



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
Departamento de Geología

**ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO DEL
ACUÍFERO LOS BAGOTES, AL OESTE DE
HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO**

Tesis profesional de:
Vanessa Romo Vargas

Directora de tesis:
M.I. Eva Lourdes Vega Granillo

Asesores de tesis:
Dr. José Castillo Gurrola
M.C. Mariano Morales Montaña

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

9 de Octubre de 2013.

DR. I. GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
P R E S E N T E.-

Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para su aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO LOS BAGOTES,
AL OESTE DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO

Esto es con el fin de que: **VANESSA ROMO VARGAS** con **Expediente: 204204291** pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología.

Sin otro asunto en particular, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

M.I. EVA LOURDES VEGA GRANILLO
DIRECTORA DE TESIS

C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo





UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

04 de noviembre, 2013

M.I. EVA LOURDES VEGA GRANILLO
DIRECTORA DE TESIS
P R E S E N T E.-

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por
Usted intitulado:

**"ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO DEL ACUIFERO LOS BAGOTES,
AL OESTE DE HERMOSILLO, SONORA, MEXICO"**

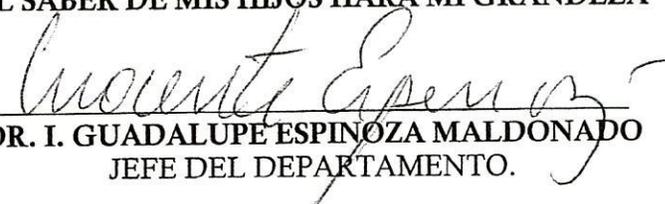
Esto es con el fin de que la alumna **VANESSA ROMO VARGAS**, pueda presentar su
examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura. Asimismo le comunico
que han sido asignados los siguientes Sinodales:

DR. JOSE CASTILLO GURROLA
M.C. MARIANO MORALES MONTAÑO
M.I. EVA LOURDES VEGA GRANILLO

PRESIDENTE
SECRETARIO
VOCAL

Sin otro en particular, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"


DR. I. GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO
JEFE DEL DEPARTAMENTO.



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**

C.c.p. Archivo.



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

NOMBRE DE LA TESIS:

**"ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO DEL ACUIFERO LOS BAGOTES,
AL OESTE DE HERMOSILLO, SONORA, MEXICO"**

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

VANESSA ROMO VARGAS

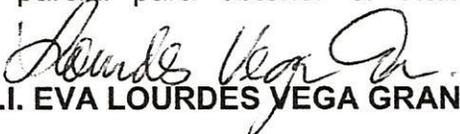
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.


DR. JOSE CASTILLO GURROLA

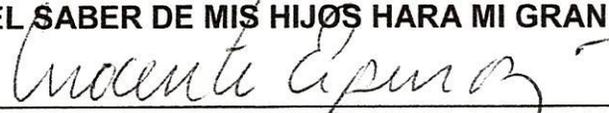
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.


M.C. MARIANO MORALES MONTAÑO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.


M.I. EVA LOURDES YEGA GRANILLO

**ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"**


**DR. I. GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA.**



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**

C.c.p. Archivo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres César Alberto Romo y Francisca Yolanda Vargas, que gracias a su amor y apoyo he tomado las mejores decisiones de mi vida, gracias a ellos por brindarme los recursos necesarios para seguir mis estudios, los amo mucho por todo lo que han hecho por mí.

A mi esposo Francisco Alejandro Dórame por su amor incondicional y por haber caminado a mi lado todo este tiempo, por creer en mí, por impulsarme siempre a alcanzar mis metas, por ser alguien especial en mi vida. Siempre.....

A mi pequeño hijo Derek Alejandro por darme la fuerza y las ganas de seguir adelante por esa felicidad y satisfacción que me ha brindado desde su nacimiento.

A mis hermanas Sellenne y Stephannie que de una forma u otra estuvieron acompañándome en este largo camino.

Vanessa Romo Vargas

AGRADECIMIENTOS

Manifiesto mi más sincero agradecimiento al Departamento de Geología de la División de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Sonora por el apoyo que me otorgó al cursar mis estudios de Licenciatura.

Un reconocimiento muy especial para quien me brindó horas de su tiempo dándome aliento cuando pensaba que no lo lograría, apoyándome y supervisando mi trabajo, convirtiéndose en un apoyo emocional y académico, a mi Directora de tesis M.I. Eva Lourdes Vega Granillo, muchas gracias!

A mis maestros Sinodales: M.C Mariano Morales Montaña y Dr. José Castillo Gurrola, por permitirme participar en el proyecto que generó esta tesis y por todo su apoyo para lograr mi objetivo de titulación.

Gracias a todas las personas que tuvieron que ver para lograr este objetivo, por su valioso apoyo y amistad.

Vanessa Romo Vargas

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
1.1. Antecedentes y problemática del área	1
1.2. Localización del área de estudio	1
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Generales	5
1.3.2. Específicos	5
1.4. Trabajos previos	5
II. MATERIALES Y MÉTODOS	7
III. GEOLOGÍA	9
3.1. Fisiografía y geomorfología	9
3.2. Geología superficial	10
3.2.1. Paleozoico	11
3.2.2. Mesozoico	12
3.2.3. Cenozoico	13
3.3. Geofísica	13
3.3.1. Gravimetría	14
3.3.2. Resistividad eléctrica	15
3.3.3. Interpretación y presentación de resultados	16
IV. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	18
4.1. Región y cuenca hidrológica	19
4.2. Ríos de la zona de estudio	19
4.3. Elementos del ciclo hidrológico	21
4.3.1. Precipitación	21
4.3.2. Evapotranspiración	22
4.3.3. Esguerrimiento	23
4.3.4. Infiltración	24
V. GEOHIDROLOGÍA	25
5.1. Unidades geohidrológicas y fronteras del acuífero	25
5.2. Censo de aprovechamientos	27

5.3.	Piezometría	28
5.3.1.	Elevación del nivel estático y dirección del movimiento del agua subterránea	32
VI.	HIDROGEOQUÍMICA	34
6.1.	Muestreo de agua subterránea	34
6.1.1.	Parámetros medidos en campo	37
	<i>Temperatura del agua</i>	37
	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i>	39
	<i>Potencial hidrógeno (pH)</i>	40
	<i>Oxígeno disuelto (OD)</i>	41
	<i>Alcalinidad total</i>	43
	<i>Potencial redox (Eh)</i>	44
6.2.	Análisis químicos	45
6.2.1.	Características bacteriológicas	45
6.2.2.	Características físicas y organolépticas	48
	<i>Turbiedad o turbidez</i>	48
6.2.3.	Características químicas	49
	<i>Dureza total (como CaCO₃)</i>	49
	<i>Sólidos totales disueltos (STD)</i>	51
	<i>Cationes</i>	53
	- <i>Calcio (Ca⁺⁺)</i>	53
	- <i>Magnesio (Mg⁺⁺)</i>	54
	- <i>Sodio (Na⁺)</i>	55
	- <i>Potasio (K⁺)</i>	56
	<i>Aniones</i>	57
	- <i>Bicarbonatos (HCO₃⁻) y carbonatos (CO₃⁼)</i>	58
	- <i>Sulfatos (SO₄⁼)</i>	59
	- <i>Cloruros (Cl)</i>	61
	- <i>Nitritos (NO₂⁻) y nitratos (NO₃⁻)</i>	62
	- <i>Boro (B)</i>	64
	- <i>Fluoruros (F)</i>	65
	- <i>Fosfatos (PO₄³⁻)</i>	67
	<i>Metales y metaloides</i>	67
	- <i>Aluminio (Al)</i>	69

- <i>Antimonio (Sb)</i>	70
- <i>Arsénico (As)</i>	71
- <i>Bario (Ba)</i>	72
- <i>Estroncio (Sr)</i>	73
- <i>Fierro (Fe)</i>	74
- <i>Litio (Li)</i>	75
- <i>Manganeso (Mn)</i>	76
- <i>Molibdeno (Mo)</i>	77
- <i>Selenio (Se)</i>	77
- <i>Talio (Tl)</i>	78
- <i>Vanadio (Va)</i>	79
- <i>Zinc (Zn)</i>	80
<i>Coloides</i>	81
- <i>Sílice (Si)</i>	82
<i>Plaguicidas</i>	84
6.3. Clasificación del agua por familias	85
6.3.1. Polígonos de Stiff	87
6.3.2. Diagrama de Piper	89
6.3.3. Clasificación de Wilcox	91
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
7.1. Conclusiones	96
7.2. Recomendaciones	97
VIII. BIBLIOGRAFÍA	98

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
CAPITULO I	
Tabla 1.1. Coordenadas del polígono oficial de la zona acuífera Los Bagotes	2
CAPITULO III	
Tabla 3.1. Elevaciones en la zona de estudio	9
CAPITULO IV	
Tabla 4.1. Precipitación y escurrimiento en las regiones hidrológicas de Sonora (INEGI, 2007)	19
Tabla 4.2. Estaciones meteorológicas cercanas a Los Bagotes	22
Tabla 4.3. Cálculo de la evapotranspiración en Los Bagotes	23
Tabla 4.4. Obtención de los parámetros hidrológicos de Los Bagotes	24
CAPITULO V	
Tabla 5.1. Nivelación de brocales de 20 pozos de Los Bagotes (UNISON, 2001)	28
Tabla 5.2. Propiedades de 15 pozos de Los Bagotes (Agua de Hermosillo, 2006)	29
Tabla 5.3. Piezometría de los pozos de Los Bagotes (UNISON, 2008)	30
CAPITULO VI	
Tabla 6.1. Análisis físico-químicos realizados	36
Tabla 6.2. Muestreo de agua subterránea de Los Bagotes	37
Tabla 6.3. Clasificación del agua según su conductividad eléctrica (APHA, 1992)	39
Tabla 6.4. Límites máximos permisibles según la NOM-127-SSA1-1994	45
Tabla 6.5. Análisis bacteriológicos de Los Bagotes	46
Tabla 6.6. Características del agua subterránea de Los Bagotes	48
Tabla 6.7. Clasificación del agua por su dureza	50
Tabla 6.8. Clasificación de agua subterránea basada en los STD	51
Tabla 6.9. Cationes analizados en aguas de Los Bagotes	53
Tabla 6.10. Aniones analizados en aguas de Los Bagotes	58
Tabla 6.11. Límites permisibles de boro	65
Tabla 6.12. Concentraciones de metales y metaloides	68
Tabla 6.13. Límites máximos permisibles para metales y metaloides para	69

agua de consumo humano	
Tabla 6.14. Concentraciones de sílice en el agua de Los Bagotes	83
Tabla 6.15. Plaguicidas analizados en Los Bagotes	85
Tabla 6.16. Agentes biológicos nocivos a la salud (NOM, 1994)	85
Tabla 6.17. Límites permisibles de características físicas y organolépticas (NOM, 1994)	86
Tabla 6.18. Límites permisibles de características químicas (NOM, 1994)	86
Tabla 6.19. Diversas normas nacionales e internacionales para metales y metaloides para agua de consumo humano	87
Tabla 6.20. Clasificación de Stiff de familias de aguas	88
Tabla 6.21. Clasificación de Piper en aguas de Los Bagotes	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
CAPITULO I	
Figura 1.1. Vértices del polígono oficial de Los Bagotes, Sonora (UNISON, 2008)	3
Figura 1.2. Localización hidrológica de Los Bagotes, Sonora	4
CAPITULO III	
Figura 3.1. El valle de Los Bagotes y al fondo los cerros con elevaciones altas	9
Figura 3.2. Elevaciones y drenaje de la zona de Los Bagotes	10
Figura 3.3. Plano geológico de la zona acuífera Los Bagotes	11
Figura 3.4. Localización de perfiles gravimétricos	14
Figura 3.5. Localización de sondeos geoeléctricos	15
Figura 3.6. Perfil gravimétrico A-A' Callejón NW-SE (UNISON, 2008)	16
Figura 3.7. Perfil geoeléctrico B-B' Callejón NW-SE (UNISON, 2008)	17
CAPITULO IV	
Figura 4.1. Regiones hidrológicas de Sonora (Elaboración propia con datos de CONAGUA en UNISON, 2008)	18
Figura 4.2. Localización de la zona acuífera de Los Bagotes	20
Figura 4.3. Corrientes superficiales de la zona de estudio	20
Figura 4.4. Polígonos de Thiessen en la zona de Los Bagotes (UNISON, 2008)	22
CAPITULO V	
Figura 5.1. Condiciones de frontera en Los Bagotes (UNISON, 2008)	27
Figura 5.2. Localización de pozos en la Cuenca de Los Bagotes (Elaboración propia con datos de UNISON, 2008)	31
Figura 5.3. Sección C-C' orientada N-S que muestra la tendencia del nivel estático en Los Bagotes	32
Figura 5.4. Plano de dirección de movimiento del agua subterránea (Elaboración propia con datos de UNISON, 2008)	33

CAPITULO VI

Figura 6.1. Localización de los sitios de muestreo de Los Bagotes	34
Figura 6.2. Temperatura del agua de la zona acuífera de Los Bagotes	38
Figura 6.3. Valores de conductividad eléctrica en Los Bagotes	40
Figura 6.4. Potencial hidrógeno del agua de los pozos de Los Bagotes	41
Figura 6.5. Oxígeno disuelto en el agua subterránea de Los Bagotes	42
Figura 6.6. Concentración de alcalinidad total en Los Bagotes	43
Figura 6.7. Medición de potencial redox en Los Bagotes	44
Figura 6.8. Mapa de isolíneas de coliformes totales	47
Figura 6.9. Mapa de isolíneas de coliformes fecales	47
Figura 6.10. Pozos de Los Bagotes con valores de turbiedad	49
Figura 6.11. Valores de dureza total en el agua de Los Bagotes	51
Figura 6.12. Sólidos totales disueltos en pozos de la zona de estudio	52
Figura 6.13. Mapa de isolíneas de calcio (mg/L)	54
Figura 6.14. Mapa de isolíneas de magnesio (mg/L)	55
Figura 6.15. Mapa de isolíneas de sodio (mg/L)	56
Figura 6.16. Mapa de isolíneas de potasio (mg/L)	57
Figura 6.17. Mapa de isolíneas de bicarbonatos (mg/L)	59
Figura 6.18. Mapa de isolíneas de sulfatos (mg/L)	60
Figura 6.19. Mapa de isolíneas de cloruros (mg/L)	62
Figura 6.20. Mapa de isolíneas de nitritos (mg/L)	63
Figura 6.21. Mapa de isolíneas de nitratos (mg/L)	64
Figura 6.22. Mapa de isolíneas de boro (mg/L)	65
Figura 6.23. Mapa de isolíneas de fluoruros (mg/L)	66
Figura 6.24. Mapa de isolíneas de antimonio (mg/L)	71
Figura 6.25. Mapa de isolíneas de arsénico (mg/L)	72
Figura 6.26. Mapa de isolíneas de bario (mg/L)	73
Figura 6.27. Mapa de isolíneas de estroncio (mg/L)	74

Figura 6.28. Mapa de isolíneas de fierro (mg/L)	75
Figura 6.29. Mapa de isolíneas de litio (mg/L)	76
Figura 6.30. Mapa de isolíneas de selenio (mg/L)	78
Figura 6.31. Mapa de isolíneas de vanadio (mg/L)	80
Figura 6.32. Mapa de isolíneas de zinc (mg/L)	81
Figura 6.33. Mapa de isolíneas de sílice (mg/L)	83
Figura 6.34. Polígonos de Stiff de las familias de agua	89
Figura 6.35. Diagrama triangular de Piper con muestras de Los Bagotes	91
Figura 6.36. Nomograma de Wilcox con las muestras de Los Bagotes	94
Figura 6.37. Mapa esquemático de las zonas con igual calidad de agua según la Clasificación de Wilcox	95

RESUMEN

La presente tesis de geólogo trata sobre hidrogeoquímica y sus datos se originaron en el proyecto de investigación de geología aplicada llamado: “Estudio geohidrológico de la zona acuífera Los Bagotes, municipio de Hermosillo, Sonora” (UNISON, 2008). El responsable del proyecto fue el M.C. Mariano Morales Montaña participando maestros y alumnos del Departamento de Geología y de Ingeniería Civil de la Universidad de Sonora. El proyecto fue financiado por la Comisión Estatal del Agua.

Esta tesis de licenciatura consta de 7 capítulos. El capítulo de Introducción trata de la problemática del área de estudio, su localización, objetivos de la tesis y los trabajos elaborados en la zona.

El apartado de Materiales y métodos explica con qué y cómo se hizo cada uno de los capítulos. En el de Geología se hace una recopilación bibliográfica de la geología superficial y subterránea, y se mencionan los trabajos de geofísica que se realizaron en el proyecto.

En el capítulo de Hidrología superficial se describe la región y la cuenca hidrológica y se muestra cómo se calcularon los procesos del ciclo hidrológico. En el de Geohidrología se elaboraron mapas con los datos de piezometría en los que se muestra la dirección del movimiento del agua subterránea.

En esta tesis el capítulo más importante es el de Hidrogeoquímica en el que se observan los pozos muestreados, los análisis físico-químicos realizados y se clasifican las aguas por familias. Por último en las Conclusiones, se relacionan todos los aspectos estudiados con la calidad del agua y se hacen algunas Recomendaciones para mejorar el uso y manejo del agua en la zona estudiada.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes y problemática del área

En el estado de Sonora, la escasez de agua ha conducido a la construcción de importantes obras hidráulicas, sin embargo, también ha sido necesario el recurrir a la explotación del agua subterránea para proveernos del vital líquido principalmente para el uso agrícola y humano.

La creciente demanda de agua de la ciudad de Hermosillo y la condición de sequía prolongada en los últimos 10 años en el estado, han motivado al organismo operador Agua de Hermosillo a llevar a cabo la ejecución de estudios del subsuelo en los alrededores de la ciudad, con el objetivo de contar con los volúmenes adicionales requeridos para el suministro del vital líquido.

Como zonas prioritarias para su estudio, la dependencia evaluó algunas alternativas tanto por su posición y viabilidad, lo anterior, dado el alto costo de la infraestructura necesaria para este tipo de obras. De esta manera, se detectó una nueva zona ubicada al poniente de la ciudad, la cual se sometió a un extenso estudio. Esta zona acuífera es la llamada “Los Bagotes”.

1.2. Localización y descripción del área de estudio

La zona acuífera de Los Bagotes, se localiza al poniente de la ciudad de Hermosillo dentro del cuadrángulo definido por las coordenadas UTM: 482,203 - 3'207,681 y 490,553 – 3'261,830 (Figura 1.1).

Cubre una superficie total de 1,214.40 km² y pertenece al Municipio 030 Hermosillo. Según la Comisión Nacional del Agua, el acuífero de Los Bagotes, tiene la delimitación geográfica que se muestra en la Tabla 1.1 y en la Figura 1.1.

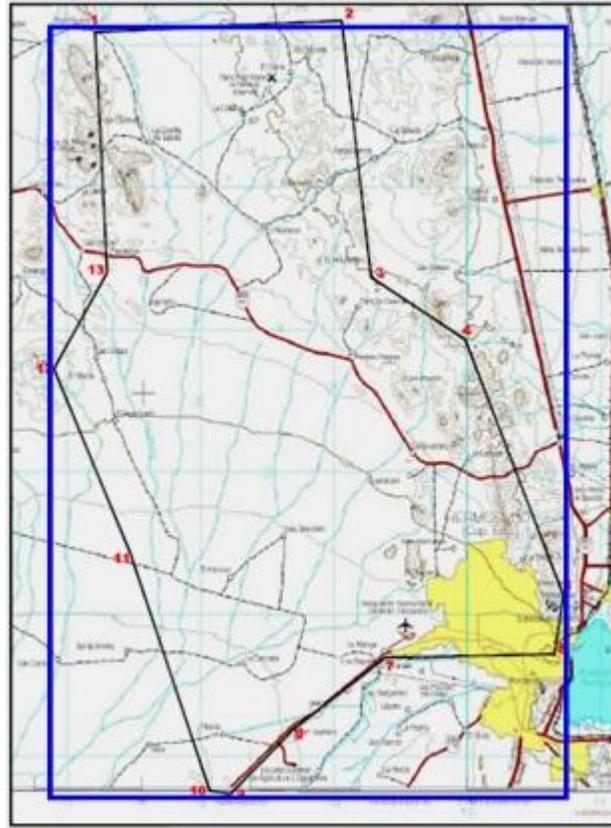
Tabla 1.1. Coordenadas del polígono oficial de la zona acuífera Los Bagotes

VÉRTICES	LATITUD NORTE			LONGITUD OESTE			UTM	
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	X	Y
1	29	28	49	111	17	15	472,115	3'261,223
2	29	29	15	111	5	51	490,553	3'261,830
3	29	19	32	111	4	29	492,735	3'243,876
4	29	17	10	111	0	8	499,784	3'239,505
5	29	7	27	110	55	37	507,118	3'221,572
6	29	5	15	110	56	2	506,437	3'217,495
7	29	5	7	111	3	49	493,801	3'217,255
8	29	2	22	111	8	6	486,843	3'212,173
9	28	59	55	111	10	58	482,203	3'207,681
10	29	0	4	111	11	54	480,669	3'207,954
11	29	9	1	111	15	33	474,780	3'224,472
12	29	16	2	111	19	8	469,033	3'237,472
13	29	19	41	111	16	41	473,012	3'244,193

De acuerdo a la Clasificación Hidrológica Regional Noroeste de la Comisión Nacional del Agua, la zona de Los Bagotes se ubica en la subcuenca Arroyo La Manga, en la porción noreste de la subcuenca del Río Bacoachi, en la cuenca Costa de Hermosillo (Figura 1.2), siendo todas partes de la Región Hidrológica 9 Sonora Sur, la más grande del estado.

Las principales vías de acceso están representadas por la Carretera Estatal número 100 que une a la ciudad de Hermosillo con el poblado de Bahía de Kino, en la porción sur del área, mientras que en la porción norte central, la vía principal está representada por la Carretera Estatal número 88 que une a la ciudad de Hermosillo con las instalaciones de la mina propiedad de Minera Nico. A partir de estos troncales principales, existen caminos de terracería y brechas por lo general transitables en toda época del año.

Figura 1.1. Vértices del polígono oficial de Los Bagotes, Sonora (UNISON, 2008)

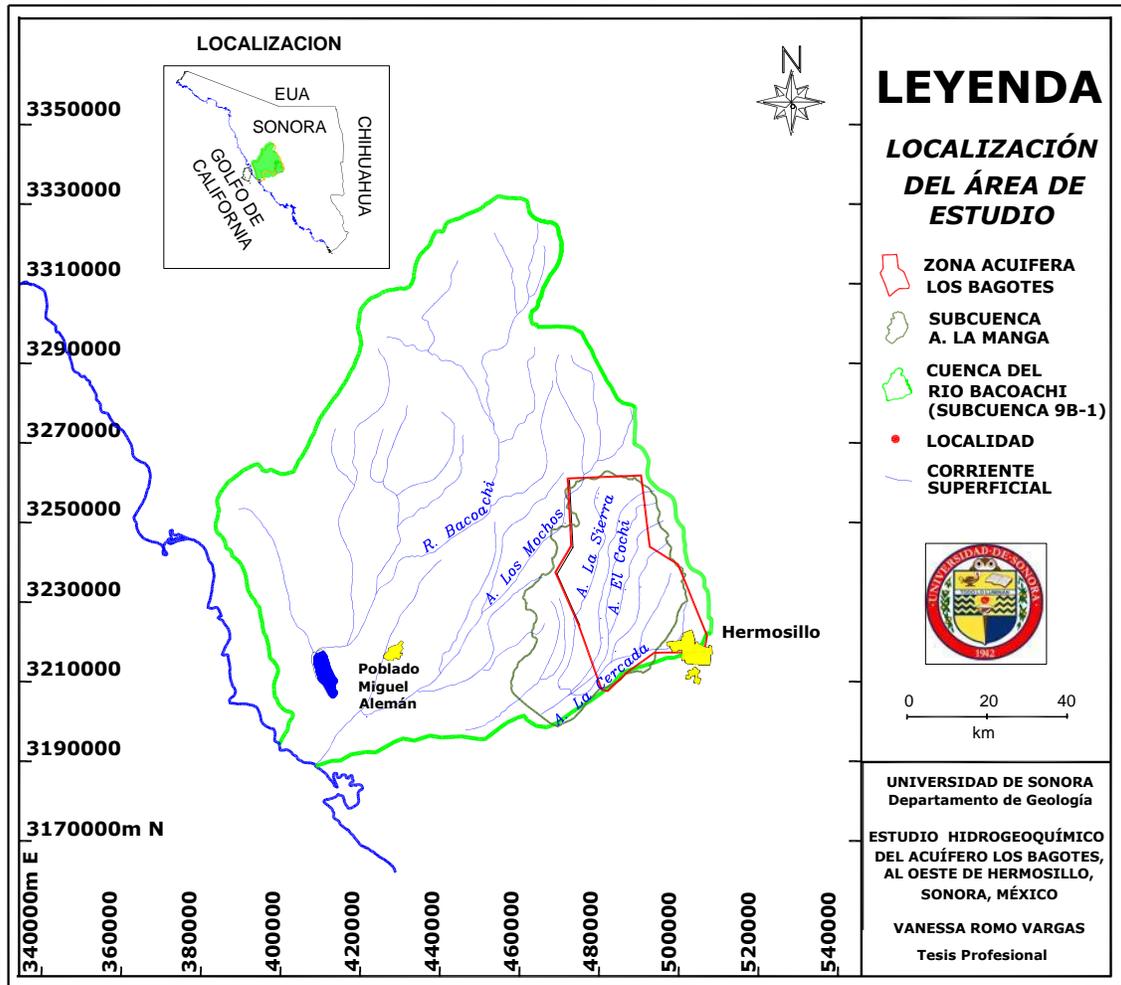


En la zona acuífera de Los Bagotes, las unidades orográficas principales están representadas al este por los cerros El Chino Alto, El Molibdeno, San Ramón y Sierra del Bachoco; y al oeste se encuentran la Sierra López y los cerros El Mauto y La Ventana, con elevaciones hasta de 700 msnm. En la zona de planicie, las elevaciones varían de los 0 msnm (línea de costa) a los 260 msnm.

Los arroyos más notales en la Cuenca del Río Bacoachi son el de mismo nombre y el arroyo Los Mochos que forman un drenaje dendrítico, en el cual todos los cauces secundarios confluyen con el mismo ángulo a un cauce principal (Figura 1.2).

En la zona de Los Bagotes las corrientes principales son arroyos de régimen intermitente conformando un patrón de drenaje paralelo y dendrítico, en el cual resaltan por su importancia los arroyos La Sierra y El Cochi, los cuales fluyen con dirección NNE – SSW y confluyen al colector principal conocido como Arroyo La Cercada, que fluye con dirección NE – SW (Figura 1.2).

Figura 1.2. Localización hidrológica de Los Bagotes, Sonora



En esta zona se tienen climas muy secos, también llamados desérticos, específicamente de los tipos: muy seco semicálido (BWh) y muy seco muy cálido (BWh'), con temperaturas medias de los 18 a los 22°C, y precipitación media menor a los 300 mm/año.

La zona de estudio está constituida principalmente por valles de consideración extensa donde sobresalen lomeríos, y elevaciones montañosas a los alrededores. La flora y fauna existentes son muy variadas.

La vegetación corresponde a Matorral Desértico Micrófilo, siendo característicos el Palo Fierro, Palo Verde (*Cercidium microphyllum*), Gobernadora (*Larrea tridentata*), y Sangregrado (*Jatropha cardiophylla*).

Por su gran altura y longevidad el Sahuaro (*Carnegiea gigantea*) y la Pitahaya (*Lophocereus schottii*), parecen dominar las llanuras y pequeños lomeríos. En las sierras

circundantes al valle, el Matorral presente es el Sarcocaulo, predominando el Torote Blanco (*Bursera microphylla*), los Agaves (*Agave spp.*) y la Biznaga (*Ferocactus acanthodes*).

1.3. Objetivos

1.3.1. Generales

Realizar un estudio hidrogeoquímico de la zona acuífera Los Bagotes, ubicada al poniente de la ciudad de Hermosillo Sonora.

1.3.2. Específicos

1. Compilar y analizar estudios previos del área de estudio.
2. Describir el entorno fisiográfico, geomorfológico, geológico, hidrogeológico y geofísico.
3. Caracterizar el área de acuerdo a su hidrología superficial incluyendo el análisis de los procesos del ciclo hidrológico.
4. Revisar los datos de piezometría del censo de pozos y determinar el movimiento del agua subterránea.
5. Muestrear, analizar y clasificar las aguas por familias con base en diversos autores.
6. Elaborar las conclusiones del trabajo relacionando la geología con las familias de agua.

1.4. Trabajos previos

Se contó con el “Estudio gravimétrico con objetivo geohidrológico, poniente de la Ciudad de Hermosillo, Sonora” elaborado para Agua de Hermosillo en 2006. Los capítulos del estudio incluyen generalidades, método de trabajo, climatología, geología, geofísica, hidrología superficial, hidrogeoquímica, balance de aguas subterráneas, recomendaciones de explotación, impacto ambiental y conclusiones y recomendaciones. El estudio evalúa algunas alternativas para suministrar agua a la ciudad de Hermosillo, reconoce la necesidad de un programa emergente para restituir el caudal faltante de 1.1 m³/s. Agua de Hermosillo mantiene en esa fecha en funcionamiento el acueducto “Las Malvinas” que permite la introducción al sistema de 250 L/s. Otras alternativas que contempla son los acuíferos de la Costa de Hermosillo, Pesqueira (Zanjón), Mesa del Seri, Sur de

Hermosillo, Willard y Zona Poniente. Entre las aguas superficiales menciona el acueducto Presa El Molinito-Hermosillo, Presa El Novillo-Hermosillo, Aguas residuales tratadas y Desalación de agua zona costera (planta desaladora).

Respecto a la hidrogeoquímica en el estudio mencionado analizaron 7 muestras de agua subterránea. Los análisis fueron: sólidos totales disueltos, sulfatos, bicarbonatos, calcio y sodio. Los pozos ZN-5 y ZN-8 fueron muestreados durante la etapa de desarrollo, y los parámetros fueron: calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, flúor y nitrógeno.

Otra investigación del área es la “Modelación del acuífero de Los Bagotes, Subcuenca El Arenoso” elaborada en 2006 como parte del proyecto de investigación: “Estudio para una gestión integral mejorada del recurso en agua en la Cuenca del Río Sonora, México”, hecho por la Universidad de Sonora y financiado por la ANUIES-CONACYT-ECOS. Los autores fueron Delphine Cathala de la Escuela de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de Estrasburgo, Francia; José Castillo Gurrola y Eva Lourdes Vega Granillo de la Universidad de Sonora; y Martín Eduardo Molinar Tabares de la Comisión Nacional del Agua. El estudio contiene presentación, estudios previos a la elaboración del modelo, modelo conceptual, modelo matemático, conclusiones y recomendaciones.

En este estudio se menciona la calidad del agua de algunos pozos: ZN-3, 5, 6, 8, 10, 12 y 13. Se menciona que el agua de Los Bagotes es parte del acuífero de la Costa de Hermosillo, es de la familia Na-HCO_3 y que el flujo invertido de agua de mar hacia el continente, parece no ir hasta la zona de Los Bagotes. La baja concentración de sólidos totales disueltos significa que las aguas son de buena calidad.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de esta tesis se siguieron los pasos que se muestran:

1. Se recopilaron los estudios previos existentes. Se consultó a detalle toda la bibliografía disponible del área y del tema, como tesis, proyectos previos, publicaciones periódicas, cartas de INEGI, Internet, etc.

2. Se describió el entorno fisiográfico, geológico, geomorfológico, climatológico e hidrológico. En base a la información existente se elaboró un modelo geológico que definió y sustentó el contexto hidrogeológico del acuífero. Para dar una mejor idea del área y del subsuelo, se incluyeron algunas conclusiones de los estudios geofísicos (perfiles de resistividad y gravimétricos) del proyecto del cual forma parte esta tesis.

3. Se caracterizó el área de acuerdo a su hidrología superficial incluyendo el análisis de los procesos del ciclo hidrológico. Con diversos métodos se calcularon las medias anuales de los elementos del ciclo del agua. Para determinar la precipitación se usó el método de los polígonos de Thiessen, para la evapotranspiración la ecuación de Turc, para el escurrimiento se usó la NOM-011-CNA-2000, y la infiltración se obtuvo con la ecuación del ciclo hidrológico.

4. Se elaboró un censo de aprovechamientos y se obtuvieron en campo datos de piezometría. También se analizaron los pocos datos existentes de niveles de agua y se elaboró una tabla integrada que incluyó el número de pozo, coordenadas, altura de brocal, profundidad del nivel estático y elevación del nivel estático. Debido a lo reciente de la explotación de la zona, no se cuenta con datos históricos de piezometría.

5. Se muestrearon las aguas subterráneas, se enviaron a análisis fisicoquímico y se clasificaron por familias en diversos diagramas. Esto se hizo para conocer la calidad del agua para diversos usos. De acuerdo a los recursos económicos con que contó el proyecto, se eligieron 10 puntos de muestreo que representaron las diferentes fuentes de agua, las regiones geográficas del área de estudio, los usos del agua en la zona, los lugares más susceptibles de contaminación y las profundidades más representativas de la zona acuífera en estudio. El muestreo se realizó entre el personal del laboratorio, maestros, alumnos y tesista de la Universidad de Sonora.

El laboratorio seleccionado para tomar y analizar las muestras de agua fue Analítica del Noroeste a cargo del químico Marcial Córdova Salcido. El personal del laboratorio y el de muestreo cuentan con la acreditación de la norma ISO-17025. Se midieron en campo diversos parámetros (temperatura del agua, pH, alcalinidad total, etc)

y se realizaron diferentes análisis en el laboratorio (iones, metales pesados, bacteriológicos, iones mayores y plaguicidas).

Con los resultados de los análisis físico-químicos se clasificaron las aguas según Stiff, Piper y Wilcox. Se elaboraron diagramas de clasificación de acuerdo a la concentración y composición de las aguas. Los diagramas se exportaron a mapas del área de estudio.

6. Se elaboraron las conclusiones de la tesis, relacionando los resultados de calidad de agua con la geología del acuífero. Se hicieron algunas recomendaciones para el mejor manejo del agua subterránea de Los Bagotes.

III. GEOLOGÍA

3.1. Fisiografía y geomorfología

La región de Los Bagotes se sitúa en la parte noreste del acuífero de la Costa de Hermosillo y al poniente de la ciudad de Hermosillo; en su porción sur es atravesada de E-W, por la Carretera Estatal número 100 Hermosillo-Bahía Kino.

Las elevaciones topográficas varían desde la cota 0 msnm (nivel medio del mar) hasta los 700 msnm (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Elevaciones en la zona de estudio

CERRO	UBICACIÓN	ELEVACIÓN MAYOR (msnm)
El Molibdeno	Este	700
San Ramón	Este	580
Sierra López	Oeste	700
El Mauto	Oeste	530
La Ventana	Oeste	670

La región en general se caracteriza por cerros cuyas elevaciones alcanzan los 700 msnm (Figura 3.1).

