

01177 2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

"INTERACCION ENTRE LAS AGUAS RESIDUALES Y EL ACUIFERO DE LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERIA
(A M B I E N T A L)
P R E S E N T A :
SERGIO EDUARDO ROMO AGUILERA

DIRIGIDA POR: DR. MARCOS ADRIAN ORTEGA GUERRERO



270483

CIUDAD UNIVERSITARIA

FEBRERO, 1999

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

**A MI MADRE:
(IN MEMORIAM)**

A ELLA POR TOMARME ENTRE SUS BRAZOS
PARA COMENZAR A CRECER,
POR ENSEÑARME QUE EL FUTURO HAY QUE GANARLO
DÍA A DÍA SUPERANDO TUS ACCIONES
CON ACCIONES QUE TE LLEVEN A UN BIEN.

A ELLA POR DARME ORGULLO DE SER
AL HACER DE MÍ UNA VEREDA CON DIRECCIÓN,
SEÑALÁNDOME EL CAMINO QUE MAÑANA SEGUIRÉ
Y POR DARME LA LUZ DE LA ESPERANZA
DE VOLVERLA A VER AL FINAL DE ÉL.

**A MI PADRE:
POR SU INIGUALABLE AYUDA
Y LOS MOMENTOS QUE HEMOS
VIVIDO JUNTOS.**

**A MIS HERMANOS Y CUÑADOS:
POR SU GRAN APOYO DESINTERESADO
E INCONDICIONAL.**

**A MIS SOBRINOS:
POR SU AGRADABLE Y FRESCA
COMPAÑÍA.**

**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:
POR COMPARTIR TODOS ESTOS MOMENTOS,
POR SU APOYO Y CONSEJOS
QUE NUNCA ME FALTARON.**

**A MIS MAESTROS:
POR SU ENSEÑANZA, COMPRENSIÓN, AYUDA
Y TOLERANCIA QUE ME OFRECIERON
SIEMPRE.**

**A LA DEPFI-UNAM:
POR DARME LA OPORTUNIDAD DE ESTUDIAR
LA MAESTRÍA EN ING. AMBIENTAL Y PODER
VIVIR ESTE MOMENTO DE MI VIDA.**

**A DIOS:
POR SER MI COMPAÑERO INSEPARABLE...**

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este Proyecto se recurrió al apoyo de varias personas e instituciones que de una u otra manera contribuyeron a enriquecerlo con sus aportaciones, a todas ellas les agradezco su ayuda incondicional que en todo momento me brindaron, en especial:

Al **Dr. Marcos Adrián Ortega Guerrero** por su dirección y asesoría en este Estudio, al cual siempre prestó su mayor interés por sacarlo adelante a pesar de todas las dificultades que se afrontaron en su realización.

El financiamiento para esta investigación provino de un proyecto interno del Instituto de Geología de la U.N.A.M. a cargo del Dr. Ortega.

A los miembros del Jurado:

M. en I. Francisca Soler Anguiano

M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios

Dra. Rosario Iturbe Argüelles

M. en I. Manuel Heredia Durán

Que con sus críticas contribuyeron a resaltar este trabajo.

A los siguientes Investigadores del Instituto de Geología de la U.N.A.M.:

Dra. Dora Celia Carreón Freyre

M. en I. Rosa María Leal Bautista

M. en I. Eloisa Domínguez Mariani

M. en I. Dalia del Carmen Ortiz Zamora

Ing. Carlos Vargas Cabrera

M. en C. Teodoro Méndez García

Y a las siguientes personas y dependencias en Aguascalientes:

Ing. Salvador Gaytán Rangel (PROFEPA-AGS.)

M. en I. Carlos González García (Investigador de la U.A.A.)

Dr. Javier Avelar (Laboratorio de estudios Ambientales de la U.A.A.)

M. en C. Javier Llamas (Laboratorio de Esatudios Ambientales de la U.A.A.)

Ing. Martín Molina (C.N.A.-AGS.)

Ing. Serapio Mata Celia (C.N.A.-AGS.)

Ing. Fco. Javier López Jaramillo (C.A.A.S.A. de C.V.)

Ing. Armando López (C.A.A.S.A. de C.V.)

I.Q. Luis Felipe Huizar Botello (C.A.P.A.M.A.)

Ing. Alfredo Tello (C.A.P.A.M.A.)

I.B.Q. Ana María Jiménez Rodríguez (Laboratorio-C.A.P.A.M.A.)

I.B.Q. Mónica González Palacios (Laboratorio-C.A.P.A.M.A.)

Ing. Gregorio Calvillo Silva (C.C.y L.-S.O.P.)

Dr. Eduardo Zermeño Díaz de León (C.C. y L.-S.O.P.)

Ing. José Ángel Ortiz Lozano (C.C. y L.-S.O.P.)

Ing. Pedro de Jesús Toledo (C.E.A.P.A.-S.O.P.)

Ing. Rafael Berumen (C.E.A.P.A.-S.O.P.)

I.N.E.G.I.

A todos ellos ...GRACIAS...

ÍNDICE

	PAG
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE GRÁFICAS	VIII
INDICE DE TABLAS	X
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XI
GLOSARIO	XII
RESUMEN.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 ANTECEDENTES TÉCNICOS.....	7
1.3 OBJETIVOS.....	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
1.3.3 Aportación.....	8
2 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	9
2.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROGEOLOGÍA.....	9
2.2 SELECCIÓN DE ZONAS DE ESTUDIO.....	9
2.3 HIDROGEOQUÍMICA.....	9
2.3.1 Características del muestreo.....	9
2.3.2 Muestreo del agua superficial.....	9
2.3.3 Muestreo del agua subterránea.....	10
2.3.4 Análisis químicos y bacteriológicos.....	12
2.5 INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS.....	14
3 HIDROGEOLOGÍA.....	16
3.1 GEOLOGÍA.....	16
3.1.1 Estratigrafía local.....	16
3.1.2 Litología.....	19
3.1.3 Principales rasgos estructurales.....	19
3.1.3.1 Fracturamiento.....	23
3.2 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.....	25
3.2.1 Flujo del agua subterránea.....	25
3.2.2 Características hidrogeológicas.....	26
3.2.3 Piezometría.....	28
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	29
4.1 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.....	29
4.2 MEDICIONES DE CAMPO.....	38
4.2.1 Distribución espacial.....	38
4.3 IONES MAYORES.....	40

4.3.1	Análisis de minerales.....	41
4.3.1.1	Balance de cargas.....	42
4.3.1.2	Índices de saturación.....	44
4.3.2	Distribución espacial de iones principales.....	45
4.3.2.1	Diagramas de Stiff.....	45
4.3.2.2	Configuraciones.....	46
4.3.3	Pares iónicos.....	49
4.3.3.1	Gráficas comparativas.....	49
4.4	METALES.....	57
4.4.1	Distribución espacial de metales.....	57
4.4.2	Pares iónicos.....	61
4.5	COMPUESTOS ORGÁNICOS.....	66
4.6	ESTUDIO BACTERIOLÓGICO.....	69
4.7	MODELO CONCEPTUAL.....	71
5	CONCLUSIONES.....	73
6	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG	CAP
Fig. 1	Ubicación del Estado de Aguascalientes y zonas de estudio.....	5 1
Fig. 2	Provincias fisiográficas de la República Mexicana.....	5 1
Fig. 3	Columna estratigráfica local.....	18 3
Fig. 4	Localización de zonas de estudio.....	20 3
Fig. 5	Perfil litológico del corte 1-1' hecho en la zona Sur de la ciudad de Aguascalientes, trazado en la fig. 4.....	21 3
Fig. 6	Perfil litológico del corte 2-2' hecho en la zona Norte de la ciudad de Aguascalientes, trazado en la fig. 4.....	21 3
Fig. 7	Perfil litológico del corte A-A' hecho en la zona Poniente de la ciudad de Aguascalientes, trazado en la fig. 4.....	22 3
Fig. 8	Perfil litológico del corte B-B' hecho en la zona Oriente de la ciudad de Aguascalientes, trazado en la fig. 4.....	22 3
Fig. 9	Sistema de flujo intermedio.....	27 3
Fig. 10	Flujo subterráneo de la ciudad de Aguascalientes.....	84 Anexo I
Fig. 11	Puntos de riego de contaminación del acuífero de la ciudad de Aguascalientes.....	30 4
Fig. 12	Detalles de la zona de estudio 1, S-W.....	86 Anexo II
Fig. 13	Detalles de la zona de estudio 2, N-E.....	86 Anexo II
Fig. 14	Flujo subterráneo en la zona 1, S-W.....	87 Anexo II
Fig. 15	Flujo subterráneo en la zona 2, N-E.....	87 Anexo II
Fig. 16	Isotemperatura en la zona 1, S-W.....	90 Anexo III
Fig. 17	Isotemperatura en la zona 2, N-E.....	90 Anexo III
Fig. 18	Conductividad eléctrica (C.E.) en la zona 1, S-W.....	91 Anexo III
Fig. 19	Conductividad eléctrica (C.E.) en la zona 2, N-E.....	91 Anexo III
Fig. 20	Configuración del pH en la zona 1, S-W.....	92 Anexo III
Fig. 21	Configuración del pH en la zona 2, N-E.....	92 Anexo III
Fig. 22	Configuración de la alcalinidad en la zona 1, S-W.....	93 Anexo III
Fig. 23	Configuración de la alcalinidad en la zona 2, N-E.....	93 Anexo III
Fig. 24	Diagramas de Stiff de los CAS muestreados en la zona 1, S-W.....	105 Anexo VI
Fig. 25	Diagramas de Stiff del agua de los pozos muestreados en la zona 1, S-W.....	106 Anexo VI
Fig. 26	Diagramas de Stiff de los CAS muestreados en la zona 2, N-E.....	107 Anexo VI
Fig. 27	Diagramas de Stiff del agua de los pozos muestreados en la zona 2, N-E.....	108 Anexo VI
Fig. 28	Configuración de Ca ⁺⁺ en la zona 1, S-W.....	110 Anexo VII
Fig. 29	Configuración de Ca ⁺⁺ en la zona 2, N-E.....	110 Anexo VII
Fig. 30	Configuración de Mg ⁺⁺ en la zona 1, S-W.....	111 Anexo VII
Fig. 31	Configuración de Mg ⁺⁺ en la zona 2, N-E.....	111 Anexo VII
Fig. 32	Configuración de Na ⁺ en la zona 1, S-W.....	112 Anexo VII
Fig. 33	Configuración de Na ⁺ en la zona 2, N-E.....	112 Anexo VII
Fig. 34	Configuración de K ⁺ en la zona 1, S-W.....	113 Anexo VII
Fig. 35	Configuración de K ⁺ en la zona 2, N-E.....	113 Anexo VII
Fig. 36	Configuración de Cl ⁻ en la zona 1, S-W.....	114 Anexo VII
Fig. 37	Configuración de Cl ⁻ en la zona 2, N-E.....	114 Anexo VII
Fig. 38	Configuración de HCO ₃ ⁻ en la zona 1, S-W.....	115 Anexo VII
Fig. 39	Configuración de HCO ₃ ⁻ en la zona 2, N-E.....	115 Anexo VII
Fig. 40	Configuración de SO ₄ ⁼ en la zona 1, S-W.....	116 Anexo VII
Fig. 41	Configuración de SO ₄ ⁼ en la zona 2, N-E.....	116 Anexo VII

Fig. 42	Configuración de las concentraciones de Fe⁺⁺ en la zona 1, S-W...	129	Anexo X
Fig. 43	Configuración de las concentraciones de Fe⁺⁺ en la zona 2 N-E.....	129	Anexo X
Fig. 44	Configuración de las concentraciones de Cu⁺⁺ en la zona 1 S-W....	130	Anexo X
Fig. 45	Configuración de las concentraciones de Cu⁺⁺ en la zona 2, N-E....	130	Anexo X
Fig. 46	Configuración de las concentraciones de Mn⁺⁺ en la zona 1, S-W..	131	Anexo X
Fig. 47	Configuración de las concentraciones de Mn⁺⁺ en la zona 2, N-E...	131	Anexo X
Fig. 48	Configuración de las concentraciones de Zn⁺⁺ en la zona 1, S-W...	132	Anexo X
Fig. 49	Configuración de las concentraciones de Zn⁺⁺ en la zona 2, N-E....	132	Anexo X
Fig. 50	Configuración de las concentraciones de Pb⁺⁺ en la zona 1, S-W...	133	Anexo X
Fig. 51	Configuración de las concentraciones de Pb⁺⁺ en la zona 2, N-E....	133	Anexo X
Fig. 52	Configuración de las concentraciones de Co⁺⁺ en la zona 1, S-W...	134	Anexo X
Fig. 53	Configuración de las concentraciones de Co⁺⁺ en la zona 2, N-E....	134	Anexo X
Fig. 54	Configuración de las concentraciones de Ni⁺⁺ en la zona 1 S-W.....	135	Anexo X
Fig. 55	Configuración de las concentraciones de Ni⁺⁺ en la zona 2 N-E.....	135	Anexo X
Fig. 56	Configuración de las concentraciones de Cd⁺⁺ en la zona 1, S-W...	136	Anexo X
Fig. 57	Configuración de las concentraciones de Cd⁺⁺ en la zona 2, N-E....	136	Anexo X
Fig. 58	Modelo conceptual	72	4

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	PAG	CAP	
Gráfica 1	Demandas, agua disponible y deficiencias en la Ciudad	6	1
Gráfica 2	Evolución del número de pozos profundos municipales en la Ciudad.....	6	1
Gráfica 3	Índices de saturación de la Anhidrita, zona S-W.....	99	Anexo V
Gráfica 4	Índices de saturación de la Anhidrita, zona N-E.....	99	Anexo V
Gráfica 5	Índices de saturación de la Aragonita, zona S-W.....	100	Anexo V
Gráfica 6	Índices de saturación de la Aragonita, zona N-E.....	100	Anexo V
Gráfica 7	Índices de saturación de la Calcita, zona S-W.....	101	Anexo V
Gráfica 8	Índices de saturación de la Calcita, zona N-E.....	101	Anexo V
Gráfica 9	Índices de saturación de la Dolomita, zona S-W.....	102	Anexo V
Gráfica 10	Índices de saturación de la Dolomita, zona N-E.....	102	Anexo V
Gráfica 11	Índices de saturación de la Magnesita, zona S-W.....	103	Anexo V
Gráfica 12	Índices de saturación de la Magnesita, zona N-E.....	103	Anexo V
Gráfica 13	Comparativa Cl- vs Ca ⁺⁺ , zona S-W.....	53	4
Gráfica 14	Comparativa Cl- vs Mg ⁺⁺ , zona S-W.....	53	4
Gráfica 15	Comparativa Cl- vs Na ⁺ , zona S-W.....	54	4
Gráfica 16	Comparativa Cl- vs K ⁺ , zona S-W.....	54	4
Gráfica 17	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Ca ⁺⁺ , zona S-W.....	118	Anexo VII
Gráfica 18	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Mg ⁺⁺ , zona S-W.....	118	Anexo VII
Gráfica 19	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Na ⁺ , zona S-W.....	119	Anexo VII
Gráfica 20	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs K ⁺ , zona S-W.....	119	Anexo VII
Gráfica 21	Comparativa SO ₄ ⁼ vs Ca ⁺⁺ , zona S-W.....	120	Anexo VII
Gráfica 22	Comparativa SO ₄ ⁼ vs mg ⁺⁺ , zona S-W.....	120	Anexo VII
Gráfica 23	Comparativa SO ₄ ⁼ vs Na ⁺ , zona S-W.....	121	Anexo VII
Gráfica 24	Comparativa SO ₄ ⁼ vs K ⁺ , zona S-W.....	121	Anexo VII
Gráfica 25	Comparativa Cl- vs Ca ⁺⁺ , zona N-E.....	55	4
Gráfica 26	Comparativa Cl- vs Mg ⁺⁺ , zona N-E.....	55	4
Gráfica 27	Comparativa Cl- vs Na ⁺ , zona N-E.....	56	4
Gráfica 28	Comparativa Cl- vs K ⁺ , zona N-E.....	56	4
Gráfica 29	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Ca ⁺⁺ , zona N-E.....	122	Anexo VII
Gráfica 30	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Mg ⁺⁺ , zona N-E.....	122	Anexo VII
Gráfica 31	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Na ⁺ , zona N-E.....	123	Anexo VII
Gráfica 32	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs K ⁺ , zona N-E.....	123	Anexo VII
Gráfica 33	Comparativa SO ₄ ⁼ vs Ca ⁺⁺ , zona N-E.....	124	Anexo VII
Gráfica 34	Comparativa SO ₄ ⁼ vs Mg ⁺⁺ , zona N-E.....	124	Anexo VII
Gráfica 35	Comparativa SO ₄ ⁼ vs Na ⁺ , zona N-E.....	125	Anexo VII
Gráfica 36	Comparativa SO ₄ ⁼ vs K ⁺ , zona N-E.....	125	Anexo VII
Gráfica 37	Comparativa Cl- vs Fe ⁺⁺ , zona S-W.....	64	4
Gráfica 38	Comparativa Cl- vs Cu ⁺⁺ , zona S-W.....	64	4
Gráfica 39	Comparativa Cl- vs Mn ⁺⁺ , zona S-W.....	138	Anexo IX
Gráfica 40	Comparativa Cl- vs Zn ⁺⁺ , zona S-W.....	138	Anexo IX
Gráfica 41	Comparativa Cl- vs Pb ⁺⁺ , zona S-W.....	139	Anexo IX
Gráfica 42	Comparativa Cl- vs Co ⁺⁺ , zona S-W.....	139	Anexo IX
Gráfica 43	Comparativa Cl- vs Ni ⁺⁺ , zona S-W.....	140	Anexo IX
Gráfica 44	Comparativa Cl- vs Cd ⁺⁺ , zona S-W.....	140	Anexo IX
Gráfica 45	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Fe ⁺⁺ , zona S-W.....	141	Anexo IX
Gráfica 46	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Cu ⁺⁺ , zona S-W.....	141	Anexo IX

		PAG	CAP
Gráfica 47	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Mn ⁺⁺ , zona S-W.....	142	Anexo IX
Gráfica 48	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Zn ⁺⁺ , zona S-W.....	142	Anexo IX
Gráfica 49	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Pb ⁺⁺ , zona S-W.....	143	Anexo IX
Gráfica 50	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Co ⁺⁺ , zona S-W.....	143	Anexo IX
Gráfica 51	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Ni ⁺⁺ , zona S-W.....	144	Anexo IX
Gráfica 52	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Cd ⁺⁺ , zona S-W.....	144	Anexo IX
Gráfica 53	Comparativa Cl ⁻ vs Fe ⁺⁺ , zona N-E.....	65	4
Gráfica 54	Comparativa Cl ⁻ vs Cu ⁺⁺ , zona N-E.....	65	4
Gráfica 55	Comparativa Cl ⁻ vs Mn ⁺⁺ , zona N-E.....	145	Anexo IX
Gráfica 56	Comparativa Cl ⁻ vs Zn ⁺⁺ , zona N-E.....	145	Anexo IX
Gráfica 57	Comparativa Cl ⁻ vs Pb ⁺⁺ , zona N-E.....	146	Anexo IX
Gráfica 58	Comparativa Cl ⁻ vs Co ⁺⁺ , zona N-E.....	146	Anexo IX
Gráfica 59	Comparativa Cl ⁻ vs Ni ⁺⁺ , zona N-E.....	147	Anexo IX
Gráfica 60	Comparativa Cl ⁻ vs Cd ⁺⁺ , zona N-E.....	147	Anexo IX
Gráfica 61	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Fe ⁺⁺ , zona N-E.....	148	Anexo IX
Gráfica 62	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Cu ⁺⁺ , zona N-E.....	148	Anexo IX
Gráfica 63	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Mn ⁺⁺ , zona N-E.....	149	Anexo IX
Gráfica 64	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Zn ⁺⁺ , zona N-E.....	149	Anexo IX
Gráfica 65	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Pb ⁺⁺ , zona N-E.....	150	Anexo IX
Gráfica 66	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Co ⁺⁺ , zona N-E.....	150	Anexo IX
Gráfica 67	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Ni ⁺⁺ , zona N-E.....	151	Anexo IX
Gráfica 68	Comparativa HCO ₃ ⁻ vs Cd ⁺⁺ , zona N-E.....	151	Anexo IX
Gráfica 69	Cromatografía del agua muestreada del pozo S34.....	153	4
Gráfica 70	Cromatografía del agua muestreada del pozo S63.....	153	Anexo XII
Gráfica 71	Cromatografía del agua muestreada del pozo S100A.....	154	Anexo XII
Gráfica 72	Cromatografía del agua muestreada del pozo N69.....	155	Anexo XII
Gráfica 73	Cromatografía del agua muestreada del pozo N73.....	155	Anexo XII

ÍNDICE DE TABLAS

		PAG	CAP
Tabla 1	Determinación de iones principales.....	13	2
Tabla 2	Determinación de metales traza.....	13	2
Tabla 3	Determinación de compuestos orgánicos.....	13	2
Tabla 4	Determinación de análisis bacteriológicos.....	14	2
Tabla 5	Fracturas localizadas en la ciudad de Aguascalientes.....	24	3
Tabla 6	Cota de brocal, profundidad y cota del N.E. de los pozos profundos de la ciudad de Aguascalientes.....	83	Anexo I
Tabla 7	Fracturas localizadas en la zona 1, S-W.....	34	4
Tabla 8	Fracturas localizadas en la zona 2, N-E.....	34	4
Tabla 9	Pozos localizados en la zona 1, S-W.....	35	4
Tabla 10	Pozos localizados en la zona 2, N-E.....	36	4
Tabla 11	Resultado de los análisis de pH, C.E., temperatura y alcalinidad hechos en campo y en laboratorio, del agua subterránea de la zona 1, S-W.....	89	Anexo III
Tabla 12	Resultado de los análisis de pH, C.E., temperatura y alcalinidad hechos en campo y en laboratorio, del agua subterránea de la zona 2, N-E.....	89	Anexo III
Tabla 13	Límites máximos permisibles de siete Normas diferentes.....	40	4
Tabla 14	Resultado de los análisis de iones principales realizados en el agua subterránea y superficial de la zona 1, S-W.....	95	Anexo IV
Tabla 15	Resultado de los análisis de iones principales realizados en el agua subterránea y superficial de la zona 2, N-E.....	95	Anexo IV
Tabla 16	Reacciones de disociación de algunos minerales que comúnmente se disuelven en el agua a 25 °C y un bar de presión total.....	42	4
Tabla 17	Errores en el balance de cargas expresados en % del agua de los pozos muestreados en las dos zonas de estudio.....	43	4
Tabla 18	Errores en el balance de cargas expresados en % de los CAS muestreados en las dos zonas de estudio.....	43	4
Tabla 19	Índices de saturación resultados del programa fuente MINTEQ A2, del agua de los pozos muestreados en la zona 1, S-W.....	97	Anexo V
Tabla 20	Índices de saturación resultados del programa fuente MINTEQ A2, del agua de los pozos muestreados en la zona 2, N-E.....	97	Anexo V
Tabla 21	Índices de saturación de los minerales analizados , resultados del programa fuente fuente MINTEQ A2, en los CAS muestreados en las dos zonas de estudio	98	Anexo V
Tabla 22	Límites máximos permitidos de siete Normas diferentes respecto a algunos metales de mayor interés ambiental.....	57	4
Tabla 23	Concentraciones de metales encontradas en el agua subterránea de la zona 1, S-W.....	127	Anexo IX
Tabla 24	Concentraciones de metales encontradas en el agua subterránea de la zona 2, N-E.....	127	Anexo IX
Tabla 25	Presencia de grupos de compuestos orgánicos en el agua subterránea muestreada.....	66	4
Tabla 26	Detalle del análisis de picos observados.....	68	4
Tabla 27	Resultado de los análisis bacteriológicos y de oxígeno disuelto del		

Tabla 28	agua subterránea, así como del sondeo de pozos desinfectados en la zona 1, S-W.....	70	4
	Resultado de los análisis bacteriológicos y de oxígeno disuelto del agua subterránea, así como del sondeo de pozos desinfectados en la zona 2, N-E.....	70	4

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

		PAG	CAP
Foto 1	Pozo S63, “el Centavito”.....	37	4
Foto 2	Pozo S100A, “los Arbolitos”.....	37	4

ÍNDICE DE ANEXOS

	PAG
ANEXO I	Piezometría y flujo subterráneo de la ciudad de Aguascalientes... 82
ANEXO II	Detalles de las zonas de estudio y su flujo subterráneo..... 85
ANEXO III	Mediciones de campo y configuraciones..... 88
ANEXO IV	Iones principales..... 94
ANEXO V	Índices de saturación..... 96
ANEXO VI	Diagramas de Stiff..... 104
ANEXO VII	<i>Distribución espacial de iones principales.....</i> 109
ANEXO VII	Gráficas comparativas de pares iónicos..... 117
ANEXO IX	Metales..... 126
ANEXO X	Distribución espacial de metales..... 128
ANEXO XI	Pares iónicos, comparativas: aniones – metales..... 137
ANEXO XII	Cromatografías del agua de los pozos muestreados..... 152

GLOSARIO

TÉRMINO	SIGNIFICADO
AA	Arroyo de los Arellano.
Ags.	Aguascalientes.
AH	Arroyo de la Hacienda.
APHA	American Pollution Health Association.
ARS	Agua residual superficial.
ASC	Agua subterránea contaminada.
ASF	Arroyo de San Francisco.
ASN	Agua subterránea normal.
ASZM	Agua subterránea en zona de mezcla.
AWWA	American Water Works Association.
CAASA de CV	Concesionaria de Agua de Aguascalientes S.A. de C.V.
CAPAMA	Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes.
CAS	Cuerpos de agua superficial.
Cd.	Ciudad.
C.E.	Conductividad eléctrica.
CEAPA	Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Aguascalientes.
CNA	Comisión Nacional del Agua.
Col.	Colonia.
CSP	Colector San Pedro.
E	Este.
ETEISA de CV	Estudios Técnicos Especializados en Ingeniería S.A. de C.V.
FFCC	Ferrocarril.
Fig.	Figura.
FNM	Ferrocarriles Nacionales de México.
Foto	Fotografía.
Fracc.	Fraccionamiento.
IGF	Instituto de Geofísica.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
Kh	Conductividad hidráulica horizontal.
Km.	Kilómetro.
Kv	Conductividad hidráulica vertical.
M	Muestreado.
Msnm	Metros sobre el nivel del mar.
M2	Agua subterránea con cierto grado de mezcla.
N	Norte.

No.	Número.
N.E.	Nivel estático.
NOM	Norma Oficial Mexicana.
O.D.	Oxígeno disuelto.
OK	Agua subterránea normal.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PAB	Pozo de monitoreo de la CNA.
PEMEX	Petróleos Mexicanos.
PH	Potencial hidrógeno.
PN	Presa del Niágara.
Ppm	Partes por millón.
PUMA	Programa Universitario del Medio Ambiente.
R	Sustitución ramificada de un hidrocarburo.
RSP	Río San Pedro.
S	Sur.
SAHOP	Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Humanos.
SEG	Society of Exploration Geophysics.
SOP	Secretaría de Obras Públicas.
SSA	Secretaría de Salubridad y Asistencia.
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México.
US-EPA	United States – Environmental Protection Agency.
Vs	Versus.
W	Oeste.
WPCF	Water Pollution Control Federation.
X	Pico de compuesto orgánico que no corresponde a la Norma NOM-081, detectado en la zona de estudio uno.
Y	Pico de compuesto orgánico que no corresponde a la Norma NOM-081, detectado en la zona de estudio dos.
ZM	Zona de mezcla.

RESUMEN

El agua subterránea del valle de Aguascalientes representa la fuente principal de abastecimiento para esta Ciudad. La necesidad del agua ha llevado a la sobreexplotación de su acuífero a niveles de abatimiento que alcanzan actualmente los 4 m/año, lo que trae como consecuencia que sus capas del relleno aluvial, apoyadas sobre un graben de roca ignimbrítica, se asienten en algunas partes y provoquen fracturas. Estas fracturas presentan una dirección general Norte-Sur, similar a la dirección del gradiente hidráulico del agua subterránea del valle de Aguascalientes.

La afectabilidad del fracturamiento en los sistemas de saneamiento, además de provocar bajas eficiencias en el servicio (por fugas o rupturas de tuberías en la red de agua potable y alcantarillado), puede generar un proceso de transporte de diferentes tipos de contaminantes hacia el acuífero a una velocidad de migración muy superior a la normal.

Con el fin de determinar si existe interacción de las aguas superficiales residuales con las aguas subterráneas en el acuífero de esta Ciudad, se llevó a cabo un estudio hidrogeoquímico y bacteriológico en dos zonas localizadas al S-W y N-E de ella.

Los puntos determinantes en la selección de estas zonas fueron: la confluencia del arroyo de San Francisco y el río San Pedro al S-W, así como el relleno sanitario (basurero municipal) al N-E. En ambas zonas existen varias fracturas que potencialmente pueden conducir las aguas residuales o los lixiviados hacia el subsuelo.

La primera etapa del estudio consistió en una investigación de las características hidrogeológicas de la ciudad de Aguascalientes, continuando con la actualización de datos cartográficos de los sistemas de saneamiento, fuentes de contaminación, pozos y fracturas; todo esto, para realizar un inventario de las fuentes potenciales de contaminación del acuífero.

De esta investigación se encontró que las características hidrogeológicas de las dos zonas estudiadas son muy distintas entre ellas. La zona de estudio uno, S-W, presentó un acuífero granular en la mayor parte de sus pozos, con un escalón ignimbrítico de 90 m de profundidad sobre la pared Poniente del graben. La zona de estudio dos, N-E, presentó dos acuíferos, uno granular y el otro en medio fracturado, ambos divididos por la pared Oriente del graben, representada superficialmente por la falla Oriente de esta Ciudad.

El estudio se complementó con el muestreo y el análisis tanto de los cuerpos de agua superficiales (CAS) residuales y naturales, como de los pozos localizados en un radio de dos kilómetros de los puntos seleccionados; en total se muestrearon 5 CAS y 31 pozos.

En los CAS se determinó la concentración de iones mayores, mientras que en los pozos, además de los iones mayores, se determinaron los metales traza, los compuestos orgánicos y los análisis bacteriológicos.

Todos los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de química analítica del Instituto de Geología de la UNAM a excepción del correspondiente para compuestos orgánicos, el cual se realizó en el laboratorio de la empresa MICROECOL S.A. de C.V.

Durante la visita de campo se detectó en la zona S-W, un pozo con exceso de detergente (S63), y durante el muestreo se detectó otro al Sur de esta misma zona (S100A), ambos

pozos se muestrearon y se consideraron como puntos críticos para referenciar el agua contaminada de esta zona de estudio.

De los resultados obtenidos en los análisis, se realizó un estudio detallado de la concentración de iones mayores, en los cuales se aprecian tendencias en la comparación de diferentes parejas de iones que indican claramente la existencia de una interacción entre el agua superficial residual y el agua subterránea en la zona S-W.

Por su parte, en la zona N-E, no se detectó una influencia directa del agua residual en el acuífero, pero sí un alto riesgo de contaminación del agua subterránea por influencia conjunta del basurero municipal y la falla Oriente. La afirmación anterior se comprueba por el estudio de metales traza, en donde se observa el aumento de las concentraciones en los dos puntos señalados de mayor riesgo de contaminación del acuífero.

Para la determinación de compuestos orgánicos, se muestrearon cinco pozos (3 en la zona S-W y 2 en la N-E), observándose 7 picos de compuestos semivolátiles y 1 de volátiles, producto de desechos de la actividad industrial de esta Ciudad.

Por último, en el estudio bacteriológico se detectó prácticamente en toda el agua de los pozos muestreados, problemas con coliformes.

Los resultados obtenidos en los diferentes análisis realizados muestran que el acuífero de la ciudad de Aguascalientes es altamente vulnerable a la contaminación, ya sea por influencia del fracturamiento o por contaminación de áreas de recarga, motivo por el cual, se propone continuar con investigaciones más específicas de hidrogeología de contaminantes en este lugar, así como en lugares semejantes de la República Mexicana.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El Estado de Aguascalientes se encuentra en la porción central de la República Mexicana, colindando al Norte con el Estado de Zacatecas y al Sur con el de Jalisco, como se observa en la Fig. 1. Por su fisiografía, se localiza entre las provincias de la Sierra Madre Occidental al Poniente y de la Mesa Central al Oriente, como se aprecia en la Fig. 2.

En su hidrogeología, Aguascalientes cuenta con cinco acuíferos, a saber: acuíferos del Valle de Aguascalientes, Calvillo, El Venadero, El Chicalote y El Llano; de los cuales el primero es el más importante, ya que cruza la totalidad del Estado de Norte a Sur, llevando en su flujo el agua importada de Zacatecas y exportándola a Jalisco.

Respecto al uso del agua en el Estado, el principal es el agrícola con un excesivo 81%, mientras que el industrial tiene un 15% y el urbano un 14% (INEGI, 1996).

El agua subterránea es la única fuente de abastecimiento para la Ciudad, que cuenta en la actualidad con más de 600,000 habitantes, alrededor del 70% de la población total del Estado.

Las altas tasas de crecimiento poblacional y el desarrollo económico que ha tenido esta Ciudad en los últimos años, han ocasionado un incremento constante de la demanda de agua potable. La deficiencia en el servicio se ha calculado en cerca de 40,000 m³/día como se puede observar en la Gráfica 1, es decir, cerca del 30% de la población capitalina sufre carencias en el suministro de agua. Por todo lo anterior, se ha incrementado en forma excesiva el número de pozos profundos municipales en la Ciudad, que hasta el año de 1997 era de 136, como lo señala la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes (CAPAMA, 1997) y lo muestra la Gráfica 2.

En general, el acuífero del Valle está sobreexplotado en casi un 100%, ya que el balance hidráulico registra un déficit de 286 millones de metros cúbicos al año (Mm³/año), esto es, una recarga de 300 Mm³/año en contra de una demanda de 586 Mm³/año, de acuerdo con el reporte dado por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 1997). Esta sobreexplotación se manifiesta de diferentes maneras: 1) En el ritmo de abatimiento de los niveles piezométricos que es de hasta 4 m/año (Rdz. y Glz., 1996); y 2) En la generación de asentamientos diferenciales del terreno en varias zonas del relleno aluvial por variaciones volumétricas, las cuales aparecen en la superficie en forma de fracturas con una dirección general Norte-Sur (Lermo y Nieto, 1994); trayendo como consecuencia la posible contaminación del acuífero a través de ellas.

Existen evidencias de la aparición de fracturas en forma de grietas en gran parte de la Ciudad desde hace más de 20 años, incrementando su número en los últimos 4 años (CAPAMA, 1997). Estas fracturas han afectado la infraestructura municipal tal como vías de comunicación, líneas de alta tensión, casas habitación, instalaciones militares, escuelas, edificios públicos y privados, templos, parques públicos, terrenos y lotes urbanos, a tal grado que son consideradas como altamente riesgosas a la estabilidad de casas y edificios (Ags., Gobierno del Estado, 1994).

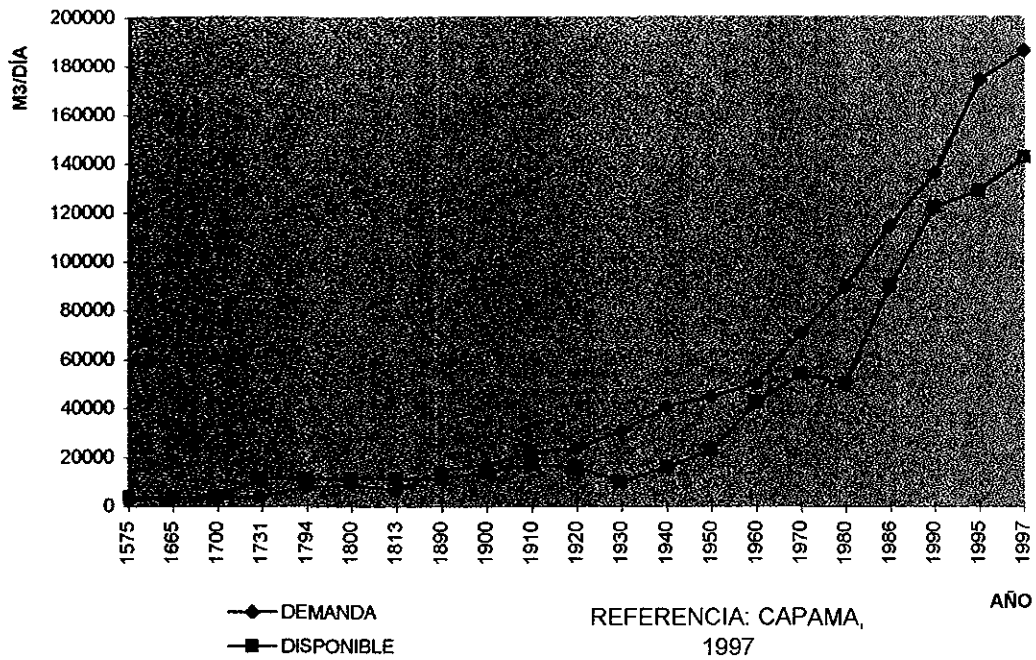
La presencia de grietas es en particular crítica ya que puede afectar también, a los sistemas de saneamiento, como son: los rellenos sanitarios, en los cuales puede provocar la migración de lixiviados hacia el acuífero, rupturas y fugas en la red de alcantarillado y cuerpos de drenaje superficial, red de agua potable y tanques de almacenamiento (de agua e hidrocarburos), así como en los conductos de PEMEX localizados al Oriente de la Ciudad.

