

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Guadalupe de las
Corrientes (3223), 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.**

CDXI REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"		R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CLAVE	ACUÍFERO	CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE ZACATECAS							
3223	GUADALUPE DE LAS CORRIENTES	13.0	0.0	43.934632	35.3	0.000000	-30.934632

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 3223 GUADALUPE DE LAS CORRIENTES

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	14	23.4	23	34	27.8
2	102	18	10.5	23	31	52.8
3	102	21	16.3	23	24	27.3
4	102	26	42.1	23	21	25.5
5	102	32	39.4	23	22	55.6
6	102	35	50.5	23	22	23.1
7	102	35	50.5	23	20	38.6
8	102	38	31.9	23	20	5.3
9	102	40	15.2	23	22	22.7
10	102	44	2.3	23	23	26.2
11	102	48	52.9	23	28	48.9
12	102	50	35.1	23	30	9.3
13	102	51	59.1	23	35	18.9
14	102	45	59.3	23	40	20.5
15	102	44	57.5	23	44	16.8
16	102	42	37.6	23	47	36.7
17	102	37	21.7	23	50	47.2
18	102	38	40.9	23	53	31.0
19	102	37	30.1	23	58	43.0
20	102	41	5.3	23	59	22.5
21	102	42	29.3	24	1	52.2
22	102	40	48.4	24	5	32.3
23	102	40	58.4	24	7	34.0
24	102	43	16.2	24	10	3.8
25	102	42	17.7	24	14	32.1
26	102	22	29.6	24	9	6.8
27	102	13	27.0	24	3	28.0
28	102	10	46.1	23	59	1.8
29	102	13	17.5	23	54	10.0
30	102	11	26.4	23	51	16.6
31	102	7	36.7	23	47	26.5
32	102	3	22.7	23	44	44.8
33	102	4	38.3	23	39	51.2
34	102	15	10.2	23	38	0.5
1	102	14	23.4	23	34	27.8



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO GUADALUPE DE LAS
CORRIENTES, ESTADO DE ZACATECAS**

DICIEMBRE, 2003

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO GUADALUPE DE LAS CORRIENTES, ESTADO DE ZACATECAS (3223)

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.....	3
2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	6
3 FISIOGRAFÍA.....	6
3.1. Provincia fisiográfica.....	6
3.2. Clima.....	6
3.2.1. Temperatura media anual.....	7
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.....	8
3.3.3. Cuenca.....	8
3.3.4. Subcuenca.....	8
3.3.5. Infraestructura hidráulica.....	8
3.4. Geomorfología.....	9
4 GEOLOGÍA.....	9
4.1. Estratigrafía.....	9
4.2. Geología estructural.....	12
4.3. Geología del subsuelo.....	13
5 HIDROGEOLOGÍA.....	16
5.1. Tipo de acuífero.....	16
5.2. Parámetros hidráulicos.....	17
5.3. Piezometría.....	17
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.....	19
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	23
6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	25

7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	25
7.1	Entradas.....	26
7.1.1	Recarga natural.....	26
7.1.2	Recarga inducida.....	26
7.1.3	Flujo subterráneo horizontal.....	26
7.2	Salidas.....	27
7.2.1	Evapotranspiración.....	28
7.2.2	Descarga natural.....	28
7.2.3	Bombeo.....	28
7.2.4	Flujo subterráneo horizontal.....	28
7.3	Cambio de almacenamiento.....	28
8	DISPONIBILIDAD.....	28
8.1	Recarga total media anual.....	29
8.2	Descarga natural comprometida.....	29
8.3	Rendimiento permanente.....	29
8.4	Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	29
8.5	Disponibilidad de aguas subterráneas.....	29
9	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	31

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO GUADALUPE DE LAS CORRIENTES, ESTADO DE ZACATECAS (3223)

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

1.1.1 Coordenadas

El acuífero “Guadalupe de las Corrientes”, quedó designado con la clave 3223 en el documento⁽¹⁾ 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 4688 km², delimitados por las coordenadas que se presentan en la tabla 1.

1.1.2 Municipios

Dentro de los límites del acuífero Guadalupe de las Corrientes están comprendidos parcialmente los municipios de Cañitas de Felipe Pescador y Villa de Cos, y en menor proporción de los municipios de Fresnillo, General Francisco R. Murgía, y una pequeña parte de los municipios de Mazapil y Río Grande, estado de Zacatecas, mismos que se muestran en la figura 2.

1.1.3 Población

Entre las principales poblaciones que se localizan dentro del área limitada del acuífero se encuentran:

En el municipio de Cañitas de Felipe Pescador, esta la cabecera municipal del mismo nombre, El Saucillo, Los Caballos, La Quemada y San Francisco; en el municipio de Fresnillo se localizan los poblados El Noventa, San Antonio del Mezquite y San Tadeo; en el municipio de Villa de Cos se ubican los poblados de Guadalupe de las Corrientes, Estación La Colorada, Estancia La Colorada, Grever (Purísima), Pozo Hondo, La Abundancia, Flores Magón, Charquillos, Agua Nueva, Rancho Verde, Manganita, El Mezquitillo, Tierra y Libertad, El Encino, Allende, San Felipe, El Salto, Noria de Luis, San Antonio de Triana y La Flor, en el municipio de Gral. Francisco R. Murgía se tienen los poblados de Estación Pacheco y Estancia El Refugio, entre otros.

De acuerdo a los datos del censo de población del año 2000 y publicado por el INEGI, en los municipios identificados dentro de los límites del acuífero Guadalupe de las Corrientes existe una población del orden de 15,000 habitantes, correspondiendo la mayoría a los municipios de Cañitas de Felipe de Pescador y Villa de Cos.

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 “Guadalupe de las Corrientes”

VERTICE	LONGITUD OESTE		LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	
1	102	14	13.2	23	33	28.8
2	102	17	49.2	23	29	52.8
3	102	21	18.0	23	24	28.8
4	102	26	42.0	23	21	25.2
5	102	29	24.0	23	22	30.0
6	102	31	40.8	23	22	15.6
7	102	33	54.0	23	20	27.6
8	102	38	31.2	23	20	6.0
9	102	40	4.8	23	24	21.6
10	102	48	43.2	23	28	26.4
11	102	50	52.8	23	31	37.2
12	102	49	15.6	23	35	56.4
13	102	44	16.8	23	39	18.0
14	102	42	46.8	23	43	8.4
15	102	39	3.6	23	44	52.8
16	102	37	22.8	23	50	45.6
17	102	38	42.0	23	53	31.2
18	102	37	44.4	23	57	7.2
19	102	41	9.6	24	0	3.6
20	102	40	44.4	24	4	58.8
21	102	45	28.8	24	7	55.2
22	102	43	8.4	24	12	7.2
23	102	40	22.8	24	14	20.4
24	102	38	56.4	24	18	18.0
25	102	31	37.2	24	21	54.0
26	102	24	18.0	24	19	40.8
27	102	23	13.2	24	17	34.8
28	102	27	0.0	24	15	7.2
29	102	23	34.8	24	11	56.4
30	102	20	42.0	24	12	0.0
31	102	15	10.8	24	14	52.8
32	102	11	16.8	24	14	45.6
33	102	8	49.2	24	12	14.4
34	102	13	26.4	24	3	28.8
35	102	10	44.4	23	59	2.4
36	102	13	19.2	23	54	10.8
37	102	11	27.6	23	51	18.0
38	102	7	37.2	23	47	27.6
39	102	3	21.6	23	44	45.6
40	102	4	37.2	23	39	50.4
41	102	8	16.8	23	39	14.4
42	102	14	31.2	23	37	55.2
1	102	14	13.2	23	33	28.8

1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

De acuerdo a la información de zonas de Veda de la República Mexicana, el área queda comprendida dentro del estado de Zacatecas en la zona de Veda “Villa de Cos y Fresnillo”, de fecha 9 de abril de 1981, además la zona esta comprendida dentro “*Decreto por el que se declara de interés público la conservación de mantos acuíferos en las zonas no vedadas, así como en el resto de los municipios del estado de Zacatecas y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en los municipios señalados*”. Documento emitido por el ejecutivo Federal el día 14 de julio de 1988, y publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 5 de agosto de 1988.

El acuífero Guadalupe de las Corrientes queda comprendido dentro de la Región Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte; asimismo, forma parte del *Consejo del Altiplano* instalado el 23 de noviembre de 1999, y no cuenta con un Comité Técnico de Aguas subterráneas, COTAS (situación al 26 de noviembre de 2002).