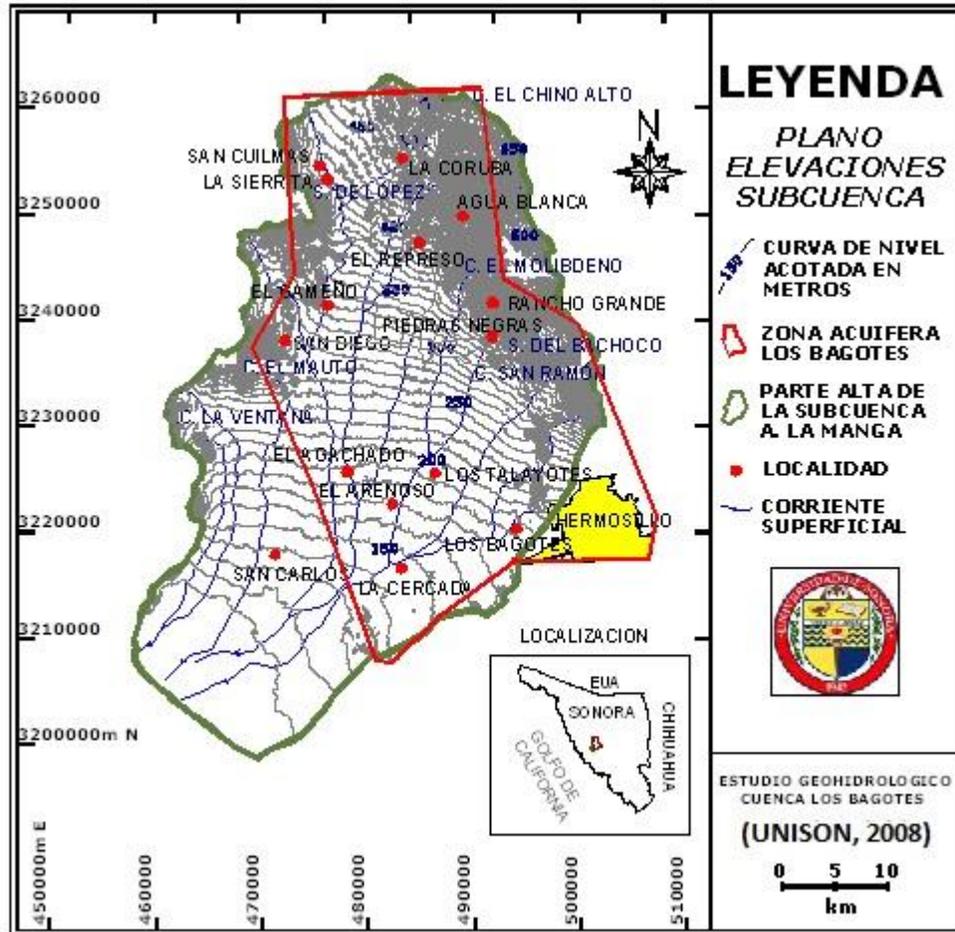
Figura 3.1. El valle de Los Bagotes y al fondo los cerros con elevaciones altas



Los cerros más altos forman el parteaguas de la cuenca y se ubican principalmente al este y oeste de la zona (Tabla 3.1); al centro del área se tiene el valle o planicie aluvial (Figura 3.1), la cual presenta dos pendientes diferentes.

El drenaje que se observa en la zona es del tipo paralelo, cuyo cauce principal sigue una falla geológica orientada NE-SW, al cual se le unen los arroyos secundarios, que son paralelos entre sí (Figura 3.2).

Figura 3.2. Elevaciones y drenaje de la zona de Los Bagotes



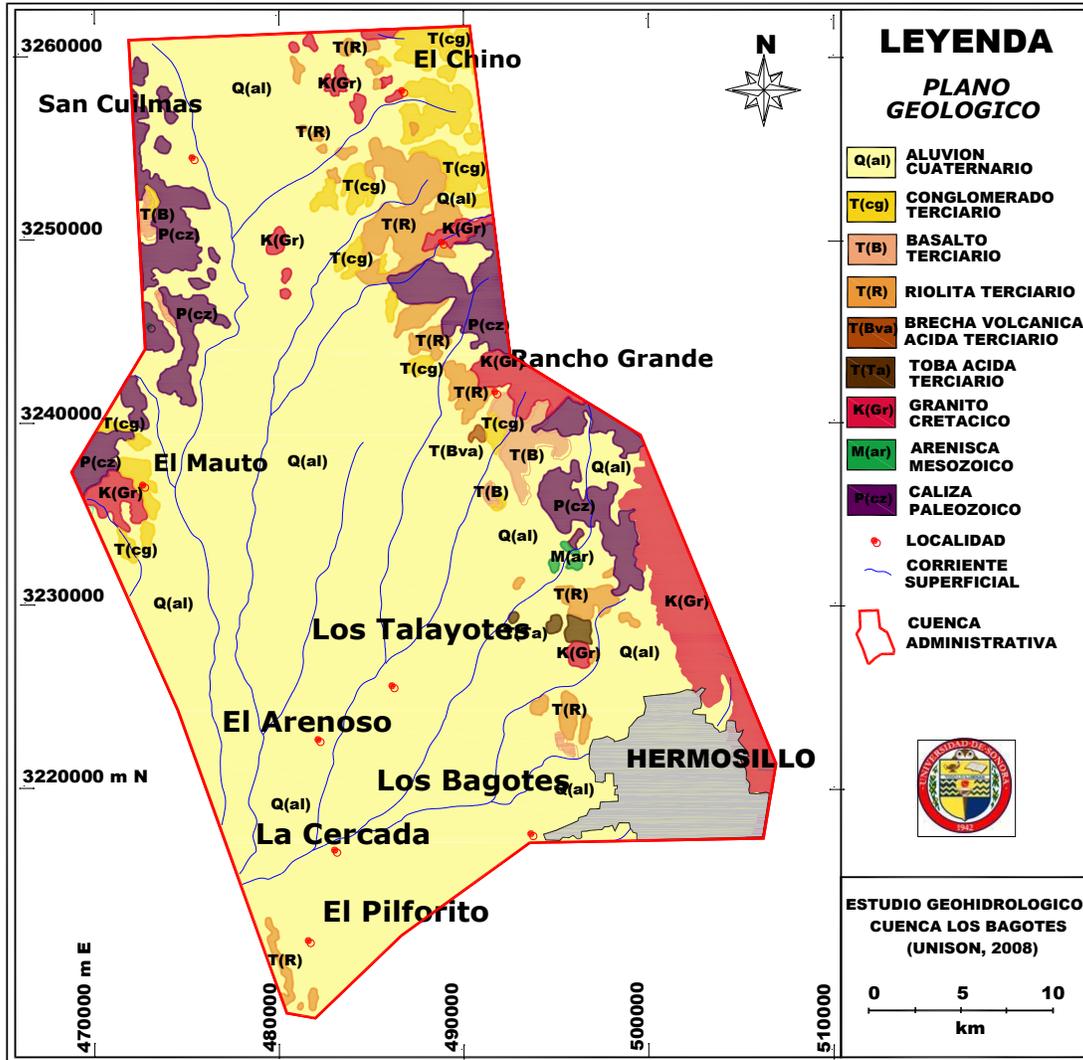
3.2. Geología superficial

La geología regional en el noroeste y centro del Estado de Sonora se encuentra representada por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, afectadas por diversos y complejos eventos tectónicos, que han modelado su geomorfología. Como resultado de estos procesos, la zona de Los Bagotes cuenta con sierras aisladas, orientadas con rumbo NW-SE y N-S, separadas por valles alargados en dirección N-S, los cuales han sido medios propicios para alojar los acuíferos de la región, objeto del presente estudio.

A continuación se describe la geología de Los Bagotes de lo más antiguo a lo más joven.

En la zona de Los Bagotes las rocas varían en edad del Paleozoico al Reciente (Figura 3.3).

Figura 3.3. Plano geológico de la zona acuífera Los Bagotes



3.2.1 Paleozoico

Alrededor de la Ciudad de Hermosillo afloran rocas paleozoicas, como en el Cerro de La Campana, asignándoseles una edad Carbonífero-Pérmico, representando una facies de plataforma (Rodríguez, 1981).

En Los Bagotes las rocas paleozoicas consisten de calizas que afloran al oeste y noroeste de la Sierra El Bachoco y en los cerros que delimitan la porción oeste de la zona

acuífera, al oeste de las rancherías San Diego, El Gameño, La Sierrita y San Cuilmas (Figura 3.3).

3.2.2 Mesozoico

Está representado por un conjunto de estratos de lutita-lodolita y arenisca de diferente granulometría (media a fina) con niveles lenticulares de conglomerado; estas rocas clásticas han sido depositadas discordantemente sobre rocas paleozoicas, de acuerdo a la gran diversidad de flora y fauna fosilífera encontrada al este del Rancho El Gameño (Figura 3.3). Se le asigna una edad del Triásico Tardío (Cárnico), similar a la reportada en la región de San Javier - Barranca. Al norte y este del Rancho Placeritos, muy cerca de un conglomerado oligomítico, se encuentra fauna fósil correspondiente al Jurásico Tardío (Amaya, 2003).

La discordancia entre las rocas paleozoicas y mesozoicas de la zona está marcada por un conglomerado oligomítico, redondeado y subredondeado de cuarcita, que corresponde a la base, marcando el inicio de la depositación de la secuencia clástica del Triásico- Jurásico (Amaya, 2003).

Granito Cretácico (Intrusivo Laramídico)

Se define como un cuerpo batolítico, granítico y granodiorítico de color gris claro, que corresponde al Cretácico Tardío-Terciario Temprano. Estas rocas tienden a alterar las secuencias detríticas carbonatadas del Paleozoico y otras más antiguas, afectadas por procesos tectónicos. Son rocas mal consolidadas.

El contacto de la roca encajonante con el emplazamiento de las rocas detríticas y carbonatadas se puede observar al NW de la zona de estudio, en la Mina La Verde y Cerro El Agachado, desarrollándose una zona de skarn a lo largo del contacto, con un espesor promedio de 1 m. El metamorfismo de contacto generado por la intrusión (silicatos y carbonatos) dio origen a estructuras con alto grado de silicificación, formando wollastonita en algunas localidades de Hermosillo.

Otros afloramientos intrusivos importantes se encuentran al este de la zona de estudio, como en la Sierra El Bachoco (Figura 3.3), El Mariachi y El Coloso en la ciudad de Hermosillo. Dichos cuerpos intrusivos se encuentran muy fracturados e intemperizados; también afloran en los cerros y lomeríos de la parte sur de la Ciudad de Hermosillo (Rodríguez, 1981; Coronado, 2003).

3.2.3 Cenozoico

Terciario

Incluye rocas volcánicas piroclásticas, constituidas por tobas, riolitas, brechas y basaltos que varían en su composición geoquímica y mineralógica. Afloramientos importantes se encuentran al NW de la zona de estudio, en la Sierra López, y Cerro El Chaveco; la base está representada por un aglomerado de color café rosado, mal consolidado, conteniendo fragmentos de rocas intrusivas y volcánicas cuyos tamaños varían desde 1 cm hasta 1 m, sobreyacidas por estratos de tobas vítreas riolíticas, de color rosado con estructura fluidal y textura afanítica (Ávila, 1987).

Al norte del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Hermosillo (Cerro Las Cuevitas), se encuentran pequeños afloramientos aislados de origen riolítico, esferulítico, muy fracturados y alterados, con escarpes bien pronunciados, en contacto con un paquete de riolita fluidal, de color gris claro a rojizo, las cuales se encuentran cubriendo a un conglomerado oligomítico de rocas volcánicas (Coronado, 2003).

El conglomerado existente en la zona de estudio al NW, se encuentra en la base de los Cerros El Mauto y El Agachado; se tiene otra secuencia con alternancia de conglomerados, areniscas y calizas localizadas en la parte sur de la Mina La Verde hasta el Rancho Placeritos, así como en el Cerro El Chilicote; existen otros afloramientos aislados de conglomerado, al NE de la zona de estudio (Figura 3.3).

Cuaternario

Consiste de sedimentos pobremente consolidados y no consolidados, que se presentan en el valle o planicie aluvial de la zona de estudio. Se caracterizan por gravas, arenas, arcillas y limos provenientes de fragmentos de rocas ígneas y sedimentarias, y en menor proporción de rocas metamórficas (Coronado, 2003).

El aluvión corresponde a los sedimentos preferentemente constituidos por gravas y arenas no consolidados, que se tienen en los cauces de ríos y arroyos actuales (Figura 3.3).

3.3. Geofísica

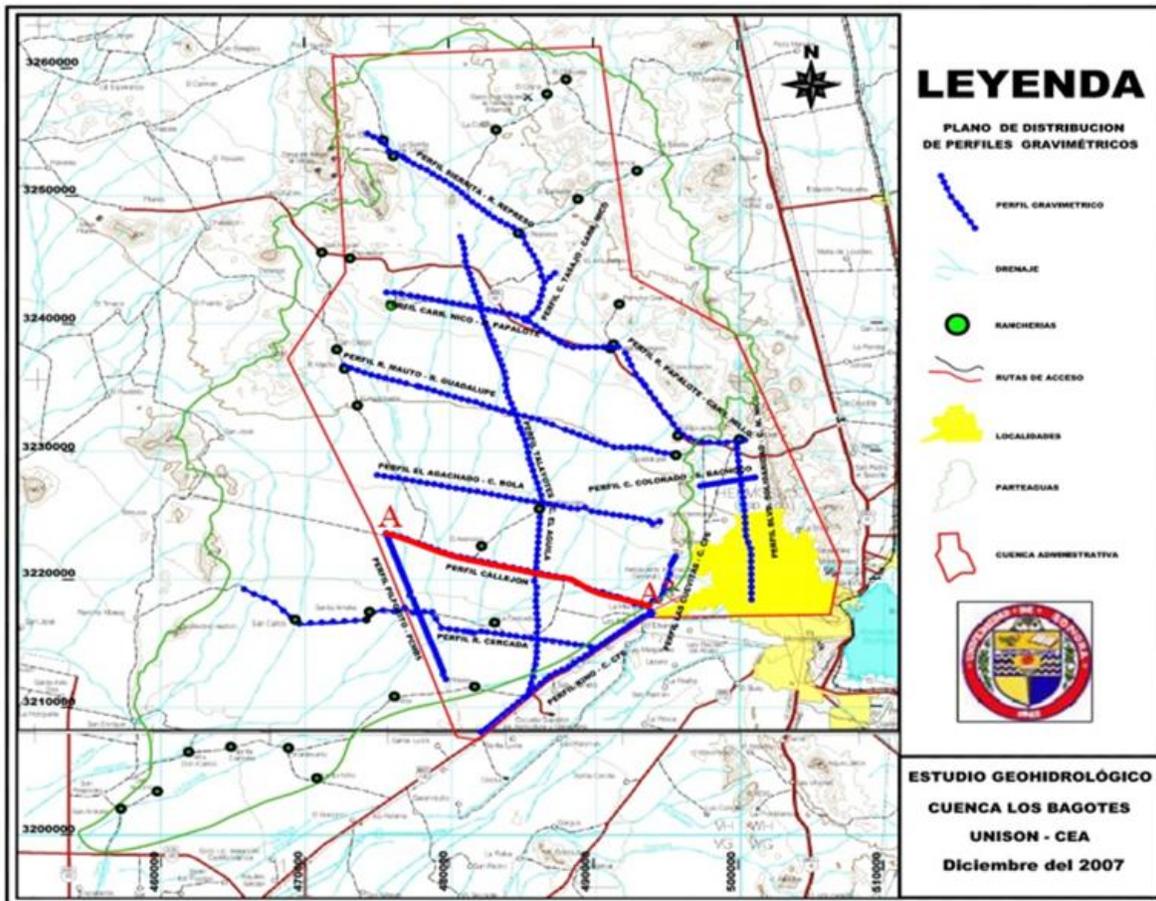
Como parte del proyecto del cual viene esta tesis, se hicieron estudios geofísicos de gravimetría y resistividad eléctrica, que se describen a continuación. Cabe aclarar que la presente tesis se enfoca a la Hidrogeoquímica, no a la Geofísica.

3.3.1. Gravimetría

Con el objeto de determinar la profundidad al basamento denso, se levantaron perfiles gravimétricos (Figura 3.4). Para esto, se recorrieron 125.66 km correspondientes a 267 estaciones gravimétricas y se incorporaron un total de 107 km de estudios previos. Se elaboraron los planos de las anomalías de Bouguer previa corrección de la gravedad observada, con lo que se definió la profundidad al basamento. Se presentan planos con las secciones gravimétricas, así como los perfiles y configuración de la profundidad al basamento.

Para cada estación gravimétrica se hizo el levantamiento de su ubicación exacta (X, Y, Z) empleando GPS diferencial. La profundidad de los perfiles del basamento fue referida al nivel medio del mar, indicando la elevación de los terrenos en los mismos perfiles de tal forma que se pueda identificar el espesor de los materiales. Para realizar las secciones gravimétricas se utilizó un Gravímetro CG – 5 AUTOGRAV.

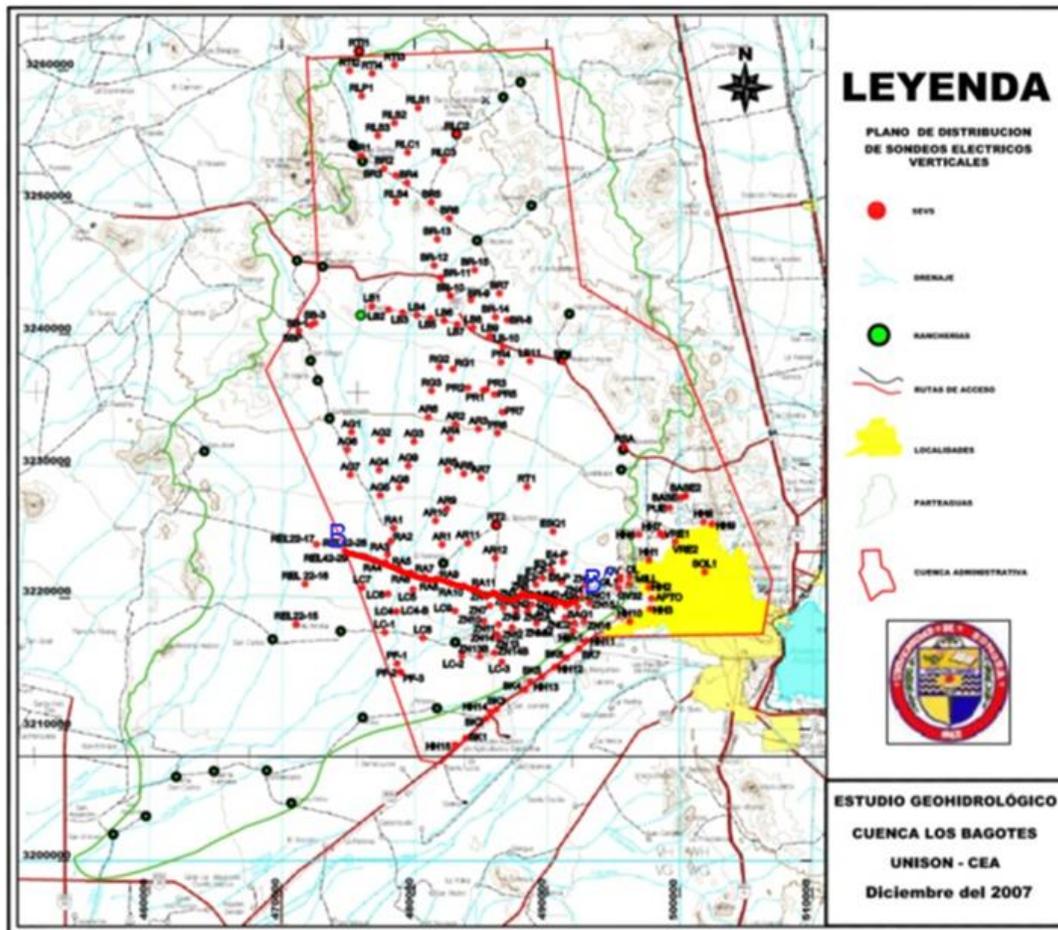
Figura 3.4. Localización de perfiles gravimétricos



3.3.2. Resistividad eléctrica

Se realizaron por lo menos 150 sondeos eléctricos verticales (SEV's) con una separación no mayor a 1 km entre cada estación, explorando entre 450 y 500 m de profundidad del tal forma que se garantizara una profundidad mínima de exploración de al menos 300 m (Figura 3.5). Cada estación se georreferenció (X, Y, Z) utilizando un GPS diferencial. Los resultados de los SEV's se procesaron en software especializado (WingLink) en estudios de agua para determinar e interpretar perfiles y planos de distribución de la resistividad que permitieran definir la estratigrafía del terreno, localizar niveles freáticos e identificar estructuras geológicas, con lo cual se determinó el tipo y espesor de los materiales granulares contenidos en el subsuelo.

Figura 3.5. Localización de sondeos geoelectricos



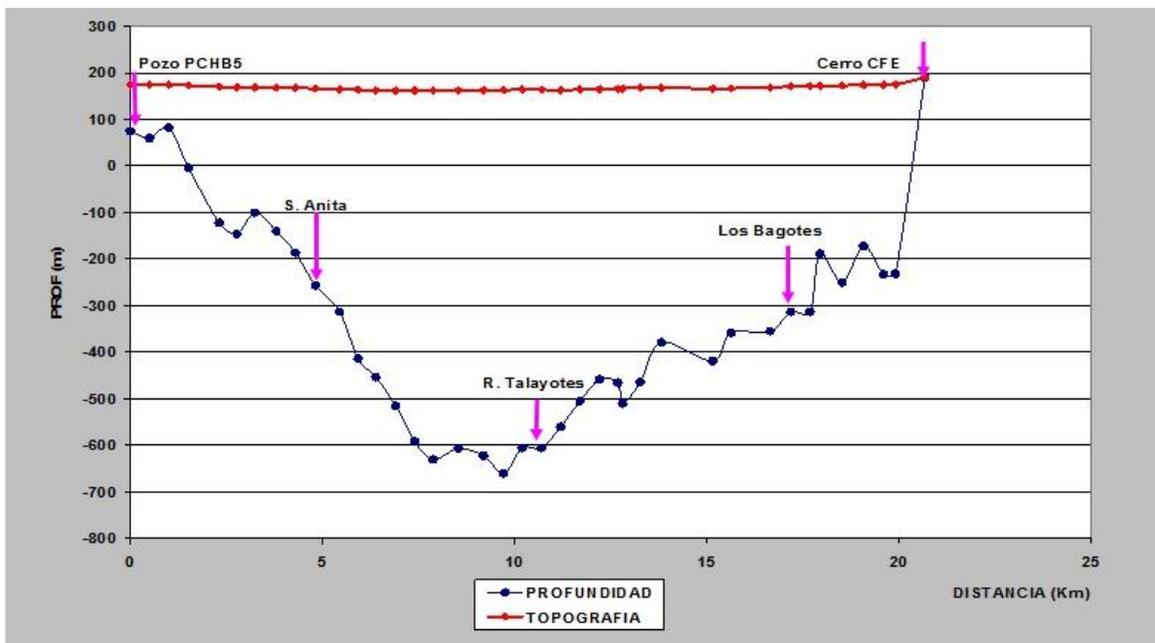
3.3.3. Interpretación y presentación de resultados

La información geológica y geofísica (gravimétrica y eléctrica-resistiva), se correlacionó para determinar la estructura y profundidad de la zona acuífera. Con esto se definieron las unidades hidrogeológicas y los tipos de materiales que las componen, así como sus características físicas (porosidad, disolución, fracturamiento y estructura) y geohidrológicas (transmisividad, permeabilidad) con el objeto de determinar el funcionamiento de éstas como acuíferos.

Se concluye que:

1. La morfología del basamento de la zona acuífera de Los Bagotes, es controlada por estructuras del tipo horst - graben con orientación NW-SE y E-W (Figura 3.6).
2. Las profundidades máximas al basamento cristalino de acuerdo a la información arrojada por la gravimetría, alcanzan los 1,000 m, en las inmediaciones del rancho Los Talayotes (Figura 3.6).
3. La estratigrafía de la zona acuífera de Los Bagotes está representada por una zona vadosa con espesor promedio del orden de los 125 m, una zona saturada con un espesor promedio de 100 m y un sustrato arcilloso con un espesor promedio superior a los 150 m (Figuras 3.6 y 3.7).

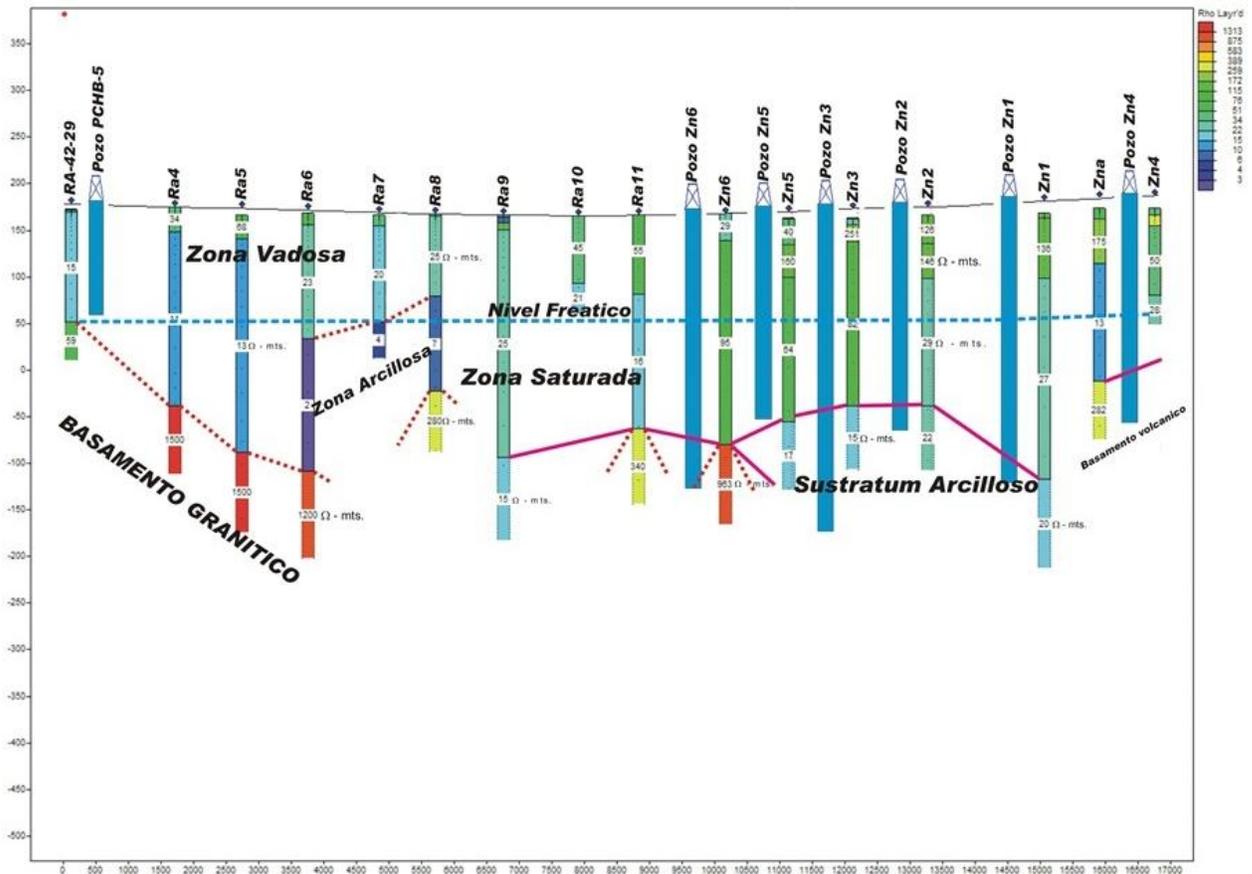
Figura 3.6. Perfil gravimétrico A-A' Callejón NW-SE (UNISON, 2008)



4. El basamento cristalino a nivel regional, está representado por rocas de composición granítica del Cretácico Superior – Terciario Temprano.

- Los materiales que conforman la columna estratigráfica comprende depósitos aluvio-fluviales constituidos por arenas, gravas, boleos y arcillas del Terciario – Cuaternario depositados en profundas fosas de origen tectónico.
- La zona más favorable de acuerdo a la información geofísica, es del orden de los 60 km² (aproximadamente 12 X 5 km) arrojando un volumen saturado de aproximadamente 6 km³.

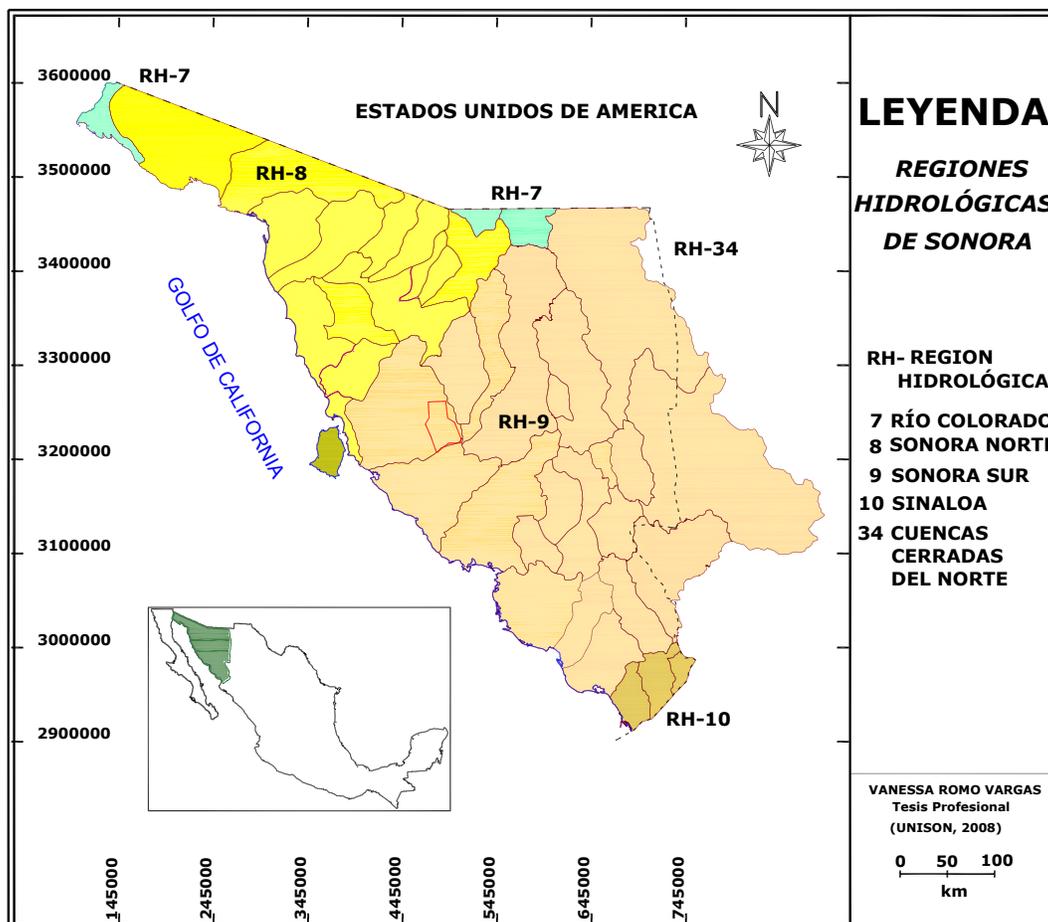
Figura 3.7. Perfil geoelectrico B-B' Callejón NW-SE (UNISON, 2008)



IV.HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

El estado de Sonora se ubica en la Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste, que comprende 5 regiones hidrológicas: RH-7, 8, 9, 10 y 34, cuyas cuencas y subcuencas han sido nombradas por la Comisión Nacional del Agua (Figura 4.1).

**Figura 4.1. Regiones hidrológicas de Sonora
(Elaboración propia con datos de CONAGUA en UNISON, 2008)**



Las regiones hidrológicas 7, 8, 9 y 10 contienen cuencas exorreicas de la vertiente occidental, que drenan sus aguas hacia el Golfo de California; en Sonora se ubica una pequeña parte de la región 34, que corresponde a una cuenca endorreica de la vertiente interior, que drena hacia el estado de Chihuahua.

La región más importante es la RH-9 Sonora Sur, ya que tiene un área de 117,363 km² y aporta el 76% del volumen total precipitado al año, así como el 82% del escurrimiento total registrado en el estado.

Otras regiones, como la RH-8 Sonora Norte recibe el 17% de la precipitación anual del estado, sin embargo, el escurrimiento es mayor en la RH-10 Sinaloa y representa el 9.6% del total anual (Tabla 4.2).

Tabla 4.1. Precipitación y escurrimiento en las regiones hidrológicas de Sonora (INEGI, 2007)

REGIÓN HIDROLÓGICA	ÁREA (km ²)	VOLUMEN PRECIPITADO ANUAL (Hm ³)	VOLUMEN ESCURRIDO ANUAL (Hm ³)
RH-7 Río Colorado	4,767	1,434.9	103.3
RH-8 Sonora Norte	54,857	11,265.9	227.3
RH-9 Sonora Sur	117,363	52,056.8	3,753.6
RH-10 Sinaloa	4,150	2,385.0	429.6
RH-34 Cuencas Cerradas del Norte	915	398.0	22.7
TOTAL	182,052	67,540.6	4,536.5

4.1. Región y cuenca hidrológica

Según la Clasificación Hidrológica Regional Noroeste de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el acuífero de Los Bagotes se ubica en la Subcuenca Arroyo La Manga, en la porción oriental de la Cuenca del Río Bacoachi, en la Región Hidrológica RH-9 Sonora Sur (Tabla 4.1, Figuras 4.1 y 4.2).

La Cuenca del Río Bacoachi limita al norte con las subcuencas del Río Zanjón, al noreste con la del Río San Miguel, al este con la del Río Sonora y al sur con la de la Costa de Hermosillo (Tabla 4.1, Figuras 4.1 y 4.2).

4.2. Ríos de la zona de estudio

La hidrografía de la zona acuífera de Los Bagotes fue tomada de las cartas topográficas del INEGI escala 1:50,000. Predominan el drenaje dendrítico y el paralelo. En el drenaje dendrítico los cauces secundarios se unen al principal con ángulos iguales. En el drenaje paralelo, los cauces secundarios son paralelos entre sí y se unen al cauce principal que generalmente corre a lo largo de una falla geológica, es típico que el drenaje sea abundante en un lado de la falla y escaso o nulo en el otro (Figura 4.3).

Figura 4.2. Localización de la zona acuífera de Los Bagotes

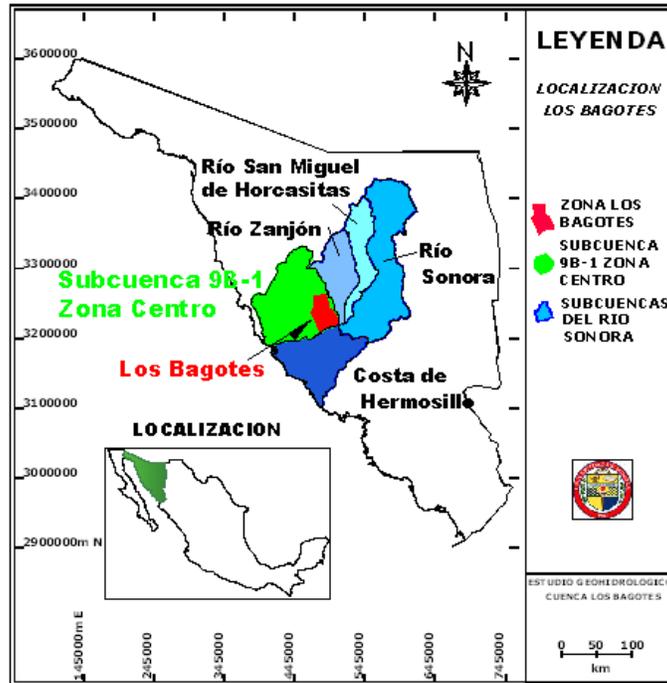
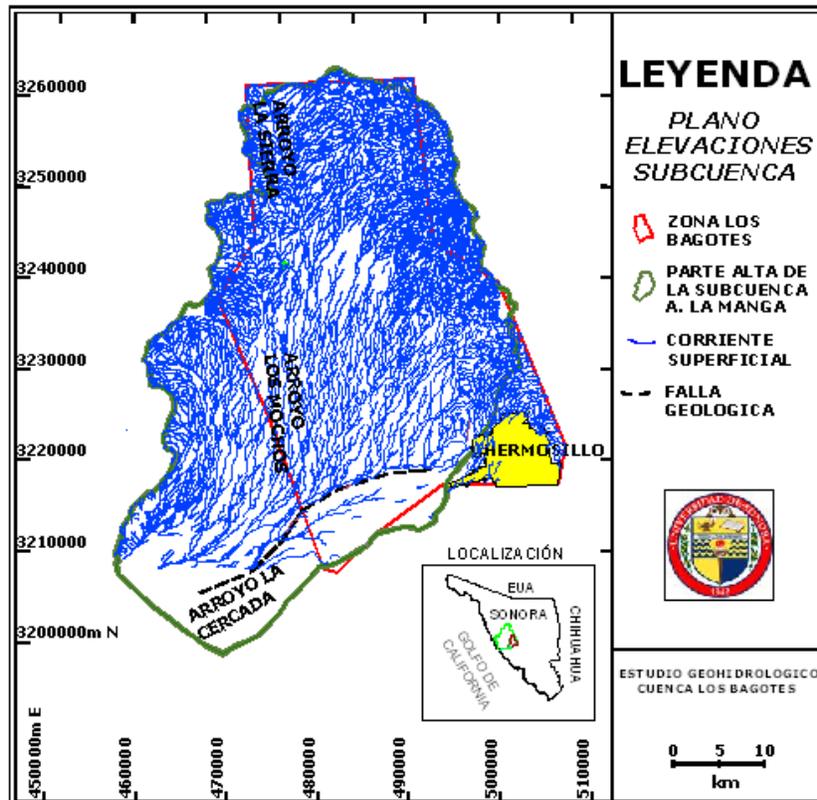


Figura 4.3. Corrientes superficiales de la zona de estudio



Los arroyos más importantes en la zona estudiada son Los Mochos y La Sierra que nacen en la Sierra López y cuyos escurrimientos inician con un rumbo N-S, pero a la altura de Hermosillo cambian hacia el SW, debido a una falla geológica en la que se emplaza el Río Sonora. Por ello, el drenaje es del tipo dendrítico inicialmente, pero luego se torna paralelo, donde el cauce principal corre por la falla (Arroyo La Cercada) y se le unen sólo por un lado los arroyos secundarios, los cuales son paralelos entre sí (Figura 4.3).