La afectabilidad del fracturamiento en estos sistemas se comprueba con la baja eficiencia en el servicio de agua potable y alcantarillado debido a las fugas o rupturas de sus tuberías. Estas eficiencias llegan a tener hasta un 50% solamente de acuerdo con los datos proporcionados por la compañía Concesionaria de Agua de Aguascalientes S.A. de C.V. (CAASA de CV, 1996).

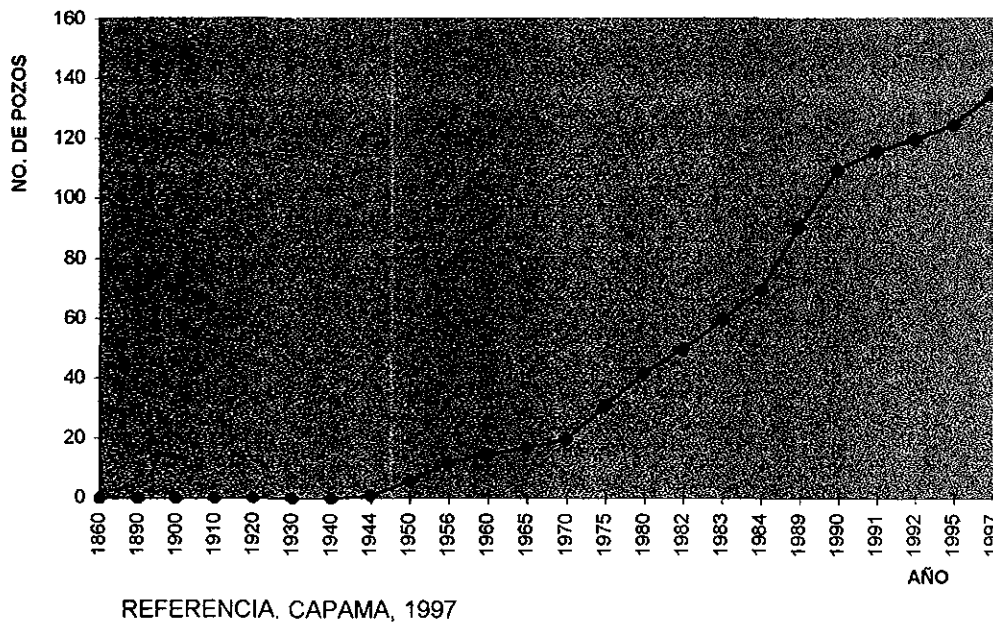
Sin embargo, la afectabilidad más importante consiste en la posible generación de un proceso de transporte de diferentes tipos de contaminantes hacia el acuífero, a una velocidad de migración muy superior a la que se presentaría si el terreno no estuviera fracturado. De esta manera nace un problema de reciente manifestación: **La contaminación del acuífero profundo.**

Por lo tanto, es importante evaluar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación por fuentes contaminantes superficiales que posiblemente inciden en él a través de varias causas. Sin embargo, por su magnitud, este problema debe ser abordado por diversas líneas de investigación. El presente estudio se basa en un análisis hidrogeoquímico que relaciona las características de una de las principales fuentes de contaminación, como es el agua residual, con las características del agua subterránea. Todo esto, para conocer su posible interacción y así llegar a conclusiones confiables de lo que ocurre en el acuífero de esta Ciudad.

Gráfica 1 Demandas, agua disponible y deficiencias en la Ciudad.



Gráfica 2 Evolución del número de pozos profundos municipales en la Ciudad.



1.2 ANTECEDENTES TÉCNICOS

En la actualidad, las investigaciones sobre la calidad del agua subterránea han logrado sustanciales avances en la detección de problemas relacionados con la contaminación de los acuíferos, especialmente en medios geológicos como los existentes en la ciudad de Aguascalientes, tanto granulares como fracturados.

Sudicky, Cherry y Frind, et al., 1983, han hecho estudios con iones principales como trazadores para determinar la dispersión de éstos en acuíferos granulares y/o fracturados a gradientes hidráulicos naturales, los cuales han tenido mucho éxito en la detección de contaminación antropogénica.

A partir de estas investigaciones realizadas en diversas partes de Canadá y Estados Unidos, Ortega G., M.A., et al., 1993, ha fomentado su aplicación práctica en México con estudios como el realizado en el acuífero lacustre de la ciudad de México, en el que determinó la migración de solutos a través de fracturas, también, con bastante éxito.

Durante mucho tiempo se pensó que el paquete arcilloso que conforma la cuenca de la ciudad de México, era impermeable y la migración de compuestos o solutos era nula; sin embargo, estudios hidrogeológicos sistemáticos en las arcillas lacustres de su valle, han demostrado que el flujo y la migración de solutos hacia el acuífero subyacente están controlados por la presencia e influencia de microfracturas (Rudolph, et al., 1991, Ortega, 1993).

La presencia e influencia de estas microfracturas se manifiestan con una alta permeabilidad (Vargas, 1995) y rápida respuesta hidráulica de las arcillas lacustres (Ramírez, 1995), por lo que se ha demostrado que dichas arcillas no representan una barrera perfecta a la migración de contaminantes hacia el acuífero.

Sposito, citado por Morgan en 1986, ha identificado los metales y metaloides provenientes de actividades antropogénicas que poseen cierto potencial de peligrosidad para el ambiente como son: cromo, cobre, zinc, plata, cadmio, estaño, antimonio, mercurio, plomo y bismuto; entre sus fuentes generadoras se puede citar a la industria química en sus ramas de: colorantes y pigmentos, galvanoplastia, curtido de pieles, fundiciones, fabricación de conductores y muy posiblemente se encuentren presentes en algunos herbicidas y fertilizantes.

En la actualidad, el uso excesivo de los compuestos químicos, especialmente los orgánicos, ha incrementado el espectro de contaminantes que son posibles de detectar en las descargas líquidas. Fetter (1993) menciona que los contaminantes detectados en las aguas subterráneas incluyen: orgánicos sintéticos, hidrocarburos, aromáticos, halogenados y oxigenados.

En el estudio de los mecanismos de transporte, estos compuestos migran principalmente debido a la fuerza gravitacional y llegan a formar lentes que abarcan grandes extensiones de los acuíferos flotando sobre el agua subterránea, por lo cual, se les denomina "floters" a los menos densos que el agua (NAPL's) y los más densos que el agua o DNAPL's se van al fondo de un acuífero sin disolverse (Noonan y Curtis, 1990).

El interés que muchos de estos contaminantes han presentado en los últimos años, se debe al riesgo que estos representan para la salud pública aún en bajas concentraciones (Figueroa y Pomares, 1982 y Bárcenas, 1990).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de las aguas residuales en el acuífero de la ciudad de Aguascalientes.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Conocer las características hidrogeológicas de la ciudad de Aguascalientes.
2. Identificar las zonas de riesgo de contaminación del acuífero.
3. Seleccionar dos zonas de estudio con base en el análisis de zonas de riesgo.
4. Identificar la interacción física, química y bacteriológica entre el agua superficial y subterránea.
 - a) Identificar los parámetros físicos del agua subterránea que permitan conocer su interacción con el agua superficial.
 - b) Caracterizar la composición química del agua tanto superficial como subterránea, para conocer su distribución espacial en las zonas estudiadas.
 - c) Determinar los índices de saturación del agua superficial y subterránea con respecto a diferentes fases minerales que puedan dar indicios de la mezcla entre las dos aguas.
 - d) Definir la interacción agua superficial y agua subterránea a partir de tendencias y relaciones entre compuestos químicos inorgánicos.
 - e) Evaluar la posible migración e impacto de compuestos orgánicos al acuífero.
 - f) Determinar la presencia de bacterias coliformes totales y fecales en el agua subterránea.
5. Elaborar un modelo hidrogeológico conceptual de las condiciones del acuífero de la ciudad de Aguascalientes.

1.3.3 Aportación

1. Obtención de un modelo hidrogeoquímico conceptual del acuífero de la ciudad de Aguascalientes con el fin de conocer las condiciones hidrogeoquímicas.
2. Concientizar a las dependencias encargadas de la conservación de los recursos hidráulicos.
3. Fomentar la investigación en el área de hidrogeología de contaminantes en este tipo de regiones.

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROGEOLOGICA

Para tener un conocimiento del área de estudio fue necesario la recopilación y el análisis de información geológica, litológica y de sus rasgos estructurales caracterizados por el intenso fracturamiento que afecta a esta Ciudad. Respecto a la hidrogeología fue necesario analizar los sistemas de flujo subterráneos y la piezometría en los pozos profundos de extracción de agua potable, con el fin de determinar las direcciones de flujo del agua subterránea. Por último, la cartografía de grietas y la localización de fuentes potenciales de contaminación llevó a conocer las zonas de riesgo de contaminación del acuífero.

2.2 SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

De acuerdo con el análisis de zonas de riesgo de contaminación del acuífero y con el de direcciones de flujo subterráneo, se seleccionaron las dos zonas de estudio de este trabajo. En ellas se aplicaron diferentes técnicas de muestreo y análisis con el fin de conocer la vulnerabilidad del acuífero, evaluando una de las fuentes de contaminación que posiblemente más impacta en el agua subterránea, como es el agua residual.

2.3 HIDROGEOQUÍMICA

2.3.1 Características del muestreo

Los grupos químicos de principal interés para este trabajo fueron los orgánicos e inorgánicos, obteniéndose muestras tanto de agua subterránea como superficial. Además, se realizó un muestreo para análisis bacteriológico buscando la presencia de coliformes totales y fecales.

Las muestras de agua subterránea se obtuvieron de los pozos profundos de extracción seleccionados de las zonas de estudio; mientras que las muestras de agua superficial se obtuvieron de puntos previamente seleccionados de ríos, arroyos y colectores de aguas residuales ubicados también, en las zonas estudiadas.

Todos los muestreos se llevaron a cabo simultáneamente, de acuerdo al calendario programado del 15 al 17 de Julio de 1997.

2.3.2 Muestreo del agua superficial

El muestreo se llevó a cabo en lugares seleccionados de acuerdo con el flujo, la profundidad del cauce y facilidad de maniobra. Buscando la representatividad de la

muestra, se trató de no realizarlo en la orilla de los cuerpos de agua superficiales (CAS) muestreados, ni superficialmente, ni en zonas de remanso.

Las botellas utilizadas, fueron de polietileno opaco de baja densidad con doble tapa de ½ litro de capacidad. El muestreo se realizó introduciendo mediante una vara de madera, la botella previamente lavada con la misma agua de muestreo, aproximadamente a un metro de profundidad (en donde se pudo) y procurando no remover los sedimentos ni causar turbulencias a la salida del recipiente. Se limitó además, la entrada de oxígeno que pudiera modificar las condiciones de óxido reducción del sistema, para posteriormente, envasar la muestra en la misma botella. Se introdujeron dos recipientes por muestra, uno para el análisis de aniones y el otro para el de cationes, al cual se le agregó ácido clorhídrico concentrado hasta alcanzar un pH de 2. En las dos botellas se evitó la formación de burbujas en el interior, se taparon con tapa de baquelita y se sellaron con parafilm para evitar cualquier conexión de las muestras con el exterior, almacenándose hasta su análisis a 4°C. Por último, las botellas se rotularon con plumón indeleble tanto en el cuerpo como en la tapa con su identificación previa, según los procedimientos indicados en el Standar Methods en su sección 1,060 para muestreo y conservación de muestras (AWWA, 1980).

2.3.3 Muestreo del agua subterránea

Para el muestreo del agua subterránea se recurrió a los pozos profundos de extracción, localizados en las zonas de estudio, operados por el Municipio en la Ciudad (conectados a la red de agua potable) u operados por particulares (ubicados en ranchos o ejidos).

La selección de los pozos a muestrear se hizo de acuerdo a su ubicación con respecto a alguna posible fuente contaminante, a su funcionamiento normal y a su ubicación referida al flujo subterráneo.

El muestreo del agua subterránea se realizó para determinar los siguientes parámetros en campo: temperatura, conductividad eléctrica (C.E.), pH, alcalinidad y oxígeno disuelto (O.D.); así como para efectuar el posterior análisis en el laboratorio de: iones mayores, metales traza, compuestos orgánicos y bacteriológicos.

La toma de muestras se realizó a la salida del flujo del pozo de extracción a toma directa, antes del sistema de desinfección que tienen la mayoría de ellos. Además, se captó la muestra en un matraz Kitasato de 1 litro de capacidad, previamente enjuagado con agua de muestreo, para la medición de los parámetros en campo mencionados.

A) Parámetros de campo

En este tipo de trabajo se busca que las mediciones que se realizan en forma inmediata en campo, sean indicativas de las condiciones originales a las que el agua se encuentra en el subsuelo. Las soluciones patrón utilizadas para la calibración de los aparatos, se mantuvieron a la misma temperatura del agua a la descarga del pozo, con lo que se logró una mayor exactitud en las mediciones.

Los parámetros se determinaron de la siguiente manera: el oxígeno disuelto (O.D.) con un electrodo de campo, calibrado y compensado de acuerdo a la temperatura y a la altitud del sitio de muestreo.

El pH, la conductividad eléctrica (C.E.) y la temperatura, se midieron con un aparato marca Conductrónico modelo PC18, calibrado en campo con buffers de 7 y 10 para el pH y una solución de concentración conocida de KCl para la C.E.

Para la obtención de la Alcalinidad, se empleó la técnica estándar de titulación con ácido clorhídrico al 1 N, utilizando alícuotas de 25 ml filtradas mediante un filtro de 0.45 micrómetros de acetato de celulosa; esta técnica es la de titulación colorimétrica en función del amarillo de metilo, la cual se realizó con una bureta portátil, utilizando como indicador verde de bromocresol. Para el cálculo posterior se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Alcalinidad Total (mg/l de CaCO}_3\text{)} = \text{ml de HCl} \times \text{N} \times 50000 / \text{ml de muestra}$$

donde: N = Normalidad

B) Iones mayores y metales traza

Las muestras para la determinación de aniones se filtraron en campo utilizando jeringas de polietileno de 30 ml y una membrana de acetato de celulosa de 0.45 micrómetros, llenando las botellas de polietileno de ½ litro de capacidad.

Las muestras para determinar cationes y metales traza, además de filtrarse en campo, se acidificaron (bajando el pH a 2) con ácido clorhídrico de alta pureza (para evitar precipitación y adsorción de elementos en las paredes de la botella) realizándose los mismos pasos que en el muestreo superficial, como se observa en las Tablas 1 y 2.

C) Compuestos orgánicos

Debido a la imposibilidad de realizar análisis del agua de todos los pozos seleccionados, se realizó otra selección de 5 pozos, de acuerdo al mayor riego de contaminación por sus cercanía a fuentes de contaminación.

La muestra se tomó a la salida del pozo en frascos de vidrio opaco de 1 litro de capacidad sin conservador, evitando los espacios de aire y sellando una doble tapa con tela de teflón y fibra de vidrio, para posteriormente etiquetarlo. El almacenamiento se efectuó a una temperatura de 4°C, con forme a la sección 1,060 del Standard Methods (AWWA, 1980), como se muestra en la Tabla 3.

Es importante destacar que el muestreo del agua subterránea se realizó a la salida de los pozos de extracción sin posibilidad de eliminar la turbulencia con la que el agua sale del mismo (según bitácora de campo), por lo que se espera que la concentración real de los compuestos volátiles sea mayor a la obtenida en el laboratorio.

D) Bacterias coliformes totales y fecales

El muestreo para análisis bacteriológico se efectuó tratando de que la toma de muestra fuese directa al frasco, buscando no contaminarla. Para esto, se esterilizó mediante una flama en algodón con alcohol, aplicada a la superficie de la tubería en contacto con el agua de muestreo y el aire alrededor del mismo.

La muestra se almacenó en frascos de vidrio opaco esterilizados de ½ litro de capacidad, destapados con mucho cuidado de no contaminar el tapón y la boca, para lo cual se utilizaron guantes también esterilizados en la realización de este muestreo. Durante el llenado se dejó un espacio de aire para facilitar el mezclado de la muestra por agitación.

Posteriormente se selló la tapa con tela de teflón y fibra de vidrio, finalizando esta tarea, se etiquetó y almacenó el frasco.

Las muestras se almacenaron 24 horas a 4°C desde la toma en campo hasta su análisis en laboratorio, previendo realizar el análisis dentro de las 30 horas posteriores al muestreo, de acuerdo con el Standar Methods (AWWA, 1980), como se muestra en la Tabla 4.

2.3.4 Análisis químicos y bacteriológicos

Tan pronto como fue posible, se ingresaron las muestras a los laboratorios para realizar sus análisis. Al laboratorio de química analítica del Instituto de Geología de la UNAM se ingresaron las muestras para la realización de análisis bacteriológicos, iones mayores (aniones y cationes) y metales. Mientras que al laboratorio de la Empresa MICROECOL S.A. de C.V. se ingresaron las muestras para determinar compuestos orgánicos. Las fechas de los muestreos y análisis se señalan abajo de las Tablas de la 1 a la 4.

A) Determinación de iones mayores y metales traza

En la determinación de iones mayores se analizaron los siguientes elementos, para aniones: cloruro (Cl^-), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y sulfato (SO_4^{2-}); para cationes: calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^+) y potasio (K^+).

Mientras que para la determinación de metales se analizaron los siguientes: hierro (Fe^{++}), cobre (Cu^{++}), manganeso (Mn^{++}), zinc (Zn^{++}), plomo (Pb^{++}), cromo (Cr^{++}), cobalto (Co^{++}), níquel (Ni^{++}) y cadmio (Cd^{++}).

En el laboratorio, la determinación de aniones se hizo mediante los métodos tradicionales de colorimetría según las técnicas descritas en el Standar Methods (AWWA, 1980), como el de titulación con H_2SO_4 para CO_3^{2-} y HCO_3^- , realizando a manera de control un mínimo de tres repeticiones.

Los cationes Ca^{++} y Mg^{++} se obtuvieron por vía húmeda mediante titulación con EDTA, siendo verificados con absorción atómica; mientras que el Na^+ y el K^+ fueron analizados por la misma técnica instrumental de espectrometría de absorción atómica y verificados por flamometría, al igual que los metales traza, según técnicas descritas en el Standar Methods (AWWA, 1980) y referidas en la Tabla 1 y Tabla 2.

B) Determinación de compuestos orgánicos

Para el análisis de compuestos orgánicos se aplicó un barrido cromatográfico en el laboratorio de la empresa MICROECOL S.A. de C.V. analizándose todos los compuestos orgánicos posibles, volátiles y semivolátiles, bajo las indicaciones de la técnica acoplada de Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas (CG/EM) de la US-EPA 8260 y 8270, como lo señala la Tabla 3.

La técnica CG/EM está limitada a dar a conocer los compuestos con mayor afinidad a los encontrados en la biblioteca de espectros que posee el equipo y la combinación entre tiempo y picos, por lo cual, debe entenderse que los compuestos reportados sólo son los

más probables; pero trabajando independientemente de la biblioteca de Norma se pueden encontrar otros tipos de compuestos orgánicos.

C) Análisis bacteriológicos

Para los análisis bacteriológicos se utilizó la técnica descrita en el Standar Methods (AWWA, 1980) de tubos múltiples de fermentación para determinar la presencia del grupo coliforme (coliformes totales) mediante las pruebas presuntiva y confirmativa, obteniendo el número más probable por cada 100 ml de muestra (nmp/100 ml). De la misma forma, se determinó la presencia de bacterias coliformes fecales mediante las pruebas presuntiva, confirmativa y complementaria, también obteniendo el nmp/100 ml, como se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 1 Determinación de iones principales.

PARAMETRO	TIPO DE AGUA	ENVASADO	TÉCNICA	CONSERVACIÓN	LUGAR
ANIONES	SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	POLIETILENO FILTRADO	US-EPA 300.0	4°C 28 DÍAS	INSTITUTO DE GEOLOGÍA
CACIONES	SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	POLIETILENO FILTRADO HCl conc.	US-EPA 74 US-EPA 6010	4°C 6 MESES	INSTITUTO DE GEOLOGÍA

Fecha de muestreo.- Del 15 al 17 de Julio de 1997.

Fecha de análisis.- Del 9 al 12 de Agosto de 1997.

Tabla 2 Determinación de metales traza.

PARAMETRO	TIPO DE AGUA	ENVASADO	TÉCNICA	CONSERVACIÓN	LUGAR
METALES	SUBTERRÁNEA	POLIETILENO FILTRADO HCL conc.	US-EPA 6010	4°C 6 MESES	INSTITUTO DE GEOLOGÍA

Fecha de muestreo.- Del 15 al 17 de Julio de 1997.

Fecha de análisis.- Del 9 al 12 de Agosto de 1997.

Tabla 3 Determinación de compuestos orgánicos.

PARAMETRO	TIPO DE AGUA	ENVASADO	TÉCNICA	CONSERVACIÓN	LUGAR
COMPUESTOS ORGÁNICOS (todos los posibles)	SUBTERRÁNEA	VIDRIO TEFLÓN FIBRA DE VIDRIO	US-EPA 8260 Y 8270	4°C 28 DÍAS	EMPRESA MICROECOL S.A. de C.V.

Fecha de muestreo.- Del 15 al 17 de Julio de 1997.

Fecha de análisis.- Del 23 al 28 de Julio de 1997.

Tabla 4 Determinación de análisis bacteriológicos.

PARAMETRO	TIPO DE AGUA	ENVASADO	TECNICA	CONSERVACION	LUGAR
COLIFORMES TOTALES	SUBTERRANEA	VIDRIO TEFLÓN FIBRA DE VIDRIO	nmp/100 ml con: TUBOS MÚLTIPLES DE FERMENTACIÓN pruebas: presuntiva y confirmativa	4°C 30 HRS.	INSTITUTO DE GEOLOGÍA
COLIFORMES FECALES	SUBTERRANEA	VIDRIO TEFLÓN FIBRA DE VIDRIO	nmp/100 ml con: TUBOS MÚLTIPLES DE FERMENTACIÓN pruebas: presuntiva, confirmativa y complementaria	4°C 30 HRS.	INSTITUTO DE GEOLOGÍA

Fecha de muestreo.- Del 15 al 17 de Julio de 1997.

Fecha de análisis.- Del 16 al 18 de Julio de 1997.

2.4 INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS

Las acciones de conceptualización y cálculo, se realizaron sobre los datos compilados y generados, con el fin de cumplir con los objetivos específicos de este trabajo. El manejo de la información consistió en las siguientes acciones:

- a) Control de los resultados de los laboratorios.
- b) Correlación de parámetros de campo con el medio físico superficial y subterráneo a través de figuras de isoconcentraciones (configuraciones).
- c) Estudio de los iones mayores del agua superficial y subterránea por medio de las siguientes acciones:
 - Análisis del balance iónico.
 - Determinación de los índices de saturación del agua superficial y subterránea con respecto a diferentes fases minerales, alimentando al programa MINTEQA2 con los datos físicos y químicos obtenidos.
 - Conocimiento de la composición del agua mediante diagramas de Stiff.
 - Conocimiento de la distribución espacial mediante figuras de isoconcentración (configuraciones) en las dos zonas de estudio.
 - Estudio de la influencia del agua residual en el agua subterránea utilizando iones principales como trazadores en gráficas comparativas.
- d) Estudio de los metales traza en el agua subterránea a través de los siguientes puntos:
 - Análisis de la composición química por medio de una comparación de las concentraciones obtenidas contra las Normas más importantes que rigen de calidad del agua.
 - Conocimiento de la distribución espacial mediante figuras de isoconcentraciones (configuraciones).
 - Estudio de la tendencia del agua subterránea utilizando metales como trazadores en gráficas comparativas de pares iónicos.
- e) Detección de compuestos orgánicos en el acuífero.

- f) Detección de la presencia de bacterias coliformes totales y fecales en el agua subterránea.
 - Determinación de oxígeno disuelto (O.D.) en el agua subterránea.
 - Relación de pozos estudiados que cuentan con sistemas de desinfección.
- g) Elaboración de una descripción general de la problemática existente en el acuífero de la ciudad de Aguascalientes, mediante un modelo conceptual hidrogeoquímico.
- h) Elaboración de conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos, para dar una solución factible a la problemática detectada.

CAPÍTULO 3 HIDROGEOLOGÍA

3.1 GEOLOGÍA

Dentro de la geología regional, la de Aguascalientes se encuentra situada sobre un relleno aluvial de origen vulcano clástico sedimentario, conformado por conglomerados y material fino, alta y medianamente compactos. Este relleno, a su vez, sobreyace un depósito volcánico, conformado por ignimbritas y tobas, que se encuentra sobre las rocas más antiguas del valle denominadas como complejo basal, constituido principalmente por rocas metamórficas. En el depósito ignimbrítico se identifica la presencia de un graben, en el que se encuentra el relleno aluvial que forma el acuífero del Valle de Aguascalientes (Lermo y Nieto, 1994).

3.1.1 Estratigrafía local

La Ciudad, así como el área circunvecina de Aguascalientes se encuentra ubicada sobre los sedimentos Aluviales, rocas volcánicas y piroclásticas Terciarias y Cuaternarias, afectadas por fallamientos normales asociados al desarrollo del graben de Aguascalientes (Lermo y Nieto, 1994).

El área urbana de la ciudad de Aguascalientes traslapa el límite Oriente del graben, a este límite se le conoce como la falla Oriente de Aguascalientes. Esta falla separa burdamente los lomeríos del bloque Oriente del graben de la región sensiblemente más plana del valle, donde se localiza la mayor parte del área urbana.

Dentro de la estratigrafía local se encuentran las siguientes secuencias de la más antigua a la más reciente, representadas en la Fig. 3 por la columna estratigráfica local hecha por la empresa ETEISA de CV en 1990.

A) Complejo basal (Ba).

Unidad consistente de rocas sedimentarias e ígneas (volcánicas e intrusivas), a veces metamorfizadas al grado de los esquistos verdes, y cuyas edades son Mesozóicas en el rango del Jurásico al Cretácico. Este paquete rocoso se puede considerar como basamento, de ahí su nombre (Velasco Hernández, 1989).

B) Paquete ignimbrítico (Ign).

Es la unidad estratigráfica más antigua presente en esta área (referida por Hernández Láscars, 1979, como riolita Ojocaliente), representada por los pequeños afloramientos situados alrededor de la loma donde se ubica el balneario Ojocaliente.

El espesor de esta unidad en la vecindad del balneario alcanza más de 300 m.

La brecha volcánica descrita en el estudio de ETEISA en 1990, se incluye en este paquete ya que es de carácter local y con pocos afloramientos.

Este paquete rocoso no se considera como basamento ya que está muy fracturado, por lo que presenta flujo de agua subterránea.

C) Toba Zoyatal (Tz).

Decansa discordantemente sobre el paquete ignimbrítico una secuencia de sedimentos clásticos aluviales, fluviales y de piedemonte, intercalados con un aparente paquete grueso de tobas de caída, de composición riolítica (Hdez. Láscars, 1979).

D) Toba Aguascalientes (Ta).

Esta unidad consiste en sedimentos clásticos aluviales, mediana a pobremente consolidados, intercalados con éstos, se presenta un horizonte de tobas con textura vitroclástica, cuyos minerales esenciales son cuarzo, feldespato potásico, oligoclasa, fragmentos líticos y espículas de vidrio. La composición de esta roca es riolítica como se deduce de los análisis químicos reportados por Hernández Láscars en 1979.

En el afloramiento, la roca presenta una coloración café grisácea o cremosa, según su superficie. La matriz presenta cementante secundario de carbonato de calcio que ETEISA llamó Conglomerado aluvial del Terciario (Cg), posiblemente relacionado al mismo proceso que depositó el caliche sobre los aluviones cuaternarios.

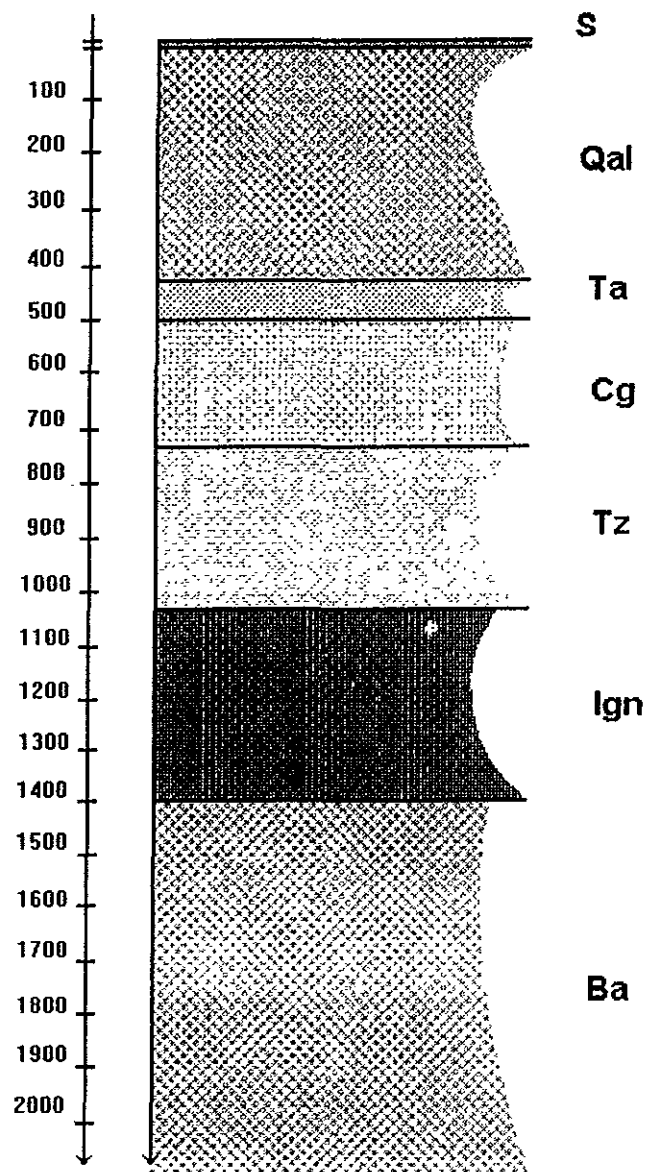
E) Relleno de aluviones (Qal).

Esta unidad es la más ampliamente extendida en el área y muy posiblemente esté interestratificada con la toba Aguascalientes; consiste de los productos aluviales y depósitos de piedemonte que rellenan la porción central del graben. Su espesor total no se conoce pero en el centro del valle, los espesores sumados de esta unidad y de la tobas Zoyatal y Aguascalientes, rebasan en algunos casos los 400 m (ETEISA, 1990).

F) Suelos y caliche (S).

En los flancos del Valle, sobre todo donde el terreno es más impermeable, es frecuente encontrar el desarrollo de caliche en forma de costras que en algunos casos pueden llegar a más de 10 cm.

El desarrollo de suelo, sin embargo, es bastante bueno en el centro del graben, lo cual está bien ejemplificado por los abundantes cultivos (Lermo y Nieto, 1994).



NOMENCLATURA

S = SUELO Y CALICHE

Qal = DEPÓSITOS ALUVIALES DEL CUATERNARIO

Ta = TOBA AGUASCALIENTES

Cg = CONGLOMERADO ALUVIAL DEL TERCIRIO

Tz = TOBA ZOYATAL

Ign = IGNIMBRITA

Ba = COMPLEJO BASAL

ESCALA 1: 8000

SEPARACIÓN: 100 m

REFERENCIAS

ETEISA, 1990

UCCyL-SOP, 1994

Fig. 3 Columna estratigráfica local.

3.1.2 Litología

Es importante conocer las heterogeneidades litológicas que permitan comprender las características de la hidrogeología imperante en esta región; para esto, se hicieron cortes con la correlación de información litológica encontrada al perforar los pozos de extracción (Calvillo y Berumen, 1994). Estos cortes tanto en la dirección Este-Oeste como en la Sur-Norte son señalados en la Fig. 4 y mostrados en las Figuras 5, 6, 7 y 8.

Como se puede observar, los cortes 1-1' de la FIG 5 y 2-2' de la Fig. 6, muestran el graben geológico localizado debajo de la Ciudad y que delimita los acuíferos existentes en ella. Estos acuíferos son: a) el del Valle de Aguascalientes, de material granular y de tipo libre, que se encuentra en el graben, y b) los acuíferos en medios fracturados que se encuentran en la toba y en la roca ígnea (ignimbrita) al lado Oriente y al lado Poniente de la Ciudad; llamados del Ojocaliente y Morelos en la zona Oriente y de Los Arquitos en la zona Poniente.

También se observa la pared Oriente del graben, la cual se puede apreciar en la superficie a través de la falla del mismo nombre que señala el límite superficial de un acuífero y otro.

Del otro lado, la pared Poniente del graben no es el río San Pedro, como durante algún tiempo se pensó, pero este río señala un escalón, el cual continúa hacia el Poniente reduciendo su profundidad de 90 a 70 m. La falla superficial que señala la pared Poniente del graben, se encuentra en esa dirección pasando el pozo de los Arquitos.

Al relleno aluvial, le subyacen secuencias de tobas e ignimbritas intercaladas con gravas y arenas hasta llegar al complejo basal que muy posiblemente sea el basamento del acuífero; todas estas características se observan también en los perfiles de los cortes A-A' y B-B' de las Figuras 7 y 8, que muestran las secuencias litológicas en su dirección Sur-Norte.

3.1.3 Principales rasgos estructurales

Desde el punto de vista estructural, los rasgos más importantes del área, lo constituyen las dos fallas maestras a los lados del graben de Aguascalientes, estas fallas controlan el aspecto geomorfológico del Valle, y separan las sierras y lomeríos de los bloques levantados a ambos lados del graben, de una región de topografía sensiblemente más plana en el Centro del mismo. La expresión geomorfológica de ambas fallas se ha reconocido desde hace mucho tiempo y sus trazas se pueden mapear desde Zacatecas hasta Jalisco, cruzando todo el Estado.

De estas dos fallas, la más importante por su actividad sísmica reciente es la falla Oriente de Aguascalientes de orientación N-S. Paralelamente a esta falla se han desarrollado otras fracturas, algunas veces con desplazamientos verticales importantes y afectando a las construcciones y avenidas por las que atraviesan. El rumbo de estas fallas es sensiblemente N-S y en la mayoría de los casos el bloque de deslizamiento (escarpe) está orientado al Poniente, como se muestra en la Fig. 4 (Lermo y Nieto, 1994).

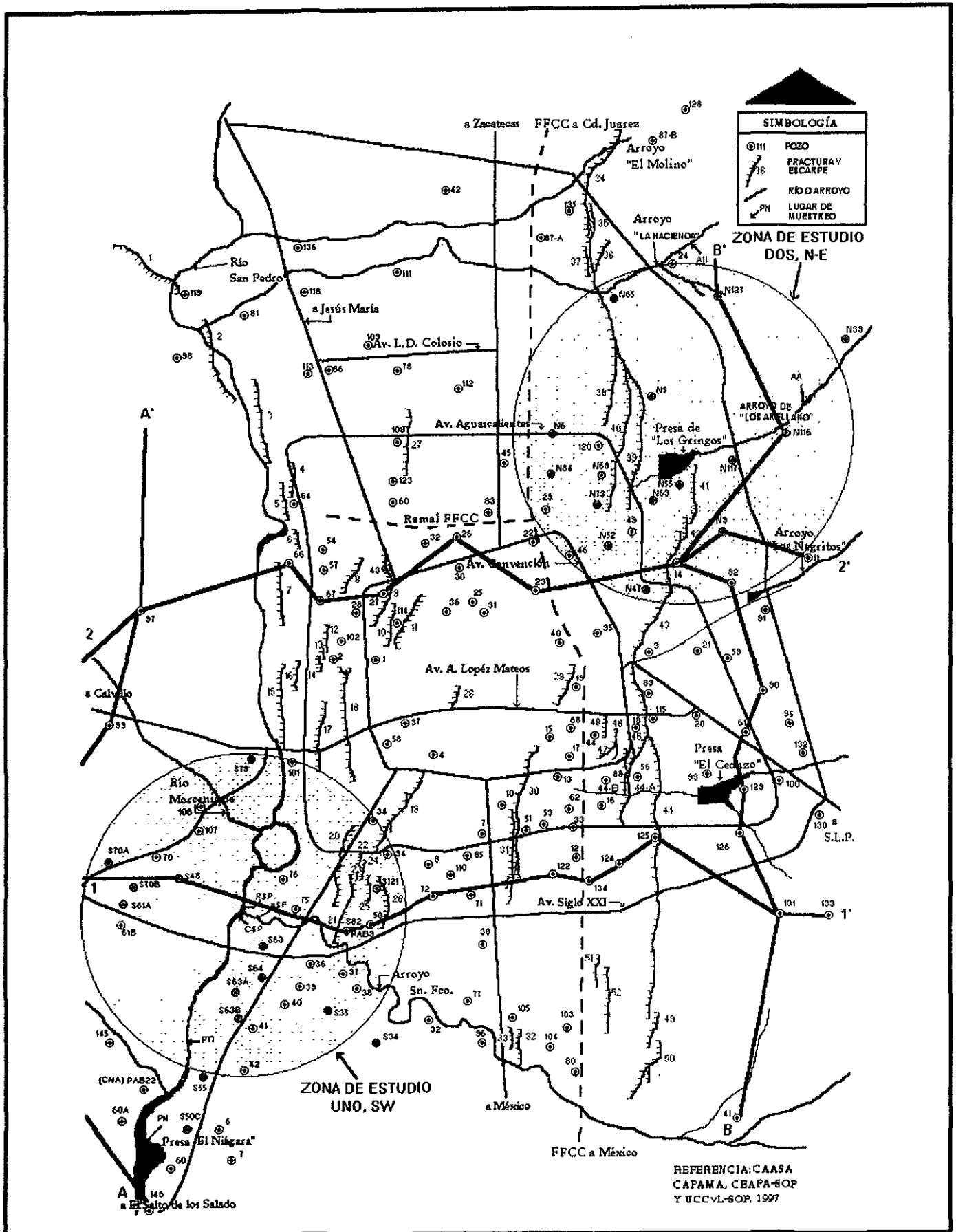


Fig. 4 Localización de zonas de estudio.