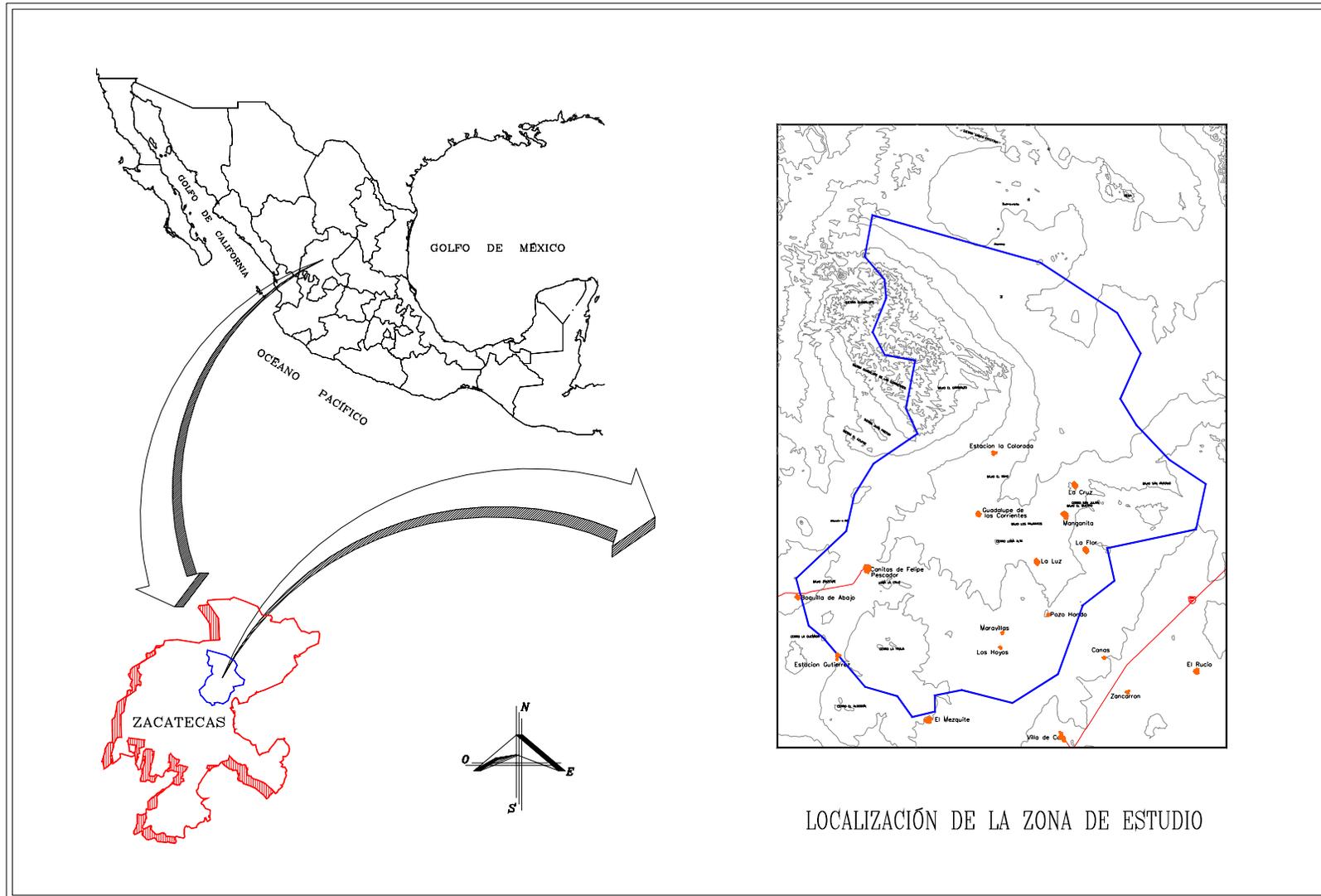


Figura No. 1 Localización del acuífero Guadalupe de las Corrientes, Zac,

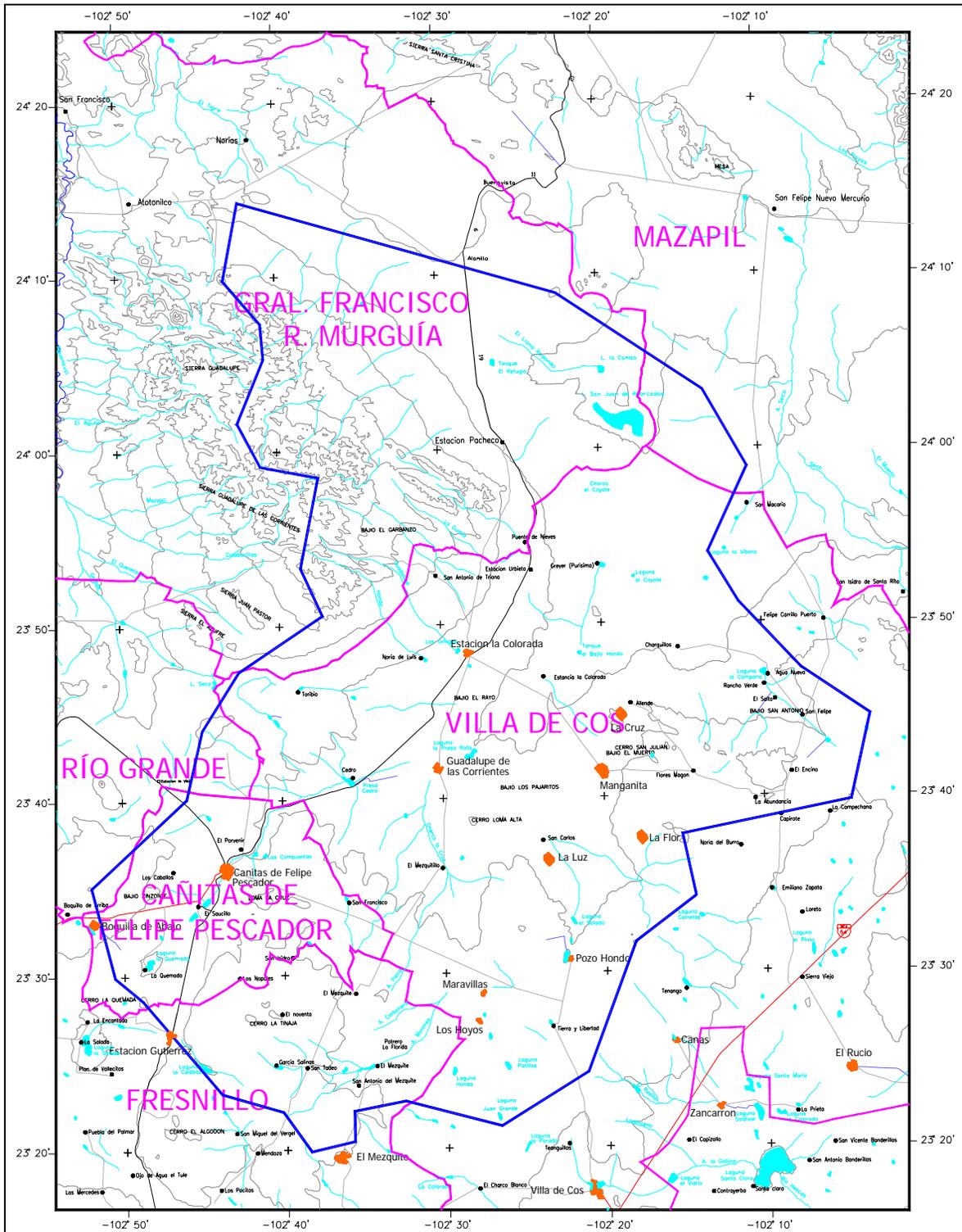


Figura No. 2 Municipios dentro del área del acuífero Guadalupe de las Corrientes, Zac.

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el periodo comprendido entre los años 1979 y 2000, se han realizado los estudios técnicos de carácter hidrogeológico en la región donde se localiza el acuífero Guadalupe de las Corrientes, de los cuales a continuación se enumeran los estudios disponibles:

SARH 1979. “INFORME FINAL DEL ESTUDIO DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS EN LA ZONA DE GUADALUPE DE LAS CORRIENTES, EN EL ESTADO DE ZACATECAS” CONTRATO GZA 79-46-ED. REALIZADO POR CONSTRUCTORA PAREYA, S.A.

CÍA. MEXICANA DE AEROFOTO S.A. DE C. V. “ESTUDIO GEOFÍSICO EN DIVERSOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE ZACATECAS”. EN ESTE ESTUDIO SE PRESENTAN LOS RESULTADOS DE SONDEOS ELÉCTRICOS REALIZADOS EN ALGUNAS LOCALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

CNA 2000. “ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS DE LA PORCIÓN NORESTE DEL ESTADO DE ZACATECAS (ACUÍFERO GUADALUPE DE LAS CORRIENTES), CONTRATO CNA-SI-AS/ZAC 2000. REALIZADO POR ESTUDIOS Y PROYECTOS MORO, S.A. DE C. V.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA

El acuífero Guadalupe de las corrientes se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica Mesa del Centro y ocupa parte de la subprovincia Sierras y Llanuras del Norte y parte de la Subprovincia Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande⁽²⁾.

3.2 CLIMA

De acuerdo a la información del Atlas Nacional del medio Físico⁽³⁾, en el área que cubre el acuífero el clima predominante según la clasificación de Köppen y modificado por Enriqueta García, es del Grupo de climas secos, con predominancia del subtipo BS₀kw secos templados con condición de canícula hacia la parte noreste de la zona en estudio; existiendo una pequeña porción del Grupo de climas semisecos y subtipo BS₁kw semisecos templados en la parte suroeste de la zona de estudio y cercanías de Cañitas de Felipe Pescador. Estos tipos de climas presentan lluvias de verano y % de precipitación invernal entre 5 y 10.2.

3.2.1 Temperatura media anual

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

³ Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

Las temperaturas medias anuales⁽⁴⁾ en la zona varían entre 16° C y 17° C, con un promedio anual total del orden de 16.7° C

3.2.2 Precipitación media anual

La temporada de lluvias en la zona se presenta básicamente de mayo a octubre y el estiaje de noviembre a abril. Las precipitaciones promedios anuales⁽⁵⁾ en la zona de estudio están comprendidas básicamente entre los 300 a 350 mm, con una precipitación promedio anual del orden de 307 mm.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

De acuerdo a los datos reportados en el estudio del año 2000⁽⁶⁾ en la zona de estudio la evaporación potencial media anual, es de aproximadamente 2400 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 Guadalupe de las Corrientes se ubica dentro de la Región Hidrológica denominada RH 37 “El Salado”.

