

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero El Palmar (3217), Estado
de Zacatecas***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CDV		REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"					
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE ZACATECAS							
3217	EL PALMAR	69.1	10.1	57.575599	47.9	1.424401	0.000000

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

ACUIFERO 3217 EL PALMAR

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	37	35.6	24	23	36.6	
2	102	38	29.6	24	19	56.3	
3	102	42	17.7	24	14	32.1	
4	102	43	16.2	24	10	3.8	
5	102	40	58.4	24	7	34.0	
6	102	40	48.4	24	5	32.3	
7	102	42	29.3	24	1	52.2	
8	102	41	5.3	23	59	22.5	
9	102	37	30.1	23	58	43.0	
10	102	38	40.9	23	53	31.0	
11	102	37	21.7	23	50	47.2	
12	102	42	37.6	23	47	36.7	
13	102	44	57.5	23	44	16.8	
14	102	45	59.3	23	40	20.5	
15	102	51	59.1	23	35	18.9	
16	102	55	9.9	23	34	43.5	
17	102	57	57.7	23	36	45.6	
18	103	3	26.1	23	37	29.7	
19	103	6	40.2	23	39	13.3	
20	103	11	33.1	23	40	49.7	
21	103	13	13.4	23	38	50.2	
22	103	19	13.4	23	40	54.7	
23	103	22	20.7	23	43	21.9	
24	103	26	28.5	23	47	4.6	
25	103	27	58.7	23	48	19.9	
26	103	30	19.1	23	51	43.1	
27	103	33	51.4	23	53	30.6	
28	103	34	54.4	24	0	32.6	
29	103	39	0.6	23	58	39.8	
30	103	46	11.9	24	4	24.9	DEL 30 AL 31 POR EL LIMITE ESTATAL
31	103	45	27.7	24	4	58.0	DEL 31 AL 32 POR EL LIMITE ESTATAL
32	103	9	57.8	24	26	7.7	DEL 32 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	102	37	35.6	24	23	36.6	



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO VALLE EL PALMAR, ESTADO DE ZACATECAS

DICIEMBRE, 2003

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO EL PALMAR, ESTADO DE ZACATECAS (3217)

CONTENIDO

		Página
1.	GENERALIDADES.....	1
1.1.	Localización.....	1
1.1.1	Coordenadas.....	1
1.1.2	Municipios.....	1
1.1.3	Población.....	1
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	4
2.1	SARH 1977. Prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en el estado de Zacatecas. Contrato GZA-77-18e. Realizado por Consultec, Ingenieros Asociados, S.C.	5
2.2	SARH 1981. Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en la zona el palmar, Zacatecas. Contrato GZA 81-29-ed. Realizado por Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S.A.....	5
2.3	Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Estudio de evaluación de la disponibilidad de agua subterránea en las zonas El Palmar y Saín Alto en el estado de Zacatecas. Contrato sefoa 005/00. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.....	5
3	FISIOGRAFÍA.....	6
3.1	Provincia fisiográfica.....	6
3.2	Clima.....	6
3.2.1	Temperatura media anual.....	6
3.2.2	Precipitación media anual.....	7
3.2.3	Evaporación potencial media anual.....	7
3.3	Hidrografía.....	7
3.3.1	Región hidrológica.....	7
3.3.2	Subregión.....	7
3.3.3	Cuenca.....	7
3.3.4	Subcuenca.....	8
3.3.5	Infraestructura hidráulica.....	9
3.4	Geomorfología.	9
4	GEOLOGÍA.....	9
4.1	Estratigrafía.....	9
4.2	Geología estructural.....	13
4.3	Geología del subsuelo.....	13
5	HIDROGEOLOGÍA.....	15
5.1	Tipo de acuífero.....	15

5.2	Parámetros hidráulicos.....	16
5.3	Piezometría.....	17
5.4	Comportamiento hidráulico.....	17
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	17
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	17
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	18
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	20
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA....	22
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	23
7.1	Entradas.....	23
7.1.1	Recarga natural.....	23
7.1.2	Recarga inducida.....	23
7.1.3	Flujo subterráneo horizontal.....	24
7.2	Salidas	24
7.2.1	Evapotranspiración.....	24
7.2.2	Descarga natural.....	25
7.2.3	Bombeo.	26
7.2.4	Flujo subterráneo horizontal.....	26
7.3	Cambio de almacenamiento.....	26
8	DISPONIBILIDAD.....	27
8.1	Recarga total media anual.....	27
8.2	Descarga natural comprometida.....	27
8.3	Rendimiento permanente.....	27
8.4	Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	27
8.5	Disponibilidad de aguas subterráneas.....	27
9	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	29

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO EL PALMAR, ESTADO DE ZACATECAS (3217)

1 GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

1.1.1 Coordenadas

El acuífero “El Palmar”, quedó designado con la clave 3217 en el documento¹ publicado el 5 de diciembre de 2001 en el Diario Oficial de la Federación. Se localiza en la parte noreste del estado de Zacatecas, como se muestra en la figura 1, cubre una superficie de aproximadamente 7,442 km², delimitados por las coordenadas que se presentan en la Tabla 1.

1.1.2 Municipios

Dentro de los límites del acuífero El Palmar se identifican los municipios de Miguel Auza, Río Grande, General Francisco Murguía, Juan Aldama, y una pequeña parte de Sombrerete y Saín Alto todos ellos del estado de Zacatecas, como se puede observar en la Figura 2.

1.1.3 Población

Entre las principales poblaciones que se localizan dentro de la zona de estudio por municipio se tienen: Municipio de Miguel Auza, Emilio Carranza, Miguel Auza, José María Morelos, Campo Tres B, y Campo Nueve, entre otros; del municipio de Río Grande se pueden citar a La Luz, Río Grande, Ignacio Zaragoza, José María Morelos y Pavón, Las Esperanzas, Progreso, Loreto, El Fuerte, Las Piedras y Tetillas; respecto al municipio General Francisco Murguía se encuentra los poblados Nieves, Santa Rosa y Santa Rita, del municipio Juan Aldama se tiene el poblado de mismo nombre, Ojitos y La Laguna; en el municipio de Sombrerete se encuentran las poblaciones de Gonzáles Ortega, Ignacio Zaragoza, Benito Juárez y Flores García, respecto al municipio de Saín Alto se localiza el poblado de Cañas.

De acuerdo a los datos del censo del año 2000 publicado por el INEGI, en los municipios que más cubren el área de los límites del acuífero El Palmar, existe una población del orden de 123 500, cuya distribución se presenta en la Tabla 2.

¹ DOF. 5 de diciembre de 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

Tabla No. 1 Coordenadas que definen el área que cubre el acuífero “El Palmar”

Vértice	Longitud Oeste			Latitud Norte			Observaciones
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	
1	102	39	50.4	24	22	51.6	
2	102	38	49.2	24	20	52.8	
3	102	38	56.4	24	18	18.0	
4	102	40	22.8	24	14	20.4	
5	102	43	8.4	24	12	7.2	
6	102	45	28.8	24	7	55.2	
7	102	40	44.4	24	4	58.8	
8	102	41	9.6	24	0	3.6	
9	102	37	44.4	23	57	7.2	
10	102	38	42.0	23	53	31.2	
11	102	37	22.8	23	50	45.6	
12	102	39	3.6	23	44	52.8	
13	102	42	46.8	23	43	8.4	
14	102	44	16.8	23	39	18.0	
15	102	49	15.6	23	35	56.4	
16	102	51	28.8	23	37	55.2	
17	103	0	32.4	23	38	60.0	
18	103	4	44.4	23	47	45.6	
19	103	9	18.0	23	44	24.0	
20	103	11	38.4	23	43	26.4	
21	103	15	18.0	23	39	50.4	
22	103	19	55.2	23	40	8.4	
23	103	21	43.2	23	40	55.2	
24	103	25	4.8	23	44	2.4	
25	103	27	57.6	23	48	21.6	
26	103	30	54.0	23	52	15.6	
27	103	33	21.6	23	53	16.8	
28	103	34	55.2	23	59	27.6	
29	103	38	6.0	23	59	16.8	
30	103	46	12.0	24	4	26.4	Del 30 al 31 por el limite estatal
31	103	25	30.0	24	24	46.8	Del 31 al 32 por el limite estatal
32	103	10	44.4	24	25	40.8	Del 32 al 1 por el limite estatal
1	102	39	50.4	24	22	51.6	

Tabla No. 2 Distribución de la población en los municipios identificados dentro de los límites del acuífero el “Palmar”

Municipio	Población
Miguel Auza	21 671
Río Grande	59 330
General Francisco R. Murguía	23 112
Juan Aldama	19 387
TOTAL	123 500

