

ORTES LITOLÓGICOS

APROVECHAMIENTO No. 1



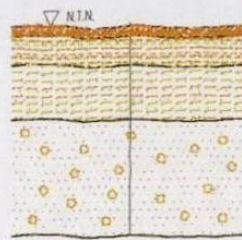
POZO DE OBSERVACIÓN
(POZO RANCHO TRINIDAD)






APROVECHAMIENTO No. 29



APROVECHAMIENTO No. 32



SIMBOLOGIA

-  Arcilla
-  Limo
-  Arcilla limosa con materia organica
-  Arena
-  Arena limosa
-  Gravos
-  Lutitas

COMPORTAMIENTO HIDRAULICO Y GEOQUIMICO
DEL ACUIFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE
PAREDÓN-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE
NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO

**FIGURA No. 13. CORTES LITOLÓGICOS DE
ALGUNOS POZOS LOCALIZADOS EN LA CUENCA**

4.4 Unidades Hidrogeológicas

Al igual que en la estratigrafía, se tienen sólo dos unidades hidrogeológicas compuestas por la litología del grupo Difunta y la unidad integrada por los depósitos aluviales.

La unidad del grupo Difunta se considera impermeable por su constitución predominantemente arcillosa. Sin embargo, el plegamiento de las rocas produjo un intenso fracturamiento que ha permitido el almacenamiento de agua en zonas locales, en donde las condiciones estructurales, litológicas y de fracturamiento han sido favorables para retener la escasa precipitación pluvial del área (manantiales La Virgen y El Antrisco). Esta unidad aflora en un 56 %, aproximadamente, de la superficie de estudio y constituye la mayoría de las estructuras del área.

La unidad que se considera permeable es la compuesta por los depósitos aluviales, los cuales poseen esta característica debido a la no-consolidación de sus componentes clásticos. Cubre un 44 % del área de estudio y presenta espesores de 20 a 60 m aproximadamente. Sin embargo, la escasa precipitación en esta zona es aprovechada por esta unidad, ya que se encuentra confinada en su parte inferior por las lutitas del grupo Difunta y por las serranías que vienen a formar el sinclinal, transformándolo en una cubeta de almacenamiento (plano N° 5).

4.5 Fallamiento Regional Inferido

Al analizar el funcionamiento hidrogeológico de la cuenca, todo pareciera indicar que el almacenamiento principal se produce por la recarga local de la precipitación hacia el aluvión; pero para el caso particular, se infiere que existe una comunicación de flujo subterráneo con otras cuencas, esto debido a la presencia de fallas y fracturas de dimensiones regionales que influyen de manera directa en la circulación y recarga del flujo subterráneo.

Una de las fallas regionales identificadas es la de San Marcos, la cual se localiza en la parte norte del bloque de Coahuila, dividiendo las cuencas de Parras y de La Popa (figura N° 14). El deslizamiento en estas estructuras es postulado o se manifiesta por

tener un acomodamiento proporcional de la abertura del Golfo de México durante la separación de Pangea (Gary y Chris, 1995).



Figura N° 14. Localización de la falla regional de San Marcos

Esta falla tuvo actividad en el Jurásico Tardío, como un estado previo, éste representó un cambio en el tipo o modelo estructural transversal a esta falla, con un pliegue apretado separado por estructuras contraídas hacia el sur y característicos pliegues gruesos de sal retraídos hacia el norte (Gary y Chris, 1995). El movimiento oscilatorio de sube y baja en esta falla, al mismo tiempo que cuando se depositaron evaporitas, en escala regional, pudo explicar porqué fue preferencialmente depositada la sal en la cuenca de la Popa, considerando también que la presencia o registro de rocas basálticas del bloque de Coahuila pudo tener una importante participación en determinar la forma de las cuencas de Parras y La Popa (figura N° 15).

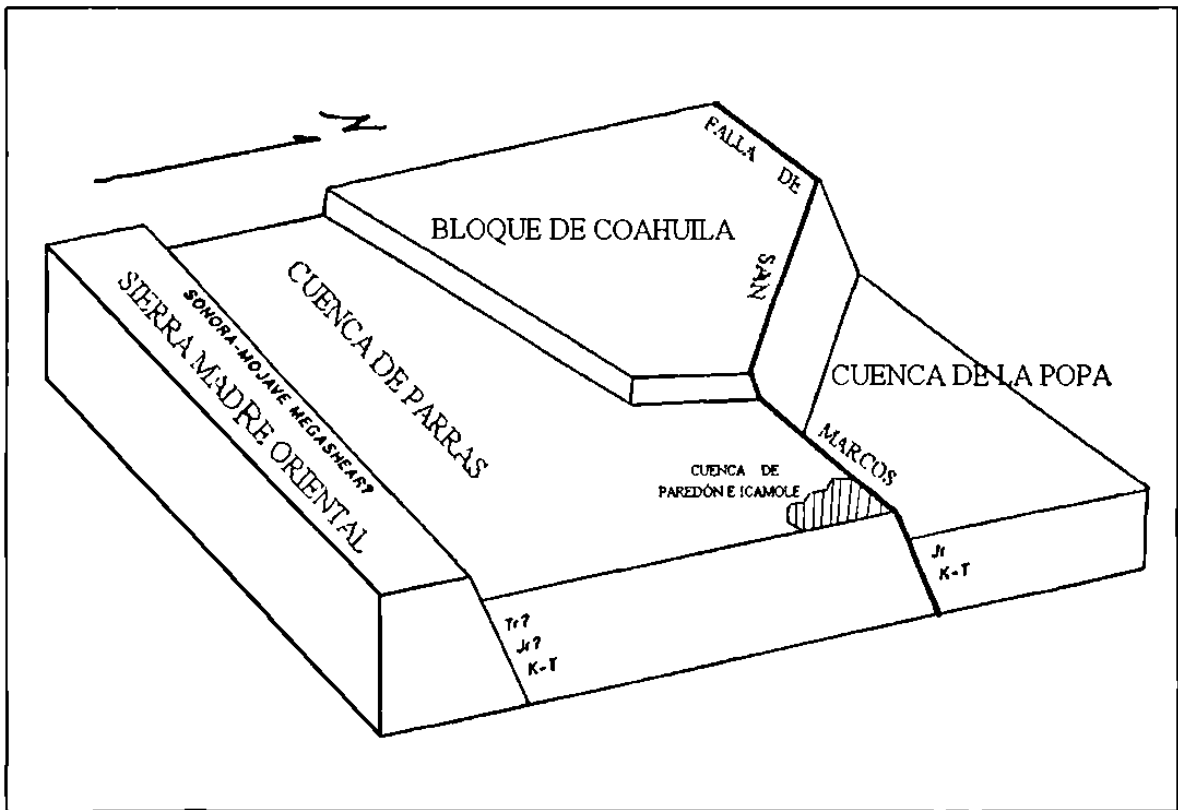


Figura N° 15. Esquema hipotético y representativo del posible graben formado por las estructuras geológicas a escala regional

Conocido el esquema general del desarrollo de la falla en la región, se realizó la interpretación geohidrológica correspondiente, la cual presume que la falla puede influir de manera directa en la recarga del acuífero que se aloja en la Cuenca de Paredón-Icamole, infiriendo una posible recarga paralela a dicha falla, en las cuencas aledañas por donde pasa, lo cual indicaría que se origina recarga en las estribaciones de las sierras La Paila, La Gavia, San Marcos y Sierra Pinta (figura N° 16).

Considerando lo anterior, queda establecido que una parte de la recarga subterránea del acuífero alojado en la Cuenca de Paredón-Icamole está en función del volumen de precipitación, escurrimiento e infiltración que se origine en las sierras paralelas a la falla de San Marcos.

Una de las observaciones realizadas en el campo y que ratifican la influencia de la recarga subterránea del acuífero, debido a la probable existencia de la falla, es la rápida recuperación del nivel estático registrado en los pozos de extracción ubicados en la franja de influencia inferida por donde pasa la falla, a pesar de la cercanía del río Salinas, con los pozos observados, los niveles registrados así como su recuperación han sido tomados en época de sequía cuando el río no registra ningún escurrimiento y aun así la recuperación del nivel estático en los pozos es en pocos minutos.

Es importante mencionar que debido a la presencia de manantiales con aguas azufrosas y termales, en el área de estudio, es muy probable que parte del agua que se infiltra y circula por la falla de San Marcos llegue a grandes profundidades (considerando que pueda haber otras fuentes y no únicamente esta falla) donde tenga contacto con temperaturas muy altas, originadas por la presencia de intrusivos que probablemente, su hipófisis esta vinculada a una cámara magmática (Rodríguez M. 1996), la cual hace que al circular el agua hacia la cámara, esta se transforme en vapor y al ascender provoque un intercambio de temperatura con las recargas superficiales, donde se registran temperaturas de 45 °C (figura N° 17).

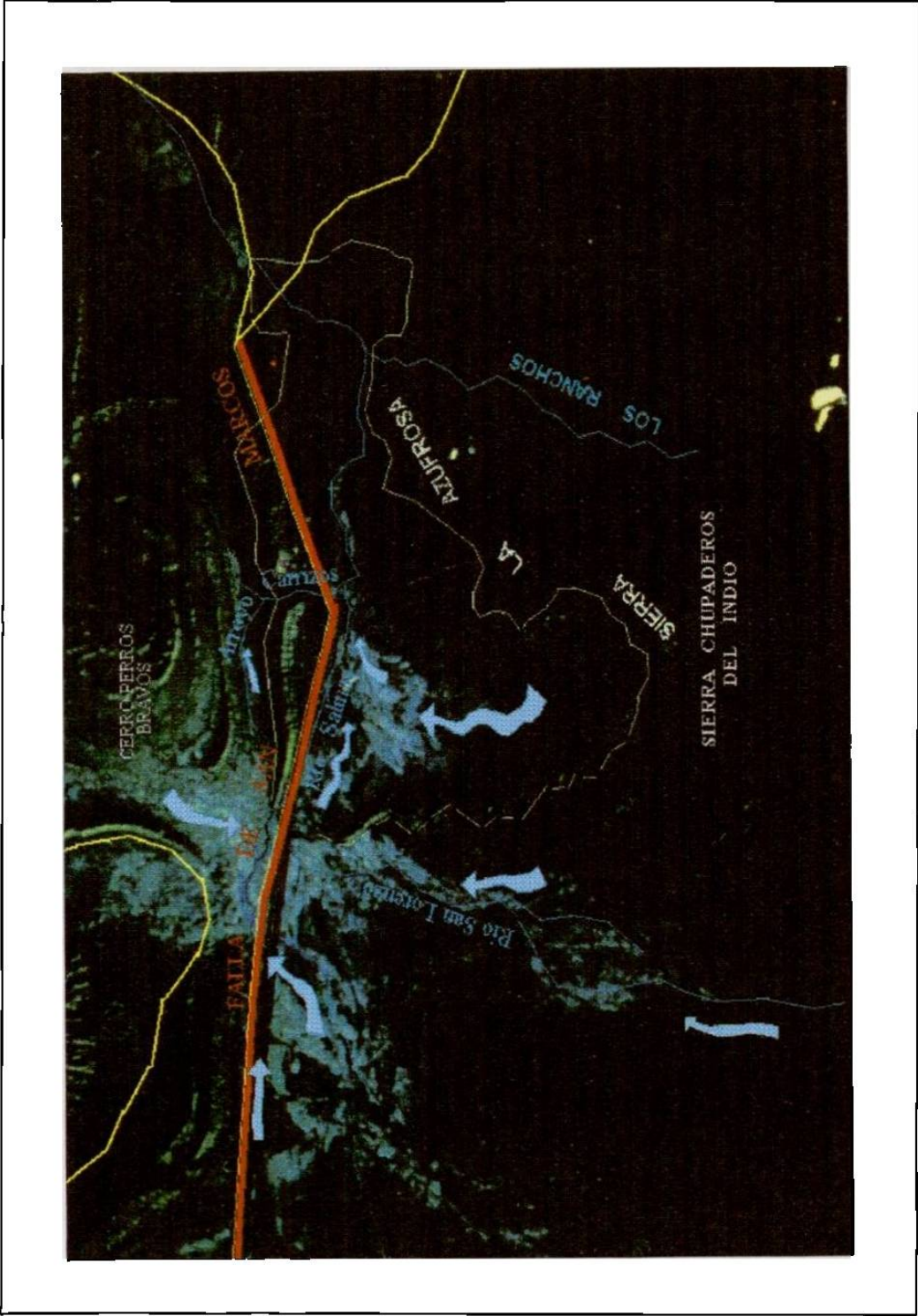


Figura N° 16. Recarga y circulación del flujo subterráneo hacia la Cuenca de Paredón-Icamole