La región hidrológica El Salado es una de las vertientes interiores más importantes del país. Se localiza en la altiplanicie septentrional y la mayor parte de su territorio se sitúa a la altura del Trópico de Cáncer, que la atraviesa. Todo este conjunto hidrográfico está constituido por una serie de cuencas cerradas de muy diferentes dimensiones, así mismo en su mayor extensión básicamente carece de corrientes superficiales permanentes, sólo existen breves escurrimientos en las partes altas.

⁴CNA 2000. “Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del estado de Zacatecas (acuífero Guadalupe de las corrientes), Contrato CNA-SI-AS/ZAC 2000. Realizado Por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C.V.

⁵ Op. Cit. CNA 2000. “Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del estado de Zacatecas....Realizado Por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C.V.

⁶ Op. Cit. CNA 2000. “Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del estado de Zacatecas....Realizado Por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C.V.

3.3.2 Subregión

No se tiene una subdivisión por subregión.

3.3.3 Cuenca

El acuífero Guadalupe de las Corrientes se encuentra emplazado en el área que comprende a la cuenca Fresnillo-Yescas⁽⁷⁾.

La zona a su vez se encuentra ubicada dentro de un área denominada “Cuenca de Guadalupe”⁽⁸⁾

No tiene corrientes de importancia, toma esta cuenca el nombre de dos localidades del estado de Zacatecas ubicadas al norte de la ciudad capital.

Algunos arroyos que presentan escurrimientos en temporadas de lluvia son: San Antonio, Calabacillas, Charco La Cruz, Los Moreno, Doña Petra, Granadas y Hondo entre otros.

En esta zona existen una serie de lagunas entre las cuales se pueden mencionar la de San Juan de los Ahorcados, La Quemada, El Salado, La Campana, Honda y El Coyote. Otra laguna de importancia que se localiza en las cercanías de esta zona y fuera de ella es la laguna Santa Clara, ubicada al sureste de la zona.

3.3.4 Subcuencas

No se tienen subcuencas determinadas dentro de la zona.

3.3.5 Infraestructura hidráulica

Dentro del área donde se localiza el acuífero Guadalupe de las Corrientes existen unas pequeñas presas como las denominadas presa Las Gringas y presa Cedro y algunos tanques de agua como el Bajío Hondo.

En cuanto a pozos que se localizan en el área, 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 geformas características de la región donde se ubica el área pueden distinguirse sierras, lomeríos y llanuras aluviales.

⁷ Carta fisiográfica esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

⁸ Op. Cit. CNA 2000. “Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del estado de Zacatecas....Realizado Por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C.V.

Las sierras más importantes son las de Guadalupe de las Corrientes y San Julián, la primera se encuentra en la zona norponiente del área, abarca una amplia superficie orientada con sentido NW-SE, con elevaciones que van desde los 2200 msnm a 2600 msnm, constituida principalmente por calizas de la Formación Cuesta del Cura y en menor proporción por calizas de la Formación Cupido en el núcleo de la sierra, y por calizas y lutitas de la Formación Indidura en los flancos. La sierra San Julián se localiza a en la zona oriental, es una sierra alargada en dirección NW-SE con elevaciones entre 2050 msnm y 2150 msnm formada por calizas de las formaciones Cuesta del Cura y Cupido.

Los lomeríos que se encuentran distribuidos en la zona, tiene mayor presencia y continuidad hacia la parte sur donde predominan las rocas sedimentarias. La forma y elevación esta en función de la roca predominante, ya que las lutitas y areniscas de la Formación Caracol dan lugar a lomeríos amplios y de poca altura; mientras que las calizas y lutitas de la Formación Indidura originan lomas alargadas de suave relieve y poca altura; las formaciones Cuesta del Cura y Cupido presentan cerros aislados redondeados con alturas de 50 y 100m.

Las llanuras aluviales se encuentran principalmente en la parte central del área, tienen un relieve relativamente plano con ligeras ondulaciones y un drenaje muy escaso e intermitente de tipo endorreica, en donde no se desarrolla ninguna corriente de importancia, en las porciones altas donde afloran las calizas el tipo de drenaje es dentrítico e intermitente. Las llanuras están formadas por pequeños grabens tectónicos, que fueron rellenados por depósitos aluviales, depósitos lacustres y por rocas ígneas vulcanoclásticas ocurridos durante los períodos Terciario y Cuaternario, cuyos espesores alcanzan valores del orden de 100 y los 300 m.

4. GEOLOGÍA

4.1 ESTRATIGRAFÍA

La columna litológica del área está formada por rocas del Triásico, sedimentarias del Cretácico, materiales volcánicos y sedimentarias del Terciario y depósitos aluviales y lacustres pliocuaternarios.

A continuación se describe la columna litológica de las formaciones que afloran en las inmediaciones de la zona, desde la más antigua hasta la más reciente⁽⁹⁾:

Triásico:

Formación Nazas. Es una secuencia de lavas interestratificadas con toba, lutita, limolita, arenisca y conglomerado, sus espesores pueden variar de una localidad a otra. Esta roca aflora en las cercanías de esta zona, básicamente al noreste y sureste de Villa de Cos

En la zona no se observa sobre que unidad sobreyace.

⁹ Op. Cit. CNA 2000. "Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del estado de Zacatecas....Realizado Por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C.V.

De acuerdo con su carácter litológico y a su posición estructural se considera que los materiales que conforman esta unidad, corresponden a un depósito de tipo “molasse”; este fenómeno se llevó a cabo en un ambiente continental, con una intensa actividad volcánica, fallamiento en bloque, el cual estuvo asociado a un vulcanismo de composición calcoalcalino relacionado con la rápida apertura del Golfo de México.

Cretácico:

Formación Cupido. Secuencia calcárea de estratificación gruesa a delgada, con nódulos de pedernal afloran en la porción norte de la zona, constituyendo las partes más elevadas de las sierras. Su espesor promedio en esta área se ha estimado entre 350 y 500 m

Las rocas de la Formación Cupido en el área se depositaron en una plataforma lagunar de aguas someras y tranquilas, templadas a cálidas, con buena oxigenación y poca influencia de arcillas, lo que permitió el desarrollo y crecimiento de abundantes organismos.

Formación La Peña. Secuencia dividida en dos miembros, uno calcáreo en la base y otro arcillo-calcáreo en la cima, se encuentra aflorando en las inmediaciones de la zona en la parte NW en la Sierra de Guadalupe. El espesor de esta unidad es variable dependiendo de la deformación y estiramientos a que ha sido sometida, variando de unos cuantos metros a los 100 m. El contacto inferior es transicional y concordante con la Formación Cupido, mientras que su contacto superior es nítido y concordante con la Formación Cuesta del Cura. En relación con su litología se considera que la Formación La Peña, se depositó en un medio ambiente de mar abierto, en aguas sensiblemente profundas, bajo condiciones tectónicas inestables lo que ocasionó el gran desarrollo de sedimentos clásticos finos en toda la unidad, ya sea como capas o contaminando la fracción carbonatada.

Caliza Cuesta del Cura. Secuencia de calizas compactas, de estratificación delgada onduladas, con nódulos y bandas de pedernal, con intercalaciones delgadas de arcilla, aflora en el sector NW del área, sobre todo en la Sierra de Guadalupe.

La unidad consiste de calizas tipo “mudstone”, dispuestas en capas que varían de 10 a 25 cm de potencia. Se le considera un espesor total del orden de los 200 a 300m. La relación con la Formación La Peña es por medio de contacto nítido, mientras el contacto superior con los sedimentos calcáreos-arcillosos de la Formación Indidura es concordante. El depósito de esta unidad se llevó a cabo en una zona de mar abierto, en un ambiente de cuenca poco profunda.

Formación Indidura. Se encuentra constituida en general por una secuencia calcáreo-arcillosa, conformada por calizas arcillosas, en capas que van de 5 a 40 cm de potencia; presenta intercalaciones de calizas y lutitas calcáreas laminares.

Esta unidad aflora ampliamente en la Sierra de Guadalupe. Se han reportado espesores del orden de 200 m, sobreyace de manera concordante a la Formación Cuesta del Cura y le subyace de igual manera la Formación Caracol. El depósito de

esta unidad ocurrió en un medio ambiente de mar abierto, con una aportación intermitente de clásticos pelíticos, bajo condiciones tectónicas inestables de relleno de cuenca.

Formación Caracol. Esta unidad esta compuesta de areniscas de grano medio, con cementante calcáreo y matriz arcillosa, en capas de 20 cm de espesor, que muestran estratificación cruzada y turboglifos; se intercalan con limolitas y lutitas y ocasionalmente con margas.

Se estima que esta unidad puede alcanzar a los 1000 m de potencia, en el área el contacto inferior con la Formación Indidura es transicional y concordante; mientras el superior está cubierto de manera discordante por materiales más recientes.

Los afloramientos de esta formación se encuentran ampliamente distribuidos en toda el área.

Terciario

Rocas volcánicas riolíticas. Se denomina con este nombre a una secuencia de rocas piroclásticas en la base y un grueso paquete de riolitas fluidales en la cima del paquete volcánico

Los piroclásticos que subyacen al cuerpo de riolita esta conformado por tobas arenosas, pómez y lapilli.