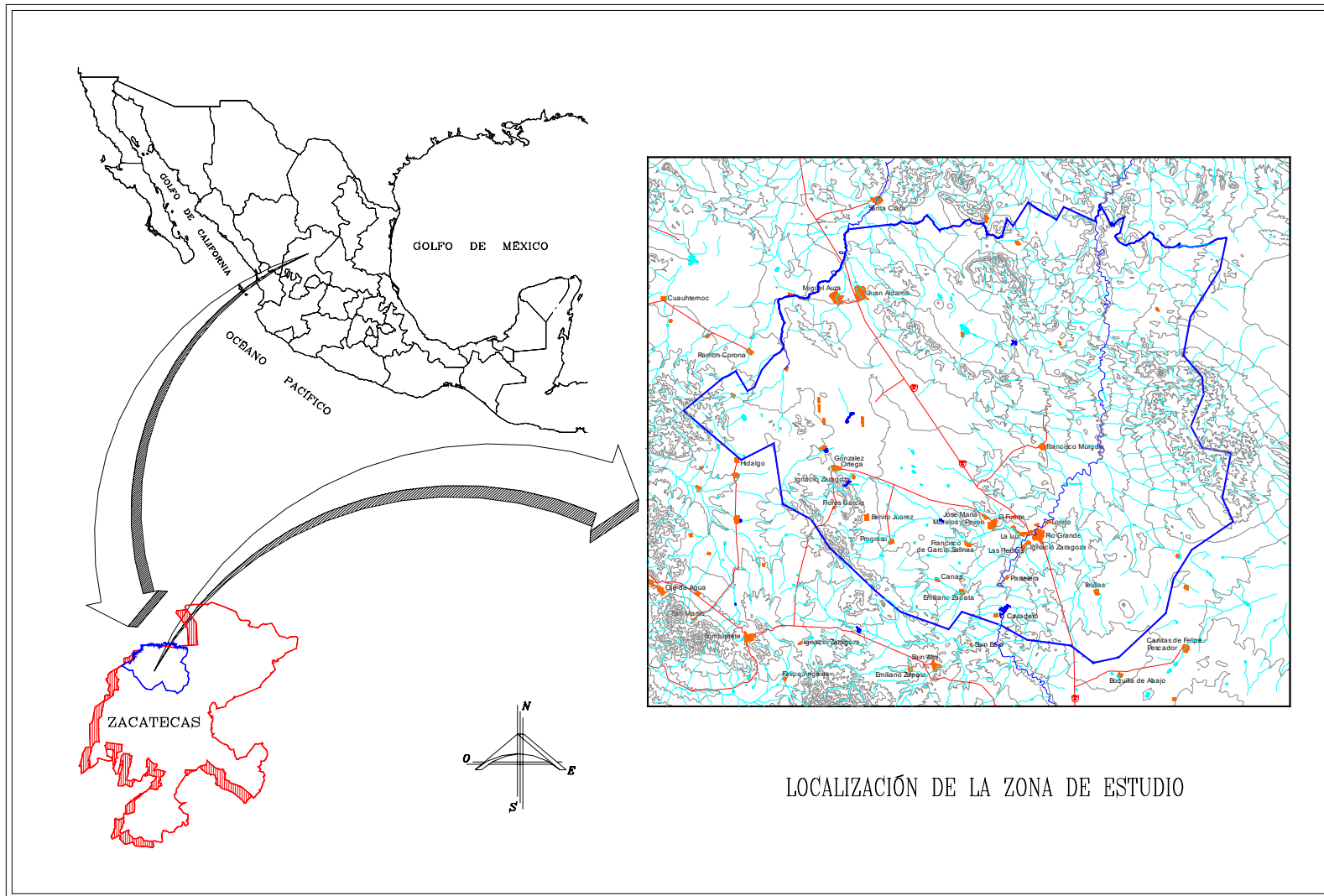


Figura No. 1 Localización del acuífero El Palmar, Zac.

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el periodo comprendido entre la década de los años 70'S y el año 2000, en el área que ocupa el acuífero El Palmar, se han realizado estudios técnicos de carácter hidrogeológico con el fin de caracterizar y entender el sistema acuífero, a continuación se enumeran los estudios disponibles de este acuífero:

2.1 SARH 1977. PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN EL ESTADO DE ZACATECAS. CONTRATO GZA-77-18E. REALIZADO POR CONSULTEC, INGENIEROS ASOCIADOS, S.C.

En el área de estudio se identifican las zonas fisiográficas e hidrogeológicas y se describe su potencial para la explotación de las aguas subterráneas. Se reporta que los acuíferos están constituidos principalmente por formaciones aluviales del Cuaternario y por conglomerados riolíticos del Terciario. Se documenta la existencia de 78 pozos, 35 norias y 4 manantiales, con una capacidad de extracción instalada de 1428 lps y estima una extracción anual de 10 hm³. Finalmente el estudio indica que los resultados de análisis fisicoquímicos en 50 muestras de agua indican que el agua subterránea se puede considerar de buena calidad.

2.2 SARH 1981. SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA EL PALMAR, ZACATECAS. CONTRATO GZA 81-29-ED. REALIZADO POR INVESTIGACIONES TÉCNICAS DEL SUBSUELO, S.A.

Con la realización de 83 sondeos eléctricos verticales (profundidad = 1000 m) integrados en 8 perfiles se identificaron 3 unidades geoelectricas: 1) relacionada con capas superficiales y asociada a material aluviales de espesores de 40 a 50 m, 2) de resistividades variables asociadas a rellenos de origen sedimentario (arcillas, conglomerados) donde se desarrollan las aguas subterráneas y 3) relacionada con las formaciones profundas constituida por materiales impermeables. Este estudio reporta la existencia de pozos productores con caudales entre 15 y 45 lps.

2.3 SECRETARÍA DE FOMENTO AGROPECUARIO 2000. ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS ZONAS EL PALMAR Y SAÍN ALTO EN EL ESTADO DE ZACATECAS. CONTRATO SEFOA 005/00. REALIZADO POR CONSULTORES EN AGUA SUBTERRÁNEA S.A.

Se identificó que las unidades permeables que constituyen el acuífero en el Palmar son el aluvión y el conglomerado del Cuaternario y en menor proporción el conglomerado del Terciario. Así mismo se definió que las rocas volcánicas fracturadas cuando se encuentran bajo el nivel de saturación también forman parte del acuífero y cuando están por encima del mismo actúan como medios de recarga. Mediante la realización de pruebas de bombeo se definió que los valores de transmisividades del acuífero varían del orden de 2 y 9488 m²/día y el de las permeabilidades entre 0.015 m/día y 52.00 m/día. La profundidad de la superficie

freática varía entre 0 y 120 m. El estudio concluye que existe disponibilidad y que las condiciones hidrogeológicas son favorables para incrementar la extracción de agua subterránea a través de pozos

3 FISIOGRAFÍA

3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA

El acuífero El palmar se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica Mesa del Centro y ocupa la subprovincia Sierras y Llanuras del Norte⁽²⁾.

La Subprovincia Sierras y Llanuras del Norte incluyen los municipios de Juan Aldama y Miguel Auza; y partes de los de General Francisco Murguía, Río Grande, Sain Alto y Sombrerete. Las calizas de origen marino constituyen el material dominante en las sierras de la subprovincia.

En el extremo este domina la sierra de Guadalupe de las Corrientes, extensa sierra sin orientación definida que alcanza más de 2,500 msnm. Su amplia bajada se inicia a 2,100 msnm y desciende hasta un llano de piso rocoso a 1,750 msnm. Por el norte se localiza la Sierra Yerbabuena y por el Suroeste el Cordón El Pajarito; por el oeste se ubica la sierra Santa María.

3.2 CLIMA

De acuerdo a la información del Atlas Nacional del medio Físico⁽³⁾, en el área que cubre el acuífero El Palmar el clima predominante, según la clasificación de Köppen y modificado por Enriqueta García, es del Grupo de climas secos, con un subtipo de clima BS₀hw secos semicálidos en la parte oriental de la zona de estudio y que básicamente cubre una franja aproximada de 12 km sobre el río Aguanaval, entre la colonia Francisco I. Madero y San Francisco, al poniente de esta franja predomina un clima del subtipo BS₀kw secos templados, cubriendo una franja limitada aproximadamente entre los meridianos 103° 00 y 103° 07'; hacia la parte poniente de la zona de estudio donde prácticamente se abarca los municipios de Juan Aldama, Miguel Auza y una pequeña parte del área noroeste del municipio Río Grande el clima es del subtipo BS₁kw semiseco templado. Estos climas presentan lluvias de verano y % de precipitación invernal entre 5 y 10.2, además hacia la parte sur de la zona de estudio en la región comprendida al este del Cordón El Pajarito y al sur de la población de Río Grande el clima BS₁kw presenta una condición de canícula.

² Carta fisiográfica esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

³ Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

3.2.1 Temperatura media anual

De acuerdo a la carta de temperaturas medias anuales⁽⁴⁾ en la zona de estudio la temperatura varía entre 16 ° C y 18° C.

3.2.2 Precipitación media anual

Las precipitaciones promedios anuales⁽⁵⁾ en la zona de estudio están comprendidas básicamente entre los 300 a 500 mm, excepto en la parte suroeste donde se registran precipitaciones del orden de los 500 – 600 mm. De acuerdo a lo anterior se estima que el valor promedio de la precipitación en el área es del orden de 400 mm/año.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

Los datos reportados en el estudio del 2000 ⁽⁶⁾ indican que la evaporación potencial anual, en la zona de estudio, asciende a 1997.4 mm.

3.3 HIDROGRAFÍA

3.3.1 Región hidrológica

El estado de Zacatecas queda comprendido en las Regiones Hidrológicas que se indican a continuación: RH 11 Ríos Presidio-San Pedro, ocupa una porción mínima del orden del 4 % de la superficie del estado en la parte oeste; RH 12 Lerma-Santiago con aproximadamente el 33 % de la superficie en la porción sur y suroeste del estado; RH 36 Ríos Nazas-Aguanaval con una extensión del orden del 23 % en la parte norte y noreste del estado; RH 37 El Salado en la porción noreste, centro este y sureste de Zacatecas ocupa aproximadamente 40 % de la superficie del estado de Zacatecas.