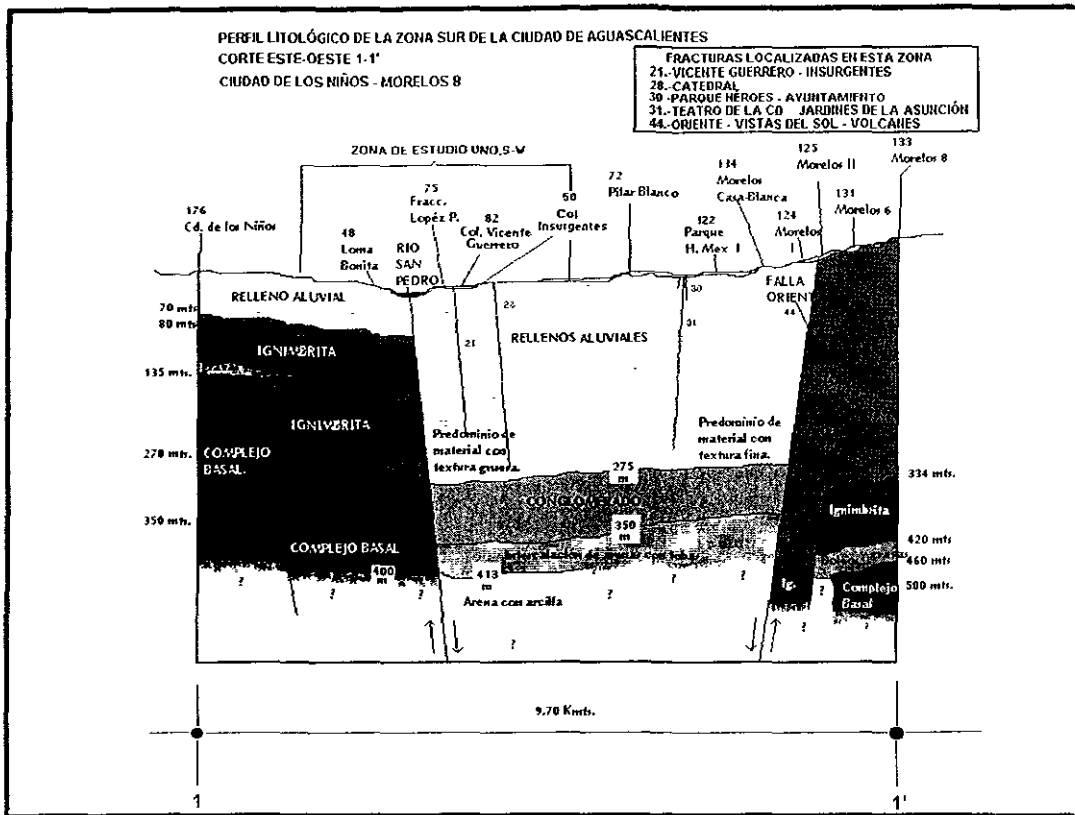


Fig. 5 Perfil litológico del corte 1-1' hecho en la zona Sur de la ciudad de Aguascalientes, trazado en la Fig. 4.

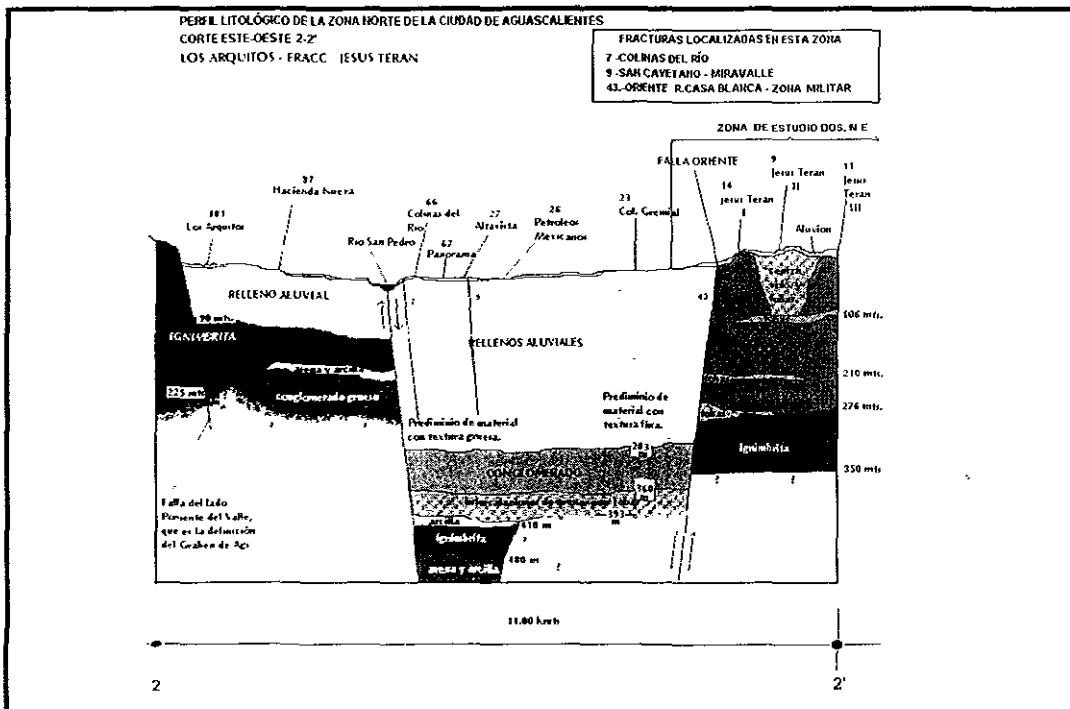


Fig. 6 Perfil litológico del corte 2-2' hecho en la zona Norte de la ciudad de Aguascalientes, trazado en la Fig. 4.

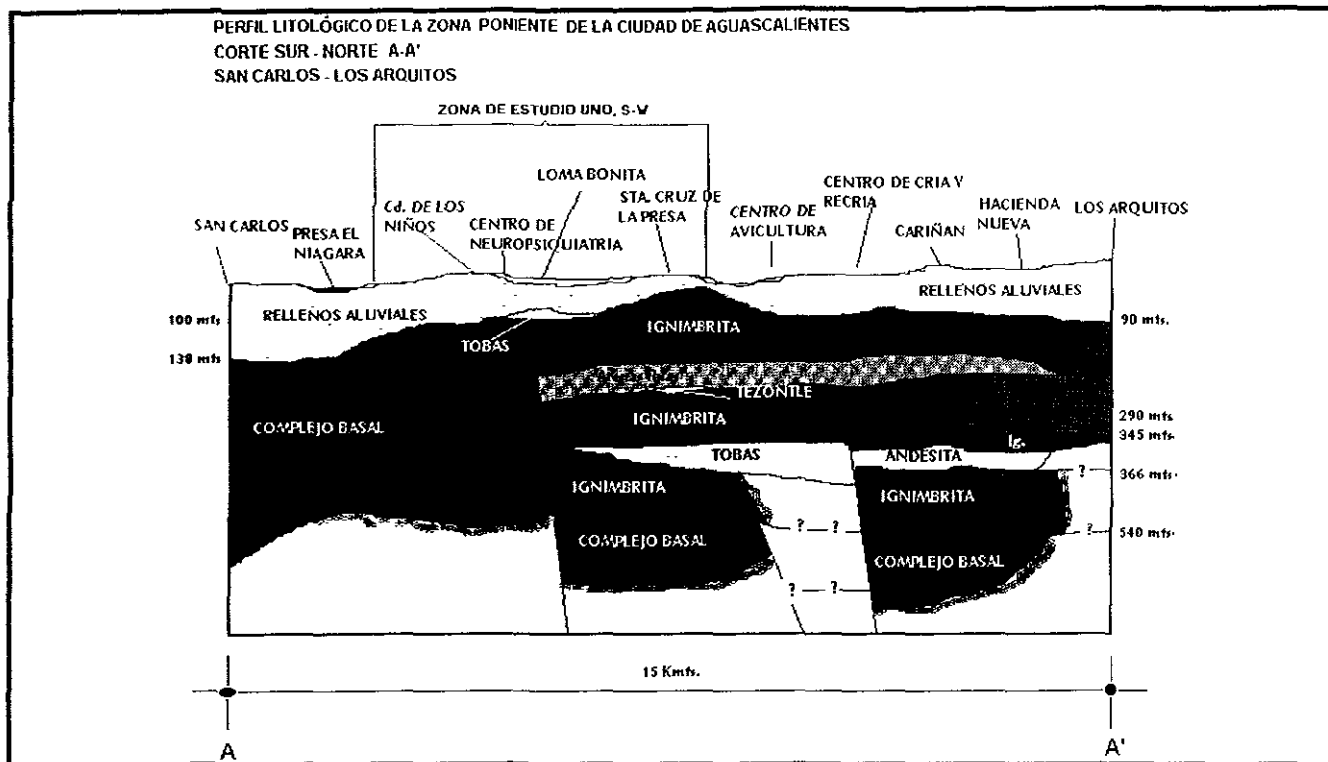


Fig. 7 Perfil litológico del corte A-A' hecho en la zona Poniente de la ciudad de Aguascalientes, trazado en la Fig. 4.

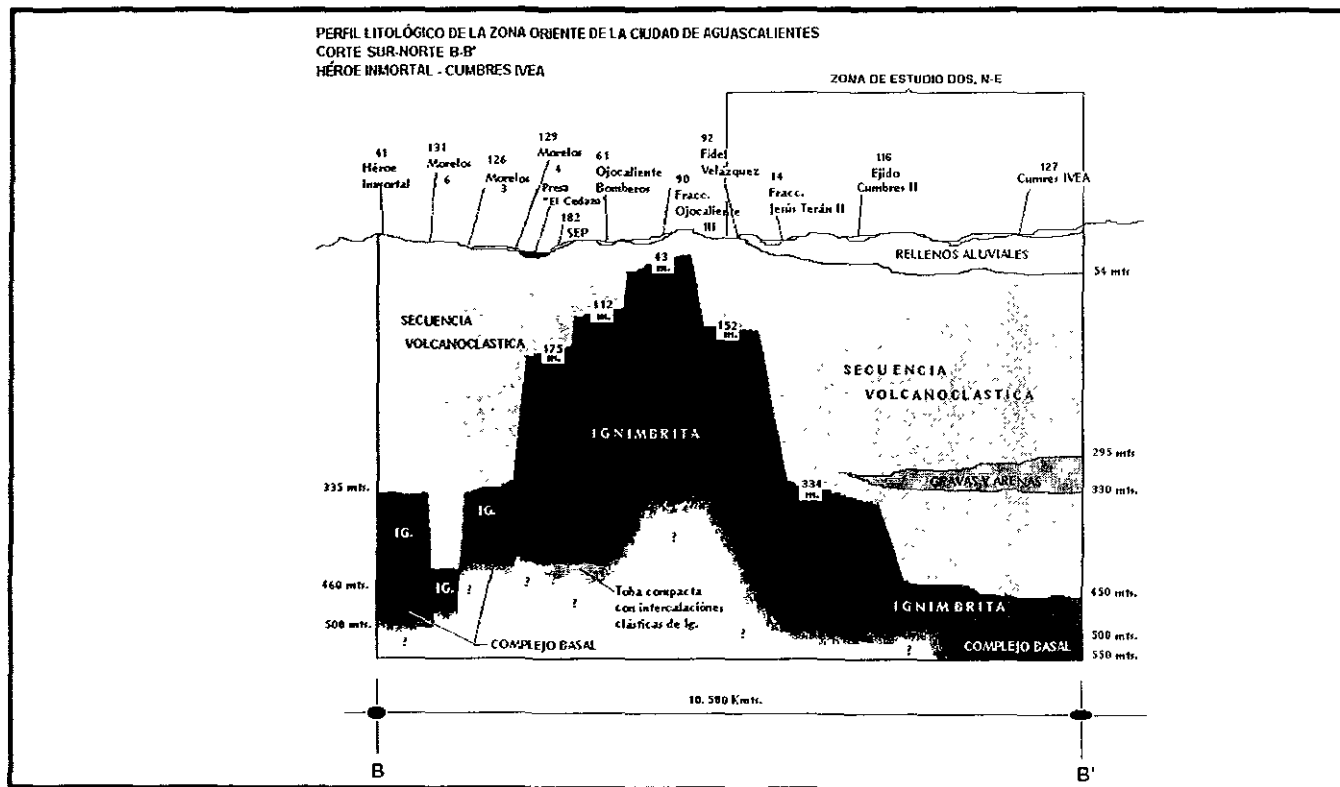


Fig. 8 Perfil litológico del corte B-B' hecho en la zona Oriente de la ciudad de Aguascalientes, trazado en la Fig. 4.

3.1.3.1 Fracturamiento

Dentro de la ciudad de Aguascalientes se encuentran cerca de 60 fracturas con una marcada dirección Norte-Sur, enumeradas en la Tabla 5 y visualizadas en la Fig. 4. La gran falla localizada al Oriente señala el límite del graben sobre el cual se desplanta la Ciudad. Esta falla, funciona como una pared permeable que divide a los acuíferos existentes en el medio fracturado de la zona Oriente (acuíferos del Ojocaliente y Morelos) del acuífero del Valle, que conforma el relleno aluvial que cubre al graben. Además del fracturamiento, en la Fig. 4 se señala la *dirección del escarpe*, donde se observa que en la mayoría de los casos, el bloque caído está situado hacia el Poniente.

En general, las fallas señaladas se encuentran en el relleno aluvial, sin embargo, el fracturamiento interno que ocurre en la ignimbrita, permite el flujo y la extracción del agua subterránea en las zonas localizadas fuera del graben.

Tabla 5 Fracturas localizadas en la ciudad de Aguascalientes.

NUM.	NOMBRE	ZONA
1	LA HERRADURA	PONIENTE
2	VERGELES	"
3	CAMPESTRE	"
4	PRIMO VERDAD	"
5	LOS SAUCES NORTE	"
6	LOS SAUCES SUR	"
7	COLINAS DEL RÍO	"
8	OLIVARES SANTANA - SAN CAYETANO	"
9	SAN CAYETANO - MIRAVALLE	"
10	ALTAVISTA	"
11	LOS ÁNGELES - CIRCUNVALACIÓN NTE.	"
12	MODERNO OTE.	S-W
13	MODERNO CENTRAL	S-W
14	MODERNO PTE.	S-W
15	DEL VALLE - SAN MARCOS (CBTIS)	S-W
16	SAN MARCOS	S-W
17	DEL VALLE	S-W
18	ESPAÑA - SAN MARCOS	S-W
19	VERSALLES - SANTA ELENA	S-W
20	UPN - ESPAÑA	S-W
21	VICENTE GUERRERO - INSURGENTES	S-W
22	VERSALLES II	S-W
23	TEMPLO VERSALLES PTE.	S-W
24	TEMPLO VERSALLES OTE.	S-W
25	INSURGENTES - VERSALLES	S-W
26	VILLAS DEL PILAR - INSURGENTES	S-W
27	PULGAS PANDAS	CENTRO
28	CATEDRAL	"
29	LA PURÍSIMA	"
30	PARQUE HÉROES - AYUNTAMIENTO	"
31	TEATRO DE LA CD. - JARDINES DE LA ASUNCIÓN	"
32	UNIVERSIDAD BONATERRA OTE.	"
33	UNIVERSIDAD BONATERRA PTE.	"
34	ORIENTE NORTE	ORIENTE N-E
35	ORIENTE - 3er ANILLO	N-E
36	ORIENTE - LODOS	N-E
37	ORIENTE - POZO BRAVO	N-E
38	ORIENTE - INSTITUTO CUMBRES	N-E
39	ORIENTE - PARQUE MÉXICO	N-E
40	ORIENTE - LA ESTRELLA	N-E
41	ORIENTE - ZONA MILITAR I	N-E
42	ORIENTE - ZONA MILITAR II	N-E
43	ORIENTE - R. CASA BLANCA - ZONA MILITAR	N-E
44-A	RAMIFICACIÓN PRIMO VERDAD	ORIENTE
44-B	ESCALONAMIENTO - PRIMO VERDAD	"
44	ORIENTE VISTA DEL SOL - VOLCANES	"
45	RAMIFICACIÓN - 44-A	"
46	JESÚS TERÁN - JARDINES DE LA CRUZ	"
47	RAMIFICACIÓN 46 - JESÚS TERÁN	"
48	EUCALIPTO	"
49	RANCHO CASA BLANCA (S)	"
50	CAMINO A LAS VIOLETAS - R. CASA BLANCA	"
51	GRANJAS PTE.	"
52	GRANJAS OTE.	"

NOTA: S-W indica que la fractura se localiza en la zona de estudio uno, S-W Censo realizado del 1o de Junio al 10 de Julio de 1997.
N-E indica que la fractura se localiza en la zona de estudio dos, N-E.

3.2 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

3.2.1 Flujo del agua subterránea

El flujo del agua subterránea en la ciudad de Aguascalientes ha sido estudiado en varias ocasiones por las diferentes dependencias del Estado. La Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado de la Secretaría de Obras Públicas (CEAPA-SOP, 1997) reconoce tres acuíferos en la Ciudad, ya que además del "acuífero del Valle", consideran la existencia del "acuífero del Ojocaliente" y el "acuífero Morelos". Estos dos acuíferos son separados del primero, por una barrera permeable que representa el lado Oriente del graben, señalado superficialmente por la falla Oriente cambiando las características litológicas de una zona a otra. Cabe señalar que estos dos últimos acuíferos, se separan entre sí exactamente en la presa del Cedazo y el flujo en ellos se realiza por medio del intenso fracturamiento que afecta a las rocas ígneas extrusivas de esta zona de la Ciudad (CEAPA-SOP, 1997).

El flujo del agua subterránea se ha interpretado como de tipo local - regional con una dirección del gradiente hidráulico N-S, conduciendo el agua desde Zacatecas al Norte hasta Jalisco al Sur. Localizándose en las partes altas del estado las diferentes zonas de recarga (CNA, 1987).

Sin embargo, investigaciones recientes del Instituto de Geofísica de la UNAM en 1996, realizadas por Joel Carrillo, señalan la existencia de tres sistemas de flujo de acuerdo con la distribución espacial de las zonas de recarga y descarga, y su relación con las variaciones topográficas del medio geológico que utilizó Tóth en 1963.

Además señala que los patrones de flujo subterráneo están controlados por la configuración del nivel freático y por la distribución de las conductividades hidráulicas del medio geológico, afirmando que la posición del nivel freático es una función de la topografía. De acuerdo con la distribución de la topografía del Estado y sus alrededores, se espera la presencia de varios sistemas de flujo subterráneos regionales de tipo tridimensional (Carrillo, 1996).

A) Sistema de flujo regional

Las altitudes de 2,200 a 2,300 msnm de la Sierra Fria, constituyen las zonas de recarga de un importante sistema de flujo regional. La topografía de la Sierra fría sugiere que esta zona de recarga se extiende más allá de las fronteras del Estado de Aguascalientes, pero a la fecha no se tienen los datos que permitan establecer los límites exactos. Por otro lado, las evidencias topográficas, geoquímicas y geológicas, sugieren que existe una zona de descarga para este sistema al S-W del valle de Calvillo, cerca de Jalpa, en Zacatecas.

Otro sistema regional importante es el que antaño descargaba en los manantiales de Ojocaliente. La evidencia analizada señala que su zona de recarga se ubica al Sur del Estado de Aguascalientes, casi totalmente fuera de sus límites, en las elevaciones denominadas Cerro Grande y Cerro de los Gallos, al N-NW de Encarnación de Díaz, Jalisco. Este sistema también descarga en el valle de Chicalote, por lo que nuevamente se tiene evidencia de flujo subterráneo desde zonas fuera de la cuenca superficial correspondiente.

B) Sistema de flujo intermedio

Los sistemas intermedios tienen una distancia y profundidad de trayecto menor que el correspondiente para los de tipo regional. En los lomeríos que se ubican al Oriente de la ciudad de Aguascalientes se identifica una zona de recarga para este tipo de sistema en el Estado, probablemente la zona de descarga sea la del valle de Chicalote.

En la Siera Fría, se presenta otra zona de recarga de tipo intermedio. Al igual que los sistemas de flujo regional, los mecanismos de recarga involucran flujo en fracturas. Las zonas de recarga y descarga de este sistema se visualizan en la fig. 9.

C) Sistemas de flujo local

Se puede inferir que el valle de Aguascalientes, fuera de las zonas señaladas como de descarga, actualmente funciona como zona de recarga de tipo local. Las fuentes de esta recarga son: la lluvia, agua que dentro de la Ciudad escapa de las tuberías de conducción (agua potable y residual), excedentes de riego y pérdidas a partir de canales de conducción de agua para riego (Carrillo, 1996).

3.2.2 Características hidrogeológicas

A) Zona del acuífero granular

Los resultados del análisis de las pruebas de bombeo hechas por el Instituto de Geofísica de la UNAM (IGF) en 1996, disponibles a gasto constante, confirman que existe un flujo regional establecido por el comportamiento hidráulico de los pozos, que tienen pérdidas de carga importantes y que la entrada de agua a ellos está controlada por la geología particular de cada sitio, por lo que es importante analizar las características particulares de cada pozo. En lo que corresponde a los pozos que extraen agua del medio granular, las conductividades hidráulicas horizontales son relativamente mayores a las verticales ($K_h > K_v$) como es de esperarse en un medio granular sedimentario.

La porosidad efectiva es de 0.03 a 0.30, valores que de acuerdo con los rangos de conductividad hidráulica (bajos), indican que los pozos explotan unidades que tienen arcillas y material fino. Sus pérdidas de carga por deficiencias constructivas y operativas en los pozos son entre 9 m y 12 m, lo que indica que los abatimientos son producidos en su mayor parte, por estas deficiencias, esto es, la conductividad hidráulica en la vecindad de los pozos disminuye en proporción a las pérdidas (Carrillo, 1996).

B) Zonas de acuíferos fracturados

En el mismo estudio, el IGF, mediante la modelación de datos de campo, indicó que la conductividad hidráulica en pozos perforados en sitios con características geológicas semejantes a los que se estudian en el lado Oriente, tienen valores que se incrementan radialmente desde la vecindad del pozo. Los valores altos de K_v en éstos, afirman que el material (riolita) tiene fracturas (verticales) de amplia extensión en la vecindad del pozo como consecuencia del tectonismo existente. La comparación de estos valores, indican que la componente vertical del flujo es en dos órdenes más importante que la horizontal. La porosidad efectiva tiene valores congruentes con este tipo de material (< 0.08) pues el

almacenamiento ocurre en las fracturas. En lo que respecta a las pérdidas de carga, se indica que las deficiencias arriba mencionadas, también son aplicables a estos pozos (Carrillo, 1996).

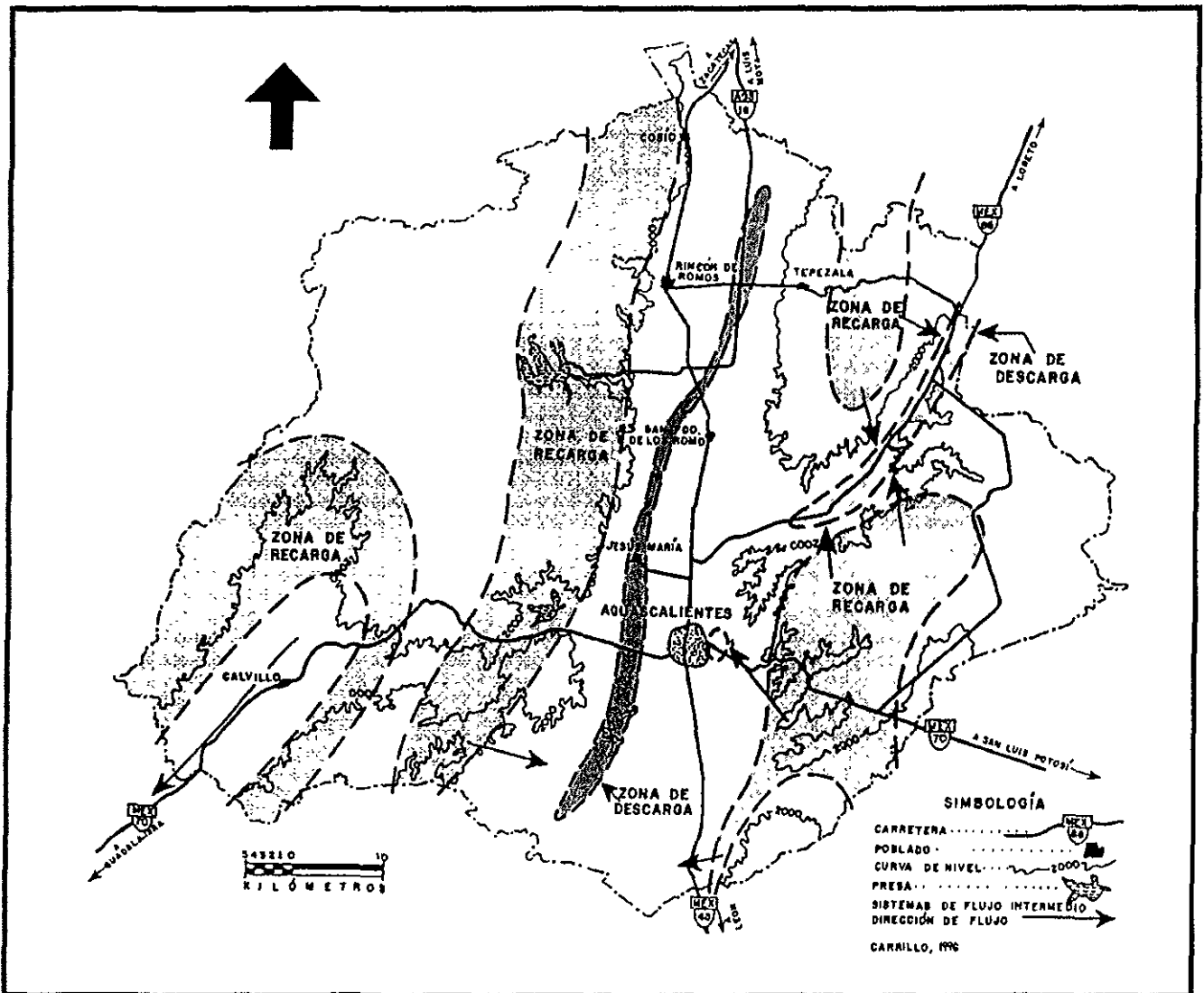


Fig. 9 Sistema de flujo intermedio.

3.2.3 Piezometría

Con la información piezométrica recopilada, se formó la configuración general de los niveles estáticos de la ciudad de Aguascalientes para el año de 1997, con el fin de conocer las direcciones del flujo subterráneo en los acuíferos existentes.

Esta configuración general, se obtuvo de la Tabla 6 (Anexo I) en donde se muestra la cota de brocal, la profundidad y la cota del nivel estático de los 136 pozos profundos municipalizados con que cuenta la Ciudad, y de los pozos no municipalizados analizados en la zona S-W de este proyecto para el año de 1997. En la Fig. 10 (Anexo I) se visualiza esta configuración, en donde se observa el movimiento del agua subterránea con una dirección general Norte-Sur y el cambio brusco en los niveles estáticos de los pozos localizados a los lados de la falla Oriente. También se aprecia el contra flujo en la dirección del agua subterránea al Sur de la Ciudad, lo que señala claramente el excesivo bombeo de extracción en esta zona. En general, los niveles piezométricos más bajos se encuentran al Centro y al Sur de la Ciudad.

La excesiva extracción de agua subterránea necesaria para el abastecimiento de la Ciudad, ocurre mediante los 136 pozos municipalizados y más de 100 pozos particulares. La zona Sur presentó el mayor abatimiento en los pozos municipalizados en el periodo de 1990 a 1996 con un promedio de 24.5 m, le sigue la zona Centro con 23.55 m, en seguida la zona Oriente y por último, la zona Norponiente con 22.75 m y 22.1 m respectivamente (CAASA de CV, 1997).

Como se observa en la Fig. 10 (Anexo I), el flujo subterráneo tiene una dirección marcada hacia el Centro de la Ciudad, por lo que los pozos ahí ubicados, están propensos a ser influenciados por cualquier fuente de contaminación situada en la periferia o dentro de ella. Esta contaminación puede ocurrir más concretamente, por intersección de alguna fuente de contaminación con el fracturamiento.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

A) Selección de zonas de estudio

Las zonas de riesgo de contaminación para el acuífero, son las que ocurren donde es evidente el contacto grieta - fuente contaminante, como lo muestra la Fig. 11.

En la localización de estas zonas, se detectaron áreas donde es urgente realizar estudios detallados de migración de contaminantes, como las siguientes:

- a) A lo largo del río y colector San Pedro, en donde ocurre un intenso fallamiento.
- b) En colectores primarios y secundarios, como el de la avenida López Mateos, el Cedazo y al canal interceptador Oriente.
- c) De fracturamientos en arroyos y en terrenos de uso agropecuario al Oriente, Norte y Poniente de la Ciudad.
- d) De recarga, donde se localizan fracturas, zonas agropecuarias, colectores y presas con aguas residuales como la del Niágara, ubicada al Suroeste de la Ciudad.
- e) En el basurero Municipal (mal llamado relleno sanitario), que tiene contacto con la falla Oriente, lo cual representa un riesgo muy alto de contaminación con lixiviados.
- f) En donde ocurren rupturas del poliducto de PEMEX por fallamiento, como las de la Zona Militar y 2o. Anillo de Circunvalación (Av. Aguascalientes).
- g) Donde se manejó y se manejan, aceites e hidrocarburos en zonas de recarga, como en los talleres de los Ferrocarriles Nacionales de México (FNM) y la planta de PEMEX.

Ante la imposibilidad de hacer un estudio completo de la ciudad de Aguascalientes, hubo la necesidad de seleccionar dos zonas, con el fin de identificar la problemática de una manera más precisa. Para esto, se manejó un radio lo suficientemente grande que permitiera realizar estudios a detalle y así, conocer las condiciones hidrogeológicas y de contaminación de las zonas seleccionadas.

Los sistemas que se trabajaron fueron los siguientes:

- 1. Confluencia del río San Pedro y Arroyo de San Francisco**, punto localizado al Suroeste (SW) de la Ciudad.
- 2. Relleno sanitario situado a un costado del parque México**, punto localizado al Noreste (NE) de la Ciudad.

Estos puntos señalan el centro de una circunferencia con radio de 2 km que indican los límites de las dos zonas de estudio, los cuales se pueden observar en la Fig. 4. El nombre y el número de las fracturas encontradas, se muestran en la Tabla 7 y Tabla 8.

Los dos kilómetros se seleccionaron para poder abarcar en el estudio, aproximadamente 15 pozos de extracción de agua por zona y estudiar las dos zonas a detalle.

Los pozos encontrados en ellas, su ubicación, su cota de brocal, su cota del nivel estático obtenida en los últimos sondeos reportados en 1997, y el señalamiento con asterisco de los pozos muestreados, se indican en la Tabla 9 y Tabla 10.

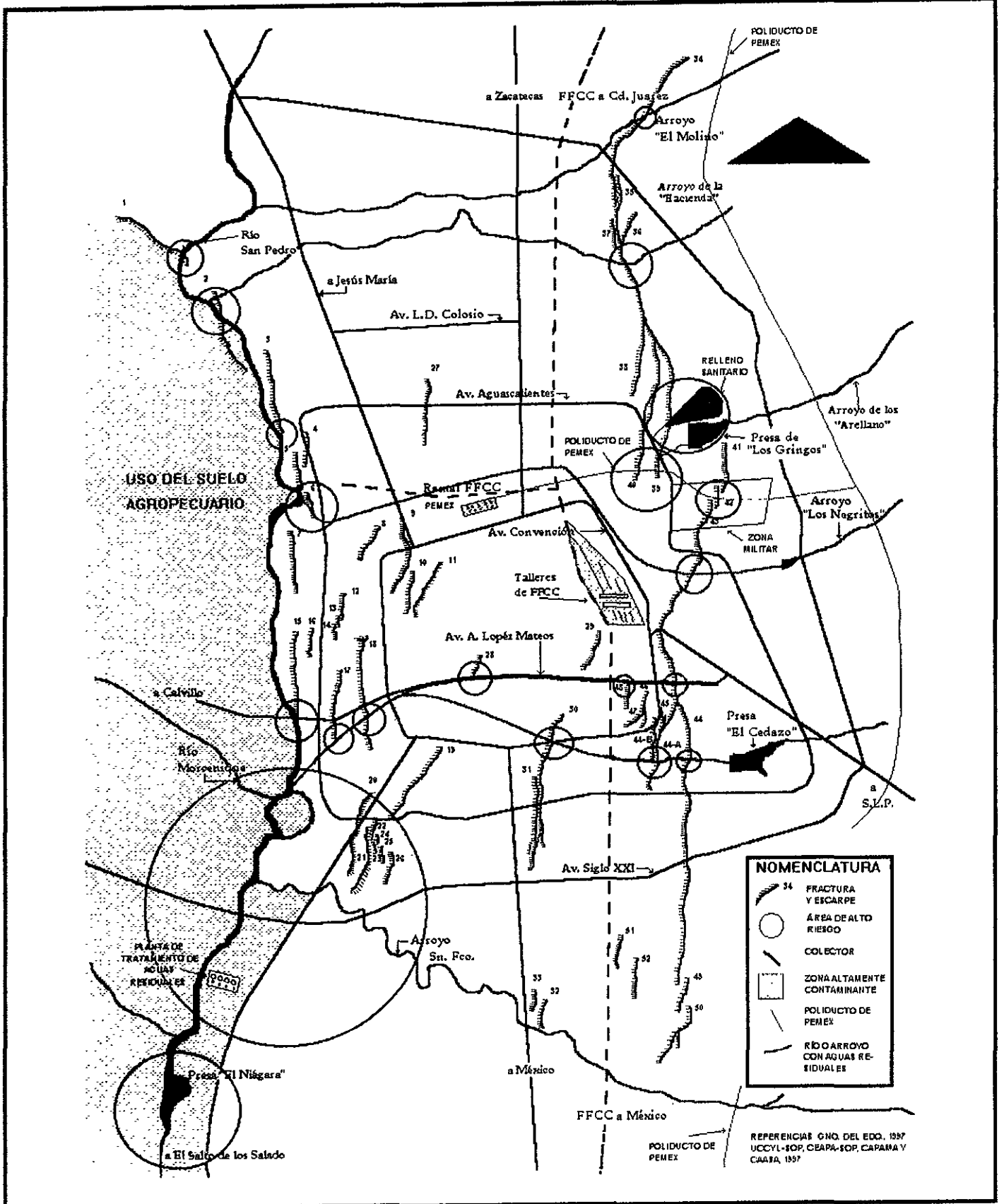


Fig. 11 Puntos de riesgo de contaminación del acuífero de la ciudad de Aguascalientes.

B) Descripción de zonas de estudio

Respecto a la descripción de cada zona se encontró lo siguiente:

a) Zona 1, S-W

En la zona número uno, 2 km. alrededor de la confluencia del río San Pedro y arroyo de San Francisco, se encontraron las fracturas señaladas en la Tabla 7.

En esta zona, localizada al SW de la ciudad de Aguascalientes, se ubican los siguientes pozos profundos: 34, S48, 50, 70, 75, 76, S79, S82, 94, 101, 106, 107 y S121. Cabe señalar que la numeración de los pozos es la oficial de la dependencia encargada de la extracción y distribución del agua potable y alcantarillado del municipio (CAPAMA) y de la empresa concesionaria que los trabaja (CAASA de CV). Además, se encontraron los siguientes pozos particulares destinados al suministro de agua para riego y agua potable de ranchos y zonas rurales aledañas a la Ciudad: *S55, 6, 7, S34, S35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, S50C, 60, S61A, 61B, S63, S63A, S63B, S64, S70A, S70B, y S100A*. Las letras y números en *cursivas* señalan pozos aledaños a la zona de proyecto, mientras que los pozos muestreados fueron señalados anteponiéndoles a su número la letra S (Sur). La numeración de estos pozos es propia, ya que no se encontró registro de ellos, por lo tanto, es importante ver su localización en la Fig. 4 dentro de un contexto general en la Ciudad, y en la Fig. 12 (Anexo II) en detalle, así como su nombre, cota de brocal y nivel estático para 1997 en la Tabla 9.

Por otro lado, fue detectado en una zona muy cercana al río San Pedro, el pozo que en este estudio se señala como S63, ubicado en el rancho “El Centavito”, el cual está contaminado por infiltración de aguas negras, comprobado a simple vista en su agua de extracción con un exagerado contenido de espuma de detergente, como se puede apreciar en la Foto 1; la localización de este pozo se observa también en la Fig. 12 (Anexo II). De igual forma que el anterior, fue detectado hacia el Sur de esta misma zona, el pozo que se denominó S100A, ubicado en el rancho “Los Arbolitos”, localizado en un terreno aledaño a la presa del Niágara. El agua de extracción es muy similar a la del pozo S63, como se muestra en la Foto 2. Las características del agua de estos dos pozos representan una importante referencia a tomar en cuenta para su comparación con el agua subterránea normal de esta zona de estudio.

Los cuerpos de agua superficiales (CAS) localizados, fueron seleccionados para ser muestreados de acuerdo a su grado de contaminación observado, clasificándolos en dos grupos:

Grupo I. CAS residuales:

1. Colector San Pedro (CSP).- Colector marginal del río San Pedro que recibe la mayoría de las aguas residuales de la Ciudad.
2. Influyente de la Planta de Tratamiento de aguas residuales (PT1).- Se localiza aguas abajo de la confluencia arroyo de San Francisco - río San Pedro.
3. Presa del Niágara (PN).- Presa donde se depositan las aguas provenientes del río y colector San Pedro.