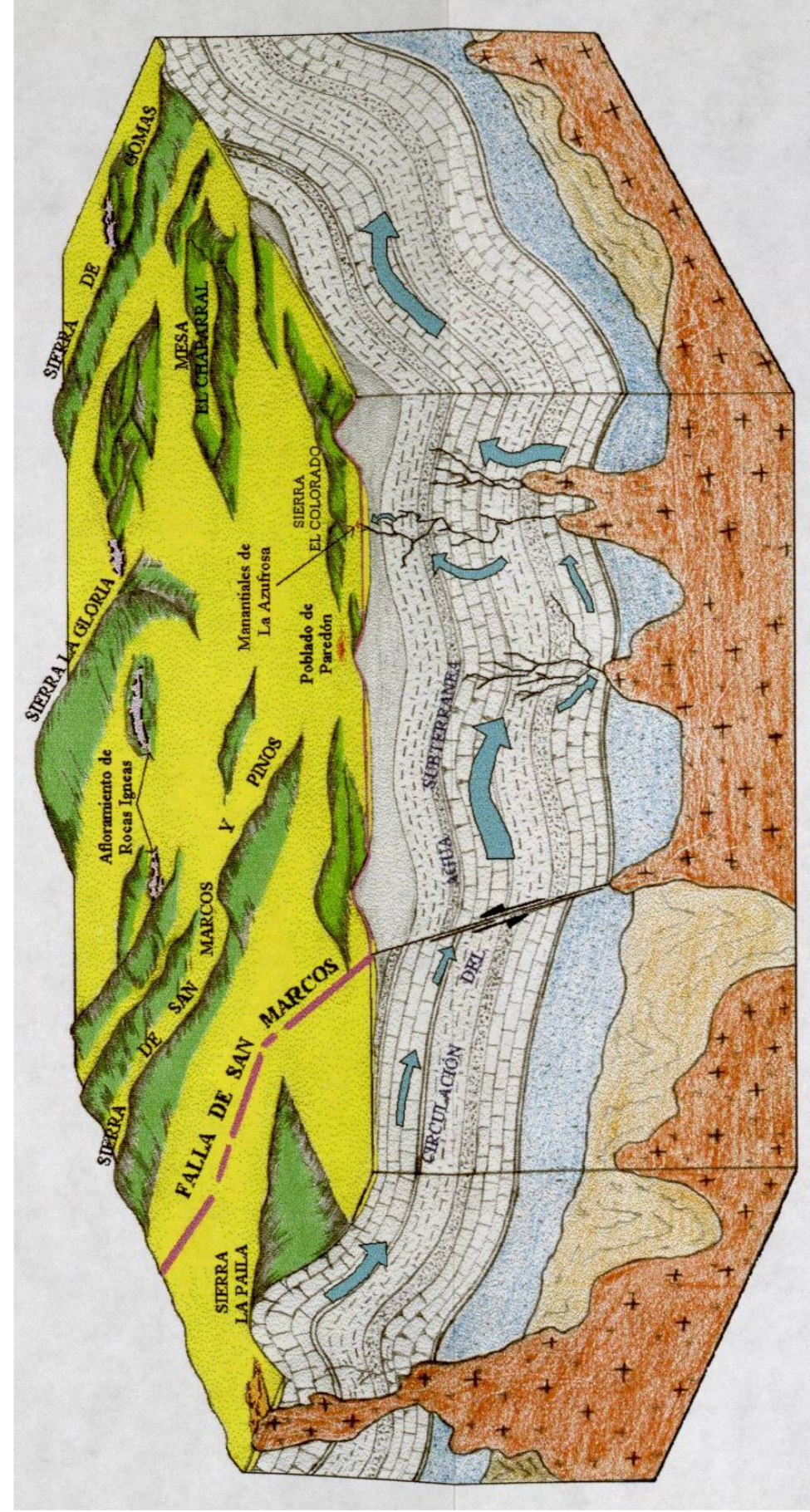
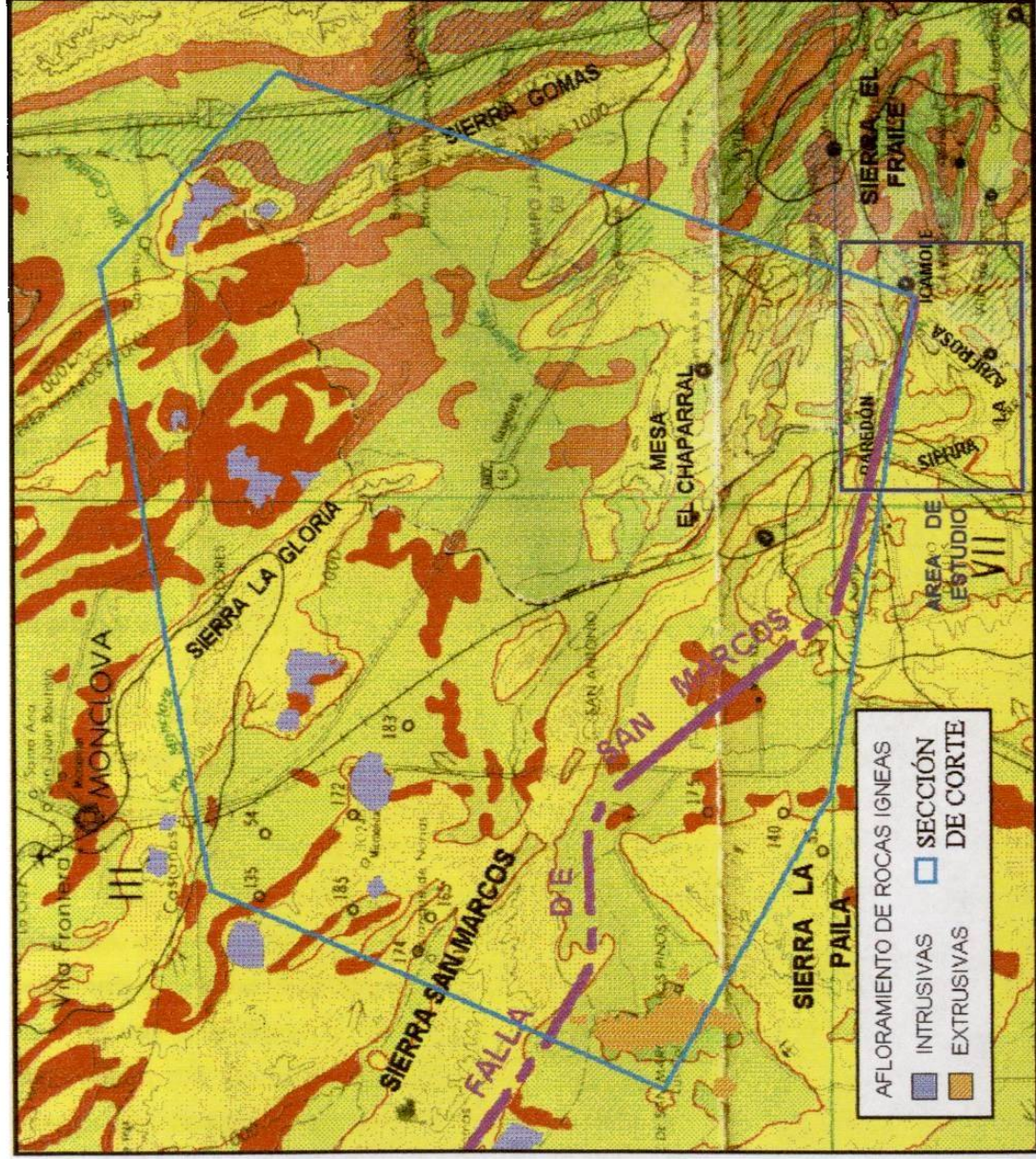


Figura N° 17. Bloque diagramático representando la posible correlación de la Falla de San Marcos y las fuentes de aguas termales y azufrosas en la Cuenca de Paredón-Icamole

5. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

5.1 Censo de Aprovechamientos

Dentro de las actividades del estudio geohidrológico de la cuenca de Paredón-Icamole, se realizó un censo de aprovechamientos de agua subterránea localizados en el área. Se registraron 32 obras; de las cuales 24 son pozos, 2 papalotes y 6 manantiales. De la totalidad de los pozos, 7 no se explotan y 1 se encuentra en proceso de construcción; en su mayoría, este tipo de obras se localizan en la porción noroeste del área en estudio. Referente a los manantiales, éstos se alojan en el lado suroeste de la cuenca; en el plano N° 6 se puede apreciar la distribución de los diferentes aprovechamientos en la cuenca. La información más detallada de cada uno de los aprovechamientos se encuentra en la tabla N° 15.

En la mayoría de los aprovechamientos censados, el uso del agua extraída del acuífero se emplea en actividades agropecuarias, aproximadamente un 92 %, solamente un pozo y un manantial tienen uso doméstico.

Con relación a la profundidad de los pozos, éstos no rebasan los 150 m, generalmente fluctúan entre los 50 y los 100 m. Es importante mencionar que todos están emplazados en aluvión y areniscas.

Para el aforo de los gastos generados por los pozos se utilizó el método de la escuadra, en el caso de los manantiales se contempló el método de sección-velocidad y se complementó con el consumo generado por el número de personas beneficiadas en el caso de uso doméstico, así como también el generado por el ganado, para el caso de abrevadero; una vez determinados los gastos de extracción en cada aprovechamiento, se consideró el tiempo de operación de los pozos, así como el de emanación del agua en los manantiales y se calculó el volumen anual de explotación. En algunos pozos no fue posible medir directamente el gasto, debido a que en éstos la tubería de descarga se encuentra conectada a la red de riego, por lo que el gasto se determinó considerando las características de la bomba, del motor y tomando como base el caudal aforado en otros pozos que presentan las mismas condiciones que los ya mencionados.

Referente a los caudales de extracción de los pozos; se tienen 10 obras con un caudal de 50 a 51 lt/s, que representan el 59 % del total de pozos en explotación; 4 obras tienen un caudal de 32 lt/s que representan el 23 %; las tres obras restantes tienen caudales de 11, 6.5 y 1.5 lt/s, representando así el 18 % del total. En lo que se refiere a los manantiales, éstos presentan caudales de 1 a 4 lt/s.

5.2 Piezometría

Simultáneamente a la realización del censo de aprovechamientos, se seleccionaron aquellos que presentaron las condiciones adecuadas para tomar la lectura del nivel estático (no estar bombeando, tener acceso al pozo, tener orificio en el cabezal para introducir la sonda y no estar junto a otro aprovechamiento en explotación) por lo cual se localizaron pozos piloto que se mantuvieron en observación. En el plano N° 6, se muestra la localización de los pozos mencionados.

La obtención de las lecturas piezométricas, se realizó en dos etapas, la primera comprendió lecturas tomadas en enero de 1996, la etapa complementaria se llevó a cabo en el mes de diciembre del mismo año. Mediante la obtención de estas lecturas se trazaron las configuraciones piezométricas correspondientes a cada etapa.

Los datos de piezometría se muestran en la tabla N° 16 (se presentan los abatimientos) la cual contiene también las cotas de elevación de brocal de los pozos que se mantuvieron en observación.

En el plano N° 7 se muestra la configuración de la elevación del nivel estático, correspondientes a enero de 1996, mediante la cual se aprecia que en la zona noroeste donde se concentran la mayoría de los aprovechamientos, se registran los valores más grandes de profundidad del nivel estático, estos valores varían de 25 a 35 m. Los aprovechamientos localizados al noreste, presentan valores medios de 15 a 18 m y los valores mínimos de 0 a 3 m, se registran en los manantiales ubicados hacia el sur de la cuenca.

En lo referente a las elevaciones, de los niveles, registradas en diciembre de 1996 (plano N° 8), éstas presentaron fluctuaciones que no afectaron el esquema general (dirección del flujo) de la configuración del nivel estático, realizado en la primera etapa.

CENSO											
N° Aprovechamiento	Nombre del Propietario	Localidad o Ranchería	Municipio y Estado	Tipo de Obra	Diám. o Secc. de Perforación (pulg)	Diám. o Secc. del Ademe (pulg)	Diámetro de Succión (pulg)	Diámetro de Descarga (pulg)	Tipo de Bomba	Tiene Motor	Tipo de Motor
1	Clemente Garibay	San Francisco	Ramos Arizpe, Coahuila	Pozo	16	14	3 1/2	3	Pozo Profundo	Sí	Sumergible
2	Francisco García C.	San Fernando	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
3	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
4	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
5	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
6	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
7	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	6	6	Pozo Profundo	Sí	Superficial
8	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	Pozo Profundo	No	
9	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
10	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	6	6	Pozo Profundo	Sí	Superficial
11	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
12	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
13	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
14	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
15	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	6	6	Pozo Profundo	Sí	Superficial
16	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	6	6	Pozo Profundo	Sí	Superficial
17	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	4	4	Pozo Profundo	Sí	Superficial
18	Ejido La Virgen	La Virgen	"	Manantial	2 m X 2 m	Sin recubrimiento	2	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
19	Teofilo Ramirez	El Antrisco	"	Manantial	3 m X 2.7 m	Sin recubrimiento	2 y 1	1 1/2 y 1	No Tiene	No	
20	Ejido Azufrosa	Cañada Piloncillos	"	Pozo	18	16	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
21	Ejido Azufrosa	La Azufrosa	"	Manantial	4 m X 4 m	4 m X 4 m	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
22	Ofelia Carreón	La Azufrosa	"	Manantial	4 m X 4 m	4 m X 4 m	Sin Succión	1 1/2	No Tiene	No	
23	Salvador Magallanes	San Joaquín	"	Manantial	4 m X 3.5 m	4 m X 3.5 m	Sin Succión	2 1/2	No Tiene	No	
24	Salvador Magallanes	San Joaquín	"	Papalote	1.2 m X 1.6 m	1.2 m X 1.6 m	2	1 1/2	Papalote	No	
25	Amador Delgadillo	Las Cuatas	"	Manantial	Diamero de 5 m	Sin recubrimiento	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
26	Manuel García C	Los Barriales	"	Pozo	18	No Tiene	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
27	Manuel García C	Los Barriales	"	Pozo	14	No Tiene	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
28	Manuel García C	Los Barriales	"	Pozo	14	No Tiene	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
29	Ejido El Milagro	El Milagro	García, Nuevo León	Pozo	16	14	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
30	Ejido El Milagro	El Milagro	García, Nuevo León	Pozo	16	14	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
31	Ejido El Milagro	El Milagro	García, Nuevo León	Pozo	16	14	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
32	Ejido El Milagro	El Milagro	García, Nuevo León	Papalote	16	14	2	1 1/2	Papalote	No	

Tabla 15. Censo

DE APROVECHAMIENTOS															
Caballaje H. P.	Uso del Agua	N° Hras. Regadas	N° Cabezas Ganado	N° Personas	Gasto Lts/seg	Extracción m ³		Volúmen Anual m ³	Ni el (m)		Altitud mnsnm	Coordenadas Geograficas		Fecha del Censo	Observaciones
						hrs/día	días/año		Estático	Dinámico		Latitud	Longitud		
	Agrícola	6	95	0	6.5	12	270	07.6E+04	38.50	42 80	770.30	25° 56' 07"	100° 54' 45"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
75	Agrícola	50	0	3	51	22	260	01.050E+06	32.15		763.15	25° 55' 44"	100° 54' 28"	18-Ene-96	Se realizo prueba de bombeo en julio de 1997
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	3	50	22	260	01.030E+06			762.90	25° 55' 22"	100 54' 15"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	5	50	20	240	86.400E+04			763.30	25° 55' 46"	100 54' 04"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	5	50	20	240	86.400E+04	26.00		763.40	25° 55' 58"	100° 53' 58"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
75	Agrícola	45	0	0	51	22	270	01.091E+06	26.40		759.90	25° 55' 05"	100° 54' 14"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
50	Agrícola	45	0	3	32	20	240	55.296E+04	26.50		759.75	25° 54' 59"	100° 54' 03"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
	Agrícola								28.00		759.95	25 55' 03"	100 53' 50"	18-Ene-96	Pendiente instalar motor y bomba
50	Agrícola	45	0	6	50	22	240	95.040E+04			760.10	25° 55' 20"	100° 53' 43"	18-Ene-96	Cabezal sellado
50	Agrícola	45	0	2	32	20	270	62.208E+04	28.30		759.85	25° 55' 24"	100° 53' 39"	22-Ene-96	
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	5	51	20	260	95.472E+04			759.80	25° 55' 28"	100° 53' 36"	22-Ene-96	No se registro N. E.
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	0	51	22	260	01.050E+06			759.50	25° 55' 40"	100° 53' 31"	22-Ene-96	No se registro N. E.
50	Agrícola	32	0	0	50	22	240	95.040E+04	23.85		757.30	25° 55' 03"	100° 53' 26"	22-Ene-96	
50	Agrícola	32	0	0	50	22	270	01.069E+06			757.10	25° 55' 06"	100 53' 24"	22-Ene-96	No se registro N. E.
50	Agrícola	32	4	2	32	20	260	59.904E+04		31 15	757.15	25° 55' 11"	100° 53' 21"	22-Ene-96	No se registro N. E.
50	Agrícola	32	0	0	32	20	240	55.296E+04			751.80	25° 55' 41"	100° 52' 39"	22-Ene-96	No se registro N. E.
50	Agrícola	32	0	0	11	22	260	22.651E+04	17.35		748.85	25° 55' 33"	100° 52' 24"	23-Ene-96	
	Domestico y Abrevadero	0	70	1	1	24	365	03.154E+04	0.00		849.70	25° 51' 23"	100° 54' 13"	23-Ene-96	Abrevadero del rancho la Virgen
	Domestico y Abrevadero	0	200	81	4	24	365	12.614E+04	0.00		1010.60	25° 49' 38"	100° 51' 32"	23-Ene-96	Abastece a la comunidad de la Azufrosa
	Sin Explotar								44.40		884.80	25° 51' 49"	100° 51' 10"	23-Ene-96	Pozo con 3 m de ademe, abandonado
	Sin Explotar								3.10		773.65	25° 52' 45"	100° 52' 09"	23-Ene-96	Proyecto para baños termales
	Recreación y Agrícola	5	100	2	2	24	365	06.307E+04	0.30		770.65	25° 52' 48"	100° 52' 10"	23-Ene-96	El agua de los baños se utiliza para riego
	Recreación y Agrícola	5	60	1	4	24	365	12.614E+04	3.00		774.95	25° 53' 03"	100 51' 54"	23-Ene-96	El agua de los baños se utiliza para riego
	Sin Explotar								3.45		775.70	25° 53' 02"	100° 51' 53"	23-Ene-96	Actualmente sin uso, papalote descompuesto
	Domestico y Abrevadero	0	330	5	2	24	365	06.307E+04	0.00		759.80	25 53' 28"	100 51' 52"	23-Ene-96	Manantial para abrevadero, muy contaminado
	Sin Explotar								12.90		749.10	25° 54' 54"	100° 51' 49"	23-Ene-96	Pozo sin explotación
	Sin Explotar								12.60		749.20	25° 54' 59"	100° 51' 46"	23-Ene-96	Pozo sin explotación
	Sin Explotar								12.70		745.75	25 55' 20"	100 51' 42"	23-Ene-96	Pozo sin explotación
	Sin Explotar								16.50		726.50	25° 55' 03"	100° 49' 07"	18-Ene-96	Pozo sin equipo (abandonado) sin explotar
	Sin Explotar								17.80		728.20	25° 55' 09"	100° 48' 48"	18-Ene-96	Pozo sin equipo (abandonado) sin explotar
	Sin Explotar								14.95		710.40	25 54' 47"	100° 48' 37"	18-Ene-96	Pozo sin equipo (abandonado) sin explotar
	Domestico y Abrevadero	0	0	50	1.5	8	325	01.404E+04	14.70	20.70	724.80	25° 54' 59"	100° 48' 25"	18-Ene-96	Papalote llena una pila, para uso de la comunidad