El acuífero El Palmar se ubica dentro de la región hidrológica No. 36 (RH 36) Nazas – Aguanaval en la cuenca del Río Aguanaval.

La Región Hidrológica Nazas–Aguanaval constituye una amplia zona cerrada, localizada en la mesa del norte de la República Mexicana, abarca como se señaló anteriormente una parte del estado de Zacatecas.

⁴ Carta de temperaturas medias anuales esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

⁵ Carta de Precipitación total anual esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

⁶ Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Estudio de evaluación de la disponibilidad de agua subterránea en las zonas Sain Alto y Sain Alto en el Estado de Zacatecas. Contrato SEFOA 005/00. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.

3.3.2 Subregión

No se tiene una subdivisión por subregión.

3.3.3 Cuenca

El acuífero El Palmar se encuentra emplazado en un área que comprende a la cuenca del río Aguanaval.

El río Aguanaval tiene su origen a 70 km al este de Zacatecas, Zac., en un sitio conocido como Cerro Frailes, de 2600 msnm que puede considerarse como nacimiento del río Chico y por tanto del Aguanaval. La dirección general de esta corriente es sensiblemente de sur a norte y a 32 km aguas debajo de su origen recibe un afluente llamado arroyo El Arenal. Desde el principio, la corriente se encuentra aprovechada, ya que existe sobre ella una presa de almacenamiento llamada Santa Rosa. El río pasa por Agua Zarca y Guadalupe de Trujillo, etc. y llega hasta Agua Zarca de los Martínez, donde recibe una aportación por la izquierda de importancia constituida por el río de Los Lazos, el cual nace sobre la sierra Chalchihuites, en el cerro Corrales a 2600 msnm a unos 30 km al sur de Sombrerete su rumbo es de NW-SE, sobre él y antes de su confluencia con el río Chico, se construyó la presa de almacenamiento Leobardo Reynoso.

La unión del río Chico y del río Los Lazos da lugar a la formación del río Trujillo que corre originalmente en dirección NE y después con dirección norte hasta Saín Alto, donde cambia de rumbo hacia el NW hasta un sitio llamado Santa Mónica, donde recibe una aportación por la izquierda, constituida por el río Saín Alto.

Propiamente la unión de los ríos Saín Alto y Trujillo es la que determina la formación del río Aguanaval, ya que es partir de su confluencia donde el colector general empieza a recibir este nombre. El Aguanaval principia su recorrido con una presa de almacenamiento que queda por decirlo así en su propio origen, que se llama El Cazadero, situada en los límites de los municipios de Saín Alto y Río Grande, Zac., donde también se encuentra un límite del acuífero en estudio.

El promedio anual de los escurrimientos sobre el río Aguanaval y registrados por la estación de San Francisco en el periodo 1976 – 1994 ascienden a un volumen de $91\,421.6 \times 10^3 \text{ m}^3$ ⁽⁷⁾.

3.3.4 Subcuencas

Entre los tributarios más importantes del río Aguanaval son: El río Santa Clara al cual confluyen diversos ríos de la parte poniente de la zona de estudio y donde un afluente de este río atraviesa por San Miguel Auza, este río sale del área de estudio por su parte noroeste, para integrarse posteriormente al Río Aguanaval; otro río que se encuentra dentro del área que cubre al acuífero El Palmar es el río Zaragoza, que

⁷ Op. Cit. Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Estudio de evaluación...

recolecta aguas de la parte suroeste de la zona de estudio, este río se integra al río Aguanaval en las cercanías del poblado de Río Grande; existen otros ríos en la zona norte del área de estudio que contribuyen con sus aguas al Aguanaval tanto por su margen izquierda como por su margen derecha como se observa en la figura 2

3.3.5 Infraestructura hidráulica

Dentro del área donde se localiza el acuífero El Palmar existe una presa de importancia denominada El Cazadero, la cual queda dentro del municipio de Sain Alto y tiene una capacidad total del orden de 30.9 millones de m³ que se utiliza principalmente para riego dentro del municipio de Río Grande.

En cuanto a pozos que se localizan en el área de estudio en el inciso correspondiente a censo de aprovechamientos subterráneos se indican algunos aspectos de los mismos, los cuales seguramente se complementan con canales de riego y obras afines.

3.4 GEOMORFOLOGÍA

Entre las geoformas características de la región donde se ubica el área de estudio destacan las sierras formadas por rocas sedimentarias que en este caso son calizas, lutitas y areniscas de origen marino, las que presentan formas plegadas como en el caso de la sierra Guadalupe.

Regionalmente algunas sierras además de plegamiento de origen tectónico, fueron afectadas por intrusivos, para tomar formas dómicas, como es el caso de la sierra de Los Lobos en el área de Miguel Auza. La actividad volcánica propició la formación de conos volcánicos y coladas basálticas onduladas con visible intenso grado de fracturamiento.

En el área de estudio, las lutitas y areniscas desarrollan un drenaje de tipo dentrítico, con enrejado denso, controlado por la disposición que guardan los estratos y fracturas.

Otra geoforma característica del área de estudio son las mesetas formadas por rocas extrusivas ácidas, que se encuentran afectadas por la acción erosiva de arroyos. Así mismo se observan valles y lomeríos bajos que se formaron al rellenar las cuenca que se originaron por esfuerzos tectónicos.

Dentro del área de estudio se observan valles y lomeríos bajos que se formaron al rellenar las cuencas que se originaron por esfuerzos tectónicos.

De acuerdo al grado de integración de drenaje y la extensión de los valles, geomorfológicamente se puede decir que la zona de estudio se encuentra en una etapa de madurez temprana.

4 GEOLOGÍA

4.1 ESTRATIGRAFÍA

La columna litológica del área de estudio está formada por rocas volcánicas y sedimentarias de edades que varían desde el Cretácico hasta el Cuaternario. A continuación se describe la columna litológica de la zona de estudio, desde la más antigua hasta la más reciente:

Cretácico:

En este periodo, el área de estudio está caracterizada por la presencia de rocas de origen sedimentario:

- a) Unidad de Calizas del Cretácico Inferior: Esta unidad está constituida de rocas sedimentarias marinas depositadas en facies de plataforma que se relaciona con las formaciones Taraises, Cupido, Peña y Cuesta del Cura; Esta unidad aflora en algunas partes de la zona oriente como en la sierra Guadalupe. Está constituida por calizas de color gris oscuro con bandas de pedernal con estratificaciones de lutitas y calizas arcillosas.
- b) Unidad de Calizas y Lutitas del Cretácico Superior: Esta unidad está constituida por una secuencia sedimentaria marina de calizas y lutitas de facies de plataforma que se correlaciona con la Formación Indidura. Las rocas más comunes de esta unidad son calizas arcillosas intercaladas con lutitas calcáreas y limonitas, uno de sus afloramientos más visibles están fuera del área de estudio y cercana al poblado de Sombrerete. Un estrato plegado de la formación Indidura se aprecia a una distancia de aproximadamente 15 km al sur de la ciudad de Río Grande.
- c) Unidad de Lutitas y Areniscas del Cretácico Superior: Esta unidad está constituida por una secuencia rítmica de lutitas y areniscas de origen marino, depositadas en facies de aguas poco profundas que se correlaciona con la Formación Caracol. Esta unidad aflora ampliamente en el área de estudio principalmente en la zona oriente, como al suroeste de Francisco Murgía y entre los poblados de El Rosario y El Ojito, y algunas zonas localizadas al norte de Miguel Auza y Juan Aldama.

Debido a que estas rocas tienen una permeabilidad muy baja y se encuentran subyaciendo a los sedimentos permeables de relleno y a las rocas volcánicas fracturadas a esta unidad se le considera el basamento hidrogeológico en el área de estudio.

Terciario

El periodo Terciario, en el área de estudio, se manifiesta por la presencia de rocas de origen sedimentario y rocas ígneas extrusivas e intrusivas.

Las rocas sedimentarias en la región están constituidas principalmente por conglomerados de diferente grado de compacidad, que le confieren características hidrogeológicas variables.

Rocas sedimentarias:

- a) Conglomerado del Terciario Inferior: Esta unidad está constituida por clastos angulosos y subredondeados de caliza, caliza silicificada, pedernal, cuarzo, arenisca, riolita y toba vítrea en una matriz arcillosa cementados con material calcáreo y silíceo, lo que determina su alto grado de compacidad, lo que hace que sea una unidad poco permeable. Esta unidad se correlaciona con la Formación Ahuichila del Eoceno-Oligoceno. Esta unidad aflora poco dentro del área de estudio, como en un área localizada al poniente de las faldas de la sierra Guadalupe.
- b) Areniscas y Conglomerado del Terciario Superior: Esta unidad está constituida por una alternancia de areniscas y conglomerados. El conglomerado está formado por clastos de cuarzo y fragmentos de rocas volcánicas y calizas en una matriz arcillo-arenosa con cementante calcáreo. El grado de compactación es alto por lo que la unidad es poco permeable. Esta unidad aflora en algunos sitios ubicados al noreste del área de estudio, como en las cercanías de los poblados de San Francisco, San José de Morteros y San Buenaventura.
- c) Conglomerado del Terciario Superior: Esta unidad está constituida de conglomerados olimícticos y polimícticos que se componen de fragmentos de calizas, pedernal, areniscas, riolitas y tobas en una matriz areno-arcillosa y cementada con material calcáreo. Esta unidad se correlaciona con la formación Opal del Terciario Superior. Esta formación aunque aflora ampliamente en la zona que cubre el área del acuífero El Palmar, llega a cubrir rocas sedimentarias cretácicas localizadas dentro de los límites del acuífero en estudio.