Grupo II. CAS naturales:

1.-Arroyo de San Francisco (ASF).- Arroyo localizado al S-E de la Ciudad, donde descargan los colectores de varias industrias que se localizan en esta zona y que a su vez, desemboca en el colector San Pedro.

2.-Río San Pedro (RSP).- Río que se origina al Norte del Estado, cruzándolo de Norte a Sur y que representa una importante zona de recarga natural del acuífero del Valle. Por muchos años su corriente fue perene, con el desarrollo industrial de la Ciudad se contaminó a tal grado que fue necesario la construcción de un colector marginal para rehabilitarlo. Los puntos de muestreo de estos CAS, se observan en la fig. 4 y los pozos más cercanos a ellos son los siguientes:

-Al río y colector San Pedro: S63, S79, 76, 75, 34, S64, S63A y S63B.

-A la presa del Niágara: S100A, 60, 60A y 146.

-A la planta de tratamiento de aguas residuales: S50C, S55, S63B, 41 y 42.

-Y al arroyo de San Francisco: S82, 75, 50, S63, S64, 36, S35, 37, 38 y S34 .

Lo anterior se puede apreciar en la fig. 12, en donde se ubican los detalles de esta zona de estudio.

Dentro de la geohidrología de esta zona, se encontró que el río San Pedro la divide en dos partes: hacia el Centro, en el acuífero granular que se ubica dentro del graben y hacia el Poniente, en el acuífero granular que se ubica sobre el escalón de la pared Poniente del graben.

El flujo subterráneo tiene una dirección marcada N-E , hacia el centro de la Ciudad, como se observa en la Fig. 14 (Anexo II). Por lo tanto, el área de influencia de contaminación del acuífero, de acuerdo al gradiente hidráulico, es la localizada al rededor y al N-E de las fuentes de contaminación señaladas.

b) Zona 2, N-E

En la **zona número dos, 2 km. alrededor del relleno sanitario, situado a un costado del parque México**, localizada al NE de la Ciudad, se encontraron las fracturas señaladas en la Tabla 8.

Los pozos profundos encontrados fueron los siguientes: N5, N6, N9, 11, 14, 22, 23, 24, 29, N39, N47, 49, 50, N52, N55, N63, N65, N69, N73, N84, 92, N116, N117 y N127. Todos los pozos son usados para suministro de agua potable y operados por CAASA de CV con numeración oficial de CAPAMA, como se señala en la Tabla 10; en esta tabla, los pozos muestreados fueron señalados con asterisco y anteponiéndoles la letra N (Norte).

Entre las características generales de esta zona se encuentra el relleno sanitario (basurero municipal) y el poliducto de PEMEX que cruza con varias grietas; además, en este lugar se localiza la falla Oriente y algunos arroyos que comienzan a sentir el efecto de la contaminación como el de los Arellano.

Los cuerpos de agua superficiales (CAS) aquí localizados, fueron seleccionados para ser muestreados de acuerdo a su grado de contaminación observado, clasificándolos en dos grupos:

Grupo I. CAS-residuales:

1.-Arroyo de los Arellano (AA).- Arroyo natural donde se disponen las aguas residuales de los fraccionamientos y colonias localizados al Oriente de la Ciudad.

Grupo II. CAS-naturales:

1.-Arroyo de la Hacienda (AH).- Arroyo localizado al lado N-E de la Ciudad y prácticamente seco la mayor parte del año, la muestra tomada en este lugar , pertenece a un agua de lluvia estancada dentro de este arroyo.

En esta zona, los pozos cercanos a los sitios de riesgo contaminante para el acuífero, son los siguientes:

- Al relleno sanitario: N69 y N63.
- A la presa de los gringos: N63 y N55.
- Al arroyo de los Arellano: N39, N116, N117 y N9.
- Al arroyo de la Hacienda: N65, 87A, 87, 24 y N127.
- Y al arroyo de los Negritos: 11, 91, 92 y N9.

En la Fig. 13 (Anexo II) se observan los detalles de esta zona de estudio.

La hidrogeología de esta zona contiene dos acuíferos muy diferentes: el fracturado al Oriente y el granular al Centro, ambos divididos por la falla Oriente. Esto se aprecia por el cambio brusco en el gradiente hidráulico, lo que registra una variación en los niveles estáticos de los pozos a los lados de la falla, que van desde la cota 1810 msnm a la 1750 msnm en dirección al flujo subterráneo.

En esta zona, el gradiente hidráulico señala una dirección hacia el S-W (hacia el Centro de la Ciudad) y la zona de influencia de contaminación de acuerdo a este flujo, es la localizada al rededor y al S-W de las fuentes de contaminación descritas, como lo muestra la Fig. 15 (Anexo II).

Tabla 7 Fracturas localizadas en la zona 1, S-W.

NÚMERO DE FRACTURA	NOMBRE
20	UPN - ESPAÑA
21	VICENTE GUERRERO - INSURGENTES
22	VERSALLES II
23	TEMPLO VERSALLES PTE.
24	TEMPLO VERSALLES OTE.
25	INSURGENTES - VERSALLES
26	VILLAS DEL PILAR - INSURGENTES

Y cercanas a esta zona en dirección al 1er anillo se encontraron:

NÚMERO DE FRACTURA	NOMBRE
12	FRACC. MODERNO OTE.
13	FRACC. MODERNO CENTRAL
14	FRACC. MODERNO PTE.
15	DEL VALLE - SAN MARCOS (CBTIS)
16	FRACC. SAN MARCOS
17	FRACC. DEL VALLE
18	ESPAÑA - SAN MARCOS
19	VERSALLES - SANTA ELENA

Sondeo realizado del 1o al 15 de Abril de 1997.

Los nombres de las fracturas se deben a los sitios donde se localizan de Sur a Norte.

Tabla 8 Fracturas localizadas en la zona 2, N-E.

NÚMERO DE FRACTURA	NOMBRE
34	ORIENTE NORTE
38	ORIENTE - INSTITUTO CUMBRES
39	ORIENTE - PARQUE MÉXICO
40	ORIENTE - LA ESTRELLA
41	ORIENTE - ZONA MILITAR I
42	ORIENTE - ZONA MILITAR II
43	ORIENTE - R. CASA BLANCA - ZONA MILIT.

Y cercanas hacia el Norte de la zona de estudio se encuentran:

NÚMERO DE FRACTURA	NOMBRE
35	ORIENTE - 3ER ANILLO
36	ORIENTE - LODOS
37	ORIENTE - POZO BRAVO

Sondeo realizado del 1o al 15 de Abril de 1997.

Tabla 9 Pozos localizados en la zona 1, S-W.

POZO No	M	UBICACIÓN	COTA BROCAL	COTA N.E.
34		FRACC. ESPAÑA	1857	1732
S48	*	LOMA BONITA 2	1850	1781
50		COL. INSURGENTES	1853	1729
70		LOMA BONITA 1	1870	1778
75		FRACC. LÓPEZ PORTILLO 1	1851	1769
76		FRACC. LÓPEZ PORTILLO 2	1842	1769
S79	*	COL. FCO. VILLA	1841	1772
S82	*	COL. VICENTE GUERRERO	1852	1751
94		FRACC. VERSALLES 1	1856	1734
101		INFONAVIT PIRULES	1843	1751
106		CANTERAS DE SAN JAVIER	1850	1762
107		CANTERAS DE SAN JOSÉ	1845	1773
S121	*	FRACC. VERSALLES 2 - INSURGENTES	1859	1735
S55	*	CAMINO A PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGS.	1848	1788
S50C	*	VIVEROS DE AGOSTADERITO	1850	1796
S63	**	EL CENTAVITO (3er ANILLO)	1848	1773
S63A	*	RANCHO DE DON SUSANO (AGOSTADERITO)	1850	1796
S63B	*	RANCHO DE SAN PASCUAL (AGOSTADERITO)	1846	1801
S61A	*	EX-VIÑEDOS DE AGS. EN LOMA BONITA	1881	1789
S64	*	SAN JOSÉ DEL RÍO (CNA 63)	1853	1773
S70A	*	FRACC. JARDINES DEL LAGO	1882	1781
S70B	*	RANCHO SAN LUIS	1882	1785
S34	**	SANTA MÓNICA	1861	1761
S35	*	CAMINO A SANTA MÓNICA	1860	1765
S100A	**	RANCHO LOS ARBOLITOS	1882	1762
36		RANCHO SANTA MÓNICA	1855	1755
37		RANCHO SANTA MÓNICA	1852	1754
38		RANCHO SANTA MÓNICA	1861	1752
39		RANCHO SANTA MÓNICA	1868	1758
40		RANCHO SANTA MÓNICA	1854	1763
41		RANCHO SANTA MÓNICA	1852	1768
42		RANCHO SANTA CARMEN	1852	1779
6		EL MILAGRO I	1880	1784
7		EL MILAGRO II	1880	1794
60		RANCHO LA MANSA	1881	1797
61B		EX-VIÑEDOS DE AGS. II	1882	1792
61		VALLE REDONDO	1881	1796
145		POTRERO DEL MOLINO	1850	1800
186		VIÑEDOS CORRALES	1865	1768
60A		LA COTORRA	1867	1796
146		GRANJA SAN ANTONIO	1866	1797
PAB22		CD. DE LOS NIÑOS (F/S)	1868	1797

Sondeo topográfico realizado del 15 al 30 de Abril de 1997.

Tabla 10 Pozos localizados en la zona 2, N-E.

POZO No	M	UBICACIÓN	COTA BROCAL	COTA N.E.
N5	*	COBANO 2	1896	1769
N6	*	FRACC. MESONEROS	1911	1754
N9	*	JESÚS TERÁN 1	1929	1809
11		JESÚS TERÁN 2	1929	1814
14		ZONA MILITAR	1920	1817
22		EJIDO OJOCALIENTE 1	1889	1752
23		GREMIAL 2	1884	1737
24		SAN NICOLÁS 2	1938	1816
29		COL. MACIAS ARELLANO	1902	1753
N39	*	PALOMINO DENA 2	1950	1875
N47	*	FRACC. SANTA ANITA 2	1912	1748
49		INDECO BENITO JUAREZ	1920	1761
N52	*	FRACC. SANTA ANITA 3	1900	1746
N55	*	COL. NAZARIO ORTÍZ GARZA	1940	1812
N63	*	COL. C.N.O.P.	1940	1793
N65	*	SAN NICOLÁS 1	1934	1807
N69	**	COBANO 1	1917	1757
N73	**	FRACC. LA ESTRELLA	1908	1754
N84	*	ALIANZA FERROCARRILERA	1900	1743
92		INFONAVIT FIDEL VELAZQUEZ	1914	1820
N116	*	FRACC. LAS CUMBRES 2	1930	1820
N117	*	FRACC. PALOMINO DENA	1927	1829
N127	*	FRACC. LAS CUMBRES 3	1960	1850

Sondeo topográfico realizado del 15 al 30 de Abril de 1997.



Foto 1 Pozo S63, "El Centavito".



Foto 2 Pozo S100A, "Los Arbolitos".

4.2 MEDICIONES DE CAMPO

Los resultados de los análisis de campo señalan en primer término, que el agua subterránea de las dos zonas de estudio tienen características diferentes, con las condiciones más críticas en la S-W, sobrepasando en varios pozos las Normas que rigen la calidad del agua en México respecto al pH, como se observa en la Tabla 11 y Tabla 12 (Anexo III). En ellas se ve que la variación en los valores de los parámetros de pH y C.E. medidos en campo y en laboratorio es considerable.

4.2.1 Distribución espacial

En seguida se presentan los análisis espaciales de estos parámetros:

A) Temperatura

a) Zona S-W

Como se muestra en la Fig. 16 (Anexo III), los pozos con mayor temperatura en el agua fueron el S48 con 38.1°C, S70A con 36.6°C y S70B con 33.2°C, todos se encuentran situados al lado Poniente del río San Pedro, en donde el escalón del graben se encuentra aproximadamente a 90 m de profundidad.

Las temperaturas disminuyeron hacia el Centro de la Ciudad. El pozo S63, "el Centavito", presentó el valor más bajo con 24.9°C; este pozo está localizado cerca de la confluencia del río San Pedro y del arroyo de San Francisco. El pozo S100A, "los Arbolitos", al lado Sur de la presa del Niágara, registró una temperatura de 20.9°C, siendo esta la más baja de todas.

b) Zona N-E

Los pozos detectados con agua de mayor temperatura son los siguientes: N65 con 38.7°C, N9 con 36.9°C, N5 con 35.8°C, todos se presentan fuera del graben, al lado Oriente de la falla. Las temperaturas disminuyen hacia el Centro de la Ciudad, con forme el graben aumenta de profundidad como se aprecia en la Fig: 17 (Anexo III).

El pozo N63, localizado cerca de la presa de los Gringos, presentó la temperatura más baja con 23.7°C, le siguen el N69 con 28°C, éste también cerca de la presa, y el N116 con 28.7°C, localizado cerca del arroyo de los Arellano. Como se observa en la figura, las temperaturas disminuyen en el agua de los pozos cercanos a los CAS y hacia el acuífero granular.

B) Conductividad eléctrica (C.E.)

a) Zona S-W

Como se observa en la Fig. 18 (Anexo III), la C.E. tiende a aumentar en las cercanías del río San Pedro, planta de tratamiento y presa del Niágara, así como del río Morcinique y arroyo de San Francisco, disminuyendo hacia el Centro de la Ciudad.

El área donde se detectó mayor C.E. está situada al lado N-W de esta zona con valores superiores al límite recomendado para un agua subterránea de buena calidad que es de 1000

$\mu\text{mh/cm}$ (Pulido Carrillo, 1978). Entre los pozos con mayor valor, destaca el S82 con 1010 $\mu\text{mh/cm}$ y los situados al N-W con valores de 1006 a 1095 $\mu\text{mh/cm}$.

El área de menor C.E. está situada al S-E de esta zona, como se ve la C.E. disminuye en dirección al flujo subterránea. El pozo S63B presentó el menor valor con 742 $\mu\text{mh/cm}$, le siguen el S63 y S121 ambos con 798 $\mu\text{mh/cm}$.

En general, esta zona presentó valores altos en la C.E., esto significa que contiene un alto contenido de sales en el agua subterránea.

b) Zona N-E

La C.E. aumenta hacia la periferia de este lugar, los valores más bajos se encontraron en los pozos N52 y N39 con 352 y 357 $\mu\text{mh/cm}$ respectivamente, como se muestra en la Fig. 19 (Anexo III).

Los valores más altos se encontraron en los pozos N65, N9 y N5 con 858, 820 y 779 $\mu\text{mh/cm}$ respectivamente, todos se sitúan al Oriente de la falla. En general, se aprecia que esta zona tiene menor C.E. que la S-W y por consecuencia, menor cantidad de sales en el agua subterránea.

C) Potencial hidrógeno (pH).

a) Zona S-W

Los pozos con agua de menor pH fueron el S70B, S50C y S48 con 6.20, 6.27 y 6.32 unidades respectivamente, todos localizados en la parte N-W de esta zona, del lado Poniente del río San Pedro y con problemas de acidez, abajo del límite mínimo de Normas de 6.5 unidades.

Como se observa en la Fig. 20 (Anexo III), el pH aumenta en dirección N-E, hacia el Centro de la Ciudad. Así también, en dirección a la presa del Niágara se encontró un aumento, según el obtenido de pH en el agua del pozo S100A. Del río San Pedro hacia el Centro del acuífero granular también se incrementó, más exactamente, pasando la planta de tratamiento, en los pozos situados a lo largo de Agostaderito y hacia el Centro de la Ciudad. Los pozos con el mayor pH detectado se encuentran en la parte N-E de esta zona, como son el S121, S63 y S63B con 7.99, 6.94 y 6.94 unidades respectivamente. En general, el valor de pH no sobrepasa de 7 unidades, salvo el del pozo S121, que llega hasta las 7.99.

b) Zona N-E

Como lo señala la Fig. 21, los valores de pH más bajos se localizaron hacia el Sur de esta zona. Los pozos con menor valor en su agua de extracción fueron el N9, N117 y N65 con 6.01 (fuera de Normas), 6.59 y 6.75 unidades respectivamente.

Los valores de pH se incrementan hacia el Centro, en la zona del parque México y dentro del 2o. anillo de circunvalación. Los pozos que registraron agua con mayor valor en este parámetro fueron el N83, N73 y N5 con 7.59, 7.49 y 7.43 unidades respectivamente.

En general, esta zona registró valores más altos que la S-W, lo que indica la existencia de agua de mejor calidad, con un pH promedio casi neutro y con un valor de 7.085 unidades.

D) Alcalinidad

a) Zona S-W

Respecto a este parámetro, cabe hacer notar que es altamente influenciado por la geología de las dos zonas de estudio pero con valores inferiores al límite máximo de las Normas que rigen la calidad del agua en México, que es de 400 mg/l de CaCO₃.

En esta zona, los valores más bajos se encontraron en el agua de los pozos S63B, S55 y S121 con 187.5, 200 y 229 mg/l de CaCO₃; notándose una tendencia a disminuir la alcalinidad hacia el Centro de la Ciudad como se muestra en la Fig. 22 (Anexo III).

Los valores más altos se encontraron en el agua de los pozos S61A, S64 y S63 con 312, 312.5, 300 mg/l. En general, estos valores se encuentran al Centro de esta zona con alcalinidades de alrededor de 300 mg/l.

b) Zona N-E

La Fig. 23 (Anexo III) señala que al Centro de este lugar se encontraron los valores más bajos en alcalinidad, que se uniformizan en 150 mg/l; mientras que los más altos se detectaron en los pozos N65, N117 y N9 con 275, 275 y 200 mg/l, todos localizados al lado Oriente de la falla, o sea, fuera del graben. En general, los valores de esta zona son más bajos que los de la S-W.

4.3 IONES MAYORES

La Tabla 13 muestra los límites máximos permisibles en lo que respecta a los iones más comunes de 7 Normas diferentes, incluyendo la NOM-127-SSA1-1994 que regula la calidad del agua en México. Estas Normas se toman como referencia para considerar los límites máximos permitidos de los parámetros no considerados en la NOM-127.

Tabla 13 Límites máximos permisibles de siete Normas diferentes.

PARAMETRO	U	NORMAS						
		1	2	3	4	5	6	7
BICARBONATO (HCO ₃ ⁻)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-
CLORUROS (CL ⁻)	"	250	-	250	250	-	-	-
SULFATOS (SO ₄ ⁼)	"	400	250	400	250	400-500	500	250
CALCIO (Ca ⁺⁺)	"	-	-	-	-	-	-	-
MAGNESIO (Mg ⁺⁺)	"	-	125	-	-	150	-	-
POTASIO (K ⁺)	"	-	-	-	-	-	-	-
SODIO (Na ⁺)	"	200	-	200	200	-	-	-

NORMAS:

1 Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994).

2 SECRETARÍA DE SALUD I-1988.

3 O.M.S.-1984.

4 O.M.S.-1993.

5 EPA-USA-IX-1991.

6 Criterios Ecológicos-XII-1989 (S.E.D.E.S.O.L., 1989).

7 Criterios Ecológicos-VI-1992.(S.E.D.E.S.O.L., 1992).

Los resultados obtenidos en el laboratorio comprueban la primera impresión que se tuvo en campo, al obtener valores mayores en los análisis de iones principales del agua de los pozos de la zona uno, S-W. Incluso, sobrepasando el límite normal en algunos parámetros tales como el K^+ y HCO_3^- , lo que indica que los acuíferos ubicados en las dos zonas de estudio, contienen agua con características diferentes, como se puede observar en las Tablas 14 y 15 (Anexo IV).

Los cuerpos de agua superficiales residuales (CAS residuales) presentaron concentraciones altas en Cl^- , K^+ y Mg^{++} , medias en Ca^{++} , Na^+ y $SO_4^{=}$, y bajas en HCO_3^- . Lo anterior muestra la gran influencia geológica del HCO_3^- en el agua subterránea. Mientras, los CAS naturales, presentaron las concentraciones más bajas, como el río San Pedro (RSP) (no el colector), en la zona S-W y el arroyo de la Hacienda (AH), en la zona N-E.

Los dos pozos detectados con exceso de detergentes en la zona S-W, el S63 y el S100A, se consideraron como puntos críticos para referenciar el agua subterránea contaminada de esta zona. Estos pozos presentan concentraciones altas en Cl^- , Ca^{++} y K^+ , medias en HCO_3^- y Mg^{++} , y bajas en Na^+ y $SO_4^{=}$. Como se ve, en HCO_3^- presentan concentraciones que están dentro de los valores característicos del agua subterránea. En general, se observa un agua subterránea en buen estado que comienza a sentir los efectos de alguna interacción química.

4.3.1 Análisis de minerales

Los efectos del intercambio iónico pueden jugar un papel importante en la evolución química del agua subterránea natural y contaminada (Freeze y Cherry, 1979).

Para evaluar los datos de los análisis físicos y químicos se utilizó el programa MINTEQA2; con este programa se obtuvieron los errores de análisis y los índices de saturación, que sirvieron para realizar la comparativa con algunos minerales que comúnmente se disuelven en el agua a 25°C. A través de ellos, se pudo interpretar las características geológicas de cada pozo muestreado y así, identificar el comportamiento de la influencia geológica y/o de los contaminantes en los flujos de agua presentes.

La Tabla 16, indica la solubilidad de varios minerales sedimentarios en agua pura a 25°C y 1 bar de presión total, los minerales señalados con * son analizados en el programa.

Otros minerales analizados en este programa son:

anhidrita ($CaSO_4$), aragonita ($CaCO_3$), hidromagnesita ($4CO_3Mg_5 \cdot H_2$), magnesita (CO_3Mg), natrón ($CO_2Na(10H_2O)$), thenardita (SO_4Na_2), portlandita ($H_2Ca(2H_2O)$), periclase ($H_2Mg(H_2O)$), termonatr ($Na_2CO_3 \cdot H_2O$), nesquehonita ($MgCO_3(3H_2O)$), huntita ($Mg_3Ca(4CO_3)$), brucita ($Mg \cdot 2H_2(OH)_2$), artinita ($2H \cdot Mg(CO_3)_2$) y lima ($H_2Ca(H_2O)$).

Los datos de alimentación al programa se establecieron para calcular el intercambio iónico. La concentración de carbonato fue representada por la alcalinidad de carbonato medida en campo. El programa seguiría interactuando si el balance de cargas excedía en su error el 30%, el máximo número de iteraciones fue de 40.

Los datos que alimentaron el programa fueron los siguientes:

pH, temperatura (°C), alcalinidad y los iones principales: SO₄⁼, K⁺, Cl⁻, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y Na⁺ (en meq/l).

El método usado para computar el coeficiente de actividad fue el de la ecuación de DAVIES.

Los errores en el balance de cargas se obtuvieron con la expresión siguiente:

$$E (\%) = \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} \cdot 100$$

Los resultados de las sumatorias de cationes y aniones, así como del error en su balance aparecen en las Tablas 17 y 18.

Para la obtención del índice de saturación se utilizó el método de Snoeyink y sus resultados aparecen en las Tablas 19, 20 y 21 (Anexo V), así como en las Gráficas de la 3 a la 12 (Anexo V).

Tabla 16 Reacciones de disociación de algunos minerales que comúnmente se disuelven en el agua a 25°C y 1 bar de presión total.

MINERAL	REACCIÓN DE DISOCIACIÓN
GIBBSITA	$Al_2O_3 \cdot 2H_2O + H_2O = 2Al^{3+} + 6OH^-$
QUARZO	$SiO_2 + 2H_2O = Si(OH)_4$
HIDROXYLAPITA	$Ca_5OH(PO_4)_3 = 5Ca^{2+} + 3PO_4^{3-} + OH^-$
SÍLICA (amorfa)	$SiO_2 + 2H_2O = Si(OH)_4$
FLUORITA	$CaF_2 = Ca^{2+} + 2F^-$
DOLOMITA*	$CaMg(CO_3)_2 = Ca^{2+} + Mg^{2+} + 2CO_3^{2-}$
CALCITA*	$CaCO_3 = Ca^{2+} + CO_3^{2-}$
GYPSUM*	$CaSO_4 \cdot 2H_2O = Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$
SYLVITA	$KCl = K^+ + Cl^-$
EPSOMITA*	$Mg_2SO_4 \cdot 7H_2O = Mg^{2+} + SO_4^{2-} + 7H_2O$
MIRABILITA*	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O = 2Na^+ + Cl^-$
HALITA*	$NaCl = Na^+ + Cl^-$

FUENTE: Solubility data from Seidell, 1958.

NOTA: Los minerales analizados en el programa MINTEQA2 tienen * (asterisco).

4.3.1.1 Balance de cargas

En la Tabla 17 se observa que los errores en el balance de cargas están entre el 0.03% y el 5.62% en el agua de los pozos de la zona S-W, y del 0.12% al 31.28% en los de la zona N-E. Las muestras que tuvieron errores mayores al 5% en el balance iónico se analizaron nuevamente como las de los pozos S70B, N55 Y N39. La repetición de los análisis de estas

muestras confirmaron los valores obtenidos en el primero, observándose un exceso de HCO₃⁻ en su concentración.

Como se observa en la Tabla 18, en los CAS de la zona S-W, los errores se encuentran entre los intervalos de 0.07% (CSP) y 16.52% (ASF), el agua de este último con exceso de Cl⁻. Mientras tanto, en los CAS de la zona N-E se encontraron los siguientes errores: 1.38 % (AA) y 19.51% (AH), también el agua de este último con exceso de Cl⁻ con relación a los otros iones analizados.

Tabla 17 Errores en el balance de cargas expresados en % del agua de los pozos muestreados en las dos zonas de estudio.

ZONA 1, S-W				ZONA 2, N-E			
POZO	SUMA CATIONES	SUMA ANIONES	ERROR (%)	POZO	SUMA CATIONES	SUMA ANIONES	ERROR (%)
S63	10.27	9.74	2.65	N5	6.97	7.37	2.79
S100A	9.48	9.45	0.16	N63	4.85	4.88	0.31
S64	10.20	9.85	1.75	N73	4.83	4.73	1.05
S50C	11.20	11.32	0.53	N9	7.71	7.76	0.32
S70B	11.17	12.50	5.62	N6	6.43	6.46	0.23
S34	10.09	10.02	0.35	N55	4.24	8.10	31.28
S35	10.44	10.47	0.14	N127	4.99	4.95	0.40
S48	11.30	11.38	3.53	N65	10.90	10.03	4.16
S121	8.69	8.54	0.87	N39	3.75	5.03	14.58
S82	10.81	10.78	0.14	N84	5.79	5.69	0.87
S79	12.37	12.31	0.24	N47	5.00	5.02	0.20
S55	12.41	12.31	0.40	N52	4.26	4.25	0.12
S63A	10.65	10.66	0.05	N69	4.65	4.56	0.98
S63B	9.38	9.41	0.16	N116	6.44	6.41	0.23
S61A	11.30	11.37	0.31	N117	7.09	7.03	0.42
S70A	10.43	10.46	0.14				

Tabla 18 Errores en el balance de cargas expresados en % de los cuerpos de agua superficiales (CAS) muestreados en las dos zonas de estudio.

CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES (CAS)	SUMA CATIONES	SUMA ANIONES	ERROR (%)
PRESA DEL NIAGARA (PN) -RS	14.39	14.40	0.03
INFLUENTE DE PLANTA DE TRATAMIENTO (PTI) -RS	13.38	12.13	4.90
ARROYO DE LOS ARELLANO (AA) -RN	12.47	12.13	1.38
ARROYO DE LA HACIENDA (AH) -NN	3.30	4.90	19.51
RÍO SAN PEDRO (RSP) -NS	9.80	9.75	0.26
ARROYO DE SAN FRANCISCO (ASF) -NS	9.02	12.59	16.52
COLECTOR SAN PEDRO (CSP) -RS	14.53	14.55	0.07

NOTA: TIPOS DE CAS MUESTREADOS Y ZONA:
-N = NATURAL, -R = RESIDUAL, S = SUR, N = NORTE

4.3.1.2 Índices de saturación

El índice de saturación indica la cantidad de mineral analizado disuelto en el agua, de acuerdo a las características geológicas del lugar.

La condición de subsaturación indica que el agua tiene poco contenido de ese mineral y puede aceptar mayor concentración de iones del mismo.

La condición de saturación y sobresaturación indican que el agua tiene demasiada o excesiva concentración de iones del mineral analizado y ya no puede aceptar más. Esto puede ser una señal importante para indicar que el agua está fuertemente influenciada, ya sea en forma natural (geológica) o por contaminación antropogénica (Custodio, 1983).

Los valores con signos negativos señalan índices de subsaturación, el cero la saturación y los valores positivos la sobresaturación del agua con respecto al mineral analizado.

Las Tablas 19 y 20 (Anexo V) señalan los índices de saturación de los pozos muestreados en las dos zonas de estudio, mientras que la Tabla 21 (Anexo V) contiene los índices de saturación de los CAS muestreados; estos valores son resultado del programa fuente MINTEQA2.

En el análisis de las gráficas se encontró que los minerales más cercanos al estado de equilibrio (saturación) y sobresaturación, fueron los siguientes:

Anhidrita ($CaSO_4$) con intervalos en sus índices de saturación de -1.127 (S64A) a -4.94 (N55).

Aragonita ($CaCO_3$) de 0.257 (S121) a -1.247 (N9).

Calcita ($CaCO_3$) de 0.372 (S121) a -1.133 (N9).

Dolomita ($CaMg(CO_3)_2$) de 1.053 (S121) a -2.524 (N9); y

Magnesita (CO_3Mg) de 0.185 (S121) a -1.874 (N9).

Como se observa, existe una mayor concentración de Ca^{++} , HCO_3^- , Mg^{++} y $SO_4^{=}$ en el medio geológico del agua analizada.

Estos minerales son los más saturados tanto en el agua de los pozos como en el de los CAS.

En general, la zona N-E tiene valores de menor estado de saturación que la zona S-W (es más sub-saturada), como se observa en las Gráficas de la 3 a la 12 (Anexo V).

Los minerales con valores medios de saturación son los siguientes:

Nesquehonita ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$), Gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), Epsomita ($Mg_2SO_4 \cdot 7H_2O$), y Halita ($NaCl$).

Lo minerales más subsaturados fueron:

Hidromagnesita ($4CO_3Mg_5 \cdot H_2$), Lima ($H_2Ca(H_2O)$), Portlandita ($H_2Ca(2H_2O)$), Thenardita (SO_4Na_2), Periclasa ($H_2Mg(H_2O)$), Termonatr ($Na_2CO_3 \cdot H_2O$), Natrón ($CO_2Na(10H_2O)$), Artinita ($2H \cdot Mg(CO_3)_2$), Mirabilita ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$), Huntita ($Mg_3Ca(4CO_3)$), y Brucita ($Mg \cdot 2H_2(OH)_2$).

Por lo tanto, se aprecia que hay poco contenido de Na^{++} en la geología del agua analizada, y que los iones trazadores naturales en este estudio, son el Cl^- y el K^+ .

El arroyo de la Hacienda (AH) tiene el estado de menor saturación de los CAS.

Respecto al análisis de los índices de saturación por zona, se encontró lo siguiente:

a) Zona S-W

En esta zona, los CAS que presentaron mayor saturación fueron: PN, PTI y CSP (CAS residuales), y los de menor: ASF y RSP (CAS naturales).

En esta zona se detectaron valores semejantes en los pozos contaminados (S63 y S100A) respecto al I.S. de los minerales analizados.

Los pozos que presentaron mayor saturación en su agua de extracción fueron: el S121, S64A, S55, S100A y S63, seguidos del S34, S35 y S63B. Mientras que los de mayor subsaturación fueron el S50C, S70B y S48, seguidos del S82, S79, S61A, S63A y S70A.

b) Zona N-E

Esta zona presentó valores de menor saturación que la zona S-W.

El AH presentó la mayor subsaturación de todos los CAS.

Los pozos que presentaron valores semejantes al AH de mayor subsaturación en su agua de extracción, fueron el N55 y N9. Los que se encontraron con mayor saturación en su agua, fueron el N5, N63 y N73, seguidos del N69, N84, N52 y N39.

4.3.2 Distribución espacial de iones principales

4.3.2.1 Diagramas de Stiff

Las Figuras 24, 25, 26 y 27 (Anexo VI) muestran la composición del agua mediante diagramas de Stiff. Estos diagramas se obtuvieron de la composición química de los cuerpos de agua superficiales (CAS) y del agua de los pozos muestreados en las dos zonas de estudio. Como se observa en la Fig. 24 y Fig. 26 (Anexo VI), los CAS de la zona S-W tienen una mayor concentración de iones principales que los de la zona N-E, lo que indica que estos cuerpos de agua, llevan mayor carga de contaminantes en su caudal.

Al igual que los CAS, las concentraciones de iones principales del agua subterránea muestreada en los pozos de extracción de la zona uno, S-W, también contienen valores mayores que la de los pozos de la zona dos, N-E.

A) Zona S-W

En la Fig. 25 (Anexo VI), se muestran las diferentes composiciones del agua subterránea en esta zona, a través de las variaciones en los diagramas de Stiff. En ellos, se observa claramente, las cinco composiciones siguientes:

- a) La formada por el agua de los pozos S61A, S70B, S70A y S48, situados al Poniente del río San Pedro, en la zona localizada sobre el escalón del graben ignimbrítico, y que se prolonga hacia los pozos S63 y S82, ubicados fuera del escalón.
- b) La formada por el agua de los pozos S79 y S121, al Norte de esta zona de estudio.
- c) La que conforma el agua de los pozos localizados en Agostaderito: S63B, S63A y S64, en este último, también se ve la influencia del agua descrita en el inciso "a".
- d) La localizada en el rancho "Santa Mónica" obtenida en los pozos S35 y S34.
- e) La formada por el agua de los pozos cercanos a la planta de tratamiento de aguas residuales, S55 y S50C.

B) Zona N-E

En la Fig. 27 (Anexo VI), se aprecia las diferentes composiciones del agua subterránea en la zona dos, N-E, a través de las variaciones en los diagramas de Stiff. Aquí se observa las cuatro composiciones siguientes:

- a) Dos fuera del graben, en el acuífero fracturado: la primera, formada por el agua de los pozos N65 y N5, y la segunda, formada por la de los pozos N39, N116, N117, N55 y N9.
- b) Dos dentro del graben, en el acuífero granular: la primera, formada por el agua de los pozos N6 y N84, y la segunda, por la de los pozos N69, N73, N63, N52 y N47.

Cabe hacer mención del riesgo existente de contaminación del acuífero por lixiviados del basurero en esta zona. Como se observa en la Fig. 26 (Anexo VI), la falla Oriente cruza por un costado del basurero y es muy probable que ya exista fuga de este líquido hacia el acuífero.

4.3.2.2 Configuraciones

En seguida se presenta la distribución espacial de los diferentes iones mayores analizados en las dos zonas de estudio:

A) Ca⁺⁺

Zona S-W

En esta zona se encontraron las mayores concentraciones de Ca⁺⁺, con un promedio de 70.75 ppm, el cual se encuentra dentro del parámetro normal para aguas subterráneas que según Pulido Carrillo (1978) es de 10 a 100 ppm; el único pozo fuera de él es el S100A con 106 ppm.

En la Fig. 28 (Anexo VII) se observa que los valores disminuyen hacia el Centro de la Ciudad y aumentan en las inmediaciones de la planta de tratamiento, presa del Niágara y río San Pedro, así como en el agua de los pozos localizados al Poniente de esta zona, en donde se superan las 80 ppm.

Zona N-E

En la zona N-E se detectaron concentraciones normales entre 30 y 60 ppm. Las mayores se localizan en una franja a todo lo largo de esta zona, en la cual se incluye el parque México, el basurero, la presa de los Gringos y los arroyos de los Arellano y de los Negritos.

En general, los valores de esta zona fueron menores que los de la S-W, con una concentración media de 38.93 ppm. La tendencia es de aumentar el Ca⁺⁺ hacia el lado Oriente de la falla como se aprecia en la Fig. 29 (Anexo VII).

B) Mg⁺⁺

Zona S-W

Los valores más altos en la concentración de Mg⁺⁺ se analizaron en el agua de los siguientes pozos: S79 con 44.4 ppm, S50C con 37.2 ppm y S55 con 34.8 ppm; todos dentro de los límites normales para el agua subterránea de 1 a 40 ppm (Pulido Carrillo, 1978) a excepción del S79. En general, esta zona presentó una concentración media de 23.25 ppm.

Como se observa en la Fig. 30 (Anexo VII), el Mg^{++} aumentó hacia el Centro de la Ciudad y disminuyó hacia la presa del Niágara. La tendencia del flujo es de ir disminuyendo su concentración hacia los pozos del rancho Santa Mónica ubicado al lado S-E de esta zona.

Zona N-E

En la zona N-E se presentaron valores menores de 30 ppm con una media de 12.64 ppm. La concentración de Mg^{++} aumentó hacia el Centro de la Ciudad donde se localiza el acuífero granular, como lo muestra la Fig. 31 (Anexo VII). En general, se observan concentraciones bajas en los pozos cercanos a la falla Oriente y a los CAS.

C) Na^+

Zona S-W

Respecto al Na^+ en esta zona, se detectó un promedio en sus mediciones de 108.56 ppm, la cual sobrepasa el límite máximo para el agua subterránea normal que es de 100 ppm (Pulido Carrillo, 1978).

En la Fig. 32 (Anexo VII) se observa que las concentraciones mayores se presentaron en el área N-W de esta zona, con valores de alrededor de 122 ppm. Otra característica detectada fue que el agua de los pozos con los mayores niveles de Na^+ , se localizó en áreas agropecuarias o cerca del río San Pedro y arroyo de San Francisco.