Se estima un espesor máximo del orden de 100 m; en la mayor parte del área sobreyace de manera discordante a la Formación Caracol; le sobreyace de manera discordante la Formación Opal o depósitos aluviales más recientes.

Formación Opal. Aflora ampliamente en el área, particularmente hacia el norte, en donde alcanza un notable espesor. Esta constituido principalmente por cuerpos de conglomerados policmíticos de guijarros de rocas carbonatadas y en menor proporción de clastos de rocas volcánicas, en general los fragmentos son subangulares a redondeados y están embebidos en una matriz areno-arcillosa con algo de material vulcanoclástico y lacustre.

El espesor en el área es muy variable ya que se trata de un depósito irregular, se le estima una potencia entre 150 a 250 m.

Esta unidad cubre de manera discordante a rocas de diferentes edades, pudiendo sobreyacer a cualquiera de las formaciones mesozoicas que afloran en el área, aunque estratigráficamente se sobrepone a las rocas volcánicas de composición riolítica y le sobreyacen de manera discordante rocas volcánicas de composición basáltica. De acuerdo a sus características litológicas su depósito se efectuó en un ambiente continental lacustre, ayudados por la acción de agentes erosivos, transportados por corrientes fluviales y depositado sus productos en cuencas intermontanas.

Cuaternario

Depósitos aluviales. Se encuentran representados en el área por depósitos de talud, terrazas aluviales, depósitos de acarreo en cauces de ríos y arroyos, así como en suelos residuales, limos y arcillas, que fueron depositados en las partes bajas y planas. Se encuentran cubriendo a rocas cretácicas y terciarias y tienen una distribución muy extensa en el área.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Durante el Pérmico Tardío-Triásico, cesa la fase de colisión y compresión que dio origen y produjo el sistema Apalacheano-Huastecano y Maratón-Ouachita, posterior a estos movimientos, la margen oriental de México estuvo sujeta a un período distensivo, ocasionando fallas de desplazamiento lateral, y se asume que culminó con la apertura del Golfo de México, por lo que se considera que la configuración estructural del basamento pre-lechos rojos de las formaciones Hiuzachal o Nazas durante el Mesozoico Temprano, estuvo conformada por un sistema dinámico de horts y grabens.

Posteriormente y antes de la “Orogenía Laramide” donde se presentaron movimientos tectónicos que hicieron emerger áreas de lo que ahora es el territorio Mexicano y que se encontraban cubierto por mares, se sucedieron geológicamente una serie de eventos como la fase tafrogénica denominada “Orogenia Palizada” que origino horts y grabens en donde se erosionaban los primeros y los segundos se rellenaban con clástos continentales, producto de la destrucción de la cadena montañosa formada por la Orogenia Apalachea, así como durante el Oxifrodiano, donde la transgresión marina avanzó lo suficiente para cubrir gran parte del oriente de México, asimismo, que durante el Albiano-Cenomaniano las aguas marinas del Mesozoico cubren ya la totalidad las partes positivas del Cretácico Temprano.

A fines del Cretácico y principios del Terciario, los intensos movimientos tectónicos de la Revolución Laramide como se mencionó 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 en 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.

En el área, las estructuras resultantes del evento compresivo Laramídico son más o menos apretadas, con polaridad estructural en general hacia el noreste, aunque localmente se pueden observar estructuras hacia el norte y al oriente.

Estas estructuras dan origen a prominentes sierras alargadas de dirección NNW-SSE como la sierra de Guadalupe de las Corrientes y San Julián.

Las estructuras en la mayor parte del área se encuentran emplazadas en los sedimentos de la Formación Caracol, aunque en las porciones nororiental y noroccidental existen estructuras en rocas asignadas a las formaciones Cupido, La Peña, Cuesta del Cura e Indidura.

En el área existen algunas fallas inversas, que afectan a las estructuras ubicadas en las Sierras de Guadalupe de las Corrientes, dando lugar a la formación de cabalgaduras, en las que se encuentran involucradas las formaciones Cupido y La Peña, las cuales cabalgan al Cretácico Superior, asimismo es posible inferir cabalgaduras en los gruesos paquetes de rocas clásticas de la Formación Caracol.

Se han observado al menos cuatro direcciones principales de sistemas estructurales (pliegues, fallas y fracturas) con las direcciones NW 50° SE, E-W, NE-SW y NW-SE.

4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO:

Para determinar la geología del subsuelo se utilizó la información obtenida de los reconocimientos geológicos superficiales y los datos litológicos disponibles y la interpretación geológica-estructural que se realizó de la zona.

Se reportan cinco secciones representativas de la zona donde se ubica el acuífero Guadalupe de las Corrientes.

Sección I-I Con una extensión de unos 23 kilómetros y orientación sensiblemente NE-SE, inicia en las faldas de la Sierra de Guadalupe de las Corrientes y aproximadamente 12 km al noroeste del poblado de Grever (Purísima), posteriormente pasa al norte de esta población y termina aproximadamente a 11 km al este de dicha población y cerca de la laguna de las Viboras. La sección de aproximadamente 400 m de profundidad muestra unidades litológicas de carácter sedimentario pertenecientes a la Formación Cuesta del Cura en la parte más inferior, sobreyaciendo a ella en el orden siguiente se presentan las formaciones Indidura y Caracol con espesores diversos; de igual manera, sobreyaciendo a la Formación Caracol y hacia el centro de la sección se presenta un paquete de la Formación Opal que además que aflora y que se presenta con una longitud del orden de 14 km y espesor aproximado que varía desde 10 m en sus extremos hasta aproximadamente 180 m hacia el centro de la sección y cerca de donde se ubica el poblado de Grever (Purísima), esta limitado lateralmente por la Formación Caracol; dentro de la Formación Opal se aprecia que existen aprovechamientos subterráneos para explotación de agua subterránea; en forma aislada y hacia los extremos de esta sección se observa una delgada capa de aluvión del orden de 10 m de espesor.

Sección II-II': Con una extensión aproximada de 27.5 kilómetros y orientación NW-SE, inicia aproximadamente en las faldas de la sierra de Guadalupe de las Corrientes y aproximadamente a 13 km del poblado Estación La Colorada, posteriormente pasa al

norte de esta población y termina a unos 3.5 km al noroeste del poblado La Cruz. La sección muestra relaciones litológicas que varían desde unos 600 m de profundidad en su inicio hasta unos 350 m al final de la sección. A unos dos kilómetros del inicio de la sección se observa propiamente parte del acuífero emplazado en rocas sedimentarias de la Formación Caracol y que tienen permeabilidades de media a baja, esta formación se extiende en su horizontal en unos 8 km, después de los cuales inicia la Formación Opal donde se emplaza el acuífero ubicado propiamente dentro del Valle, esta formación se extiende sobre esta sección una longitud del orden de 17.5 km con espesores del orden de 200 m y en menor cantidad hacia el final de la sección donde el espesor es de unos cuantos metros; subyaciendo a esta formación se encuentran rocas sedimentarias de la Formación Caracol hasta la base de la sección.

Sección III-III': Con una extensión del orden de 23 kilómetros con orientación SW-NE, inicia en las cercanías de Lomas Huizachal y termina hacia el este del poblado Guadalupe de las Corrientes; esta sección muestra las relaciones litológicas hasta una profundidad del orden de 110 m a 150 m, asimismo, se observa que desde principios de la sección aflora la Formación Caracol y continua en el subsuelo hasta una distancia de aproximadamente 5 km, subyaciendo a una delgada capa de aluvión, en esta área la Formación Caracol presenta un acuífero que es explotado a través de pozos profundos y que en ocasiones algunos de ellos, como los denominados Las Adjuntas y La Minilla atraviesan esta unidad hasta llegar y penetrar en la Formación Indidura; en esta misma sección y después de los primeros 8 km se detectó una unidad de tobas riolíticas que se extiende sobre la sección aproximadamente 8.5 km, con espesor que varía desde unos cuantos metros hasta una profundidad máxima de 60 m, donde se encuentran pozos profundos; las tobas riolíticas sobreyacen en principio a la Formación Indidura en unos 2 km de longitud, donde también se encuentran perforados algunos pozos que alcanzan a esta última formación. Posteriormente las tobas riolíticas sobreyacen a rocas de la Formación Cuesta del Cura en una longitud del orden de 2 km, y finalmente sobreyacen a la Formación Caracol en el resto de toda la sección. Esta última unidad llega a aflorar hacia la parte noreste de la sección. Los depósitos aluviales sólo se detectaron al principio de la sección con una delgada capa del orden de 5 y hasta 10 m.

Sección IV-IV'. Se presenta con una longitud de unos 15 kilómetros y orientación sensiblemente SW-NE, se localiza hacia la parte sur de la zona de estudio e inicia al norte y cercanías de Potrero La Florida y termina a unos 4 km al noroeste del poblado de Tierra y Libertad la sección presenta una profundidad del orden de 300 m. Prácticamente en los primeros 6 km de donde inicia la sección, se aprecia que aflora la Formación Caracol con un espesor del orden de 100 a 190 m a esta unidad se aprecia que le subyace la Formación Indidura. Hacia el centro de la sección en una longitud de unos 6.5 km se observan que afloran tobas riolíticas con espesores variables y alcanzan valores del orden de 90 m, en esta unidad se tienen pozos que llegan a profundidades que traspasan esta unidad y que penetran en la Formación Caracol que subyace y confina lateralmente a las tobas riolíticas; debajo de la Formación Caracol se presenta la Formación Indidura.