de aprovechamientos subterráneos

CUENCA PAREDON-ICAMOLE									
N° de Aprovechamiento	Nivel Estático (m)	Elevación Brocal msnm	Elevación del N. E. msnm	Fecha de Lectura	Nivel Estático (m)	Elevación Brocal msnm	Elevación del N. E. msnm	Fecha de Lectura	Abatimiento m (*)
1	38.50	773.50	735.00	18-Ene-96	39.30	773.50	734.20	27-Dic-96	-0.80
2	32.15	766.70	734.55	18-Ene-96	33.00	766.70	733.70	27-Dic-96	-0.85
3		762.80		18-Ene-96		762.80			
4		764.40		18-Ene-96		764.40			
5	26.00	764.60	738.60	18-Ene-96	27.10	764.60	737.50	27-Dic-96	-1.10
6	26.40	759.90		18-Ene-96		759.90			
7	26.50	759.60		18-Ene-96		759.60			
8	28.00	759.95	731.95	18-Ene-96	29.15	759.95	730.80	27-Dic-96	-1.15
9		760.10		18-Ene-96		760.10			
10	28.30	759.85	731.55	22-Ene-96	29.50	759.85	730.35	27-Dic-96	-1.20
11		759.80		22-Ene-96		759.80			
12		759.50		22-Ene-96		759.50			
13	23.85	757.30	733.45	22-Ene-96	24.25	757.30	733.05	27-Dic-96	-0.40
14		757.10		22-Ene-96		757.10			
15		757.15		22-Ene-96	23.60	757.15	733.55	27-Dic-96	
16		751.80		22-Ene-96	19.00	751.80	732.80	27-Dic-96	
17	17.35	748.85	731.50	23-Ene-96	18.10	748.85	730.75	27-Dic-96	-0.75
18	0.00	849.70	849.70	23-Ene-96	0.00	849.70	849.70	27-Dic-96	0.00
19	0.00	1010.60	1010.60	23-Ene-96	0.00	1010.60	1010.60	27-Dic-96	0.00
20	44.40	884.80	840.40	23-Ene-96	44.40	884.80	840.40	28-Dic-96	0.00
21	3.10	773.65	770.55	23-Ene-96	3.10	773.65	770.55	28-Dic-96	0.00
22	0.30	770.65	770.35	23-Ene-96	0.30	770.65	770.35	28-Dic-96	0.00
23	3.00	774.95	771.95	23-Ene-96	3.00	774.95	771.95	28-Dic-96	0.00
24	3.45	775.70	772.25	23-Ene-96	3.50	775.70	772.20	28-Dic-96	-0.05
25	0.00	759.80	759.80	23-Ene-96	0.00	759.80	759.80	28-Dic-96	0.00
26	12.90	749.10	736.20	23-Ene-96	13.30	749.10	735.80	27-Dic-96	-0.40
27	12.60	749.20	736.60	23-Ene-96	13.00	749.20	736.20	27-Dic-96	-0.40
28	12.70	745.75	733.05	23-Ene-96	13.05	745.75	732.70	27-Dic-96	-0.35
29	16.50	726.50	710.00	18-Ene-96	16.90	726.50	709.60	28-Dic-96	-0.40
30	17.80	728.20	710.40	18-Ene-96	18.30	728.20	709.90	28-Dic-96	-0.50
31	14.95	710.40	695.45	18-Ene-96	15.30	710.40	695.10	27-Dic-96	-0.35
32	14.70	724.80	710.10	18-Ene-96	15.25	724.80	709.55	28-Dic-96	-0.55

* El signo "-" (menos) significa que el nivel estático (N. E.) presenta un nivel más bajo que el registrado en la primera etapa de lecturas (enero de 1996).

Tabla 16. Piezometría y registro de abatimientos

5.3 Flujo Subterráneo y Abatimientos

Para conocer la forma del esquema general del flujo subterráneo, así como los gradientes con los cuales fluye el agua subterránea, se elaboraron los planos N° 7 y N° 8, en los cuales se presentan las configuraciones de elevaciones del nivel estático, referidas al nivel medio del mar, correspondientes a enero y diciembre de 1996. Básicamente, para la realización de estas configuraciones se consideraron las condiciones en las que ocurre el flujo subterráneo, en cuanto a las características topográficas, geológicas e hidrológicas del área de estudio, formando con esto un sistema de control del flujo.

De igual forma que en la piezometría, las configuraciones obtenidas de las fechas mencionadas son semejantes y muestran una dirección del flujo subterráneo de sur a norte, de los manantiales La Virgen, La Azufrosa, Las Cuatas y San Joaquín, hacia el río Salinas, cambiando de rumbo para confluir con el flujo que tiene una dirección preferencial de oeste a este, de los ranchos San Francisco, San Ignacio y Rancho Nuevo, hacia la ranchería El Milagro, circulando toda el agua hacia la salida de la cuenca (Boca Las Tranquitas).

Lo anterior permite inferir y clasificar la presencia de los distintos flujos subterráneos que alimentan al acuífero en estudio. A continuación se menciona la descripción de la ocurrencia de estos flujos:

Inicialmente, se tiene el flujo proveniente de una infiltración reciente, el cual se origina en las partes altas de la sierra que forman el parteaguas del valle así como también en las sierras de las cuencas adyacentes, esta agua circula por un medio fracturado existente en la formación de la lutita arenisca, lo que origina que dicho escurrimiento subterráneo aflore a la superficie en las partes altas de los abanicos aluviales formando varios manantiales, de los cuales sólo unos cuantos presentan un escurrimiento permanente. Un ejemplo de esto son los manantiales de El Antrisco y La Virgen, los cuales contribuyen con su escurrimiento a la infiltración del agua en el aluvión y por consiguiente una recarga en el acuífero. Esta recarga no es muy grande ya que la mayoría se pierde por efecto de la evaporación.

Otra forma de recarga, considerable, hacia el acuífero es mediante la infiltración directa hacia el aluvión, que se realiza sólo en época de lluvias y que tiene su origen en el lecho del río Patos-Salinas, el cual atraviesa el valle con una dirección de flujo de

oeste a este, y que influye de forma directa en la recuperación de niveles piezométricos paralelos a dicho escurrimiento.

En cuanto a la presencia de aguas termales y azufrosas, registradas en los manantiales de San Joaquín y La Azufrosa, se infiere que estas aguas tienen su origen o que circulan a grandes profundidades bajo presiones y temperaturas muy altas, así como en medios de fallas y fracturas profundas que se comunican con alguna cámara magmática, lo que origina que el agua presente una composición química muy concentrada en sulfatos y adquiera una temperatura muy elevada; todo este conjunto de factores propicia la presencia de artesianismo en estos aprovechamientos. Una vez que aflora el escurrimiento hacia la superficie, éste sufre una variación drástica en su temperatura y composición química con relación al tiempo de circulación por el terreno. Estos escurrimientos permanentes propician una infiltración y adicionalmente una recarga del acuífero en el aluvión.

Una recarga que influye de forma directa en el acuífero es la originada por la entrada del agua subterránea proveniente del valle de Paredón, la cual es aprovechada por los pozos localizados en el noroeste de la cuenca, donde el nivel estático presenta una recuperación muy rápida; en combinación con lo anterior, es muy probable que exista una recarga adicional, que se origine por una recarga vertical subterránea proveniente de un medio fracturado, el cual se infiere esté localizado en la parte norte de la cuenca y que corre paralelo a las sierras de EL Maneadero y El Colorado. Según estudios geológicos previos (Gary y Chris, 1995), este fracturamiento puede ser la continuación de uno localizado a nivel regional, denominado "Falla de San Marcos", el cual se extiende desde la plataforma de Coahuila hasta la cuenca de la Popa. Es muy probable que por medio de esta falla circule un flujo subterráneo que es alimentado en diferentes cuencas y, por consiguiente, también presente varias descargas, haciendo énfasis en que una de ellas contribuya a la recarga del acuífero en estudio.

En la figura N° 16 se presenta la zonificación de los diferentes flujos subterráneos que alimentan al acuífero del valle.

Una vez identificadas las recargas del acuífero, se procedió a determinar los gradientes de flujo, los cuales presentan valores variables que van desde 0.09 a 0.4, correspondiendo los más altos a la zona noroeste, donde se concentra la mayor cantidad

de aprovechamientos en explotación y los más bajos correspondientes a la zona noreste, donde los aprovechamientos registran muy poco abatimiento.

Las fluctuaciones de los niveles del agua subterránea, permiten estimar cuantitativamente la relación entre la magnitud de la recarga y la descarga, y revelan objetivamente los efectos de la explotación. Además, su conocimiento es necesario para calcular la variación del almacenamiento subterráneo.

En el plano N° 9, se presenta la configuración de los abatimientos originados en el intervalo de enero a diciembre de 1996. De igual forma se aprecia que el bombeo ha provocado ciertas variaciones en los niveles del acuífero, y que los abatimientos mayores en este período se localizan en las áreas de concentración de pozos.

Los abatimientos medios anuales registrados en el período analizado fluctúan entre los 0.70 y 1.0 m, dependiendo de la concentración de aprovechamientos en el área.

Es importante mencionar que el intervalo de tiempo analizado corresponde a un período de lluvia escasa como lo muestra la gráfica N° 2 (gráfica con los registros de precipitación, capítulo 2) y que el registro de piezometría se realizó en los meses de sequía, por lo que deben de considerarse estos aspectos en toda interpretación derivada de esta información.

5.4 Características Hidráulicas del Acuífero

Para determinar las características hidráulicas del acuífero, inicialmente se realizó una clasificación del mismo, se determinó que se trata de un acuífero semiconfinado, considerando las características geológicas que predominan en los materiales en los que se aloja (superficialmente se aprecia una capa de arcilla con limo, otra de arena y grava, y lutita como capa limitante, figura N° 13, capítulo 4).

Una vez determinado el tipo de acuífero, se realizó una prueba de bombeo en el aprovechamiento número 2, localizado en el rancho San Fernando, en la parte noroeste de la cuenca. Se realizó en esta zona considerando la cercanía con el área donde se ubican la mayoría de los aprovechamientos y a la entrada de una posible recarga subterránea proveniente del valle de Paredón.

Adicional a lo anterior, también se consideró que el aprovechamiento donde se desarrolló la prueba está emplazado en materiales geológicos que en su mayoría predominan y constituyen el acuífero estudiado, por lo que se puede considerar que exista una variación aceptable, en la distribución de parámetros hidráulicos en toda la extensión del mismo.

La duración de la prueba consideró un tiempo de observación de 7 horas, período en el cual se apreció una estabilización del nivel dinámico en el pozo de observación, los valores registrados se presentan en las tablas contenidas en el anexo A. Para la interpretación de dicha prueba se utilizaron los métodos de análisis más comunes que fueron los siguientes:

Método	Transmisividad (m ² /seg)	Coefficiente de almacenamiento
Jacob	0.1080	0.00744
Theis	0.0874	0.01446
Hantush	0.0834	0.01544

De estos métodos analizados se tomaron los valores obtenidos según el criterio de Jacob, ya que es el que considera la mayoría de características que rigen el comportamiento del flujo subterráneo en un acuífero semiconfinado.

Al analizar los valores obtenidos de transmisividad ($T = 0.1080 \text{ m}^2/\text{seg}$) y coeficiente de almacenamiento ($S = 0.007$) se tiene que el valor inicial representa una capacidad buena del medio para transmitir el agua por consiguiente el acuífero posee una permeabilidad alta la cual caracteriza a los materiales granulares que constituyen el acuífero en aluvión; el segundo parámetro presenta un valor típico de acuífero semiconfinado, lo que refuerza el criterio utilizado para su clasificación.

Los valores promedio de los parámetros mencionados, considerando los métodos adicionales anteriores, son: $T = 0.0929 \text{ m}^2/\text{seg}$ y $S = 0.012$, esto indica que se continúan conservando valores altos de permeabilidad y de las condiciones que rigen al flujo subterráneo en el acuífero.

Al considerar la composición geológica, de los materiales en los que se encuentra el acuífero, la cual es muy similar en toda la extensión del mismo, se puede inferir que los parámetros hidráulicos que lo rigen tendrán valores muy semejantes, de esta forma se reduce la obtención de parámetros en los aprovechamientos localizados en todo el valle y permite una confiable aplicación de los valores obtenidos en la prueba de bombeo.

5.5 Recarga y Descarga del Acuífero

La descarga en el acuífero se realiza a través de los manantiales que afloran al pie de las sierras y en forma artificial, por medio de las captaciones de agua subterránea; los volúmenes extraídos se estimaron a partir de los caudales aforados y del tiempo de operación de dichas captaciones (tabla N° 15).

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, se cuenta con 22 captaciones en explotación; de las cuales, 11 se emplean para uso agrícola exclusivamente, 5 para agrícola y abrevadero, 4 para uso doméstico y abrevadero y 2 para recreación y uso agrícola.

Referente a la recarga, se tiene una distribución amplia en el área, son sus fuentes principales: el flujo subterráneo y la infiltración de escurrimientos en las estribaciones de las sierras, en combinación con los que entran y drenan a la cuenca en la época de lluvias (río Patos-Salinas).

Para la determinación de la recarga del acuífero, se definieron los términos que componen la ecuación de balance de agua subterránea:

$$R - D = \Delta V$$

Siendo R la recarga, D la descarga y V el cambio de almacenamiento en un intervalo de tiempo seleccionado.

Conocidos los volúmenes de descarga del acuífero y su cambio de almacenamiento en un lapso dado, la recarga puede deducirse despejándola de la expresión anterior.

$$R = D + \Delta V$$

En el caso particular del presente estudio, la descarga se origina a través de los aprovechamientos subterráneos (registrados en el censo de aprovechamientos) cuyo volumen es de 12.927 mill m³ anuales.

La variación del volumen almacenado se determinó, mediante la evolución de los niveles estáticos registrados en un año de observación (de enero a diciembre de 1996) y el valor obtenido se calculó con la zonificación del acuífero, de acuerdo con los abatimientos medios anuales registrados y al área de balance correspondiente a cada uno de ellos (figura N° 18). En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos.

Zona	Abatimiento medio anual m	Area de balance km ²	Area de balance 1X10 ⁶ m ²	Volumen drenado 1X10 ⁶ m ³ /año
A	0.85	25.70	25.70	21.845
B	0.40	13.90	13.90	5.560
C	0.15	18.80	18.80	2.820
Totales -			58.40	30.225

Tabla N° 17. Determinación del volumen de acuífero drenado

Con la información existente, la ecuación de balance de agua subterránea puede expresarse como:

$$R1 + R2 = D - V \times S$$

Donde:

D = Descarga del acuífero por medio de los aprovechamientos de agua subterránea

R1 = Recarga por medio del flujo subterráneo

R2 = Recarga por medio de la infiltración de escurrimientos superficiales

V = Volumen de acuífero drenado

S = Coeficiente de almacenamiento del acuífero

Para la obtención del valor de recarga por medio de la infiltración de escurrimientos superficiales (R2), se realizó el balance hidrológico presentado en el capítulo anterior. El valor estimado del volumen de recarga que anualmente alimenta al acuífero fue de 9.138 mill m³.

