111	14	35.4	31	2	6.8
13	111	8	42.4	31	6	14.2
14	111	5	28.4	31	1	32.1
15	111	2	32.7	30	59	7.7
16	111	15	54.4	30	44	54.4
17	111	13	26.1	30	43	23.1
18	111	14	59.3	30	39	46.4
19	111	25	29.7	30	29	10.4
1	111	26	10.3	30	25	19.1

### 1.1 Situación administrativa del acuífero

Una parte del acuífero Busani se encuentra dentro de la zona de veda del Distrito de Riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca, publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 5 de agosto de 1968. Esta disposición fue ratificada con la veda del Meridiano 110° 00', decretada el 11 de septiembre de 1978 y publicada en el Diario Oficial de la Federación del 19 de septiembre de 1978 y entró en vigor el 20 de Septiembre de 1978.

Aparte de la disposición oficial señalada en el inciso anterior, no existen declaratorias de reserva o reglamentos internos.

Los usuarios del acuífero Coyotillo son en su mayoría ejidales; encuentran afiliados a Organizaciones Campesinas como la CCI, CNC, etc. La SAGAR, brinda apoyo Técnico agropecuario a estos usuarios en forma permanente a través Centros de apoyo. Por otra parte, la Comisión Nacional del Agua, ha venido sosteniendo reuniones con los

distintos usuarios del agua para la Integración del Consejo de Cuenca el cual forma parte del Consejo del Alto Noroeste.

La zona de este acuífero queda dentro de la jurisdicción del Distrito de Desarrollo Rural No 140.-Magdalena, dependiente de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Estructuralmente, la SAGAR cuenta con la oficina del distrito de Desarrollo Rural con sede en la ciudad de Magdalena, además de Centros de Apoyo Técnico en Santa Ana.

Los usuarios mayores de agua subterránea son los del sector agrícola, seguidos con los del uso pecuario y doméstico.

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

El acuífero Busani pertenece a la subcuenca del arroyo del mismo nombre, la cual queda dentro de la cuenca del Río Magdalena. En esta cuenca se han realizado los siguientes estudios:

**ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA (CONCEPCIÓN), realizado por la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos a través de la empresa Planimex, Ingenieros Consultores, S.A. en el año de 1970,** Este estudio abarcó la cuenca alta de los valles de Magdalena, hasta la costa, enfatizando las actividades en el valle de Caborca.

**CONTINUACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DEL RÍO MAGDALENA DESDE COMAQUITO HASTA EL CLARO, ESTADO DE SONORA, realizado por la Empresa Ingenieros Civiles y Geólogos, S.A., en el año de 1975,** contratado por la misma Dependencia.

**INTERPRETACIÓN DE DATOS Y DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ACTUAL DEL ACUÍFERO EN LA COSTA DE CABORCA, SONORA, AMPLIACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA, Realizado en el año de 1976 por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. para la misma SRH.** Este estudio se enfoca hacia los valles aguas abajo de Trincheras y hasta la zona costera, tomando como base los resultados del Estudio anteriormente citado.

### **3. FISIOGRAFIA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

El área de estudio queda dentro de la Provincia Fisiográfica de la Zona Desértica de Sonora (Manuel Alvarez Jr. 1958). Por su morfología, también puede clasificarse dentro de una subprovincia de sierras y valles paralelos.

Las Sierras están formadas principalmente por rocas metamórficas del Paleozoico y Precámbrico, siguiéndoles en importancia las rocas volcánicas del Mesozoico y Terciario. Sobre estas rocas, se encuentran descansando los sedimentos del Terciario y Cuaternario que colman los actuales valles. Estos sedimentos, están constituidos por boleos, gravas, arenas y arcillas.

La zona tiene como dren principal al arroyo El Busani, el cual es tributario por la margen derecha del Río Magdalena.

La fisiografía de la región puede definirse a grandes rasgos, como un sistema de sierras y valles paralelos labrados y comunicados entre sí por arroyos de régimen torrencial y su colector general, que son los responsables principalmente de haber originado el retroceso hacia los escarpes de las sierras, de las amplias terrazas de erosión expuestas en el área.

#### **3.2 Clima**

El clima imperante en esta región es de tipo semidesértico con un período de lluvias definido entre los meses de Julio a septiembre. Las más altas precipitaciones anuales se presentan entre Magdalena y la Sierra de Santa Rosalía o de La Madera oscilando entre 500 y 600 mm. En el resto del área la precipitación anual varía entre 225 y 500 mm. La temperatura media varía desde 15° C en la cabecera de la cuenca hasta 22° C en el valle de Llano Blanco.

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por E. García en 1964, para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana (cartas de climas, Comisión de Estudios del Territorio Nacional), prevalece un clima seco-templado con verano cálido, muy extremoso, pues su oscilación es de 18° C, con temperatura media anual es de 17.8° C, la más fría de 9° C y la más caliente

de 27° C; su régimen de lluvias es de verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 22% respecto a la media anual, su clasificación es BS, KW (x') 8e'); en su curso inferior, que ocupa la mayor extensión del área de estudio, prevalece un clima más seco, semicálido con invierno fresco, extremoso, su oscilación es de 17.6° C, la temperatura media anual es de 20.2° C, la más fría de 11.5° C y la más caliente de 29.2° C, con régimen de lluvia de Verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 17% respecto a la media anual, su clasificación es BS hw (x') (e'). En la parte baja y sur del área de estudio (Llano Blanco), predomina el clima muy seco o desértico, cálido y extremoso, pues la temperatura oscila en 19.5°, su temperatura media anual es de 20.3° C y la del más frío de 11.3° C y el más caliente de 30.8° C con régimen de lluvia intermedio entre verano e invierno, su clasificación es BWhw (x') (e').