En el valle por donde pasan los arroyos, se tienen suelos con fase sódica salina incluyendo las rancherías: El Agachado, San Carlos, Santa Amelia, El Arenoso y Los Talayotes (Figura 4.3).

La isoterma de los 22°C atraviesa E-W por el centro de la región de Los Bagotes, y la de los 24°C, lo hace con una orientación NE-SW hacia la porción sureste del área, cruzando la ciudad de Hermosillo (INEGI, 1981b). La temperatura media para la zona, calculada en el trabajo actual, fue de 23.19°C.

En cuanto a la precipitación, la zona de Los Bagotes se halla entre las isoyetas 200 y 300 mm (INEGI, 1981a).

4.3. Elementos del ciclo hidrológico

En el proyecto que la Universidad de Sonora (UNISON, 2008) elaboró para la Comisión Estatal del Agua se muestran a detalle los cálculos siguientes. En esta tesis sólo se hace un resumen de los métodos y los resultados obtenidos para relacionarlos con la hidrogeoquímica.

4.3.1. Precipitación

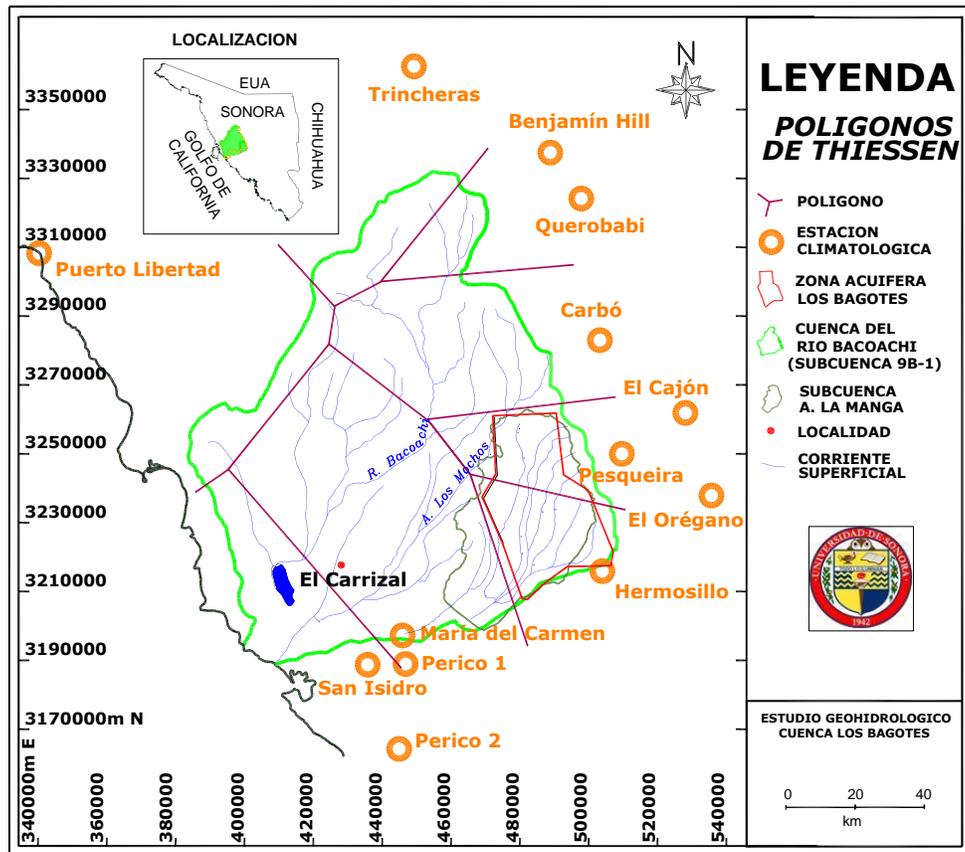
Las estaciones meteorológicas más cercanas y que más influyen en la Subcuenca Arroyo La Manga-Los Bagotes, son: Hermosillo, María del Carmen y Pesqueira (Figura 4.4), con las cuales se calcularon los parámetros de precipitación total (mm/año), evaporación total (mm/año) y temperatura media (°C/año) con datos de unos 30 años (Tabla 4.3).

Tabla 4.2. Estaciones meteorológicas cercanas a Los Bagotes

CLAVE	ESTACIÓN	PERÍODO REGISTRO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/año)	EVAPORACIÓN TOTAL (mm/año)	TEMPERATURA MEDIA (°C/año)
26139	Hermosillo	1961-2007	385.36	2,554.31	24.70
26196	Ma. Carmen	1974-2007	227.15	2,871.76	23.15
26182	Pesqueira	1974-2007	400.16	2,275.64	21.97

Usando el método de los Polígonos de Thiessen (Figura 4.4) se calculó la precipitación media de la cuenca que fue de **341.00 mm/año** o **584.28 Hm³/año** (hectómetros cúbicos por año).

Figura 4.4. Polígonos de Thiessen en la zona de Los Bagotes (UNISON, 2008)



Con el mismo trazado de polígonos, se obtuvo una temperatura media anual de la cuenca de **23.19°C/año**.

4.3.2. Evapotranspiración

Se calculó mediante el método de Turc que usa la ecuación:

$$ETR = P / \sqrt{(0.9 + (P / It)^2)}$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real (mm/año)

P = Precipitación (mm/año)

It = $300 + 25 t + 0.05 t^3$

t = Temperatura media anual (°C)

El método de Turc calcula un parámetro It cuyo último término es la temperatura al cubo (t^3), pero debido a las altas temperaturas del área, se decidió en este trabajo calcular la temperatura al cuadrado (t^2) para poder al final obtener el balance hidrológico.

Como ya se dijo, para la zona de Los Bagotes se obtuvo una precipitación media de 341.00 mm/año y una temperatura media de 23.19°C/año. Estos valores se sustituyeron en la ecuación de Turc, obteniéndose una evapotranspiración real de **334.15 mm/año** o **572.54 Hm³/año** (Tabla 4.4).

Tabla 4.3. Cálculo de la evapotranspiración en Los Bagotes

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm/año)	TEMPERATURA MEDIA (°C/año)	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (mm/año)
Hermosillo, Ma. Carmen, Pesqueira	341.00	23.19	334.15

4.3.3. Esguerrimiento

Para calcular el esguerrimiento en la zona de Los Bagotes, se consideró la parte alta de la Subcuenca Arroyo La Manga, que abarca un área de 1,713.42 km². Para ello, se utilizó la metodología propuesta por la Norma Oficial Mexicana (NOM-011-CNA-2000), en la cual el volumen medio anual de esguerrimiento natural se determina por el método directo o por el indirecto. El primero se aplica si en la cuenca en estudio se cuenta con suficiente información hidrométrica para un período mínimo de 20 años. El segundo se aplica si no hay estaciones hidrométricas en una cuenca.

Como no hay estaciones en la cuenca de Los Bagotes, se utilizó el método indirecto denominado: precipitación-esguerrimiento, que calcula indirectamente el volumen medio anual de esguerrimiento natural mediante la fórmula:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESGUERRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \text{PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA CUENCA} * \text{ÁREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESGUERRIMIENTO}$$

Como se vio anteriormente, la precipitación media anual con el método de los Polígonos de Thiessen fue de 341.00 mm/año. El área de la parte alta de la Subcuenca Arroyo La Manga, se calculó por medio del software AutoCAD y fue de 1,713.42 km². El problema entonces es calcular el coeficiente de escurrimiento. La NOM-011-CNA-2000 lo calcula conociendo el tipo y uso de suelo. Primero se calcula el factor “K”, si éste es mayor o menor que 0.15 se calcula el coeficiente de escurrimiento (Ce) mediante las fórmulas:

Si $K \leq 0.15$	$Ce = K (P-250) / 2000$
Si $K > 0.15$	$Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0.15) / 1.5$

En este trabajo K resultó igual a 0.25 por lo que se usó la segunda fórmula, obteniéndose un Ce de **0.0804** o **8.04%**.

En la Tabla 4.5 se puede ver que para obtener el valor de la precipitación efectiva se resta la evapotranspiración real de la precipitación total. El resultado se multiplica por el coeficiente de escurrimiento para dar el escurrimiento directo. El volumen de escurrimiento directo o superficial fue de **0.55 mm/año** o **0.94 Hm³/año**.

4.3.4. Infiltración

La infiltración se obtiene de la ecuación del ciclo hidrológico:

$$\text{Precipitación} = \text{Escurrecimiento} + \text{Infiltración} + \text{Evaporación}$$

De donde se despeja la infiltración, quedando igual a **6.30 mm/año** o **10.80 Hm³/año**, lo que se considera la recarga al acuífero (Tabla 4.5).

Tabla 4.4. Obtención de los parámetros hidrológicos de Los Bagotes

PARÁMETRO	VALOR	LÁMINA (mm/año)	VOLUMEN (Hm ³ /año)
Área	1,713.42 km ²		
Precipitación total		341.00	584.28
Evapotranspiración real		334.15	572.54
Precipitación efectiva		6.85	11.74
Coeficiente de escurrimiento	8.04%		
Escurrecimiento total		0.55	0.94
Infiltración		6.30	10.80

V. GEOHIDROLOGÍA

5.1. Unidades geohidrológicas y fronteras del acuífero

La identificación del comportamiento hidrodinámico de un acuífero reposa sobre una definición rigurosa de las condiciones a los límites. Su estudio se sustenta sobre su situación y sus condiciones. Se puede decir que el estudio de la configuración de un acuífero requiere de 2 tipos de límites:

- **Geológicos**, cerrados, a posición fija o límite impermeable (flujo nulo), impuesto por las estructuras hidrogeológicas. Estos son: el sustrato, el techo, los pasajes laterales y las fallas, entre otros.

- **Hidrodinámicos**, abiertos, a posición variable en el espacio y en el tiempo, impuestos por las condiciones exteriores (entorno del acuífero). Son identificados en un instante dado (ajuste de los modelos matemáticos).

Las condiciones a los límites son identificadas en el terreno, por las estructuras hidrogeológicas, las pruebas de bombeo, las medidas de los niveles piezométricos y sus fluctuaciones. Estas condiciones serán las bases del modelo conceptual. Los datos son puestos sobre una carta piezométrica y con un análisis morfológico se precisa su comportamiento.

Para la integración del modelo conceptual del acuífero de los Bagotes, se consideraron los siguientes elementos según el trabajo de la UNISON (2008):

- En la parte baja de la zona acuífera de Los Bagotes, los afloramientos están cortados y sepultados por el relleno sedimentario cuaternario de la planicie aluvial del Río Sonora, La Poza y Bacoachi.
- Los sedimentos de la planicie aluvial, son producto de la denudación y arrastre de los diversos ríos y arroyos, los cuales constituyen acuíferos someros, posiblemente de varias capas, siendo la superior de tipo libre.
- Los depósitos sedimentarios pueden descansar, ya sea sobre las rocas volcánicas terciarias, mesozoicas, o sobre el basamento cristalino.

Con base en lo anterior se concluye que, el rasgo más importante desde el punto de vista hidrogeológico, para captación y almacenamiento de agua subterránea, es el de la cuenca baja del Río Sonora, que corresponde con la confluencia de accidentes tectónicos de gran importancia (fosas tectónicas), con manifestaciones en la superficie y en el subsuelo.

A partir de las características fisiográficas, geológicas y geomorfológicas del área de estudio, se reconocieron las siguientes condiciones a los límites (Figura 5.1):

- a) Las zonas NE, E y NW son impermeables.
- b) Al SE hay una pequeña zona impermeable, dejando una salida entre la ciudad de Hermosillo y el Cerro de la CFE.
- c) En la parte N y SW se localizan zonas permeables.
- d) El piso del acuífero es muy irregular, según los estudios geofísicos de gravimetría realizados, que muestran una serie de fosas.
- e) El sustrato está formado por material arcilloso.
- f) El techo del acuífero es el nivel estático, ya que es un acuífero libre.
- g) No existen lagos, mar, presas, ni corrientes permanentes.

Estas condiciones a los límites, se pueden agrupar en fronteras horizontales y verticales, también se reconocen salidas y entradas de agua al sistema, las cuales se explican a continuación (Figura 5.1).

Frontera horizontal

Se tienen las siguientes fronteras al flujo horizontal de agua:

- a) Al N, el basamento regional granítico a profundidades someras.
- b) Al S, la falla geológica que da origen al paleo cauce del Río Sonora.
- c) Al W y SW, al E y SE, porciones de frontera impermeable o con carga nula.

Frontera vertical

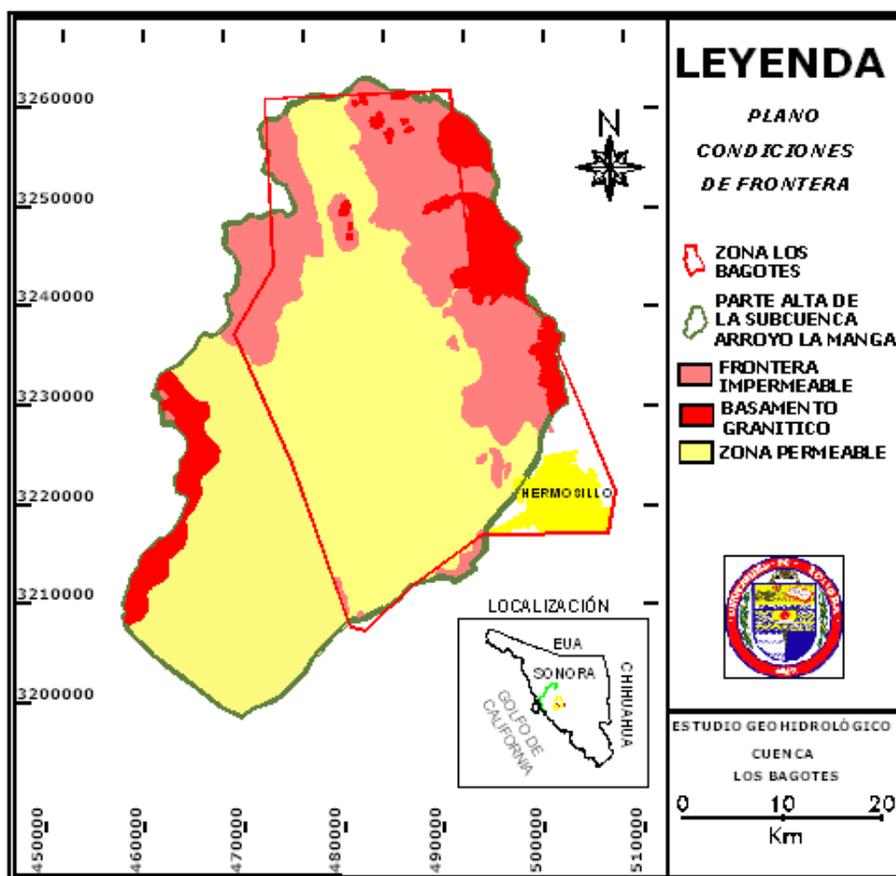
Se tienen las siguientes fronteras al flujo vertical de agua:

a) Basamento cristalino: composición granítica, rocas volcánicas y volcanosedimentarias, distribuidas irregularmente. Permeabilidad aleatoria, limitada lateralmente.

b) Arcilla miocénica, espesor promedio de 400 m. Es el sustrato del acuífero. Baja permeabilidad y litología variable.

c) Acuífero granular, que compone un sistema multicapa, con espesor promedio de 200 m, de tipo libre con semiconfinamientos locales.

Figura 5.1. Condiciones de frontera en Los Bagotes (UNISON, 2008)



5.2. Censo de aprovechamientos

Las fuentes de información que se utilizaron fueron la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a través del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), Agua de Hermosillo, Universidad de Sonora e INEGI.

En la zona de Los Bagotes un total de 20 pozos fueron localizados y nivelados sus brocales por la Universidad de Sonora en un estudio para la Comisión Nacional del Agua en el año 2001 (Tabla 5.1); posteriormente, 15 pozos fueron registrados por Agua de Hermosillo en el 2006 (Tabla 5.2); por último, 34 pozos fueron nivelados y medidos sus niveles estáticos por la Universidad de Sonora en el año 2008, en un estudio realizado para la Comisión Estatal del Agua (Tabla 5.3).

Tabla 5.1. Nivelación de brocales de 20 pozos de Los Bagotes (UNISON, 2001)

ESTACIÓN POZO	X (ESTE)	Y (NORTE)	ORTOMÉTRICA (msnm)
15-B	491,036.46	3'207,868.15	158.863
7-B	493,245.64	3'208,921.92	164.665
13-B	492,658.48	3'211,109.42	167.024
4-B	494,902.30	3'211,525.20	172.753
28-B	487,297.65	3'211,592.09	154.943
10-B	495,625.38	3'212,844.83	176.994
Palo Verde	503,225.71	3'213,520.07	210.492
8-B	497,626.17	3'214,033.62	183.930
3-B	506,555.99	3'216,028.59	204.480
JAM	492,713.41	3'216,901.86	179.889
Unison	503,912.67	3'217,137.49	204.775
5 de Mayo	505,596.12	3'218,675.24	227.908
CNA-41	473,736.51	3'233,454.46	242.441
CNA-29	493,401.35	3'235,494.59	311.186
CNA-30	491,164.00	3'238,042.86	339.555
CNA-38	471,153.80	3'240,032.41	301.261
CNA-34	466,432.47	3'243,778.98	285.536
CNA-32	463,102.09	3'247,741.80	290.733
CNA-12	464,617.50	3'258,534.64	371.790
CNA-13	471,290.11	3'261,318.82	415.353

Sólo los 15 pozos de Agua de Hermosillo (Tabla 5.2) tienen información completa de niveles estáticos, dinámicos, caudales, volúmenes de extracción de los años 2005 y 2006, del resto existe información irregular e incompleta, por lo que es necesario uniformizarla, actualizarla y almacenarla en una base de datos bien estructurada.

5.3. Piezometría

En este apartado se muestra la relación de pozos nivelados (elevación del terreno) por la Universidad de Sonora en el año 2008 (Tabla 5.3).

El procedimiento consistió en obtener la altura del terreno natural, así como su localización geográfica (coordenadas UTM) por medio de una estación total GPS. Se elaboró un censo de cada pozo visitado, del cual se anotaron el nombre o clave del pozo, las coordenadas y la elevación del terreno.

Tabla 5.2. Propiedades de 15 pozos de Los Bagotes (Agua de Hermosillo, 2006)

POZO	COORDENADAS UTM NAD 27		PROF. N.E. A NIVEL MANGUERA (m)	PROF. N.D. A NIVEL MANGUERA (m)	PROF. N.E. ETAPA ABAT. (msnm)	TRANSMIS. ETAPA ABAT. (m ² /s)	PROF. N.E. ETAPA RECUP. (msnm)	TRANSMIS. ETAPA RECUP. (m ² /s)
	X (ESTE)	Y (NORTE)						
ZN-1	490,557	3'219,580	130.67	145.50				
ZN-2	488,739	3'219,586				0.08		0.07
ZN-3	487,932	3'219,996	130.25	136.30	130.29	0.08	34.15	0.10
ZN-4	492,358	3'219,264	124.40	196.00				
ZN-5	487,021	3'220,232			29.05	0.05	134.52	0.07
ZN-6	485,939	3'220,485	130.25	132.60		0.06	30.25	0.06
ZN-7	485,731	3'219,566	128.38	138.00				
ZN-8	486,610	3'219,340			124.97	0.07	129.97	0.07
ZN-9	487,682	3'219,200	125.37	131.02	126.77	0.08	129.97	0.07
ZN-10	485,497	3'218,587	124.40	127.50				
ZN-11	486,364	3'218,458	123.40	129.23	123.40	0.06	127.44	0.04
ZN-12	487,426	3'218,249	125.87	135.95	125.80	0.08	131.25	0.09
ZN-13	484,702	3'217,024	120.43	129.52	120.15	0.00	126.57	
ZN-14	485,945	3'217,198	121.50	125.85	121.57	0.03	125.85	0.03
ZN-15	493,174	3'219,727	128.60	147.80				

PROF. = profundidad, N.E. = nivel estático, N.D. = nivel dinámico, ABAT. = abatimiento,
TRANSMIS. = transmisividad, RECUP. = recuperación

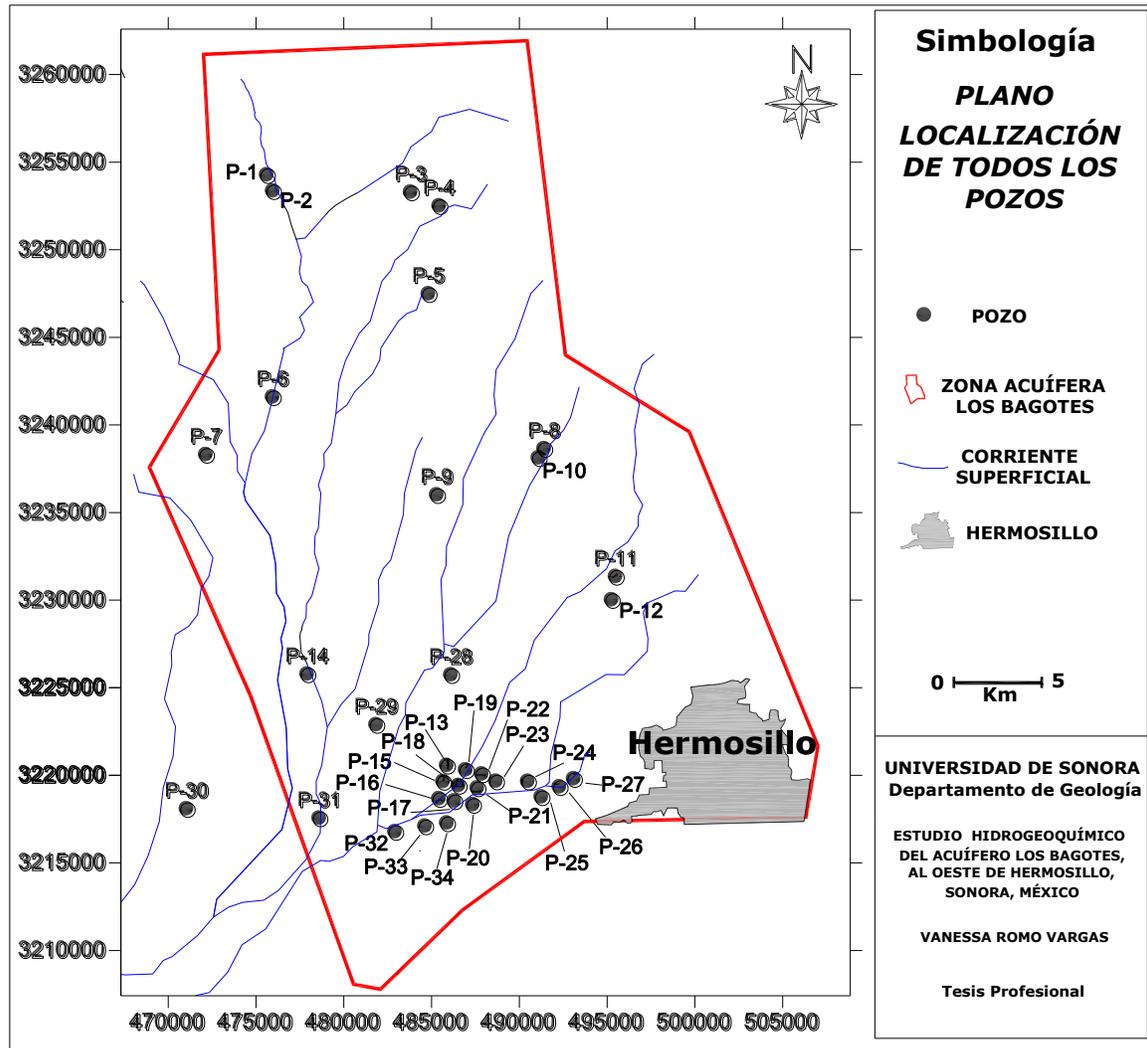
Al mismo tiempo en que se iba realizando el censo de pozos, se iba midiendo la profundidad del nivel estático del agua (m) en cada pozo, utilizando una sonda eléctrica. Posteriormente, se obtuvo la elevación del nivel estático (msnm), restando a la elevación del terreno (msnm), la profundidad del agua (m) (Tabla 5.3; Figura 5.2).

Tabla 5.3. Piezometría de los pozos de Los Bagotes (UNISON, 2008)

CLAVE DEL POZO	POZO O RANCHO	X	Y	ELEVACION TERRENO (msnm)	PROF. N.E. (m)	ELEV. N.E. (msnm)
P1	R. San Cuilmas	475,686	3'254,204	408.08	15.23	392.85
P2	R. La Sierrita	476,031	3'253,283	407.54	17.21	390.33
P3	R. El Represo Nuevo	483,883	3'253,216	448.39	100.00	348.39
P4	R. Sta Catarina	485,509	3'252,433	447.79	22.20	425.59
P5	R. El Represo I	484,898	3'247,412	398.18	61.04	337.14
P6	R. El Gameño	476,021	3'241,523	310.91	45.50	265.41
P7	R. San Diego	472,216	3'238,233	283.86	6.97	276.89
P8	R. Piedras Negras	491,487	3'238,571	355.86	17.76	338.10
P9	R. Palo Rosado	485,371	3'235,935	271.89	204.97	66.92
P10	R. El Papalote	491,163	3'238,044	338.93	27.02	311.91
P11	R. San Antonio	495,558	3'231,271	280.14	19.80	260.34
P12	R. Guadalupe	495,329	3'229,945	260.58	15.71	244.87
P13	Pozo ZN-6	485,939	3'220,485	168.97	134.48	34.49
P14	El Agachado Nuevo	477,989	3'225,703	193.37	149.02	44.35
P15	Pozo ZN-7	485,731	3'219,566	169.53	130.73	38.80
P16	Pozo ZN-10	485,497	3'218,587	161.96	126.45	35.51
P17	Pozo ZN-11	486,364	3'218,458	162.13	127.20	34.93
P18	Pozo ZN-8	486,610	3'219,340	164.74	129.90	34.84
P19	Pozo ZN-5	487,021	3'220,232	169.31	134.35	34.96
P20	Pozo ZN-12	487,426	3'218,249	165.77	129.33	36.44
P21	Pozo ZN-9	487,682	3'219,200	166.93	130.73	36.20
P22	Pozo ZN-3	487,932	3'219,996	168.07	134.75	33.32
P23	Pozo ZN-2	488,739	3'219,586	167.78	133.25	34.53
P24	Pozo ZN-1	490,557	3'219,580	172.80	136.68	36.12
P25	Los Bagotes (BAG-1)	491,326	3'218,690	174.49	133.00	41.49
P26	Pozo ZN-4	492,358	3'219,264	176.30	129.31	46.99
P27	Pozo ZN-15	493,174	3'219,727	181.12	130.97	50.15
P28	R. Los Talayotes	486,176	3'225,659	192.94	170.00	22.94
P29	R. El Arenoso	481,916	3'222,814	173.67	137.26	36.41
P30	PCHB-6	471,116	3'218,014	140.69	105.00	35.69
P31	R. Santa Anita	478,677	3'217,481	147.19	145.00	2.19
P32	R. La Cercada	482,992	3'216,706	155.32	120.70	34.62
P33	Pozo ZN-13	484,702	3'217,024	156.52	118.53	37.99
P34	Pozo ZN-14	485,945	3'217,198	164.01	120.25	43.76

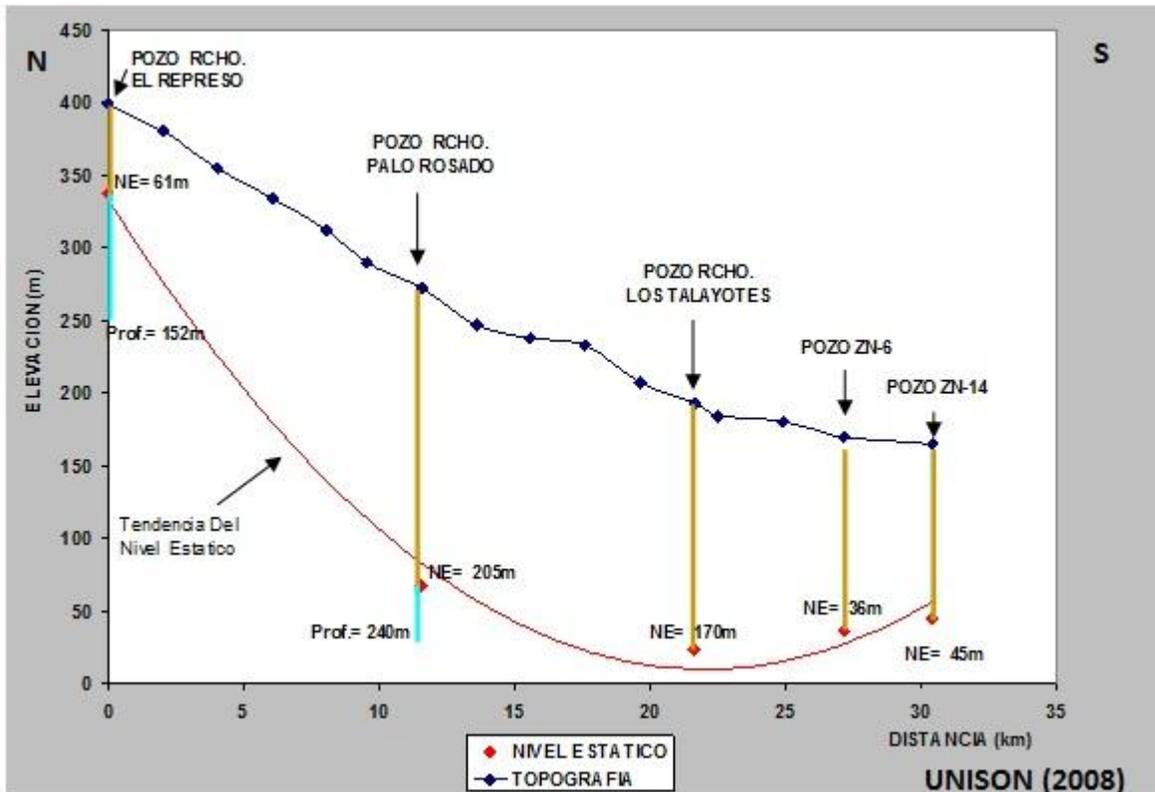
PROF. N.E. = profundidad del nivel estático, ELEV. N.E. = elevación del nivel estático

**Figura 5.2. Localización de pozos en la Cuenca de Los Bagotes
(Elaboración propia con datos de UNISON, 2008)**



Con los datos de piezometría y geofísica se elaboró la sección C-C' en la cual se pueden ver los perfiles de algunos pozos y la tendencia del nivel estático del agua. Se pronostica que la depresión más baja del nivel del agua se ubicará a la altura del rancho Los Talayotes (Figuras 5.2 y 5.3).

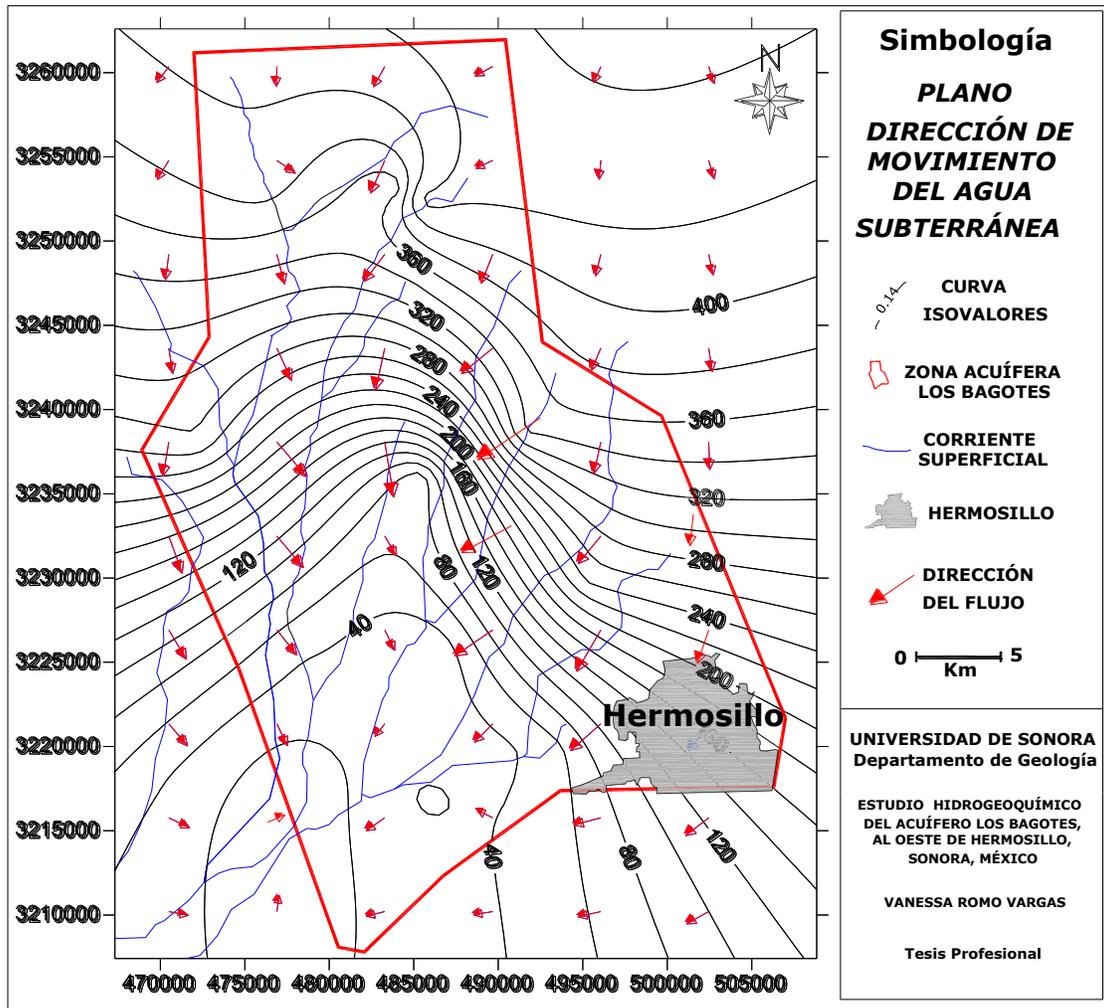
Figura 5.3. Sección C-C' orientada N-S que muestra la tendencia del nivel estático en Los Bagotes



5.3.1. Elevación del nivel estático y dirección del movimiento del agua subterránea

Con los datos de piezometría obtenidos en el campo (Tabla 5.3), se elaboró con ayuda del programa Surfer, un mapa de elevaciones del nivel estático (Figura 5.4). En el mismo programa se pueden incluir flechas que indican la dirección del movimiento del agua subterránea en el acuífero de Los Bagotes, de mayor a menor gradiente hidráulico; la dirección es de manera general de NE-SW coincidiendo con el flujo del agua superficial de los arroyos de la cuenca.