Zona N-E

La concentración de Na^+ en la zona N-E, aumentó en el acuífero fracturado situado fuera del graben, siendo el pozo N65 el de mayor contenido en su agua de extracción. Este pozo se localiza a un costado del arroyo de la Hacienda.

La tendencia de esta zona es de ir disminuyendo la concentración hacia el Centro del acuífero granular, como se ve en la Fig. 33 (Anexo VII). El valor promedio de Na^+ aquí detectado fue de 60.35 ppm.

D) K^+

Zona S-W

Los niveles de K^+ sobrepasan el límite máximo para agua subterránea normal de 12 ppm (Pulido Carrillo, 1978) en todos los pozos, detectándose valores de hasta 18.72 ppm. Los pozos con mayor cantidad de este ion en su agua de extracción fueron el S50C, S55, S63, S64, S63A y S34, localizados en la parte Sur de esta zona, así como el S70A y S70B situados al lado Poniente.

En el aumento de la concentración de K^+ se observó una gran influencia del río San Pedro, presa del Niágara y planta de tratamiento, así como de las actividades agropecuarias al Poniente de esta zona, como se muestra en la Fig. 34 (Anexo VII).

Los valores disminuyen hacia el Centro de la Ciudad, con niveles de al rededor de 15 ppm. En general, aquí se detectó una alta concentración de K^+ , con una media de 17.14 ppm.

Zona N-E

En esta zona se encontraron valores menores que en la S-W, pero muy cercanos al límite máximo del agua subterránea normal, como los detectados en los pozos N65 con 12 ppm, N6 y N84 ambos con 11 ppm.

La tendencia de este ion es de incrementarse hacia el Centro de la Ciudad y de disminuir hacia el lado Oriente de acuerdo con la Fig. 35 (Anexo VII). La concentración media en el agua de esta zona fue de 7.90 ppm, dentro de los valores normales para el agua subterránea.

E) Cl-

Zona S-W

Respecto a este ion se encontraron mediciones mayores en los pozos S63 con 67 ppm y S79 con 50 ppm. La tendencia fue de aumentar la concentración de Cl- hacia el Centro de la Ciudad, influenciada por las principales fuentes de contaminación de la zona, como se observa en la Fig. 36 (Anexo VII).

Zona N-E

Aquí se observaron valores menores que los detectados en la zona S-W, encontrándose las mayores concentraciones en los pozos N117 con 41 ppm y N9 con 37 ppm, ambos situados cerca del arroyo de los Arellano.

La tendencia es de disminuir los niveles de Cl- hacia el Centro de la Ciudad y hacia el N-E de la zona, como lo muestra la Fig. 37 (Anexo VII). El promedio aquí detectado fue de 23.04 ppm.

F) HCO₃-

Zona S-W

Respecto al HCO₃- se encontraron altas concentraciones debido a la cantidad de calizas que tiene esta zona. En general, el promedio fue de 474.35 ppm, que sobrepasa los límites normales para el agua subterránea de 400 ppm (Pulido Carrillo, 1978). La tendencia aquí, es de disminuir la concentración hacia el Centro de la Ciudad de acuerdo a la Fig. 38 (Anexo VII).

Zona N-E

La zona N-E registró en el agua de algunos pozos una alta cantidad de este ion, como la del N5 con 406.26 ppm, N65 con 428.83 ppm y N9 con 406.26 ppm. Encontrándose los valores más altos en la franja central que forman los pozos N65, N5, N55 y N9, cercanos al arroyo de la Hacienda, parque México y arroyo de los Arellano, como se ve en la Fig. 39 (Anexo VII).

La tendencia es de disminución de HCO₃- hacia el Centro de la Ciudad, donde se localiza el acuífero granular. La concentración media de esta zona es de 291.95 ppm, mucho menor que la de la zona S-W y dentro del límite normal para el agua subterránea.

G) SO₄⁼

Zona S-W

Respecto al SO₄⁼ se observaron muchas variaciones en el agua muestreada en los diversos pozos. Los que presentaron mayores niveles son el S55 con 441.6 ppm, localizado cerca de la planta de tratamiento, el S64 con 278.4 ppm, ubicado cerca de la confluencia del río San Pedro - arroyo de San Francisco, y el S79 con 115.2 ppm, situado al Norte de esta zona cerca del río San Pedro. Las concentraciones están arriba de los valores normales para este parámetro en aguas subterráneas, ya que sobrepasan las 100 ppm (Pulido Carrillo, 1978). En general, se detectaron grandes variaciones en los valores de SO₄⁼ de un pozo a otro, apreciándose que tienden a disminuir hacia el Centro de la Ciudad, lo que se observa en la Fig. 40 (Anexo VII). El gran aumento de SO₄⁼ en el agua de algunos pozos, hace subir la concentración media hasta 95.19 ppm.

Zona N-E

Esta zona registró mediciones más uniformes respecto a la S-W, con tendencia de aumentar hacia el Norte y Centro de la Ciudad, como se ve en la Fig. 41 (Anexo VII). En general, la concentración media aquí detectada fue de 33.38 ppm, menor que en la zona S-W.

4.3.3 Pares iónicos

La importancia de este análisis comparativo, consiste en estudiar el origen de las características que presenta el agua de los diferentes pozos muestreados, relacionándolas con las de las fuentes contaminantes, utilizando iones principales como trazadores.

Para esto, es indispensable conocer las características tanto de baja como de alta concentración de contaminantes del agua subterránea.

En este estudio se contó con una referencia importante, al detectar que el agua de los pozos S63 y S100A representan las características de alta concentración de contaminantes en el agua subterránea de la zona de estudio uno, S-W.

Como referencia adicional, se tuvo las características de los CAS naturales y residuales.

Por último, de acuerdo al análisis comparativo en las dos zonas de estudio, se conocieron los pozos con baja concentración de iones en su agua de extracción.

4.3.3.1 Gráficas comparativas

En el análisis de las gráficas comparativas se debe entender lo siguiente: Los puntos que tiendan a alejarse del origen, tienen las concentraciones mayores de los iones comparados, comprendiéndose que comúnmente, en esta zona se localizan los puntos muestrales del agua con mayor contaminación. Por el contrario, los que tiendan a acercarse al origen, tienen las concentraciones más bajas, entendiéndose también que comúnmente, en esta zona se localizan los puntos muestrales del agua con menor contaminación.

De la Gráfica 13 a la 36 se muestran las relaciones y tendencias que abajo se describen, al hacer las comparaciones entre pares iónicos mayores. En estas relaciones se señalan los puntos muestrales del agua de los diferentes pozos analizados, así como los de los cuerpos de agua superficiales (CAS) naturales y residuales.

En general, estas gráficas muestran la influencia de las aguas residuales superficiales (ARS) sobre el agua subterránea, así como la dirección del mezclado y los pozos con alto y bajo valor en la concentración de los iones mayores comparados.

Por todo lo anterior, es importante la referencia de los dos pozos contaminados ubicados en la zona S-W, del S63 "El Centavito" y S100A "Los Arbolitos". Nótese también, dónde se sitúan los puntos muestrales del agua subterránea normal, del agua residual superficial y del agua en zona de mezcla, señalados en cada comparativa.

A) Zona S-W

a) Cl⁻ vs cationes

En la comparación del anión Cl⁻ vs los cationes: Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺, existe una clara influencia direccional tendiendo hacia las aguas residuales, desde los pozos con agua de menor a mayor concentración.

En la comparativa Cl⁻ vs Ca⁺⁺, se puede observar que el agua de los pozos, tiende a aumentar la concentración de Cl⁻ hacia el ARS, y la del Ca⁺⁺, hacia los pozos contaminados S63 y S100A, como se muestra en la Gráfica 13.

En la comparativa Cl⁻ vs Mg⁺⁺, se aprecia todo lo contrario a la anterior, ya que el ARS tiene las concentraciones más bajas que el agua subterránea, lo que señala una clara influencia geológica respecto al Mg⁺⁺, como se ve en la Gráfica 14.

Mientras, en la comparativa Cl⁻ vs Na⁺, se observa el mismo caso anterior, como se muestra en la Gráfica 15.

Por último, en la relación Cl⁻ vs K⁺, se aprecian valores muy altos en la concentración de K⁺ en el agua subterránea con una clara influencia del ARS, como señala la Gráfica 16.

b) HCO₃⁻ vs cationes

En la comparación HCO₃⁻ vs cationes se presentan situaciones muy similares a la comparativa Cl⁻ vs cationes, como se muestra en las Gráficas de la 17 a la 20 (Anexo VIII). La única diferencia apreciable es que en el HCO₃⁻ los valores en las concentraciones del ARS son altos pero no mayores que los del agua subterránea, como ocurre con el Cl⁻. Lo anterior muestra que la geología también influye respecto a la concentración de este ion en el agua analizada.

c) SO₄⁼ vs cationes

En esta comparativa se observan tendencias inversas a las analizadas con el Cl⁻ y el HCO₃⁻ ya que los valores altos de SO₄⁼ en las concentraciones del agua subterránea tienden hacia las concentraciones bajas de los pozos contaminados y no a las del ARS, como se muestra en las Gráficas 21 a la 24 (Anexo VIII).

Todo lo descrito puede ser ocasionado por la disolución de minerales sulfatados existentes en las rocas sedimentarias que se acentúan más en la geología de los pozos S64 y S55.

B) Zona N-E

Al no tener referencias de pozos contaminados en esta zona, se recurrió al análisis de índices de saturación para conocer los pozos con mayor y menor concentración de iones en su agua de extracción.

Dentro de los CAS de esta zona, se muestreó al arroyo de la Hacienda (AH) con un agua de lluvia en su flujo y al de los Arellano (AA) con ARS. Como se observa, el punto muestral del AH se mantiene al lado izquierdo de las gráficas con las menores concentraciones de iones.

a) Cl⁻ vs cationes

En la comparación de Cl⁻ vs Ca⁺⁺, se observa que el agua subterránea tiene una tendencia a aumentar su concentración hacia el pozo N117, el cual fue detectado como el de mayor concentración de iones en su agua subterránea, con cierto grado de mezcla (M2).

En esta tendencia no se ve influencia del ARS como se aprecia en la Gráfica 25.

Respecto a la relación Cl⁻ vs Mg⁺⁺, se aprecian condiciones semejantes a las de la zona S-W, en donde el ARS tiene las más bajas concentraciones de Mg⁺⁺ y el agua subterránea las más altas. Sin embargo, se nota que la tendencia del agua subterránea es de aumentar el Cl⁻ hacia el agua del pozo N117, sin que se observe una influencia clara del ARS, representada aquí por el AA. Esto es mostrado en la Gráfica 26.

En la comparativa Cl⁻ vs Na⁺ se observa las mismas condiciones que en la de Cl⁻ vs Ca⁺⁺, como se ve en la Gráfica 27.

Y por último, en la de Cl⁻ vs K⁺ se encontró una tendencia en el agua subterránea de aumentar la concentración de Cl⁻ hacia el pozo N117. Al igual que en las otras comparativas, en esta no se aprecia ninguna influencia directa del ARS en el agua subterránea. Esto se puede observar en la Gráfica 28.

b) HCO₃⁻ vs cationes

En la relación HCO₃⁻ vs Ca⁺⁺ de la Gráfica 29 (Anexo VIII), se observa una tendencia relativa de aumento de la concentración en todos los pozos con influencia del ARS. Aquí también se aprecia que la influencia geológica en el agua subterránea, no es tan fuerte respecto al HCO₃⁻ como en la zona de estudio uno, S-W.

En la comparación de HCO₃⁻ vs Mg⁺⁺, observada en la Gráfica 30 (Anexo VIII), existe una tendencia a disminuir el Mg⁺⁺ en el agua subterránea, hacia el pozo N117 y el ARS.

En lo que respecta a la relación HCO₃⁻ vs Na⁺ de la Gráfica 31 (Anexo VIII), se observa la influencia del agua del pozo N117, y por el contrario, el ARS no ejerce ninguna influencia en el agua subterránea. Esta gráfica muestra claramente la gran influencia que ejerce el agua del pozo N117 sobre el flujo del agua subterránea de esta zona.

Respecto a la comparativa HCO₃⁻ vs K⁺ de la Gráfica 32 (Anexo VIII), se observa una influencia también relativa del ARS sobre el agua subterránea.

c) SO₄⁼ vs cationes

En la comparación SO₄⁼ vs Ca⁺⁺ de la Gráfica 33 (Anexo VIII), se aprecia una tendencia en el agua subterránea de disminución de SO₄⁼ hacia los pozos con más influencia de Ca⁺⁺. En el ARS se presenta una relación distinta en todas las comparativas, de menor a mayor concentración de SO₄⁼ de acuerdo al grado de contaminación del CAS comparado.

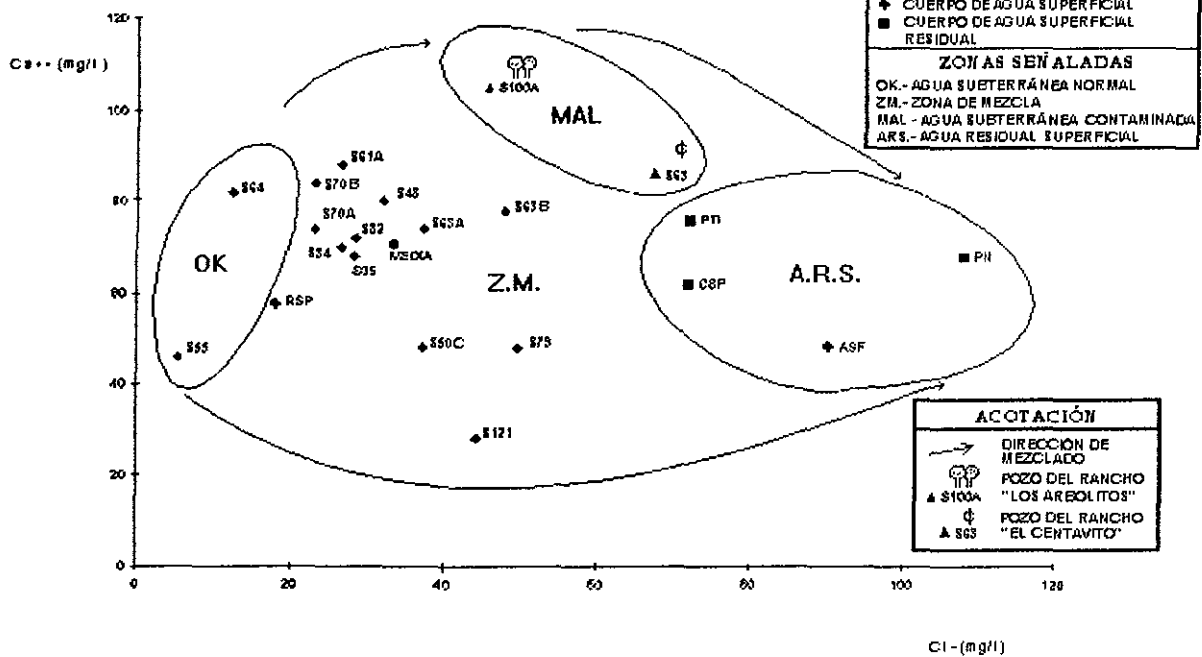
Por el contrario a la anterior, en el análisis SO₄⁼ vs Mg⁺⁺ observado en la Gráfica 34 (Anexo VIII), se aprecia una tendencia en el agua subterránea de disminución del SO₄⁼ hacia los pozos con menor concentración de Mg⁺⁺.

En la relación SO₄⁼ vs Na⁺ se observa una tendencia semejante a la descrita en la de SO₄⁼ vs Ca⁺⁺ como se muestra en la Gráfica 35 (Anexo VIII).

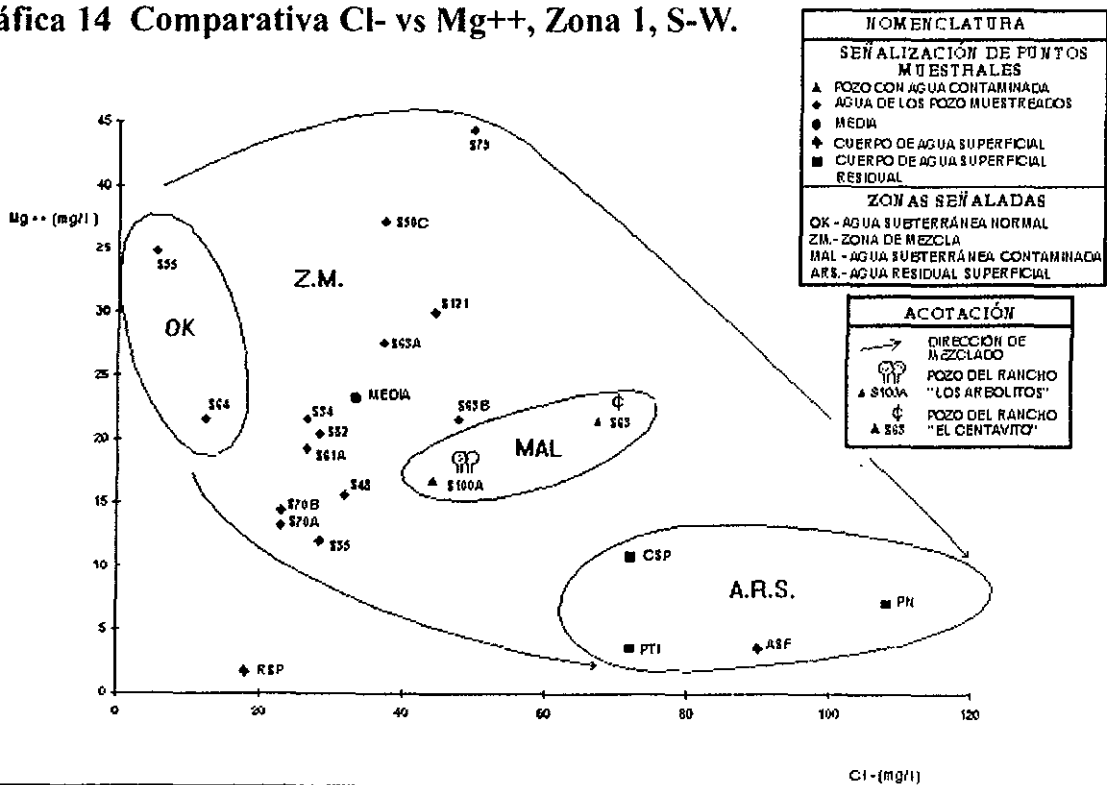
Y por último, la comparativa SO₄⁼ vs K⁺, de la Gráfica 36 (Anexo VIII), es muy similar a la del SO₄⁼ vs Mg⁺⁺.

Como comentario general, se puede concluir que en la zona de estudio dos, N-E, no existe una clara influencia del ARS sobre el agua subterránea, contrario a lo que ocurre en la zona de estudio uno, S-W.

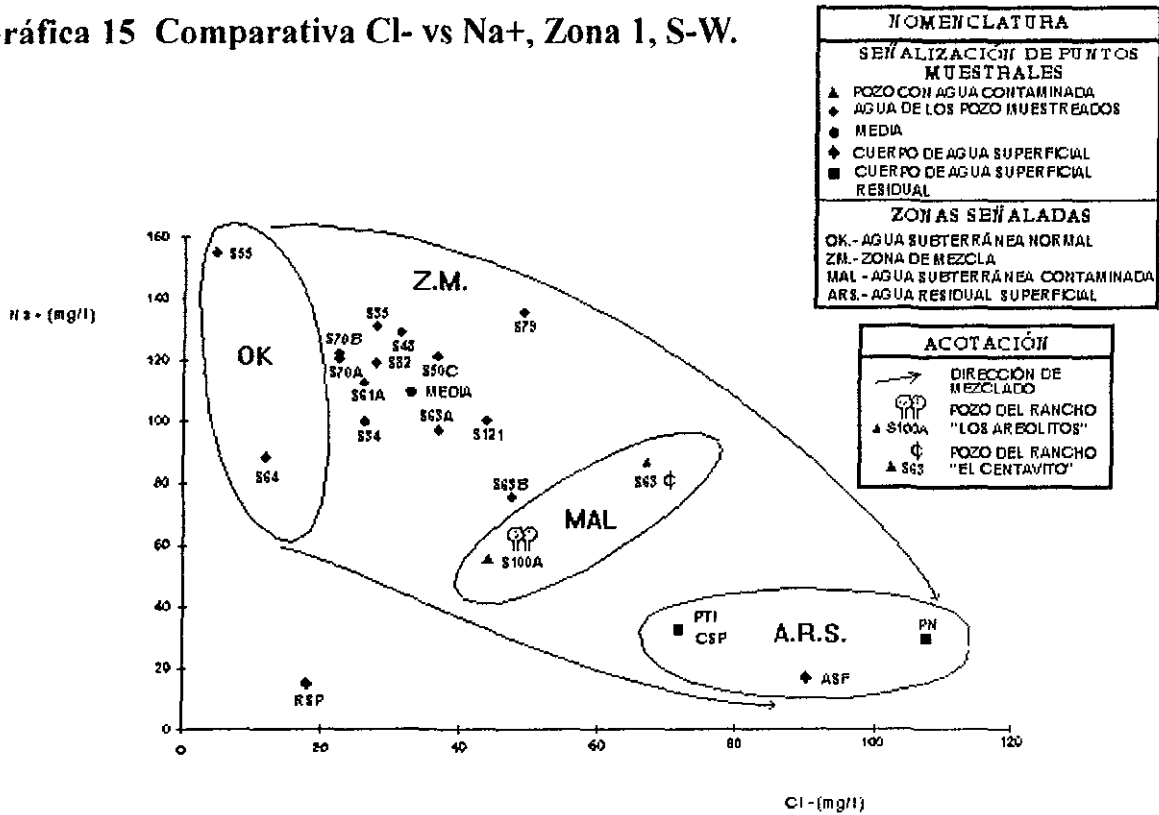
Gráfica 13 Comparativa Cl- vs Ca⁺⁺, Zona 1, S-W.



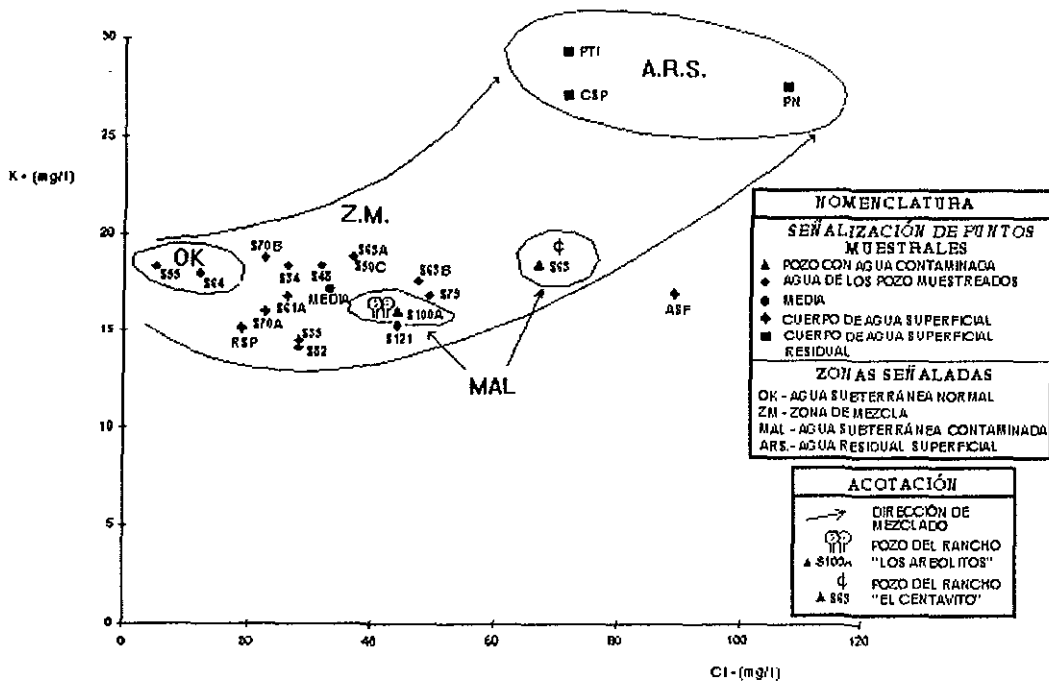
Gráfica 14 Comparativa Cl- vs Mg⁺⁺, Zona 1, S-W.



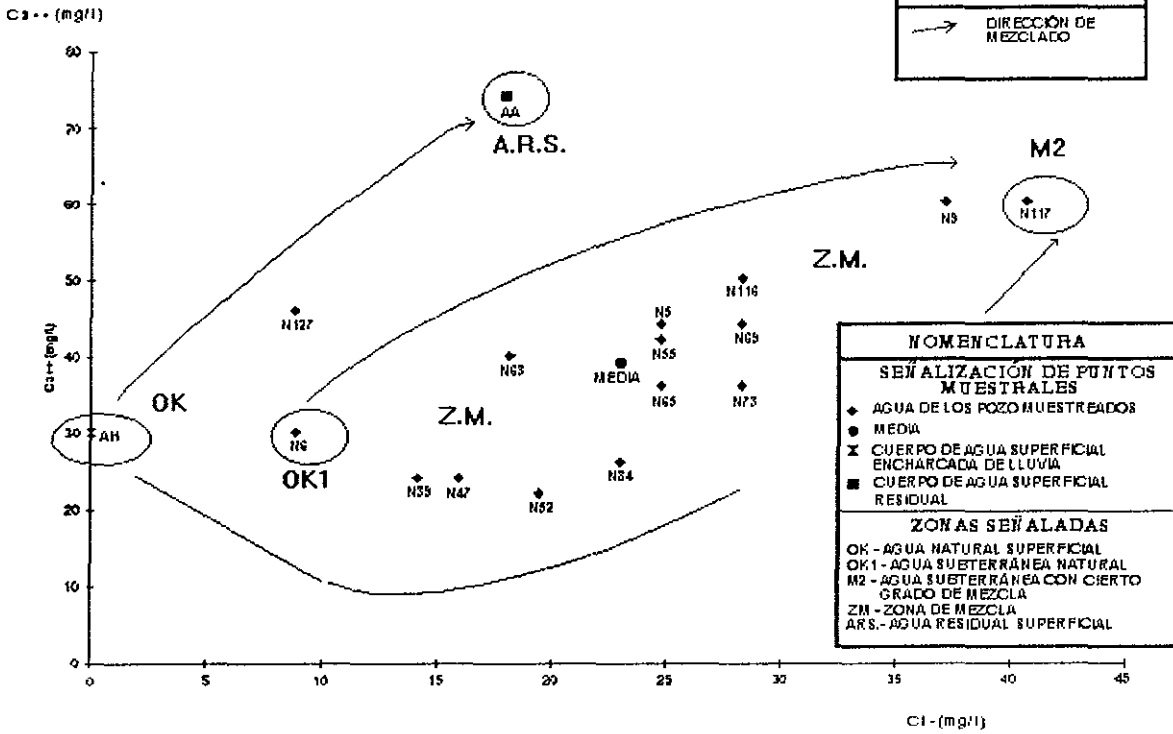
Gráfica 15 Comparativa Cl- vs Na+, Zona 1, S-W.



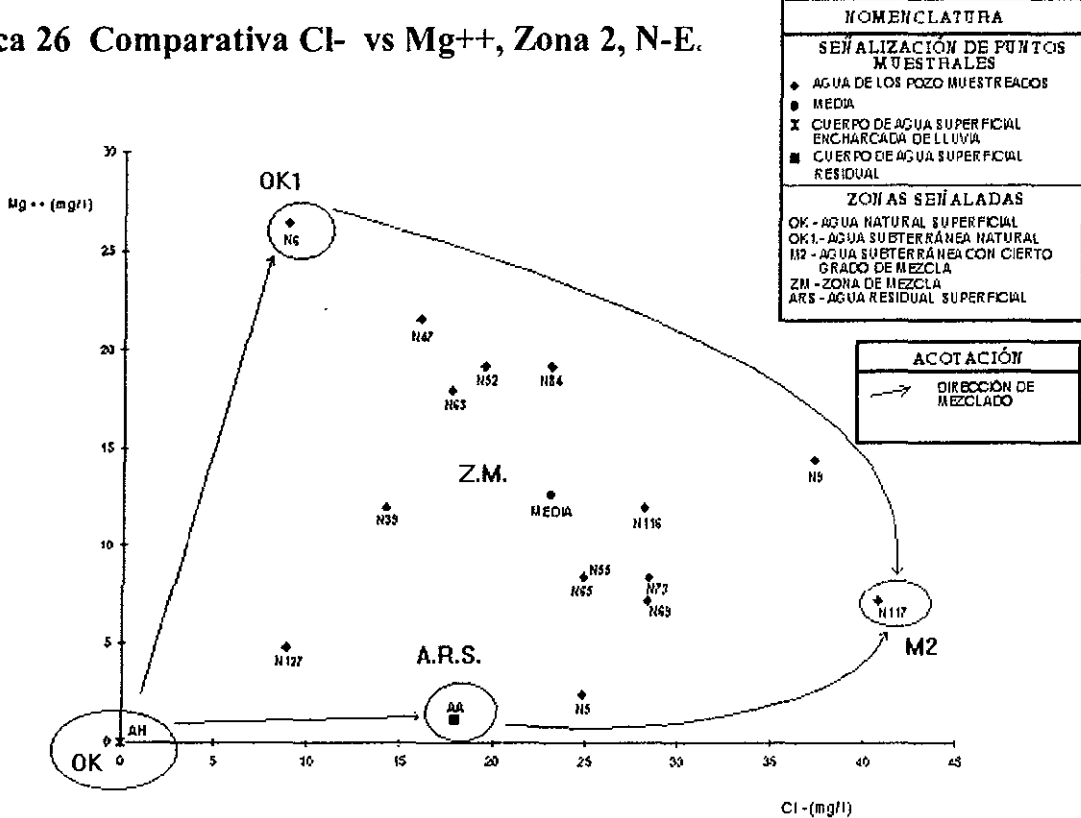
Gráfica 16 Comparativa Cl- vs K+, Zona 1, S-W.



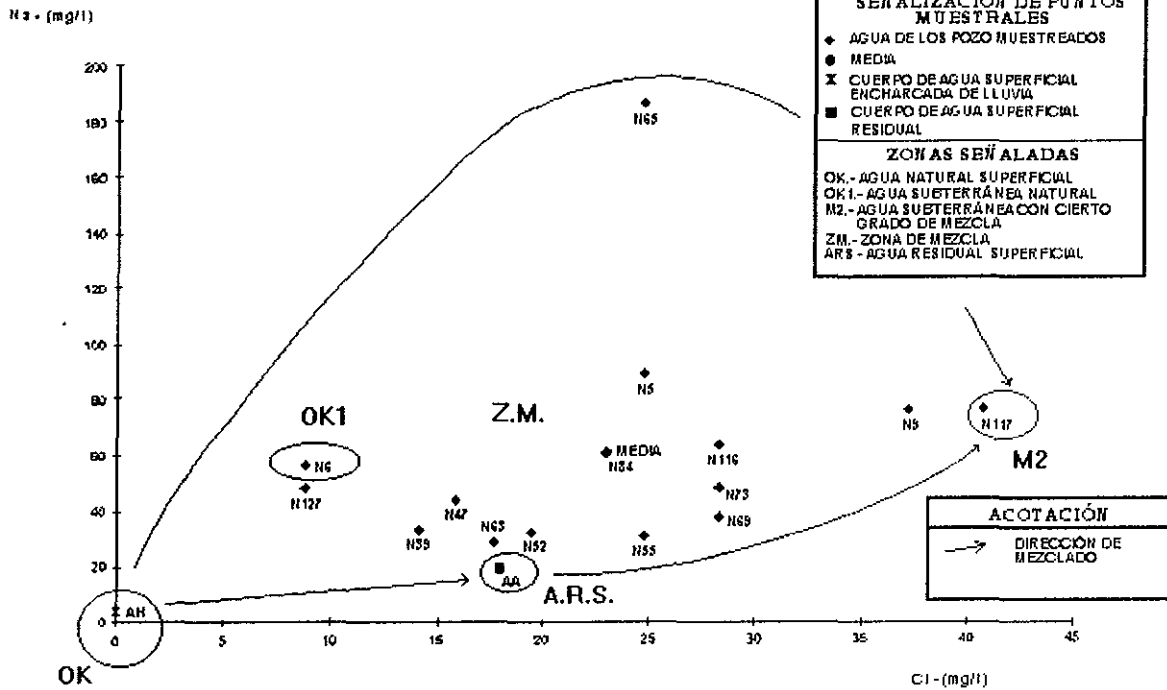
Gráfica 25 Comparativa Cl- vs Ca⁺⁺, Zona 2, N-E.



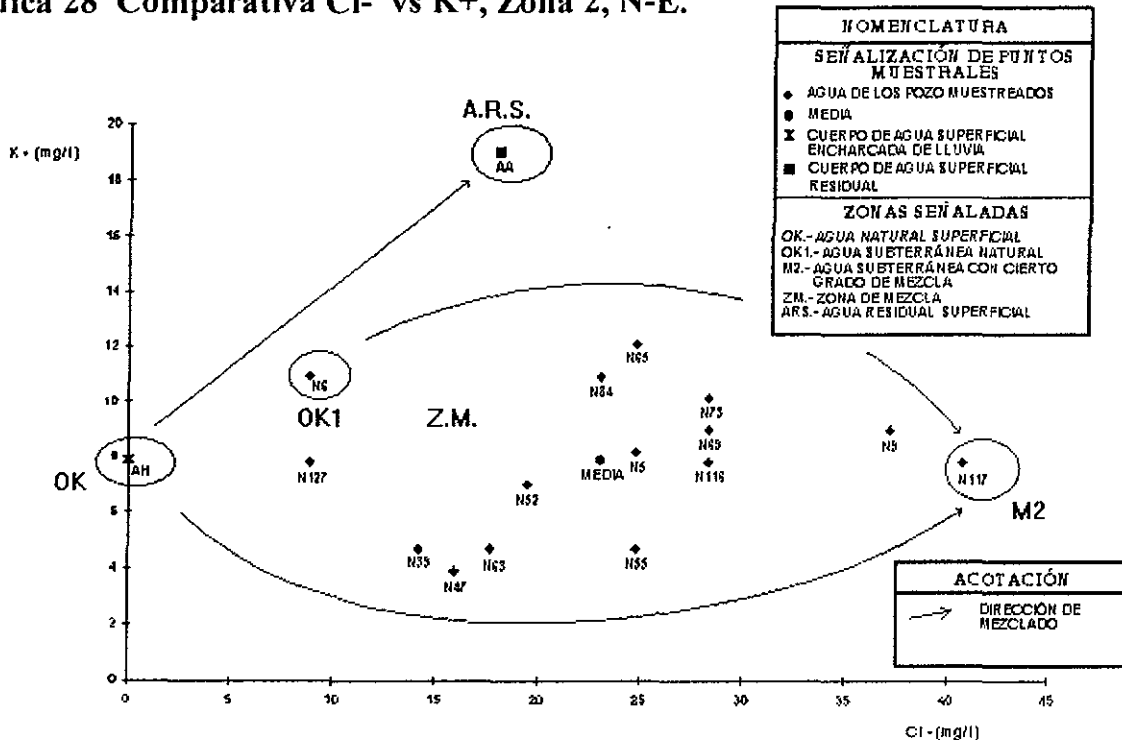
Gráfica 26 Comparativa Cl- vs Mg⁺⁺, Zona 2, N-E.



Gráfica 27 Comparativa Cl- vs Na+, Zona 2, N-E.



Gráfica 28 Comparativa Cl- vs K+, Zona 2, N-E.



4.4 METALES

Con el fin de mostrar su importancia para el ambiente, en la Tabla 22 se muestran los límites máximos de los parámetros aquí considerados de siete Normas diferentes, en donde se incluye la NOM-127-SSA1-1994 que rige la calidad del agua en México.

Tabla 22 Límites máximos permisibles de siete Normas diferentes respecto a algunos metales de mayor interés ambiental:

PARAMETRO	U	NORMAS						
		1	2	3	4	5	6	7
CADMIO (Cd ⁺⁺)	mg/l	0.005	0.005	0.005	0.003	0.005	0.010	0.050
COBRE (Cu ⁺⁺)	mg/l	2	1.5	1	2	1.3	1	-
CROMO (Cr ⁺⁺)	mg/l	0.05	-	0.05	0.05	-	-	0.05
FIERRO (Fe ⁺⁺)	mg/l	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-
MANGANESO (Mn ⁺⁺)	mg/l	0.15	0.15	0.1	0.1	-	1	0.05
NÍQUEL (Ni ⁺⁺)	mg/l	-	-	0.03	0.02	-	0.03	-
PLOMO (Pb ⁺⁺)	mg/l	0.025	0.05	0.05	0.01	0.015	0.05	0.005
ZINC (Zn ⁺⁺)	mg/l	5	5	5	3	5	5	-
COBALTO (Co ⁺⁺)	mg/l	-	-	-	-	-	-	-

NORMAS:

- 1 Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994).
- 2 SECRETARÍA DE SALUD I-1988.
- 3 O.M.S.-1984.
- 4 O.M.S.-1993.
- 5 EPA-USA-IX-1991.
- 6 Criterios Ecológicos-XII-1989 (S.E.D.E.S.O.L., 1989).
- 7 Criterios Ecológicos-VI-1992.(S.E.D.E.S.O.L., 1992).

Los resultados de los análisis efectuados para metales traza de mayor interés ambiental en agua subterránea, se muestran en las Tablas 23 y 24 (Anexo IX). En ellas, las concentraciones de los metales solubles varían de décimas de mg/l (fierro, plomo, cobalto y níquel) a centésimas de mg/l para los metales restantes (cobre, manganeso, zinc, cromo y cadmio).

Como se observa, de acuerdo a ellas, las concentraciones de plomo, níquel y cadmio están muy por arriba del límite máximo permisible. Estas concentraciones son representativas de las condiciones del agua subterránea al momento del muestreo.