La temperatura media anual del área es de 20.7° C, siendo muy similares a las temperaturas medias anuales, tanto en las zonas montañosas como en la planicie. La temperatura máxima anual en el período de análisis 1966-1976, fue de 22.3° C y correspondió al año de 1968 y la mínima anual fue de 19° C para el año de 1974. La precipitación media anual en la subcuenca del arroyo El Coyotillo, para el período 1966-1976 fue de 333.3 mm. La lluvia mínima anual en el área fue de 162 mm y se presentó en el año de 1974, la máxima anual fue de 474.1 mm y ocurrió en 1967. La evaporación potencial media anual es de 2,328 mm.

### **3.3 Hidrografía**

El acuífero Busani queda comprendido dentro de la Región Hidrológica RH 8- Sonora Norte. De acuerdo con la clasificación hidrológica que se dispone para esta zona, no se tiene información sobre subregiones hidrológicas. El acuífero Busani, se ubica dentro de la cuenca 8D-Río Concepción o Magdalena. Dentro de esta gran cuenca hidrográfica del Río Magdalena se encuentra el Río Magdalena el cual inicia el labrado de su cuenca al Noroeste de Cananea, a una altura de casi 2,000 metros sobre el nivel del mar, por una corriente que desde este punto hasta el poblado de Magdalena, lleva el nombre de Río de los Alisos. De Magdalena a Caborca, la corriente toma el nombre de Río Magdalena; de esta ciudad. Hasta la confluencia con el arroyo El Coyote se conoce como Río Asunción y de este lugar hasta su desembocadura en el Golfo de California, recibe el nombre de Arroyo de la Concepción.



Los límites de la cuenca son: al oriente, la Cuenca del Río Sonora; al sur, la Cuenca del Río Sonora; al sur, la Cuenca del Río San Ignacio y Zanjón; al norte, las Cuencas de los Ríos Santa Cruz, San Pedro y Puertecito, que escurren hacia el territorio de los Estados Unidos de Norteamérica; al noroeste, las cuencas de corrientes poco definidas que descargan directamente al Golfo de California. Políticamente, forman parte de ella los municipios de Imuris, Magdalena, Santa Ana, Trincheras, Altar, Tubutama, Sáric, Banjamín Hill, Pitiquito, Nogales y Atil.

El Río Magdalena ó Concepción, es la corriente más importante de la Región Hidrológica No. 8, ya que drena una superficie de 25,757 kilómetros cuadrados.

La topografía de la cuenca se caracteriza por grandes extensiones de terrenos planos en las zonas medias y bajas. Tiene una altitud media de 700 metros aproximadamente y máxima de 2,530 metros al norte de Cananea.

El río Magdalena nace con el nombre del Río Casa de Piedra (fuera del área de estudio) en el Cerro Vereda, a una altitud de 2,000 metros sobre el nivel del mar 9 kilómetros al sureste de Santa Cruz, en el parteaguas del Río Santa Cruz que escurre hacia los Estados Unidos de Norteamérica. Su cauce sigue un rumbo sureste, recibe por su margen derecha al Arroyo San Antonio, a una altitud de 1,100 metros todavía fuera del área de estudio y cambia su nombre por el de Arroyo Cocóspera.

El arroyo Cocóspera recibe las aportaciones de su primer afluente importante, el Río de los Alisos, inmediatamente aguas debajo de Imuris, por su margen derecha, a una altitud de 840 metros y toma el nombre de Río Los Alisos hasta las inmediaciones de Magdalena, donde el colector general fluye por zonas de topografía más suave y se inician los aprovechamientos de sus escurrimientos.

A partir de Magdalena, el colector general toma el nombre de esta población y continúa con curso suroeste; pasa por la población de Santa Ana, cruza la Carretera Hermosillo-Nogales y aguas abajo, a la altura del Ejido La Tinaja, recibe por su margen derecha al Arroyo Coyotillo y más abajo recibe por la misma margen las aportaciones del Arroyo Busani.

La subcuenca hidrológica a la que pertenece este acuífero es la 8D-5, Río de las Pedradas o Arroyo Busani.

La infraestructura hidroagrícola en esta región consiste de pozos profundos y norias como obras de captación. Los sistemas de riego son del tipo de canales de tierra tradicionales, aunque existen algunos sistemas de riego presurizado y canales revestidos.

### **3.4 Geomorfología**

En términos generales, el área de estudio es alta. La elevación media del angosto valle del río Magdalena, es de 535 metros. Hacia ambos márgenes, las terrazas fluviales y de erosión, aumentan paulatinamente en elevación hasta llegar a una altitud promedio de 700 metros en los escarpes litológicos y estructurales de las sierras que circundan el valle, así como las de las sierras interiores.