Figura 5.4. Plano de dirección de movimiento del agua subterránea
(Elaboración propia con datos de UNISON, 2008)

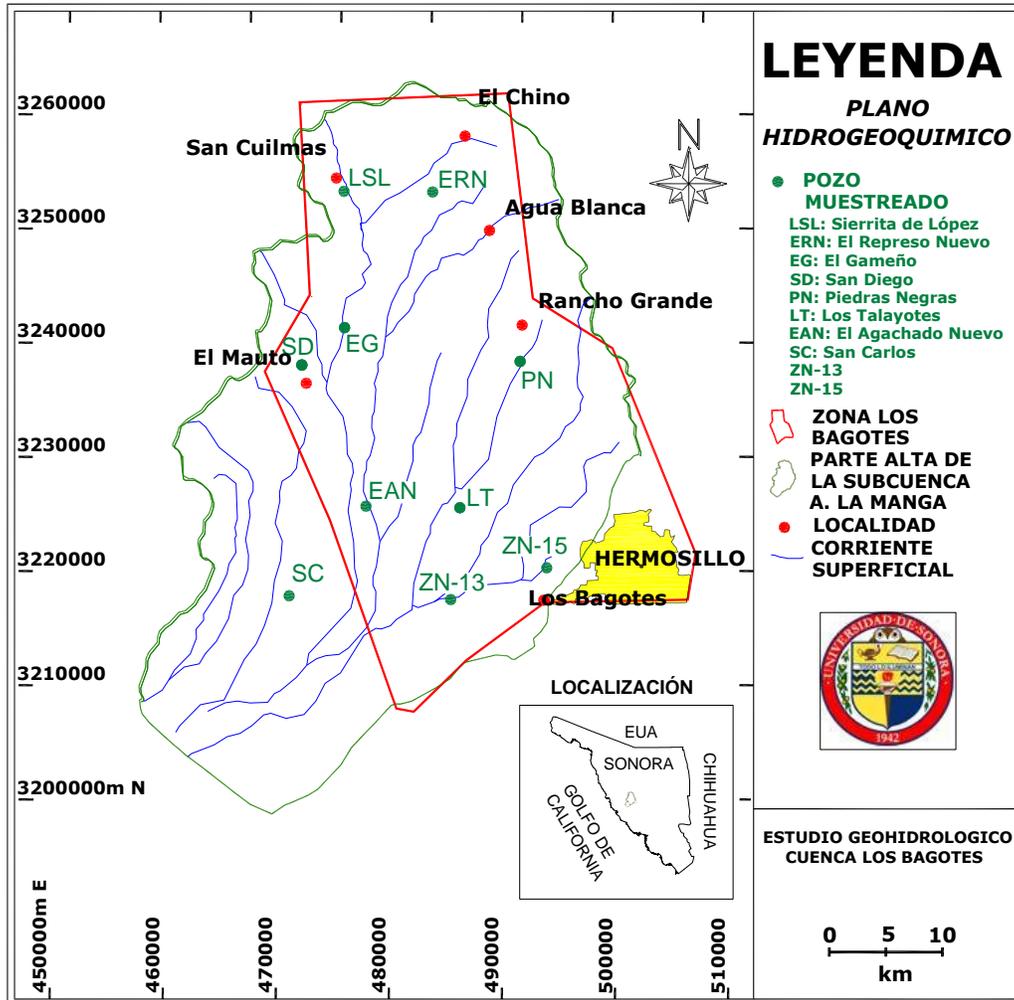


VI. HIDROGEOQUÍMICA

6.1. Muestreo de agua subterránea

Para el establecimiento de las estaciones de muestreo de la calidad del agua de acuerdo al presupuesto con que se contó, se seleccionaron 10 de los aprovechamientos del censo realizado en la zona de estudio (Figura 6.1).

Figura 6.1. Localización de los sitios de muestreo de Los Bagotes



Se decidió tomar una muestra en la porción suroeste del área de estudio, que aunque se encuentra fuera de ésta, se consideró importante conocer su calidad para futuras exploraciones y explotaciones de agua.

Los pozos muestreados cumplen con los siguientes requisitos:

- Son representativos de las diferentes fuentes de agua, las regiones geográficas del área de estudio, los diferentes usos del agua en la zona, los lugares más susceptibles

de contaminación, y las profundidades más representativas de la zona acuífera en estudio.

- Todos los aprovechamientos contaron con equipo de bombeo, por lo que se realizó un purgado del triple del volumen de agua contenida en el ademe del pozo o noria.
- Previamente al muestreo, se gestionó la autorización o consentimiento de los concesionarios, para introducirse a los predios.
- Se contó con un programa que garantizara el cumplimiento de las normas de control y aseguramiento de la calidad tanto en campo como en el laboratorio, de tal forma que se siguieron los protocolos de muestreo, preservación, etiquetado, transporte y envío de muestras.
- El muestreo se realizó en dos días. El primer día se muestrearon 5 pozos y el segundo día, los 5 restantes. Las muestras fueron tomadas directamente de las descargas de los pozos.
- Al muestreo acudió personal del Laboratorio Analítica del Noroeste, quienes cuentan con la acreditación respectiva que emite la Entidad Mexicana de Acreditación bajo la norma ISO-17025 o su equivalente para laboratorios de prueba que garantiza la competencia del personal y la certeza de los resultados del análisis del agua. Los químicos que realizaron el muestreo fueron: Marcial Córdova, Tomás Arredondo, Beatriz Ríos y Carlos García, guiados por los responsables del proyecto: M.C. Mariano Morales, Dr. José Castillo, M.I. Eva Lourdes Vega Granillo y los estudiantes de Geología: Vanessa Romo Vargas, Alejandro Dórame Santacruz y José de Jesús Corrales Cruz.
- Todo el equipo de muestreo fue verificado y planeado su uso el día previo al mismo, se practicó el uso de valoraciones de alcalinidad. Los reactivos, soluciones y equipos de mediciones utilizados fueron: calibradores pH, calibradores C.E., termómetro, conductividad, potenciómetro, oxímetro, ácido nítrico, potenciómetro para Eh, bureta de 25 ml y GPS.
- Para el análisis fisicoquímico y de metales, en cada sitio se tomaron 2 L de muestra, en envases de plástico blanco y vidrio oscuro respectivamente, de primer uso, con capacidad de 1 L cada uno, y para su conservación se le agregaron los preservativos requeridos, manteniéndose en hielera, a una temperatura promedio de 4°C hasta su traslado al laboratorio.
- Para el análisis bacteriológico, se tomó ½ L de muestra, en envases esterilizados de ½ L de capacidad, debidamente sellados. Los envases no se llenaron al tope. Antes

de la colecta de cada muestra, y con el fin de esterilizar la salida de la toma, se limpió la descarga con alcohol o se quemó. El personal del laboratorio utilizó guantes de plástico en cada toma, los cuales fueron desechados e introducidos en bolsas de basura. Las muestras fueron transportadas en hielera.

- Todos los envases fueron etiquetados para identificar la muestra, utilizando número de registro de identificación, fecha y hora de muestreo, técnica de preservación empleada, tipo de análisis a efectuar, responsable del muestreo y se dejó espacio para que en el laboratorio se identifique, quién y a qué hora se abriría la muestra. Esta misma información se registró en bitácora e igualmente se realizó el llenado de registros de muestreo de campo y cadenas de custodia.

Los análisis físico-químicos realizados incluyen: parámetros medidos en campo y características bacteriológicas, físicas y organolépticas y químicas (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Análisis físico-químicos realizados

PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO	
TEMPERATURA DEL AIRE, TEMPERATURA DEL AGUA, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, PH, OXÍGENO DISUELTO, BICARBONATOS, ALCALINIDAD Y POTENCIAL REDOX	
ANÁLISIS QUÍMICOS	
CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS (<i>COLIFORMES TOTALES Y FECALES</i>)	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ORGANOLÉPTICAS (<i>TURBIEDAD O TURBIDEZ</i>)	
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (<i>DUREZA TOTAL, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS</i>)	
<i>CATIONES</i>	<i>ANIONES</i>
- <i>CALCIO (Ca⁺¹)</i>	- <i>BICARBONATOS (COMO HCO₃⁻¹)</i>
- <i>MAGNESIO (Mg⁺²)</i>	- <i>CARBONATOS (CO₃⁻²)</i>
- <i>SODIO (Na⁺¹)</i>	- <i>SULFATOS (COMO SO₄⁻²)</i>
- <i>POTASIO (K⁺²)</i>	- <i>CLORUROS (como Cl⁻¹)</i>
	- <i>NITRITOS (COMO N⁻¹)</i>
	- <i>NITRATOS (COMO N⁻¹)</i>
	- <i>BORO (B⁻¹)</i>
	- <i>FLUORUROS (como F⁻¹)</i>
	- <i>FOSFATOS (PO₄⁻³)</i>
<i>METALES Y METALOIDES</i>	
- <i>ALUMINIO (Al)</i>	- <i>LITIO (Li)</i>
- <i>ANTIMONIO (Sb)</i>	- <i>MANGANESO (Mn)</i>
- <i>ARSÉNICO (As)</i>	- <i>MERCURIO (Hg)</i>
- <i>BARIO (Ba)</i>	- <i>MOLIBDENO (Mo)</i>
- <i>BERILIO (Be)</i>	- <i>NÍQUEL (Ni)</i>
- <i>CADMIO (Cd)</i>	- <i>PLATA (Ag)</i>
- <i>COBALTO (Co)</i>	- <i>PLOMO (Pb)</i>
- <i>COBRE (Cu)</i>	- <i>SELENIO (Se)</i>
- <i>CROMO (Cr)</i>	- <i>TALIO (Tl)</i>
- <i>ESTRONCIO (Sr)</i>	- <i>VANADIO (V)</i>
- <i>FERRO (Fe)</i>	- <i>ZINC (Zn)</i>
<i>COLOIDES</i>	
<i>PLAGUICIDAS</i>	

6.1.1. Parámetros medidos en campo

En la zona acuífera de Los Bagotes se realizó un muestreo para determinar el comportamiento hidrogeoquímico y la calidad del agua subterránea, de acuerdo a los protocolos de la Norma Oficial Mexicana.

Entre los parámetros medidos en el campo se incluyeron la temperatura del aire y del agua (TEMP), la conductividad eléctrica (C.E.), el pH, el oxígeno disuelto (O.D.), la alcalinidad total y el Eh (Tabla 6.2). La ubicación de los sitios muestreados se puede ver en la Figura 6.1.

Tabla 6.2. Muestreo de agua subterránea de Los Bagotes

RANCHO O POZO	COORD UTM		TEMP. AIRE (°C)	TEMP. AGUA (°C)	C.E. (µs/c)	pH	O.D. (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	ALCALINIDAD TOTAL (mg/L)	Eh (mV)
	X	Y								
La Sierrita de López	476,031	3'253,283	12.6	25.6	743.0	7.20	4.1	429	352	193
El Represo Nuevo	483,883	3'253,216	17.7	31.9	571.0	7.59	3.4	233	191	197
El Gameño	476,021	3'241,523	17.4	29.2	611.0	6.97	4.2	347	284	253
San Diego	472,216	3'238,233	16.8	26.5	3,640.0	7.16	2.4	290	238	147
Piedras Negras	491,487	3'238,571	16.0	26.9	937.0	6.96	5.4	407	334	239
Los Talayotes	486,176	3'225,659	11.6	36.2	435.0	7.35	5.7	229	188	193
El Agachado Nuevo	477,989	3'225,703	16.6	36.0	922.0	7.48	3.3	203	166	83
San Carlos	471,171	3'217,817	21.8	33.1	720.0	7.28	5.6	298	244	186
ZN-13	484,702	3'217,024	19.7	26.7	645.0	7.30	8.6	260	213	178
ZN-15	493,174	3'219,727	25.4	21.4	1,075.0	7.15	7.7	357	293	216

TEMP = temperatura, C.E.= conductividad eléctrica, pH = potencial hidrogeno, OD = oxígeno disuelto, HCO₃ = bicarbonatos, Eh = potencial redox, °C = grados centígrados, µs/cm = microsiemens por centímetro, mg/L = miligramos por litro, mV = milivolts

A continuación se hace una breve descripción de cada parámetro y se muestran los resultados obtenidos, así como los límites máximos permisibles para agua potable de acuerdo a diversas reglamentaciones.

Temperatura del agua

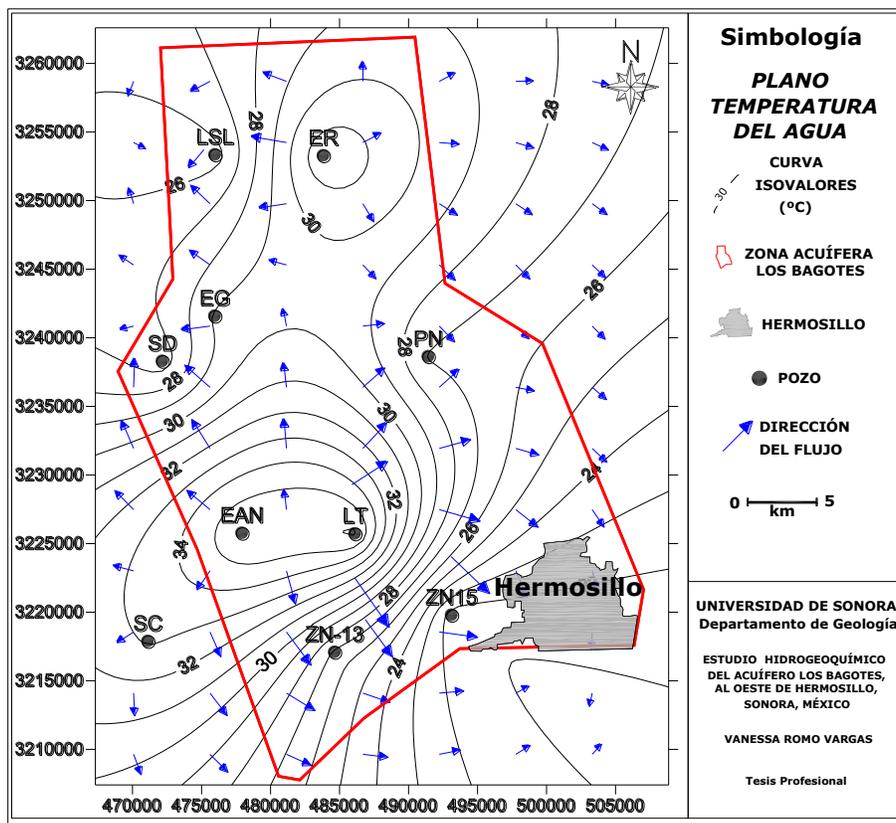
La temperatura es un parámetro físico que en la naturaleza generalmente aumenta con la profundidad, a este fenómeno se le conoce con el nombre de Gradiente Geotérmico. Dicho gradiente tiene un promedio de 3°C por cada 100 m de profundidad. Sin embargo, existen excepciones cuando el sistema hídrico está en relación con sistemas extremos frío-calor, ya que por lo general la temperatura en el agua subterránea

se mantiene en equilibrio con las rocas del acuífero. Por lo anterior es muy útil llevar a cabo medidas de este parámetro en pozos y obtener variaciones con la profundidad, las cuales pueden servir de apoyo en la interpretación de la circulación del flujo subterráneo, inferir los tipos de rocas y como indicadores de las zonas de recarga.

Es importante mencionar que la temperatura en pozos y norias puede ser afectada por la radiación solar cuando los niveles freáticos están muy cercanos a la superficie del terreno. Otro factor importante que interviene en las variaciones de la temperatura del agua es la permeabilidad, una baja permeabilidad provocará mayor fricción de las moléculas de agua con los materiales adyacentes debido a que el rendimiento específico de ellas es menor y con ello el aumento de la temperatura del agua subterránea.

Los análisis de temperatura realizados en la zona de Los Bagotes usó la referencia NMX-AA-007-SCFI-2000 (Análisis de agua-Determinación de la temperatura en aguas naturales y residuales-Método de prueba). Los valores en los sitios de muestreo varían de un **mínimo de 21.4°C en el pozo ZN-15**, a un **máximo de 36.2 °C en el Rancho Los Talayotes** (Tabla 6.2, Figura 6.2), arrojando un **promedio de 29.4 °C**.

Figura 6.2. Temperatura del agua de la zona acuífera de Los Bagotes



Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la habilidad de una sustancia para conducir una corriente eléctrica. Tiene unidades del recíproco de la resistencia (*ohm-m*), denotado en el Sistema Internacional como siemens por metro (*S/m*). En análisis de agua subterránea, la CE se expresa como microsiemens por centímetro ($\mu S/cm$) equivalente a micromhos por centímetro ($\mu mhos/cm$). Este parámetro es altamente dependiente de la temperatura, se incrementa aproximadamente 2% por cada °C de aumento de temperatura, debido a que la viscosidad del agua decrece con el incremento de temperatura y por tanto la resistencia al movimiento de los iones disminuye.

Un criterio representativo para la interpretación de la calidad del agua en función de la medición de su conductividad eléctrica se observa en la Tabla 6.3.

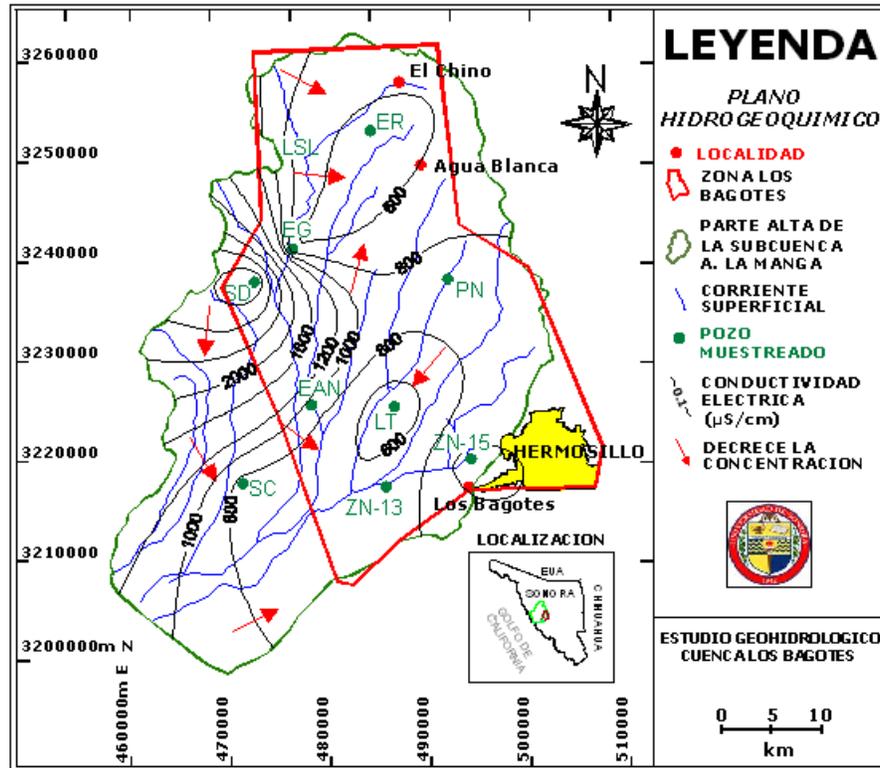
Tabla 6.3. Clasificación del agua según su conductividad eléctrica (APHA, 1992)

CALIDAD DEL AGUA	DULCE	SALOBRE	MAR	SALMUERA
Conductividad eléctrica ($\mu S/cm$)	100-2,000	2,000-5,000	5,000-45,000	45,000-100,000

Para el área de estudio, los valores de conductividad eléctrica medidos en campo en los sitios de muestreo siguieron la referencia NMX-AA-093-SCFI-2000 (Análisis de agua-Determinación de la conductividad electrolítica-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-093-1984). Los resultados muestran una salinidad variable, encontrándose un valor **mínimo de 435 $\mu S/cm$ en el Rancho Los Talayotes** y un valor **máximo de 3,640 $\mu S/cm$ en el Rancho San Diego** (Tabla 6.2, Figura 6.3), siendo la **media de 1,030 $\mu S/cm$** .

De acuerdo a los rangos de la APHA (1992), el agua de Los Bagotes se clasifica como **agua dulce**, exceptuando el agua del Rancho San Diego que contiene **agua salobre**.

Figura 6.3. Valores de conductividad eléctrica en Los Bagotes



Potencial hidrógeno (pH)

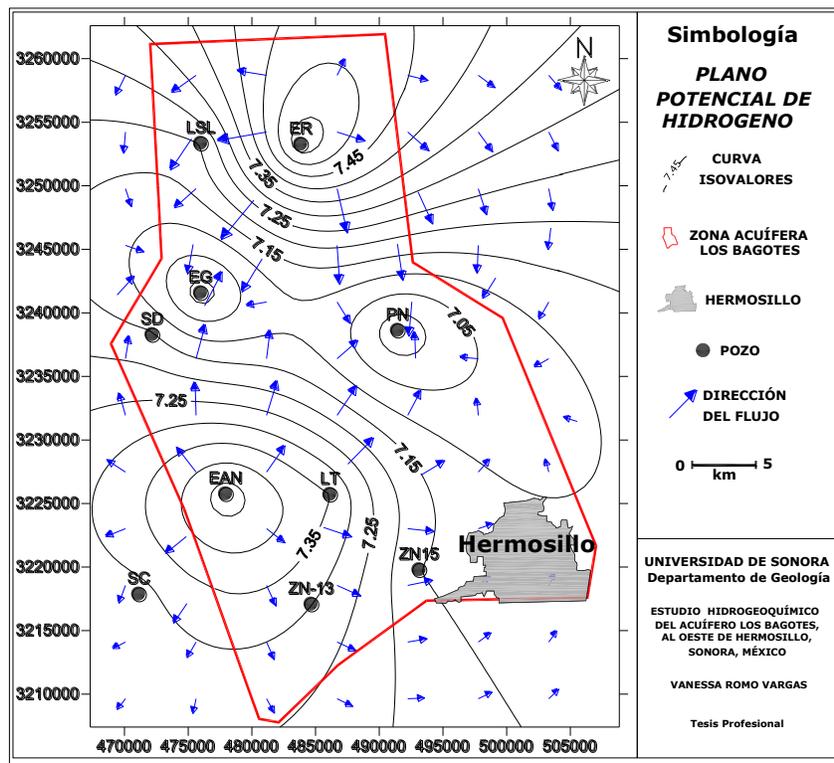
La medición del pH debe realizarse *in situ* debido a los cambios que puede sufrir por la pérdida o ganancia de gases disueltos, tales como CO₂. El agua subterránea generalmente está en equilibrio a una presión parcial de CO₂ mucho más alta (10⁻¹ a 10⁻³ bar) que la de la atmósfera (10⁻³ a 10⁻⁵ bar), por lo que cuando está expuesta a la atmósfera, este gas escapa y el pH se incrementa.

El pH describe conceptualmente la composición del agua, es decir, si el pH es 7 el agua es neutra; los valores por debajo de éste, indican que el agua es de composición ácida y los valores mayores a 7, son aguas alcalinas. El potencial hidrógeno se determina en campo y la importancia de hacerlo radica en que éste controla varias reacciones, así como la presencia de diferentes compuestos.

En el sentido estricto de la palabra, el potencial hidrógeno (pH) de una solución, indica la concentración efectiva de iones de hidrógeno, es decir la capacidad como ácido débil que tiene el agua para disolver solutos. Las unidades de este parámetro son el logaritmo negativo de la concentración de hidrógeno expresada en moles por litro, $pH = -\log H^+$.

Los análisis de pH en la zona de Los Bagotes se realizaron usando la referencia NMX-AA-008-SCFI-2000 (Análisis de agua-Determinación del pH-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-008-1980). Se encontraron valores de pH que van de un **mínimo de 6.96 en el Rancho Piedras Negras, a un máximo de 7.59 en El Represo** (Tabla 6.2, Figura 6.4); **el promedio fue de 7.24**. De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), el pH en agua de consumo humano debe encontrarse en un rango de 6.5 a 8.5. **El agua de los pozos estudiados se encuentra dentro de este intervalo permisible.**

Figura 6.4. Potencial hidrógeno del agua de los pozos de Los Bagotes



Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es un importante parámetro hidrogeoquímico comúnmente medido en el campo sumergiendo un pequeño ensayo en las muestras de agua o en los pozos. En un ensayo de oxígeno disuelto, las moléculas del gas oxígeno se difunden a través de una membrana a una celda de medida a una tasa proporcional a la presión parcial de oxígeno en el agua. Adentro del sensor el oxígeno reacciona con un electrolito y es reducido por la aplicación de un voltaje. La corriente generada es directamente proporcional a la presión parcial del oxígeno en el agua afuera del sensor. Estas

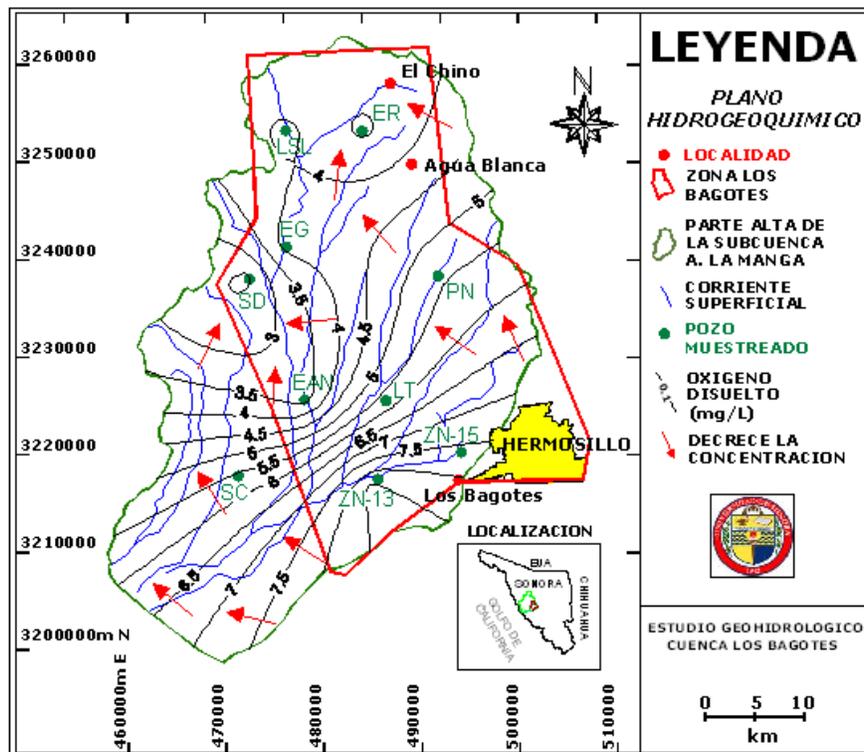
mediciones se hacen *in situ*.

Valores de Eh o pE pueden ser calculados de valores medidos de oxígeno disuelto por medio de la ecuación: $pE = 20.78 + \frac{1}{4} \log (PO_2) - pH$ (Freeze y Cherry, 1979).

Si el agua está saturada con oxígeno disuelto, o sea en equilibrio con el oxígeno de la atmósfera terrestre, el pE calculado es de 13.6. Para valores de pE calculados de concentraciones de oxígeno disuelto, que sirvan como verdaderos indicadores de condiciones reductoras en el agua, el oxígeno disuelto debe estar en las especies oxidativas controladoras en el agua con condiciones reductoras en o cerca del equilibrio.

Los análisis de oxígeno disuelto en la zona de Los Bagotes se realizaron usando la referencia NMX-AA-012-SCFI-2001 (Análisis de agua-Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-012-1980). Dicha norma establece que los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas dependen de las actividades químicas, físicas y bioquímicas en los cuerpos de aguas. El **promedio** de los valores de oxígeno disuelto encontrados fue de **5.0 mg/L**, siendo el valor **máximo de 8.6 mg/L en el pozo ZN-13** y el valor **mínimo de 2.4 mg/L en el Rancho San Diego** (Tabla 6.2, Figura 6.5).

Figura 6.5. Oxígeno disuelto en el agua subterránea de Los Bagotes



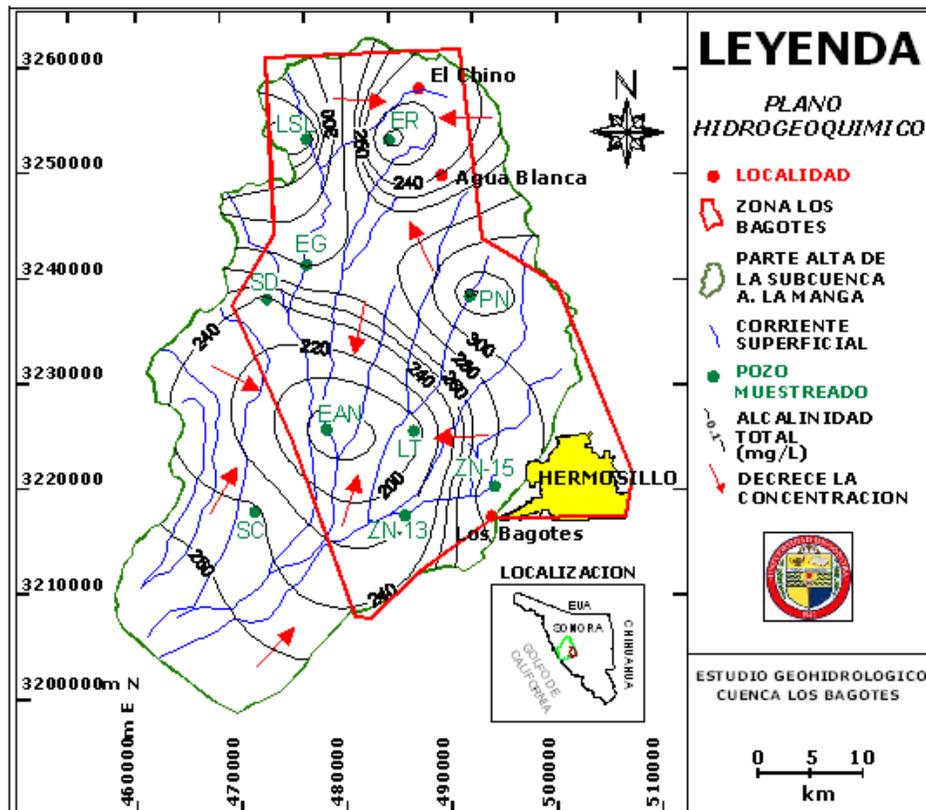
Alcalinidad total

Sólo los carbonatos de los metales alcalinos se disuelven fácilmente en agua, y las disoluciones resultantes son alcalinas. Debido a su alcalinidad, las disoluciones de carbonato de sodio (conocido como sosa comercial) se usan como agentes limpiadores y para ablandar el agua. El exceso de acidez del suelo afecta de forma negativa a muchas especies, mientras que la alcalinidad excesiva puede ser mortal.

La alcalinidad total se obtiene multiplicando los bicarbonatos más los carbonatos, por el factor 1.22. Respecto al límite máximo permisible para agua potable, en la Norma Oficial Mexicana no aparece este parámetro.

Los análisis de alcalinidad total en la zona de Los Bagotes se realizaron usando la referencia NMX-AA-036-SCFI-2001 (Análisis de agua-Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-036-1980). La **media** de los valores reportados por el laboratorio, es de **250 mg/L**. La **máxima concentración de 352 mg/L** ocurrió en el Rancho La Sierrita de López, la **mínima de 166 mg/L** se presentó en el Rancho El Agachado Nuevo (Tabla 6.2, Figura 6.6).

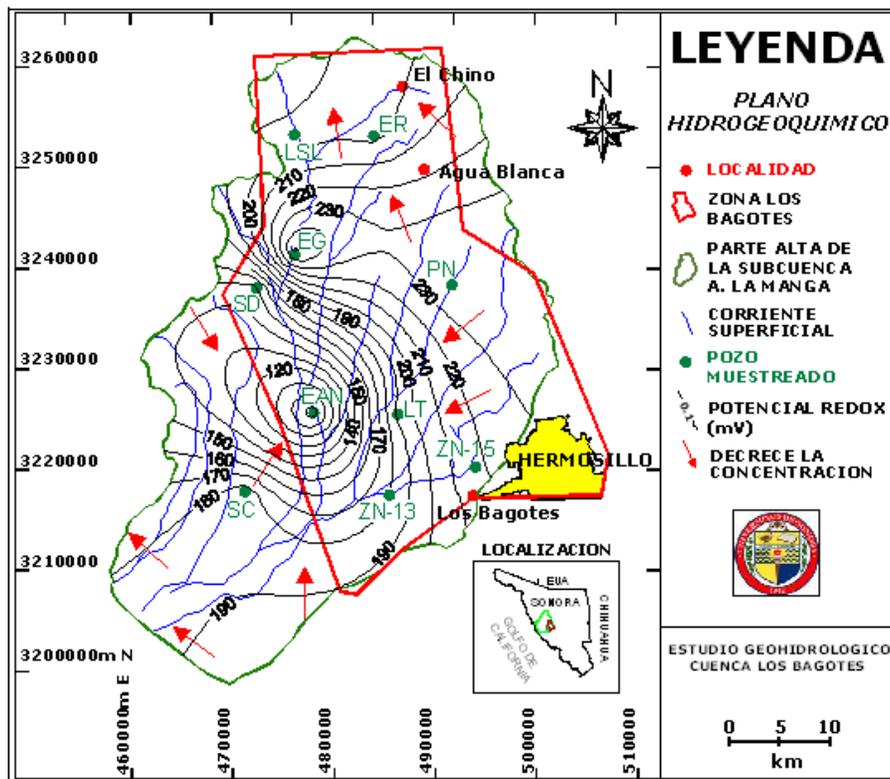
Figura 6.6. Concentración de alcalinidad total en Los Bagotes



Potencial redox (Eh)

Todos los elementos químicos en función de su configuración electrónica pueden ceder electrones y quedar con carga positiva o ganar electrones y cargarse negativamente. En las reacciones redox, la pérdida de electrones por un elemento (oxidación), debe estar acompañada por la ganancia de electrones por otro elemento (reducción). La capacidad oxidante es lo que se conoce como potencial de oxidación (Eh) y se mide en milivoltios (mV). El potencial redox del agua subterránea decrece a medida que el agua se mueve a lo largo de su patrón de flujo. Cuando el agua de la lluvia y de la nieve entra al sistema de flujo subsuperficial, tiene inicialmente un alto potencial redox como resultado de su exposición al oxígeno atmosférico. Las condiciones redox iniciales reflejan altas condiciones de oxígeno disuelto, que expresadas como **Eh** están cerca de 750 mV a pH de 7.

Figura 6.7. Medición de potencial redox en Los Bagotes



Los análisis de potencial redox en la zona de Los Bagotes se realizaron de acuerdo a la referencia SMEWW 2580 B (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater), que para agua señala el instrumento “Probe and meter” (sonda/ensayo). El valor **máximo de 253 mV a 29.2°C** se encontró en el **Rancho El Gameño** y el **mínimo de 83 mV a 31.9°C** se halló en el **Rancho El Agachado Nuevo**

(Tabla 6.2. Figura 6.7).

6.2. Análisis químicos

Dentro de los análisis químicos se tienen varias categorías en el orden en que se presentan en la NOM-127-SSA1-1999:

- Características bacteriológicas
- Características físicas y organolépticas
- Características químicas.

6.2.1. Características bacteriológicas

Para determinar la calidad del agua, se recurre a parámetros físicoquímicos y biológicos o bacteriológicos, que tienen mayor importancia para dictámenes de salud; es preciso hallar el número de gérmenes saprófilos o de coli y de bacterias procedentes del intestino humano como indicadores de la contaminación. Las bacterias coliformes incluyen *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*, que se asemejan morfológica y fisiológicamente y que suelen encontrarse en el aparato intestinal del hombre y animal.

La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de contaminación por aguas negras o desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

Los **organismos coliformes totales** incluyen todos los tipos de bacterias coliformes y pueden indicar contaminación fecal. Los **organismos coliformes fecales** son un tipo de bacterias coliformes, ya que no todas son de origen fecal. Los resultados de los exámenes bacteriológicos se reportan en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml). Los LMP se observan en la Tabla 6.4 y los resultados de las muestras de Los Bagotes en la Tabla 6.5.

Tabla 6.4. Límites máximos permisibles según la NOM-127-SSA1-1994

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

Es importante mencionar que para el análisis bacteriológico de las muestras de Los Bagotes, se siguió a cabalidad la Norma Mexicana NMX-AA-42-1987 (Calidad del

agua. Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* (presuntiva)), que establece en el punto 8 Preservación y Almacenamiento de muestras: “El análisis bacteriológico de la muestra debe practicarse inmediatamente después de su recolección. Es por ello que se recomienda que de no efectuarse así el análisis, se inicie dentro de las 2 horas próximas a la recolección de la muestra y en ningún caso, este lapso debe exceder de 24 horas para agua potable y de 6 horas para otros tipos de agua para que sea válido el resultado del análisis”. En el presente estudio, entre la toma de las muestras y su análisis no se excedieron 24 horas para agua potable.

Aunado a lo anterior, para el análisis de coliformes totales se respetó lo establecido por la NOM-112-SSA1-1994 (Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable), siendo el límite de cuantificación de 1.8 NMP/100 mL. Para los análisis de coliformes fecales se siguió la NOM-145-SSA1-1995 (Productos cárnicos troceados y curados. Productos cárnicos curados y madurados. Disposiciones y especificaciones sanitarias), siendo el límite de cuantificación igual al anterior.

Debido a que la mayoría de los aprovechamientos muestreados en la zona acuífera estudiada son pozos someros, se esperaba encontrar valores altos de coliformes debido a contaminación proveniente del medio ambiente. En los resultados se observa que **7 muestras presentaron coliformes totales y 4 coliformes fecales, todas arriba de la norma**. Valores de coliformes extremadamente altos se encontraron en los pozos de los ranchos San Diego y El Agachado Nuevo (Tabla 6.5, Figuras 6.8 y 6.9).