4.4.1 Distribución espacial de metales

La gran cantidad de Pb⁺⁺, Ni⁺⁺ y Cd⁺⁺ analizada en las muestras del agua subterránea de las dos zonas , supone una importante contaminación que se puede considerar por causas geológicas, aunque también se observa el aumento de sus concentraciones en los pozos cercanos al basurero, presa de los Gringos y arroyo de los Arellano, en la zona N-E. Mientras que en la S-W, se observa un aumento en los sitios cercanos al río San Pedro, arroyo de San Francisco y presa del Niágara.

La evaluación a detalle por zonas es la siguiente:

A) Hierro (Fe⁺⁺)

a) Zona S-W

Como lo muestra la Fig. 42 (Anexo X), las concentraciones más altas de Fe⁺⁺ se detectaron en la zona ubicada al Poniente del río San Pedro, en los pozos S70B, S48 y S70A con 0.230, 0.115 y 0.115 ppm respectivamente. Estas concentraciones son muy cercanas al límite máximo de Normas que señala 0.300 ppm. Como se analizó, las características geológicas de esta área son diferentes a la ubicada del lado Oriente del río San Pedro, en donde destaca el escalón ignimbrítico en la pared del graben. Se observa también, el aumento de Fe⁺⁺ en el área de recarga establecida por el río San Pedro y Arroyo de San Francisco. Por último, se presenta una disminución de este elemento hacia el Centro de la Ciudad.

a) Zona N-E

En esta zona se observa gran influencia del agrietamiento en sus dos acuíferos, el granular (Del Valle) y el fracturado (Ojocaliente), uno funcionando en forma transmisora (Ojocaliente) y el otro en forma receptora (Del Valle) como se muestra en la configuración del Fe⁺⁺ de la Fig. 43 (Anexo X). La mayor concentración de este elemento, se localiza en el basurero municipal y se difunde hacia el acuífero granular, en dirección al flujo subterráneo.

B) Cobre (Cu⁺⁺)

a) Zona S-W

La Fig. 44 (Anexo X), muestra la configuración del Cu⁺⁺ en el agua subterránea de esta zona de estudio. En ella se observa poca concentración de este metal, aumentando en los pozos localizados cerca de la confluencia del río San Pedro - arroyo de San Francisco y planta de tratamiento. Sin embargo, hacia el Norte se localizan los mayores niveles de Cu⁺⁺, en el pozo S79 con 0.109 ppm, todavía muy por debajo del límite máximo permisible de 2 ppm.

b) Zona N-E

La concentración media de Cu⁺⁺ en el agua subterránea de esta zona está alrededor de las 0.020 ppm, subiendo ligeramente en el área que rodea al basurero municipal, para después bajar en el acuífero granular, como se observa en la configuración de este metal realizada en la Fig. 45 (Anexo X).

C) Manganeso (Mn⁺⁺)

a) Zona S-W

Respecto al Mn⁺⁺ las Normas señalan un límite máximo de 0.150 ppm, el cual sólo es superado en el agua del pozo S63, "El Centavito", con 0.463 ppm, este pozo se encuentra

fuertemente influenciado por el río San Pedro. Sin embargo, las concentraciones máximas de los demás pozos están al rededor de las 0.020 ppm, incrementándose en pozos localizados al Sur del arroyo de San Francisco, como el S34 con 0.038 ppm y S35 con 0.025 ppm, ambos localizados en el rancho de Santa Mónica, como lo muestra la Fig. 46 (Anexo X).

b) Zona N-E

En general esta zona contiene poco Mn^{++} , ya que el agua de sus pozos registran valores medios de 0.020 ppm, aumentando ligeramente en el pozo N127 ubicado cerca del arroyo de la Hacienda con 0.038 ppm, como se aprecia en la Fig. 47 (Anexo X).

D) Zinc (Zn^{++})

a) Zona S-W

Aunque las concentraciones de Zn^{++} encontradas en esta zona son muy bajas (alrededor de las 0.040 ppm) con respecto al límite máximo permisible de Normas que es de 5.0 ppm, se observa claramente un incremento en los valores de este metal en agua de los pozos situados cerca de la planta de tratamiento, presa del Niágara y a lo largo del río San Pedro. Lo anterior se describe claramente en la Fig. 48 (Anexo X).

b) Zona N-E

En la configuración del Zn^{++} de la Fig. 49 (Anexo X), se muestra la gran influencia de la falla Oriente y el basurero municipal sobre el acuífero granular ubicado dentro del graben. La concentración máxima observada en esta zona se detectó en el pozo N69 con 0.045 ppm.

E) Plomo (Pb^{++})

a) Zona S-W

Los resultados obtenidos del laboratorio respecto a este elemento, presentan una excesiva concentración, tal vez con influencia geológica, ya que el valor mínimo encontrado fue de al rededor de las 0.150 ppm, mientras que el límite máximo permitido por Normas es de 0.025 ppm. Además, en la configuración de las concentraciones de esta zona, mostrada en la Fig. 50 (Anexo X), se observa un gran incremento en el agua de los pozos ubicados cerca de la planta de tratamiento y de la confluencia del río San Pedro - arroyo de San Francisco, específicamente en pozos como el S63B con 0.752 ppm, S82 con 0.602 ppm y S63 con 0.451 ppm.

b) Zona N-E

Los resultados obtenidos en esta zona son muy semejantes a los encontrados en la S-W, del orden de las 0.150 ppm a las 0.752 ppm. Como se observa en la Fig. 51 (Anexo X), la concentración de Pb^{++} aumenta considerablemente en el agua del pozo N117, aledaño al

arroyo de los Arellano, y que tiene una gran influencia de flujo sobre los pozos de esta zona, localizados ya sea dentro o fuera del graben.

F) Cromo (Cr⁺⁺)

Tanto en la zona S-W como en la N-E, no se encontró concentración alguna de cromo; cabe mencionar que el límite máximo de Normas para este metal es de 0.05 ppm.

G) Cobalto (Co⁺⁺)

a) Zona S-W

Debido a que el límite máximo de Norma del Co⁺⁺ no ha sido regulado, no fue posible su comparación con un estándar, sin embargo, en la configuración se encuentra un aumento de este constituyente menor del agua, en el Sur de esta zona, sobre todo en pozos ubicados cerca de la planta de tratamiento y la presa del Niágara. En general, sus concentraciones están abajo de las 0.100 ppm aumentando a 0.150 ppm al Poniente del río San Pedro, como se muestra en la Fig. 52 (Anexo X).

b) Zona N-E

En esta zona se observa claramente la influencia de la falla Oriente y del basurero municipal en el incremento de la concentración de Co⁺⁺ en el agua de los pozos muestreados cerca de ellos, como se puede apreciar en la Fig. 53 (Anexo X).

H) Níquel (Ni⁺⁺)

a) Zona S-W

La cantidad de Ni⁺⁺ aumenta al Sur de esta zona y cerca del río San Pedro. Los pozos que presentan mayor concentración son el S35 y S70B ambos con 0.208 ppm. Es importante destacar que todos los pozos se encuentran muy por encima del límite máximo permitido de Ni⁺⁺ que es de 0.020 ppm, lo que hace suponer también, una influencia geológica de este elemento, como se observa en la Fig. 54 (Anexo X).

b) Zona N-E

Al igual que en la zona S-W, esta zona contiene exceso de Ni⁺⁺, Pb⁺⁺ y Cd⁺⁺. De la configuración hecha en la Fig. 55 (Anexo X), se observa un aumento gradual en la concentración de Ni⁺⁺ hacia el basurero municipal con influencia por medio de la falla Oriente en el acuífero granular.

I) Cadmio (Cd⁺⁺)

a) Zona S-W

En Cd⁺⁺ se encontraron concentraciones muy altas al igual que en Pb⁺⁺ y Ni⁺⁺ a tal grado que sobrepasan por mucho el límite máximo permisible de Normas. En el caso del Cd⁺⁺ se detectaron concentraciones con valores de hasta 0.040 ppm, mientras que las Normas señalan un límite de 0.005 ppm, por lo que al igual que los otros dos elementos, se puede considerar una influencia geológica. En la parte Norte del río San Pedro y a lo largo del arroyo de San Francisco Además, se presentó un aumento gradual en las concentraciones, como se muestra en la Fig. 56 (Anexo X).

b) Zona N-E

Al igual que la zona S-W, también se observa un exceso de Cd⁺⁺, aumentando en zonas que conforman los arroyos de la Hacienda, de los Arellano y el basurero municipal. La presencia de este elemento en el acuífero, también puede ocurrir por la lixiviación producida del desgaste de llantas, aceites, pilas y baterías, elementos comunes en la Ciudad. En esta zona analizada en la Fig. 57 (Anexo X), se observa la gran influencia de la falla Oriente en el agua del acuífero granular, a tal grado que en el pozo N47 se detectó una concentración de 0.050 ppm.

4.4.2 Pares iónicos

De la Gráfica 37 a la 68, se analizan las relaciones y tendencias que abajo se describen, al hacer las comparaciones entre pares iónicos: aniones - metales. En estas relaciones, se señalan los puntos muestrales del agua de los diferentes pozos analizados para conocer las tendencias del agua subterránea en las dos zonas de estudio.

Al igual que en el análisis hecho a los iones principales, en éste es importante la referencia de los dos pozos contaminados con agua residual superficial (ARS) ubicados en la zona S-W, el S63 "el Centavito" y el S100A "los Arbolitos". Ubicando también, las zonas de agua subterránea normal y de mezcla con las referencias ya conocidas.

A) Zona S-W

a) Cl⁻ vs metales

El trazador principal es el Cl⁻, ya que en él se aprecia claramente las tendencias de las concentraciones del agua subterránea en zona de mezcla (ASZM) hacia el agua subterránea contaminada (ASC), representada en estas relaciones por el agua de los pozos S100A y S63.

En la relación con el Fe⁺⁺ se observan concentraciones medias del ASC en comparación con las del ASZM, como señala la Gráfica 37.

La anterior relación también ocurre con el Cu⁺⁺, sin embargo, en este ion, el agua del pozo S63 tiene una de las más altas concentraciones, sólo superada por el agua del pozo S79, como se aprecia en la Gráfica 38.

En Mn^{++} , se observan valores muy similares en el agua de todos los pozos, a excepción del S63, ya que éste tiene una concentración muy superior a la de los demás, como se observa en la Gráfica 39 (Anexo XI).

Respecto al Zn^{++} , ocurre un caso muy similar al de la comparativa con el Fe^{++} , en donde se presentan concentraciones medias en el ASC con relación al ASZM, lo cual es mostrado en la Gráfica 40 (Anexo XI).

En Pb^{++} , el ASC tiene concentraciones semejantes al ASZM en donde incluso, el agua de algunos pozos tiene valores más altos como la del S63B y el S82, con respecto a la del S63, como se observa en la Gráfica 41 (Anexo XI).

En la comparativa Cl^- vs Co^{++} , se aprecia que el ASC tiene concentraciones de Co^{++} ligeramente mayores al ASZM como se ve en la Gráfica 42 (Anexo XI), en donde también se observa la influencia del agua del pozo S100A sobre la de los demás.

Respecto al Ni^{++} , se detectan altos contenidos en el ASZM así como en el ASC, según la Gráfica 43 (Anexo XI).

Y por último, la relación con Cd^{++} fue muy similar a la relación con el Fe^{++} entre las dos aguas, como se observa en la Gráfica 44 (Anexo XI).

b) HCO_3^- - vs metales

Respecto al HCO_3^- , la concentración del ASC presenta valores semejantes al ASZM.

Como se muestra en la comparativa con el Fe^{++} de la Gráfica 45 (Anexo XI), el ASC contiene niveles ligeramente mayores que el ASZM.

Con el Cu^{++} se observan también, concentraciones semejantes entre el ASC y el ASZM de acuerdo a la Gráfica 46 (Anexo XI).

En Mn^{++} se aprecian valores muy similares tanto en el ASC como en el ASZM a excepción del agua del pozo S63 que presenta exceso de Mn^{++} , como se muestra en la Gráfica 47 (Anexo XI).

En Zn^{++} y Pb^{++} ocurre un caso semejante al de la comparativa con el Cu^{++} , como lo señala la Gráfica 48 y 49 (Anexo XI), conteniendo niveles medios en el ASC en relación al ASZM.

En Co^{++} , Ni^{++} y Cd^{++} , se aprecian valores ligeramente mayores en las concentraciones del ASC con respecto al ASZM, como se muestra en las Gráficas 50, 51 y 52 (Anexo XI).

En general, las comparativas indican concentraciones de metales muy similares en el agua de todos los pozos, variando ligeramente de acuerdo a la localización del pozo muestreado.

B) ZONA N-E

Las referencias del agua de extracción en los pozos con menor (N127) y mayor (N117) concentración de iones, dieron las características del agua subterránea normal (ASN) y con cierto grado de mezcla (ASZM) en esta zona.

a) Cl^- - vs metales

En la relación con respecto a la concentración de Fe^{++} , se nota que éste aumenta hacia el pozo N73, mientras el ASN se mantiene abajo y a la izquierda de la Gráfica 53.

En Cu^{++} , los valores del ASZM y del ASN son muy similares, aumentando sólo en los pozos N5 y N116, como se observa en la Gráfica 54.

Respecto a los niveles de Mn^{++} , el ASZM y el ASN, también son muy similares aumentando en el pozo N6, como lo señala la Gráfica 55 (Anexo XI).

La concentración de Zn^{++} , muestra un ligero aumento del ASN al ASZM, según la Gráfica 56 (Anexo XI).

En la comparativa del Pb^{++} , presentada en la Gráfica 57 (Anexo XI), se observa su tendencia de aumento del ASN hacia el ASZM, con clara influencia del pozo N117.

En Co^{++} , se presentan tendencias similares a las del Pb^{++} , pero hacia los pozos N52, N55 y N69, como se ve en la Gráfica 58 (Anexo XI).

En Ni^{++} , se muestra una tendencia de aumento de concentración hacia el ASZM, esto mostrado en la Gráfica 59 (Anexo XI).

Y por último, en Cd^{++} se observan niveles similares en al ASN y el ASZM, como lo muestra la Gráfica 60 (Anexo XI).

b) HCO_3^- - vs metales

Respecto al HCO_3^- , las tendencias en la concentración del ASN presenta valores semejantes al ASZM al igual que en la zona S-W.

En la Gráfica 61 (Anexo XI) se muestra la comparativa vs Fe^{++} donde se aprecia el aumento de la concentración de este ion hacia el ASZM.

En Cu^{++} , se muestran valores similares en el ASN y el ASZM como se ve en la Gráfica 62 (Anexo XI), con una dirección de mezclado hacia los pozos N116 y N5.

En Mn^{++} el ASZM se encuentra situada entre las concentraciones del ASN de los pozos N6 y N127. En general, los niveles de Mn^{++} son bajos, como se muestra en la Gráfica 63 (Anexo XI).

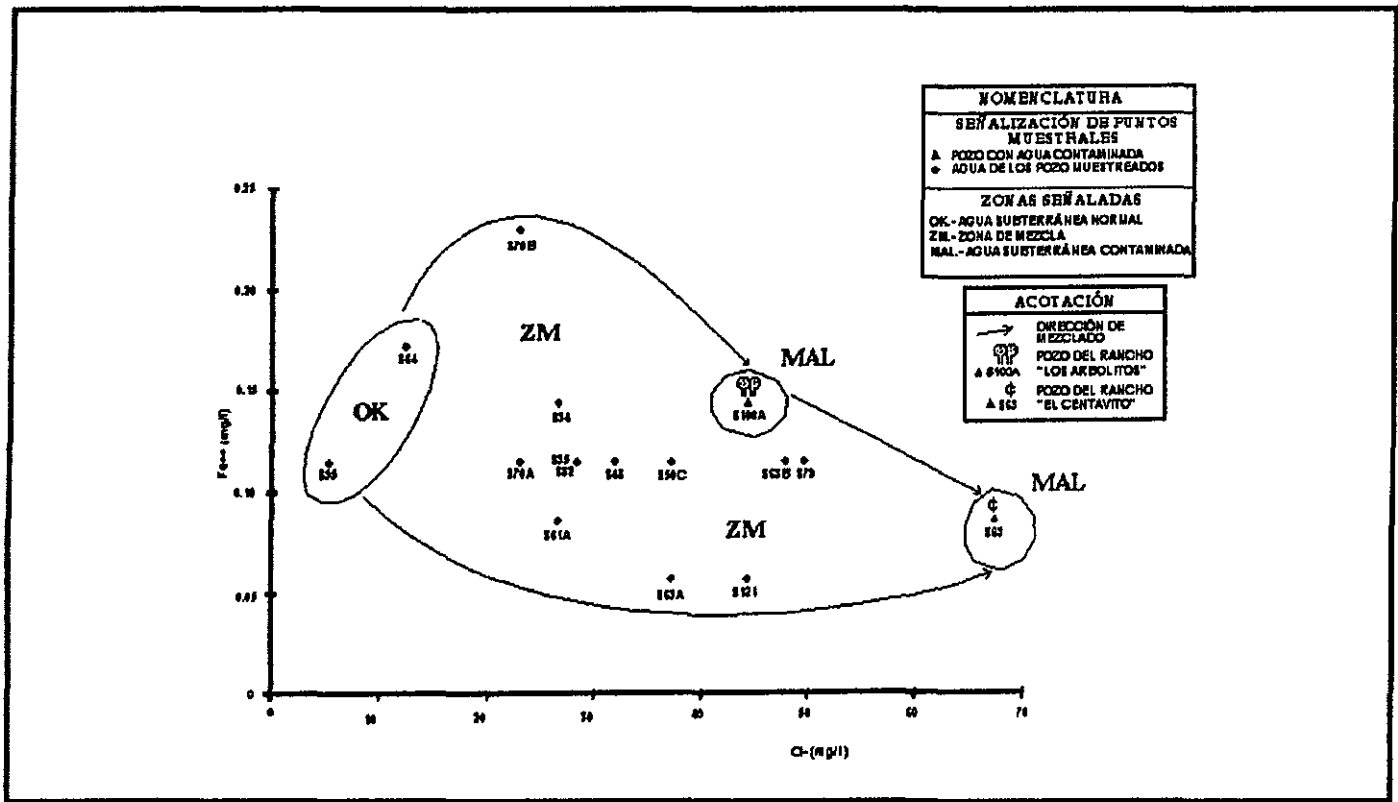
En Zn^{++} se aprecian concentraciones que aumentan hacia el ASZM en varios pozos, incluso con valores mayores que los detectados en el agua del pozo N117, como se ve en la Gráfica 64 (Anexo XI).

En Pb^{++} se observa un aumento en sus niveles del ASZM hacia el pozo N117, como lo muestra la Gráfica 65 (Anexo XI).

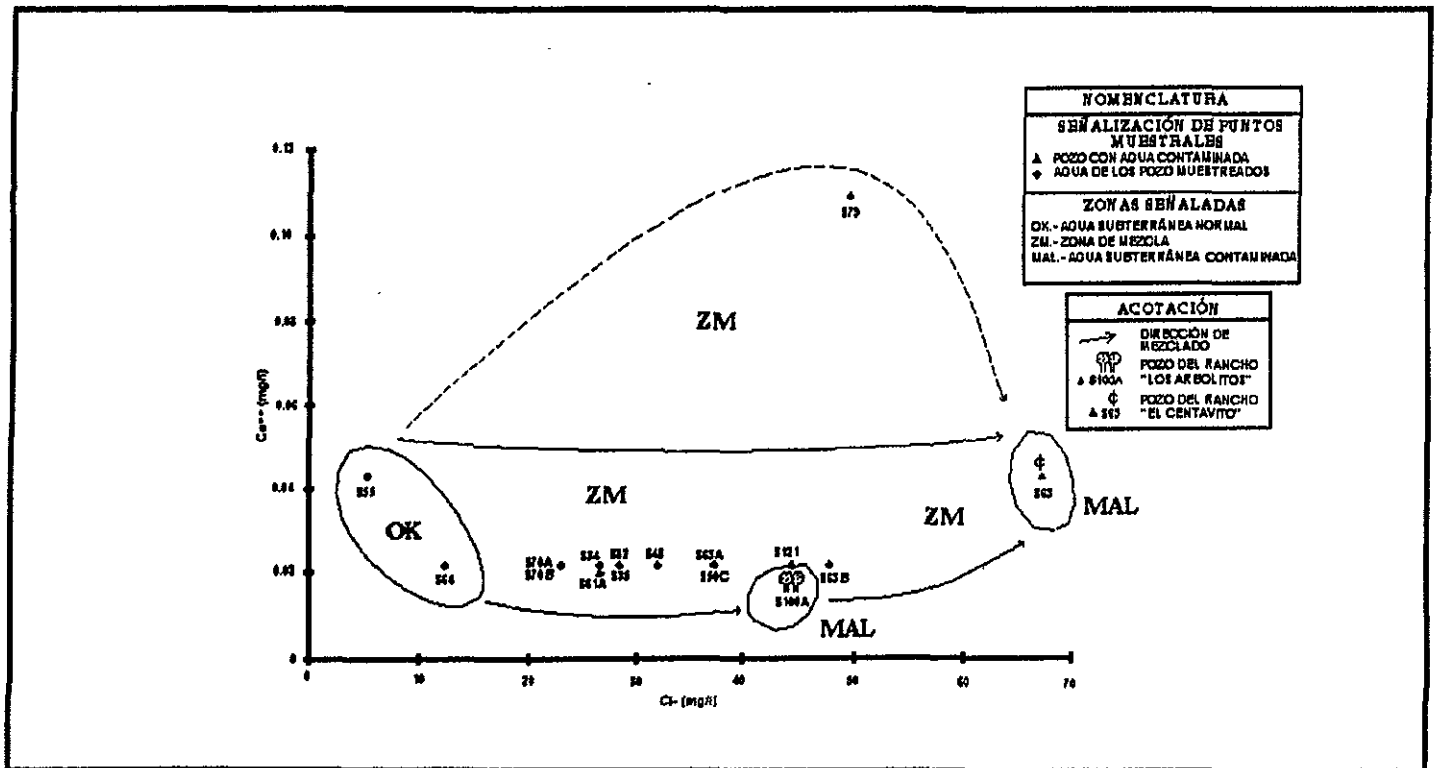
En Co^{++} y en Ni^{++} se detecta el mismo aumento en la concentración del ASN hacia el ASZM, principalmente hacia los pozos N69, N73, N52 y N55, como se observa en las Gráficas 66 y 67 (Anexo XI).

Por último, en Cd^{++} se aprecian concentraciones semejantes en el ASN y el ASZM, como lo señala la Gráfica 68 (Anexo XI).

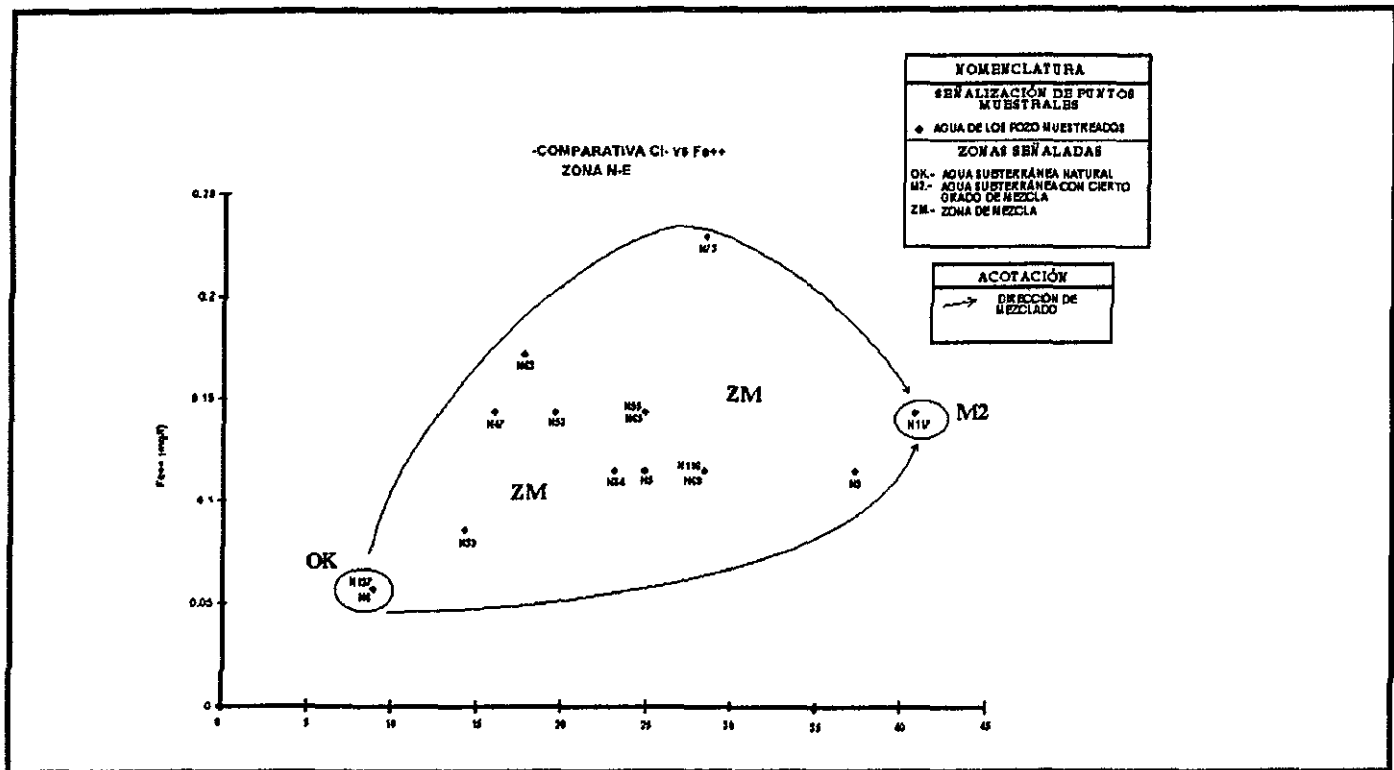
En general, se presentan concentraciones de metales muy similares en el agua subterránea de las dos zonas de estudio, con valores semejantes en los pozos referenciados con características de bajo y alto contenido de iones en su agua de extracción.



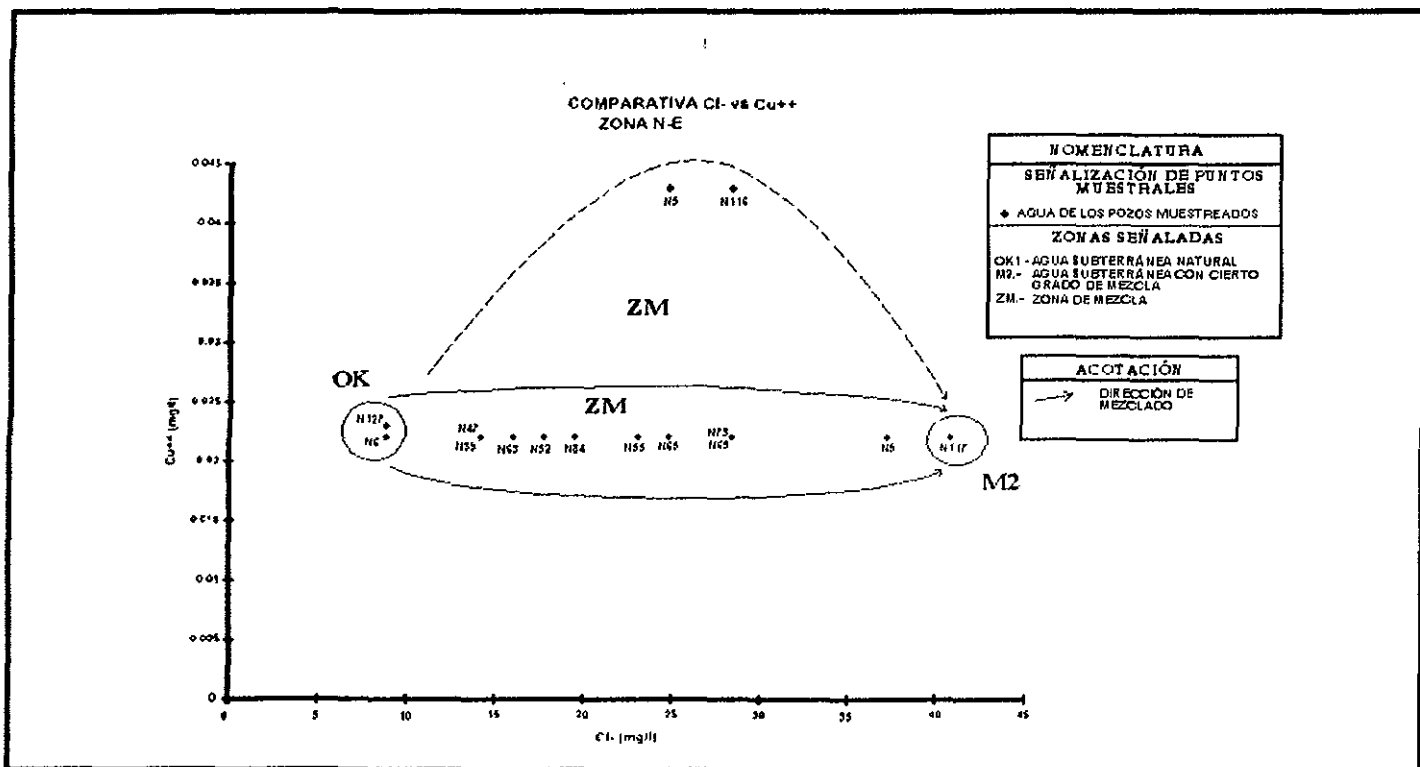
Gráfica 37 Comparativa Cl- vs Fe⁺⁺, zona 1, S-W.



Gráfica 38 Comparativa Cl- vs Cu⁺⁺, zona 1, S-W.



Gráfica 53 Comparativa Cl- vs Fe⁺⁺, zona 2, N-E.



Gráfica 54 Comparativa Cl- vs Cu⁺⁺, zona 2, N-E.

4.5 COMPUESTOS ORGÁNICOS

Respecto a los compuestos orgánicos, se pudo detectar la presencia de algunas familias no estandarizadas en Normas, pero que por su composición presentan propiedades importantes de analizar, confirmando así la interacción del agua residual con el acuífero de la ciudad de Aguascalientes. La presencia de picos observados en el cromatógrafo de algunos grupos de compuestos orgánicos se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25 PRESENCIA DE GRUPOS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA MUESTREADA.

ZONA 1, S-W		ZONA 2, N-E	
POZO MUESTREADO	PICOS OBSERVADOS	POZO MUESTREADO	PICOS OBSERVADOS
S34	X1, X2, X3, X4, X5 y X6	N69	X2, X3, Y1, Y2 y X6
S63	X1, X2, X3, X4, X5 y X6	N73	X2, X3, Y1, Y2 y X6
S100A	X1, X2, X3, X4, X5 y X6		

De la comparación realizada por el laboratorio contra la NOM-081, los picos de los cromatogramas no corresponden a ningunos de los compuestos incluidos en ella, sin embargo, al trabajarse independientemente de la biblioteca de Norma, los picos restantes indican la presencia de ciertos compuestos orgánicos dentro de las familias de semivolátiles (7 picos detectados) y volátiles (un pico). En general, se puede decir que las concentraciones a las cuales se detectaron, son del orden de microgramos por litro.

Las cromatografías del agua de los cinco pozos muestreados de las dos zonas de estudio, son presentadas en las Gráficas de la 69 a la 73 (Anexo XII). Como se observa en ellas, los picos detectados corresponden a compuestos diferentes a los presentados en la NOM-081.

En la zona uno, S-W, se observaron seis picos diferentes que se presentaron en forma común en el agua de los tres pozos analizados. De estos picos probablemente cuatro correspondan a hidrocarburos de cadena cerrada con varios radicales sustituidos y que pueden ser clasificados como DNAPL's y uno de cadena abierta con uno o dos carbonos y varias sustituciones.

En la zona dos, N-E, se presentaron cinco picos de los cuales tres son posibles de identificar con cierta probabilidad, en cambio hay un cuarto pico muy difícil de definir (Y2) y un quinto que no se puede identificar (X6).

Cabe señalar que existen tres picos de los identificados en la zona uno, que también se presentan en la zona dos.

Las representaciones químicas de estos picos se presentan en la Tabla 26, donde se muestran sus detalles analizados fuera de biblioteca de la Norma NOM-081. La descripción por zona de estos picos observados es la siguiente:

A) Zona S-W

a) Pico X1

Hidrocarburo de cadena cerrada con 6 carbonos (bencénico), con dos o tres radicales sustituidos, uno de ellos probablemente sea -OH, puede tratarse de un isómero de la familia de los fenoles.

b) Pico X2

Hidrocarburo de cadena cerrada con 6 carbonos (bencénico), con varias sustituciones, una de ellas probablemente sea de halógeno.

c) Pico X3

Hidrocarburo de cadena cerrada (5 ó 6 carbonos), probablemente fenol unido a un NO_2 , aunque pueden presentarse de dos a tres radicales.

d) Pico X4

Hidrocarburo de cadena cerrada (5 ó 4 carbonos), con dos o tres sustituciones ramificadas.

e) Pico X5

Hidrocarburo de cadena abierta de uno o dos carbonos y varios radicales sustituidos, pudiendo ser dos halógenos semejantes.

B) Zona N-E

a) Pico Y1

Hidrocarburo que al parecer es de cadena cerrada con 5 carbonos y con 3 sustituciones, probablemente del mismo halógeno.

b) Pico Y2

Hidrocarburo con varias sustituciones, es complejo y puede tratarse de una mezcla de isómeros.

Las claves X y Y fueron consideradas sólo para ubicar los picos que resultaban desconocidos, es decir, los que no corresponden a la Norma.

Cabe destacar que el punto X6 es muy difícil de determinar ya que sale de los puntos de referencia del Cromatograma.

Las familias X2 y X3 aparecen repetidas en ambas zonas, desafortunadamente es difícil determinar las concentraciones en que varían cada una de ellas.

De acuerdo a las características de las familias detectadas, las densidades se presentan más arriba de la densidad del agua o muy cercanas, por lo que se clasifican como más densos que el agua, es decir, como DNAPL's; ya que el peso molecular de todos ellos se incrementa por las sustituciones con halógenos y/o por las ramificaciones de los radicales.

Otra característica importante es que los pozos muestreados de la zona uno, S-W, tienen una fuerte influencia del río San Pedro (S63), la presa del Niágara (S100A) y del arroyo de San Francisco (S34). Todos estos CAS con agua de desecho industrial.

Mientras que los pozos localizados en la zona dos, N-E, (N69 y N73) con geología muy poco permeable, tienen una característica común: están muy cerca de la falla Oriente y del basurero municipal. Lo anterior comprueba la gran importancia que las fracturas tienen en el transporte de contaminantes al acuífero profundo de la ciudad de Aguascalientes.

Tabla 26 Detalle del análisis de picos observados.

PICO OBSERVADO.	COMPUESTO ORGÁNICO POSIBLE.
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	<p style="text-align: center;">x = varios radicales</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} X1 \\ \\ C \\ \\ X2 \end{array}$ </div> <div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} X1 \\ \\ C \\ \\ N \end{array}$ </div> <div style="text-align: center;"> $X1 - C - C - X2$ </div> <div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} X1 \\ \\ C - C \\ \\ X2 \end{array}$ </div> </div>
X6	NO IDENTIFICADO
Y1	
Y2	HIDROCARBURO COMPLEJO DE VARIAS SUSTITUCIONES MEZCLA DE ISÓMEROS

4.6 ESTUDIO BACTERIOLÓGICO

El estudio bacteriológico constó de los análisis realizados a las 31 muestras de agua subterránea para detectar la presencia de bacterias coliformes totales y fecales, de la determinación del oxígeno disuelto (O.D.) y del censo de los pozos que utilizan un sistema de desinfección antes de la distribución final de su agua de extracción. Los resultados obtenidos se presentan en la TABLA 27 para la zona de estudio uno, S-W, y en la Tabla 28 para la zona de estudio dos, N-E.

En ellas se observa que prácticamente, en el agua de todos los pozos existe coliformes totales y en el agua de algunos, coliformes fecales. Se presentaron pozos que contienen más de 240 nmp/100 ml de coliformes totales, como el S48, S55 y S63B; dos de ellos son particulares y uno de municipio (S48), pero ninguno utiliza un sistema de cloración antes de su distribución.

En lo que respecta al oxígeno disuelto (O.D.), la gran mayoría de los pozos, sobre todo de la zona S-W, tienen problemas con el límite mínimo de normas que es de 3 mg/l.

En general, los pozos municipales que requieren de un sistema de desinfección son: el S48, N6, N9, N63 y N65 ; todos los demás ya tienen este sistema, ya sea por medio de hipoclorito de sodio o por medio de cloro gas, como se puede ver en las Tablas 27 y 28.

Tabla 27 Resultados de los análisis bacteriológicos del agua subterránea y del censo de pozos desinfectados en la zona de estudio 1, S-W.

POZO	COLIFORMES	COLIFORMES	O.D.	SISTEMA DE DESINFECC.	
	TOTALES	FECALES		SI/NO	TIPO
	NMP/100 ml	NMP/100 ml			
S48	MÁS DE 240	5	2.4	NO	----
S79	22	1	1.7	SI	1
S82	10	0	2.5	SI	2
S121	2	0	3	SI	2
S55	MÁS DE 240	10	2.5	NO	----
S50C	20	0	2.2	NO	----
S63	50	5	3	NO	----
S63A	20	0	2	NO	----
S63B	MÁS DE 240	5	2.4	NO	----
S61A	2	0	2.8	NO	----
S64	16	1	3.5	NO	----
S70A	2	0	3.4	NO	----
S70B	8	0	3.2	NO	----
S34	2	0	3.8	NO	----
S35	2	0	4.1	NO	----
S100A	5	1	2.5	NO	----
NORMA	2	0	3	----	----

TIPO DE DESINFECCIÓN:
 1.- HIPOCLORITO DE SODIO.
 2.-CLORO GAS.