Rocas ígneas:

En el periodo Terciario, la actividad volcánica propició la distribución de rocas ígneas de composición ácida (tobas, brechas volcánicas, riolitas, etc.). Asimismo, en este mismo periodo se da lugar la intrusión de rocas ígneas intrusivas ácidas como granito y granodiorita.

- a) Toba ácida y Brecha Volcánica ácida: Constituida por una alternancia irregular de tobas ácidas arenosas y brechas volcánicas ácidas. Este tipo de rocas son, en general, muy compactas y se caracterizan por presentar diverso grado de fracturamiento. Subyace a los derrames de riolita, su edad corresponde al Oligoceno-Mioceno. Esta unidad aflora en la zona de El Pedernal y José María Morelos y Pavón principalmente.
- b) Toba ácida: Unidad constituida por tobas riolíticas y tobas riódacíticas. Esta unidad aflora ampliamente en el área de estudio.

- c) Granito: Unidad ígnea que intrusión a las rocas calizas del Cretácico Inferior. Se correlaciona con las rocas batolíticas de edad terciaria emplazadas a causa de una migración de un arco magmático de principio del Terciario. Esta roca con porosidad primaria y escasa porosidad secundaria es considerada sin posibilidad de almacenar o transmitir volúmenes apreciables de agua, es decir, puede servir como barreras hidrogeológicas. Esta roca aflora básicamente fuera de la zona de estudio, hacia el límite norte de la misma y en las cercanías del poblado de San José de Reyes.
- d) Granodiorita: Unidad de origen plutónico, intrusión a calizas del Cretácico Inferior, también a las areniscas y lutitas del Cretácico Superior. Estas rocas se consideran impermeables y por tanto su funcionamiento en el acuífero es como barrera. Esta roca llega a aflorar fuera de la zona de estudio hacia el límite noreste y cercanías del poblado de Agua Nueva.
- e) Basaltos: Unidad constituida por basalto de piroxenos, su estructura es compacta, con frecuencia vesicular y en ocasiones forma bloques. Cubre a riolitas y tobas ácidas del Oligoceno-Mioceno. Sus afloramientos dentro de la zona de estudio se pueden observar en la zona norte, entre los más importantes se localizan en las localidades de la sierra Yerbabuena.

Cuaternario

Además de la depositación de rocas sedimentarias, a inicios del Cuaternario continuo la actividad volcánica, que dio origen a los derrames lávicos basálticos que han sido fuertemente erosionadas por acción hídrica.

Rocas sedimentarias:

- a) Conglomerado del Cuaternario: Esta unidad está constituida de conglomerados de ambiente continental, formados por clastos subangulosos a subredondeados de caliza y pedernal, así como de basalto y riolita en una matriz areno-arcillosa y cementada con material calcáreo. La unidad es de estructura masiva su grado de compactación es de semicompacto a semisuelto. Presenta buenas propiedades geohidrológicas para constituirse como acuíferos. Los espesores de esta unidad llegan a ser del orden de 200 m. La unidad se encuentra en discordancia sobre rocas sedimentarias cretácicas y rocas volcánicas del Terciario. Concordantemente esta cubriendo a conglomerados del Terciario Superior. Su distribución es amplia en el área de estudio.
- a) Arenisca del Cuaternario: Esta unidad está constituida por areniscas en capas de unos 5 cm de espesor poco cementada con algunos lentes de caliche. La unidad sobreyace a conglomerado, aflora aproximadamente a 5 km al este de los poblados de Los Márquez y La Florida, Municipio de Río Grande.
- c) Aluvión del Cuaternario: Esta unidad está constituida por arcillas, limos, arenas y gravas, en facies lacustres de poca profundidad que se forman en las partes bajas de las cuencas endorreicas. Son producto de la erosión de las rocas del entorno. Su distribución es amplia y se encuentran rellenando valles

intermontanos. Su amplia distribución y granulometría permiten que se valoren a esta unidad junto al conglomerado del Cuaternario como las más importantes en ocurrencia y explotación de aguas subterráneas.

Rocas ígneas:

- a) Brecha volcánica básica: Formada por fragmentos y bloques de basalto el cual presenta textura piroclástica. Básicamente no aflora en el área de estudio.
- b) Basalto: Su textura a menudo es vesicular, en ocasiones tiene juntas columnares y disyunciones en bloques. Estratigráficamente cubre a rocas sedimentarias del Cretácico superior, así como rocas volcánicas ácidas de edad Oligoceno-Mioceno. Se le ubica en algunos afloramientos localizados en la parte este y noreste de la zona de estudio.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

A fines del Cretácico y principios del Terciario⁽⁸⁾, los intensos movimientos tectónicos de la Revolución Laramide hicieron emerger el área en gran parte de lo que ahora es el territorio Mexicano y que se encontraba cubierto por mares.

Las estructuras asociadas a las rocas cretácicas, producto de esfuerzos asociados a la Orogenia Laramide presentan una serie de pliegues que forman anticlinales y sinclinales en las sierras compuestas preferentemente de rocas calizas.

Existen dos orientaciones preferenciales de los ejes estructurales, una con dirección noroeste-sureste, que según algunos autores es el resultado de “plis de fond” de las unidades de basamento. La otra orientación es este-oeste que es el resultado de “plis de cobertura” según otros autores.

Se observan fallas de tipo normal y fracturas con orientación predominante noroeste-sureste.

En las rocas post-cretácicas es característica la formación de fallas y fracturas.

4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

Mediante la integración de los resultados de los trabajos⁽⁹⁾ previos de prospección geológica y geofísica se cuentan con 10 perfiles, que permitieron identificar las siguientes unidades geoelectricas del área de estudio:

⁸ Op. Cit Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.

⁹ Op. Cit Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.

a) La zona superficial con resistividades entre 5 y 1299 ohm/m y asociada a material aluvial de variada granulometría de espesores entre 10 y 50 m. Esta zona se subdivide en 2 subzonas: a.1) la que presentan saturación parcial (resistividad entre 5 y 140 ohm /m) y a.2) la que presenta saturación nula o baja (resistividades entre 31 y 1299 ohm /m).

b) La zona permeable que constituye el acuífero con resistividades entre 5 y 514 ohm/m y asociada con sedimentos granulares no consolidados de materiales aluviales y conglomerados del cuaternario y con rocas volcánicas fracturadas; esta zona se subdivide en tres subzonas:

b.1) La que tiene una permeabilidad baja (granulometría fina con resistividades entre 5 y 31 ohm/m), se presenta poco en el área del acuífero particularmente hacia el centro del valle, sus espesores varían entre 1 y 100 m, con una tendencia promedio del orden de 60 m.

b.2) Es la zona más permeable que se identifica con los materiales poco consolidados de aluvión del cuaternario, conglomerado del terciario, y rocas volcánicas fracturadas (resistividades entre 8 y 107 ohm/m), se encuentra básicamente en toda el área que cubre el acuífero, sus espesores son de importancia y se puede decir que estos son del orden de 200 a 450 m en promedio, a excepción de algunos sitios donde se observan valores entre algunos cuantos metros y en otros lugares valores superiores a 450 m.

b.3) Representa la parte más consolidada de los rellenos aluviales y conglomerados del Cuaternario y Terciario respectivamente y rocas ígneas de escaso fracturamiento (resistividades entre 23 y 514 ohm/m), su presencia dentro del área no es muy extensa, a excepción de la parte central del valle donde su distribución es amplia, las áreas que presentan este tipo de material tienen espesores variables, desde unos cuantos metros hasta 400 m, estos últimos localizados hacia en el centro del valle, a excepción de este sitio, su espesor promedio se puede considerar entre 50 y 200 m.

c) La base impermeable del acuífero con resistividades entre 4 y 562 ohm/m y asociada con rocas sedimentarias poco permeables del Cretácico y Terciario, y con las rocas volcánicas muy compactas e impermeables. Estas rocas se considera que forman el basamento del acuífero; las profundidades donde se detectan, desde la superficie del terreno son variables, pero en términos generales se puede considerar que hacia el valle estas fluctúan entre 250 y 400 m, excepto hacia su porción sur donde los valores decrecen, de igual manera, las profundidades del basamento son someras en las áreas circundantes al sur de las poblaciones de José Balderas García Pedro Zúñiga, Colonia General J. González Ortega, y hacia la Colonia Ignacio Zaragoza, asimismo, se detectan profundidades someras del basamento en el área oeste y cercana a los límites de la zona de estudio, e inmediaciones de las poblaciones de Colonia Hidalgo, Delicias López Velarde y Juan Salas Fernández.