Tabla 6.5. Análisis bacteriológicos de Los Bagotes

POZO	COORD UTM		COLIFORMES TOTALES (NMP/100 MI)	COLIFORMES FECALES (NMP/100 mL)
	X	Y		
La Sierrita de López	476,031	3'253,283	920	540
El Represo Nuevo	483,883	3'253,216	N.C.	N.C.
El Gameño	476,021	3'241,523	4.5	N.C.
San Diego	472,216	3'238,233	Mayor a 1,600	180
Piedras Negras	491,487	3'238,571	110	13
Los Talayotes	486,176	3'225,659	17	N.C.
El Agachado Nuevo	477,989	3'225,703	Mayor a 1,600	Mayor a 1,600
San Carlos	471,171	3'217,817	N.C.	N.C.
ZN-13	484,702	3'217,024	N.C.	N.C.
ZN-15*	493,174	3'219,727	17	N.C.

* La toma de la muestra se hizo en rancho ubicado a 50 m del pozo ZN-15.

Figura 6.8. Mapa de isólinas de coliformes totales

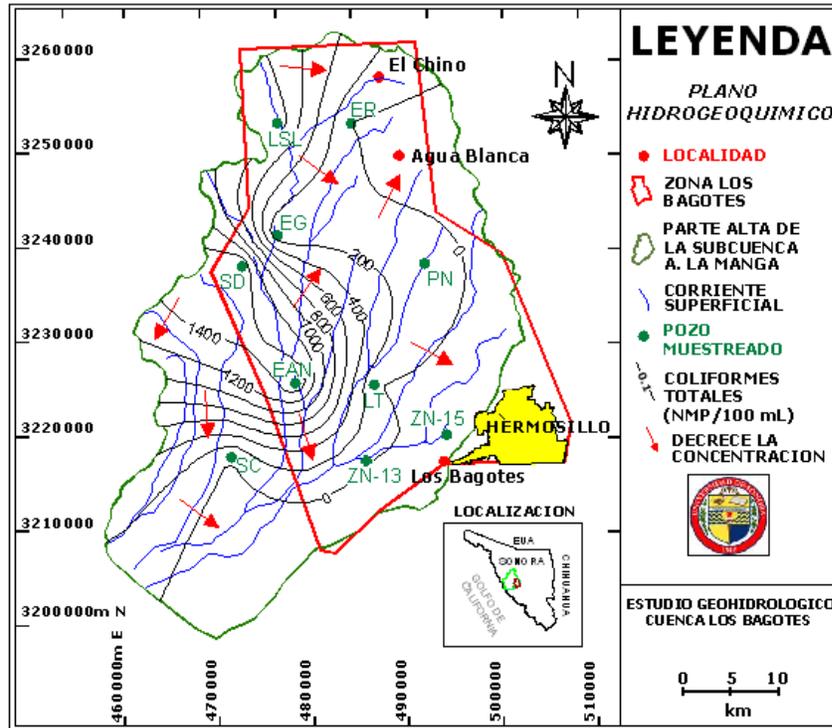
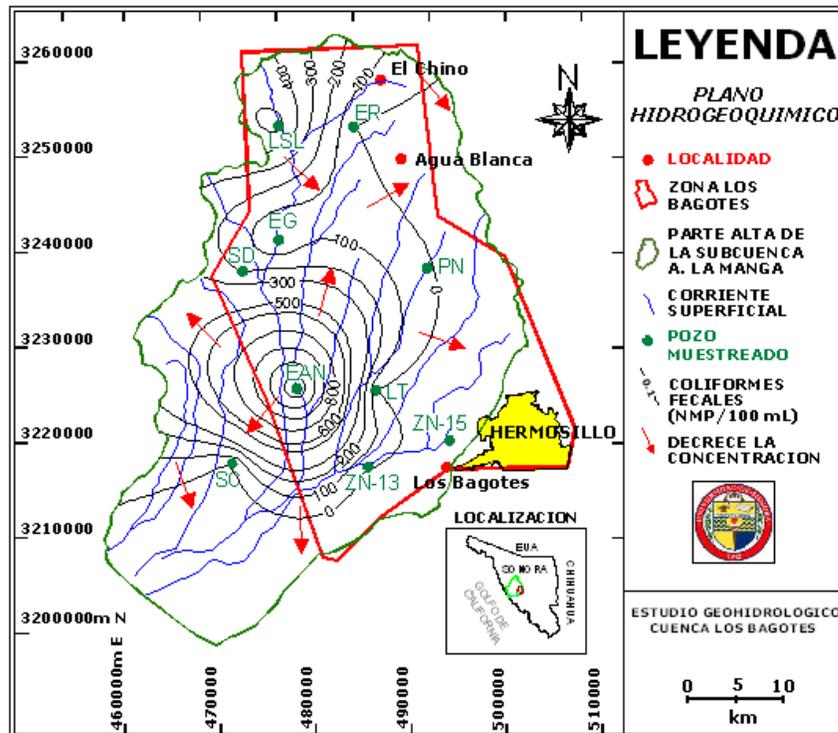


Figura 6.9. Mapa de isólinas de coliformes fecales



6.2.2. Características físicas y organolépticas

Los resultados entregados por el Laboratorio Analítica del Noroeste se consignan en la Tabla 6.6. Dentro de las características generales se incluyen la turbiedad o turbidez, la dureza total y los sólidos totales disueltos (STD), parámetros que se explican brevemente, junto con los resultados obtenidos.

Tabla 6.6. Características del agua subterránea de Los Bagotes

POZO	COORD UTM		TURBIEDAD (UNT)	DUREZA TOTAL (mg/L)	STD (mg/L)
	X	Y			
La Sierrita de López	476,031	3'253,283	2.90	279	560
El Represo Nuevo	483,883	3'253,216	N.C.	111	426
El Gameño	476,021	3'241,523	N.C.	236	452
San Diego	472,216	3'238,233	0.40	292	3,340
Piedras Negras	491,487	3'238,571	N.C.	395	682
Los Talayotes	486,176	3'225,659	0.20	101	290
El Agachado Nuevo	477,989	3'225,703	21.00	203	610
San Carlos	471,171	3'217,817	0.75	230	486
ZN-13	484,702	3'217,024	N.C.	228	436
ZN-15	493,174	3'219,727	N.C.	371	746

UNT = unidades nefelométricas de turbidez, mg/L = miligramos/litro, STD = sólidos totales disueltos, N.C. = no cuantificable

Turbiedad o turbidez

La turbidez se define como calidad de turbio. Es la oposición que ofrece una sustancia al paso de la luz y que es mayor que la que presenta naturalmente en estado puro. El agua en estado puro es transparente, y la presencia de sólidos suspendidos reduce la transmisión de la luz dispersándola o absorbiéndola. Aunque no es un parámetro con un valor indicador absoluto, es uno de los que habitualmente se emplean para caracterizar la calidad del agua, ya que una alta turbidez suele estar asociada a una baja calidad para ciertos usos.

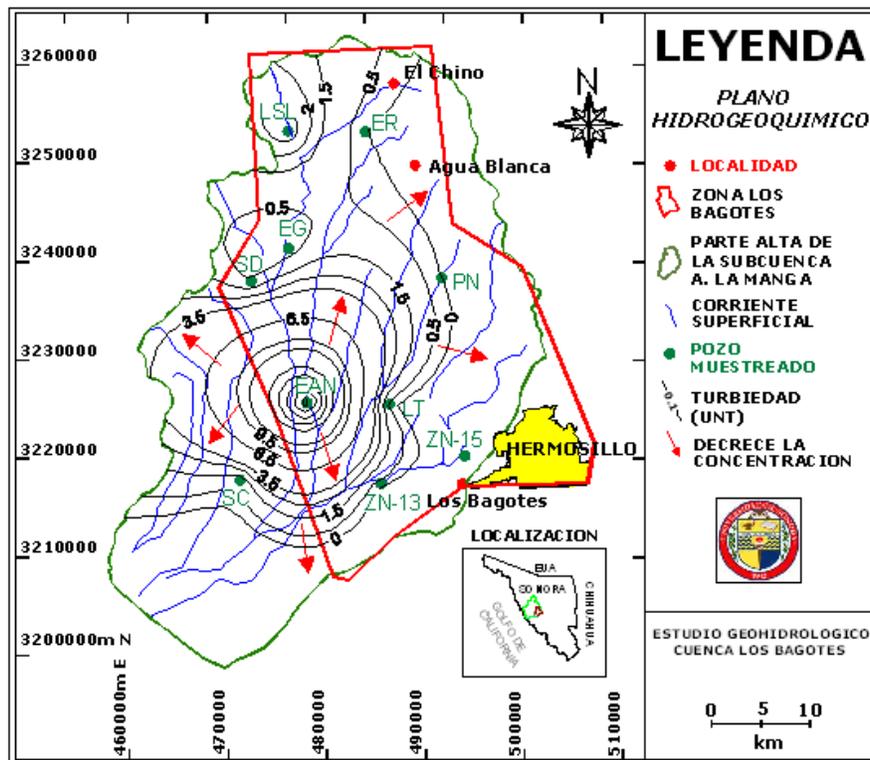
Los instrumentos que se emplean para medir la turbidez se denominan turbidímetros o nefelómetros y miden en unidades de turbidez denominadas unidades nefelométricas o NTU en inglés (Nephelometer turbidity units) o UNT en español (Unidades nefelométricas de turbidez). El nefelómetro mide la luz que es dispersada con un ángulo de 90°. El espectrofotómetro también se utiliza en este tipo de mediciones aunque no es tan específico para ello como el nefelómetro: el espectrofotómetro mide la luz transmitida a través del cuerpo en cuestión, y esta luz está, de modo aproximado, inversamente relacionada con la luz dispersada.

En la zona de Los Bagotes se analizó la turbidez bajo la norma NMX-AA 038-SCFI-2001 (Análisis de agua-Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-038-1981). El laboratorio que realizó los análisis reporta un límite de cuantificación para la turbidez de 0.05 UNT.

Para agua de consumo humano, la NOM-127-SSA1-1994 establece 5 UNT como límite máximo permisible para la turbiedad; de no cumplirse con este valor, se pueden admitir aquéllos que sean tolerables para los usuarios. En la zona acuífera de Los Bagotes, la turbidez varía de **un mínimo de 0.20 UNT en el Rancho Los Talayotes a un máximo de 21.00 UNT en el pozo El Agachado Nuevo** (Tabla 6.6, Figura 6.10).

De acuerdo a la norma, sólo el pozo El Agachado Nuevo está fuera del límite máximo permisible. **El resto de los pozos, tiene agua sin turbiedad.**

Figura 6.10. Pozos de Los Bagotes con valores de turbiedad



6.2.3. Características químicas

Dureza total (como CaCO₃)

En la mayoría de los casos la dureza es debida al calcio y el magnesio. Consume jabón y no produce espuma. Forma depósitos o incrustaciones de jabón en baños. El agua dura incrusta calderas y tuberías. Dureza es equivalente al contenido de carbonatos y bicarbonatos.

La dureza mide la capacidad de un agua para consumir jabón o producir incrustaciones. Las definiciones actuales la identifican con el contenido en iones alcalinotérreos, esencialmente calcio más magnesio.

Las aguas se pueden clasificar por su dureza, pero esta clasificación varía con las localidades de acuerdo con las aguas disponibles. En la Tabla 6.7 se ve una clasificación propuesta para diferentes tipos de dureza.

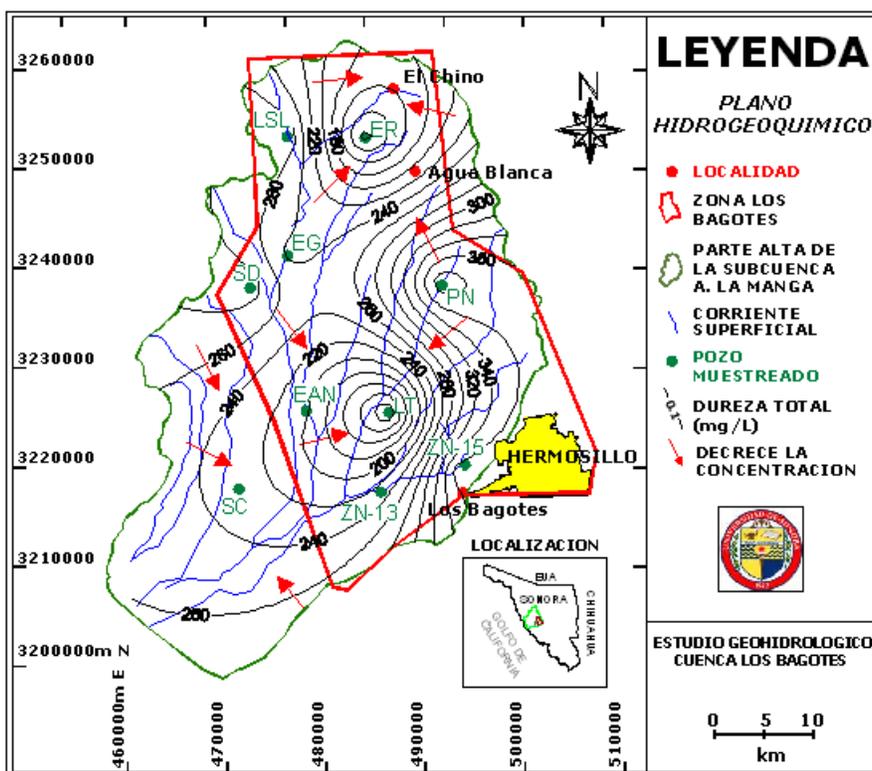
Tabla 6.7. Clasificación del agua por su dureza

CALIDAD DEL AGUA	BLANDA	LIGERAMENTE DURA	MODERADAMENTE DURA	MUY DURA
CaCO ₃ (ppm)	< 50	50 - 100	100 - 200	> 200

Los análisis químicos de las aguas de Los Bagotes se realizaron de acuerdo a la norma NMX-AA-072-SCFI-2001 (Análisis de agua-Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-072-1981). Los resultados mostraron valores de dureza total que van de un mínimo de **101 mg/L en el Rancho Los Talayotes, a un máximo de 395 mg/L en el Rancho Piedras Negras** (Tabla 6.6, Figura 6.11). El valor **medio fue de 245 mg/L**.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), el límite máximo permitido para dureza total es de 500 mg/L, por lo que **todos los valores de Los Bagotes se hallan dentro de la norma**, o sea, el agua es de buena calidad de acuerdo a este parámetro. Respecto a la clasificación de la Tabla 6.7, el agua de la zona de estudio, varía de **moderadamente dura a muy dura**.

Figura 6.11. Valores de dureza total en el agua de Los Bagotes



Sólidos totales disueltos (STD)

Como resultado de las interacciones químicas y bioquímicas entre el agua subterránea y los materiales geológicos a través de los cuales circula, y en menor proporción de contribuciones de la atmósfera y cuerpos superficiales de agua, el agua subterránea contiene una gran variedad de constituyentes químicos inorgánicos disueltos en diversas concentraciones. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) en el agua subterránea se obtiene pesando el residuo sólido obtenido al evaporar un volumen medido de muestra filtrada y secada. El agua que contiene entre 2,000 y 3,000 mg/L de STD es demasiado salada para beberse; el agua de mar contiene aproximadamente 35,000 mg/L de STD (Tabla 6.8; Freeze y Cherry, 1979).

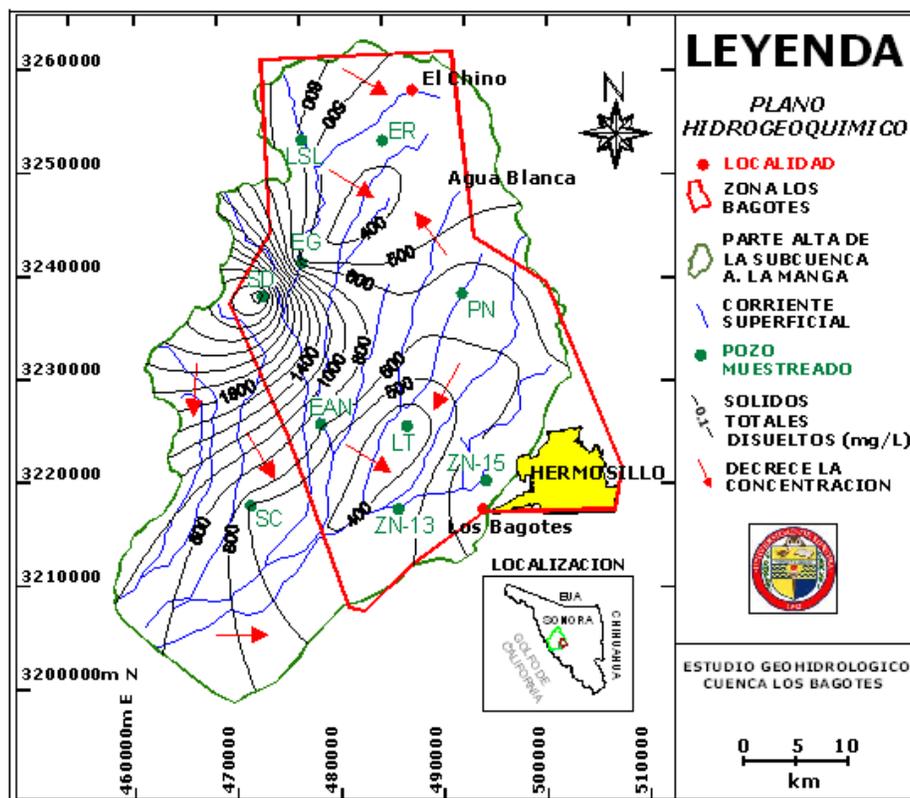
Tabla 6.8. Clasificación de agua subterránea basada en los STD

CALIDAD DEL AGUA	STD (mg/L o g/m ³)
Agua dulce	0 – 1,000
Agua salobre	1,000 – 10,000
Agua salina	10,000 – 100,000
Agua de salmuera	> 100,000

Los análisis de STD de Los Bagotes se realizaron de acuerdo a la norma NMX-AA-034-SCFI-2001 (Análisis de agua-Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Cancela a las NMX-AA-020-1980 y NMX-AA-034-1981). Los resultados muestran valores que van de un **mínimo de 290 mg/L en Los Talayotes a un máximo de 3,340 en el Rancho San Diego** (Tabla 6.6, Figura 6.12), concordando con los valores máximo y mínimo de CE, como era de esperarse, ya que son directamente proporcionales. **La media fue de 803 mg/L.**

La Norma Oficial Mexicana (1994) establece 1,000 mg/L como límite máximo permisible para agua de uso doméstico. **Todos los pozos de Los Bagotes están dentro de la norma, excepto el San Diego.** Respecto a los tipos de agua de la Tabla 6.8, la zona de Los Bagotes queda clasificada como de **agua dulce**, excepto el pozo San Diego que contiene **agua salobre**.

Figura 6.12. Sólidos totales disueltos en pozos de la zona de estudio



Cationes

Un ion es una subpartícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutra. Un catión es un ion con carga eléctrica positiva y un anión tiene carga negativa.

Los iones analizados en el agua de Los Bagotes fueron los cationes: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ , y los aniones: HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- , $\text{CO}_3^{=}$, NO_2^- , NO_3^- , B, F⁻, PO_4^{3-} . Con los resultados del laboratorio, se elaboraron mapas de isovalores de cada elemento, los cuales se muestran a continuación, así como una explicación breve de cada ion. Los valores resultantes de los cationes se observan en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9. Cationes analizados en aguas de Los Bagotes

POZO	COORD UTM		Ca^{++} (mg/L)	Mg^{++} (mg/L)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)
	X	Y				
La Sierrita de López	476031	3253283	84.1	18.7	55.8	3.9
El Represo	483883	3253216	35.4	5.0	79.4	5.9
El Gameño	476021	3241523	79.9	6.7	37.5	2.3
San Diego	472216	3238233	395.0	148.0	330.0	14.7
Piedras Negras	491487	3238571	121.0	35.0	44.4	7.0
Los Talayotes	486261	3225539	30.1	6.2	49.5	3.1
El Agachado Nuevo	477989	3225703	74.1	7.8	104.0	4.9
San Carlos	471171	3217817	79.6	13.5	72.9	4.1
ZN-13	484759	3216826	79.6	12.0	49.4	2.9
ZN-15	493174	3219727	138.0	19.6	98.1	4.1

Valor en rojo > Límite máximo permisible (LMP)

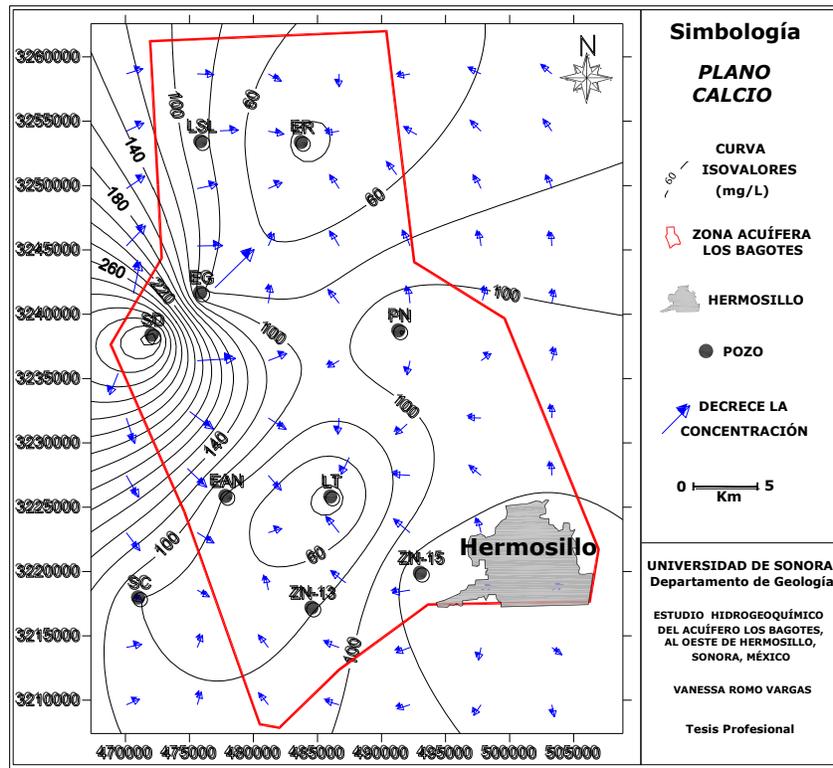
- Calcio (Ca^{++})

Proviene de casi todo tipo de suelos y rocas en especial de las calizas, las dolomías y el yeso. Algunas salmueras contienen grandes cantidades de calcio. El calcio y el magnesio son los principales responsables de la dureza en el agua, la cual origina un gran consumo de jabones. Puede incrustar tuberías y además, reduciendo su eficiencia.

Las concentraciones de calcio (Ca) en las aguas subterráneas, son muy comunes debido a la presencia de rocas que forman el medio geológico. Puede provenir de la liberación de algunos constituyentes de las rocas ígneas, principalmente basaltos y riolitas, por el ataque a los minerales del grupo de los feldespatos y plagioclasas, así como resultado de la disolución de rocas calcáreas.

En el área de Los Bagotes se analizó el calcio de acuerdo al método de la EPA 6010 B. Se encontraron valores que van de un **mínimo de 30.1 mg/L en Los Talayotes, a un máximo de 395.0 mg/L en el Rancho San Diego** (Tabla 6.9, Figura 6.13). La media fue de 111.7 mg/L.

Figura 6.13. Mapa de isólinas de calcio (mg/L)



- **Magnesio (Mg^{++})**

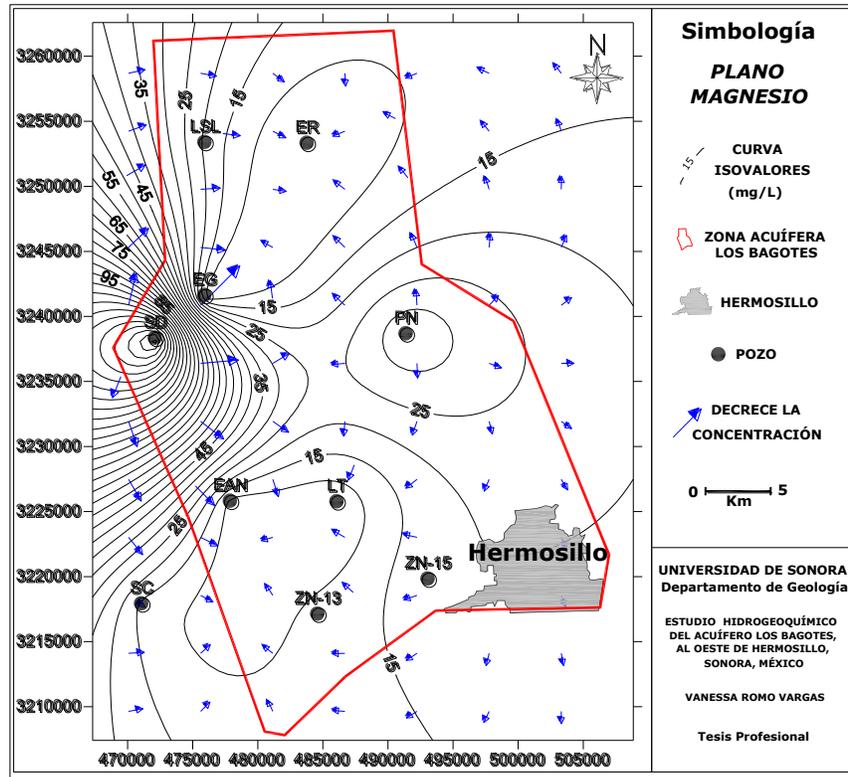
Proviene de la disolución de la mayoría de los suelos y rocas pero especialmente de las dolomías. Algunas salmueras contienen cantidades abundantes de magnesio. El magnesio y el calcio son los principales responsables de la dureza y del agua incrustante.

El magnesio ocupa el sexto lugar en abundancia natural entre los elementos de la corteza terrestre. Existe en la naturaleza sólo en combinación química con otros elementos, en particular, en los minerales carnalita, dolomita y magnesita, en muchos silicatos constituyentes de rocas y como sales, por ejemplo el cloruro de magnesio, que se encuentra en el mar y en los lagos salinos. Es un componente esencial del tejido animal y vegetal.

En el área de estudio se analizó el magnesio de acuerdo a la EPA 6010 B. Se encontró un valor **medio de 27.3 mg/L de Mg**. El valor **máximo fue de 148.0** y se

presentó en el **Rancho San Diego**. El valor mínimo fue de **5.0 mg/L** en el **Rancho El Represo** (Tabla 6.9, Figura 6.14).

Figura 6.14. Mapa de isolíneas de magnesio (mg/L)



- **Sodio (Na^+)**

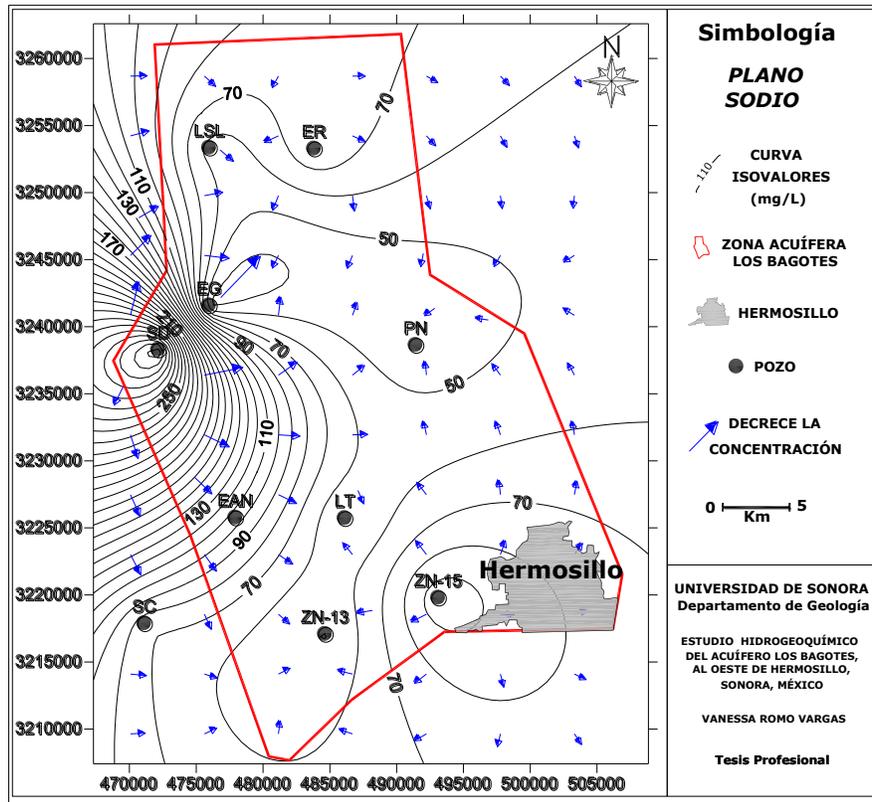
Proviene de la disolución de la mayoría de las rocas y suelos. Se encuentra también en salmueras, agua de mar, desperdicios industriales y drenajes. Grandes concentraciones en combinación con el cloro, producen un sabor salado. Cantidades fuertes comúnmente limita el uso del agua para la agricultura.

El sodio sólo se presenta en la naturaleza en estado combinado. Se encuentra en el mar y en los lagos salinos como cloruro de sodio, $NaCl$, y con menor frecuencia como carbonato de sodio, Na_2CO_3 , y sulfato de sodio, Na_2SO_4 . El sodio comercial se prepara descomponiendo electrolíticamente cloruro de sodio fundido. El sodio ocupa el séptimo lugar en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Es un componente esencial del tejido vegetal y animal.

Los análisis de sodio en el área de estudio se efectuaron de acuerdo a la metodología de la EPA 6010 B. Los valores de sodio reportados por el laboratorio van de un **mínimo de 37.5 mg/L en el Rancho El Gameño**, a un **máximo de 330.0 mg/L en el**

pozo San Diego (Tabla 6.9, Figura 6.15). La **media** fue de **92.1 mg/L**. La NOM-127-SSA1-1994 establece 200 mg/L como límite máximo permisible. **Todos los pozos muestreados se hallan dentro de la norma, excepto el pozo del Rancho San Diego.**

Figura 6.15. Mapa de isólinas de sodio (mg/L)



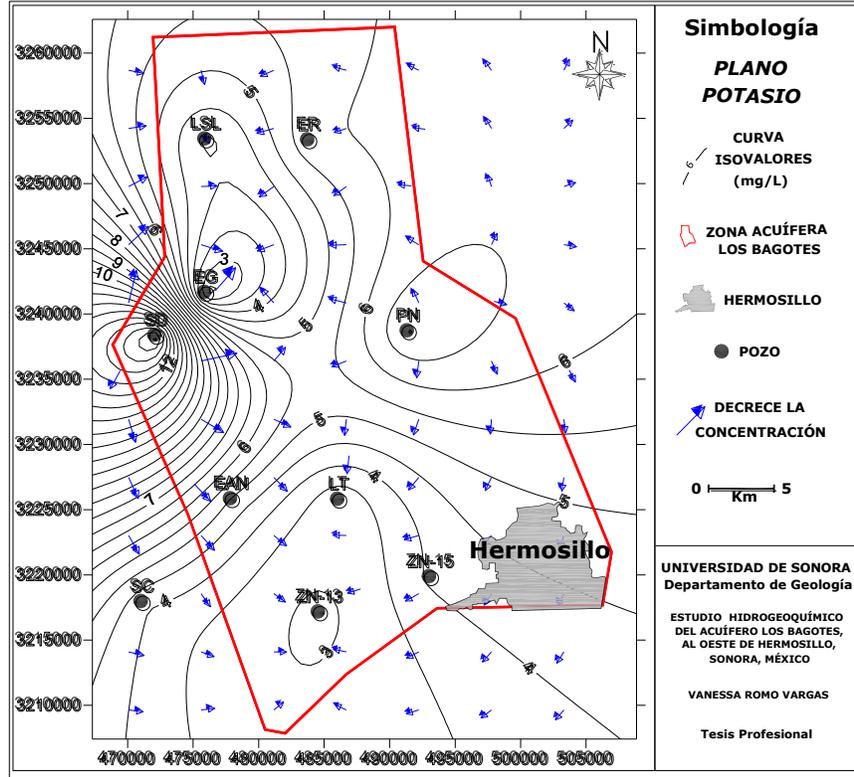
- Potasio (K^+)

Proviene de la disolución de la mayoría de las rocas y suelos. Se encuentra también en salmueras, agua de mar y en algunos desechos industriales. Grandes concentraciones, en combinación con cloro, produce un sabor salado. Es esencial en la nutrición de las plantas.

El K ocupa el octavo lugar en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre; se encuentra en grandes cantidades en la naturaleza en minerales tales como la carnalita, el feldespato, el salitre, la arenisca verde y la silvita. El potasio está presente en todo el tejido vegetal y animal, y es un componente vital de los suelos fértiles.

En Los Bagotes el potasio se analizó tomando como referencia la EPA 6010 B. El valor **medio** de las muestras de agua fue de **5.3 mg/L**. La concentración **máxima** fue de **14.7 mg/L** y ocurrió en el **Rancho San Diego**, la **mínima** fue de **2.3 mg/L** en el **Rancho El Gameño** (Tabla 6.9, Figura 6.16).

Figura 6.16. Mapa de isólinas de potasio (mg/L)



Aniones

Un átomo que gana un electrón forma un ion de carga negativa, llamado anión. Para el presente trabajo se analizaron algunos de los aniones más comunes usados para clasificar las aguas por familias. Los resultados de los aniones analizados, se pueden observar en la Tabla 6.10.

Tabla 6.10. Aniones analizados en aguas de Los Bagotes

POZO	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁼ (mg/L)	SO ₄ ⁼ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	B ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
La Sierrita de López	429	N.C.	12	17	0.014	5.120	0.130	N.C.	N.C.
El Represo	233	N.C.	20	45	N.C.	4.750	0.189	1.070	N.C.
El Gameño	347	N.C.	13	15	N.C.	4.320	0.089	N.C.	N.C.
San Diego	290	N.C.	1,700	208	0.083	5.280	0.600	1.140	N.C.
Piedras Negras	407	N.C.	27	42	0.005	4.210	0.141	0.700	N.C.
Los Talayotes	229	N.C.	18	14	N.C.	2.190	0.096	N.C.	N.C.
El Agachado Nuevo	203	N.C.	170	83	0.083	1.970	0.209	N.C.	N.C.
San Carlos	298	N.C.	97	34	N.C.	2.520	0.102	N.C.	N.C.
ZN-13	260	N.C.	94	28	N.C.	1.680	0.088	N.C.	N.C.
ZN-15	357	N.C.	170	74	N.C.	6.670	0.143	N.C.	N.C.

N.C. = No cuantificable

- Bicarbonatos (HCO₃⁻) y carbonatos (CO₃⁼)

Proviene de la incorporación de bióxido de carbono en el agua y de la disolución de rocas carbonatadas como la caliza y la dolomía. Los carbonatos y bicarbonatos producen alcalinidad. Los bicarbonatos de calcio y magnesio se descomponen en calderas y aguas calientes, facilitando la incrustación y liberando bióxido de carbono corrosivo a la atmósfera. En combinación con calcio y magnesio es causa de la dureza. En la naturaleza existen varios carbonatos inorgánicos en forma de minerales y menas importantes; entre ellos están la calcita (CaCO₃), la magnesita (MgCO₃), la siderita (FeCO₃) y la smithsonita (ZnCO₃). Como grupo, pueden ser reconocidos por su efervescencia al tratarlos con ácido clorhídrico. Todos esos carbonatos se descomponen con el calor, produciendo CO₂ y generalmente el óxido sólido del metal. Sólo los carbonatos de los metales alcalinos se disuelven fácilmente en agua, y las disoluciones resultantes son alcalinas. Debido a su alcalinidad, las disoluciones de carbonato de sodio (conocido como sosa comercial) se usan como agentes limpiadores y para ablandar el agua.