Tabla 28 Resultado de los análisis bacteriológicos del agua subterránea y del censo de pozos desinfectados en la zona de estudio 2, N-E.

POZO	COLIFORMES	COLIFORMES	O.D.	SISTEMA DE CLORACIÓN	
	TOTALES	FECALES		SI/NO	TIPO
	NMP/100 ml	NMP/100 ml			
N5	0	0	4.2	NO	----
N6	20	0	3	NO	----
N9	9	0	2.66	NO	----
N39	4	0	4.5	SI	2
N47	20	1	2.5	SI	2
N52	0	0	4.8	SI	2
N55	11	1	3.4	SI	1
N63	4	4	3.3	SI	2
N65	23	5	2	NO	----
N69	4	0	3.6	NO	----
N73	9	0	5.3	SI	2
N84	0	0	3.3	SI	1
N116	0	0	3.2	NO	----
N117	5	0	3.2	SI	2
N127	0	0	4.3	SI	2
NORMA	2	0	3	----	----

TIPO DE DESINFECCIÓN:
 1.- HIPOCLORITO DE SODIO.
 2.-CLORO GAS.

4.7 MODELO CONCEPTUAL

Con base en lo analizado se tiene el siguiente modelo conceptual:

El subsuelo de la ciudad de Aguascalientes está formado por rellenos aluviales de un graben ignimbrítico fracturado, por lo que es muy probable que el basamento del acuífero libre que existe en esta Ciudad sea un complejo de rocas ígneas y sedimentarias muy metamorfizadas (a Esquistos verdes) llamado "Complejo Basal".

El gran fracturamiento existente en los paquetes ignimbríticos y tobas, localizados fuera del graben, permite el flujo subterráneo en ellos.

El acuífero se ha considerado influido por tres sistemas de flujo: regional, intermedio y local, de acuerdo a la localización del área de recarga (Carrillo, 1996).

El excesivo bombeo subterráneo en la Ciudad y en especial, de la zona Sur han ocasionado un gran abatimiento de los niveles estáticos, a tal grado que el flujo subterráneo natural N-S se invierte en esta zona (S-N). Esto provoca que el flujo desde cualquier punto periférico genere una dirección hacia el Centro de la Ciudad, por lo que alguna alteración en la propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas en el acuífero producto de la influencia de fuentes superficiales localizadas ya sea en la periferia o dentro de la Ciudad repercutirá en el agua de extracción de sus pozos profundos.

En las dos zonas estudiadas se encontró que el acuífero de esta Ciudad es vulnerable. En el acuífero granular se encontró una clara influencia físico, química y bacteriológica del agua residual superficial, como se observa en la Fig. 58. En ella, se muestra que mediante infiltraciones producidas, ya sea por la presencia de fracturas o por zonas de recarga natural, hace posible el contacto agua residual - acuífero en el medio granular. Inclusive, en condiciones de mayor toxicidad, se encontró un alto riesgo de producirse contacto lixiviado-acuífero en el medio fracturado ígneo, localizado al lado Oriente del graben donde se asienta esta Ciudad. Esto provocaría la infiltración hacia el acuífero granular del lixiviado, debido al contacto permeable entre el acuífero fracturado y el granular que representa la falla Oriente.

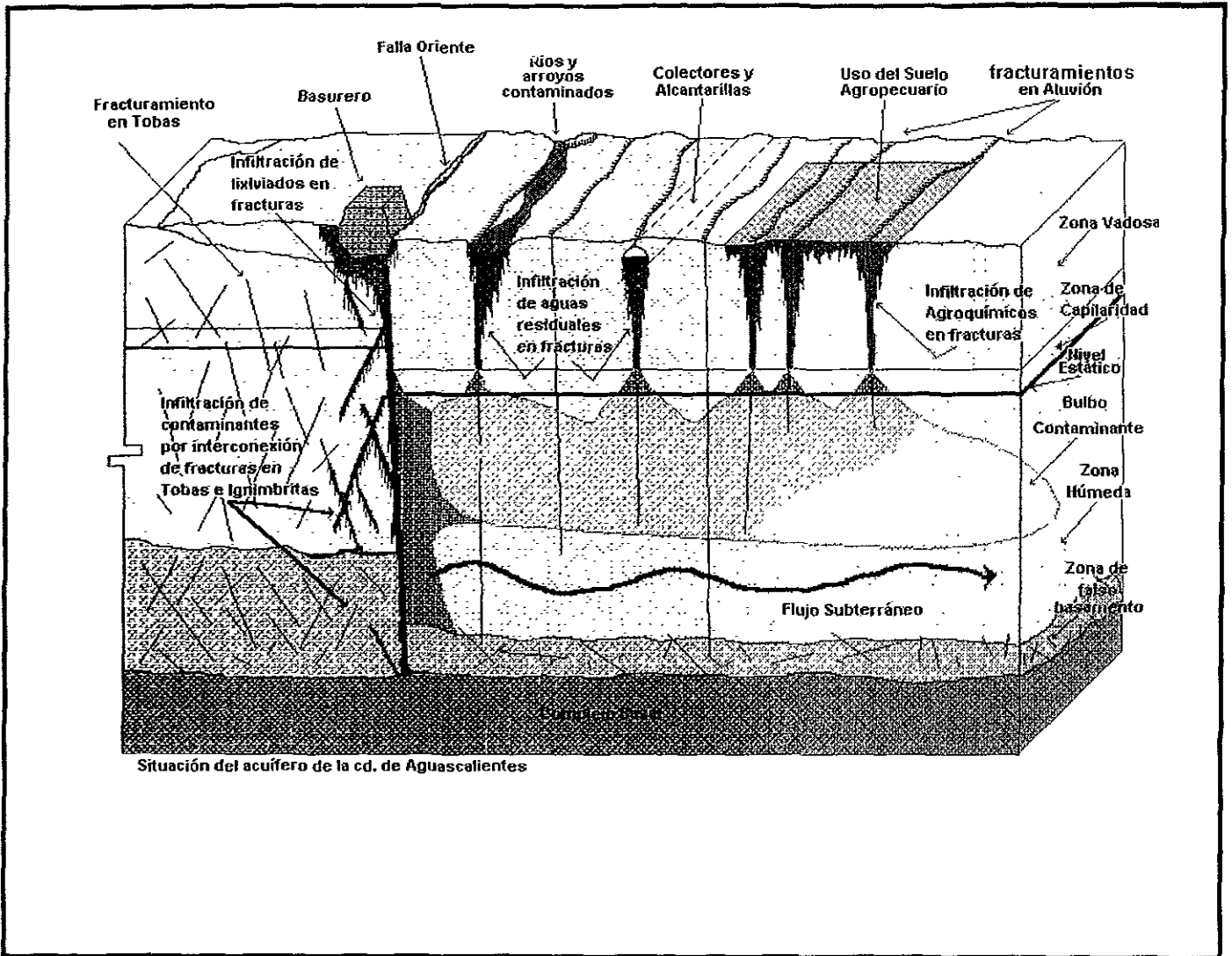


Fig. 58 Modelo conceptual.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

1. En la ciudad de Aguascalientes el gradiente hidráulico desde cualquier punto periférico genera una dirección de flujo del agua subterránea hacia el Centro de la Ciudad, apreciándose un cambio brusco en la zona Oriente, exactamente en la falla del mismo nombre. Precisamente esta falla delimita dos zonas hidrogeológicas distintas al formar la pared Oriente del graben geológico sobre el cual se asienta la mayor parte de esta Ciudad. Al Sur se observó un ligero contraflujo en la dirección natural del agua subterránea, ocasionado por el excesivo bombeo de extracción en esta zona.

2. Los puntos de riesgo de contaminación para el acuífero se detectaron en los sitios donde es evidente el contacto fracturamiento - fuente contaminante, de acuerdo al análisis cartográfico realizado.

3. Con base en las características observadas de diferentes sitios en el estudio de puntos de riesgo de contaminación del acuífero, se seleccionaron dos zonas:

- a) La zona uno, Suroeste (S-W), delimitada a 2 Km a la redonda de la confluencia del río San Pedro y el arroyo de San Francisco, donde se disponen aguas residuales de la Ciudad e industria.
- b) La Zona dos, Noreste (N-E), delimitada a 2 Km a la redonda del basurero municipal, localizado atrás del parque México, por el que cruza la falla Oriente y donde no existe ninguna protección para evitar la infiltración de lixiviados.

4. Del análisis de los parámetros de campo del agua subterránea, se desprende lo siguiente:

- a) El agua situada en las fracturas de las tobas y rocas ígneas que constituyen el flujo subterráneo de la zona Oriente de la Ciudad (acuífero del Ojocaliente) y analizadas en la Zona N-E de proyecto, presentó temperaturas mayores a las detectadas en el acuífero granular ubicado dentro del graben, con valores que fluctúan entre los 30 y los 39°C. Por el contrario, los pozos localizados cerca de los ríos o presas presentaron las temperaturas más bajas en su agua de extracción, lo que hace referir a estos cuerpos de agua superficiales como áreas de recarga de tipo local.
- b) Lo anterior se confirma al observar que la C.E. tiende a aumentar en las cercanías de los ríos, arroyos y presas, haciéndose más notorio en la zona S-W, sobre todo en el río San Pedro, arroyo San Francisco, planta de tratamiento y presa del Niágara, disminuyendo hacia el Centro de la Ciudad.
- c) Respecto a las mediciones de pH, se encontró un problema de acidez en al agua de los pozos localizados en la zona S-W, al lado Poniente del río San Pedro y cerca de la planta

de tratamiento de aguas residuales. En general, en la zona S-W se presentaron pHs más bajos que en la N-E.

5. En la caracterización de la composición química tanto del agua superficial residual como del agua subterránea, se encontró que los dos pozos detectados con exceso de detergentes en la zona S-W, el S63 y el S100A, pueden ser considerados como puntos críticos para referenciar el agua subterránea contaminada de esta zona. Estos pozos indican además, la vulnerabilidad del acuífero de la ciudad de Aguascalientes a la contaminación proveniente de fuentes superficiales en contacto con alguna fractura.

El agua de estos pozos presentó las concentraciones más altas en Cl^- y Ca^{++} , medias en HCO_3^- y en K^+ , y bajas en $\text{SO}_4^{=}$, Mg^{++} y Na^+ , con relación al agua subterránea de la zona S-W.

Por su parte, los cuerpos de agua superficiales residuales (CAS-residuales) presentaron altas concentraciones en K^+ , Cl^- y HCO_3^- . Por lo tanto, las concentraciones de K^+ y Cl^- en los pozos, se deben a alguna interacción química de las aguas superficiales residuales y el acuífero. Mientras que las altas concentraciones de Na^+ y HCO_3^- detectadas en el agua subterránea son ocasionadas por influencia geológica.

Y por último, en lo que respecta a los $\text{SO}_4^{=}$, estos tienen las concentraciones más altas en los CAS-residuales, por arriba de la media del agua subterránea, sin embargo, se observa que este ion reacciona con el medio geológico, ya que el agua de los pozos contaminados (S63 y S100A) presenta los valores más bajos.

En este ion en particular, el agua de algunos pozos presenta valores muy altos, posiblemente debido a alguna fuente cercana a ellos o a algún error en el análisis o toma de muestra.

Por último, la composición química del agua en la zona S-W es de tipo Bicarbonatado-Potásico-Sódico, mientras que en la zona N-E se encontraron altos niveles de K^+ y exceso de HCO_3^- en algunos pozos, pero en general, la composición química de su agua es de tipo normal.

6. En lo que respecta a la distribución espacial de iones mayores, se encontraron características químicas muy variables de una zona a otra, ya que el agua subterránea de la S-W, presentó mayor concentración de iones que el agua subterránea de la N-E.

En la zona S-W se observaron cinco composiciones diferentes del agua subterránea, de acuerdo a los diagramas de Stiff, mientras que en la N-E se observaron cuatro.

En el análisis de configuraciones se apreció un incremento en la concentración de los iones analizados del agua subterránea, en las cercanías de las fuentes de contaminación de las dos zonas de estudio. En la zona S-W, las concentraciones se incrementaron hacia los CAS-residuales: colector San Pedro, planta de tratamiento y presa del Niágara, y hacia el lado Poniente del río San Pedro, en donde el suelo tiene un uso agropecuario. Mientras que en la zona N-E, las concentraciones se incrementaron hacia el basurero municipal y falla Oriente.

7. El análisis de pares iónicos mostró lo siguiente:

En la utilización de iones principales como trazadores, se observó en la zona de estudio uno, S-W, que los puntos muestrales del agua subterránea contaminada de los pozos S63 y S100A, generan una tendencia en las concentraciones del agua subterránea de dirigirse hacia ellos.

A su vez, las concentraciones del agua subterránea contaminada de los pozos S63 y S100A, tienden a dirigirse hacia los puntos muestrales de las aguas residuales, lo que señala una interacción entre éstas y el acuífero granular en esta zona de estudio.

Contrario a lo analizado líneas arriba, no se detectó alguna influencia del agua residual superficial sobre las concentraciones del agua subterránea en la zona N-E, incluso se observan tendencias diferentes en las concentraciones de estas dos aguas.

Sin embargo, se pudo observar que sí existe una tendencia del agua subterránea, de dirigirse hacia las concentraciones del agua de los pozos con mayor influencia de alguna fuente contaminante.

En general, la evolución de los iones analizados manifiestan la presencia de reacciones de intercambio iónico que explican las tendencias observadas en los análisis de las zonas de mezcla, por lo que existe una disposición espacial relacionada con las áreas de recarga (sobre todo de tipo local), el uso del suelo y el intenso fracturamiento existente.

8. En lo que respecta a metales pesados, se detectaron concentraciones críticas de Pb^{++} , Ni^{++} y Cd^{++} en el agua de los pozos muestreados en las dos zonas de estudio, muy posiblemente influenciadas por la geología del lugar. Los demás metales analizados se encontraron en concentraciones de normales a bajas, a excepción del Fe^{++} que se encontró cerca del límite máximo permitido señalado por las Normas de control de calidad del agua potable. Más aún, de acuerdo con los análisis de las configuraciones se puede observar como aumentan las concentraciones de los 8 metales analizados (Fe^{++} , Cu^{++} , Zn^{++} , Cr^{++} , Mn^{++} , Pb^{++} , Ni^{++} y Cd^{++}) en las cercanías de las fuentes superficiales de contaminación de las dos zonas de estudio. Mientras tanto, en el estudio de pares iónicos aniones vs metales, se aprecian concentraciones muy similares en el agua de todos los pozos.

9. En las cinco muestras analizadas para determinar compuestos orgánicos (3 en la zona S-W y 2 en la N-E) se detectaron 7 compuestos semivolátiles y 1 volátil que no son señalados en la literatura comúnmente, en concentraciones de microgramos por litro. De estos compuestos se encontraron 6 en la zona S-W y 4 en la N-E (2 de los cuales también se detectaron en la S-W).

No obstante haberse detectado estos picos, existe la posibilidad de que las concentraciones detectadas sean mayores, debido a que en el muestreo no fue posible evitar la turbulencia del agua al llenar los frascos.

Lo anterior, muestra que el agua del acuífero comienza a sentir los efectos de la contaminación por desechos de la actividad industrial.

10. Los análisis bacteriológicos confirmaron la presencia de coliformes totales en el agua de prácticamente todos los pozos muestreados. Así también se confirmó la presencia de coliformes fecales en algunos pozos, tales como el S48, S79, S55, S63, S63B y S100A en la zona S-W, y el N47, N55 y N65 en la N-E. Además de detectarse problemas de oxígeno disuelto (O.D.) en la zona S-W y en el agua de algunos pozos de la N-E.

11. En general, los resultados obtenidos comprueban la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. Esto muestra la influencia de migración por fracturas y por contaminación en áreas específicas de recarga del acuífero de esta Ciudad.

CAPÍTULO 6

RECOMENDACIONES

1. Los resultados obtenidos sugieren la realización de estudios a detalle, sobre todo de metales pesados, compuestos orgánicos y análisis bacteriológicos.
2. Para continuar con estudios más específicos de hidrogeología de contaminantes, es necesario colocar pozos piloto de multiniveles en zonas de riesgo previamente seleccionadas.
3. Programar un sistema de monitoreo para conocer las variaciones históricas de los diferentes parámetros.
4. Llevar un registro a detalle de los puntos de riesgo detectados en este trabajo, para poder realizar estudios particulares en cada uno de ellos.
5. Estudiar los sistemas de flujo, así como las áreas de recarga de acuíferos en todo el Estado, para conocer las zonas de riesgo en la colocación de futuras industrias y rellenos sanitarios.
6. Es indispensable el estudio continuo de calidad de agua en pozos cercanos a fuentes de contaminación como ríos, rellenos sanitarios, fallas, colectores de aguas residuales, planta de tratamiento, etc., sean municipalizados o particulares.
7. Tener un mayor control en la cloración de los pozos municipales debido a la gran cantidad de coliformes existentes en el agua subterránea de esta ciudad.
8. Desarrollar una tecnología de aislamiento del relleno sanitario municipal con la finalidad de evitar el posible contacto Lixiviados - Fracturamiento, ya que existe un alto riesgo de que esto ocurra precisamente en la falla número 39 (falla Oriente- parque México).
9. Es urgente desarrollar y aplicar una tecnología apropiada para evitar las rupturas por fallas de colectores y alcantarillados, especialmente en las zonas de alto riesgo como en el colector "San Pedro".
10. Apoyar los estudios de: profundidad de grietas y configuración del relieve rocoso dentro de la fosa del graben (al Centro de la Ciudad).
11. Realizar estudios de impacto ambiental en las zonas de riesgo localizadas en este proyecto, así como en zonas de recarga de acuíferos y fallamientos.

12. Proponer medidas de optimización del uso del agua tanto urbana como rural a la población y al Gobierno del Estado de Aguascalientes, para que la perforación excesiva que hasta ahora se ha hecho, sea reducida lo mayormente posible.

13. Continuar con los programas de rehabilitación de ríos y presas contaminados.

14. Al considerar al río San Pedro como un área de recarga del acuífero, se debe de depurar y vigilar las aguas residuales que se destinen tanto a él como al colector marginal.

15. Proponer la colocación de plantas de tratamiento en todos los colectores de aguas residuales municipales e industriales que descargan en el río y colector "San Pedro".

16. Por último, es importante la realización de este tipo de estudios en lugares de la república con características semejantes a las del Estado de Aguascalientes, como son: Celaya, Guanajuato, Queretaro, San Luis Potosí, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. Afghan, B. K. y Chou S.A., 1989, "*Analysis of trace: organic compounds in the aquatic environment*", E. Lawrence H. Keith, U.S.A.
2. Aguascalientes, Gobierno del Estado, 1994, "*Atlas estatal de riesgos*", Ags., México.
3. Aranda Gómez, J.M. y Aranda Gómez, J.J., 1986, "*Análisis del agrietamiento de la Cd. de Ags.*", U.A.A., México.
4. Ariel Construcciones S.A. de C.V., 1972, "*Estudio Hidrológico completo del acuífero de la Cd. de Ags.*", tomo I, Ags., México.
5. Astier, J.L., 1982, "*Geofísica aplicada a la hidrología*", Paraninfo, Madrid, España.
6. A.W.W.A., 1984, "*Groundwater*", American Water Works Association, N.Y., U.S.A.
7. A.W.W.A., 1990, "*AWWA standard for deep wells*", American Water Works Association, New York, U.S.A.
8. A.W.W.A.-A.P.H.A.-W.P.C.F., 1980, "*Standard Methods for the Examinations of water and wastewater*", 15a. Edición, U.S.A.
9. Bear, J., 1972, "*Dynamics of fluids in porous medium*", American Elsevier, N.Y., p.p. 764.
10. Bolivar Del Valle, J.M., 1969, "*Hidrología subterránea*", Cia. Mexicana de Aerofoto S.A., México, D.F.
11. Bouwer, H., 1978, "*Groundwater hidrology*", McGraw Hill, New York.
12. Calvillo, G. y Berumen, R., 1994, "*Recopilación e interpretación de registros eléctricos y cortes litológicos en el valle de Ags.*", Dirección General de la Unidad de Control de Calidad y Laboratorio de la Secretaría de Obras Públicas, Ags., México.
13. Carrillo, J., 1996, "*Definición del flujo regional de agua subterránea, su potencialidad y uso en las zonas de la Cd. de Ags., Ags.*", Instituto de Geofísica, U.N.A.M.
14. C.N.A., 1987, "*Estudio de exploración geofísica en la zona Sur del valle de Ags.*", Ags., México.
15. C.N.A., 1994, "*Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento*", Libro V, 3.2.1. *Prospección geoeléctrica y registros de pozos*, México, D.F.
16. C.N.A., 1994, "*Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento*", Libro V, 3.3.1. *Perforación de pozos*, México, D.F.
17. Correa, L.A., 1996, "*Aprovechamiento y conducción del agua*", D.D.F., México.
18. Custodio, E., 1983, "*Hidrología subterránea*", tomos I y II, E. Omega, Barcelona, España.
19. Davis, S.N., 1971, "*Hidrogeología*", E. Ariel, Barcelona, España.
20. Domenico, P.A. y Schwartz, F.W., 1990, "*Physical and chemical hidrogeology*", Jhon Wiley and Sons, U.S.A.
21. E.T.E.I.S.A. de C.V., 1990, "*Estudio geohidrológico del valle de Ags., localidad Ojocaliente y Sureste de la Cd.*", S.O.P., Ags., México.
22. Fetter, C.W., 1993, "*Contaminant hidrogeology*", McMillan Pub.Co., N.Y.
23. Freeze, R.A. y Cherry, J.A., 1979, "*Groundwater*", Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.

24. García, M.L., 1996, "*Control de la calidad del agua urbana*", Facultad de Química, U.N.A.M.
25. Hernández Láscars, D., 1979, "*Geología de la región central de Ags.*", Tesis de la Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
26. I.N.E.G.I., 1996, "*Anuario estadístico del Estado de Ags.*", I.N.E.G.I., México.
27. I.N.E.G.I., 1996, "*Estadísticas del medio ambiente*", I.N.E.G.I., México.
28. Kenkei, J., 1982, "*Analytical chemistry for technicians*", Lewis Publishers Inc., U.S.A.
29. Keith, L., 1989, "*Identification and analysis of organic pollutants in water*", C.E.C.S.A., U.S.A.
30. Kruseman, G.P., 1979, "*Analysis and evaluation of pumping test data*", I.I.L.R.I., U.S.A.
31. Lermo, J. y Nieto, J. 1994, "*Informe técnico de las grietas de la Cd. de Ags.*", Instituto de Ingeniería, U.N.A.M, México.
32. Lloyd, J.W. y Heathcote, J.A., 1985, "*Natural Inorganic hydrochemistry in relation to groundwater and introduction*", Clarendon Press, Oxford, p.p. 296
33. Mackay, D.M. y Cherry, J.A., 1986, "*Groundwater contamination: pump and treat remediation*", 2a de 4 partes, Vol 23, No.6, E.S.A.N.D.T. Series.
34. Madrid Alanís, A., 1995, "*Manantiales, vida y desarrollo*", C.A.P.A.M.A., Ags., México.
35. Martínez. Ruiz, V.J., 1984, "*Control geológico estructural del agua subterránea entre San Luis Potosí, Ags. y Zacatecas*", U.A.S.L.P., Folleto No. 9, Instituto de Geología y Metalurgia, p. 12.
36. Mayol Castillo, M.A., Téllez Flores, R.A. y Milan Valdez, S., 1997, "*Hidrogeoquímica del sistema hidrológico Téllez-Tizayuca, Hgo.*", I.P.N., México.
37. McJunkin, R., 1988, "*Agua y salud humana*", E. Limusa, México.
38. Montgomery, J.H. y Welkom, L.M., 1990, "*Groundwater chemicals desk reference*", Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.
39. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994, 18 de Enero de 1996, "*Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización*", Diario Oficial de la Federación, 1a. Sección, México.
40. Orellana, E., 1982, "*Prospección geoelectrica en corriente continua*", 2a. Edición, E. Paraninfo, Madrid, España.
41. Pulido Carrillo, J.L., 1978, "*Hidrología práctica*", E. Urmo, España.
42. Rodier, J., 1990, "*Análisis de las aguas*", E. Omega, Barcelona, España.
43. Rodríguez. Villalobos, A. y González Villalvaso, P., Nov-Dic 1996, "*Situación actual y perspectivas del agua en Ags.*", Gobierno del Estado de Ags., Cuaderno de trabajo, Ags., México.
44. Rudolph, D.L., 1996, "*Theoretical and field monitoring aspects of groundwater flow and solute migration in low permeability sediments*", Marzo de 1996, Memorias del Simposium de Agua urbana, P.U.M.A., U.N.A.M.
45. S.A.H.O.P., 1980, "*Estudios geohidrológicos en varias localidades del Edo. de Ags.*", Tomos I y II, Ags., México.
46. S.A.R.H., 1987, "*Sinopsis geohidrológica del Edo. de Ags.*", C.N.A., México.

47. Schoeller, P., 1977, "Geochemistry of ground water in groundwater studies", U.N.E.S.C.O., U.S.A.
48. S.E.D.E.S.O.L., "Criterios ecológicos de la calidad del agua", Secretaría de Desarrollo Social, Diario Oficial de la Federación, 13 de Diciembre de 1989, México.
49. S.E.D.E.S.O.L., "Criterios ecológicos de la calidad del agua", Secretaría de Desarrollo Social, Diario Oficial de la federación, 18 de junio de 1992, México.
50. S.E.G., 1990, "Geotechnical and enviromental geophysics", Vol. I , Society of Exploration geophysics, Oklahoma, U.S.A.
51. Snoeyink, V.L. y Jenkins, D., 1987, "Química del agua", E. Limusa, México.
52. S.O.P., 1990, "Estudios de factibilidad técnica, económica y financiera para la perforación de 3 pozos de agua potable y el equipamiento de un pozo del Fracc. Satélite Morelos", S.O.P., Ags., México.
53. Sudicky, E.A., Cherry, J.A. y Frind, E.O., "Migration of contaminants in groundwater at a landfill: a case study", Journal of Hidrology, 1983, Vol.19, pag. 14-30.
54. Sudicky, E.A. y Huyakorn, P.S., "Contaminant migration in imperfectly known heterogeneous groundwater systems", April 1991, Reviews of Geophysics, pages 240-253.
55. Todd, D., 1959, "Groundwater Hidrology", Japón.
56. Toth, J., 1963, "A theoretical analysis of groundwater motion in small drainage basins", Journal of geophysical research, V.68, pag. 4795 a 4812.
57. U.N.E.S.C.O., 1985, "Aguas subterráneas en rocas duras", Proyecto 8.6 del Programa Hidrológico Internacional, Francia.
58. U.S.-E.P.A., 1974, "Manual of methods for chemical analysis of water and wastes", United Estates-Enviromental Protection Agency, EPA-625-/6-74-003, U.S.A.
59. Velasco Hernández, M., 1989, "Relaciones lito-estratigráficas del área de Jesús María, Edo. de Ags.", Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
60. Weber, W.J. Jr., 1972, "Physicochemical process for water quality control", Jhon Wiley and Sons Inc., U.S.A.
61. Willard, J.K., Merritt, P. and Dean, M., 1978, "Métodos instrumentales de análisis", C.E.C.S.A., México.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ANEXO I

Piezometría y flujo subterráneo de la ciudad de Aguascalientes.

Tabla 6 Cota de brocal, profundidad y cota del nivel estático de los pozos profundos de la ciudad de Aguascalientes.

POZO	COTA	PROF.	COTA	POZO	COTA	PROF.	COTA	POZO	COTA	PROF.	COTA
	BROCAL	N.E.	N.E.		BROCAL	N.E.	N.E.		BROCAL	N.E.	N.E.
	(msnm)	(M)	(msnm)		(msnm)	(M)	(msnm)		(msnm)	(M)	(msnm)
POZOS MUNICIPALIZADOS				POZOS NO MUNICIPALES							
1	1858	105	1753	71	1873	138	1735	S55	1848	60	1788
2	1854	85	1769	72	1862	127	1735	S50C	1850	54	1796
3	1890	88	1802	73	1908	154	1754	S63	1848	75	1773
4	1866	127	1739	74	1882	138	1744	S63A	1850	54	1796
5	1896	128	1768	75	1851	82	1769	S63B	1846	45	1801
6	1911	156	1755	76	1842	73	1769	S61A	1881	92	1789
7	1870	143	1727	77	1866	119	1747	S64	1853	80	1773
8	1866	137	1729	78	1880	128	1752	S70A	1882	101	1781
9	1929	120	1809	79	1841	69	1772	S70B	1882	97	1785
10	1876	129	1747	80	1891	150	1741	S34	1861	100	1761
11	1929	115	1814	81	1860	74	1786	S35	1860	95	1765
12	1892	164	1728	82	1852	101	1751	S100A	1882	120	1762
13	1880	147	1733	83	1891	142	1740	36	1855	100	1755
14	1920	102	1818	84	1900	157	1743	37	1852	98	1754
15	1876	144	1732	85	1870	136	1731	38	1861	109	1752
16	1882	148	1734	86	1870	119	1751	39	1867	109	1758
17	1882	151	1731	87A	1913	117	1796	40	1854	91	1763
18	1898	178	1720	88	1886	153	1733	41	1852	84	1768
19	1880	131	1749	89	1888	69	1819	42	1852	73	1779
20	1906	87	1819	90	1908	83	1825	6	1880	96	1784
21	1901	79	1822	91	1912	93	1819	7	1880	86	1794
22	1889	137	1752	92	1914	94	1820	60	1881	84	1797
23	1884	147	1737	93	1909	92	1817	61B	1882	90	1792
24	1938	82	1856	94	1856	122	1734	60A	1867	71	1796
25	1880	137	1743	95	1934	119	1815	PAB22	1868	71	1797
26	1885	138	1747	96	1869	130	1739	146	1866	69	1797
27	1870	113	1757	97	1869	85	1784	145	1850	50	1800
28	1862	107	1755	98	1858	80	1778	186	1865	97	1768
29	1902	148	1754	99	1850	70	1780	61	1881	85	1796
30	1877	116	1761	100	1910	44	1866				
31	1882	134	1748	101	1843	92	1751				
32	1878	127	1751	102	1857	106	1751				
33	1890	144	1746	103	1887	140	1747				
34	1857	125	1732	104	1890	150	1740				
35	1896	131	1765	105	1879	131	1748				
36	1874	118	1756	106	1850	88	1762				
37	1860	115	1745	107	1845	72	1773				
38	1873	135	1738	108	1885	126	1759				
39	1950	75	1875	109	1873	115	1758				
40	1887	141	1746	110	1868	135	1733				
41	1910	93	1817	111	1880	109	1771				
42	1898	127	1771	112	1896	133	1763				
43	1869	128	1741	113	1874	101	1773				
44	1885	151	1734	114	1864	123	1741				
45	1899	148	1751	115	1906	79	1827				
46	1892	148	1744	116	1930	110	1820				
47	1912	164	1748	117	1927	98	1829				
48	1850	69	1781	118	1870	94	1776				
49	1920	159	1761	119	1862	86	1776				
50	1853	124	1729	120	1918	161	1757				
51	1883	140	1743	121	1859	124	1735				
52	1900	154	1746	122	1879	149	1730				
53	1886	145	1741	123	1879	134	1745				
54	1868	97	1771	124	1903	134	1769				
55	1940	128	1812	125	1920	107	1813				
56	1888	128	1760	126	1920	86	1834				
57	1868	95	1773	127	1960	110	1850				
58	1849	108	1741	128	1932	62	1870				
59	1906	83	1823	129	1910	95	1815				
60	1882	136	1746	130	1930	89	1841				
61	1906	88	1818	131	1930	109	1821				
62	1886	154	1732	132	1905	82	1823				
63	1940	147	1793	133	1957	127	1830				
64	1864	111	1753	134	1897	102	1735				
65	1934	127	1807	135	1924	100	1824				
66	1860	101	1759	136	1866	100	1766				
67	1862	107	1755	87B	1930	60	1870				
68	1883	148	1735								
69	1917	160	1757								
70	1870	92	1778								

ALTITUD PROMEDIO DE LA CD DE AGS 1870 msnm
PAB= POZO DE MONITORIO DE LA CNA
FUENTES
CAASA DE CV
CAPAMA
CEAPA-SOP
CNA
MAYO DE 1997

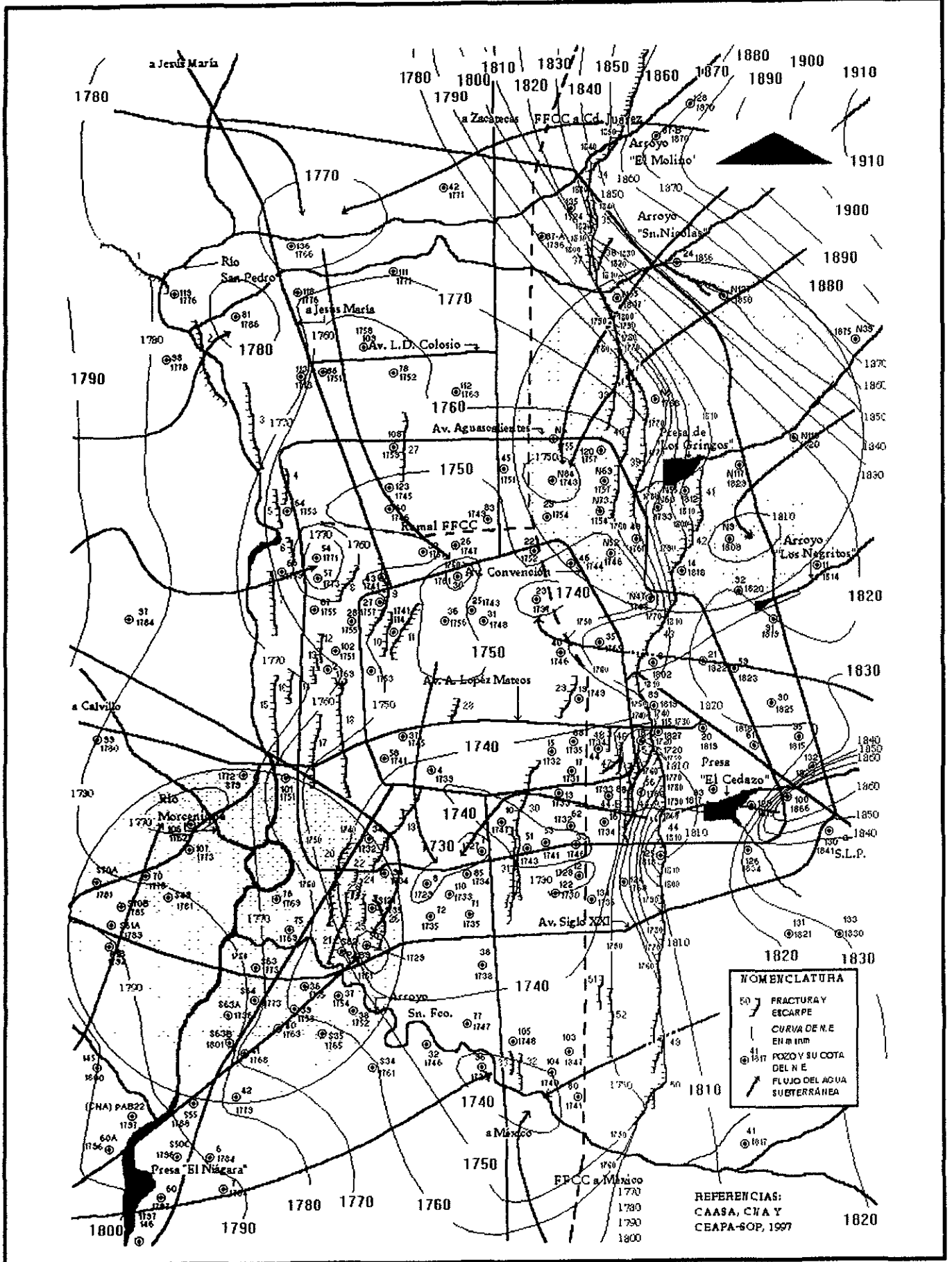


Fig. 10 Flujo subterráneo de la ciudad de Aguascalientes.

ANEXO II

Detalles de las zonas de estudio y su flujo subterráneo.