De acuerdo a la información existente del área de estudio, se dispone de información de tres secciones geológicas, las cuales se describen a continuación:

Sección A-A': Parte de esta sección queda fuera del área de estudio, se construyó con orientación norte-sur a lo largo de 100 km a través del valle. Se inicia (km 0) cerca de San Antonio de la Laguna y finaliza (km 100) en el Bajío de las Pelusas. A lo largo de la sección se identifica que: a) el límite hidrogeológico está a 5 km del inicio de la sección; b) el mayor espesor del material de relleno (100-200 m) se logra en una longitud de unos 30 km (entre el km 20 y el 50), existiendo otros espesores de importancia en un desarrollo del orden de 10 km (entre km 50 y 60).

Sección B-B': Se construyó con una orientación suroeste-noreste a través del valle y cubre una longitud de 41.4 km. En esta sección se aprecia el dominio de las rocas volcánicas ácidas del Terciario y la ocurrencia del material de relleno tiene espesores limitados.

Sección C-C': Se construyó con orientación oeste – este (transversal a la sección 1) a lo largo de unos 65.5 km, partiendo del poblado de la Colonia Hidalgo y terminando en las cercanías de la Ciudad de Río Grande. El espesor del material de relleno es mayor en el inicio de la sección (oeste) donde la profundidad del basamento hidrogeológico es de unos 250 m. En cambio, hacia el final de la sección, donde predominan rocas volcánicas la profundidad de este basamento es de unos 20 m. Se identifica una falla normal a unos 20 km del inicio de la sección (cerca del poblado de Gonzáles Ortega)

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 TIPO DE ACUÍFERO

El acuífero El Palmar se desarrolla preferentemente en un paquete de depósitos sedimentarios no consolidado de buena permeabilidad (medio granular) y espesor que en ocasiones se encuentra interdigitado por rocas volcánicas fracturadas (medio fracturado). Este acuífero es del tipo libre en su mayor parte aunque en algunas partes se comporta como confinado por derrames lávicos impermeables intercalados con el material acuífero.

El medio granular está constituido por arenas, gravas y boleos del Cuaternario y Terciario que varían de no consolidados a poco consolidados que conforman el acuífero en explotación y que se asocian a las siguientes unidades descritas en la estratigrafía:

- Aluvión del Cuaternario
- Conglomerado del Cuaternario
- Conglomerado del Terciario

La permeabilidad de este medio es función principalmente de la distribución granulométrica de las unidades y del grado de compactación de las mismas.

En este medio se concentran la mayor parte de los aprovechamientos de agua subterránea.

El medio fracturado está formado por rocas volcánicas consolidadas del Terciario y Cuaternario cuyas permeabilidades son muy heterogéneas al estar asociada al grado de fracturamiento. Este medio se asocia a las siguientes unidades descritas en la estratigrafía:

- Riolita y toba ácida con espesores variables, que en algunas zona mayores de 100 m
- Toba ácida – brecha volcánica con espesores no definidos
- Basalto con espesores no mayores a 50 m

Pocos aprovechamientos se encuentran perforados en el medio fracturado y los que existen se encuentran generalmente en las proximidades donde se presenta el contacto con el medio granular.

Las elevaciones que limitan al valle son de material cuya porosidad es debida al fracturamiento; estas unidades aunque permeables no lo son tanto como las que constituyen el relleno del valle, sin embargo, a pesar de las diferencias entre estos dos medios, las elevaciones no se consideran fronteras impermeables, manifestándose una recarga al medio granular a través de éstas.

5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

La permeabilidad⁽¹⁰⁾ en el medio granular es función de la distribución granulométrica de las unidades y del grado de compactación de las mismas. En términos generales los depósitos cuaternarios de aluvión y conglomerado presentan valores de permeabilidad altos, con menores valores de permeabilidad en el conglomerado del Terciario, por la condición de depósito en estratos más o menos horizontales, aunado con los procesos de compactación, estas unidades se consideran anisótropas, siendo la conductividad hidráulica horizontal mayor que la vertical.

En el medio fracturado la permeabilidad esta en función de su fracturamiento y la distribución espacial de las mismas lo cual da una heterogeneidad en la distribución de las propiedades hidráulicas en las unidades geológicas de origen volcánico.

A través de pruebas de bombeo (14 pruebas) se ha definido que la transmisividad en el área de estudio varía entre 2 y 9488 m²/día. Es importante mencionar que si se exceptúan cuatro valores altos que oscilan entre 1482 y 9488 m²/día, el resto de los

¹⁰ Op. Cit Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.

valores se encuentra comprendido entre 2 y 844 m²/día, con un valor promedio del orden de 179 m²/día y un valor de mediana del orden de 70 m²/día.

No se dispone de valores de coeficientes de almacenamiento obtenidos con pruebas de bombeo, pero se estima que es del orden de 0.10

5.3 PIEZOMETRÍA

En la zona del acuífero El Palmar se dispone con datos de piezometría de los años 1996 y 2000. Para obtener las configuraciones del nivel estático del acuífero en estudio, en el año 2000 se realizó una nivelación de los brocales a fin de obtener las altitudes de los brocales de los pozos que se tienen como piloto, utilizando un nivel diferencial con apoyo de bancos de INEGI localizados en el área de estudio, para obtener las altitudes de 7 pozos. En ciertas zonas del área de estudio, la nivelación efectuada para obtener la altitud de 32 pozos se utilizó un GPS; en ambos casos la nivelación fue de precisión.

5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

5.4.1 Profundidad al nivel estático

En 1996 las profundidades al nivel estático variaban entre 13 y 109 m. En el 2000 se reportan profundidades entre 2 y 120 m, cabe señalar que mientras para el año de 1996 se tenían los niveles estáticos de aproximadamente 60 pozos, para el año 2000 el número de pozos con datos de niveles era bastante superior, ya que se tenían mediciones en aproximadamente 160 pozos, de acuerdo a lo anterior se observa que para el año 1996 no se disponían de datos de pozos donde para el año 2000 los niveles estáticos presentaban valores menores a 13 m así como valores mayores a 109 m.

La Figura 3 muestra las curvas de igual profundidad al nivel estático del año 2000 en el acuífero El Palmar, donde se aprecia que los valores menores a 20 m se encuentran principalmente entre los poblados de Juan Aldama_ Miguel Auza-Tierra Generosa_ Delicias López Velarde, existiendo algunas zonas aisladas con esos valores como en los alrededores de los poblados de José Balderas García y Las Hormigas; valores de la profundidad del nivel estático mayores de 60 m se observan básicamente en la parte centro-sureste de la zona de estudio, el valor más alto de 120 m se localiza al sur de la localidad de la Providencia y del lado este de la carretera Río Grande-Juan Aldama, valores intermedios entre 30 y 50 m se encuentran distribuidos en varias zonas del área de estudio como se muestra en la figura antes indicada.

5.4.2 Elevación del nivel estático

Las configuraciones de las curvas del nivel estático para el año 2000 se muestran en la Figura 4. El análisis de esta configuración indica que el agua subterránea fluye de las partes topográficamente altas ubicadas en el suroeste y noreste hacia el valle.

Las elevaciones máximas son del orden de 2260 msnm por la parte suroeste y de 2100 msnm por el noreste.

Así mismo, en esta misma figura se aprecia la existencia de dos zonas de descarga natural de agua subterránea: a) en la parte noroeste e inmediaciones de la población de Juan Aldama, donde las elevaciones son de 1900 msnm y b) en la parte sureste de la zona de estudio, hacia las cercanías del poblado de José María Morelos y Pavón en donde las altitudes del nivel estático son de 2000 msnm.

5.4.3 Evolución del nivel estático

De acuerdo a los datos de los niveles estáticos de los años 1996 y 2000 se observa que existe un abatimiento de los niveles estáticos cuya tendencia en promedio es del orden de -0.5 m/año, una distribución de la variación del nivel estático para este período se puede observar en la Figura 5.