Despejando la recarga de flujo subterráneo queda:

$$R1 = D - R2 - VXS$$

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene:

$$R1 = 12.927 - 9.138 - 30.225 X S$$

De acuerdo con los materiales que constituyen el acuífero: arcilla limosa, arenas y gravas con intercalaciones de lutitas que le confieren la clasificación de acuífero semiconfinado, se tienen los valores de $S = 0.007$ según Jacob y de 0.012 , tomando el promedio de los métodos empleados. Sustituyendo los valores de cada uno de los casos en la expresión anterior se tiene:

$$S = 0.007, \text{ entonces } R1 = 3.578 \text{ mill m}^3/\text{año}$$

$$S = 0.012, \text{ entonces } R1 = 3.456 \text{ mill m}^3/\text{año}$$

Por lo que se puede indicar que el valor aproximado de la recarga del acuífero por medio de flujo subterráneo es de $3.50 \text{ mill m}^3/\text{año}$ y la recarga total (infiltración y flujo subterráneo) es de 12.70 mill m^3 , la cual comparada con la descarga que tiene un valor de 12.927 mill m^3 , resulta ser un poco inferior (0.23 mill m^3), por lo que se puede calificar el estado del acuífero en equilibrio con respecto a las descargas registradas y con posibilidades de realizar otros aprovechamientos, pero considerando estrictas políticas de explotación que permitan la conservación del mismo (figura N° 19).

Es importante mencionar que el período analizado para la obtención de la recarga, corresponde a un período de lluvia escasa, por lo que se deberá considerar toda información derivada del balance realizado.

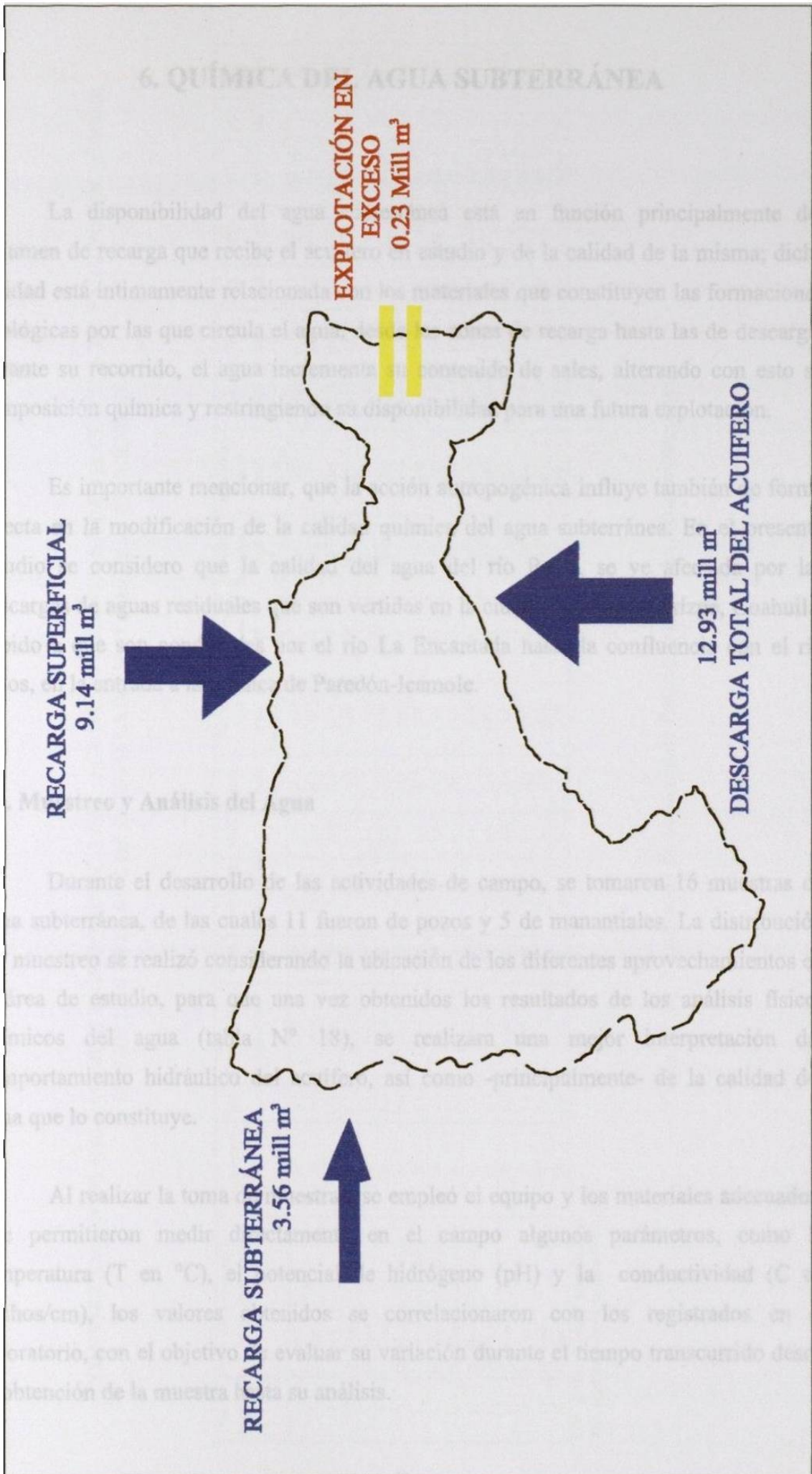


Figura N° 19. Recarga y descarga del acuífero granular de la Cuenca de Paredón-Icamole

6. QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La disponibilidad del agua subterránea está en función principalmente del volumen de recarga que recibe el acuífero en estudio y de la calidad de la misma; dicha calidad está íntimamente relacionada con los materiales que constituyen las formaciones geológicas por las que circula el agua, desde las zonas de recarga hasta las de descarga; durante su recorrido, el agua incrementa su contenido de sales, alterando con esto su composición química y restringiendo su disponibilidad para una futura explotación.

Es importante mencionar, que la acción antropogénica influye también de forma directa en la modificación de la calidad química del agua subterránea. En el presente estudio se considero que la calidad del agua del río Patos, se ve afectada por las descargas de aguas residuales que son vertidas en la ciudad de Ramos Arízpe, Coahuila, debido a que son conducidas por el río La Encantada hasta la confluencia con el río Patos, en la entrada a la Cuenca de Paredón-Icamole.

6.1. Muestreo y Análisis del Agua

Durante el desarrollo de las actividades de campo, se tomaron 16 muestras de agua subterránea, de las cuales 11 fueron de pozos y 5 de manantiales. La distribución del muestreo se realizó considerando la ubicación de los diferentes aprovechamientos en el área de estudio, para que una vez obtenidos los resultados de los análisis físico-químicos del agua (tabla N° 18), se realizara una mejor interpretación del comportamiento hidráulico del acuífero, así como -principalmente- de la calidad del agua que lo constituye.

Al realizar la toma de muestras, se empleó el equipo y los materiales adecuados, que permitieron medir directamente en el campo algunos parámetros, como la temperatura (T en °C), el potencial de hidrógeno (pH) y la conductividad (C en $\mu\text{mhos/cm}$), los valores obtenidos se correlacionaron con los registrados en el laboratorio, con el objetivo de evaluar su variación durante el tiempo transcurrido desde la obtención de la muestra hasta su análisis.

**COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE
ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO**

No. de Muestra	No. y tipo de Aprovechamiento	Temperatura °C	pH	Conductividad umhos/cm	STD mg/l	Turbiedad mg/l (SiO ₂)	RAS	Silice mg/l (SiO ₂)	Dureza Total mg/l (CaCO ₃)	Dureza Calcica mg/l (CaCO ₃)	Dureza Magnésica mg/l (CaCO ₃)	Alcalinidad Total mg/l (CaCO ₃)	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	HCO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	Cl mg/l
1	1.- Pozo	28	6.5	3650	3860	1.5	3.0	20.7	1800	1010	790	235	404.20	191.97	300	286.75	1589.00	2.5	430.00
2	2.- Pozo	28	6.6	3600	3240	6.3	2.9	20.5	1760	940	820	235	376.75	199.30	280	286.75	1520.50	2.5	336.00
3	5 Pozo	29	6.8	3500	3250	4.7	3.4	21.8	1520	880	640	235	352.70	155.55	300	286.75	1435.00	2.3	355.00
4	10 - Pozo	26	6.8	3765	3135	0.6	3.3	19.5	1600	840	760	200	336.67	184.72	300	244.00	1545.80	2.4	355.00
5	13.- Pozo	25	7.0	3875	3470	1.1	3.4	21.2	1700	820	880	225	328.10	213.80	320	270.00	1498.90	2.6	459.00
6	17 - Pozo	26	6.6	3850	3430	1.1	3.8	23.3	2340	1305	1035	300	522.10	251.52	420	366.00	1798.00	2.6	789.00
7	18 - Manantial La Virgen	24	8.0	2470	5110	15.0	2.7	25.5	496	320	176	476	128.00	42.76	125	580.72	198.40	1.2	65.60
8	19 - Manantial El Antrusco	23	7.0	1140	1030	17.0	2.3	18.2	310	195	115	240	78.10	27.91	95	292.80	160.10	1.6	75.60
9	22 - Manantial La Azufrosa	45	6.6	3485	2795	15.0	3.8	28.9	1285	890	395	230	356.00	95.98	310	280.60	1392.00	0.8	215.00
10	23 - Manantial San Joaquín	45	6.6	3520	2815	8.3	4.1	28.0	1115	840	275	255	336.00	66.82	315	311.10	1185.00	0.2	236.00
11	25 - Manantial Las Cuatas	28	7.1	4250	3780	66.0	3.4	30.6	1640	1230	410	225	492.00	99.63	317	274.50	1693.00	0.1	265.00
12	26 - Pozo	28	6.7	2425	3310	15.0	3.5	12.4	1450	800	650	250	320.00	157.95	307	305.00	1510.00	1.4	235.00
13	28 - Pozo	30	6.9	3540	3300	21.0	3.4	18.4	1530	820	710	255	328.00	172.53	300	311.12	1505.00	1.9	274.00
14	29 - Pozo	27	7.3	3200	2650	3.3	3.6	16.1	1205	715	490	290	286.00	119.07	290	353.80	1080.00	2.1	320.00
15	31 - Pozo	27	7.3	3565	3175	52.0	5.2	15.6	1050	510	540	300	204.41	131.25	390	365.00	1159.00	1.9	325.00
16	32 - Pozo	30	7.3	1133	850	4.0	4.0	17.5	1170	600	570	283	240.00	138.51	320	345.26	1125.00	2.1	315.00

STD, significa Solidos Totales Disueltos
RAS, significa Relacion de Adsorción de Sodio

Tabla N° 18. Resultados de los análisis fisicoquímicos del agua subterránea

Los análisis físico-químicos efectuados a las muestras obtenidas, comprendieron la determinación de Sólidos Totales Disueltos, Temperatura, Turbiedad, Iones Mayoritarios (Ca, Mg, Na, HCO₃, SO₄, NO₃ y Cl), Silice, Potencial de Hidrógeno, Conductividad, Dureza Total y Alcalinidad Total, Dureza Cálctica y Dureza Magnésica; los resultados generales de cada una de las determinaciones se presentan en el anexo B.

Los análisis de las muestras, se realizaron siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estándar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WEF. Los resultados se muestran condensados en la tabla N° 18, de igual forma se presentan los números que identifican a cada aprovechamiento muestreado.

La localización de los aprovechamientos en la cuenca y la distribución del muestreo de agua subterránea, se presenta en el plano N° 10, contenido en el Anexo C.

6.2. Distribución Espacial de Índices Geoquímicos

Mediante la configuración de las concentraciones de los iones mayoritarios, de los parámetros de potencial de hidrógeno, silice, sólidos totales disueltos y conductividad, se procedió a la interpretación espacial de los índices geoquímicos analizados.

Iones Mayoritarios

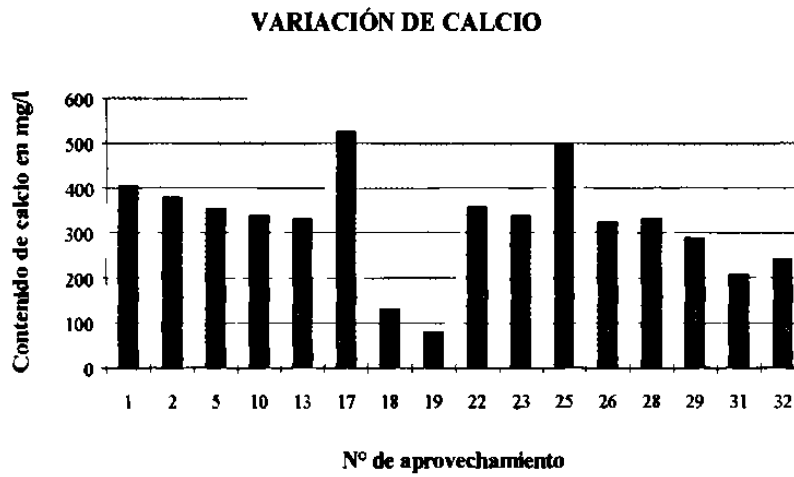
De los aprovechamientos muestreados sólo dos, los manantiales de La Virgen y El Antrisco, presentan valores de concentración, de iones mayoritarios, menores a los especificados por la Secretaría de Salud (SS) y la Agencia Protectora del Medio Ambiente (EPA) para la clasificación de agua potable.

Calcio (Ca)

El agua subterránea que constituye el acuífero en estudio, presenta concentraciones de calcio que varían de 78 a 522 mg/l, las concentraciones de 128 y 78 mg/l, se registran en los aprovechamientos localizados en el lado sur de la cuenca, en los manantiales La Virgen y El Antrisco; las concentraciones con valores de 300 a 350 mg/l,

se presentan en los aprovechamientos situados al norte de la cuenca y en los manantiales con aguas termales situadas en el centro de la misma; referente a los aprovechamientos situados al poniente, se tienen concentraciones que fluctúan entre los 350 y 400 mg/l. En el plano N° 11, se aprecia la configuración de la concentración de calcio.

El límite máximo, que establece la Secretaría de salud, para el contenido de Calcio en agua de uso potable es de 500 mg/l, por lo que sólo el aprovechamiento N° 17 (pozo) no cumple con esta norma.



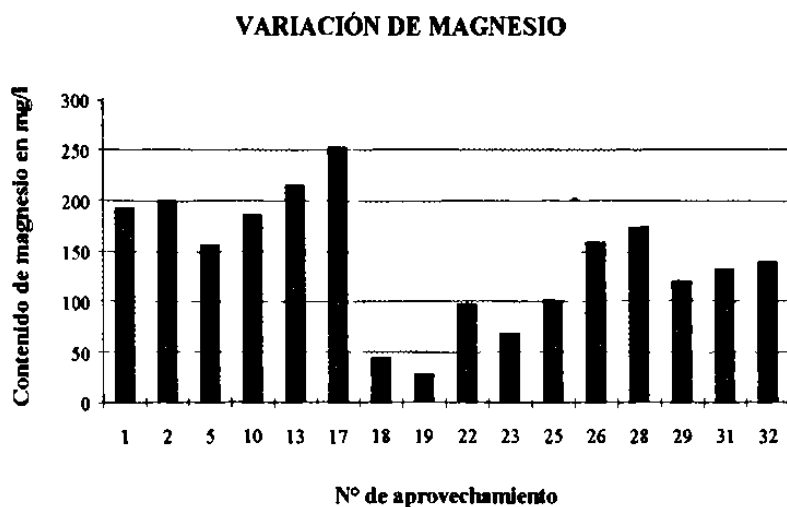
Gráfica N° 6. Variación en el contenido de calcio en los aprovechamientos del acuífero en estudio

En general el agua subterránea que está en contacto con rocas sedimentarias de origen marino, obtiene la mayor parte de su contenido de calcio a partir de la disolución de la calcita, de la dolomita y del yeso entre otros. Los valores obtenidos en los análisis físico-químicos realizados, son representativos de concentraciones normales de estas formaciones.