La región vista de conjunto, puede calificarse como una subprovincia fisiográfica formada por un sistema de sierras y valles paralelos. Las sierras están compuestas por rocas ígneas intrusivas, volcánicas y metamórficas de edades Precámbricas a Cuaternarias, en tanto que los valles con sus correspondientes formas secundarias, están constituidas por sedimentos clásticos Terciarios y Cuaternarios.

Tal como corresponde a los paisajes de estas zonas áridas, la morfología del área se acentúa bien en cada una de sus unidades orográficas y de formas menores, haciendo resaltar la evolución de los extensos pié de monte a terrazas aluviales y de éstas últimas a cauces fluviales. Estas unidades morfológicas son de una gran importancia en la recepción y transmisión del agua que interviene en el ciclo hidrológico del área; dependiendo de sus características litológicas y del grado de compactación de sus elementos constituyentes, pueden representar áreas de infiltración, almacenamiento, transmisión, retención temporal o solamente de escurrimiento del agua de precipitación. De entre estas características, la correspondiente a la infiltración puede ser evidencia en principio, mediante la observación, medida e interpretación de los diferentes tipos de drenaje superficial del área. La densidad de drenaje por ejemplo, es uno de los parámetros en que se apoya en análisis hidrogeológico y se desprende de uno de los apartados más importantes de la fisiografía.

Dentro de la región, las áreas impermeables ocupan la mayor superficie y están representadas por una alta densidad de drenaje de tipo arborescente o dendrítico,

desarrollado principalmente en las parte altas o de taludes y terrazas de fuerte pendiente; en tanto que hacia las partes planas, la densidad de drenaje disminuye y el arroyo es de tipo ordenado y paralelo. Los arreglos de drenaje mencionados, aportan los escurrimientos superficiales a los colectores principales de la margen derecha del Río Magdalena, como son los Arroyos Búsani, Coyotillo y Río de los Alisos, a través de sus cuencas tributarias. Los arroyos de la margen izquierda del colector general, tienen una importancia secundaria en relación con los de la margen opuesta, evidenciada por los caudales escurridos y los conos de deyección observados, cuyas masas no han alcanzado a ser removidas completamente. Esta capacidad de volumen transportados y fuerza de trabajo de corte y remoción de masa, puede ser puesta para una altura de precipitación pluvial similar, en función del área de captación, siendo la mayor de la margen derecha en 1.5 veces aproximadamente, en relación con la de la margen izquierda.

En resumen, el área estudiada puede calificarse como una provincia fisiográfica de sierras y valles paralelos; ambas unidades morfológicas están orientadas en una dirección sensiblemente norte - sur y con desniveles topográficos entre los valles, que oscilan de 200 a 800 metros.

Las sierras y formas sobresalientes, están constituidas por sedimentos Precámbricos y Paleozoicos, rocas metamórficas del Mesozoico y rocas intrusivas y volcánicas de Cretácico, Terciario y Cuaternario.

Las áreas peneplaneadas, están a su vez formadas por sedimentos clásticos, Terciarios y Cuaternarios.

Los valles aluviales y fluviales, están intercomunicados superficialmente por el Río Magdalena que recoge los escurrimientos superficiales de los mismos. Las diversas etapas de erosión que han prevalecido en el área han devastado las prominencias topográficas y han dado lugar a la formación de unidades construccionales secundarias, que confieren al área un paisaje de juventud tardía.

## **4. GEOLOGIA**

### **4.1 Estratigrafía**

La secuencia estratigráfica de las rocas que afloran en el área, forma una columna geológica, cuya edad comprende desde el Precámbrico Inferior hasta el Reciente (figura 2). A continuación, se describen estas unidades, desde la más antigua a la más joven.

#### **PRECÁMBRICO Y PALEOZOICO**

Agrupadas en las rocas de Edad Precámbrica y Paleozoica, se encuentran: calizas con pedernal, calizas, areniscas, dolomitas y algunas formaciones metasedimentarias del Cámbrico.

Todos los afloramientos de esta unidad, representan remanentes de erosión que aún subsisten a pesar de su antigüedad y al fuerte trabajo de degradación al que se han visto sujetos.

Los afloramientos pertenecientes a esta unidad geológica, quedan distribuidos en toda el área de estudio, ocupando el 50% en lo que respecta a superficie de afloramiento de unidades rocosas, representando por consiguiente en gran proporción, el marco geológico de la cuenca estudiada.

#### **MESOZOICO**

Las rocas correspondientes a la era Mesozoica, tienen dentro del área de estudio, una extensa distribución horizontal. A través de las edades del Triásico, Jurásico y Cretácico, puede observarse una secuencia de rocas intrusivas y metamórficas que corresponden a granitos y granodioríticas, así como a unidades de roca indiferenciadas y emisiones de rocas volcánicas producidas a finales de esta era geológica.

Las rocas intrusivas tienen sus mayores expresiones al sur de Trincheras, formando los Cerros Redondo y Boludo.

Finalmente y como última evidencia de los acontecimientos registrados en esta Era, se localizan las rocas volcánicas emitidas a finales del Cretácico, las cuales siguieron atravesándose durante la Era Cenozoica, a principios del Terciario. Las rocas

expuestas corresponden a materiales volcánicos no diferenciados y derrames lávicos de composición riolítica, andesítica y latítica. Existen otros afloramientos en la porción central y suroccidental de los cuales destacan la Sierra Prieta y Cerros del Arituaba, del Tecolote y Rajón, todos ellos de composición andesítica y latítica.