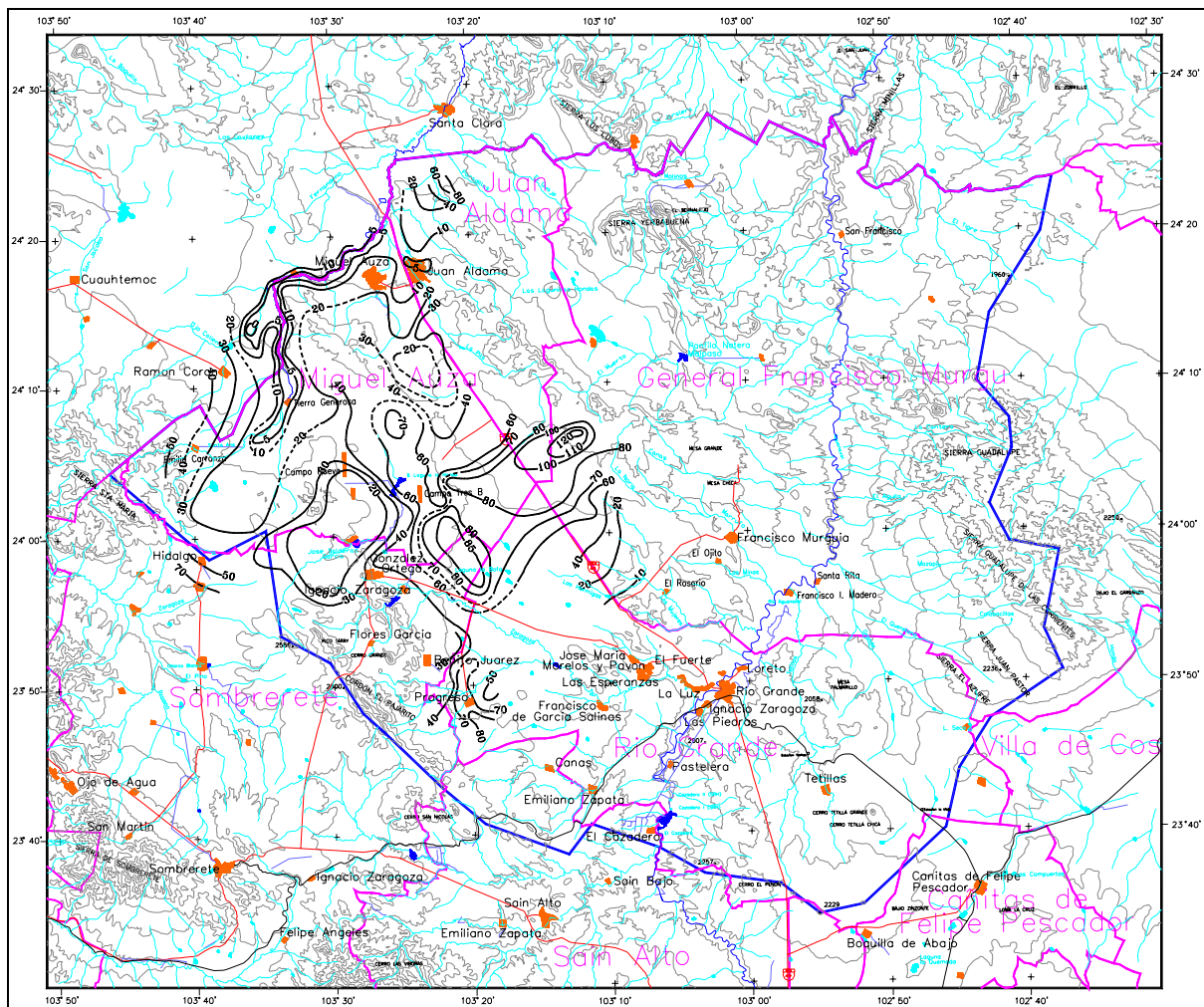


Figura No. 3 Profundidad al nivel estático en el año 2000

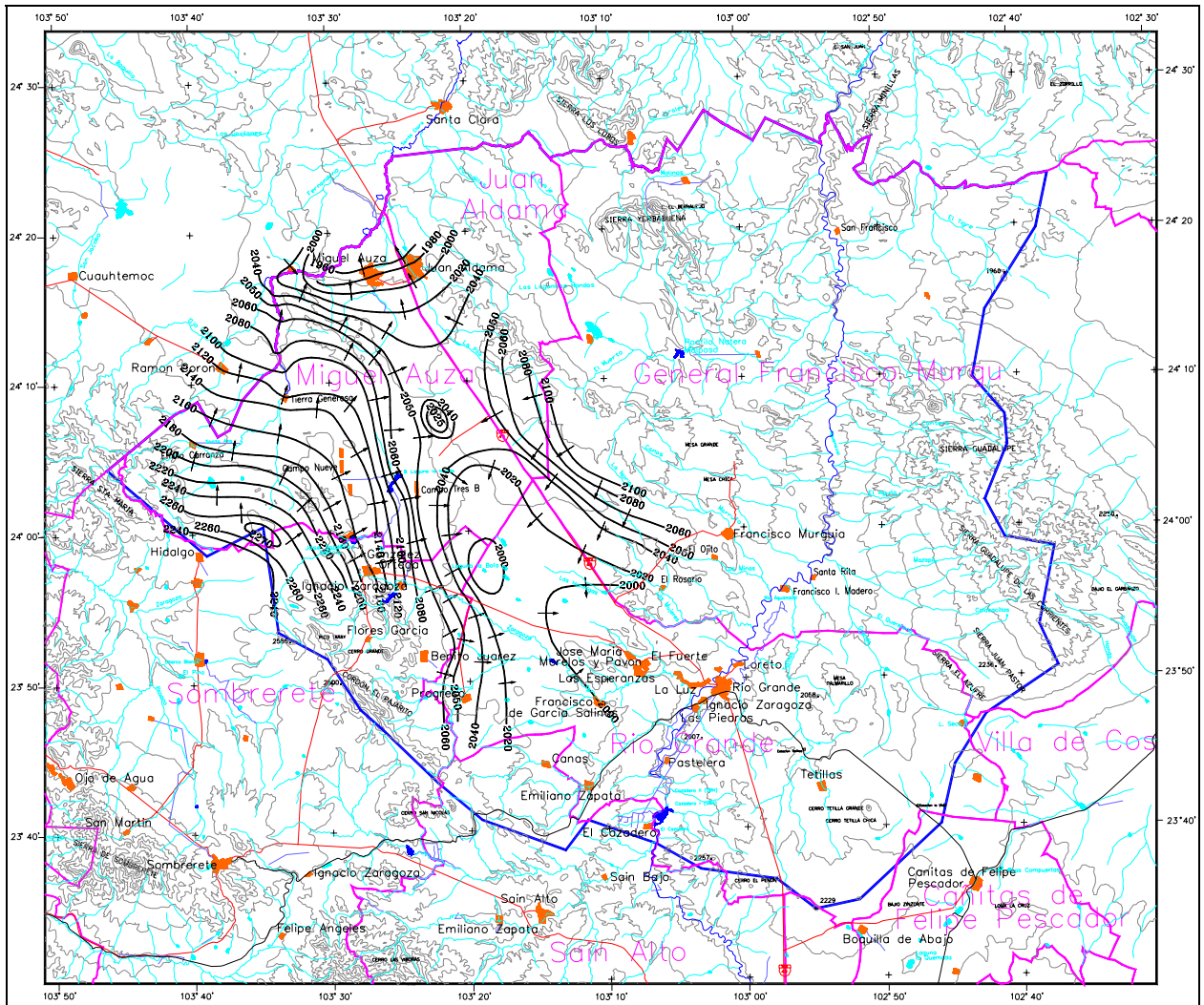


Figura No. 4 Elevación del nivel estático en el año 2000

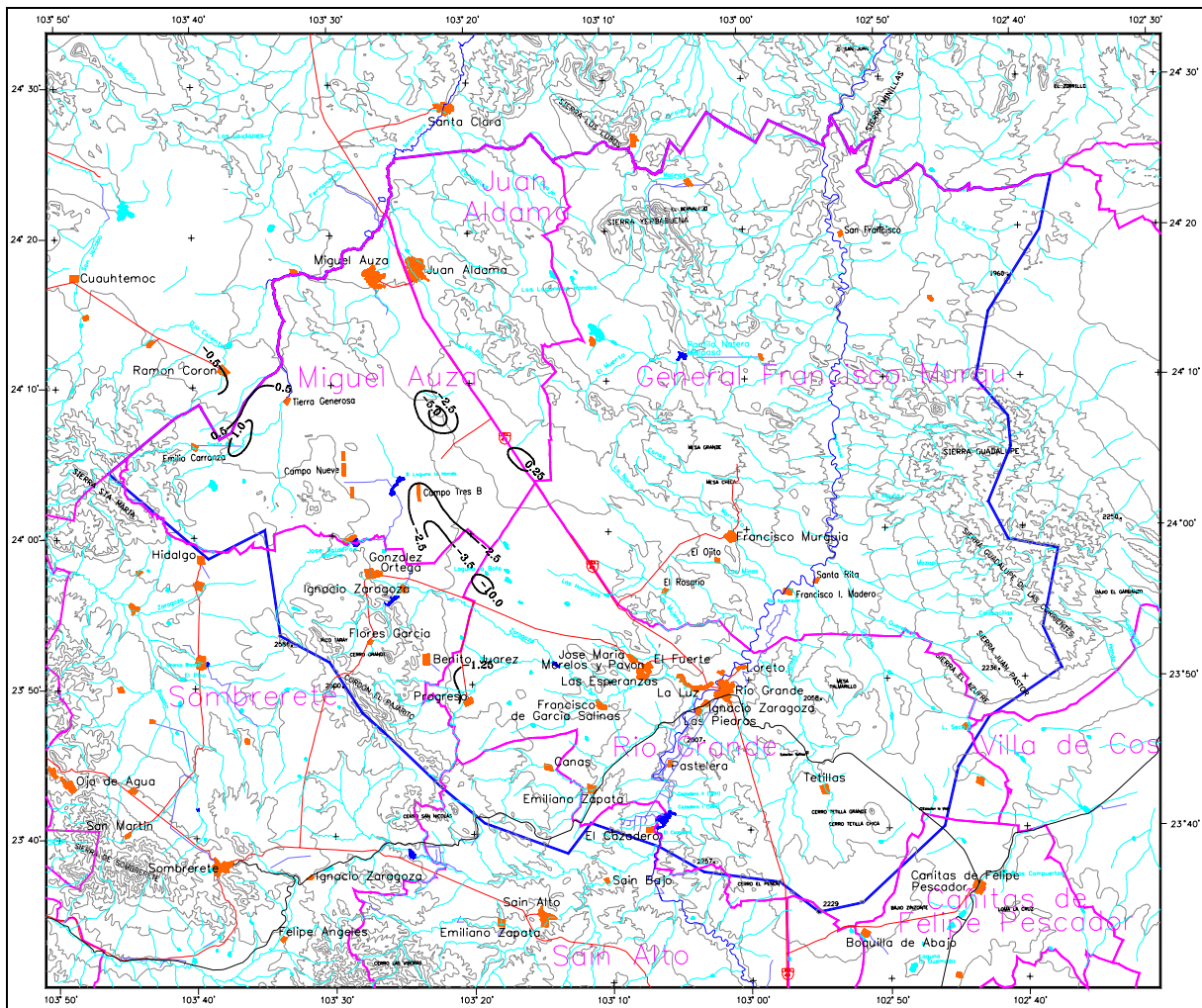


Figura No. 5 Evolución del nivel estático en el periodo comprendido entre 1996 – 2000

5.3 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Con base en análisis químicos y físicos de 20 muestras de agua subterránea y la utilización de diagramas de hidrogeoquímica (Stiff, Piper, Schoeller, Collins y Wilcox) se tiene una clasificación de las aguas subterráneas de la zona de estudio.