Magnesio (Mg)

Las concentraciones de magnesio varían de 28 a 250 mg/l, se aprecian tres grupos principales; el primero comprende los aprovechamientos (todos los manantiales) localizados en la parte central de la cuenca hasta las partes bajas de la Sierra La Azufrosa, los valores varían de 28 a 100 mg/l; el segundo grupo presenta concentraciones de 100 a 200 mg/l, la mayoría de los aprovechamientos forman parte de este grupo y se localizan en el oriente y el poniente de la cuenca; el grupo tres está compuesto de dos aprovechamientos, localizados en el noroeste, los cuales registran concentraciones de 213

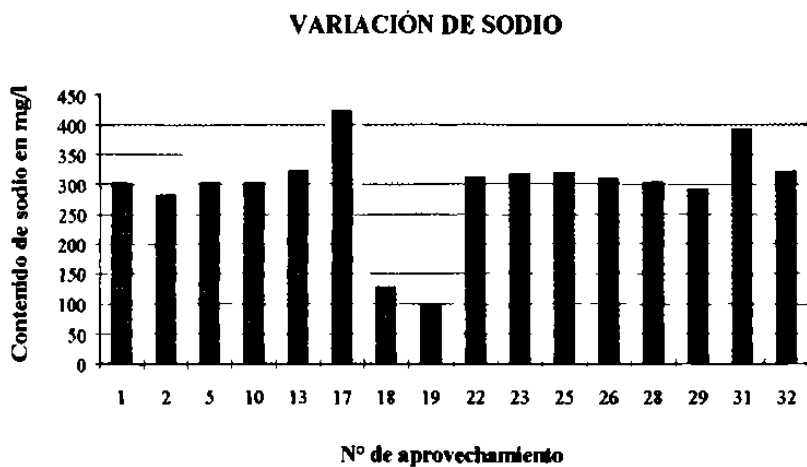
y 251 mg/l respectivamente. La configuración de las concentraciones de este ion se presenta en el plano N° 12.



Gráfica N° 7. Variación en el contenido de magnesio en los aprovechamientos del acuífero en estudio

Sodio (Na)

Considerando el alto grado de solubilidad que presenta este ion, debido al ataque de feldspatos, feldspatoides y otros silicatos de lavado de sedimentos de origen marino y cambio de bases con arcillas del mismo origen, el sodio se encuentra en cantidades considerables en el agua subterránea, principalmente en cuencas localizadas en zonas desérticas por efecto de evaporación.



Gráfica N° 8. Variación en el contenido de sodio en los aprovechamientos del acuífero en estudio

Generalmente las aguas que contienen un total de sólidos disueltos entre 1000 a 5000 mg/l, presentan concentraciones mayores a 100 mg/l de sodio; en el presente trabajo, la variación de sólidos totales fluctúa entre 1000 y 4000 mg/l, por lo que se tienen concentraciones de sodio que varían de 125 a 420 mg/l. El aprovechamiento que registra una concentración mínima de este ion, es el manantial El Antrisco con un valor de 95 mg/l, y el que presenta una concentración máxima es el pozo localizado en el rancho Santa Herminia, al norte de la cuenca, con un valor de 420 mg/l, los demás aprovechamientos tienen concentraciones que varían entre los 250 y 350 mg/l. La configuración de la concentración de sodio en el acuífero, se presenta en el plano N° 13.

La Secretaría de Salud establece como límite máximo, para este ión, en agua de uso potable el valor de 200 mg/l, por lo que sólo los manantiales de La Virgen y El Antrisco cumplen con esta norma.

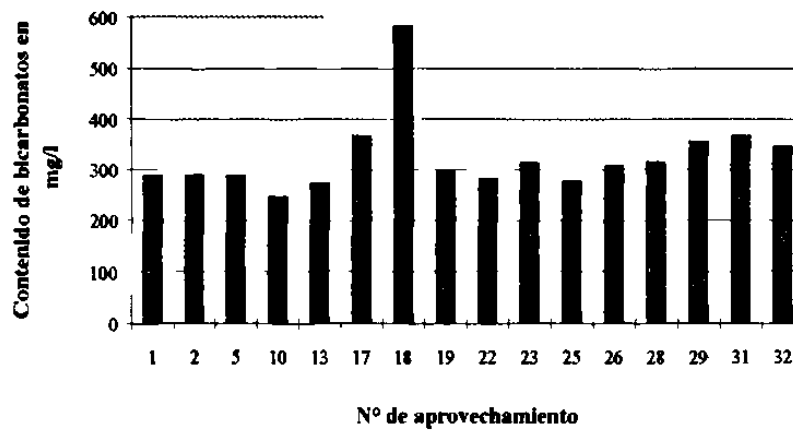
Bicarbonatos (HCO_3)

Generalmente, los iones bicarbonato, tienen su origen en la disolución del bióxido de carbono atmosférico o del suelo y de la disolución de las rocas calizas y dolomías, ayudada por el CO_2 y los ácidos naturales. En otros casos, la hidrólisis de silicatos en combinación con el CO_2 contribuye a determinar el contenido de bicarbonato y carbonato.

Las aguas subterráneas generalmente contienen más de 10 mg/l de bicarbonato y menos de 800 mg/l, las concentraciones más frecuentes suelen estar comprendidas entre 50 y 400 mg/l; en el presente estudio, los valores registrados varían de 244 a 365 mg/l, por lo cual se considera que se tienen valores normales de concentración.

En el plano N° 14, se pueden apreciar dos grupos principales de aprovechamientos que presentan igual concentración de iones bicarbonato, el primero está compuesto por los aprovechamientos localizados al norte y noreste de la cuenca, en las partes bajas de las sierras El Maneadero y El Colorado, con una concentración que fluctúa entre los 300 y 365 mg/l; el otro grupo está constituido por los demás aprovechamientos, en los cuales las concentraciones son menores y varían de 244 a 300 mg/l.

VARIACIÓN DE BICARBONATOS



Gráfica N° 9. Variación en el contenido de bicarbonatos en los aprovechamientos del acuífero en estudio

En el manantial denominado La Virgen, ubicado al suroeste de la cuenca, en la parte baja de la sierra La Azufrosa, se obtuvo un valor alto de concentración de bicarbonatos de 580 mg/l; por lo que se infiere que este valor corresponde al grado de contaminación y al tiempo de aereación (no tiene obra de protección) que tenía el agua del manantial, por lo que se estableció que no era representativo de dicho aprovechamiento.

La Norma Oficial Mexicana, expedida por al Secretaría de Salud, establece un límite máximo para el contenido de bicarbonatos, en agua de uso potable, de 500 mg/l, por lo que los aprovechamientos muestreados cumplen con esta norma.

Cloruros (Cl)

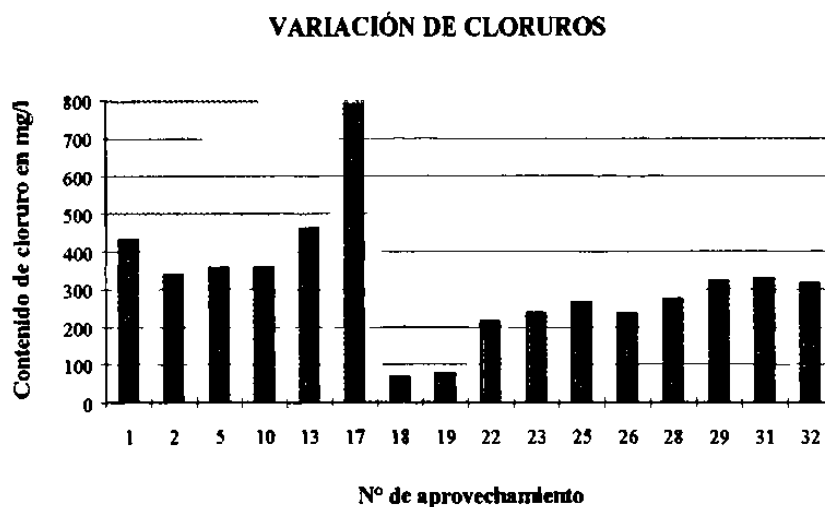
Estos iones son de los constituyentes más importantes de las aguas naturales, tanto superficiales como subterráneas. En la naturaleza pueden encontrarse concentraciones que van desde 0.1 mg/l en regiones árticas, hasta 150,000 mg/l, en salmueras. En general, el agua de lluvia y nieve presentan concentraciones de 1.0 y 30 mg/l.

En el presente estudio, los aprovechamientos muestreados registraron una variación en las concentraciones de cloruro que van de 65 a 459 mg/l, las concentraciones menores se observaron en los manantiales de La Virgen y El Antrisco con valores de 65 y

75 mg/l respectivamente, dichos aprovechamientos se localizan en el lado sur de la cuenca en las partes bajas de la sierra La Azufrosa; las concentraciones de 200 a 300 mg/l se registran en los aprovechamientos (manantiales y pozos) ubicados en la parte central y norte de la cuenca. Los pozos ubicados hacia el noreste, en la parte baja, entre las sierras de La Azufrosa y El Colorado presentan concentraciones que varían muy poco, de 315 a 325 mg/l; respecto a las concentraciones mayores, estas se presentan en los aprovechamientos ubicados en el noroeste, donde los valores van de 336 a 459 mg/l.

Los manantiales La Virgen, El Antrisco, La Azufrosa y San Joaquín cumplen con el límite máximo permitido por la Secretaría de Salud, para un agua de uso potable, la cual establece el valor de 250 mg/l.

En el plano N° 15 se presenta la configuración de las concentraciones de cloruro, distribuidas en el acuífero de la cuenca.



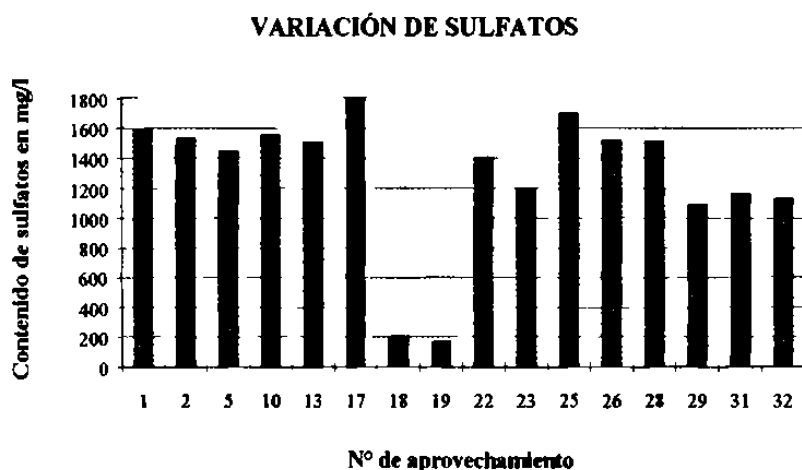
Gráfica N° 10. Variación en el contenido de cloruros en los aprovechamientos del acuífero en estudio

Sulfatos (SO₄)

Respecto a este ión, las fuentes principales son las rocas sedimentarias, en especial las evaporitas y en menor grado las rocas ígneas, a través de los minerales.

En general, el agua de lluvia contiene pequeñas concentraciones de sulfatos, los valores comunes fluctúan entre los 2 mg/l. En la naturaleza pueden encontrarse aguas, con concentraciones de sulfato que van de 0.2 mg/l hasta más de 100,000 mg/l, las

concentraciones más bajas se encuentran en las aguas de lluvia, de nieve y del suelo, sometidas a la reducción de los sulfatos; las concentraciones más elevadas se localizan en las salmueras de sulfato de magnesio.



Gráfica N° 11. Variación en el contenido de sulfatos en los aprovechamientos del acuífero en estudio

En el plano N° 16 se puede apreciar que las concentraciones de sulfatos, en la cuenca en estudio, varían de 160 a 1700 mg/l, la mayor concentración se localiza al noroeste de la misma, con valores de 1400 a 1700 mg/l, los valores mínimos se registran en los manantiales del Antrisco y de La Virgen, localizados en las partes bajas de la sierra La Azufrosa, los valores son de 160 y 200 mg/l respectivamente; las concentraciones de 1000 a 1400 mg/l se registran en los aprovechamientos localizados en el centro y noreste de la cuenca. Los valores máximos se ubican en los aprovechamientos situados en la parte norte, en las partes bajas de la sierra El Maneadero, los valores van de 1500 a 1800 mg/l.

El valor máximo de concentración de sulfatos que establece la Secretaría de Salud para un agua de uso potable es de 400 mg/l, por lo que solo los manantiales de La Virgen y El Antrisco cumplen con este límite permisible.

Otros Indices

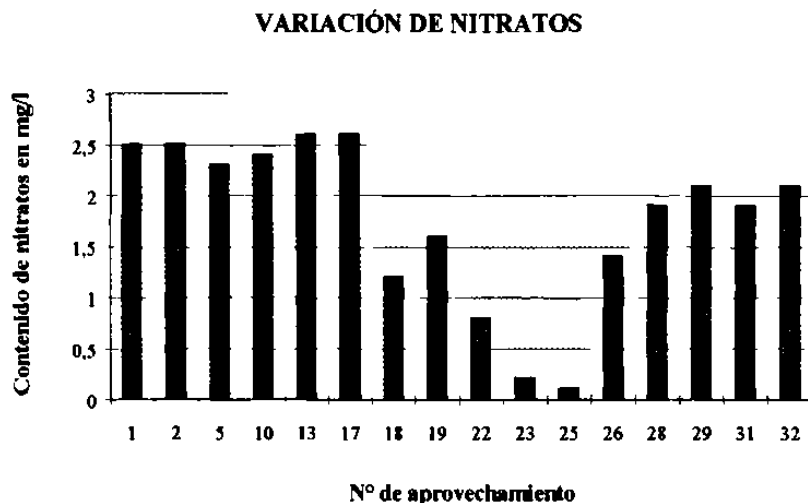
Para tener una mejor interpretación del comportamiento del acuífero, se procedió a determinar algunos parámetros adicionales a los iones mayoritarios, de forma que se obtuviera la mayor cantidad de información referente a la calidad del agua subterránea

que permitiera una mejor caracterización de la misma. A continuación se mencionan los índices adicionales determinados.

Nitratos (NO₃)

La determinación de la concentración de nitratos indica la condición nutriente y nivel de contaminación orgánica que guarda el agua subterránea, considerando que las principales fuentes de concentración del nitrato son las rocas ígneas, restos de animales y plantas y aplicación de fertilizantes realizados a partir de nitratos inorgánicos; en zonas rurales, cuando se tienen altas concentraciones de nitrato, se juzga que existen grandes descargas de excreta humana y animal.

El valor máximo permitido que recomienda la Secretaría de Salud y la Organización Mundial de la Salud (WHO) para agua potable es de 10 mg/l, y son un serio riesgo a la salud las concentraciones superiores a ese límite. Para el acuífero en estudio, se tienen concentraciones de nitratos muy pequeñas, las cuales oscilan entre los 0.5 y 2.5 mg/l, por lo cual el agua subterránea constituyente del acuífero en la cuenca de Paredón-Icamole, es potable, respecto a la concentración de nitratos.