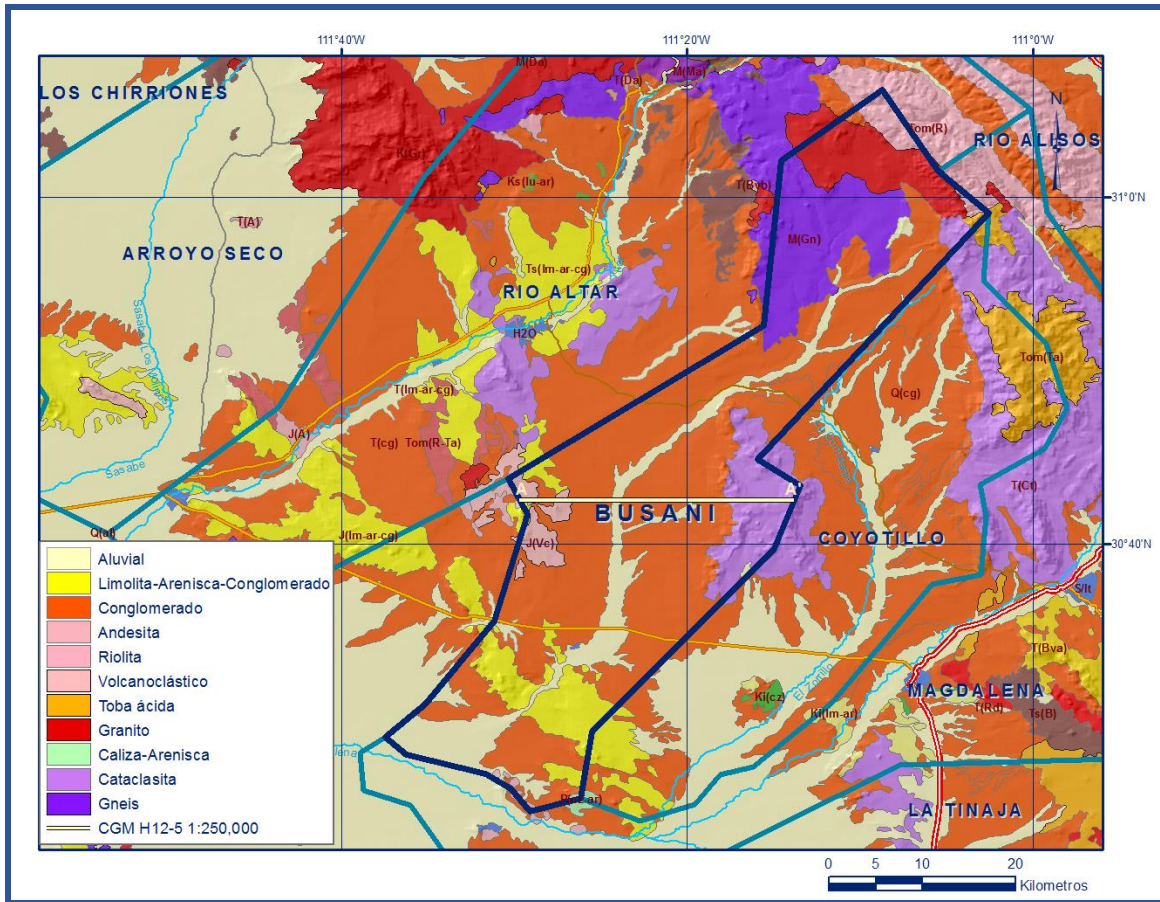


Figura 2. Geología general del acuífero

## CENOZOICO

### TERCIARIO

Las rocas comprendidas dentro de la subcuenca hidrográfica, correspondientes a este período, forman parte de las mismas emisiones registradas a fines del Cretácico, las cuales continúan hasta el Reciente. Las rocas expuestas corresponden a rocas volcánicas, representadas en su mayoría por riolitas, andesitas, latitas y tobas. Estas últimas, en la porción suroeste se encuentran mezcladas con sedimentos fluviales y aluviales del Cuaternario, ocupando los depósitos tobáceos, pié de monte o depósitos de talud y terrazas erosionales y fluviales.

La última evidencia de los acontecimientos ocurridos durante este período, se registra al final del Terciario y principios del Cuaternario, siendo las representantes las emisiones basálticas, las cuales se encuentran distribuidas en los alrededores de la población de Trincheras y al sureste del área en la Sierra del Otate.

## **CUATERNARIO**

Comprendidas dentro del Cuaternario, se encuentran las rocas que ocupan la mayor superficie dentro del área estudiada. Las rocas Cuaternarias están divididas en volcánicas y sedimentarias. En el grupo de las volcánicas, son las emisiones basálticas las representantes de las sedimentarias que, por su distribución y por su naturaleza, representan para el caso del estudio geohidrológico que nos ocupa, la unidad geológica de mayor importancia.