En cuanto a la interpretación efectuada con los diagramas de Stiff, en las cuales se presentan datos de Ca, Mg, Na+K, Fe, HCO₃+CO₃, SO₄, Cl y NO₃, en general el agua subterránea se caracteriza por tener concentraciones relativamente bajas, excepto para la muestra EP-12 que corresponde al manantial Ojo Caliente donde las

concentraciones de sales son mayores, destacando el calcio en los cationes y el sulfato en los aniones.

Con el diagrama de Piper se observa que la mayoría de las muestras se agrupa en la zona correspondiente a las aguas cálcicas bicarbonatadas aunque separándose ligeramente algunas muestras que se consideran sódica bicarbonatada y con mucho la muestra del manantial Ojo Caliente que se clasifica como cálcica sulfatada.

De acuerdo con el diagrama de Schoeller se aprecia que la mayoría de las muestras de agua subterránea tienen una composición química semejante predominando el calcio, sodio y bicarbonato, siendo aguas cálcicas o mixtas bicarbonatadas. La excepción la constituye la muestra del manantial Ojo Caliente que sobresale por su alto contenido de calcio y sulfato.

Del diagrama de Collins que consisten de dos columnas donde en un lado se apilan los cationes y en otro los aniones, se observa en la mayoría la predominancia de calcio en los cationes y bicarbonato en los aniones a excepción de la muestra EP-12, donde predomina el sulfato en los aniones y de otra muestra EP 6 ubicada hacia el centro del valle y norte del cuerpo de agua la Batea, donde predomina el Sodio en los cationes.

Con el diagrama de Wilcox se concluye que en términos generales las muestras de agua analizadas y que se consideran representativas del agua del acuífero de estudio, corresponden a la clase C2 S1 que indica riesgo de salinidad media y bajo riesgo de sodio e excepción de la muestra del manantial Ojo Caliente que pertenece a la clase C3 S1, con riesgo de salinidad alta y bajo sodio, y de la muestra EP-15 ubicada al poniente del Manantial de la Honda con riesgo de salinidad baja y bajo sodio.

De acuerdo al contenido de sólidos totales disueltos en el área de estudio predominan los valores comprendidos entre 150 y 450 mg/l, con excepción del manantial Ojo Caliente que presenta una concentración de 1,009 mg/l, valores de 300 y 450 mg/l se presentan al sur de la laguna de Santa María.

En general los contenidos de nitratos las muestras presentan valores menores de 20 mg/l excepto para dos muestras EP17 perteneciente a un sitio localizado al sur de la Laguna Santa María y la muestra EP-20 obtenida al suroeste de la colonia General J. Gonzáles Ortega, las cuales presentan un contenido de nitratos de 68 a 72 mg/l.

En general, los resultados de los análisis de laboratorio indican que el agua subterránea del área de estudio es apta para consumo humano con excepción de algunas muestras que exceden ligeramente los límites permisibles establecidos para su potabilidad; debe destacarse que el agua del manantial de Ojo Caliente, se caracteriza por exceso de sales y de metales pesados entre ellos el arsénico, hierro y flúor que la hacen inapropiada para uso potable y abrevadero y con limitaciones para

uso agrícola e industrial. A excepción del manantial antes mencionada el agua es apropiada para su uso en la agricultura.

De acuerdo a las concentraciones de calcio en las muestras de agua de la zona de estudio se puede considerar que las aguas subterráneas de la misma son de origen meteórico de reciente infiltración, con áreas de recarga próximas y tiempo de residencia corta en el subsuelo, la circulación se da en materiales poco solubles como pueden ser los conglomerados que constituyen parte del medio poroso. La excepción en cuanto a concentraciones de sales y termalismo (38°C) la constituye el manantial Ojo Caliente.

De los resultados de los análisis químicos se determinó que las zonas de recarga preferente se identifican con las elevaciones de rocas volcánicas situadas al norte y sureste del valle, y que la descarga se identifica con el área de manantiales situados en la porción oriental, estableciendo un flujo preferencial subterráneo de poniente a oriente.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo al inventario de aprovechamientos subterráneos realizado durante el estudio del año 2000 en la zona de El Palmar existen 356 de los cuales 333 son pozos, 16 norias y 7 manantiales.

De los 356 aprovechamientos, 227 se destinan para uso en riego, 68 para uso doméstico, 27 para uso público urbano, 31 para uso pecuario, 2 para servicios y 1 para uso industrial. De los 356 aprovechamientos, 226 se encuentran activos, 79 inactivos y 51 se encontraban en procesos de construcción, en la Tabla 3 se muestra su distribución.

Tabla No. 3 Aprovechamientos subterráneos en al área del acuífero El Palmar

Uso	Activos	Inactivos	Proceso de Construcción	Total
Agrícola	116	65	46	227
Público Urbano	19	7	1	27
Doméstico	62	4	2	68
Pecuario	26	3	2	31
Servicios	2			2
Industrial	1			1
Total	226	79	51	356

Hidrometría:

De la información de hidrometría realizada durante el censo mencionado, consideraciones de láminas de riego, dotaciones de agua potable, entre otros se determino un volumen de bombeo de agua subterránea del orden de 40.0 hm³/año y

una descarga de manantiales del orden de 13.3 hm³/año, haciendo un total de 53.3 hm³/año, de este volumen aproximadamente el 76 % corresponde al uso en riego y del 23 % al uso público urbano, el resto se distribuye en los demás usos.

Por otro lado de acuerdo a información reciente⁽¹¹⁾ se ha calculado que la extracción actual total del acuífero es del orden de 47.9 hm³/año

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado anualmente por el almacenamiento no renovable del subsuelo.

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \quad \dots (1)$$

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 de una unidad hidrogeológica, queda representada como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en la unidad hidrogeológica} \quad \dots(2)$$

7.1 ENTRADAS

Las entradas al acuífero El Palmar están integradas básicamente por las recargas naturales y las recargas inducidas

7.1.1 Recarga natural

Está conformada por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle y de la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta por las zonas de pie de monte desde las partes altas del valle donde una parte de la lluvia se llega a infiltrar.

En el acuífero estudiado la recarga natural por lluvia se obtuvo considerando el área de valle con una extensión de aproximadamente 1830 km², un volumen medio anual de lluvia de 400 mm precipitada en esa área, y un coeficiente de infiltración del orden de 0.06, la recarga por este concepto resultó del orden de 43.9 hm³/año.

¹¹ Gerencia de Aguas Subterráneas , CNA, 2003

7.1.2 Recarga Inducida

La recarga inducida esta constituida principalmente por la infiltración vertical de una parte de los excesos de agua aplicado en el riego que para el acuífero que nos ocupa, considerando el volumen destinado a este uso de 36.2 hm³/año más 0.3 hm³/año de otros usos que implican al agrícola y considerando un coeficiente de infiltración de 0.15, la recarga inducida por riego fue del orden de 5.5 hm³/año; otra recarga inducida se debe a las fugas en los sistemas del servicio público urbano, considerando el volumen destinado a estos usos de 11.2 hm³/año y aplicando un coeficiente de infiltración de 0.1, se tiene un volumen de 1.1 recargan al acuífero por este concepto, haciendo un total de recarga inducida de 6.6 hm³/año.

7.1.3 Flujo Subterráneo horizontal

Parte de las precipitaciones pluviales que se presentan en las zonas altas del área de estudio se infiltran por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas, y llegan a recargar al acuífero a través de flujos subterráneos que se manifiestan en las partes bajas de las estructuras geológicas que delimitan dicho valle.

La recarga al acuífero por flujo horizontal subterráneo ocurre en la parte suroeste y noreste donde la configuración de las elevaciones de los niveles estáticos (Figura 4) permiten calcular a través de canales de flujo el volumen por entrada: 8 canales en la zona sur-sureste y 8 en el noreste. En cada uno de estos canales se aplica la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero. La recarga por flujo horizontal será la suma de los caudales de los 16 canales identificados.

$$Q = T * A * i$$

Donde:

T: Transmisividad (m²/día) en el canal de flujo

A: Ancho (m) del canal de flujo

i: Gradiente hidráulico ($i = dH/dL$); dH y dL son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (H) que conforman el canal de flujo.

Sustituyendo los datos para la zona de estudio en la formula anterior se obtiene un total de 18.55 hm³ anuales, cuyo detalle se muestra en la Tabla 4.