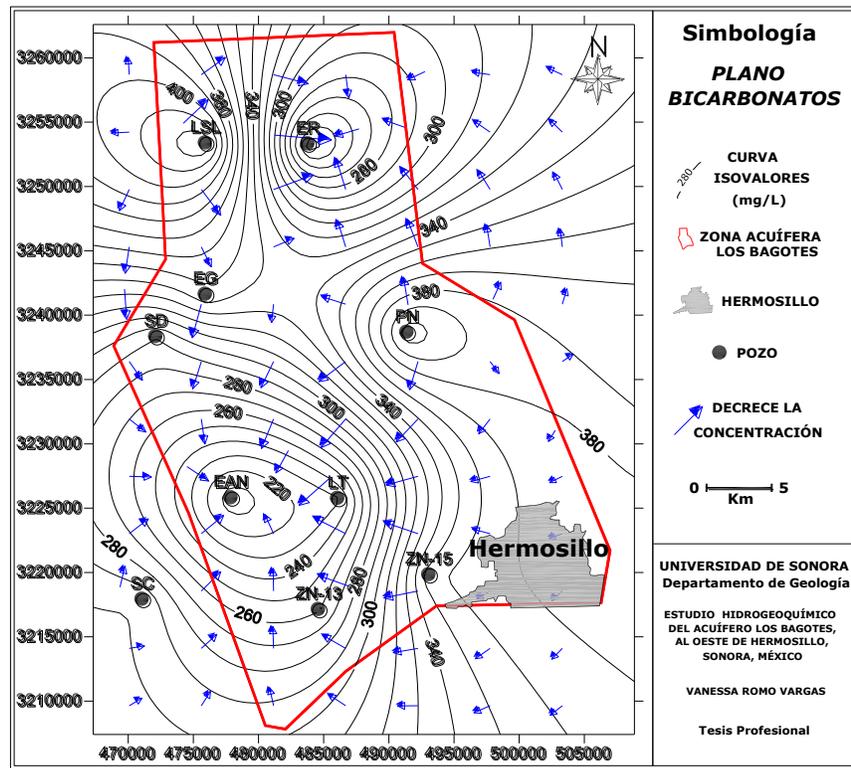
La sustitución de uno solo de los hidrógenos del ácido carbónico produce los bicarbonatos, que contienen el anión bicarbonato, HCO₃⁻. El más conocido y más útil es el bicarbonato de sodio (NaHCO₃) o bicarbonato de sosa.

Los análisis de bicarbonatos y carbonatos se efectuaron bajo la referencia NMX-AA-036-SCFI-2001 (Análisis de agua-Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales,

residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-036-1980). El valor **medio** de bicarbonatos encontrados en Los Bagotes fue de **305 mg/L**. La concentración **máxima de 429 mg/L** fue reportada en el **Rancho La Sierrita de López**, la **mínima de 203 mg/L** ocurrió en **El Agachado Nuevo** (Tabla 6.10, Figura 6.17).

No se encontraron carbonatos en ninguna de las muestras de agua subterránea, siendo el límite de cuantificación de 12 mg/L.

Figura 6.17. Mapa de isólinas de bicarbonatos (mg/L)



- **Sulfatos (SO_4^-)**

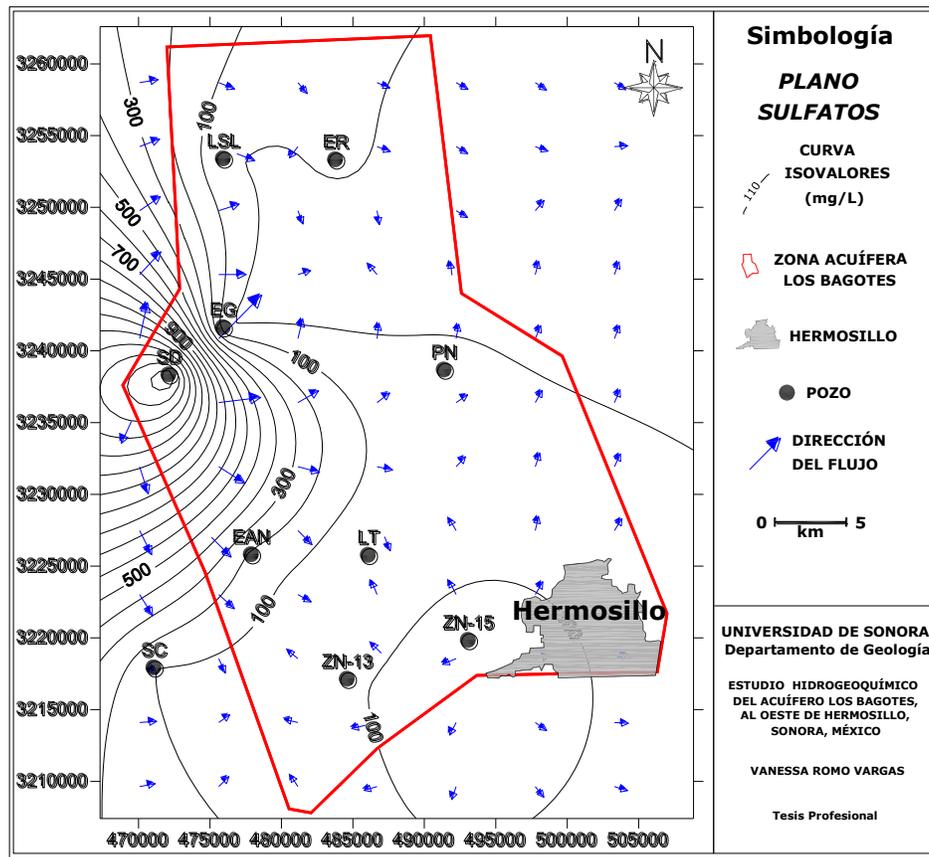
Proviene de la disolución de rocas y suelos que contienen yeso, fierro y compuestos sulfurosos. Comúnmente se presenta en aguas de drenaje de minas y en algunos desechos industriales. Concentraciones altas, actúan como laxante y en combinación con otros iones da al agua un sabor desagradable. En agua que contiene calcio, produce incrustación.

El azufre tiene valencias 2, 4 y 6, como presenta en los compuestos sulfuro de hierro (FeS), dióxido de azufre (SO_2) y sulfato de bario ($BaSO_4$), respectivamente. El dióxido de azufre se libera a la atmósfera en la combustión de combustibles fósiles, como

el petróleo y el carbón, siendo uno de los contaminantes más problemáticos del aire. La concentración de dióxido de azufre en el aire puede alcanzar desde 0,01 a varias partes por millón, y puede afectar al deterioro de edificios y monumentos. También es la causa de la lluvia ácida, así como de molestias y problemas para la salud del ser humano. El azufre también se encuentra combinado con otros elementos formando sulfatos como la baritina ($BaSO_4$), la celestina ($SrSO_4$) y el yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Las plantas superiores absorben sulfatos por las raíces, incorporándolos directamente en los compuestos orgánicos o manteniéndolo en forma libre como ion, interviniendo en la regulación osmótica celular.

Los análisis de sulfatos en las aguas subterráneas de Los Bagotes, fueron realizados tomando como referencia la norma mexicana: NMX-AA-074-1981 ("Análisis de agua-Determinación del ion sulfato"). Se obtuvo una **media de 232 mg/L** de sulfatos. El valor **máximo** se reportó en el **Rancho San Diego** siendo de **1,700 mg/L**, el valor **mínimo** ocurrió en el **pozo La Sierrita de López** y fue de **12 mg/L** (Tabla 6.10, Figura 6.18).

Figura 6.18. Mapa de isolíneas de sulfatos (mg/L)



De acuerdo a la NOM (1994), el límite máximo permisible es de 400 mg/L en agua para consumo humano, por lo que **el agua del Rancho San Diego queda fuera de la norma, estando los otros pozos dentro de ella.**

- **Cloruros (Cl)**

En su circulación por encima y a través de la corteza terrestre, el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio.

Las aguas de la superficie suelen contener también residuos domésticos e industriales. Las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos de nitrógeno y de cloruros, derivados de los desechos humanos y animales.

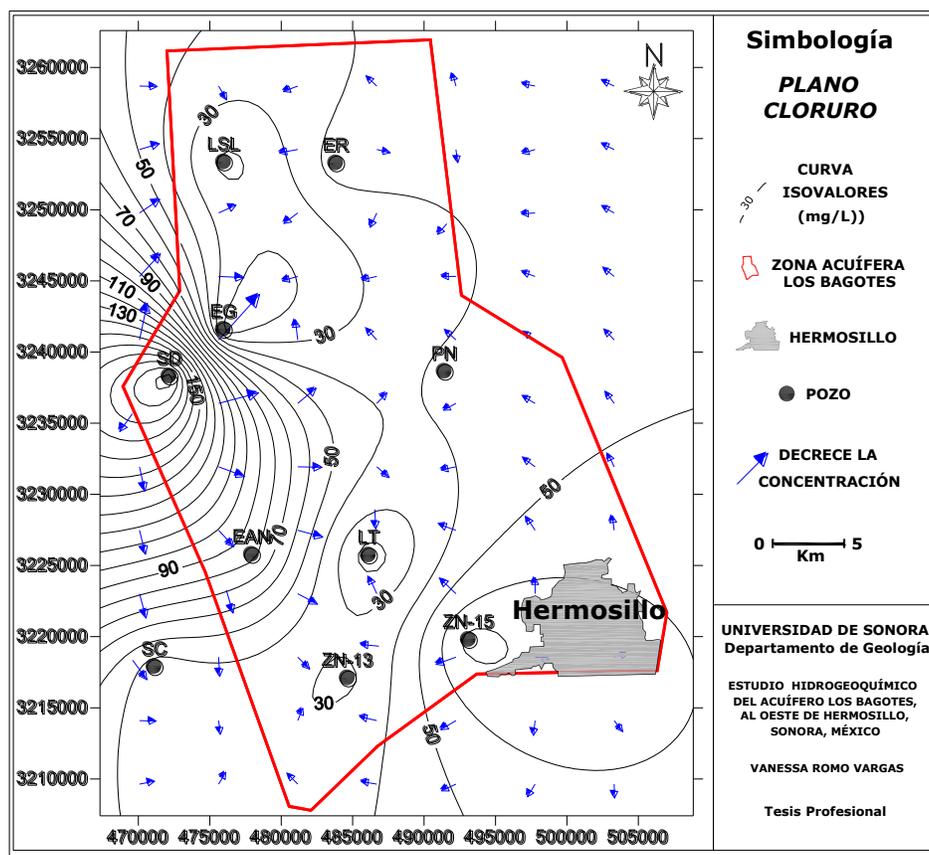
Los cloruros provienen de la disolución de rocas y suelos, en especial evaporitas; se presentan por contaminantes de desperdicios y desagües. Antiguas salmueras, agua de mar y salmueras industriales contienen grandes cantidades de este elemento.

Grandes concentraciones de este elemento, aumenta el poder corrosivo del agua y, en combinación con sodio, da un sabor salado.

Los cloruros se analizaron considerando la NMX-AA-073-SCFI-2001 (Análisis de agua-Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-073-1981). El valor **medio** de cloruros de las muestras de Los Bagotes, fue de **56 mg/L**. La **máxima concentración** fue de **208 mg/L** encontrada en **el Rancho San Diego**, el menor de **14 mg/L** se registró en el **Rancho Los Talayotes** (Tabla 6.10, Figura 6.19).

Todos los valores de cloruros de Los Bagotes se hallan dentro de la norma, cuyo límite máximo permisible se ha fijado en 250 mg/L.

Figura 6.19. Mapa de isóneas de cloruros (mg/L)



- **Nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-)**

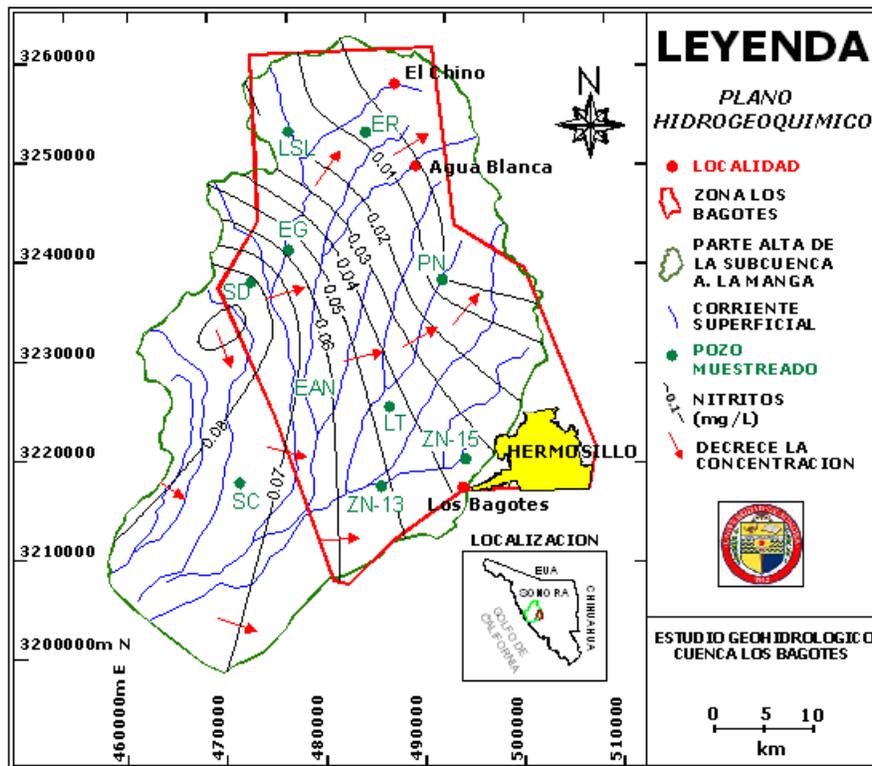
Se encuentran en el agua como NH_3 , NO_2 y NO_3 , dependiendo del grado de oxidación. Proviene de la disolución de rocas ígneas, suelos enriquecidos por legumbres y fertilizantes, establos y aguas de drenaje.

Concentraciones altas de nitrógeno, indican contaminación. Los nitratos aumentan el crecimiento de algas y otros organismos que producen olor y sabor desagradables. Concentraciones mayores a 45 ppm de nitratos, causan metahemoglobinemia en los niños.

Cuando las plantas y los animales mueren, los compuestos nitrogenados se descomponen produciendo amoníaco, un proceso llamado amonificación. Parte de este amoníaco es recuperado por las plantas; el resto se disuelve en el agua o permanece en el suelo, donde los microorganismos lo convierten en nitratos o nitritos en un proceso llamado nitrificación. Los nitratos pueden almacenarse en el humus en descomposición o desaparecer del suelo por lixiviación, siendo arrastrado a los arroyos y a los lagos. Otra posibilidad es convertirse en nitrógeno mediante la desnitrificación y volver a la atmósfera.

En el agua subterránea de Los Bagotes se analizaron nitritos (como N) bajo la referencia NMX-AA-099-SCFI-2006 (Análisis de agua-Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales-Métodos de prueba. Cancela a la NMX-AA-099-1987). Sólo en 4 pozos se encontraron nitritos (como N) y ninguno de ellos excede el LMP establecido por la norma de 1.0 mg/L. El valor medio de nitritos fue de 0.046 mg/L. El máximo valor hallado en el Rancho San Diego fue de 0.083 mg/L y el mínimo en el pozo del Rancho Piedras Negras, resultó de 0.005 mg/L (Tabla 6.10, Figura 6.20). El límite de cuantificación para nitritos fue de 0.005 mg/L.

Figura 6.20. Mapa de isólinas de nitritos (mg/L)

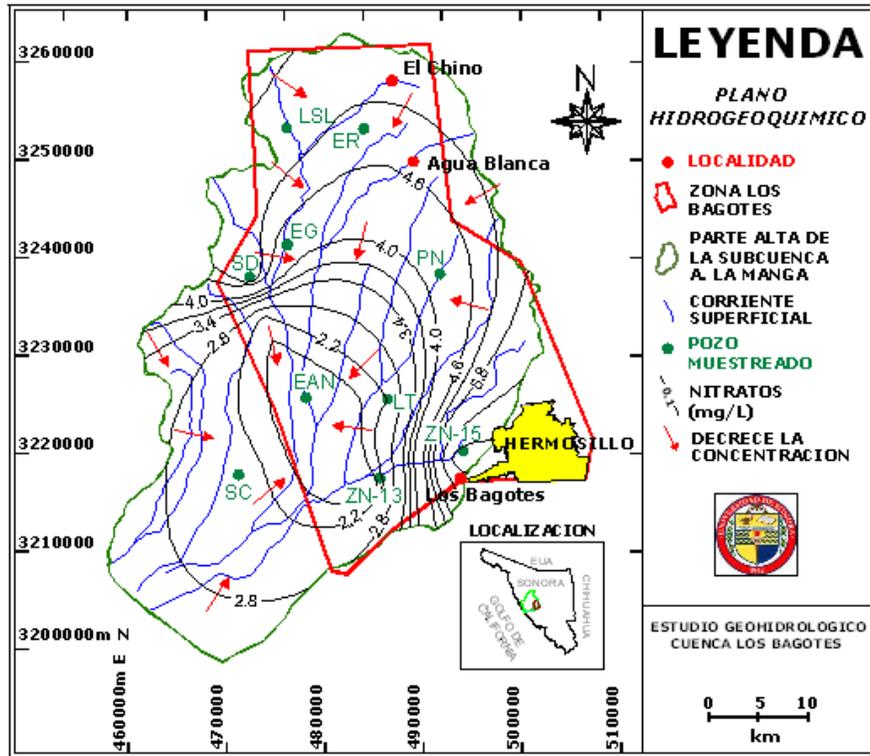


Las sales del ácido nítrico se denominan nitratos. El nitrato de potasio, o salitre, y el nitrato de sodio son los nitratos más importantes comercialmente. Casi todos los nitratos son solubles en agua. La reacción del ácido nítrico con compuestos orgánicos produce importantes nitratos, como la nitroglicerina y la nitrocelulosa. Los nitratos de calcio, sodio, potasio y amonio se emplean como fertilizantes que proporcionan nitrógeno para el crecimiento de las plantas.

Los nitratos (como N) se analizaron con referencia a la NMX-AA-082-1986 (Contaminación del agua - Determinación de nitrógeno de nitrato-Método espectrofotométrico ultravioleta). El promedio de los valores encontrados de Los Bagotes

fue de **3.871 mg/L**. El **máximo** valor registrado de **6.670 mg/L** se halló en un rancho vecino al pozo **ZN-15** y el **mínimo** de **1.680 mg/L** en el **pozo ZN-13** (Tabla 6.10, Figura 6.21). La norma marca 10.0 mg/L como límite máximo permisible, por lo **que todos los pozos cumplen con este valor**.

Figura 6.21. Mapa de isólinas de nitratos (mg/L)



- **Boro (B')**

Proviene de la disolución de suelos y rocas, en especial las de origen ígneo. El agua de zonas térmicas y especialmente aquéllas que se encuentran en áreas de actividad volcánica reciente, pueden contener altas concentraciones de boro. Puede deberse en ocasiones, a contaminación por desperdicios, especialmente donde se usan detergentes que contienen boratos. Cantidades pequeñas de este elemento, son esenciales para el crecimiento y nutrición de las plantas, pero es tóxico para la mayor parte de ellas cuando se encuentran en concentraciones mayores de 0.5 mg/L. Las investigaciones sugieren que además es importante nutricionalmente para los huesos en humanos y otros vertebrados.

En muchas regiones los usos más importantes del agua subterránea son la agricultura y la ganadería, por ello, es importante conocer el contenido de boro. Se

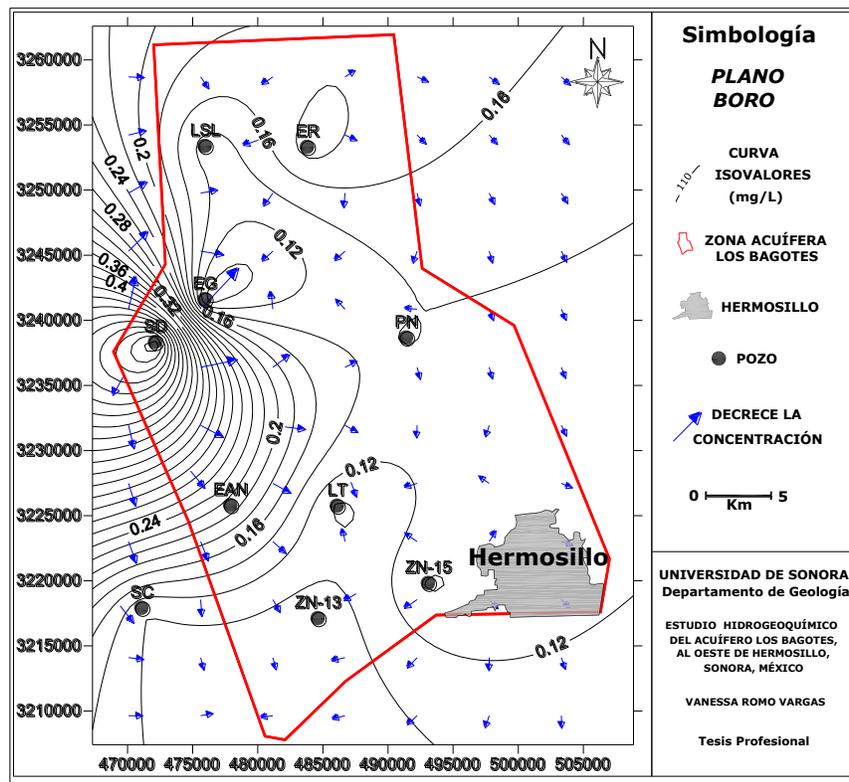
presentan los límites máximos permisibles de acuerdo a la OMS (2004), ya que la NOM (1994) no considera este elemento (Tabla 6.11).

Tabla 6.11. Límites permisibles de boro

ELEMENTO	NOM (1994)	OMS (2004)
Boro (mg/L)	-	0.5

El boro se analizó de acuerdo a la EPA 6010 B. El valor **promedio** de boro encontrado en las diez muestras de Los Bagotes fue de **0.179 mg/L**. El **valor máximo de 0.600 mg/L** se registró en el **Rancho San Diego**, el **valor mínimo de 0.088 mg/L** fue hallado en el pozo **ZN-13**. El único pozo que **excede el LMP** para boro según la OMS (2004) es el del **Rancho San Diego** (Tabla 6.10, Figura 6.22).

Figura 6.22. Mapa de isóvalores de boro (mg/L)



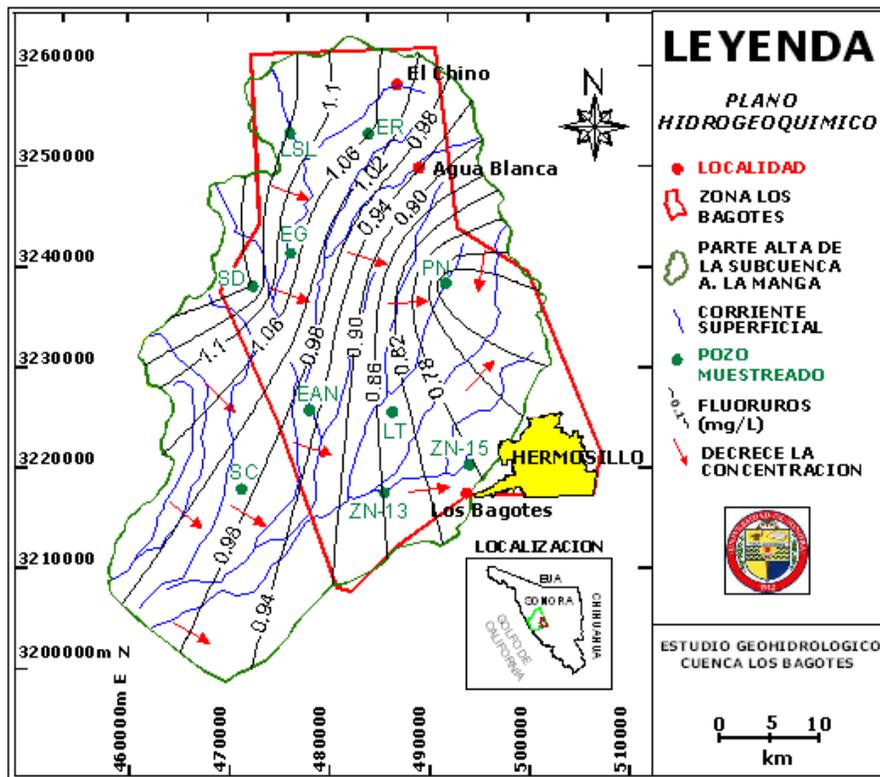
- **Fluoruros (F)**

Se encuentran diseminados en cantidades muy pequeñas, en casi todo tipo de rocas y suelos. Los fluoruros reducen la picadura de dientes (caries) en los niños durante la época de calcificación. Sin embargo, este elemento también produce el decaimiento de

la dentadura, el cual dependerá de la concentración de flúor, la edad del consumidor, la cantidad de agua que se consume y la susceptibilidad de cada individuo.

Los fluoruros son constituyentes naturales del agua subterránea en concentraciones que varían de 0.1 mg/L a valores mayores que 10-20 mg/L. El límite máximo permisible para agua potable según la NOM-127-SSA1-1994 es de 1.5 mg/L. Las concentraciones recomendadas de fluoruros para una óptima salud dental, es cerca de 1 mg/L, variando ligeramente dependiendo de la temperatura de la región.

Figura 6.23. Mapa de isolíneas de fluoruros (mg/L)



Los fluoruros se analizaron de acuerdo a la NMX-AA-077-SCFI-2001 (Análisis de aguas-Determinación de fluoruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Cancela a la NMX-AA-077-1982). El límite de detección fue de 0.60 mg/L. Sólo 3 muestras de las 10 tomadas en la zona de Los Bagotes reportan fluoruros, **y ninguna de ellas excede el límite máximo permisible, por lo que son aptas para todo uso.** La **media** de las concentraciones fue de **0.97 mg/L**, la **máxima de 1.14 mg/L** se presentó en el **Rancho San Diego** y la **mínima de 0.70 mg/L** ocurrió en el **Rancho Piedras Negras** (Tabla 6.10, Figura 6.23).

- **Fosfatos (PO_4^{3-})**

Los fosfatos pueden provenir del intemperismo de rocas ígneas y de la lixiviación de suelos que contienen desperdicios orgánicos, fertilizantes, detergentes y drenajes domésticos e industriales. Concentraciones mayores a las normales, indican contaminación por desechos.

Los fosfatos son importantes para el metabolismo de animales y plantas. Los huesos contienen fosfato de calcio, se le suministra al ganado, como suplemento alimenticio, y se emplea como ingrediente en fertilizantes para plantas.

En los últimos tiempos se ha incrementado la preocupación por los efectos medioambientales perjudiciales de los fosfatos contenidos en los detergentes domésticos, ya que contribuyen a la contaminación del agua porque son un medio nutriente para las algas, que si crecieran en exceso, dificultarían la vida acuática de lagos y ríos por la falta del oxígeno.

La contaminación por fosfatos también proviene de la ganadería (vacuna y porcina principalmente) y de las granjas avícolas. Estos contaminantes incluyen compuestos de fósforo y nitrógeno que proceden de los residuos animales, los cuales tienen un alto contenido de nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías.

El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, como fosfatos. El fósforo se analizó de acuerdo a la NMX-AA-029-SCFI-2001 (Análisis de aguas-Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-029-1981). En las muestras de agua subterránea de Los Bagotes **no se cuantificó fósforo** (Tabla 6.10), siendo el límite de detección de 0.5 mg/L.

Metales y metaloides

En el agua subterránea de la zona acuífera de Los Bagotes no se encontró: berilio, cadmio, cobalto, cobre, cromo total, mercurio, níquel, plata y plomo; pero si hay presencia de: aluminio, antimonio, arsénico, bario, estroncio, fierro, litio, manganeso, molibdeno, selenio, talio, vanadio y zinc (Tabla 6.12).

Tabla 6.12. Concentraciones de metales y metaloides

POZO	COORD UTM		Al	Sb	As	B	Ba	Sr	Fe
	X	Y	(mg/L)						
La Sierrita de López	476031	3253283	N.C.	0.036	N.C.	0.130	0.172	0.594	0.456
El Represo	483883	3253216	N.C.	0.019	N.C.	0.189	N.C.	0.258	N.C.
El Gameño	476021	3241523	N.C.	0.031	0.008	0.089	0.085	0.354	N.C.
San Diego	472216	3238233	N.C.	0.023	N.C.	0.600	N.C.	4.070	0.059
Piedras Negras	491487	3238571	N.C.	0.030	0.014	0.141	0.300	1.160	N.C.
Los Talayotes	486261	3225539	N.C.	N.C.	0.012	0.096	N.C.	0.387	0.037
El Agachado Nuevo	477989	3225703	0.169	0.010	0.008	0.209	0.073	1.230	1.530
San Carlos	471171	3217817	N.C.	0.016	N.C.	0.102	0.082	0.922	0.097
ZN-13	484759	3216826	N.C.	0.016	N.C.	0.088	0.116	0.534	0.011
ZN-15	493174	3219727	N.C.	0.016	N.C.	0.143	0.074	0.882	0.018

POZO	COORD UTM		Li	Mn	Mo	Se	Tl	V	Zn
	X	Y	(mg/L)						
La Sierrita de López	476031	3253283	0.043	N.C.	N.C.	0.063	N.C.	0.020	0.037
El Represo	483883	3253216	0.043	N.C.	N.C.	0.038	N.C.	0.013	0.041
El Gameño	476021	3241523	N.C.	N.C.	N.C.	0.052	N.C.	0.012	0.096
San Diego	472216	3238233	0.204	0.026	0.042	0.069	N.C.	N.C.	N.C.
Piedras Negras	491487	3238571	0.038	N.C.	N.C.	0.058	0.100	0.032	0.310
Los Talayotes	486261	3225539	0.036	N.C.	N.C.	0.018	N.C.	0.021	0.066
El Agachado Nuevo	477989	3225703	0.063	0.178	N.C.	0.017	N.C.	N.C.	0.083
San Carlos	471171	3217817	0.053	N.C.	N.C.	0.022	N.C.	N.C.	0.537
ZN-13	484759	3216826	0.030	N.C.	N.C.	0.020	N.C.	N.C.	N.C.
ZN-15	493174	3219727	0.048	N.C.	N.C.	0.025	N.C.	N.C.	0.036

N.C. = No cuantificable

Valor en rojo > LMP

Los análisis se realizaron de acuerdo a la EPA 6010 B y sus límites de detección fueron: Ag (0.0025 mg/L), Al (0.050 mg/L), As (0.005 mg/L), Ba (0.050 mg/L), Be (0.012 mg/L), Cd (0.0025 mg/L), Co (0.010 mg/L), Cr (0.005 mg/L), Cu (0.020 mg/L), Fe (0.010 mg/L), Li (0.012 mg/L), Mn (0.010 mg/L), Mo (0.050 mg/L), Ni (0.010 mg/L), Pb (0.010 mg/L), Sb (0.010 mg/L), Tl (0.10 mg/L), V (0.012 mg/L) y Zn (0.010 mg/L).

El análisis de mercurio se hizo de acuerdo a la NMX-AA-051-SCFI-2001 (Análisis de agua-Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Cancela a la NMX-AA-051-1981), siendo su límite de detección de 0.0003 mg/L. Las concentraciones se muestran en la Tabla 6.12.

Los límites máximos permisibles (LMP) para algunos metales se consignan en la Tabla 6.13 y fueron tomados de diferentes fuentes bibliográficas.

Tabla 6.13. Límites máximos permisibles para metales y metaloides para agua de consumo humano

PARAMETRO	NOM (1994)	EPA (2003)	OMS (2004)
Aluminio (mg/L)	0.20	0.05-0.20	0.20
Antimonio (mg/L)		0.006	0.02
Arsénico (mg/L)	0.025	0.0 0	0.01
Bario (mg/L)	0.70	2.00	0.70
Estroncio (mg/L)		10.00	
Fierro (mg/L)	0.30	0.30	0.5-50
Manganeso (mg/L)	0.15	0.05	0.40
Molibdeno (mg/L)			0.07
Selenio (mg/L)		0.05	0.01
Talio (mg/L)		0.002-0.0005	
Vanadio (mg/L)		Nada	
Zinc (mg/L)	5.00	5.00	

A continuación se hace una breve reseña de los metales y el daño que pueden causar a la salud humana, ganadería y agricultura.

- **Aluminio (Al)**

El aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre. Siempre se encuentra combinado con otros elementos tales como oxígeno, sílice y flúor. El aluminio metálico se obtiene de minerales que contienen aluminio. Se pueden encontrar pequeñas cantidades de aluminio disueltas en el agua. Se usa en envases de bebidas, ollas y sartenes, aviones, techos y cubiertas exteriores de viviendas y láminas de aluminio. A menudo se mezcla con pequeñas cantidades de otros metales para formar aleaciones, las cuales son más duras y resistentes.

El aluminio no puede ser destruido en el ambiente, solamente puede cambiar de forma. En el aire, el aluminio se adhiere a partículas pequeñas que pueden permanecer suspendidas muchos días. Puede disolverse en lagos, arroyos y ríos dependiendo de las características del agua. Puede ser incorporado desde el suelo por algunas plantas. El aluminio no se acumula de manera significativa en plantas o animales.

La exposición al aluminio generalmente no es perjudicial, pero la exposición a cantidades altas sí puede serla, en polvo pueden desarrollar problemas respiratorios, del sistema nervioso, enfermedades de los huesos, cerebro, Alzheimer, etc. No se sabe si el aluminio afecta la reproducción en seres humanos, pero no afecta la fertilidad en animales.

Solamente 1 muestra de Los Bagotes presentó aluminio y **no excede el LMP de 0.2 mg/L** que establece la NOM (1994) y la OMS (2004) (Tablas 6.12 y 6.13).

- **Antimonio (Sb)**

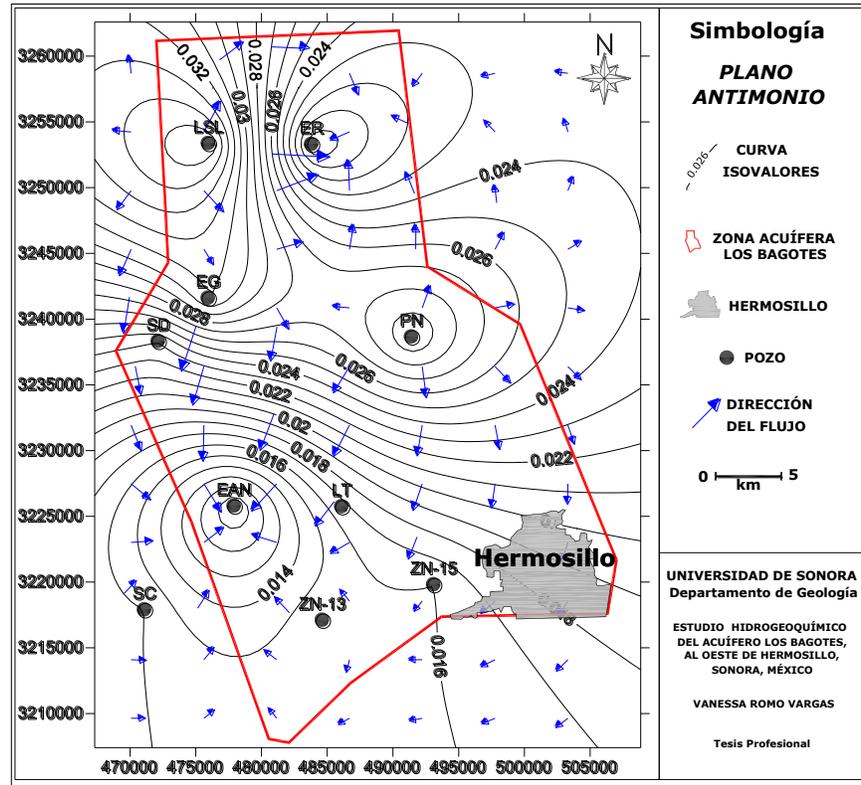
En Estados Unidos el antimonio se ha utilizado como un endurecedor para el plomo usado en la munición de pequeñas pistolas y escopetas. La contaminación del agua subterránea, del suelo, y de la cadena de alimento con el plomo tóxico ha preocupado por muchos años, y las regulaciones ambientales han conducido al reemplazo del plomo con antimonio, por una aleación de tungsteno.

El antimonio es liberado al ambiente desde fuentes naturales e industriales. Puede permanecer en el aire adherido a partículas muy pequeñas por muchos días, luego se deposita en el suelo, en donde se adhiere firmemente a partículas que contienen hierro, manganeso o aluminio. El aire que respiramos si contiene altos niveles de antimonio por períodos muy largos puede irritar los ojos y los pulmones y puede causar problemas respiratorios, del corazón, y del estómago.

En el aire urbano las principales fuentes de antimonio son las combustiones de combustibles fósiles en vehículos automotores, centrales eléctricas, y las incineradoras. El límite de exposición ocupacional es 0,5 mg de antimonio por m³ de aire por un día laborable de 8 h. El inventario tóxico de EE.UU. de la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) de 1993 a 2005, demostró que las plantas industriales de EE.UU. lanzaron más de 900 t/año Sb en todas las formas a la tierra y cerca de 25 t/año al agua subterránea.