Formadas por arenas, gravas, limos y arcillas, se encuentran distribuidas en tres grandes grupos: depósitos aluviales, fluviales y erosionales. Los depósitos aluviales, ocupan las áreas peneplaneadas o áreas de valle, correspondiendo a los depósitos fluviales, las terrazas excavadas por las corrientes superficiales que descienden hacia la planicie aluvial y a los erosionales, los productos de desintegración física, mecánica y de remoción de masas depositadas en los sedimentos de sierras y cerros aledaños.

Aunque la distribución horizontal de los sedimentos clásticos ocupa la mayor superficie de la subcuenca, solamente en la porción central del área, entre Trincheras y Pitiquito, existen espesores entre 75 y 100 metros de promedio de aluviones en el resto del área, solamente en los pequeños valles labrados por ríos y arroyos, se depositan algunas decenas de metros de estos sedimentos, existiendo en la mayor parte una delgada cubierta de estos materiales aluviales.

La discusión de las características de estos sedimentos aluviales y fluviales, inherentes a su espesor y distribución en el subsuelo, así como sus características físicas que tienen relación con el agua subterránea, se realizará en parte en el inciso correspondiente a geología del subsuelo y el complemento en el capítulo correspondiente a hidrología subterránea.

### **4.2. Geología estructural**

La Cuenca del Río Magdalena, pertenece a la cuenca geológica "Cuenca de Sonora". Esta cuenca geológica está limitada al Este, por la estructura del Gran Geoanticlinal Occidental; al Sur, por el Flanco de Sinaloa y al Occidente por la Fosa de Cortés.

Esta cuenca se caracteriza por la presencia de afloramientos Precámbricos y Paleozoicos, representado por rocas sedimentarias, metasedimentarias e intrusivas.

### **4.3 Geología del subsuelo**

Tomando en cuenta el resultado del levantamiento fotohidrogeológico en combinación con la nomenclatura propuesta en el trabajo denominado "Areal Geology and Petrology of the igneous Rocks of the Santa Ana Region, Northwest Sonora" por G.A. Salas, publicado en el boletín de la sociedad Geológica Mexicana, Vol. 23 No 1 (1968-1970), fue posible identificar formaciones desde el Precámbrico hasta el Reciente. El resultado de esta interpretación se resume como sigue:

Precámbrico.- Las rocas de esta edad están representadas por formaciones metasedimentarias del tipo esquistos, mármol y gneises graníticos con intrusiones graníticas metamorfoseadas y rocas metamórficas del grupo Coyotillo, del tipo filitas, cuarcitas y metaconglomerados intrusionados localmente por diques andesíticos. Debido a su alto grado de metamorfismo, estas rocas se consideran impermeables y compactas.

Cretácico.- Las rocas pertenecientes a esta edad, son de la formación Represo, de facie calcárea, en donde predominan fundamentalmente calizas en estratos gruesos asociados a rocas intrusivas. Le sigue la formación Represo, facie clástica, que contiene principalmente grauvacas, limolitas y lutitas, y por último existe un grupo de andesitas no diferenciadas asociadas con calizas muy recristalizadas con colores rojizos. Todas estas formaciones son totalmente impermeables y únicamente constituyen fronteras al flujo del agua subterránea.

Terciario.- En las rocas de esta edad se identificaron rocas volcánicas no diferenciadas consistentes de andesitas, brechas volcánicas, basaltos y tobas. Otra formación Terciaria es el Conglomerado Rojo que se observa compacto formado por fragmentos de rocas metamórficas y volcánicas cementados en matriz arenosa rojiza y arcillosa. La formación más reciente del Terciario, es la formación Baucarit que está constituida por rellenos aluviales antiguos localmente estratificados formados por gravas, arenas y arcillas parcialmente consolidados. De estas tres formaciones, la de mayor importancia es la formación Baucarit que está representada en la zona como la unidad de mayor extensión y que tiene características de una formación



parcialmente permeable, mientras que las otras dos formaciones se consideran impermeables.

Cuaternario.- Los materiales pertenecientes a esta edad están constituidos principalmente por gravas y arenas producto de la erosión y depósito de la formación Baucarit y de las demás rocas circundantes, habiéndose podido diferenciar los acarreos fluviales recientes de las terrazas fluviales. Estos materiales representan los acuíferos más importantes del valle del Río Magdalena.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las únicas formaciones de importancia son los materiales del Cuaternario, representados por los aluviones y terrazas antes indicadas. Estos materiales descansan a su vez parcialmente sobre los depósitos clásticos de la Formación Baucarit, que es de mucho menor permeabilidad aparente y en algunas partes sobre el relieve sepultado de las rocas más antiguas tanto del Cretácico como del Precámbrico. Esta diferencia de compacidad relativa entre la formación Baucarit y los remanentes de las rocas más antiguas, dio lugar a la división del valle del Río Magdalena en varios tramos separados por estrechamientos constituidos por las formaciones más antiguas que restringen la sección de flujo del agua subterránea en los acuíferos. Esta serie de rocas impermeables ha provocado la separación del valle longitudinal en una serie de tramos perfectamente definidos que funcionan como unidades hidrogeológicas independientes y que se describen a continuación:

Con el objeto de poder definir la delimitación vertical y lateral de los materiales acuíferos recientes se llevó a cabo en el año de 1974 una investigación por medio de 120 sondeos eléctricos verticales de resistividad, que se localizaron sobre 23 secciones transversales al valle del Río Magdalena. Estos sondeos se hicieron empleando el método Schlumberger con tendidos máximos entre los electrodos de corriente de 320 m. Para la interpretación de estos sondeos se emplearon dos criterios fundamentales. El primero correspondió a la interpretación de los tramos entre los umbrales aparentes que se mencionan en el inciso anterior y el otro fue el aplicado para la interpretación de las secciones localizadas en los umbrales. Para el caso de las zonas intermedias de los umbrales se tomó en cuenta un cambio de una resistividad alta hacia una menor, que debe coincidir con el contacto entre el material aluvial y los depósitos del tipo que evidentemente se encuentran más empacados con materiales arcillosos, por lo que su resistividad debe ser menor. En la zona de los umbrales o estrechamientos, el criterio de interpretación fue el de identificar de una



resistividad menor hacia una mayor, o bien infinita, un cambio de acuerdo con la existencia de rocas compactas en la base de los materiales acuíferos aluviales. En ambos casos no se contó con calibraciones y por lo tanto las interpretaciones que se presentaron deben de considerarse como tentativas.

Los espesores de las capas acuíferas en las partes intermedias variaron entre 10 y 30 m aproximadamente, mientras que a la altura de los estrechamientos estos fueron muy reducidos del orden de 5 a 6 m. Las resistividades registradas en las capas acuíferas fueron muy variables desde valores alrededor de 30 ohms-m hasta máximos de alrededor de 400 ohms-m. La resistividad del horizonte más arcilloso, que se interpretó como perteneciente a la Formación Baucarit fue variable entre 7 y 30 ohms-m. En el tramo El Sifón - El Claro los valores de la profundidad de la base acuífera varían de mínimos de 10 m hasta máximos de 30 m, los cuales son correlacionables con el área de El Coyotillo.

## **5. HIDROGEOLOGIA**

### **5.1 Tipo de acuífero**

En toda cuenca hidrológica, el conocimiento de su potencialidad hidráulica es indispensable para planear su desarrollo económico. La evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos con que cuenta una cuenca dada, está basada en medidas directas de la variación en el tiempo y en el espacio de los niveles de agua subterránea. Los datos obtenidos de estas medidas u observaciones, se analizan conjuntamente por guardar una estrecha relación, con la ocurrencia de la lluvia dentro de la cuenca, así como de los volúmenes que han sido tomados artificialmente de los mantos acuíferos.

Dependiendo del tipo de cuenca por cuantificar y de su situación geográfica, pueden hacerse intervenir en el análisis una serie de datos o elementos que complementan el sistema hidráulico de la misma y decidir por tanto el método de investigación: en una cuenca endorréica limitada hidrogeológicamente por rocas impermeables, no se hacen intervenir en el análisis aportes o descargas subterráneas desde o hacia cuencas vecinas y sí en cambio, es muy importante tomar en cuenta la evaporación de cuerpos de agua y la evapotranspiración de niveles freáticos someros; en cuencas situadas en latitudes altas, la altura de las capas de nieve y el estudio del

funcionamiento de los deshielos hacen intervenir un término más en la expresión de igualdades de volúmenes de agua.

Para las cuencas situadas en zonas donde los regímenes de precipitación originan la formación de ríos caudalosos y de escurrimiento permanente, el análisis hidrológico superficial puede ser más importante que el del agua subterránea. En cambio, las cuencas ubicadas en zonas donde la precipitación pluvial es escasa y por ende donde los escurrimientos superficiales son también escasos ó nulos, los recursos hidráulicos de la misma estarán supeditados al volumen de agua subterráneo almacenado y al de su recarga anual.

La cuenca alta del Río Magdalena, se ubica dentro de este última tipo de cuenca, es decir, para su desarrollo económico basado principalmente en la agricultura, depende casi exclusivamente de la explotación del agua subterránea, por lo que la cuantificación de estos recursos es imprescindible, puesto que sirve de base para la planificación correcta de las actividades generadoras de su economía.

La información con que se cuenta sobre el espesor de estos materiales granulares es escasa; algunos pozos de la porción norte del arroyo tienen profundidades menores a 100 metros. A lo largo de la zona del Arroyo El Busani, se pudieron identificar las unidades hidrogeológicas descritas en los capítulos anteriores. De la interpretación y análisis de la información disponible de cortes litológicos, se concluyó que el acuífero en estudio se encuentra contenido principalmente en materiales granulares no consolidados depositados por el Río. Este acuífero funciona como Libre. Debajo de las capas granulares, se encuentran estratos de conglomerados no consolidados que representan la segunda unidad hidrogeológica de interés. Por el contenido arcilloso de estos materiales, el acuífero contenido en estas formaciones funciona localmente como acuífero semiconfinado.

## **5.2 Parámetros hidráulicos**

Con el objeto de complementar el conocimiento de las características de transmisividad y almacenamiento de los acuíferos aluviales del río Magdalena, en el estudio realizado en 1976 por la compañía Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., se efectuaron 4 pruebas de bombeo, obteniéndose los siguientes resultados: La transmisividad varía de 3.2 a  $50.7 \times 10^{-3} \text{ m}^{-2} \times \text{s}$ . El coeficiente de almacenamiento fue de 0.23.