Sección V-V'. Esta sección tiene una longitud aproximada de 75 km, con una orientación general de norte a sur, efectuando algunos cambios de dirección durante su

desarrollo, pero con la tendencia antes señalada; esta sección tiene tendencia de pasar hacia la mitad de la zona de estudio; se inicia en las inmediaciones de la Laguna San Juan de Ahorcados y con dirección sensiblemente hacia el suroeste, para pasar al oeste del poblado de Grever (Purísima) y cambiar su orientación hacia una dirección más marcadamente hacia el suroeste, de manera que pasa a unos 3 km al oeste de la población Estancia Colorada y llegar hasta las cercanías de la población de Guadalupe de las Corrientes; posteriormente cambia de dirección en sentido vertical norte sur para en un desarrollo de unos 32 km hasta llegar a las inmediaciones de la Laguna Honda ubicada cerca del límite del acuífero.

En el inicio de la sección se aprecia que aflora la Formación Caracol, en una extensión de unos 3 km, su espesor es del orden de unos 100 m en donde le subyacen la Formación Indidura y a esta le subyace la Formación Cuesta del Cura. Después de los primeros 3 km la sección muestra que aflora la Formación Opal en un gran paquete que tiene una extensión sobre la sección del orden de 36 km y con espesores variables y que hacia la parte media de esta longitud y cercana a la población de Estancia Colorada alcanza una profundidad de unos 200 m, es esta área donde se considera que el acuífero presenta una permeabilidad media a alta, alta y media a baja, asimismo se tienen emplazados pozos que llegan en ocasiones a traspasar esta unidad hasta penetrar en la Formación Caracol que presenta espesores variables y del orden de 100 y 200 m en algunos sitios; en la misma sección y hacia las inmediaciones de la población Guadalupe de las Corrientes se aprecia que afloran tobas riolíticas con espesores del orden de unos 50 m y con una extensión sobre la sección de unos 4.5 km, en esta parte del acuífero se observan pozos que lo explotan, subyacen a estas rocas la Formación Caracol que presenta espesores del orden de 200 m, posteriormente la sección muestra afloramiento tanto de las Formaciones Caracol que tiene espesores de hasta 200 m, como de las tobas riolíticas con espesores variables y que llegan hasta unos 120 m; en general a la Formación Caracol le subyace la Formación Inidura donde se aprecia que tienen espesores de 100 y 150 m, debajo de esta última formación se encuentra la Formación Cuesta del Cura, de permeabilidades que se considera de media a baja y bajas; dentro de las Formaciones Caracol y de los materiales de tobas riolíticas se aprecian que se han perforado pozos para explotación del acuífero.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 TIPO DE ACUÍFERO

El sistema de aguas subterráneas del área se desarrolla en materiales granulares, rocas clásticas y vulcanoclásticas de permeabilidad media a alta; así como por rocas sedimentarias Cretácicas que se encuentran expuestas en zonas topográficamente bajas y que presentan una zona de mayor intemperismo y fracturamiento, propiciando que los materiales presenten permeabilidades de medias a bajas.

Este sistema que se considera en forma genérica de tipo libre, se localiza hacia el centro del área presenta límites laterales y profundidad controlados principalmente por

estructuras geológicas que dieron lugar a depresiones tectónicas, en donde los materiales presentan espesores y características geológicas e hidrogeológicas diferentes.

La zona de acuífero que comprende materiales granulares y rocas clásticas, es de buena productividad con amplia continuidad lateral y a profundidad con espesores del orden de 200 m en donde se alojan una gran cantidad de aprovechamientos subterráneos; en cuanto a las zonas donde se tienen materiales vulcanoclásticos (tobas riolíticas) el acuífero presenta buena productividad, su continuidad lateral es limitada y presenta espesores que en general pueden estar entre 80 y 120 m, asimismo esta zona se encuentra explotada por pozos de buen rendimiento. Los materiales pertenecientes a rocas sedimentarias emplazados en el acuífero, correspondientes a la Formación Caracol, correspondientes a lutitas y areniscas intemperizadas y fracturadas, presentan una permeabilidad media a baja, en esta zona el acuífero es de baja productividad con extensión limitada lateralmente así como a profundidad, siendo explotado en forma aislada por aprovechamientos subterráneos de bajo rendimiento.

Dentro del sistema donde se emplaza el acuífero se tienen zonas con rocas sedimentarias correspondientes a lutitas, areniscas y calizas sanas y poco fracturadas y calizas que pertenecen a las distintas formaciones: Caracol, Indidura, Cuesta del Cura y Cupido, que tienen permeabilidades bajas; en general se consideran materiales de muy bajo potencial geohidrológico, que llegan a actuar como zonas de captación, conduciendo el agua al subsuelo y alimentando al acuífero.

La Formación Nazas se considera como el basamento del acuífero, corresponde a rocas volcánicas, lutitas, limolitas y areniscas compactas poco fracturadas de tipo impermeable.

5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

De información correspondiente a 15 pruebas de bombeo⁽¹⁰⁾ realizadas en etapa de abatimiento y/o recuperación de corta duración, en pozos distribuidos en las áreas de flujo importantes, se efectuaron 7 en etapa de abatimiento y recuperación, 4 en etapa de abatimiento y 4 en etapa de recuperación.

De acuerdo al comportamiento de la curva tiempo versus abatimiento en las 15 pruebas de bombeo y con el marco geológico del área, se pudo identificar que el comportamiento hidráulico de todas las pruebas corresponden al de un acuífero libre en medio granular, aun cuando en algunas se llega a manifestar un comportamiento de tipo semiconfinado o bien de una aportación de la parte inferior de un posible medio fracturado.

¹⁰ Op. Cit. CNA 2000. "Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del estado de Zacatecas....Realizado Por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C. V.

Los resultados de las pruebas de bombeo indican valores de transmisividad comprendidos entre $0.68 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ a $46.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$; los caudales específicos que se presentan en los pozos en los cuales se realizaron las pruebas de bombeo oscilaron entre 0.19 lps/m a 8.6 lps/m.

5.3 PIEZOMETRÍA

En la zona se cuenta con datos de piezometría del acuífero Guadalupe de las Corrientes, correspondientes a las siguientes fechas: septiembre 1995, septiembre 1996, septiembre y noviembre de 1996, abril 1997 y octubre 2000.

En la tabla siguiente se muestra el número de pozos con datos de niveles estáticos para las diferentes fechas que se dispone de información piezométrica, y donde se observa que del total de pozos que disponen de información para el año 2000, solamente en unos 24 pozos se puede obtener la evolución del nivel estático para el período 1995-2000, y para periodos entre los años 1996-2000 y 1997-2000 la evolución se puede obtener con un numero mayor de pozos, que lo hace más representativo.

Tabla No. 2 Pozos que cuentan datos de niveles estáticos

Fecha	Número de pozos con datos de niveles estáticos
Septiembre 1995	24
Septiembre 1996	37
Sep-Nov. 1996	19
Abril 1997	31
Octubre 2000	53

5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De las mediciones de la profundidad a los niveles estáticos, efectuadas en el período 1995 a 2000 en el acuífero Guadalupe de las Corrientes, se observa que los niveles estáticos varían entre 8 a 75 m, así por ejemplo para el año 2000 las menores profundidades comprendidas entre 5 y 15 m se localizan en las inmediaciones de las poblaciones Guadalupe de las Corrientes y de Cañitas de Felipe Pescador, valores entre 15 a 30 m se presentan en la parte sur del poblado Guadalupe de las Corrientes y alrededores de El Mezquitillo, así como en él área de los alrededores del poblado Pozo Hondo y al suroeste de Cañitas de Felipe Pescador. Las profundidades de los niveles estáticos entre 35 y 50 m se aprecian hacia la parte sur del límite del acuífero zona donde afloran las tobas riolíticas; así mismo se presentan estas profundidades en las zonas que comprenden las poblaciones Crever (Purísima)- Estación La Colorada- Estancia Colorada, Las máximas profundidades del orden de 70 m se localizan al sur de la población de Estancia Colorada, como se muestra en la figura 3, de curvas de igual profundidad al nivel estático octubre 2000.

5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de las curvas del nivel estático octubre 2000 que se muestra en la figura 4, los mayores flujos subterráneos provienen de la zona sur del acuífero, así como de algunas partes altas del oeste y este hacia el centro del valle, donde se han formado varios conos de abatimiento, debido a la explotación del acuífero, evitando prácticamente las salidas de agua subterránea hacia otras latitudes y fuera de este acuífero; en forma local también se observan conos de abatimiento en la parte sur y límites del acuífero ubicado al noroeste del poblado Tierra y Libertad e inmediaciones de una serie de lagunas existentes en esa zona y cercanías de Los Hoyos y Maravillas.