7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre principalmente por evapotranspiración, flujo horizontal subterráneo, manantiales y bombeos.

7.2.1 Evapotranspiración

Evapotranspiración: Ocurre en una superficie expuesta a la evapotranspiración de agua subterránea de unos 140 km², localizada en la parte oeste de la zona de estudio, básicamente en una franja localizada entre las inmediaciones del poblado de

Juan Aldama y Tierra Generosa, donde la profundidad del nivel de las aguas subterráneas alcanzan valores menores a 10 m (Figura 3).

El volumen de agua que se descarga del acuífero por Evapotranspiración se puede obtener aplicando el criterio señalado en el Manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos⁽¹²⁾, al respecto se utiliza una gráfica que muestra la relación que existe entre la profundidad de la superficie freática y la magnitud de la evaporación del agua subterránea, medida como un porcentaje de la que se genera en un evaporímetro. Para el caso que nos ocupa se obtuvo un valor de 11.2 hm³/año, al considerar una evaporación potencial media de 1997.4 mm/año, en la superficie antes indicada.

Tabla No. 4 Cálculo de recarga por flujo horizontal de aguas subterráneas del acuífero El Palmar

CELDA	ANCHO	LARGO	h1-h2 (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD (T)	CAUDAL	VOLUMEN
	(B)	(L)		(i)	m ² /s	(Q)	hm ³ /año
	(m)	(m)					
1	2537	6361	40	0.006288	0.001	0.019	0.60
2	2450	4681	40	0.008545	0.001	0.025	0.79
3	1759	2480	40	0.016129	0.002	0.056	1.78
4	4198	1485	10	0.006734	0.002	0.056	1.77
5	3453	1694	10	0.005903	0.002	0.041	1.28
6	3237	1052	10	0.009506	0.002	0.061	1.93
7	4046	1085	10	0.009217	0.002	0.074	2.34
8	2859	1652	10	0.006053	0.002	0.034	1.09
9	5737	2977	30	0.010077	0.001	0.040	1.27
10	4473	1188	20	0.016835	0.001	0.052	1.65
11	4432	1208	20	0.016556	0.001	0.051	1.61
12	4504	1961	20	0.010199	0.001	0.032	1.01
13	3736	5377	40	0.007439	0.001	0.019	0.61
14	2508	5226	30	0.005741	0.001	0.010	0.32
15	2579	6818	20	0.002933	0.001	0.005	0.17
16	3846	7168	30	0.004185	0.001	0.011	0.35
Total							18.55

7.2.2 Descarga natural

En el caso del acuífero en estudio, las descargas naturales están representadas por un lado por el flujo subterráneo horizontal que sale hacia la parte norte y sureste de esta región, y por otro lado por las descargas de los manantiales distribuidos en la región donde sus aguas son empleadas en diversos usos como agrícola, público urbano y de servicios.

¹² Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos, editado por la Comisión Nacional del Agua a través de la Subdirección General de Administración del Agua, México 1994

La hidrometría indica que la descarga a través de los 7 manantiales identificados en la zona de estudio asciende a un valor del orden de 13.2 hm³/año.

7.2.3 Bombeo

La extracción de agua subterránea en el área de estudio ha variado con el tiempo y de acuerdo con la estimación reciente, dicha extracción efectuada por bombeo es del orden de 47.9 hm³/año. Este volumen se emplea en diversos usos, entre los más importantes se encuentran el agrícola y el público urbano.

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

La descarga por flujo horizontal de aguas subterráneas: ocurre en dos frentes uno por la parte norte donde se localizan los poblados de Miguel Auza y Juan Aldama y otra por el sur con dirección hacia el poblado de José María Morelos y Pavón, así como por la colonia Francisco García Salinas, tal y como se aprecia en la figura 4 de curvas de igual elevación del nivel estático; aplicando la fórmula expuesta anteriormente ($Q = T * A * i$), en 11 canales de flujo de salida se calcula una descarga de por flujo horizontal subterráneo del orden de 19.74 hm³/año, cuyo detalle se muestra en la Tabla 5

Tabla No. 5 Cálculo de salidas por flujo horizontal de aguas subterráneas del acuífero El Palmar

CELDA	ANCHO	LARGO	h1-h2 (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD (T)	CAUDAL	VOLUMEN
	(B)	(L)		(i)	m ² /s	(Q)	hm ³ /año
	(m)	(m)					
S-1	2150	1325	20	0.015094	0.0004	0.013	0.4
S-2	2425	897	20	0.022297	0.0004	0.021	0.7
S-3	2811	1006	20	0.019881	0.0004	0.022	0.7
S-4	2481	1204	20	0.016611	0.0004	0.016	0.5
S-5	921	1765	20	0.011331	0.0004	0.004	0.1
S-6	4323	8699	20	0.002299	0.0074	0.074	2.3
S-7	4212	6461	20	0.003095	0.0074	0.097	3.0
S-8	3345	7073	20	0.002828	0.0074	0.070	2.2
S-9	2250	7605	20	0.002630	0.0074	0.044	1.4
S-10	2915	4761	20	0.004201	0.0074	0.091	2.9
S-11	3603	3040	20	0.006579	0.0074	0.176	5.5
Total							19.74

7.3 Cambio de almacenamiento

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga total de 69.1 hm³/anuales, y una descarga total de 78.8 hm³/año por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero El Palmar presenta una sensible sobreexplotación. En la Tabla 6 se resume el balance de aguas subterráneas en el acuífero El Palmar

8 DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas se aplica el procedimiento estipulado en la Norma, que establece la metodología para calcular la disponibilidad de aguas nacionales.

La disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{r} \text{Disponibilidad media anual} \\ \text{de agua subterránea en} \\ \text{una unidad hidrogeológica} \end{array} = \begin{array}{r} \text{Recarga} \\ \text{total} \\ \text{Media anual} \end{array} - \begin{array}{r} \text{Descarga} \\ \text{natural} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{r} \text{Volumen anual de} \\ \text{agua subterránea} \\ \text{concesionado e} \\ \text{inscrito en el} \\ \text{REPDA} \end{array} \quad (6)$$

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual, calculada asciende a 69.1 hm³/año.

8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

Es la suma de los volúmenes concesionados de los manantiales que están comprometidos como agua superficial para diversos usos más una parte del agua que sale por flujo horizontal subterráneo para satisfacer necesidades comprometidas, de tal manera que para este acuífero se estima en 10.1 hm³ /año

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida.

Para el acuífero El Palmar la descarga natural comprometida es del orden de 10.1 hm³/año, luego entonces el rendimiento permanente es igual a 59.0 hm³/año.

8.4 VOLUMEN CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA

El volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), al 31 de mayo de 2003 es de 43.096341 hm³ /año

8.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la Norma que establece la metodología para calcular la disponibilidad de aguas nacionales (NOM-011-CNA-2000) se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPDA, de esta forma la disponibilidad es de 15.464859 hm³/año.

$$15.903659 = 69.1 - 10.1 - 43.096341$$

Tabla No. 6 Balance de aguas subterráneas en el acuífero El Palmar, Zac.

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ACUÍFERO EL PALMAR, ZAC.			
Área total del acuífero		km ²	7,442
RECARGA			
Área de valle		km ²	1,830
Coeficiente	I ₁		0.06
Precipitación		mm/año	400
Recarga natural por lluvia		hm ³ /año	43.9
Entradas horizontales	Eh	hm ³ /año	18.6
Total de recarga natural		hm ³ /año	62.5
Público Urbano	I ₂		0.10
Retorno del uso Público Urbano		hm ³ /año	1.1
Agrícola más otros agua subterránea	I ₃		0.15
Retorno de riego, agua subterránea		hm ³ /año	5.5
Retorno total			6.6
RECARGA TOTAL	Rt	hm ³ /año	69.1
DESCARGA			
Salidas horizontales	Sh	hm ³ /año	19.74
Caudal Base		hm ³ /año	0.0
Evapotranspiración		hm ³ /año	11.2
Extracción total bruta		hm ³ /año	47.9
Agrícola		hm ³ /año	36.2
Público urbano		hm ³ /año	11.2
Industrial		hm ³ /año	0.2
Otros		hm ³ /año	0.3
DESCARGA TOTAL		hm ³ /año	78.84
Minado	DA	hm ³ /año	-9.73
Coeficiente de almacenamiento	S		-0.0106
Volumen drenado (m/año)	Vd	hm ³ /año	915
Abatimiento m/año		m	0.50

9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

Carta fisiográfica esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

Carta de Precipitación total anual esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

Carta de temperaturas medias anuales esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

Castany G. 1975. Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.

Custodio F, Llamas M. 1983. Hidrología Subterránea Tomo I y II. Ediciones Omega, S.A. Barcelona - España.

Consejo de Recursos Minerales 1991. Monografía Geológica – Minera del Estado de Zacatecas. CRM Pachuca-Hidalgo, México.

DOF. 5 de diciembre de 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos, editado por la Comisión Nacional del Agua, a través de la Subdirección General de Administración del Agua, México 1994.

NOM-011-CNA-2000. Norma Oficial Mexicana. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial 17 de abril de 2002. México.

Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Estudio de evaluación de la disponibilidad de agua subterránea en las zonas El Palmar y Sain Alto en el Estado de Zacatecas. Contrato SEFOA 005/00. Realizado por Consultores en agua subterránea S.A.