Gráfica N° 12. Variación en el contenido de nitratos en los aprovechamientos del acuífero en estudio

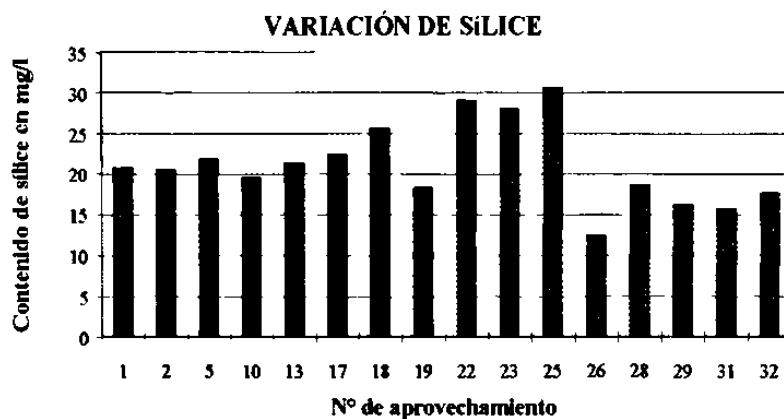
Los valores más altos de nitratos se presentan en los aprovechamientos localizados al norte de la cuenca, en las partes bajas de la sierra El Colorado y El Maneadero, los valores varían de 1.5 a 2.5 mg/l. Los valores mínimos registrados son de 0.1 a 0.8 mg/l y se presentan en los manantiales de La Azufrosa, San Joaquín y Las

Cuatas, estos manantiales se localizan en el centro de la cuenca; los valores medios de 1.2 y 1.6 mg/l se registran en los manantiales de La Virgen y El Antrisco respectivamente, ubicados al sur de la cuenca, en las partes bajas de la sierra La Azufrosa. En el plano N° 17 se presenta la configuración de las concentraciones de nitratos en el acuífero.

Sílice (SiO₂)

Este ion es común en las aguas subterráneas; se encuentra en estado coloidal, suspendido y disuelto; la principal fuente natural del sílice es la temperización de rocas silíceas que suele alcanzar valores de 1g/l o más, en aguas termales.

Para el acuífero en estudio, las concentraciones más altas de SiO₂ fueron registradas en los manantiales La Azufrosa, San Joaquín y Las Cuatas, los valores van de 28 a 30 mg/l, es importante mencionar que dos de estos manantiales son de aguas termales y el otro está localizado muy próximo a éstos, por lo que es normal que se registren estos valores altos de concentración. Los manantiales mencionados se ubican en el centro de la cuenca.

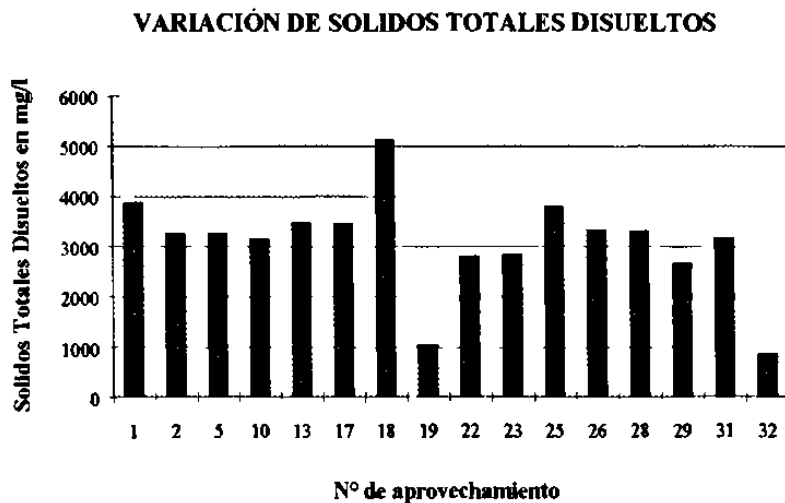


Gráfica N° 13. Variación en el contenido de sílice en los aprovechamientos del acuífero en estudio

Los aprovechamientos localizados al sur de la cuenca presentan valores de 18 a 25 mg/l, mientras los ubicados al norte registran concentraciones de 12 a 22 mg/l. En el plano N° 18 se presenta la configuración correspondiente a las concentraciones de sílice en el acuífero.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Este índice proporciona información acerca de la dirección del flujo y el grado de erosión que causa el movimiento del agua subterránea a las diferentes formaciones geológicas que constituyen al acuífero, ya que la materia disuelta consiste de limo, arcilla, partículas finas de material orgánico e inorgánico, compuestos solubles, plancton y otros microorganismos. Estas partículas oscilan en tamaño de 10 nm a 0.1 mm.



Gráfica N° 14. Variación en el contenido de STD en los aprovechamientos del acuífero en estudio

En el plano N° 19 se presenta la configuración de los valores de STD. La variación de concentraciones fluctúa entre los 1000 y 3500 mg/l en toda la cuenca; es importante mencionar que en los manantiales de La Virgen y de Las Cuatas, el primero localizado al suroeste y el otro en el centro de la cuenca, se registraron valores altos de 5110 y 3780 mg/l de STD respectivamente, lo cual se infiere que fue debido al grado de contaminación que presentaban dichos aprovechamientos al momento del muestreo.

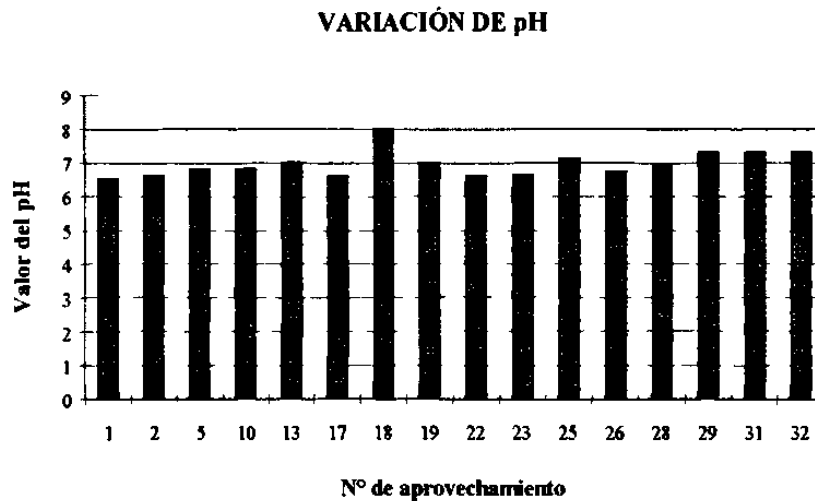
El valor de STD, que marca como máximo la Secretaría de Salud para un agua de uso potable es de 1000 mg/l, por lo que solo el aprovechamiento N° 32 (pozo El Milagro) con un valor de 850 mg/l cumple con esta norma.

Respecto al grado de erosión que origina el agua subterránea a las formaciones geológicas, puede calificarse como despreciable, esto sobre la base de que los equipos de bombeo localizados en los diferentes aprovechamientos no presentan ningún tipo de daño

originado por el desgaste de impulsores debido a la abrasión del agua subterránea que contiene partículas suspendidas.

Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es un índice muy importante en el control de la calidad del agua subterránea, ya que tiene influencia directa sobre muchos de los procesos biológicos y químicos que se desarrollan en este medio; los valores más comunes oscilan entre 6.0 y 8.5; aunque pueden ocurrir valores menores en aguas en contacto con depósitos minerales, principalmente sulfuros; mientras que valores mayores se observan en aguas eutróficas.



Gráfica N° 15. Variación en el valor de pH en los aprovechamientos del acuífero en estudio

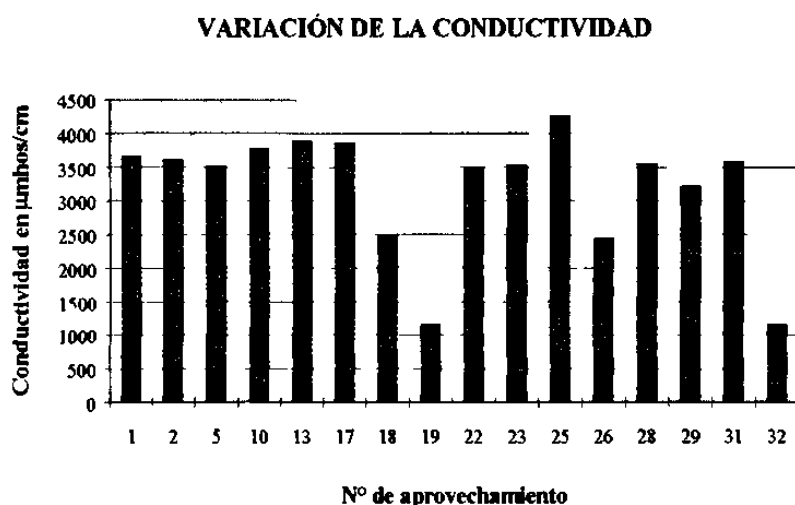
Los valores de pH que presenta el acuífero en estudio varían de 6.5 a 8, sabiendo que los valores mínimos se registran en los aprovechamientos localizados en el noroeste y centro de la cuenca, los valores varían de 6.5 a 6.9; en su mayoría, el acuífero presenta un pH entre 6.9 y 7.2 distribuido principalmente en el centro y norte del mismo, hacia el noreste se registran valores de 7.5. En el plano N° 20 se presenta la configuración de los valores de pH obtenidos.

Para el acuífero en estudio todos los aprovechamientos muestreados están dentro del rango establecidos por la Secretaría de Salud para agua de uso potable, la cual establece valores de pH en el rango de 6.5 y 8.5 como máximo.

Conductividad

Debido a que la conductividad es una medida de la habilidad del agua para conducir electricidad, está íntimamente relacionada con la variación de los sólidos disueltos y depende más específicamente del grado de disociación de las sales minerales en iones, así como de la temperatura.

Los aprovechamientos localizados en el acuífero presentan valores de 1133 a 3850 $\mu\text{mhos/cm}$, solamente hay un manantial (El Antrisco) y un pozo que registran valores de 1140 y 1133 μmhos respectivamente, el primero de ellos se localiza al sur de la cuenca y el otro al noreste de la misma, los demás aprovechamientos tienen valores mayores a 3000 $\mu\text{mhos/cm}$. Es importante mencionar que el manantial denominado Las Cuatas presenta un grado de contaminación muy alto, el cual se vio reflejado en el valor determinado de la conductividad con 4200 $\mu\text{mhos/cm}$. La configuración de los valores de la conductividad en la cuenca, se presenta en el plano N° 21.



Gráfica N° 16. Variación en el valor de la conductividad en los aprovechamientos del acuífero en estudio

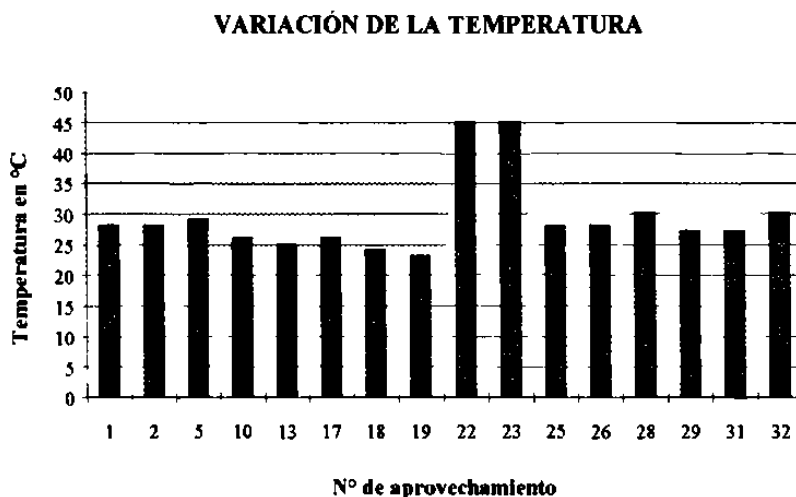
Temperatura

Este índice participa en gran medida en el desarrollo de los procesos físicos, químicos y bacteriológicos presentes en el agua, tanto superficial como subterránea.

Las aguas subterráneas mantienen regularmente una temperatura casi constante que, para acuíferos poco profundos, es muy cercana a la temperatura promedio anual del

aire; sin embargo, acuíferos muy profundos tienen temperaturas mayores, debido al gradiente térmico de la tierra.

La variación de temperatura registrada en la mayoría de los aprovechamientos localizados en el acuífero en estudio fue de 23 a 30 °C. En los manantiales de La Virgen y El Antrisco se obtuvieron temperaturas mínimas de 24 y 23 °C respectivamente, mientras que en los manantiales de aguas termales, La Azufrosa y San Joaquín, localizados en el centro de la cuenca, se registró una temperatura alta de 45 °C. Se infiere que una de las posibles causas de la alta temperatura en los aprovechamientos de aguas azufrosas, puede ser el contacto del agua subterránea con cámaras magmáticas en proceso de enfriamiento, en combinación con la circulación de la misma a grandes profundidades y a las características radioactivas de las rocas por las que circula.



Gráfica N° 17. Variación en el valor de la temperatura en los aprovechamientos del acuífero en estudio

6.3 Interpretación Hidrogeoquímica

De acuerdo con los resultados de los análisis físico-químicos realizados a diferentes muestras obtenidas de captaciones de agua subterránea en el área de estudio y teniendo como antecedente, que el acuífero en estudio se localiza en formaciones sedimentarias de origen marino, y en particular en material granular, se infiere que las concentraciones de los diferentes iones mayoritarios se obtienen a partir de la circulación que tiene el agua subterránea por las formaciones mencionadas, quedando la

concentración restringida al tiempo de recorrido y al medio donde circula, ya sea granular o fracturado. Considerando lo anterior, el agua obtenida de los manantiales de El Antrisco y de La Virgen, localizados en las partes bajas de la Sierra La Azufrosa, tiene una infiltración reciente, en comparación con la que se extrae en los pozos ubicados en la planicie de la cuenca; por consiguiente, presenta una menor concentración de elementos químicos que la que se extrae en los demás aprovechamientos.

Mediante el análisis de la hidrogeoquímica, se estableció que la dirección preferencial del agua subterránea es de oeste a este, circulando principalmente por el norte de la cuenca en forma paralela a las sierras de El Maneadero y El Colorado, con dos componentes que se integran a la dirección del flujo, una componente de sur a norte originada por la recarga en las partes bajas de la sierra La Azufrosa en la zona donde se ubican los manantiales El Antrisco y La Virgen, y otra componente de sureste a noroeste, en la parte central de la cuenca donde se localizan los manantiales de aguas termales.

El acuífero presenta una posible recarga en la parte noroeste, donde se infiere una comunicación con el acuífero del valle de Paredón. Este planteamiento se basa en los valores altos de las concentraciones determinadas (de los iones), que son característicos de aguas con cierto grado de contaminación, lo que puede ser originado por la infiltración de las aguas residuales vertidas en la ciudad de Ramos Arizpe, y que son conducidas hasta la cuenca de Paredón e Icamole por el río la Encantada y después por el río Patos.

Mediante el análisis de la temperatura, con los valores registrados en los aprovechamientos, se infiere que es muy posible que exista una recarga vertical (proveniente de un acuífero perteneciente a otra cuenca diferente a la estudiada) a través de un medio fracturado, que permita la circulación del agua subterránea (a grandes profundidades) por rocas o capas magmáticas en proceso de enfriamiento, lo que contribuye a tener elevadas temperaturas del agua, así como descargas constantes, por lo cual es importante considerar esta hipótesis para el planteamiento de una posible explotación futura del acuífero.

Respecto a los valores altos que se tienen de la salinidad, puede mencionarse que el acuífero presenta baja permeabilidad y transmisibilidad de las formaciones geológicas, a través de las cuales circula el agua subterránea, el flujo es lento, consecuentemente, el tiempo de contacto del agua con las formaciones geológicas es amplio, lo cual ocasiona

que la concentración de sólidos se incremente notablemente. De acuerdo a lo anterior, el acuífero del área se consideraría de condiciones geohidrológicas bajas; lo importante de este análisis es que al comparar la suposición mencionada con lo que pasa realmente en la parte noroeste del acuífero, sería contradictorio, ya que los aprovechamientos (pozos) en esta área presentan un volumen de descarga considerable y una recarga muy rápida, esto sería una base para suponer que el acuífero cuenta con buenas características geohidrológicas para su explotación; por lo que, analizando las dos condiciones anteriores, se puede concluir que el acuífero en la parte norte y especialmente en la parte noroeste, presenta una posible recarga subterránea vertical y además se infiere que es a través de un medio fracturado, por lo cual dicha recarga es alimentada por un acuífero externo al estudiado.