Las mayores altitudes de los niveles estáticos del orden de 2020 msnm se ubican al suroeste de Cañitas de Felipe Pescador, donde el flujo subterráneo tiene una dirección preferencial de suroeste a noreste para dirigirse al centro del valle, siguiendo en orden de importancia por su altitud se tiene la curva 2010 msnm que se localiza al sur y este de la localidad Pozo Hondo, donde el flujo subterráneo tiene una trayectoria de sur a norte; las menores altitudes que se presentan en los conos de abatimiento existentes en el área comprendida hacia la zona central del acuífero, entre los poblados Crever (Purísima) y sur de los poblados Estación la Colorada y Estancia la Colorada, son del orden de 1800 a 1830 msnm, estos conos como se mencionó anteriormente evitan que exista una salida de importancia hacia otro acuífero.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con base en el análisis y evaluación realizada con la información piezométrica de los años 1995 a 2000 se observa que el acuífero Guadalupe de las Corrientes presenta abatimientos de los niveles estáticos, provocados por una sobreexplotación del acuífero, de acuerdo a lo anterior se tiene que el período que cuenta con mayor número de datos para cuantificar y representar la variación de los niveles estáticos corresponde a los años 1996-2000, de acuerdo a esta información se tiene un abatimiento promedio del orden de -1.6 m/año, asimismo la figura 5 muestra la configuración de curvas de igual evolución 1996-2000, donde se puede observar tres grandes áreas de abatimiento, donde las mayores tienen valores entre 0 y -15 m, los valores más altos son hacia el centro del cono en forma más local, dichas variaciones se localizan en las inmediaciones de las áreas comprendidas entre los poblados Crever (Purísima)- Estación la Colorada y Estancia la Colorada; abatimientos entre 0 y -5 m en el período 1996-2000 se encuentran en la parte sur del acuífero, el valor promedio de abatimiento para este período es del orden de -6.5 m, es decir, aproximadamente -1.6 m/año. Lo que indica que del acuífero se extrae más de los que recibe.