### **5.3 Piezometría**

En este acuífero, existe escasa información piezométrica ya que solamente en la fecha de los estudios se han levantado datos. Posteriormente a estas fechas, la información es aislada y no abarca a todo el acuífero. La más reciente corresponde al año de 1994 en la zona de El Ocuca, que es la parte central del acuífero y en donde se origina la mayor concentración del bombeo.

### **5.4 Comportamiento hidráulico**

#### **5.4.1 Profundidad al nivel Estático**

En el mes de septiembre de 1976, se llevó a cabo un recorrido de piezometría, sondeándose 28 aprovechamientos distribuidos en toda la subcuenca. La profundidad del nivel estático varió entre 15 y 45 m, detectándose los más someros en las partes baja y alta del acuífero y los más profundos en la parte media, en la zona del Ocuca y el ejido La Sangre.

#### **5.4.2 Elevación del nivel estático**

La elevación del nivel estático en el mes de junio de 1976 muestra que la máxima elevación en la parte alta del acuífero es de 600 msnm y la mínima de 550 msnm se dio en la zona sur, hacia la salida aguas abajo del cruce con la carretera Santa Ana Caborca. Con esta pendiente se elaboraron planos con el trazo de la dirección del flujo subterráneo. Este flujo presenta una dirección sensiblemente norte-sur, con una deflexión en la parte media, hacia una zona de concentración de pozos en la región del ejido San Manuel donde se distorsiona la dirección del flujo hacia esa zona de pozos. Aguas debajo de esta zona, la dirección del flujo, sigue la tendencia del curso del Arroyo, es decir, ligeramente noreste-suroeste.

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

Con información piezométrica de los meses de junio y octubre de 1976, se obtuvo la evolución en este período el cual no muestra abatimiento en los niveles, por el contrario, se observan recuperaciones en un rango entre 0.5 y 3.5 m, siendo los más valores más altos en la zona de El Ocuca.

En cambio, con información disponible de elevación del nivel estático de los meses de noviembre de 1974 y junio de 1976, se determinó la evolución en este período. El plano con la configuración de la evolución de niveles muestra una zona con

abatimientos de 2.0 y 3.0 m en la zona de mayor concentración de pozos que corresponde al ejido San Manuel, en El Ocuca y hacia la salida del acuífero.

Lo anterior puede dar idea de la magnitud y sensibilidad del acuífero en las zonas centrales, donde se reflejan abatimientos y recuperaciones marcadamente en los períodos analizados, lo cual puede ser atribuible a la granulometría de los materiales del acuífero y a la incidencia en las áreas de recarga.

Tomando en cuenta que los efectos son cíclicos, es decir, recuperaciones en los períodos lluviosos y descensos en las épocas de riego o de sequías prolongadas, se infiere que el acuífero en lo general se mantiene estable.

#### **5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

La hidrogeoquímica es empleada como un auxiliar de la geohidrología y tiene dos aplicaciones prácticas principales: la primera consiste en ayudar a conocer en forma cualitativa, el funcionamiento de los acuíferos y la segunda en poner de manifiesto la calidad del agua de los mismos.

La composición química del agua, está en relacionada con el funcionamiento general del acuífero, ya que la concentración, tanto de sales totales como de cada elemento, dependen del tipo de material, a través del cual circula; de la permeabilidad y porosidad del medio, del tiempo de contacto entre el agua y las rocas y de la longitud de recorrido, entre otros factores. Es por ello que a partir de su composición, es posible conocer, en forma aproximada, la dirección del flujo subterráneo, la ubicación de las zonas de recarga y en forma cualitativa, algunas características físicas del acuífero.

Por otra parte, con los análisis químicos se puede deducir la calidad del agua para usos agrícolas, ganaderos, agropecuarios, potables, turísticos e industriales.

En el mes de Julio de 1976, el estudio realizado por la empresa TMI recolectó muestras de agua de 13 aprovechamientos de la subcuenca del Arroyo El Busani, habiéndose realizado los análisis con los resultados que a continuación se describen.

Los iones analizados fueron bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Estos se encuentran en concentraciones promedio de 3.48, 0.77 y 0.41 me/l, respectivamente. Con respecto a los cationes calcio, magnesio y sodio, estos tienen concentraciones medias de 2.11,

0.74 y 2.71 me/l. Los iones que predominan son el sodio y el bicarbonato, según se muestra en las relaciones siguientes, formadas a partir de los promedios

$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$

$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$

De lo anterior, se infiere que el agua es de reciente infiltración, dado que las relaciones son similares a las correspondientes al agua de lluvia.

Los sólidos totales disueltos es una medida cualitativa del grado de ataque de las rocas por el agua y sus valores son directamente proporcionales a la conductividad eléctrica del agua. Los sólidos totales disueltos se presentan en concentraciones mínimas de 243, máximas de 640 ppm y en un promedio de 371 ppm. No se tomó en cuenta el valor de 2,150 ppm del pozo 1065 ya que su alta concentración se debe a condiciones locales o a error de muestreo y/o laboratorio, sin embargo, se recomienda verificar esta situación mediante un análisis reciente. De acuerdo con la configuración de isovalores de sólidos totales disueltos, se observa que en la parte norte del acuífero se tienen concentraciones de 400 ppm, los cuales disminuyen hacia la parte baja del acuífero por lo cual se deduce la existencia de una aportación lateral de agua en esa zona. Al sur, la cantidad de sales en solución aumenta a más de 500 ppm, indicando que el agua subterránea continúa disolviendo sales conforme avanza.