El nivel máximo permitido del antimonio en agua potable según la OMS (2004) es de 0.02 mg/L y de acuerdo a la EPA (2003) es de 0.006 mg/L. En el área de Los Bagotes, 9 pozos presentaron Sb y **todos exceden el LMP de la EPA (2003) y 4 el de la OMS (2004)**, que corresponde al agua de los ranchos **La Sierrita de López, El Gameño, San Diego y Piedras Negras** (Tablas 6.12 y 6.13, Figura 6.24).

Figura 6.24. Mapa de isolíneas de antimonio (mg/L)



- **Arsénico (As)**

El arsénico puede ser encontrado en ciertos suelos de forma natural. Cuando el arsénico entra en contacto con el agua subterránea, puede terminar en el agua de nuestra llave. El As es un metaloide, es decir, tiene propiedades de metal y no metal. Puede ser tóxico, por eso es usado en venenos.

El arsénico puede terminar en el ambiente a través de la producción industrial de cobre, plomo y zinc, aplicación de insecticidas en granjas, preservación de las maderas, etc.

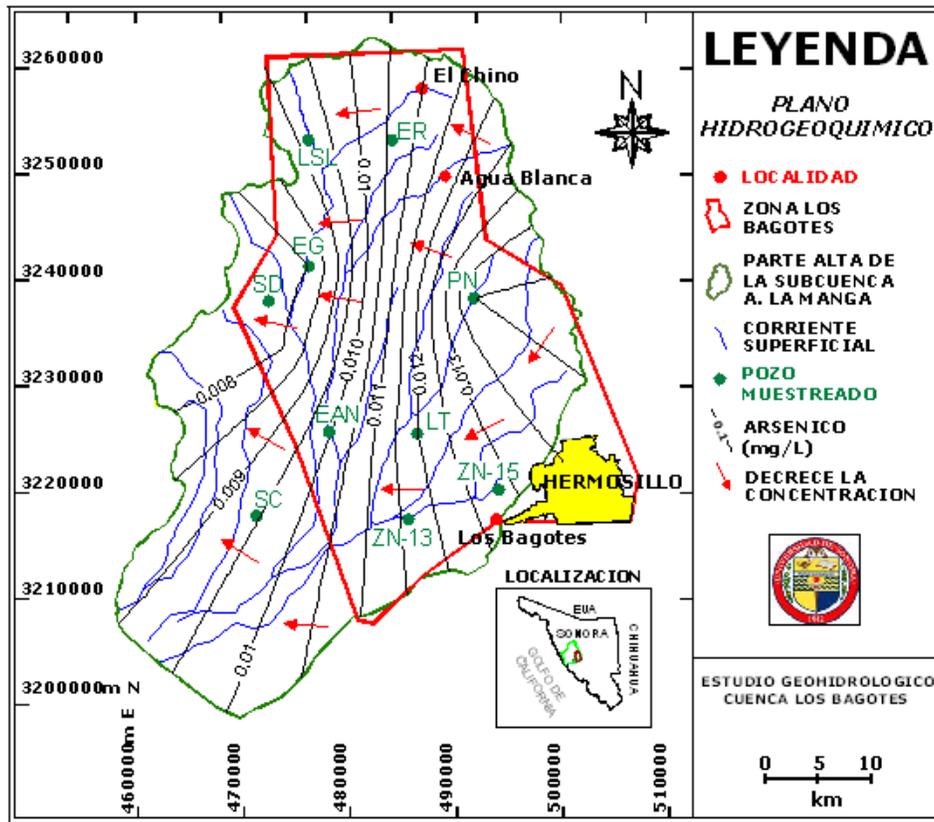
La toma de grandes cantidades por largo tiempo de agua potable que contiene arsénico, puede causar problemas ciertos cánceres (piel y pulmón). La purificación del agua con As es importante.

Aunque el arsénico puede encontrarse en las aguas superficiales, las aguas subterráneas son la principal fuente de arsénico en agua. Consecuentemente, concentraciones por encima de 10 ppb pueden ser encontradas en aguas subterráneas de forma natural.

El límite máximo permitido para arsénico en agua potable es de 0.025 mg/L (NOM,

1994). De las 4 muestras que registraron este elemento, **ninguna sobrepasa la norma** (Tablas 6.12 y 6.13, Figura 6.25).

Figura 6.25. Mapa de isólinas de arsénico (mg/L)



- **Bario (Ba)**

El bario es un metal plateado-blancuzco que puede ser encontrado en el medioambiente, donde existe de forma natural. Aparece combinado con otros elementos químicos, como el azufre, carbón u oxígeno.

Los compuestos de bario son usados por las industrias del aceite y gas para hacer lubricantes para taladros, pinturas, ladrillos, azulejos, vidrio y gomas.

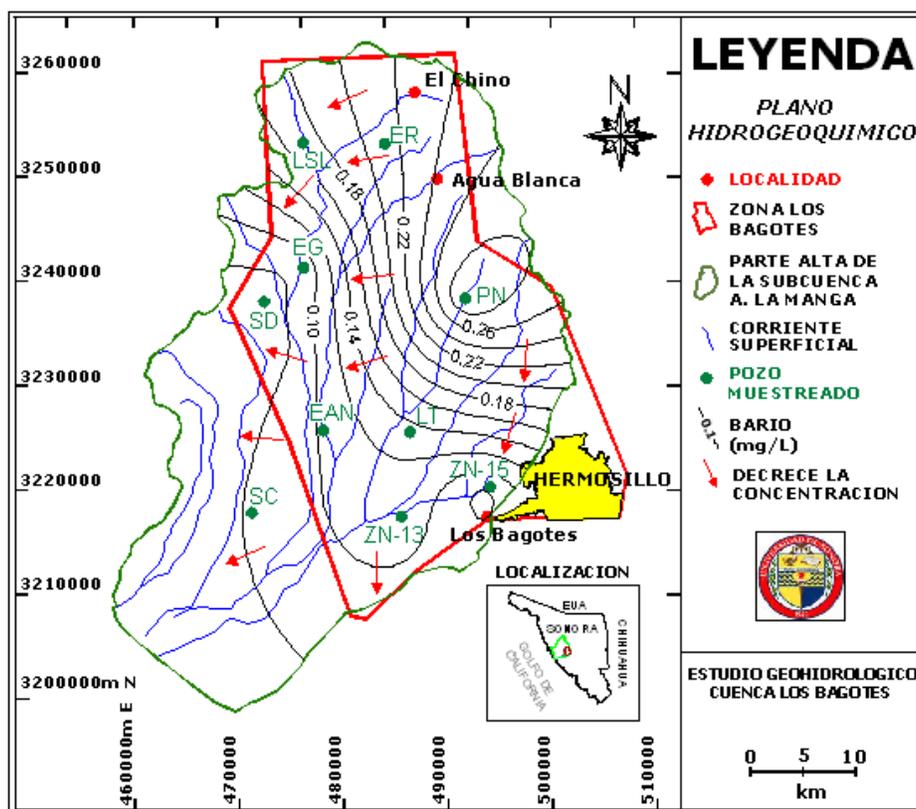
Debido al uso extensivo del bario en las industrias, ha sido liberado al ambiente en grandes cantidades y sus concentraciones en el aire, agua y suelo pueden ser mayores que las que ocurren de forma natural.

El Ba es liberado al aire por las minas, proceso de refinado, y la combustión de carbón y aceites. Algunos procesos industriales lo disuelven fácilmente en agua y es encontrado en lagos, ríos y arroyos. Estos compuestos pueden alcanzar largas distancias desde sus puntos de emisión. Cuando peces y otros organismos acuáticos lo absorben,

se acumula en sus cuerpos.

Siete muestras de Los Bagotes presentaron Ba, pero **ninguna excede el LMP de 0.7 mg/L** establecido por la NOM (1994) (Tablas 6.12 y 6.13, Figura 6.26).

Figura 6.26. Mapa de isolíneas de bario (mg/L)



- Estroncio (Sr)

Los compuestos del estroncio que son insolubles en agua pueden llegar a ser solubles en agua, y se constituyen en una amenaza para la salud de los humanos y pueden contaminar el agua. Afortunadamente las concentraciones en agua potable son a menudo bastante bajas.

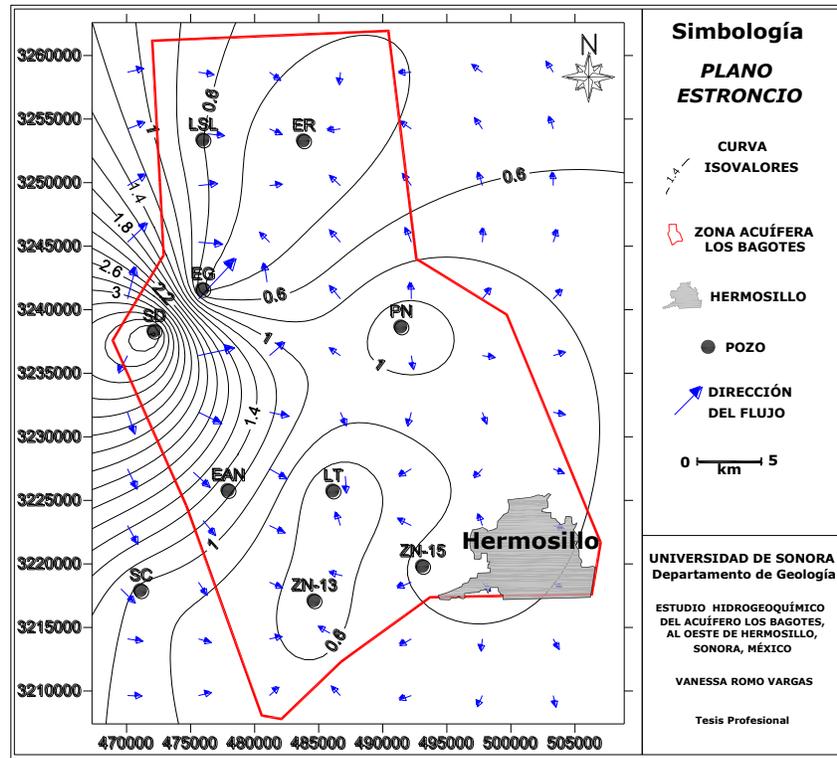
La gente puede estar expuesta a pequeños niveles de estroncio radiactivo por respirar aire o polvo, comer comida (cereales, vegetales de hojas y productos lácteos), beber agua, o por contacto con el suelo que contiene Sr.

El único compuesto del Sr peligroso para la salud humana (cáncer de pulmón), es el cromato de estroncio. Para los niños una toma excesiva puede ser un riesgo para la salud, debido a que puede causar problemas en el crecimiento de los huesos.

En Los Bagotes **todos los pozos presentaron este elemento, pero ninguno**

sobrepasa el LMP de 10.0 mg/L que establece la EPA (2003) (Tablas 6.12 y 6.13, Figura 6.27).

Figura 6.27. Mapa de isolíneas de estroncio (mg/L)



- **Fierro (Fe)**

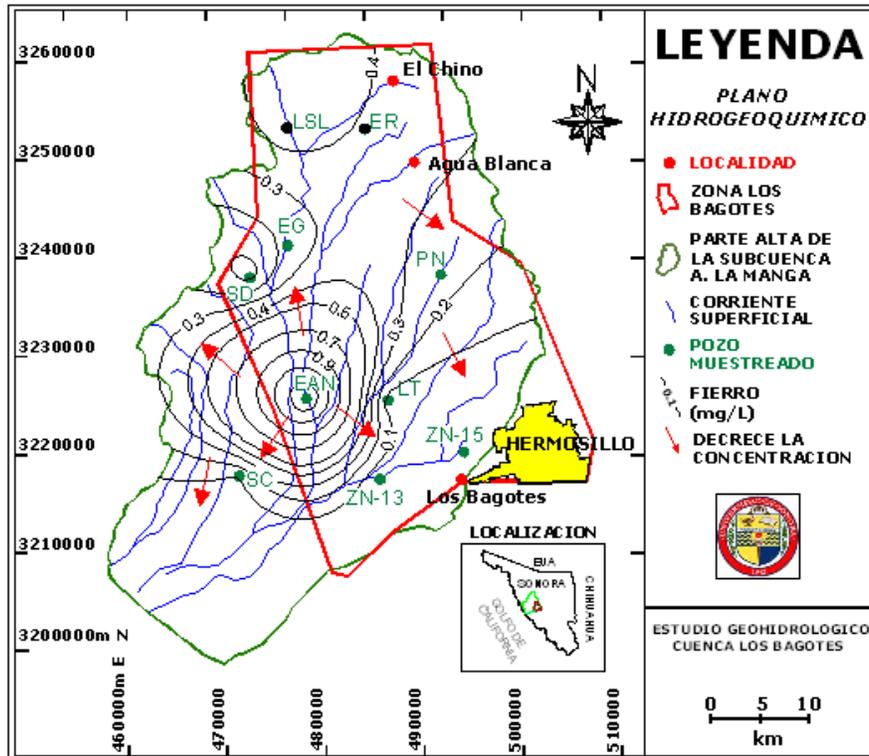
La presencia del hierro en el agua provoca precipitación y coloración no deseada. Existen técnicas de separación del hierro del agua. El uso más extenso del hierro (fierro) es para la obtención de aceros estructurales, hierro fundido, hierro forjado, fabricación de imanes, tintes (tintas, papel para heliográficas, pigmentos pulidores) y abrasivos, entre otros.

El Fe puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe Fe de animales más rápido que el Fe de las plantas. Es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos.

Puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en daño pulmonar y riesgo a desarrollar cáncer de pulmón.

El cuerpo puede llegar a tolerar cantidades un poco mayores a las establecidas como requisito, no es común su presencia en el agua. **El fierro se encontró en 7 pozos de Los Bagotes, pero sólo 2 exceden el límite máximo permitido** de 0.3 mg/L Fe establecido por la NOM (1994) para consumo humano (Tablas 6.12 y 6.13, Figura 6.28).

Figura 6.28. Mapa de isolíneas de fierro (mg/L)



- Litio (Li)

El litio es un elemento moderadamente abundante y está presente en la corteza terrestre en 65 partes por millón (ppm). Esto lo coloca por debajo del níquel, cobre y tungsteno y por encima del cerio y estaño, en lo referente a abundancia.

El agua de mar contiene aproximadamente 0.17 ppm de litio. Los ríos generalmente contienen 3 ppb, mientras que el agua mineral contiene 0.05 -1.0 mg/L Li. El litio puede aplicarse como trazador en flujos de agua.

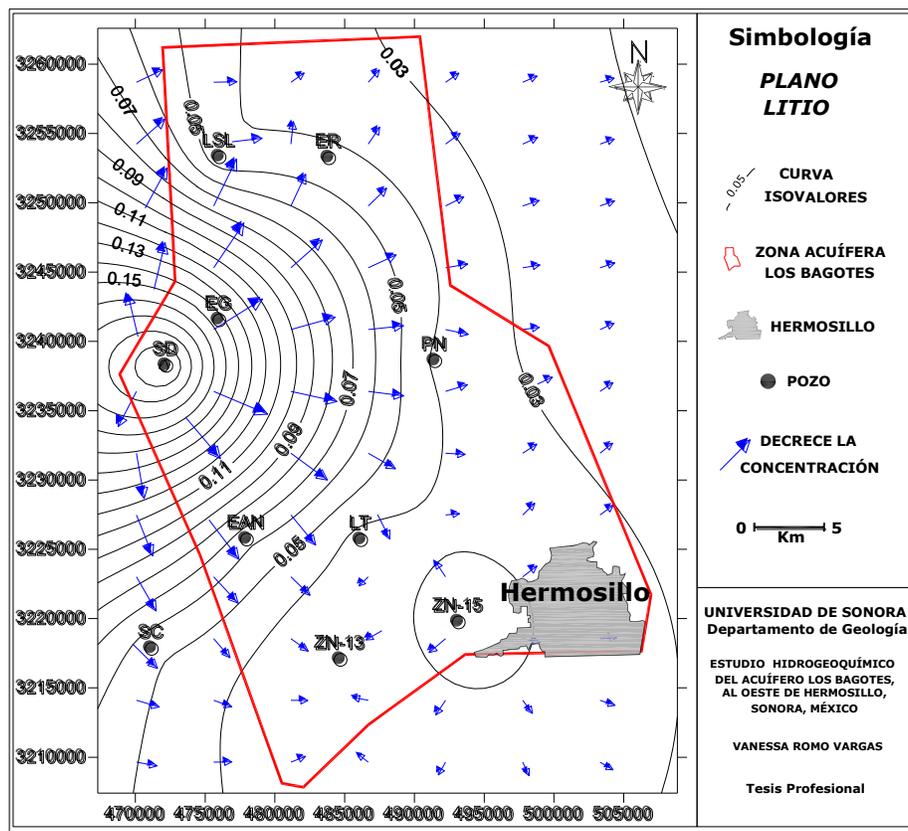
La cantidad de litio en las plantas es normalmente de entre 0.2 y 30 ppm, y en el cuerpo humano es de aproximadamente 7 mg.

El principal uso industrial del litio es en forma de estearato de litio como espesante para grasas lubricantes. También se utiliza para elaborar medicamentos psicotrónicos.

Otras aplicaciones importantes de compuestos de litio son en cerámica, de modo específico en la formulación de esmaltes para porcelana; como aditivo para alargar la vida y el rendimiento en acumuladores alcalinos y en soldadura autógena y soldadura para latón.

En ninguna de las referencias se encontró el límite máximo permisible para este elemento. Se cuantificó en **9 de las 10 muestras de Los Bagotes, con valores que varían de 0.03 a 0.204 mg/L** (Tablas 6.12 y 6.13, Figura 6.29).

Figura 6.29. Mapa de isóvalores de litio (mg/L)



- **Manganeso (Mn)**

La toma de Mn por los humanos mayormente tiene lugar a través de la comida (espinacas, te, hierbas, granos, arroz, soya, huevos, frutos secos, aceite de oliva, judías verdes, ostras). Cuando entra al cuerpo, el Mn es transportado a través de la sangre al hígado, los riñones, el páncreas y las glándulas endocrinas.

La comida generalmente cubre las necesidades de Mn en el cuerpo, de 2-3 mg. Una concentración excesiva en el agua no es necesariamente dañina, sin embargo

origina los mismos problemas como el hierro (desagradable sabor y color).

Los humanos aumentan las concentraciones de Manganeso en el aire por las actividades industriales y a través de la quema de productos fósiles. El Mn que deriva de las fuentes humanas puede también entrar en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. El Mn también entra al suelo a través de la aplicación de pesticidas.

El LMP para manganeso en agua potable de acuerdo a la NOM (1994) es de 0.15 mg/L. Solamente 2 pozos de Los Bagotes presentaron manganeso y de ellos, sólo el del **Rancho El Agachado Nuevo excede el LMP** (Tablas 6.12 y 6.13).

- **Molibdeno (Mo)**

Basado en experimentación animal, el molibdeno y sus compuestos son altamente tóxicos. Se ha informado de alguna evidencia de disfunción hepática con hiperbilirubinemia en trabajadores crónicamente expuestos a una planta soviética de molibdeno y cobre. Además, se han encontrado signos de gota en trabajadores de fábricas y entre los habitantes de zonas de Armenia ricas en molibdeno. Las características principales fueron dolores de la articulación de las rodillas, manos, pies, deformidades en las articulaciones, eritemas, y edema de las zonas de articulación.

No se han documentado efectos negativos del molibdeno sobre el medio ambiente.

Según la OMS (2004) el molibdeno contenido en el agua potable no debe exceder 0.07 mg/L. **Sólo 1 pozo de Los Bagotes, el del Rancho San Diego, presentó Mo y no excede el LMP** (Tablas 6.12 y 6.13).

- **Selenio (Se)**

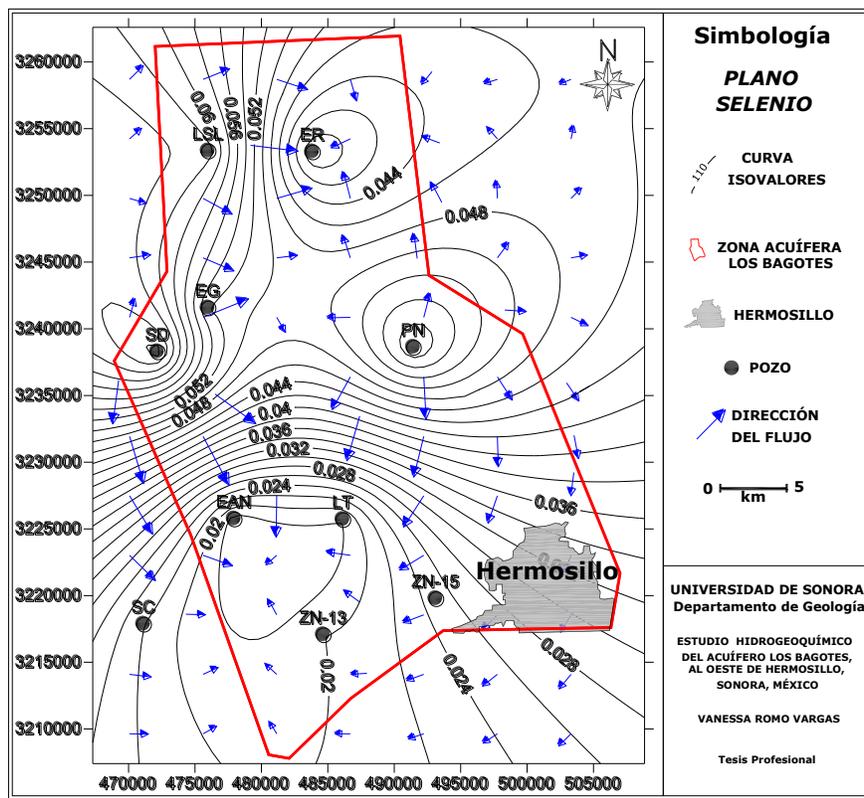
El selenio se presenta naturalmente en el medio ambiente. Es liberado tanto a través de procesos naturales como por actividades humanas. En su forma natural, no puede ser creado ni destruido, pero puede cambiar de forma.

Bajos niveles de Se pueden terminar en suelos o agua a través de la erosión de las rocas, es tomado por las plantas o acabará en el aire. Las sustancias en el aire que contienen Se son normalmente descompuestas en selenio y agua bastante deprisa, de forma que no son peligrosas para la salud de los organismos. Los niveles en el suelo y agua aumentan, porque el selenio sedimenta del aire y el selenio de los residuos también tiende a acabar en los suelos de los vertederos.

El límite máximo de selenio en agua potable es de 0.05 mg/L (EPA, 2003) y de 0.01 (OMS, 2004). Todos los pozos de Los Bagotes presentaron este elemento, pero sólo

4 exceden el LMP establecido por la EPA y todos sobrepasan el de la OMS, por lo que el agua podría estar restringida para ciertos usos (Tablas 6.12 y 6.13, Figura 6.30).

Figura 6.30. Mapa de isólinas de selenio (mg/L)



- Talio (TI)

El Talio es soluble en agua en parte y consecuentemente este puede esparcirse en el agua subterránea cuando los suelos contienen grandes cantidades de este. El Talio también puede esparcirse por la absorción del lodo. Hay indicadores de que el TI es muy móvil en los suelos.

El Talio es muy tóxico para las ratas y es aplicado como raticida por esta cualidad. El Talio también tiene efectos negativos sobre las plantas, como el cambio de color en las hojas y la disminución del crecimiento. Mamíferos, como los conejos, son susceptibles a los efectos tóxicos del TI, así como los humanos.

Cuando los humanos sobreviven al envenenamiento por Talio a menudo las consecuencias son la perturbación del sistema nervioso, así como son temblores, parálisis y cambios en el comportamiento que permanecerán para siempre.

En niños no nacidos, el envenenamiento por TI puede causar desórdenes

congénitos. Debido a la acumulación de este elemento en los cuerpos de los humanos, se pueden presentar efectos crónicos, como el cansancio, dolores de cabeza, depresiones, pérdida del apetito, dolor de piernas, pérdida del pelo y problemas en la vista. Otros efectos que pueden estar relacionados con el envenenamiento por TI a través de la comida, son dolores nerviosos y en las articulaciones.

En las muestras de Los Bagotes, **sólo el pozo del Rancho Piedras Negras presentó 0.01 mg/L de TI**. De acuerdo a la EPA (2003) el LMP de TI deberá estar entre 0.002 y 0.0005 mg/L por lo que dicha concentración **excede este límite** (Tablas 6.12 y 6.13).

- **Vanadio (V)**

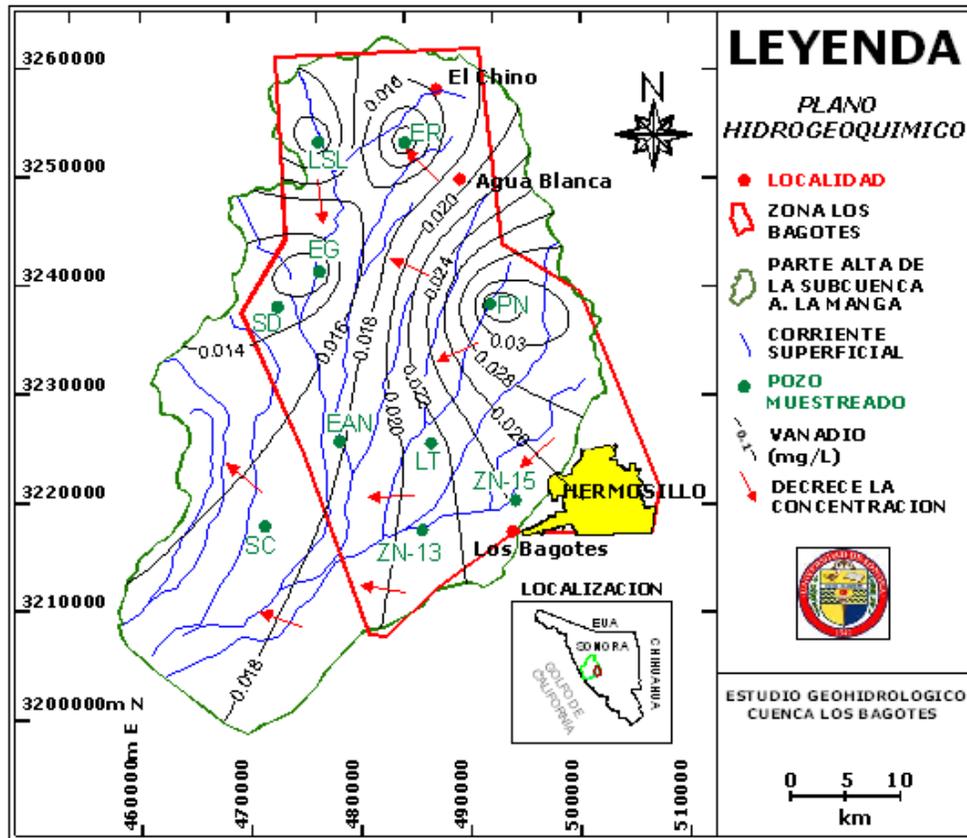
La mayor acumulación de V en los seres humanos tiene lugar a través de las comidas, como es, trigo, semilla de soja, aceite de oliva, aceite de girasol, manzanas y huevos. Puede tener efectos negativos sobre la salud humana, cuando la toma es muy alta. Cuando el Vanadio es acumulado a través del aire, puede causar bronquitis y neumonía.

El V puede ser encontrado en el ambiente, en algas, plantas, invertebrados, peces y muchas otras especies. Causa la inhibición de ciertas enzimas de animales, lo cual tiene varios efectos neurológicos. Próximo a los efectos neurológicos, el V puede causar desórdenes respiratorios, parálisis y efectos negativos en el hígado y los riñones.

Las pruebas de laboratorio en animales, han mostrado que el Vanadio puede causar daño en el sistema reproductivo de animales machos, y puede causar alteraciones del ADN en algunos casos, pero no produce cáncer en animales.

5 pozos de Los Bagotes reportan vanadio, en rangos que van de 0.012 a 0.032 mg/L. Según la EPA (2003), el agua potable no debería tener nada de vanadio, **por lo que todos los pozos que contienen este elemento, exceden este límite** (Tablas 6.12 y 6.13, Figura 6.31).

Figura 6.31. Mapa de isólinas de vanadio (mg/L)



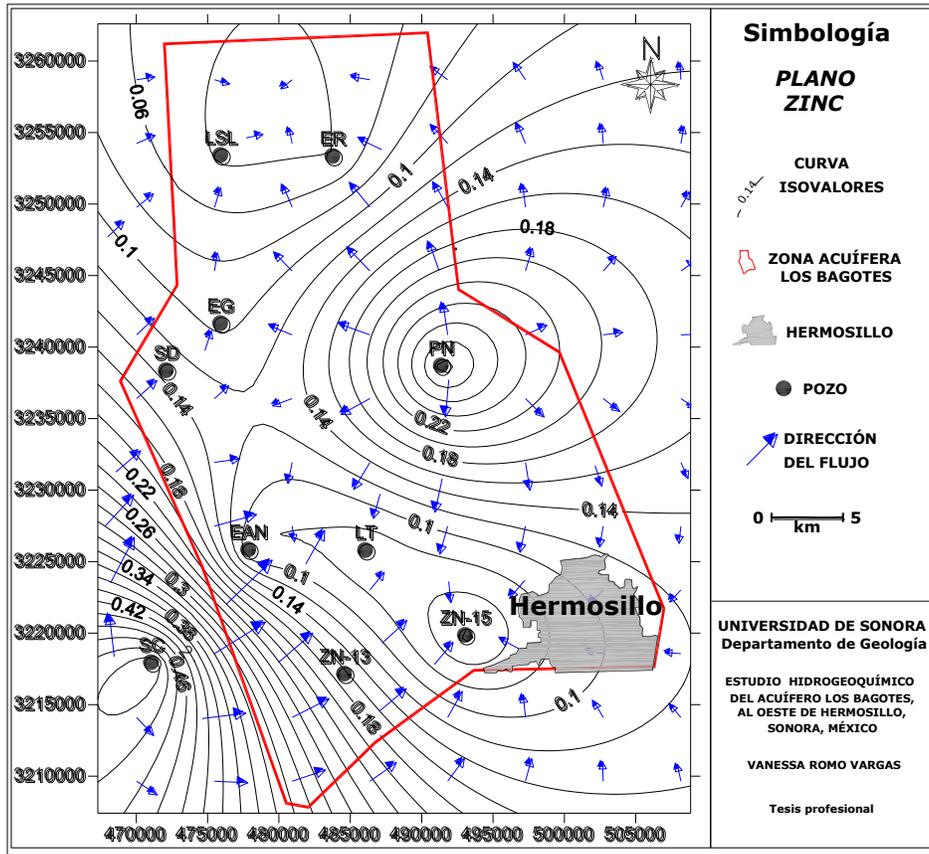
- **Zinc (Zn)**

El Zn se presenta de forma natural en el agua, la media presente en el agua de mar es de 0.6-5 ppb, los ríos contienen generalmente entre 5 y 10 ppb, las algas, entre 20 y 700 ppm, los peces de mar y las conchas de 3 a 25 ppm, las ostras de 100 a 900 ppm y las langostas de 7-50 ppm. La Organización Mundial para la Salud, estableció 5.0 mg/L como límite legal. Los minerales del Zn más significativos son la esfalerita (ZnS) y smithsonita (ZnCO₃). Estos compuestos van a parar al agua cuando existen minerales cercanos de este tipo. Las aguas residuales industriales que contienen Zn, vienen de procesos de la industria galvánica, producción de pilas, etc.

Los compuestos del Zn se usan en la producción de pergamino, pinturas y catalizadores, fertilizantes, y como estimulante de crecimiento en ganadería. La mayor parte del zinc presente en las aguas residuales no procede de fuentes puntuales, sino de aguas superficiales ricas en Zn.

El zinc se halló en **8 muestras de Los Bagotes, pero ninguna excede el límite máximo permitido** de la NOM (1994) de 5.0 mg/L As para agua potable (Tablas 6.12 y 6.13, Figura 6.32).

Figura 6.32. Mapa de isólinas de zinc (mg/L)



Coloides

Los coloides son las partículas de muy bajo diámetro que son responsables de la turbidez o del color del agua superficial. Debido a su muy baja sedimentación la mejor manera de eliminarlos es por los procesos de coagulación-floculación. El objetivo de la coagulación es desestabilizar la carga electrostática para promover que los coloides se agrupen.

El diámetro de los coloides está comprendido entre 1 μm y 1 nm. La proporción superficie/volumen da muy buenas características de adsorción de los coloides para los iones libres.

Este fenómeno de la adsorción del ion implica la presencia de la carga electrónica en su superficie que da lugar a algunas fuerzas de repulsión. Este es el por qué los coloides son tan estables en la solución.

Hay diversos orígenes de los coloides: disolución mineral de las sustancias, erosión, descomposición de la materia orgánica, residuos de granjas y aguas residuales. Los coloides pueden ser hidrofóbicos (origen orgánico) e hidrofílicos (origen mineral). Entre estos últimos se encuentra el sílice.

Para quitar los coloides del agua la mejor solución es realizar como primer paso una coagulación de las partículas con un agente coagulante. El objetivo de este paso es desestabilizar la carga electrostática coloidal para promover la reunión y su aglomeración futura durante el paso de la floculación.

- **Sílice (Si)**

El Si es el segundo elemento más abundante del planeta y se encuentra en la mayoría de las aguas. Es el constituyente común de las rocas ígneas, el cuarzo y la arena. El sílice existe normalmente como óxido (como SiO_2 en la arena y como silicato SiO_3^-). Puede estar en forma insoluble, soluble y coloidal.

Muchas aguas naturales contienen menos de 10 mg/L de sílice, aunque algunas pueden llegar a contener hasta 80 mg/L. Las aguas volcánicas lo contienen en abundancia. Es importante conocer el contenido de sílice en aguas de uso industrial y aguas de desecho. Se puede eliminar del agua por intercambio iónico, destilación, tratamientos con cal, carbonato y magnesio. En ocasiones es usado para formar capas protectoras internas en las tuberías para inhibir la corrosión.

El Si elemental es un material inerte, que parece carecer de la propiedad de causar fibrosis en el tejido pulmonar, aunque se han documentado lesiones pulmonares leves en animales de laboratorio. Puede tener efectos crónicos en la respiración, piel, ojos por contacto, pulmones y membrana mucosa.

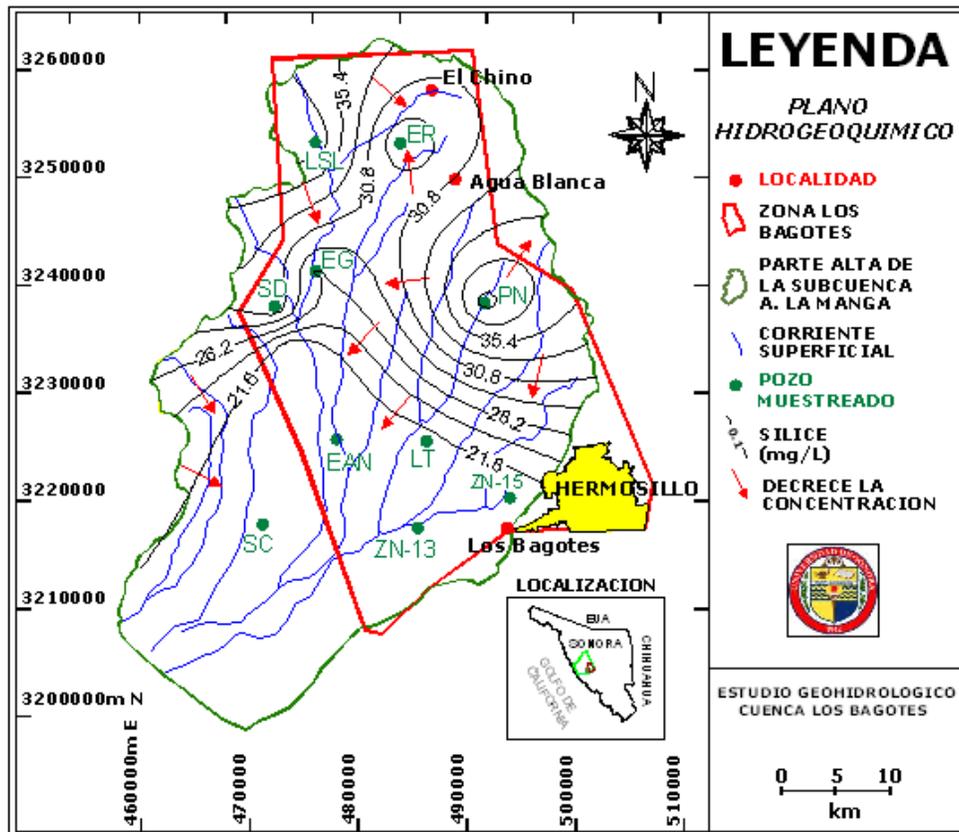
El cáncer de pulmón se asocia con exposiciones a Si cristalino (cuarzo y cristobalita) en lugares de trabajo (mineros, tierra de diatomeas, etc). Afecta el sistema inmunitario, en infecciones mico bacterianas (tuberculosas y no tuberculosas) o fúngicas. La exposición ocupacional al silicio cristalino respirable está asociada con bronquitis, enfermedad crónica de obstrucción pulmonar (COPD) y enfisema. Algunos estudios epidemiológicos sugieren que estos efectos sobre la salud pueden ser menos frecuentes o ausentes en los no fumadores. No se ha informado de efectos negativos del silicio sobre el medio ambiente.