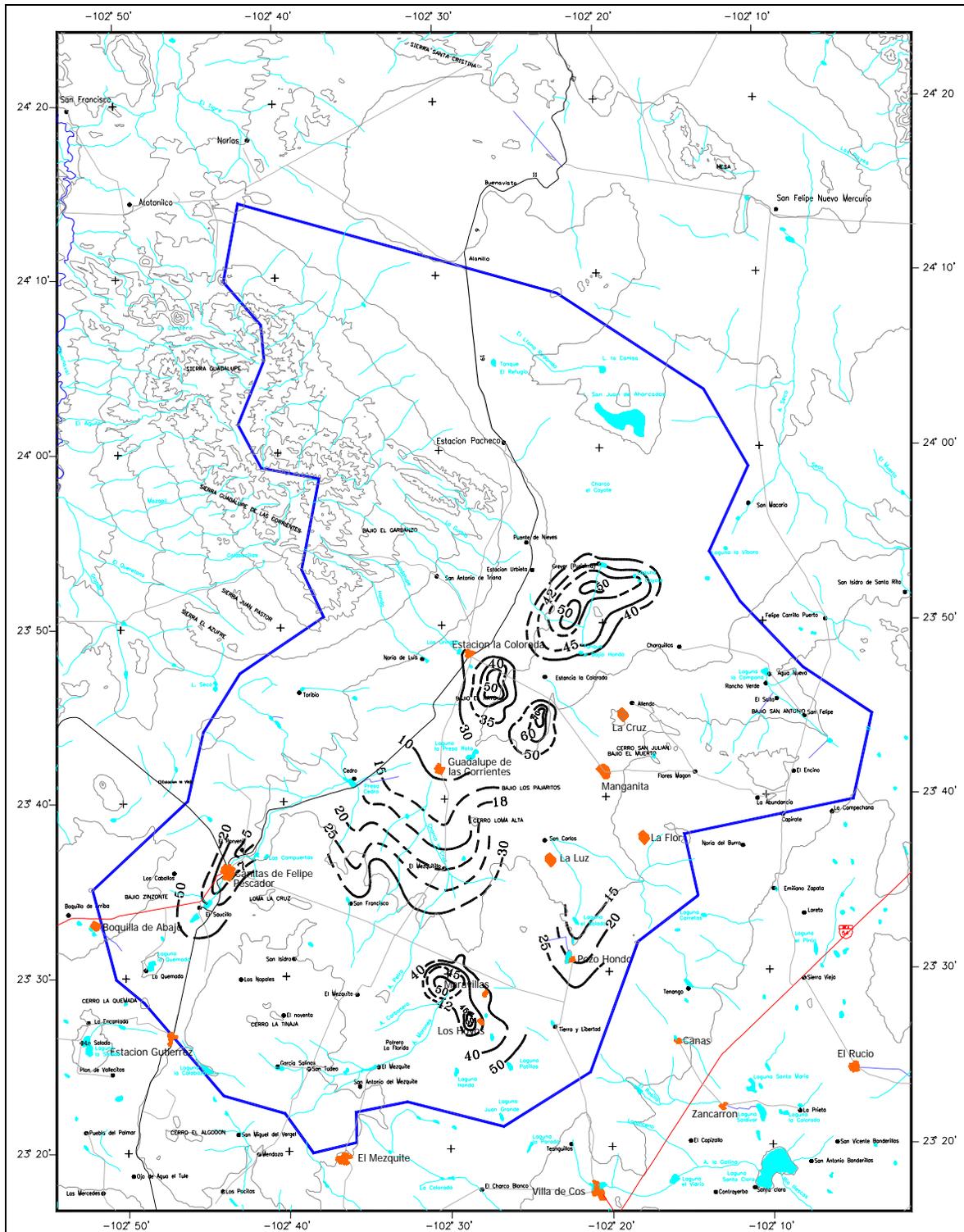


Figura No. 3 Curvas de igual profundidad al nivel estático, octubre 2000

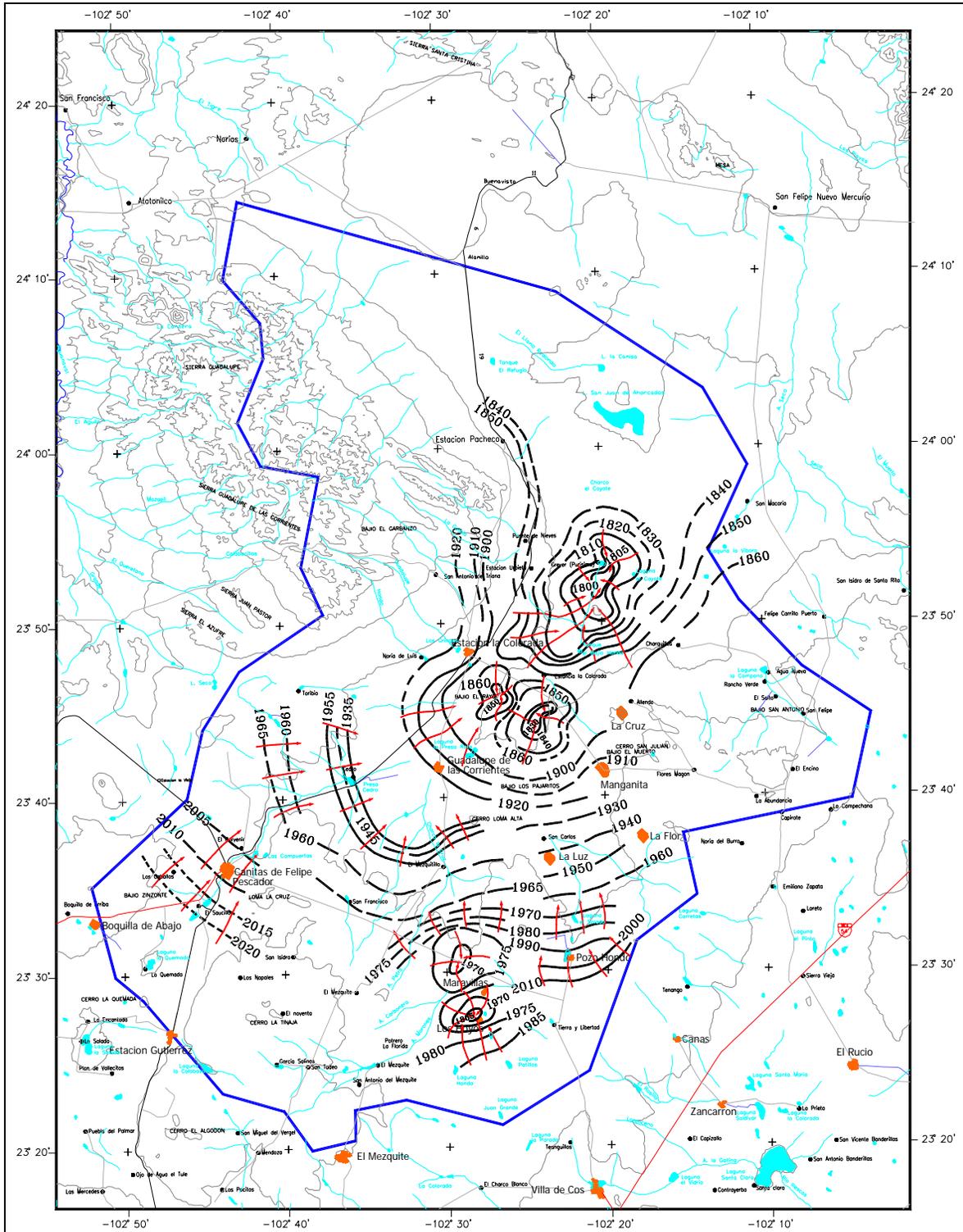


Figura No. 4 Curvas de igual elevación del nivel estático, octubre 2000

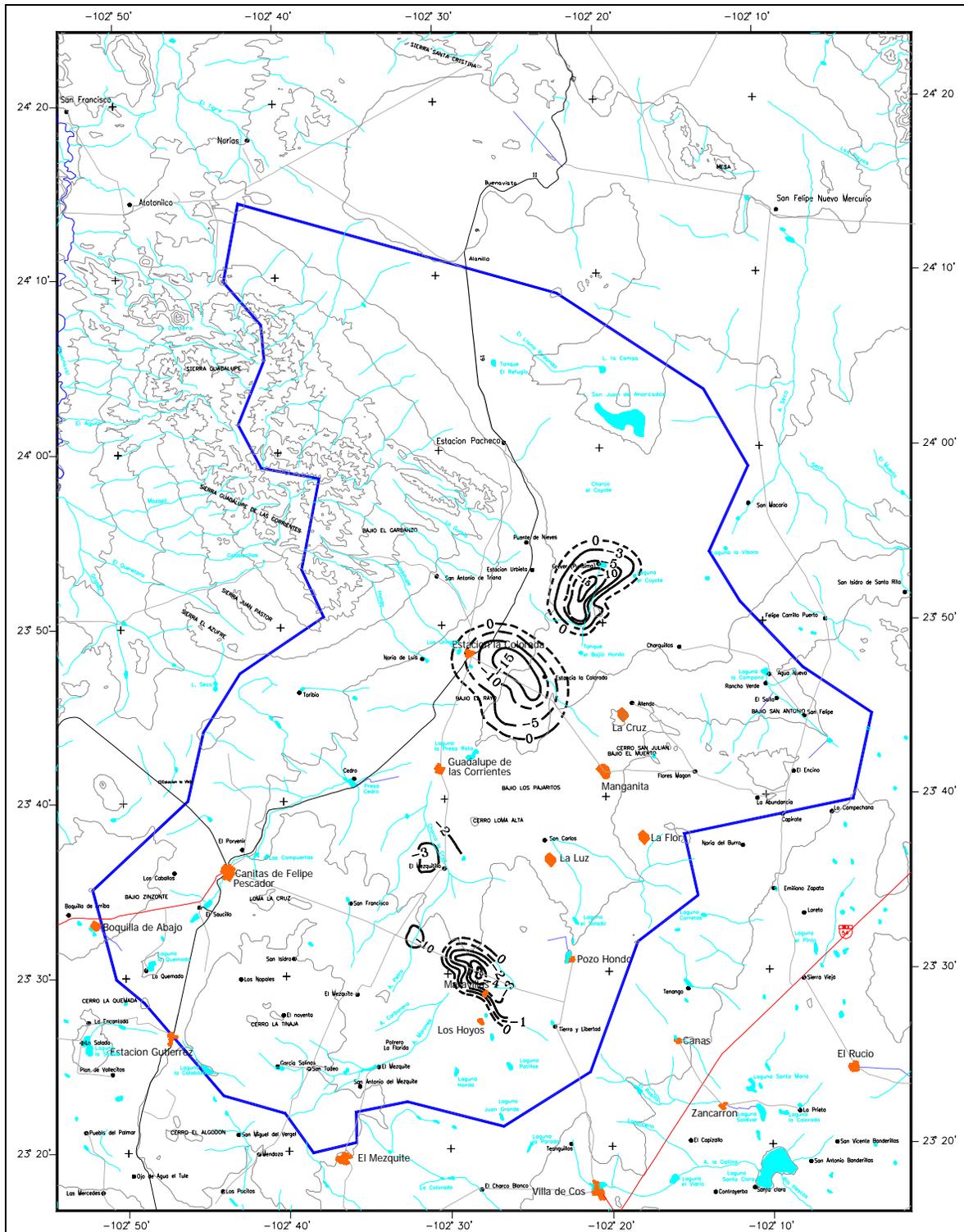


Figura No. 5 Curvas de igual evolución del nivel estático, 1996-2000

5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Con base en 20 muestras de agua subterránea, obtenidas en distintos puntos distribuidos en el área donde se localiza el acuífero Guadalupe de las Corrientes, se realizaron análisis físico-químicos; dentro de los elementos, compuestos y parámetros que se consideraron en el estudio fueron: Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl, sólidos totales disueltos, pH, y conductividad eléctrica, estos dos últimos fueron medidos durante el recorrido en campo⁽¹¹⁾. Con los resultados de los análisis efectuados a esas muestras se elaboraron configuraciones para conocer las concentraciones en forma espacial de diversos elementos, asimismo, para la interpretación de los resultados se utilizaron diagramas hidrogeoquímicos y gráficas que muestran relaciones iónicas.

De acuerdo a lo anterior se observa que las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían entre 368 y 1757 mg/l, localizándose concentraciones entre 400 y 500 mg/l hacia el límite sur del acuífero e inmediaciones de los poblados de Maravillas y Los Hoyos; valores de 600 a 700 mg/l se observan hacia el oeste y sur de la población Guadalupe de las Corrientes, y valores de 1000 y hasta 1500 mg/l se observan en la parte centro-este del valle comprendido en un área entre Crever (Purísima) y Estancia la Colorada, el máximo valor de 1757 mg/l corresponde a un aprovechamiento subterráneo localizado en las cercanías del poblado de Agua Nueva.

La configuración que representa concentraciones de sodio en el acuífero indica que con base en los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos practicados a las muestras antes indicadas, sus valores oscilan entre 59 y 544 mg/l, correspondiendo concentraciones entre 60 y 174 en la porción sur de la zona, para los alrededores de Guadalupe de las Corrientes sus concentraciones se encuentran aproximadamente entre 100 y 150 mg/l y para la parte central del valle donde se encuentran las poblaciones Crever (Purísima)- Estación la Colorada-Estancia Colorada, los valores de sodio son del orden de 200 a 400 mg/l, con algunos valores locales del orden de 118 mg/l correspondiente a una muestra de agua subterránea obtenida en un aprovechamiento ubicado a unos 6 km al noreste de Estación la Colorada, valores máximos como 471 mg/l se encontraron unos 7 km al sur de Estancia la Colorada y de 453 en las cercanías y norte de Crever (Purísima), el valor de 544 mg/l corresponde a un manantial ubicado en el área denominada de San Juan de los Ahorcados.

Las concentraciones de sulfatos en el agua subterránea se manifiestan en el acuífero Guadalupe de las Corrientes con valores aproximados entre 50 y 100 mg/l hacia la parte sur y límite de éste, valores de 100 a 200 mg/l se encuentran en las cercanías del poblado El Mezquitillo; en los alrededores de la población Guadalupe de las Corrientes dichas concentraciones oscilan entre 150 y hasta 350 mg/l; y en el área de la parte central del valle y comprendida entre Crever (Purísima)-Estación La Colorada- Estancia las concentraciones de sulfatos en el acuífero son del orden de 100 a 700 mg/l.

¹¹ Op. Cit. CNA 2000. "Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del estado de Zacatecas....Realizado Por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C.V.

Asimismo, con la utilización del Diagrama de Piper y los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos practicados a las muestras de agua subterránea de esta zona, se observa que existen los siguientes tipos de agua: “ Agua Tipo I y “Agua Tipo II”, representativos de las familias Sódico-Bicarbonatadas y Sódico –Sulfatadas respectivamente.; también se observan muestras clasificadas como Sódico Mixta (bicarbonatadas y/o sulfatadas) que corresponden a la zona de Guadalupe de las Corrientes.

El “Agua Tipo I” corresponde a aprovechamientos que explotan el acuífero en la porción sur del acuífero e inmediaciones de los poblados Maravillas y Los Hoyos, también conocida como zona Maravillas; el “Agua Tipo II” se encuentra generalmente en la región norte, en la parte conocida como Crever (Purísima) -Bajío de Salas.

La calidad del agua desde el punto de vista de agua potable, considerando la norma NOM-127-SSA1-1994 “ Salud ambiental, agua para uso consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización” establecida el 18 de enero de 1996 en el Diario Oficial de la Federación Mexicana, y los resultados obtenidos del análisis físico-químico efectuado a muestras de agua subterránea de aprovechamientos localizados en el área, se observa que las muestras representativas de las zonas conocidas como de Crever (Purísima)–Bajío de Salas sobrepasan los límites establecidos para STD, sodio y sulfatos, por tanto no son aptas para consumo humano, asimismo se tiene que una muestra de un manantial ubicado en el área denominada Laguna San Juan de Ahorcados, rebasa la norma para cloruros; las muestras de las zonas aledañas a Guadalupe de las Corrientes en cambio se mantienen bajo los límites establecidos para que sean aptas para agua potable, en el área sur del acuífero e inmediaciones de la zona Maravillas prácticamente el agua se puede considerar apta para consumo humano.

Desde el punto de vista de clasificación de agua para riego y considerando los resultados efectuados a las muestras de agua subterránea mencionadas, así como la utilización del Diagrama de Wilcox se tiene que el agua correspondiente a muestras obtenidas en la zona sur del acuífero, y aquellas ubicadas en las porciones altas cercanas de las zonas de recarga, sus aguas se clasifican como C_2-S_1 , C_3-S_1 , y C_3-S_2 , es decir, son aguas de salinidad media a alta y con bajo a medio riesgo por sodio.

En esta región se recomiendan moderados grados de lavados de suelos y tomar precauciones en terrenos de textura fina con cierta capacidad de cambio catiónico y sobre todo cuando se tengan cultivos sensibles al sodio.

Las aguas de la zona norte se clasifican con riesgo de salinidad alta muy alta (C_3 y C_4) y con peligro de alcalinización de medio a alto (S_2 y S_3), lo que implica que el agua en esta área es poco apropiada para riego en condiciones ordinarias, por lo que se deben tomar las medidas necesarias para su utilización en este rubro.