6.4 Diagrama de Schoeller

Mediante el diagrama de Schoeller, se aprecia que la mayoría de las muestras de agua, presentan un similar comportamiento; por lo que son del mismo tipo, a excepción de los manantiales de El Antrisco y La Virgen, los cuales presentan concentraciones menores con relación a los demás aprovechamientos. Se puede concluir que la forma general del diagrama demuestra un dominio de los iones calcio y sulfato, y menores concentraciones de los iones cloruro y bicarbonato.

Considerando los límites máximos permisibles para un agua de uso potable establecidos por la Secretaría de Salud y la Agencia Protectora del Medio Ambiente (EPA), solo el manantial El Antrisco, localizado al sur de la cuenca, cumple con el límite establecido de 500 mg/l, por lo que no es recomendable consumir agua de los demás aprovechamientos localizados en la cuenca. En la figura N° 20 se muestra el diagrama de Schoeller.

6.5 Clasificación del Agua Mediante el Diagrama de Piper

Mediante la aplicación del diagrama de Piper, se apreció que en la mayoría de las muestras analizadas se obtuvo la clasificación de agua mixta-sulfatada, por lo que el agua subterránea que constituye el acuífero es de un solo tipo. Los aprovechamientos

identificados como manantiales El Anrisco y La Virgen, localizados en la parte sur de la cuenca, en las partes bajas de la sierra La Azufrosa, se clasifican como aguas del tipo Mixta-Bicarbonatada y Mixta-Mixta, respectivamente. En la figura N° 21 se presenta el diagrama de Piper y en la tabla N° 19, se muestra la clasificación obtenida mediante la aplicación de dicho diagrama.

No. de Muestra	No. y tipo de Aprovechamiento	Clasificación del agua (Piper)
1	1.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
2	2.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
3	5.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
4	10.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
5	13.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
6	17.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
7	18.- Manantial La Virgen	Mixta-Bicarbonatada-Calcica
8	19.- Manantial El Anrisco	Mixta-Mixta-Clorurada
9	22.- Manantial La Azufrosa	Mixta-Sulfatada-Clorurada
10	23.- Manantial San Joaquín	Mixta-Sulfatada-Clorurada
11	25.- Manantial Las Cuatas	Calcica-Sulfatada-Clorurada
12	26.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
13	28.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
14	29.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
15	31.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
16	32.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada

Tabla N° 19. Clasificación del agua subterránea mediante el diagrama de Piper

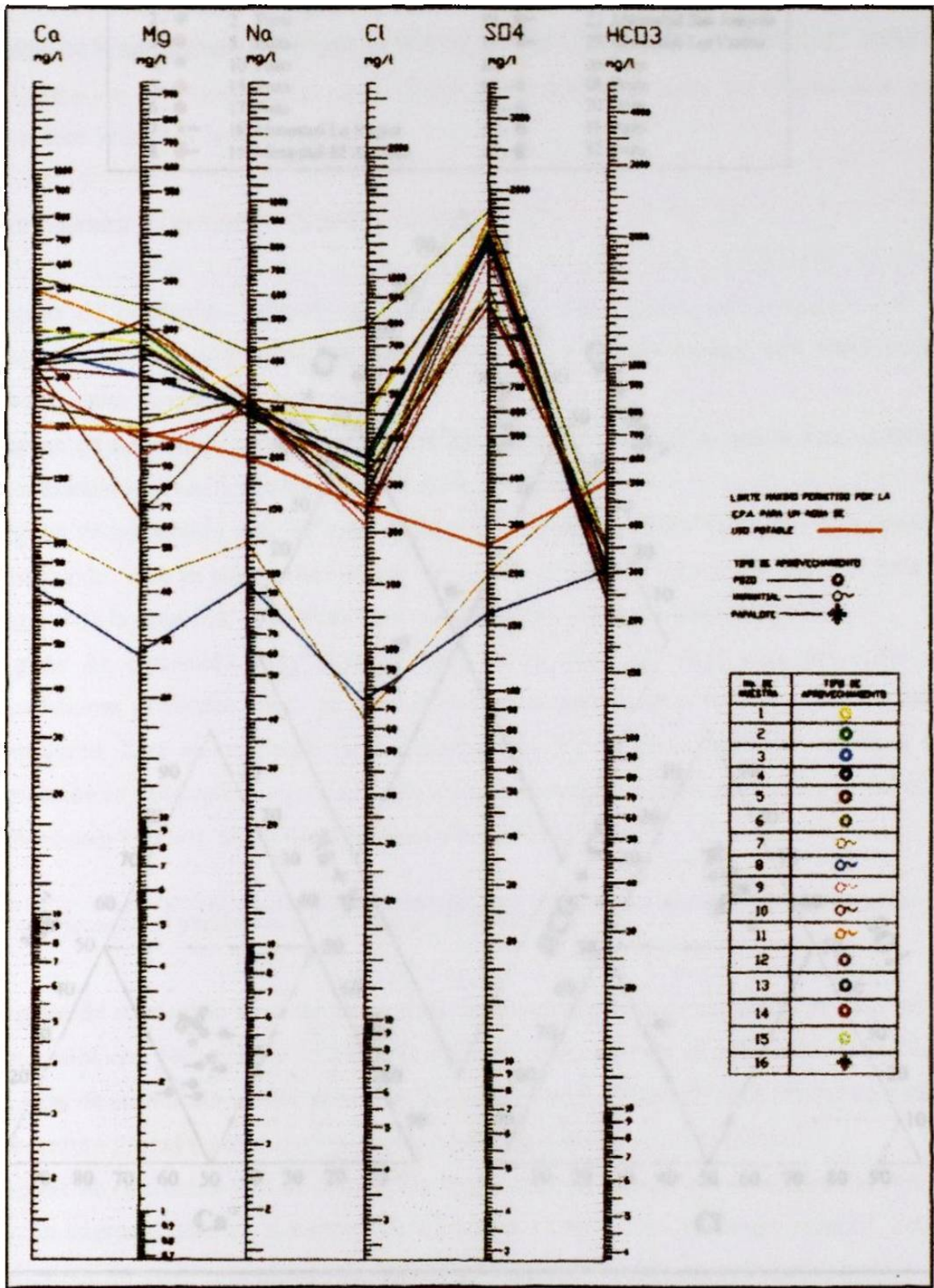


Figura N° 20. Diagrama de Schoeller

No. DE MUESTRA	No. Y TIPO DE APROVECHAMIENTO	No. DE MUESTRA	No. Y TIPO DE APROVECHAMIENTO
1 - ●	1. Pozo	9 - ●	22. Manantial La Azufrosa
2 - ●	2. Pozo	10 - ●	23. Manantial San Joaquín
3 - ●	5. Pozo	11 - ●	25. Manantial Las Cuatas
4 - ●	10. Pozo	12 - ●	26. Pozo
5 - ●	13. Pozo	13 - ●	28. Pozo
6 - ●	17. Pozo	14 - ●	29. Pozo
7 - ●	18. Manantial La Virgen	15 - ●	31. Pozo
8 - ●	19. Manantial El Antrisco	16 - ●	32. Pozo

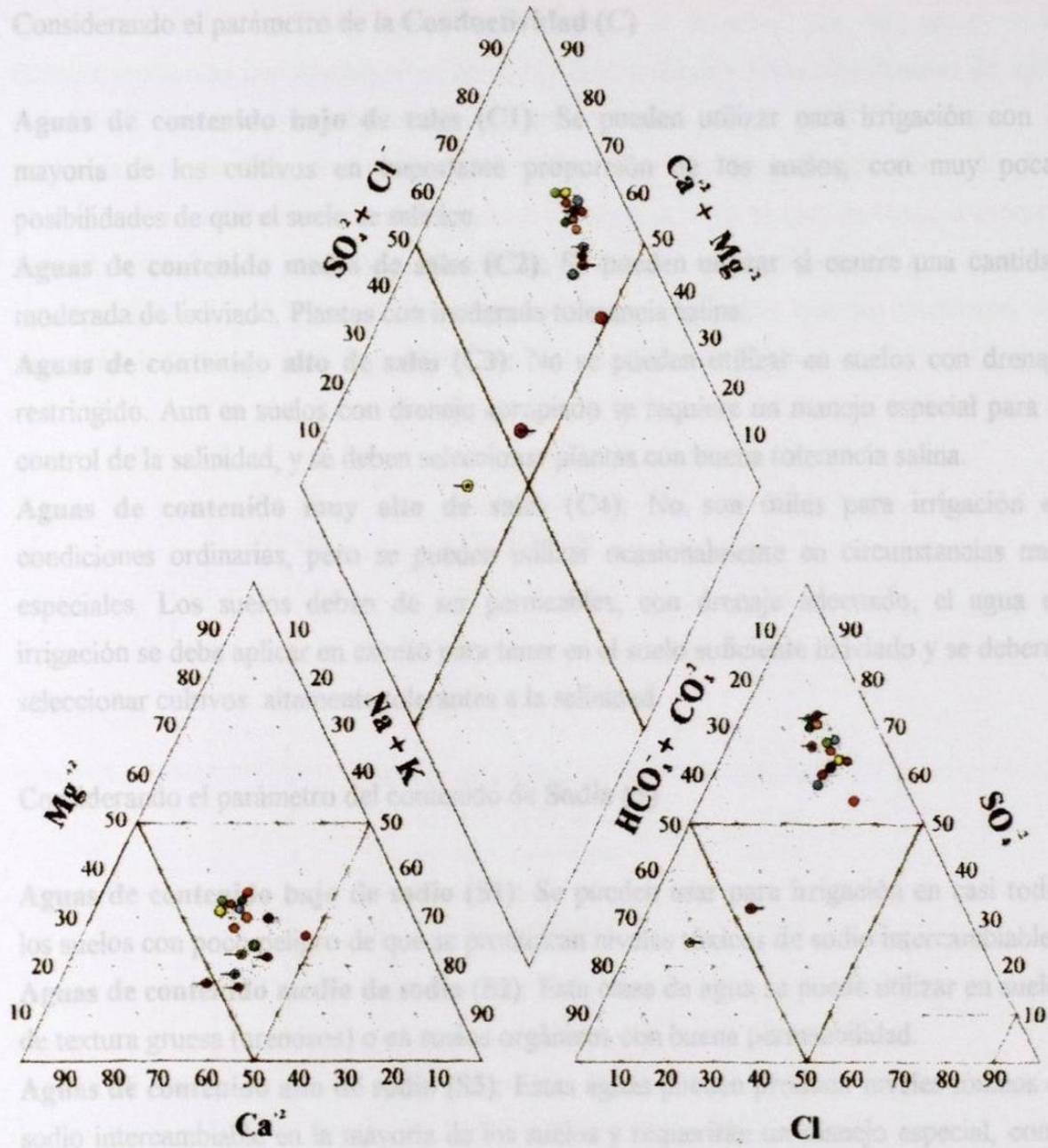


Figura N° 21. Clasificación de la calidad del agua subterránea mediante el uso del diagrama de Piper

6.6 Clasificación del Agua en Relación con el Uso Agrícola

La clasificación del agua subterránea en relación con el uso agrícola, se realizó mediante la aplicación del método de Wilcox, el cual considera la conductividad eléctrica y la relación de adsorción del sodio (RAS) contenido en el agua. La clasificación que establece Wilcox es la siguiente:

Considerando el parámetro de la **Conductividad (C)**

Aguas de contenido bajo de sales (C1): Se pueden utilizar para irrigación con la mayoría de los cultivos en importante proporción de los suelos, con muy pocas posibilidades de que el suelo se salinice.

Aguas de contenido medio de sales (C2): Se pueden utilizar si ocurre una cantidad moderada de lixiviado. Plantas con moderada tolerancia salina.

Aguas de contenido alto de sales (C3): No se pueden utilizar en suelos con drenaje restringido. Aun en suelos con drenaje apropiado se requiere un manejo especial para el control de la salinidad, y se deben seleccionar plantas con buena tolerancia salina.

Aguas de contenido muy alto de sales (C4): No son útiles para irrigación en condiciones ordinarias, pero se pueden utilizar ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben de ser permeables, con drenaje adecuado, el agua de irrigación se debe aplicar en exceso para tener en el suelo suficiente lixiviado y se deberán seleccionar cultivos altamente tolerantes a la salinidad.

Considerando el parámetro del contenido de **Sodio (S)**

Aguas de contenido bajo de sodio (S1): Se pueden usar para irrigación en casi todos los suelos con poco peligro de que se produzcan niveles tóxicos de sodio intercambiable.

Aguas de contenido medio de sodio (S2): Esta clase de agua se puede utilizar en suelos de textura gruesa (arenosos) o en suelos orgánicos con buena permeabilidad.

Aguas de contenido alto de sodio (S3): Estas aguas pueden producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos y requerirán un manejo especial, como adiciones de materia orgánica, abundante lixiviación en condiciones de buen drenaje del suelo. Algún mejorador químico se puede requerir para el remplazo del sodio adsorbido, pero el uso de los mejoradores puede no ser factible con aguas de muy alta salinidad.

Aguas de contenido muy alto de sodio (S4): No son satisfactorias para propósitos de irrigación, excepto en condiciones de salinidad baja o media, donde el contenido de calcio de la solución del suelo o la aplicación de yeso u otro mejorador químico pueda hacer factible el uso de estas aguas.

De acuerdo con el diagrama de Wilcox, se obtuvieron los siguientes tipos de aguas C4-S1 el cual corresponde a un alto contenido de sales, pero bajas en sodio, por lo que se recomiendan cultivos altamente resistentes a la salinidad; por otra parte, no se tendrán problemas con niveles altos de sodio intercambiable. Otra clasificación de agua fue C4-S2, el cual presenta las mismas características que el anterior en cuanto al problema de salinidad, pero referente al sodio, exige un mejor drenaje del suelo. Por ultimo la clasificación C3-S1, requiere un buen drenaje al igual que un manejo especial para el control de la salinidad, en este grupo de agua no se tienen riesgos de sodio intercambiable. En la tabla N° 20 se presentan los resultados que se obtuvieron del diagrama de Wilcox y en la figura N° 22 se muestra dicho diagrama.