Tabla 6.14. Concentraciones de sílice en el agua de Los Bagotes

POZO	COORD UTM		SÍLICE (mg/L)
	X	Y	
La Sierrita de López	476031	3253283	39.6
El Represo	483883	3253216	26.3
El Gameño	476021	3241523	26.0
San Diego	472216	3238233	33.1
Piedras Negras	491487	3238571	40.9
Los Talayotes	486261	3225539	20.5
El Agachado Nuevo	477989	3225703	18.1
San Carlos	471171	3217817	20.0
ZN-13	484759	3216826	18.6
ZN-15	493174	3219727	18.3

El valor **medio** encontrado en los análisis del agua subterránea de Los Bagotes fue de **26.1 mg/L**, el valor **máximo** de **41.0 mg/L**, se registró en el pozo **Piedras Negras** y el **mínimo** de **18.1 mg/L**, en el Rancho El Agachado Nuevo (Tabla 6.14, Figura 6.33).

Figura 6.33. Mapa de isolíneas de sílice (mg/L)



Plaguicidas

El hombre ha descubierto productos químicos llamados **plaguicidas** para controlar o eliminar plagas que causan enfermedades que interfieren con la producción agrícola. Entre los que se encuentran los **insecticidas** (combaten insectos), los **fungicidas** (hongos), los **herbicidas** (plantas consideradas nocivas), los **rodenticidas** (contra roedores), los **nematocidas** (contra gusanos) y los **moluscidas** (contra caracoles). Se calcula que actualmente se usan más de 3,500 plaguicidas orgánicos, todos ellos pueden contaminar el agua.

La contaminación del agua por plaguicidas se produce al ser arrastrados por el agua de los campos de cultivo hasta los ríos y mares donde se introducen en las cadenas alimenticias provocando la muerte de varias formas de vida necesarias en el balance de algunos ecosistemas.

Estos compuestos químicos han provocado la muerte de peces tanto en agua dulce como salada, también se acumulan en los tejidos de algunos peces los que a su vez ponen en peligro la vida de sus consumidores.

En 1924 se empezaron a consumir los compuestos bifenilos policlorados, derivados de los hidrocarburos conocidos como PBC, que al igual que el DDT [2,2-(4,4 - Dicloro-Difenil)-1,1,1-Tricloroetano], son solubles y acumulables en los tejidos grasos, son más tóxicos para los mariscos que para los peces y aves, son una fuente potencial de agentes teratogénicos. El efecto fisiológico más conocido es la estimulación de las enzimas que descomponen las hormonas sexuales, lesiones hepáticas, náuseas, vómito, pérdida de peso, edema y dolor abdominal.

En la zona de Los Bagotes se analizaron los plaguicidas que contempla la Norma Oficial Mexicana (1994), de acuerdo a la EPA-8270 C; sus resultados, límites de cuantificación y LMP se observan en la Tabla 6.15. Afortunadamente, **ninguna de las 10 muestras colectadas en Los Bagotes, presentó plaguicidas.**

Tabla 6.15. Plaguicidas analizados en Los Bagotes

PARÁMETRO	RESULTADOS (µg/L)	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (µg/L)	NOM (1994)	OMS (2004)
Aldrín	N.C.	0.03	0.03	0.03
Dieldrín	N.C.	0.03	0.03	0.03
Clordano (total de isómeros)	N.C.	0.10	0.20	0.20
DDT (total de isómeros)	N.C.	1.00	1.00	2.00
Gamma-HCH (lindano)	N.C.	1.00	2.00	2.00
Hexaclorobenceno	N.C.	1.00	1.00	1.00
Heptacloro	N.C.	0.05	0.03	0.03
Epóxido de heptacloro	N.C.	0.05	0.03	0.03
Metoxicloro	N.C.	20.00	20.00	20.00
2,4 - D	N.C.	1.00	30.00	30.00

N.C. = no cuantificado; µg/L = microgramo por litro

6.3. Clasificación del agua por familias

La calidad del agua para uso potable, se determinó según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Modificada en 2000 (NOM, 1994) y las normas internacionales de la Environmental Protection Agency (EPA, 2003) y Organización Mundial de la Salud (OMS, 2004).

Las muestras de Los Bagotes que exceden los límites máximos permisibles se pueden observar en las Tablas 6.16, 6.17 y 6.18. En la Tabla 6.5 se nota que **la mayoría de los pozos presenta coliformes totales y/o fecales**, posiblemente producto de actividades ganaderas.

Tabla 6.16. Agentes biológicos nocivos a la salud (NOM, 1994)

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE	MUESTRAS FUERA DE NORMA
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables	LSL, EG, SD, PN, LT, EAN, ZN-15*
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables	LSL, SD, PN, EAN

*Muestra tomada a 50 m del pozo ZN-15

Es importante señalar que debido a que fue imposible coleccionar la muestra de agua subterránea directamente del pozo profundo ZN-15, se tomó de una manguera que descarga agua a una pila en un rancho aledaño, ubicado aproximadamente a 50 m del pozo mencionado. Posiblemente por esta razón, se reportan coliformes totales en este pozo (Tabla 6.16).

Las aguas muestreadas resultaron sin turbiedad. Sólo el pozo El Agachado Nuevo presentó turbiedad arriba de la norma (Tabla 6.17).

Tabla 6.17. Límites permisibles de características físicas y organolépticas (NOM, 1994)

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE	MUESTRAS FUERA DE NORMA
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método	EAN

En la Tabla 6.18 se muestran los límites máximos permisibles para las características químicas de las aguas de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana publicada en 1994, así como las muestras de Los Bagotes que están fuera de la norma. Sólo el pozo **San Diego** resultó contaminado con sodio, sólidos totales disueltos y sulfatos.

Tabla 6.18. Límites permisibles de características químicas (NOM, 1994)

CARACTERÍSTICA	LMP (mg/L)	MUESTRAS FUERA DE NORMA
Cadmio	0.005	NINGUNA
Cloruros (como Cl ⁻)	250.000	NINGUNA
Cobre	2.000	NINGUNA
Cromo total	0.050	NINGUNA
Dureza total (como CaCO ₃)	500.000	NINGUNA
Fluoruros (como F ⁻)	1.500	NINGUNA
Mercurio	0.001	NINGUNA
Nitratos (como N)	10.000	NINGUNA
Nitritos (como N)	1.000	NINGUNA
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5	NINGUNA
Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.030	NINGUNA
Clordano (total de isómeros)	0.200	NINGUNA
DDT (total de isómeros)	1.000	NINGUNA
Gamma-HCH (lindano)	2.000	NINGUNA
Hexaclorobenceno	1.000	NINGUNA
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.030	NINGUNA
Metoxicloro	20.000	NINGUNA
2,4 - D	30.000	NINGUNA
Plomo	0.010	NINGUNA
Sodio	200.000	SD
Sólidos disueltos totales	1000.000	SD
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400.000	SD

En la Tabla 6.19 se observan diversas normas nacionales e internacionales para metales y metaloides para agua de consumo humano, así como los pozos que exceden dichos límites o normas. En dicha tabla se puede observar que el pozo **San Diego** presenta contaminación de varios elementos, como: sodio, sólidos totales disueltos, sulfatos, antimonio, molibdeno y selenio. El pozo del Rancho **El Agachado Nuevo**,

también excede los límites máximos permisibles en cuanto a hierro, manganeso, nitritos y selenio. Estos pozos son cercanos entre sí y se ubican en la porción occidental de la zona acuífera de Los Bagotes.

Tabla 6.19. Diversas normas nacionales e internacionales para metales y metaloides para agua de consumo humano

PARÁMETRO	NOM (1994)	EPA (2003)	OMS (2004)	MUESTRAS FUERA DE NORMA
Aluminio	0.20	0.05-0.20	0.20	NINGUNA
Antimonio		0.006	0.02	LSL, ER, EG, SD, PN, EAN, SC, ZN-13, ZN-15
Arsénico	0.025	0.0 0	0.01	NINGUNA
Bario	0.70	2.00	0.70	NINGUNA
Estroncio		10.00		NINGUNA
Fierro	0.30	0.30	0.5-50	LSL, EAN
Manganeso	0.15	0.05	0.40	EAN
Molibdeno			0.07	NINGUNA
Selenio		0.05	0.01	LSL, ER, EG, SD, PN, LT, EAN, SC, ZN-13, ZN-15
Talio		0.002-0.0005		NINGUNA
Vanadio		Nada		NINGUNA
Zinc	5.00	5.00		NINGUNA

Como parte última del capítulo de Hidrogeoquímica y con el fin de hacer más fácil de visualizar la composición y concentración de las aguas, se determinaron los grupos, familias y características geoquímicas, utilizando los diagramas de Stiff, Piper y Wilcox para la totalidad de las muestras. A continuación se describen los diagramas y se muestran los resultados.

6.3.1. Polígonos de Stiff

Los polígonos de Stiff se forman con la concentración de los iones, en miliequivalentes por litro (meq/L), sobre líneas paralelas, ubicando los cationes a la izquierda y los aniones a la derecha. El orden de los iones, se anota de acuerdo a su grado de solubilidad. El nombre de la familia de agua se obtiene con el anión mayor, seguido del catión dominante. La ventaja de esta clasificación, es que, si los polígonos están graficados a la misma escala, de manera visual y rápida, se puede conocer, tanto la concentración como la composición del agua, ya que los polígonos grandes, indicarán aguas muy concentradas de iones, y los polígonos pequeños, significarán aguas diluidas. Adicionalmente, si los diagramas se colocan en un mapa, se pueden correlacionar con la

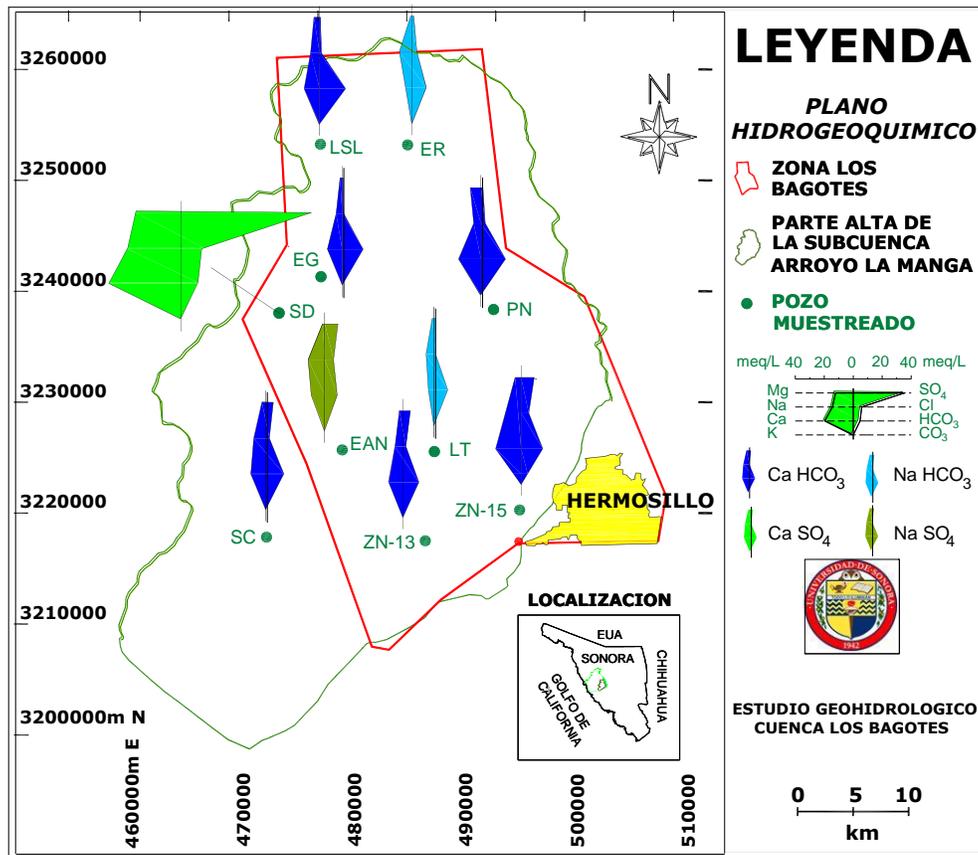
geología de la zona, posibles fuentes contaminantes, ríos, etc. La desventaja de estos diagramas, es que hay que graficar cada una de las muestras, y en el caso de que sean muchas, se vuelve una tarea pesada, por lo que hay que optar por elegir otra clasificación.

En la zona de Los Bagotes se encontraron **4 familias de aguas**, de acuerdo a la Clasificación de Stiff (Tabla 6.20, Figura 6.34). La familia **bicarbonatada cálcica** predomina en la zona de estudio, con 6 muestras de agua, además se tuvieron 2 pozos de la familia **bicarbonatada sódica**, 1 de la **sulfatada sódica** y 1 de la **sulfatada cálcica**. El pozo San Diego contiene agua sumamente concentrada en iones, respecto a los demás pozos. Tanto este pozo como el del Rancho El Agachado Nuevo, tienen composición sulfatada, posiblemente debido a la influencia de minerales provenientes de rocas graníticas y calcáreas que pudieron haber aportado los sulfatos.

Tabla 6.20. Clasificación de Stiff de familias de aguas

POZO	COORD UTM		CLASIFICACION DE STIFF
	X	Y	
La Sierrita de López	476,031	3'253,283	Bicarbonatada cálcica
El Represo	483,883	3'253,216	Bicarbonatada sódica
El Gameño	476,021	3'241,523	Bicarbonatada cálcica
San Diego	472,216	3'238,233	Sulfatada cálcica
Piedras Negras	491,487	3'238,571	Bicarbonatada cálcica
Los Talayotes	486,261	3'225,539	Bicarbonatada sódica
El Agachado Nuevo	477,989	3'225,703	Sulfatada sódica
San Carlos	471,171	3'217,817	Bicarbonatada cálcica
ZN-13	484,759	3'216,826	Bicarbonatada cálcica
ZN-15	493,174	3'219,727	Bicarbonatada cálcica

Figura 6.34. Polígonos de Stiff de las familias de agua



6.3.2. Diagrama de Piper

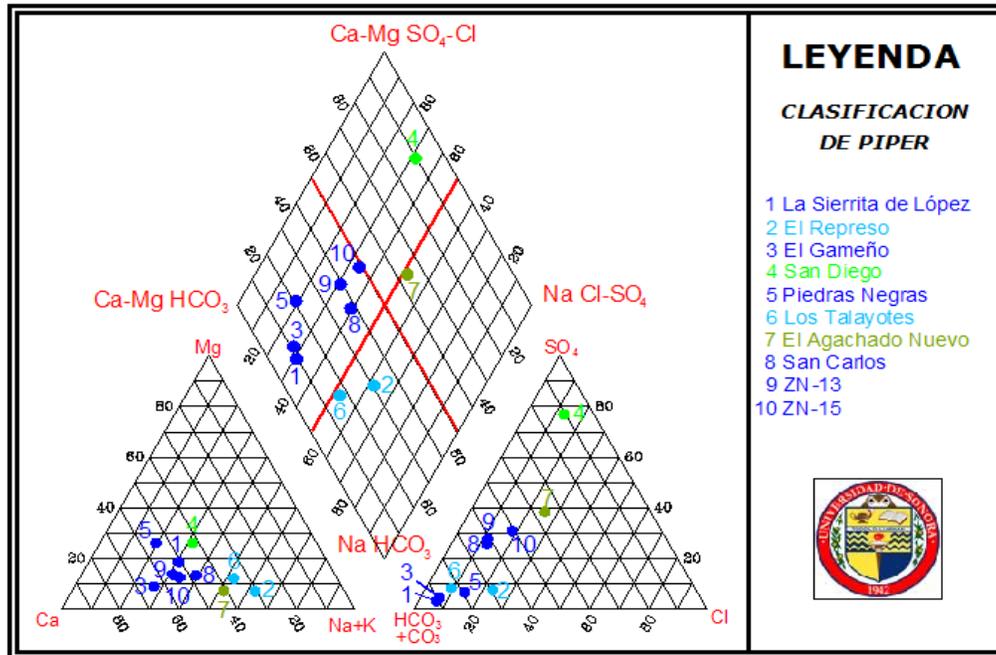
Con el objeto de obtener de forma rápida e ilustrativa, los diferentes tipos o familias de agua, de acuerdo al catión o anión dominante, se graficaron los análisis químicos de aguas en diagramas triangulares (Figura 6.35). En el triángulo de la izquierda de este diagrama, se graficó el porcentaje de meq/L de los principales cationes (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺), y en el triángulo de la derecha, también en las mismas unidades, los principales aniones (HCO₃⁻, CO₃⁻, Cl⁻ y SO₄⁻). En los vértices de estos triángulos, se definen aguas cálcicas, magnésicas, bicarbonatadas, cloruradas, etc. Las aguas mixtas son las que caen al centro del triángulo, por no existir un ion dominante. Para clasificar las aguas por familias, se extrapolan los puntos de cada muestra desde los triángulos de la base, hasta que se intersectan en el rombo de la cima. En dicho rombo se tienen 4 regiones correspondientes a las familias: sulfatada-clorurada cálcica-magnésica, clorurada-sulfatada sódica, bicarbonatada sódica y bicarbonatada cálcica-magnésica.

En la zona acuífera de Los Bagotes se encontraron **4 familias de agua**, de acuerdo a la Clasificación de Piper: 1 pozo con agua **sulfatada cálcica-magnésica**, 1 pozo con agua **clorurada-sulfatada sódica**, 2 muestras **bicarbonatadas sódicas** y 6 aguas de la **familia bicarbonatada cálcica-magnésica** (Tabla 6.21, Figura 6.35). La Clasificación de Piper fue muy consistente con la de Stiff, es decir, resultaron iguales familias, cuyos nombres tienen ligeras variaciones.

Tabla 6.21. Clasificación de Piper en aguas de Los Bagotes

POZO	COORD UTM		CLASIFICACION DE PIPER
	X	Y	
La Sierrita de López	476,031	3'253,283	Bicarbonatada cálcico-magnésica
El Represo	483,883	3'253,216	Bicarbonatada sódica
El Gameño	476,021	3'241,523	Bicarbonatada cálcico-magnésica
San Diego	472,216	3'238,233	Sulfatada cálcico-magnésica
Piedras Negras	491,487	3'238,571	Bicarbonatada cálcico-magnésica
Los Talayotes	486,261	3'225,539	Bicarbonatada sódica
El Agachado Nuevo	477,989	3'225,703	Clorurada-sulfatada sódica
San Carlos	471,171	3'217,817	Bicarbonatada cálcico-magnésica
ZN-13	484,759	3'216,826	Bicarbonatada cálcico-magnésica
ZN-15	493,174	3'219,727	Bicarbonatada cálcico-magnésica

Figura 6.35. Diagrama triangular de Piper con muestras de Los Bagotes



6.3.3. Clasificación de Wilcox

Se determinaron las familias y características geoquímicas del agua de riego, utilizando la Clasificación de Wilcox (1948), en la cual, por medio de la conductividad eléctrica (CE) y de la relación de adsorción de sodio (RAS), se obtiene la clase de agua para riego.

La conductividad eléctrica (CE) es igual al recíproco de la resistividad y proporciona la concentración de sólidos totales disueltos. Normalmente, ésta se expresa en micromhos por centímetro ($\mu\text{mhos/cm}$). La relación de adsorción de sodio (RAS), se obtiene por medio de la fórmula siguiente:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Donde las concentraciones de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} están dadas en miliequivalentes por litro (meq/L). Con esta relación se obtiene el peligro que entraña el uso del agua para riego, el cual, como puede apreciarse en la fórmula, queda supeditado a las concentraciones absoluta y relativa de los principales cationes.

Los valores de CE y RAS, son graficados en el nomograma semilogarítmico de clasificación, obteniéndose de esta manera, la clase de agua para riego, la cual está definida por los parámetros C (salinidad) y S (sodio) y subíndices en cada uno de ellos. El significado de las diferentes clases, así como algunas recomendaciones para el uso del agua en riego, se comentan a continuación.

C1 BAJA SALINIDAD. Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos y para casi todas las plantas, con pocas probabilidades de que aumente la salinidad.

C2 SALINIDAD MEDIA. Puede usarse si se hacen lavados moderados. Se pueden sembrar plantas moderadamente tolerantes a las sales en la mayoría de los casos, sin efectuar prácticas especiales para el control de la salinidad.

C3 ALTAMENTE SALINA. No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Aún con drenaje adecuado, se requiere un manejo especial para el control de la salinidad, además de seleccionar plantas que sean bastante tolerantes a las sales.

C4 MUY ALTAMENTE SALINA. No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, aunque puede usarse en ocasiones, bajo circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado; el agua para riego debe aplicarse en exceso con el fin de llevar a cabo un lavado fuerte. Las plantas que se seleccionan deberán ser muy tolerantes a las sales.

S1 CON POCO SODIO. Puede usarse para riego en casi todos los suelos, con poco peligro de que el sodio intercambiable llegue a niveles perjudiciales. Sin embargo, las plantas sensitivas al sodio como algunos frutales (fruto con hueso) y aguacate, pueden acumular concentraciones dañinas de sodio.

S2 CON CONTENIDO MEDIO. Será peligrosa en suelos de textura fina y en aquéllos que contengan una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavados leves, a menos que haya yeso en el suelo. Esta agua puede usarse en suelos orgánicos o de textura gruesa con buena permeabilidad.

S3 CON ALTO CONTENIDO. Conducirá a niveles peligrosos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos, por lo cual se requerirá de un manejo especial, buen drenaje, lavados fuertes y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos no desarrollarán niveles perjudiciales de sodio intercambiable. Los mejoradores químicos deberán usarse, para el reemplazo de sodio intercambiable, excepto en el caso de que no sea factible el uso de mejoradores en agua de muy alta salinidad.

S4 CON MUY ALTO CONTENIDO. Generalmente no es apropiada para el riego, excepto en casos de baja y quizá media salinidad, donde la solución de calcio del suelo o el empleo de yeso u otros mejoradores, hagan factible el uso de esta agua.

Con los resultados de los análisis fisicoquímicos de los pozos de Los Bagotes, se calculó el RAS con la fórmula mencionada previamente. Este parámetro junto con la CE, se graficaron en el Nomograma de Wilcox, obteniéndose la clasificación de las aguas para riego (Tabla 6.22, Figuras 6.36 y 6.37).

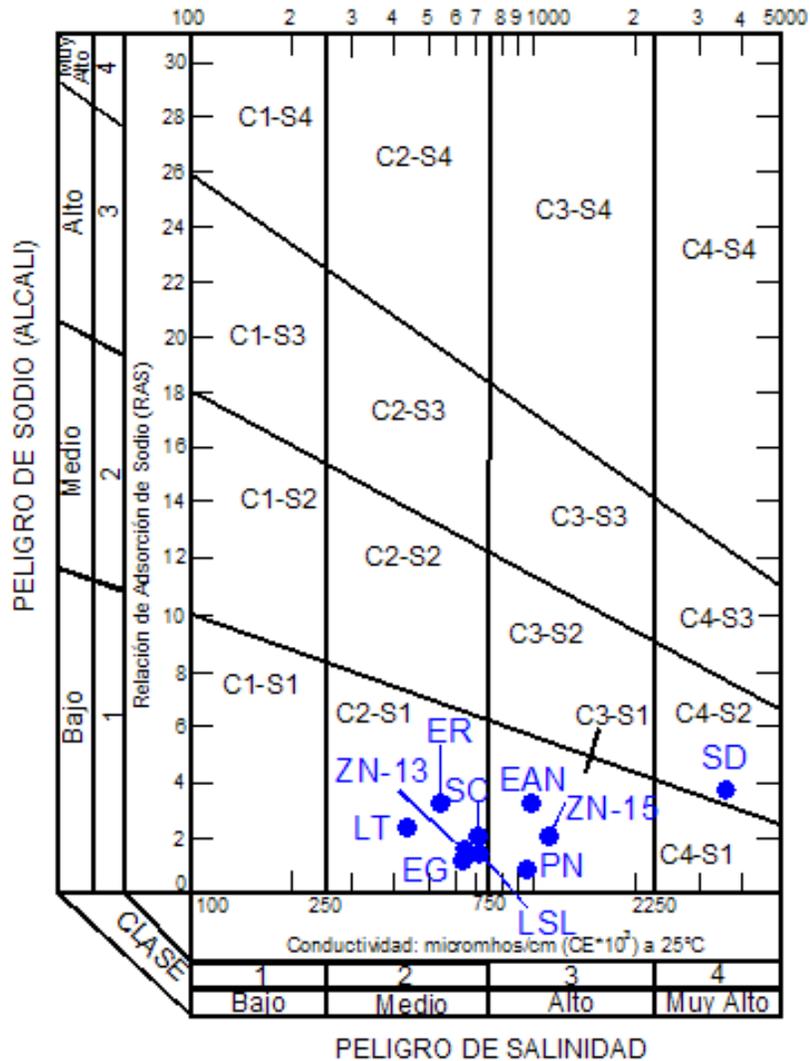
Tabla 6.22. Clasificación de Wilcox para el agua de Los Bagotes

POZO	CE ($\mu\text{s/cm}$)	RAS (meq/L)	CLASIFICACION DE WILCOX	SALINIDAD - SODIO
La Sierrita de López	743	1.43	C2-S1	Media-Bajo
El Represo	571	3.30	C2-S1	Media-Bajo
El Gameño	611	1.08	C2-S1	Media-Bajo
San Diego	3,640	3.59	C4-S2	Muy alta-Medio
Piedras Negras	937	0.91	C3-S1	Alta-Bajo
Los Talayotes	435	2.14	C2-S1	Media-Bajo
El Agachado Nuevo	922	3.06	C3-S1	Alta-Bajo
San Carlos	720	1.99	C2-S1	Media-Bajo
ZN-13	645	1.37	C2-S1	Media-Bajo
ZN-15	1,075	2.07	C3-S1	Alta-Bajo

Las familias de aguas resultantes fueron tres: C2-S1 (6 muestras), C3-S1 (3 muestras) y C4-S2 (1 muestra). Su ubicación geográfica se puede ver en la Figura 6.37.

De acuerdo a la Clasificación de Wilcox (Figuras 6.36 y 6.37), se concluye que el agua de los pozos **Piedras Negras, El Agachado Nuevo y ZN-15 de calidad C3-S1, no pueden usarse en suelos con drenaje deficiente**, ya que se requiere un manejo especial para controlar la salinidad y cultivar plantas que sean bastante tolerantes a las sales. Estas aguas, tienen bajo peligro de sodio, por lo que pueden usarse para riego en casi todos los suelos, excepto en plantas sensitivas a este elemento (frutales, fruto con hueso, aguacate), que puedan acumularlo de manera peligrosa.

Figura 6.36. Nomograma de Wilcox con las muestras de Los Bagotes



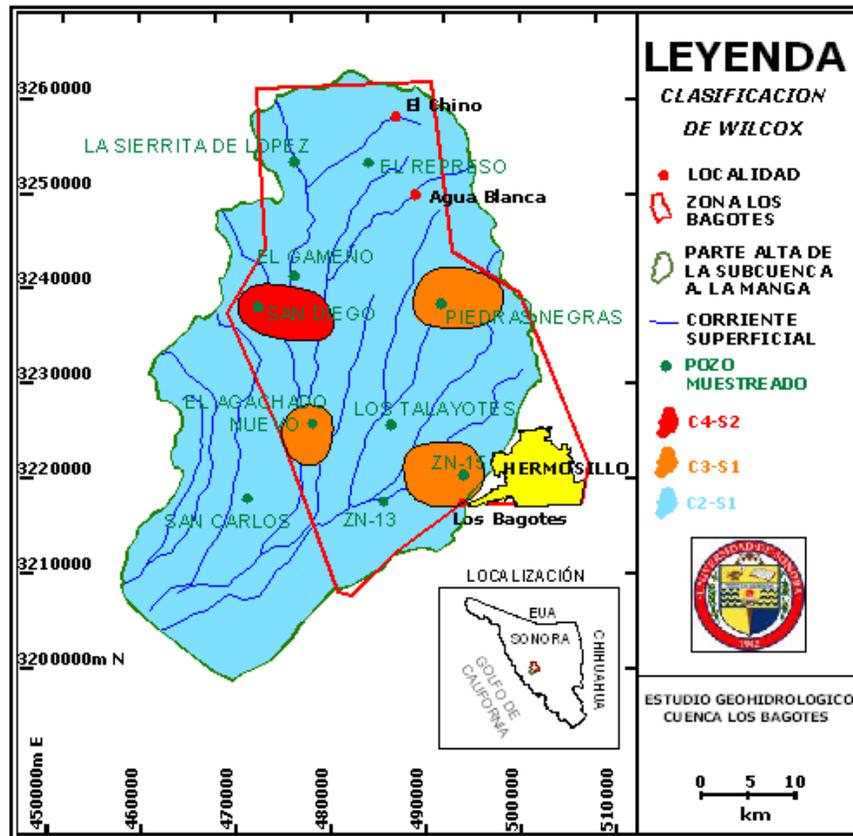
El agua del Rancho San Diego, clasificada como C4-S2, no es apropiada para el riego agrícola, excepto que se use yeso u otros mejoradores en el suelo.

Por otro lado, su contenido medio de sodio, la hace peligrosa en suelos de textura fina y en los que contengan una alta capacidad de intercambio de cationes. Esta agua puede usarse en suelos orgánicos o de textura gruesa con buena permeabilidad.

La calidad del agua de los pozos La Sierrita de López, El Represo, El Gameño, Los Talayotes, San Carlos y ZN-13 fue C2-S1, lo que significa salinidad media y bajo sodio, es decir, puede usarse si se hacen lavados moderados.

Se pueden sembrar plantas moderadamente tolerantes a las sales en la mayoría de los casos, sin necesidad de efectuar prácticas especiales para el control de la salinidad.

Figura 6.37. Mapa esquemático de las zonas con igual calidad de agua según la Clasificación de Wilcox



VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

1. Se tomaron 10 muestras de aguas subterráneas distribuidas en la zona acuífera de Los Bagotes. El muestreo y los análisis químicos se realizaron de acuerdo a las normas establecidas.
2. Las aguas de Los Bagotes se analizaron por bacteriológicos, iones principales, metales y metaloides, coloides y plaguicidas. Se concluye que de acuerdo a su:
 - CE: se clasifican como agua dulce, exceptuando el agua del Rancho San Diego que contiene agua salobre
 - pH: dentro del rango de 6.5 a 8.5
 - alcalinidad total: todos los valores dentro de la norma
 - coliformes totales: 7 muestras
 - coliformes fecales: 4 pozos
 - turbidez: pozo El Agachado Nuevo, fuera de la norma
 - dureza total: todos los valores dentro de la norma
 - STD: todos los pozos dentro de la norma (agua dulce), excepto San Diego (agua salobre)
 - iones principales: pozos fuera de la norma: San Diego (Na HCO_3)
 - metales y metaloides: pozos fuera de la norma: 8 pozos (Sb), 2 pozos (Fe), 1 (Mn), 1 (Mo), 10 (Se)
 - plaguicidas: ninguna muestra presentó.
3. Los pozos más contaminados son: San Diego (nitritos, sodio, sólidos totales disueltos, sulfatos, boro, antimonio, molibdeno y selenio) y El Agachado Nuevo (hierro, manganeso, nitritos y selenio).
4. De acuerdo a la Clasificación de Wilcox, las familias de aguas resultantes fueron tres: C2-S1 (6 muestras), C3-S1 (3 muestras) y C4-S2 (1 muestra). Las 2 últimas familias están limitadas para su uso.
5. En la zona acuífera de Los Bagotes se encontraron 4 familias de agua, de acuerdo a las clasificaciones de Piper y de Stiff: agua sulfatada cálcica-magnésica (1 pozo), agua clorurada-sulfatada sódica (1), bicarbonatadas sódicas (2), y bicarbonatada cálcica-magnésica (6).
6. Las aguas cloruradas y sulfatadas se ubican en la porción occidental de la zona y se concluye que son de mala calidad para diversos usos. El agua del resto de la

zona, ubicada en la porción central de Los Bagotes, es de buena calidad para todos los usos.

7. Los mapas de isovalores de los elementos analizados químicamente, muestran que los fluoruros, coliformes fecales, magnesio y sodio decrecen de la porción occidental hacia la oriental; los mapas de igual concentración de bario y vanadio, decrecen de la parte oriental a la occidental.
8. Las curvas de sílice, no tiene un patrón definido de concentraciones y el oxígeno disuelto decrece de SE a NW.
9. Los mapas de sulfatos, cloruros, calcio, bicarbonatos, boro, nitratos, antimonio, fierro, potasio, litio y coliformes totales, decrecen en un patrón parecido a la dirección del flujo subterráneo, es decir, se mueven del Norte hacia el Sur en la parte alta de la zona, y en la porción sur-central, el agua subterránea se mueve de las montañas hacia el valle.

7.2. Recomendaciones

1. Monitorear con regularidad la calidad y niveles piezométricos del agua subterránea y tomar las medidas adecuadas en los casos en que se presenta contaminación.
2. Regular las extracciones del agua subterránea de acuerdo a los cálculos efectuados de la recarga para mantener el equilibrio hidrodinámico del acuífero.
3. Dar continuidad a los estudios iniciados y realizar un modelo matemático para conocer el comportamiento a futuro de la región.
4. Complementar el estudio hasta la zona de Siete Cerros, dada la interconexión que se observa en el subsuelo.
5. Instalar poliductos en los pozos, con el objeto de tener acceso a la medición de niveles y medidores de flujo para la toma de datos durante pruebas de bombeo.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

American Public and Health Association (APHA), 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA-AWWA-WPCF, Washington, D.C.

Agua de Hermosillo, 2006, Estudio Gravimétrico con objetivo Geohidrológico, poniente de la Ciudad de Hermosillo, Sonora.

Ávila, R., 1987, Consideraciones geológicas y estratigráficas de la porción noroeste de Hermosillo. Tesis profesional, Depto. Geol., Univ. Sonora, 78 p.

Cathala, D., Castillo, J., Molinar, M., 2006, Modelación del acuífero de Los Bagotes, Subcuenca El Arenoso, Informe Técnico, Proy. ANUIES-ECOS-CONACYT, Depto. Geol., Univ. Sonora, 43 p.

Coronado P., J.R., 2003, Profundidad del basamento y espesor del relleno sedimentario en la zona urbana de Hermosillo, Sonora a partir de secciones gravimétricas, Tesis profesional, Depto. Geol., Univ. Sonora, 64 p.

Environmental Protection Agency (EPA), 2003, National Primary Drinking Water Regulations (en línea) en <<http://www.epa.gov/OGWDW/contaminants/index.html#primary>>, acceso libre, consulta: 05 de Junio de 2013.

Freeze, R.A. y Cherry, A., 1979, Groundwater, Prentice Hall, Inc., 604 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2000, Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora: Aguascalientes, Ags., Secretaría de Programación y Presupuesto, 88 p.

Norma Oficial Mexicana (NOM), 1994, Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. 11 p.

Organización Mundial de la Salud (OMS), 2004, Guías para la calidad del agua potable, Tercera Edición, Vol. 1, Recomendaciones, Ginebra, 101 p.

Rodríguez C., J.L., 1981, Notas sobre la geología del área de Hermosillo, Sonora, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 5, No. 1, pp. 30-38.

UNISON, 2001, Estudio geofísico y piezométrico de Los Bagotes, Mpio. de Hermosillo, Sonora. Reporte interno del M.C. Mariano Morales M. del Depto. de Geología, Univ. de Sonora para la Comisión Estatal del Agua.

UNISON, 2008, Estudio geohidrológico de la zona acuífera Los Bagotes Municipio de Hermosillo, Sonora. Comisión Estatal del Agua. X-5 pp.