En general la configuración de los sólidos totales disueltos del agua subterránea llega a indicar que los valores de las concentraciones, en la zona central del valle, tienden a incrementarse hacia las áreas más explotadas del acuífero.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo al inventario de aprovechamientos subterráneos realizado durante el estudio del año 2000⁽¹²⁾ en la zona Guadalupe de las Corrientes existen del orden de 150, de los cuales 136 son pozos profundos, 10 norias y 4 manantiales. Del total de aprovechamientos registrados 128 están activos y 22 inactivos.

De los aprovechamientos activos aproximadamente el 80% (103 aprovechamientos) son de uso agrícola, el 12 % (15 aprovechamientos) de uso pecuario y 8 % (10 aprovechamientos) de uso doméstico.

De los 128 aprovechamientos activos se reporta una extracción de agua subterránea del orden de 17.2 hm³ anuales, de los cuales del orden de 16.8 hm³ anuales corresponden al uso agrícola, 0.2 hm³ anuales se destinan para uso de agua potable y 0.03 hm³ anuales se utilizan en el uso pecuario; la diferencias entre este volumen y el total que son del orden de 0.1 corresponde a la descarga natural de los manantiales que no tienen un uso definido a excepción de 7, 300 m³/año que son utilizados para uso pecuario.

De acuerdo a lo anterior se observa que en términos generales el agua subterránea se utiliza en su mayoría para uso agrícola.

Por otro lado de acuerdo con estimaciones realizadas en la CNA, Gerencia de Aguas Subterráneas, actualmente la extracción de agua subterránea es del orden de 35.3 m³/año

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Ecuación del balance

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:

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

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:

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

¹² Op. Cit. CNA 2000. "Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del estado de Zacatecas....Realizado Por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C.V.

7.1 ENTRADAS

Las entradas al acuífero Guadalupe de las Corrientes 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 provenientes de las partes altas, así como de la que entran al sistema por la parte sur, tanto del área Cañitas de Felipe Pescador como de las zonas denominadas Maravillas y Pozo Hondo.

La recarga natural por lluvia en el área de valle con una extensión de aproximadamente 1450 km² resultó del orden de 8.9 hm³/año.

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, prácticamente no existe recarga debido a fugas en los sistemas del servicio público urbano Para el acuífero que nos ocupa, considerando la recirculación del bombeo se estimo en 2.4 hm³/año.

7.1.3 Flujo Subterráneo horizontal

Parte de las precipitaciones pluviales que se presentan en las zonas altas del área se infiltran 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, por otro lado se tienen entradas provenientes por la zona sur.

La recarga del acuífero por flujo horizontal de aguas subterráneas ocurre principalmente en la parte sur y oeste y en menor proporción por el este del área, como se aprecia en la figura 4, de curvas de igual elevación del nivel estático del año 2000. Con base en esta configuración se seleccionaron 19 canales de flujo: 10 el sur (de la celda 1 a 10), 5 al suroeste (de celda 11 a 15) y 2 al oeste (celda 16 y 17) y 2 por el este (celda 18 y 19). En cada uno de estos canales se aplica la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de los 19 canales. En la tabla 3 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total del orden de 1.7 hm³/año.

Donde

$$Q = T * A * i$$

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

A: Ancho (m) del canal de flujo

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

7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeos de agua subterránea principalmente a través de pozos.

Tabla No. 3 Entradas de agua subterránea por flujo horizontal al acuífero Guadalupe de las Corrientes

CELDA	ANCHO	DISTANCIA ENTRE EQUIPOTENCIALES	Diferencia de cargas h1-h2	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD (T)	CAUDAL	VOLUMEN
	(B)	(L)		(i)		(Q)	
	m	m	m		m ² /s	m ³ /s	hm ³ /año
1	1500	2400	5	0.0021	1.00E-03	0.003	0.10
2	1900	1900	5	0.0026	1.00E-03	0.005	0.16
3	1600	1800	5	0.0028	1.00E-03	0.004	0.14
4	1700	1800	5	0.0028	1.00E-03	0.005	0.15
5	1300	1500	10	0.0067	9.00E-05	0.001	0.02
6	1500	1500	10	0.0067	9.00E-05	0.001	0.03
7	1700	1500	10	0.0067	9.00E-05	0.001	0.03
8	1400	1300	10	0.0077	9.00E-05	0.001	0.03
9	1400	1200	10	0.0083	9.00E-05	0.001	0.03
10	1400	1200	10	0.0083	9.00E-05	0.001	0.03
11	2200	2400	5	0.0021	1.00E-03	0.005	0.14
12	2200	2400	5	0.0021	1.00E-03	0.005	0.14
13	2200	2500	5	0.0020	1.00E-03	0.004	0.14
14	2200	2500	5	0.0020	1.00E-03	0.004	0.14
15	2200	2500	5	0.0020	1.00E-03	0.004	0.14
16	1200	2400	20	0.0083	1.00E-04	0.001	0.03
17	1300	2400	20	0.0083	1.00E-04	0.001	0.03
18	4500	2000	10	0.0050	9.00E-05	0.002	0.06
19	12000	2000	10	0.0050	9.00E-05	0.005	0.17
Total							1.73

7.2.1 Evapotranspiración

En el área del acuífero Guadalupe de las Corrientes la evapotranspiración sólo tiene lugar en algunas pequeñas áreas ubicadas en las cercanías de los poblados Guadalupe de las Corrientes y Cañitas de Felipe Pescador, en el resto del acuífero en general los niveles estáticos se encuentran a una profundidad mayor de 10 m, valor aproximado desde la superficie, donde llega haber influencia de este fenómeno, de acuerdo a lo anterior el valor de evapotranspiración se puede considerar como despreciable o nulo.

7.2.2 Descarga natural

Las descargas naturales que pudieran estar representadas por flujo subterráneo horizontal no existen, debido a que en general se han formado conos de abatimiento que impiden prácticamente dicha salida, por otro lado los pocos manantiales localizados en la zona de este acuífero presentan un volumen de descarga muy reducido, lo cual se puede considerar no significativo con respecto a las descargas por bombeo.

7.2.3 Bombeo

La extracción de agua subterránea ha variado con el tiempo y de acuerdo con la estimación reciente, dicha extracción efectuada por bombeo es del orden de 35.3 hm³/año. Este volumen se emplea en diversos usos, siendo el más importante el destinado a los usos agrícolas y en mucha menor proporción los otros usos.

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

En el acuífero Guadalupe de las Corrientes no se presenta una salida significativa por flujo horizontal de aguas subterráneas.

7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga total de 13.0 hm³/anuales, y una descarga total de 35.3 hm³/anuales, por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero Guadalupe de las Corrientes es del orden de -22.3 hm³/anuales.

En la Tabla 4 se resume el balance de aguas subterráneas en el acuífero Guadalupe de las Corrientes

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:

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

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual, calculada asciende a 13.0 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 0.0 hm³/año

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

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

Para el acuífero Guadalupe de las Corrientes al no existir descarga natural comprometida entonces el rendimiento permanente es igual a 13.0 hm³/año.

8.4 VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 41.182675 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 no existe volumen disponible en el acuífero Guadalupe de las Corrientes.

$$-28.182675 = 13.000000 - 0.0 - 41.182675$$

Tabla No. 4 Balance de aguas subterráneas en el acuífero Guadalupe de las Corrientes, Zac.

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO GUADALUPE DE LAS CORRIENTES, ZAC.			
Área total del acuífero		km ²	4,688
RECARGA			
Área de valle		km ²	1,450
Coefficiente	I ₁		0.02
Precipitación		Mm/año	307
Recarga natural por lluvia		hm ³ /año	8.9
Entradas horizontales	Eh	hm ³ /año	1.7
Total de recarga natural		hm ³ /año	10.6
Público Urbano	I ₂		0.00
Retorno del uso Público Urbano		hm ³ /año	0.0
Agrícola más otros agua subterránea	I ₃		0.07
Retorno de riego, agua subterránea		hm ³ /año	2.4
Retorno total			2.4
RECARGA TOTAL	Rt	hm ³ /año	13.0
DESCARGA			
Salidas horizontales	Sh	hm ³ /año	0.0
Caudal base	Q _{base}	hm ³ /año	0.0
Evapotranspiración		hm ³ /año	0.0
Extracción total bruta		hm ³ /año	35.3
Agrícola		hm ³ /año	34.0
Público urbano		hm ³ /año	1.0
Industrial		hm ³ /año	
Otros		hm ³ /año	0.3
DESCARGA TOTAL		hm ³ /año	35.3
Minado	DA	hm ³ /año	-22.3
Coefficiente de almacenamiento	S		0.01
Volumen drenado (m/año)	Vd	hm ³ /año	2,320
Abatimiento m/año		m	1.60

9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

Anuario Estadístico, Zacatecas, 2001, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Carta fisiográfica 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.

Compañía Mexicana de Aerofoto S.A. de C. V. “Estudio Geofísico en diversos municipios del estado de Zacatecas”. En este estudio se presentan los resultados de sondeos eléctricos realizados en algunas localidades de la zona de estudio.

CNA 2000. “Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del estado de Zacatecas (acuífero Guadalupe de las Corrientes), Contrato CNA-SI-AS/ZAC 2000. Realizado Por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C. V.

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

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.

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.

SARH 1979 “Informe final del estudio de prospección y levantamientos geológicos en la zona de Guadalupe de las Corrientes, en el estado de Zacatecas” Contrato GZA 79-46-ED. Realizado por Constructora Pareya, S.A.