No. de Muestra	No. y tipo de Aprovechamiento	Clasificación del agua (Wilcox)
1	1.- Pozo	C4-S1
2	2.- Pozo	C4-S1
3	5.- Pozo	C4-S1
4	10.- Pozo	C4-S1
5	13 - Pozo	C4-S1
6	17.- Pozo	C4-S2
7	18.- Manantial La Virgen	C4-S1
8	19.- Manantial El Antrisco	C3-S1
9	22.- Manantial La Azufrosa	C4-S2
10	23.- Manantial San Joaquin	C4-S2
11	25.- Manantial Las Cuatas	C4-S2
12	26 - Pozo	C4-S1
13	28.- Pozo	C4-S1
14	29.- Pozo	C4-S1
15	31.- Pozo	C4-S2
16	32.- Pozo	C3-S1

Tabla N° 20. Clasificación del agua subterránea con relación al uso agrícola

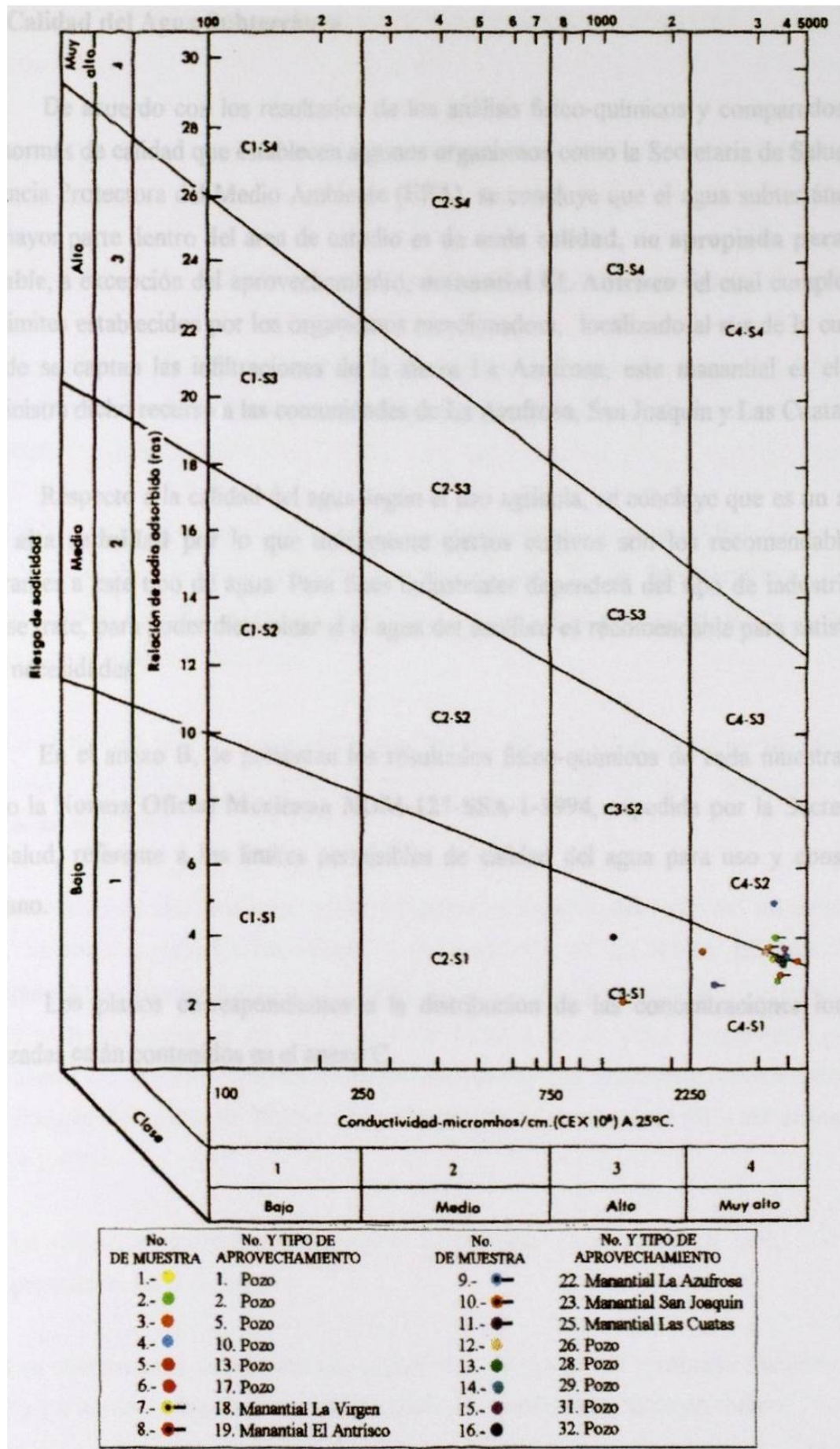


Figura N° 22. Clasificación del agua según uso agrícola, mediante el diagrama de Wilcox

6.7 Calidad del Agua Subterránea

De acuerdo con los resultados de los análisis físico-químicos y comparados con las normas de calidad que establecen algunos organismos como la Secretaría de Salud y la Agencia Protectora del Medio Ambiente (EPA), se concluye que el agua subterránea en su mayor parte dentro del área de estudio es de **mala calidad, no apropiada para uso potable**, a excepción del aprovechamiento, **manantial EL Antrisco** (el cual cumple con los límites establecidos por los organismos mencionados), localizado al sur de la cuenca donde se captan las infiltraciones de la sierra La Azufrosa, este manantial es el que suministra dicho recurso a las comunidades de La Azufrosa, San Joaquín y Las Cuatas.

Respecto a la calidad del agua según el uso agrícola, se concluye que es un **agua con alta salinidad** por lo que únicamente ciertos cultivos son los recomendables y tolerantes a este tipo de agua. Para fines industriales dependerá del tipo de industria de que se trate, para poder dictaminar si el agua del acuífero es recomendable para satisfacer esas necesidades.

En el anexo B, se presentan los resultados físico-químicos de cada muestra, así como la **Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1-1994**, expedida por la Secretaría de Salud, referente a los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano.

Los planos correspondientes a la distribución de las concentraciones iónicas analizadas están contenidos en el anexo C.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Mediante los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

- 1.- El coeficiente de escurrimiento que rige a la cuenca en estudio, varía de 1.5 % a 2.5 %, predominando en la misma el tipo de vegetación halofila (55.4 % matorral, 43.3 % chaparral y 1.3 % agricultura).
- 2.- La litología que conforma la superficie del terreno en la cuenca de Paredón-Icamole está constituida por los siguientes materiales: 48.3 % de lutita-arenisca, 7.9 % conglomerado y 43.8 % aluvión. Las estructuras que forman el parteaguas de la cuenca tienen una orientación este-oeste.
- 3.- La estructura geológica que forma a la cuenca de Paredón-Icamole es un anticlinal erosionado constituido por lutitas y areniscas del Grupo Difunta, originado en el Cretácico Superior.
- 4.- El acuífero se clasificó como semiconfinado (a excepción del lecho del río Salinas el cual funciona como acuífero libre) y se desarrolla en la unidad hidrogeológica compuesta por depósitos aluviales (arenas y gravas, edad geológica del Cuaternario) y en la zona de alteración de las rocas sedimentarias de un delta progradante que lo subyacen. De acuerdo con los estudios realizados, los espesores aproximados del aluvión, son del orden de 20 m en la parte este de la cuenca y de 40 a 60 m hacia el centro y oeste.
- 5.- La dirección preferencial del flujo subterráneo es de oeste a este, con una componente de sur a noreste.
- 6.- Los abatimientos medios anuales registrados en el período analizado fluctúan entre 0.70 y 1.0 m, dependiendo de la concentración de aprovechamientos en el área.

7.- La descarga anual total aproximada del acuífero, a través de los aprovechamientos registrados es de 12.927 mill m³, de los cuales 12.503 mill m³ corresponden a 16 pozos, 409 960 m³ a 6 manantiales y 14 040 m³ a 2 papalotes.

8.- La recarga anual total estimada del acuífero es de 12.70 mill m³, compuesta por 9.14 mill m³ originados por la infiltración de escurrimientos superficiales y 3.56 mill m³ por flujo subterráneo.

9.- La recarga del acuífero presenta tres probables orígenes: uno debido a la infiltración reciente de escurrimientos superficiales en un medio granular y fracturado (manantiales en las partes bajas de las sierras y lecho del río Salinas), otro por medio del flujo subterráneo mediante el contacto con otra cuenca subterránea (flujo horizontal y vertical) y el último por medio de la circulación de agua subterránea, a temperaturas y presiones muy altas, cerca de alguna capa magmática (cuerpo intrusivo).

10.- La principal área de recarga del acuífero se localiza en el lecho del río Salinas, mediante el cual se genera una infiltración del escurrimiento superficial, principalmente en época de lluvia (meses de mayo y septiembre).

11.- El acuífero se encuentra en equilibrio, con probabilidades de localizar nuevos aprovechamientos para su explotación; pero garantizando una política de extracción que no afecte en gran medida las condiciones actuales del mismo.

12.- De acuerdo con la clasificación según Piper, el agua que constituye al acuífero se clasifica como Mixta-Sulfatada-Clorurada en la mayoría de los aprovechamientos muestreados, a excepción de los manantiales El Antrisco y La Virgen; el primero presenta una clasificación de agua Mixta-Mixta-Clorurada y el segundo de Mixta-Bicarbonatada-Cálcica. Es importante mencionar que sólo un aprovechamiento (manantial El Antrisco) del total de los registrados, presenta valores menores de concentración de iones mayoritarios a los permitidos por la Secretaría de Salud (Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1-1996).

13.- Para la clasificación del agua de acuerdo al uso agrícola, mediante la aplicación del método de Wilcox, se determinó que 5 aprovechamientos de los 16 muestreados presentan una clasificación de C4-S2 (aguas de contenido muy alto de sales y de contenido medio de sodio) 10 aprovechamientos se clasifican como C4-S1 (aguas de contenido muy alto de sales y de contenido bajo de sodio) y sólo un aprovechamiento

presenta la clasificación de C3-S1 (aguas de contenido alto de sales y contenido bajo de sodio).

14.- El escurrimiento superficial que drena la cuenca de Predón e Icamole (río salinas) arrastra una gran cantidad de contaminantes provenientes de la cuenca adyacente (Saltillo-Paredón) debido al paso por varias ciudades del estado de Coahuila, las cuales contribuyen a incrementar el grado de contaminación de dicho escurrimiento (entre ellas las ciudades de Saltillo y Ramos Arízpe). Esto se infiere que repercute en el alto contenido de sólidos totales disueltos registrados en el agua que constituye el acuífero, particularmente en la parte noroeste de la cuenca, (valores que van de 3000 a 3500 mg/l) lugar por donde el río Salinas inicia el drenado de la misma.

15.- En la mayor parte del valle, las aguas contienen cantidades de sodio que van de 250 a 350 mg/l, y de sulfatos de 160 a 1700 mg/l, la mayor concentración se registra en los aprovechamientos situados al noreste de la cuenca y los valores mínimos en los manantiales de El Antrisco y La Virgen (160 y 200 mg/l respectivamente).

16.- La variación de temperatura registrada en la mayoría de los aprovechamientos muestreados fue de 23 a 30 °C, los valores máximos se registraron en los manantiales de la Azufrosa y San Joaquín, los cuales fluctúan entre 40 y 45° C.

7.2 Recomendaciones

a).- Hacer del conocimiento de los habitantes de las rancherías localizadas en la cuenca de Predón e Icamole, la información recopilada referente a la calidad del agua que guarda el acuífero, que satisface las necesidades de dichas poblaciones (uso doméstico, agrícola y ganadero), esto con el fin de prevenir el uso inadecuado del agua en dichas actividades, considerando que el agua es potable en un sólo aprovechamiento (manantial de El Antrisco) localizado al sur de la cuenca.

b).- Es necesario realizar la construcción de un depósito que almacene temporalmente los escurrimientos generados por los manantiales de La Azufrosa, Las Cuatas y el de San Joaquín, el cual permita efectuar un tratamiento de saneamiento del agua para después emplearla en el riego de cultivos.

c).- Continuar con la medición de los niveles estáticos y dinámicos de los aprovechamientos registrados en la cuenca, por lo menos cada seis meses, con el fin de aumentar la información que permita un planteamiento de parámetros que justifiquen una explotación adecuada y una propuesta bien definida de la localización de nuevos aprovechamientos.

d).- Se deberá considerar la información que se genere mediante pruebas de bombeo y de aforo que en un futuro se realicen, lo mismo que la perforación de nuevos aprovechamientos en la cuenca, lo que obligará a realizar trabajos de nivelación para las cotas topográficas de los brocales que no cuenten con ella, los cuales pudiesen incorporarse a un próximo estudio más detallado del acuífero.

e).- Realizar estudios de investigación con el suficiente detalle que permitan obtener resultados actualizados de los que se integran en el presente trabajo, lo cual podrá dar líneas generales para la modelación del acuífero y establecer políticas de extracción durante los períodos subsecuentes.

f).- Efectuar un estudio de la calidad del agua del escurrimiento del río Patos, a la salida de la ciudad de Saltillo y de Ramos Arízpe (estado de Coahuila) y otro a la salida de la cuenca de Paredón-Icamole (estado de Nuevo León) para conocer la proporción de los contaminantes que se pierden durante el recorrido del escurrimiento a través de la región, de forma que se pueda estimar el grado de contaminación que afecta dicho escurrimiento a la calidad del agua que constituye el acuífero, no sólo en la cuenca de Paredón e Icamole si no también en la cuenca de Saltillo-Paredón. Esto permitirá plantear nuevos parámetros para la remediación (si es el caso) del acuífero.

g).- Realizar un estudio más específico y detallado de las formaciones geológicas que se infiere están correlacionadas con la posible recarga vertical del acuífero, mediante una falla regional localizada en la parte norte de la cuenca y que se cree tiene una influencia, en escala regional, en el comportamiento del agua subterránea.

h).- Es justo y necesario, que los campesinos y los agricultores de la cuenca de Paredón e Icamole conozcan con detalle el grado de explotación que se tiene del acuífero, para lo cual se recomienda, una vez enterada la Comisión Nacional del Agua (CNA) de los resultados del presente trabajo, que este organismo, en su carácter de autoridad legislativa, referente a los derechos y usos del agua, realice actividades que tengan como

fin informar y concientizar a los usuarios acerca del comportamiento hidráulico del acuífero, qué tiene actualmente y qué se espera que tenga en años subsecuentes.

i).- Considerando la clasificación del agua, para uso agrícola, mediante el método de Wilcox, es recomendable seleccionar cultivos que de acuerdo con la clasificación que constituye el agua del acuífero, sean resistentes a la salinidad y se apliquen en las áreas localizadas al oeste y noroeste de la cuenca en donde predominan los suelos con buen drenaje.

BIBLIOGRAFIA

- AIH-AGM-CNA.** 1994. " El Agua Subterránea en el Desarrollo Sostenible". Memorias del Congreso Internacional de Hidrogeología. Veracruz, Ver.
- ALHSUD.** 1996. "Memorias del 3er. Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea". UNAM-UASLP. México, D. F.
- AMBIO.** 1988. El Agua. Ed. Blume S. A. Barcelona, España.
- Anderson II B. D. y Aguilera V. M.** 1985. Push Faults, a Conceptual Model for Groundwater Exploration in the Sierra Madre Oriental Foreland, México. Zbl. Geol. Paläon. Teil I, Stuttgart.
- Aparicio M. J.** 1993. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa Noriega Editores, 2ª Reimpresión, México, D. F.
- Campos A. D.** 1992. Procesos del Ciclo Hidrológico. Ed. Universitaria Potosina, 2ª Reimpresión, S. L. P.
- CASSA, Consultores en Agua Subterránea S. A.** 1981. "Estudio Hidrogeológico en el municipio de Villa de García, N. L.". Gobierno del Estado de Nuevo León, México.
- CNA, Gerencias Estatales de Nuevo León y de Coahuila.** 1955-1996. "Información de Estaciones Climatológicas Localizadas en los dos Estados". Banco de datos de Temperatura, Precipitación y Evaporación.
- CFE-GEIC, Hidrometeorología.** 1996. Boletines Meteorológicos correspondientes a los meses de enero, mayo, septiembre y noviembre de 1996, en el noreste de México. México D. F.

- Cochran W. y Fenner P.** 1980. Geo-Escritura, una guía para escribir, editar e imprimir en las Ciencias de la Tierra. 1ª Edición en español, editado por CFE, por cortesía de American Geological Institute. México, D. F.
- Conde R. R. y Palacios B. F.** 1995. Apuntes de Hidrología Urbana. Editado por el IIC de la UANL. Monterrey, N. L.
- Cuevas L. Antonio.** 1988. "Análisis de Subsistencia e Historia Térmica en la Cuenca de Sabinas". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, volumen XXXVI, N° 2. México D. F.
- Custodio J. E. y Llamas R.** 1976. Hidrología Subterránea. Tomo I y II, Ed. Omega Barcelona, España.
- Chavez G. R.** 1992. "La Contaminación de las Aguas Subterráneas". Apuntes del IV Curso Internacional de Geohidrología y Contaminación de acuíferos, FI-UNAM, México, D. F.
- Davis S. N. y de Wiest R.** 1971. Hidrogeología. Ed. Ariel, Barcelona, España. .
- Danell S. J.** 1998. "El Costo de la Sequía". Artículo de la revista Expansión, p. 110-113, México, D. F.
- Gary G. G. y Chris A. J.** 1995. "Structural and Tectonic Evolution of the Sierra Madre Oriental, whit emphasis on the Saltillo-Monterrey Corridor". Memorias de la Convención Anual de la Asociación Americana de Geólogos Petroleros. Houston, TX.
- González G. R.** 1974. "Probabilidades de la Ocurrencia de la Lluvia Anual en el Noreste de México" Boletín de la División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas del ITESM. Monterrey, N. L.