Se dedujo a partir de los resultados de los análisis practicados a las muestras de agua de la zona, la calidad del agua para uso potable y para riego, lo cual se comenta en los siguientes párrafos.

Agua potable. Al comparar los resultados de los análisis químicos con las normas de calidad del agua potable, se deduce que ésta era de muy buena calidad y apta para utilizarse como potable, ya los índices analizados están por debajo de las normas establecidas.

Agua para riego. En los resultados de los análisis se reporta la relación de sodio y la conductividad eléctrica, a partir de las cuales se obtuvo la clase de agua para riego, de acuerdo a la clasificación de Wilcox. Las muestras pertenecían a las clases C2-S1 (9 muestras), C3-S1, (3 muestras) y 1 muestra a la clasificación C4-S1. Esta agua es de

muy buena calidad para riego, utilizable en cualquier tipo de terreno, sin peligro de salinización y sodificación del suelo.

En el diagrama triangular se advertía un grupo de aguas que cambiaba de mixta a sódico – bicarbonatada. El agua mixta corresponde al extremo norte de la zona. Esta es agua de reciente infiltración y ratifica la ubicación de la zona de recarga. Aguas abajo el agua se hace sódica – mixta – bicarbonatada, encontrándose este tipo de agua en la parte central del valle.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con información proporcionada por la Unidad del Registro Público de Derechos de Agua, REPDA se tiene un total de 252 aprovechamientos con un volumen concesionado de 15.5 millones de m<sup>3</sup> entre todos los usos, desglosados de la siguiente manera:

Usos	No. Aprov.	Volumen (hm <sup>3</sup> )
Agrícola	56	13.98
Doméstico	15	0.006
Industrial	0	0.0
Múltiples	52	1.35
Pecuario	58	0.07
Público Urbano	71	0.14
Total	252	15.56

Volumen de extracción considerado en el balance

No. Aprov.	Volumen (m <sup>3</sup> )
252	15'560,575.59

## **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS**

### **7.1 Entradas**

#### **7.1.1 Recarga natural**

Del análisis realizado mediante la aplicación de la Ecuación de Balance, se concluye que en el acuífero Busani, se presenta una recarga total de unos 15.5 millones de m<sup>3</sup>. De este volumen, unos 11.3 se consideran como recarga vertical provenientes de la parte alta de la cuenca y en los bordes de laterales además de la infiltración de los escurrimientos superficiales que se efectúan sobre el cauce y llanuras de inundación y 4.2 millones de m<sup>3</sup> corresponden a flujo subterráneo.

#### **7.1.2 Recarga inducida**

Este valor de la recarga inducida está identificado como retornos del riego que se efectúa mediante la aplicación de unos 20 millones de m<sup>3</sup> obtenidos mediante pozos, los cuales se destinan para uso agrícola principalmente. De este volumen, se considera que entre un 25% al 30 % retorna al acuífero producto de los excedentes del riego, de tal manera que al menos unos 5.0 millones de m<sup>3</sup> se consideran como una componente de este tipo de recarga.

### **7.2 Salidas**

#### **7.2.1 Evapotranspiración**

En los análisis para la determinación de los volúmenes de la recarga y descargas, los estudios no tomaron en cuenta los valores de esta componente, probablemente debido a que, en el área de Balance, la vegetación no es muy importante.

#### **7.2.2 Bombeo**

El bombeo es la componente más importante de las salidas del acuífero. En los análisis se consideró un volumen de extracción por pozos de 20 millones de m<sup>3</sup> anuales el cual se destina para usos agrícolas. Este volumen de extracción se cuantificó con 47 captaciones que se identificaron en el año del estudio (1976).

### 7.2.3 Flujo subterráneo

La salida por flujo subterráneo se determinó en 1.0 millones de m<sup>3</sup> que se tiene a la salida del valle siguiendo una dirección hacia la parte oriente del acuífero Caborca.

### 7.3 Cambio de almacenamiento

Considerando un volumen total de extracción de 21 millones de m<sup>3</sup>, y una recarga de 15.5 millones de m<sup>3</sup> anuales, se deduce que 6.5 millones de m<sup>3</sup> anuales se están tomando del almacenamiento, lo que se refleja en el abatimiento en los niveles del acuífero en zona localizadas en la región del Ocuca y en los ejidos San Manuel y La Sangre. Estos abatimientos no se incrementan notablemente en razón de que el funcionamiento de los agrícolas no es regularmente constante. Si la operación de los aprovechamientos fuera constante, el comportamiento de los abatimientos sería igualmente gradual.

## 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:

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

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 **15.5 hm<sup>3</sup>/año**, que corresponde a la suma de la recarga natural más la recarga inducida. I

### **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, se consideran inexistente, por lo que su valor es de **0.0 hm<sup>3</sup> anuales**, **DNC = 0.0 hm<sup>3</sup> anuales**.

### **8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)**

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (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 **18,724,000 m<sup>3</sup> 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 **20 de febrero del 2020**.

#### **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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 15.5 - 0.0 - 18.724000 \\ \text{DMA} &= - 3.224000 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **3,224,000 m<sup>3</sup> anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.