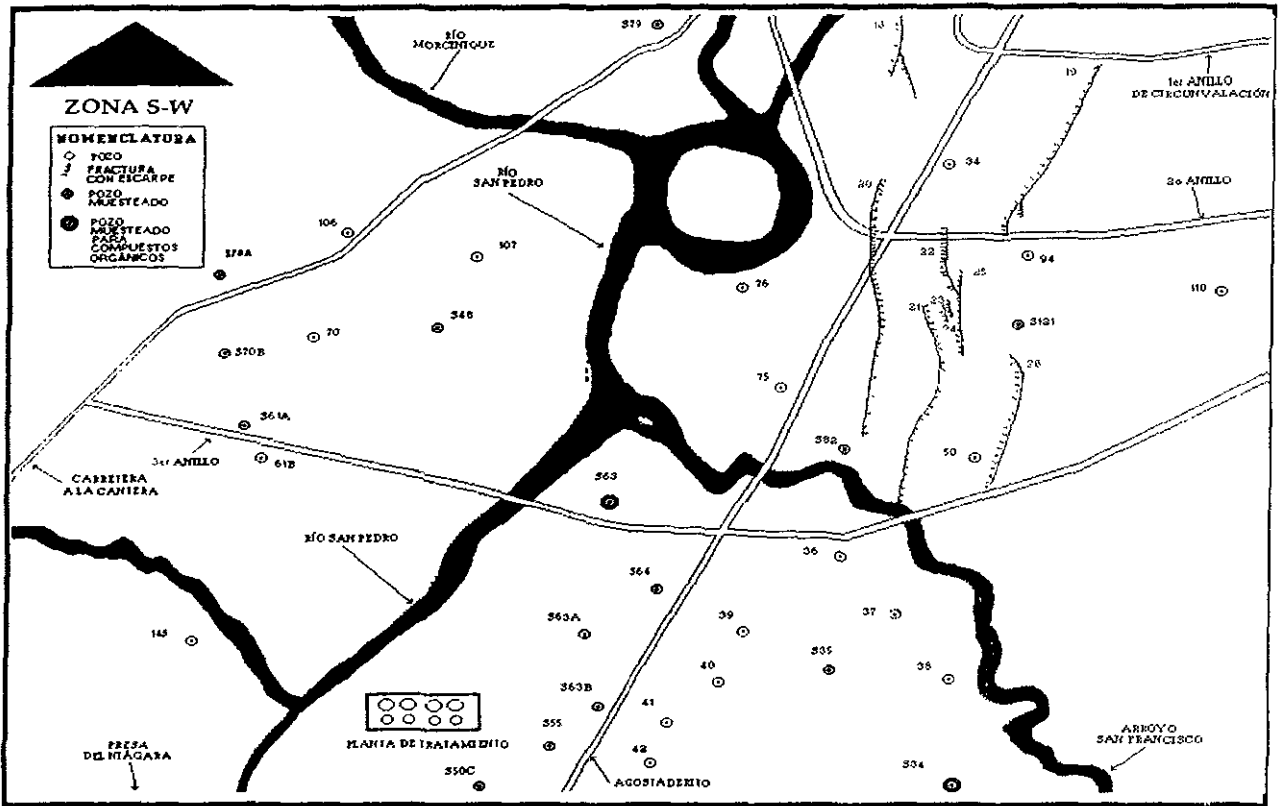


Fig. 12 Detalles de la zona 1, S-W.

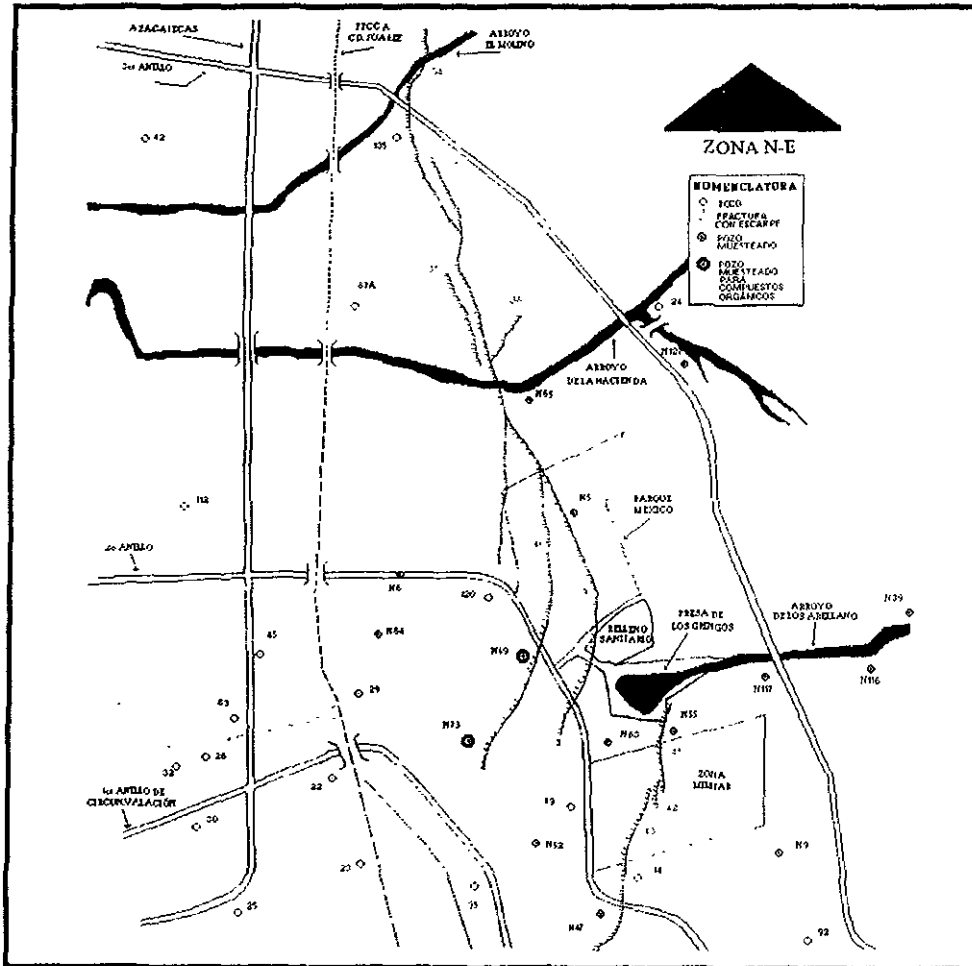


Fig. 13 Detalles de la zona 2, N-E.

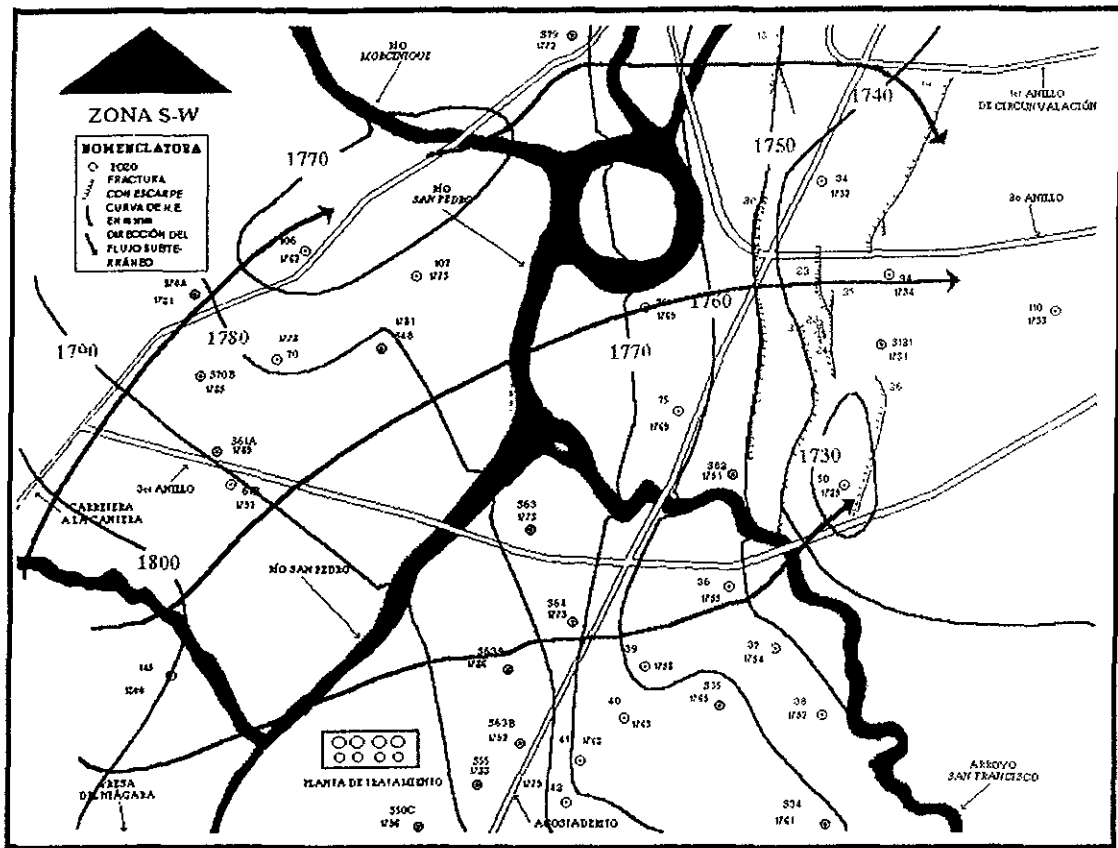


Fig. 14 Flujo subterráneo en la zona 1, S-W.

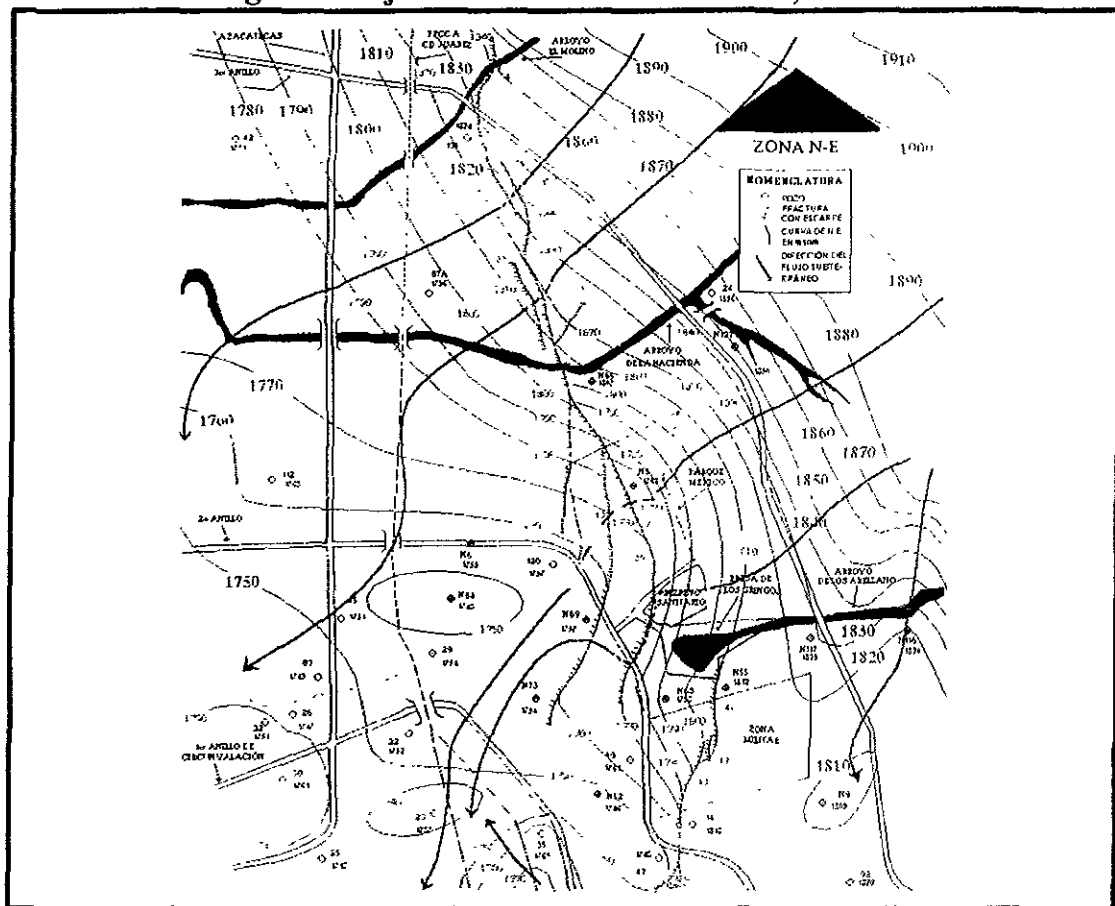


Fig. 15 Flujo subterráneo en la zona 2, N-E.

ANEXO III

Mediciones de campo y Configuraciones.

Tabla 11 Resultado de los análisis de pH, C.E., temperatura y alcalinidad hecho campo y en laboratorio del agua subterránea de la zona 1, S-W.

POZO NO.	EN LABORATORIO		EN CAMPO			
	pH	C.E.	pH	C.E.	TEMP	ALC
	U	µmh/cm	U	µmh/cm	°C	mg/l CaCO ₃
S50C	7	1164	6.27	991	28.1	275
S55	7.4	910	6.73	848	26.6	200
S63	7.3	1053	6.94	798	24.9	300
S64	7.4	860	6.88	840	32.9	312.5
S63A	7.2	882	6.57	1004	29.8	250
S63B	7.5	792	6.94	742	26.1	187.5
S61A	7.1	990	6.44	1006	30.1	312.5
S70A	7.2	944	6.56	1012	36.6	281.8
S70B	6.8	1040	6.2	1005	33.2	291.7
S48	7.3	1179	6.32	1095	38.1	291.7
S121	8	925	7.99	798	25.5	229.2
S82	7.1	1133	6.56	1010	29.1	250
S34	7.5	810	6.92	888	29.2	270.8
S35	7.4	895	6.92	959	31.1	250
S100A	7.3	1024	6.96	807	20.9	270.8
S79	7.4	1251	6.77	1149	27.5	275
NORMAS	DE 6.5 A 8.5	-	DE 6.5 A 8.5	-	-	400

Tabla 12 Resultado de los análisis de pH, C.E., temperatura y alcalinidad hecho campo y en laboratorio del agua subterránea de la zona 2, N-E.

POZO NO.	EN LABORATORIO		EN CAMPO			
	pH	C.E.	pH	C.E.	TEMP	ALC
	U	µmh/cm	U	µmh/cm	°C	mg/l CaCO ₃
N52	7.9	379	7.04	352	30	150
N73	8	406	7.49	449	29	150
N69	8	385	7.32	405	27.9	150
N63	8	370	7.53	420	23.7	150
N116	7.7	535	7.03	550	28.7	175
N117	7.2	591	6.59	643	32.8	275
N55	7.8	326	7.16	397	30.8	125
N9	7	888	6.01	820	36.9	200
N47	7.8	496	7.12	448	28.7	150
N127	7.6	500	6.89	484	32	200
N65	7.2	974	6.75	858	38.7	275
N39	8.1	391	7.5	357	30.6	100
N5	7.5	870	7.43	779	35.8	171.9
N84	7.8	620	7.36	548	31.1	150
N6	7.8	637	7.05	541	29	150
NORMAS	DE 6.5 A 8.5	-	DE 6.5 A 8.5	-	-	400

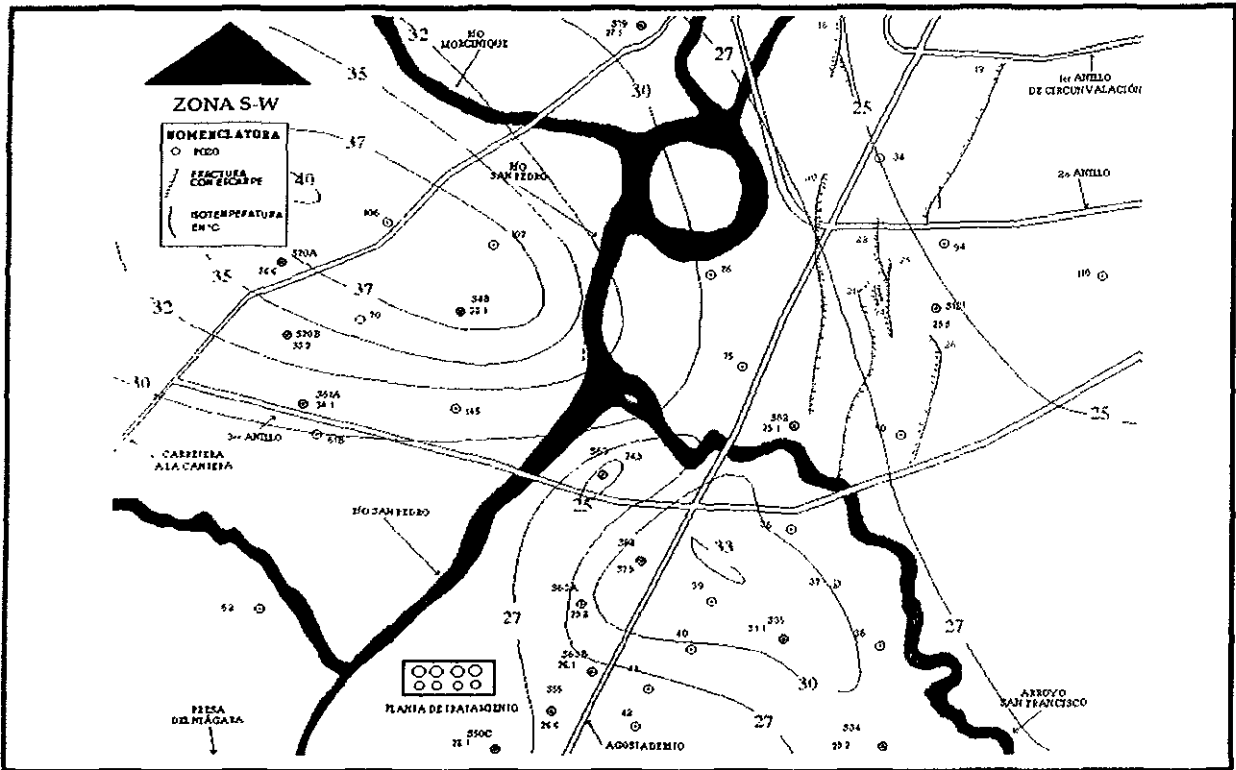


Fig. 16 Isothermura en la zona 1, S-W.

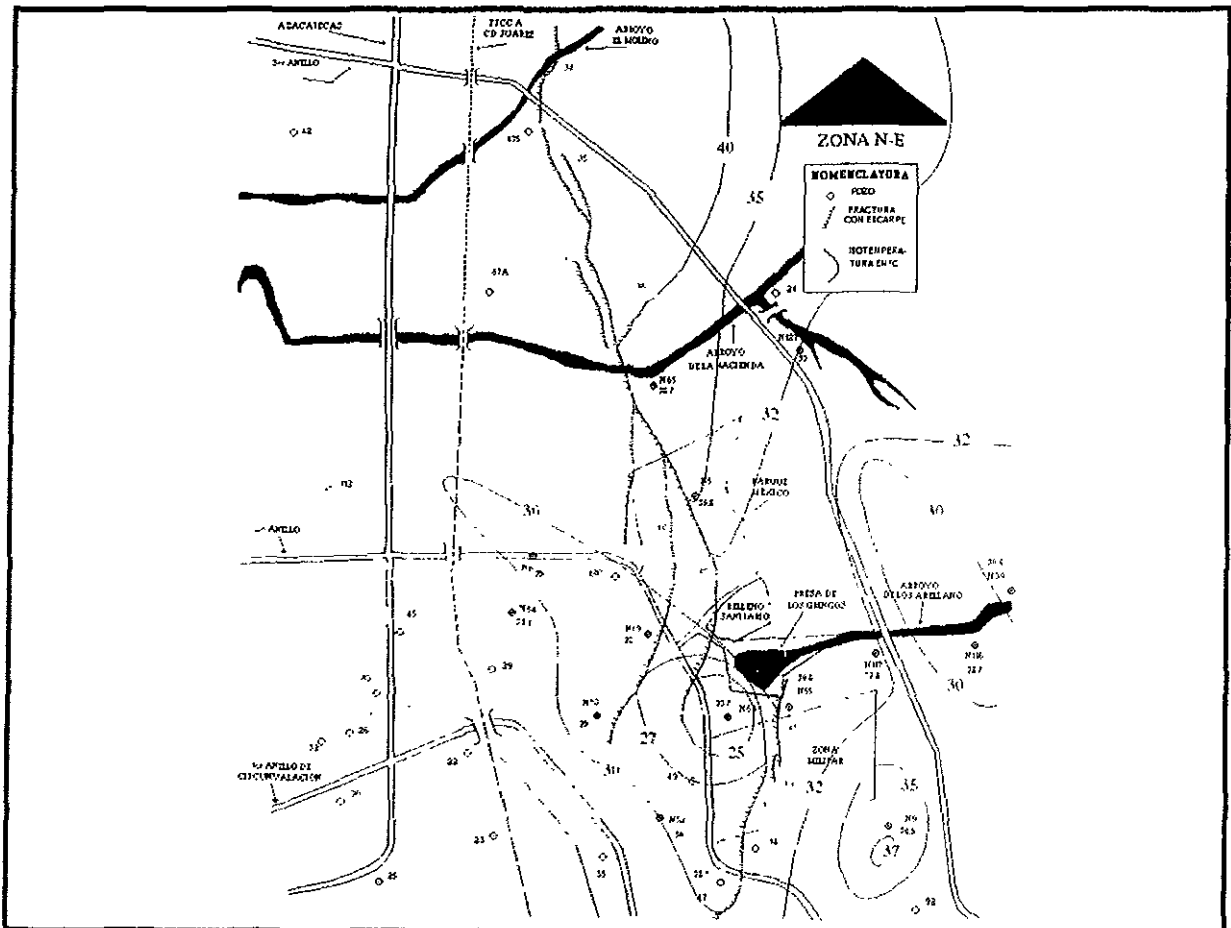


Fig. 17 Isothermura en la zona 2, N-E.

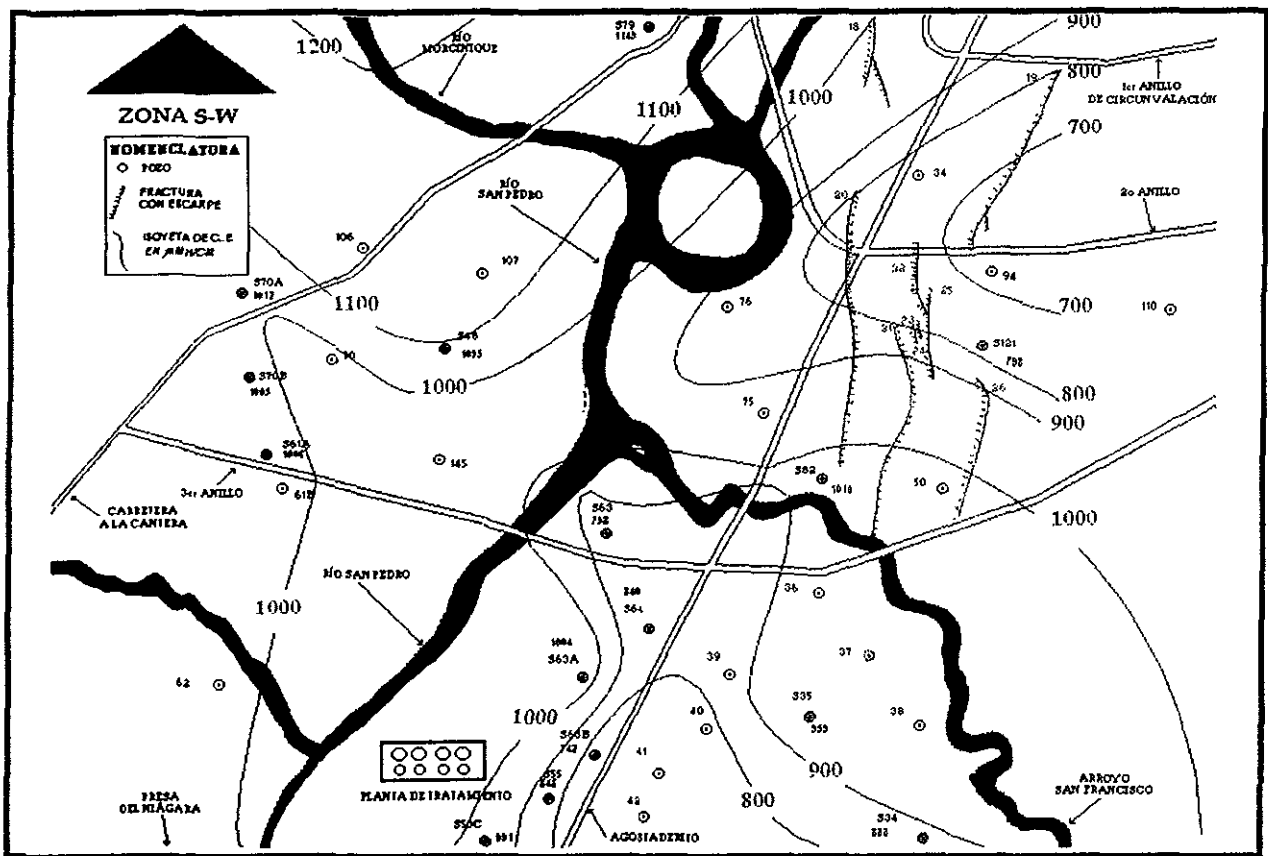


Fig. 18 Conductividad eléctrica (C.E.) en la zona 1, Z-W.

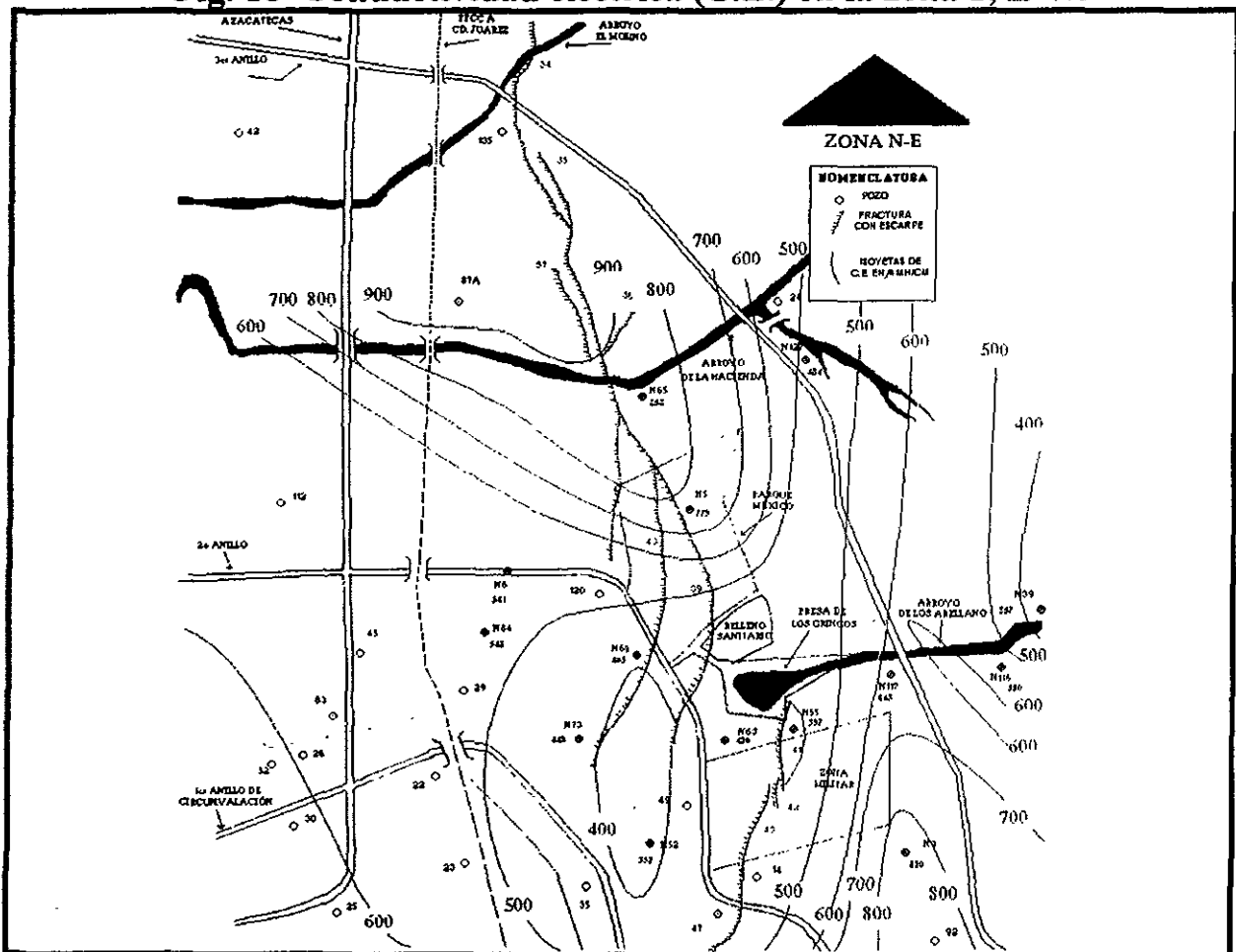


Fig. 19 Conductividad eléctrica (C.E.) en la zona 2, N-E.

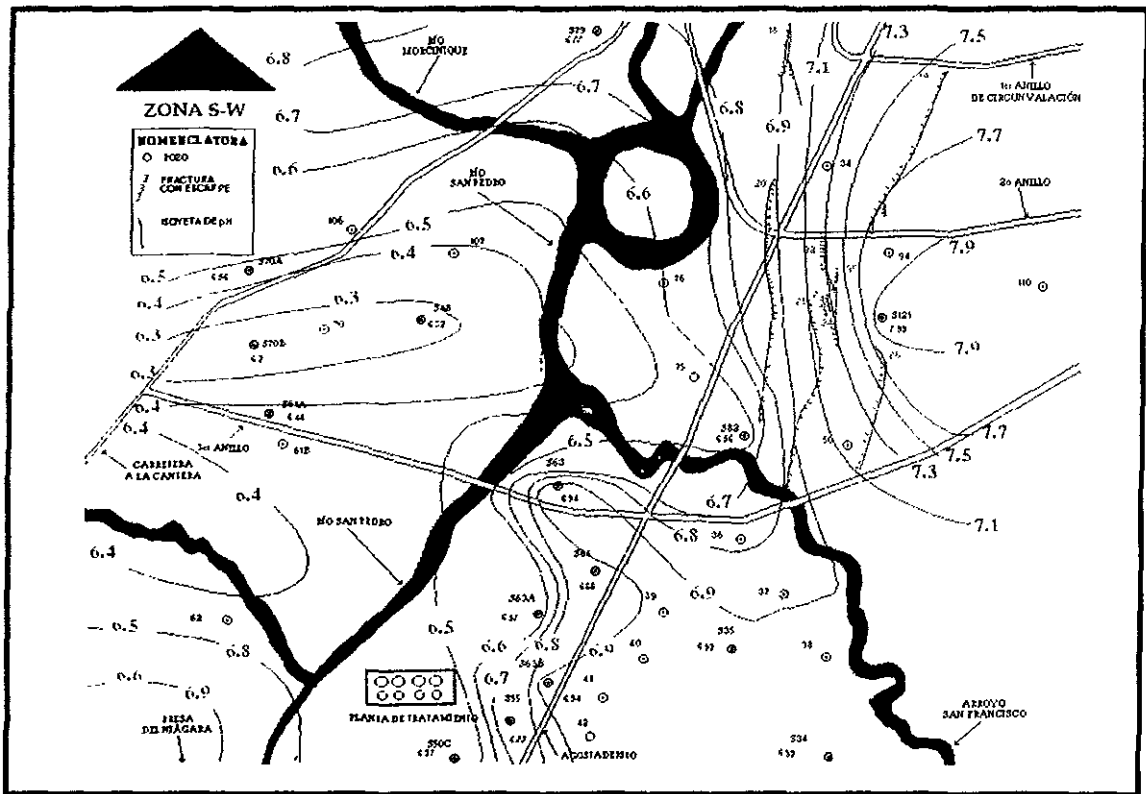


Fig. 20 Configuración del pH en la zona 1, S-W.

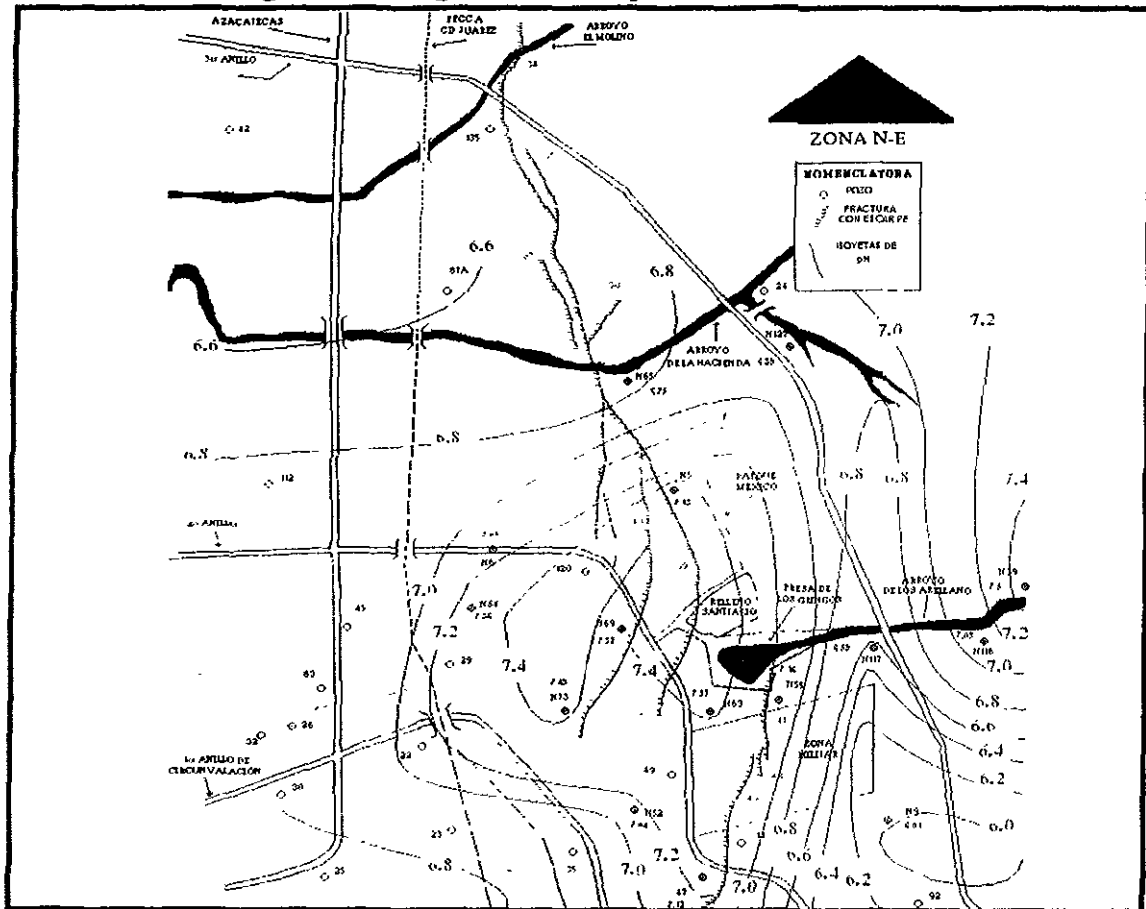


Fig. 21 Configuración del pH en la zona 2, N-E.

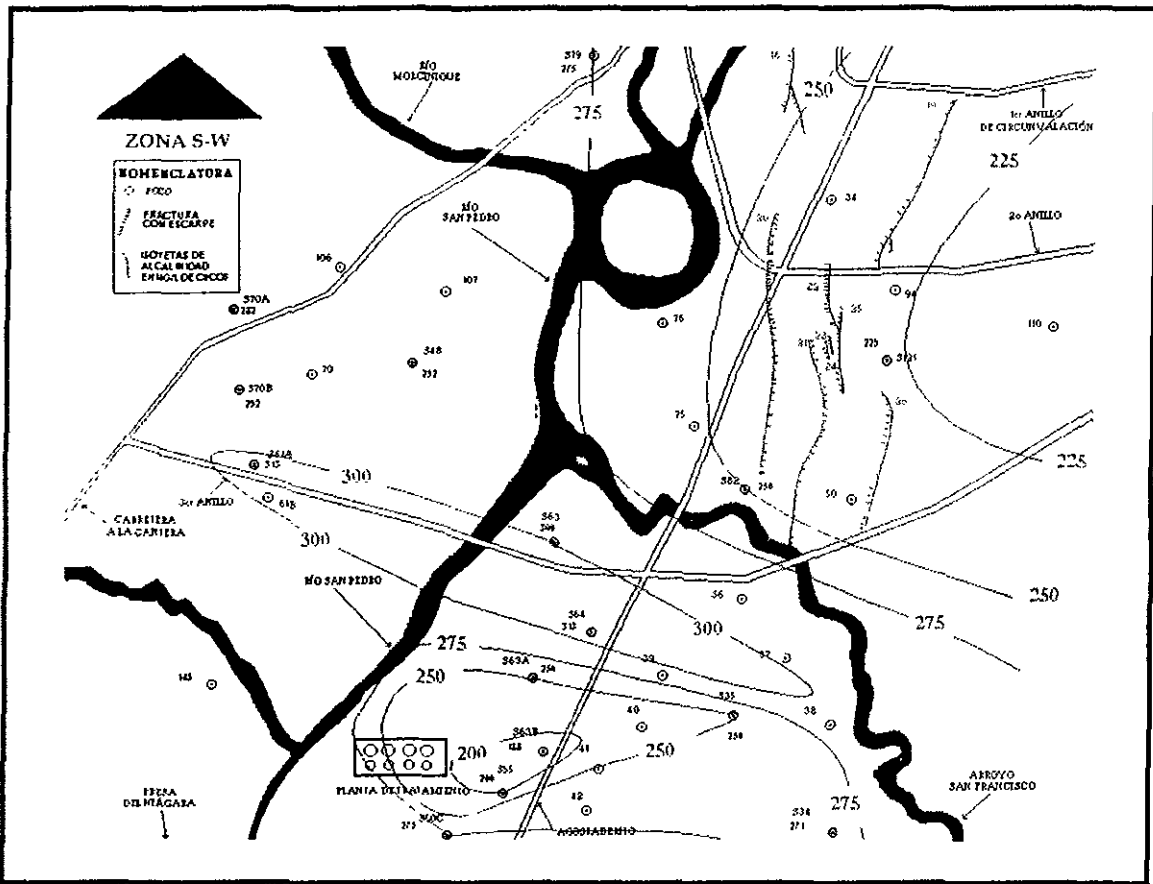


Fig. 22 Configuración de la alcalinidad en la zona 1, S-W.

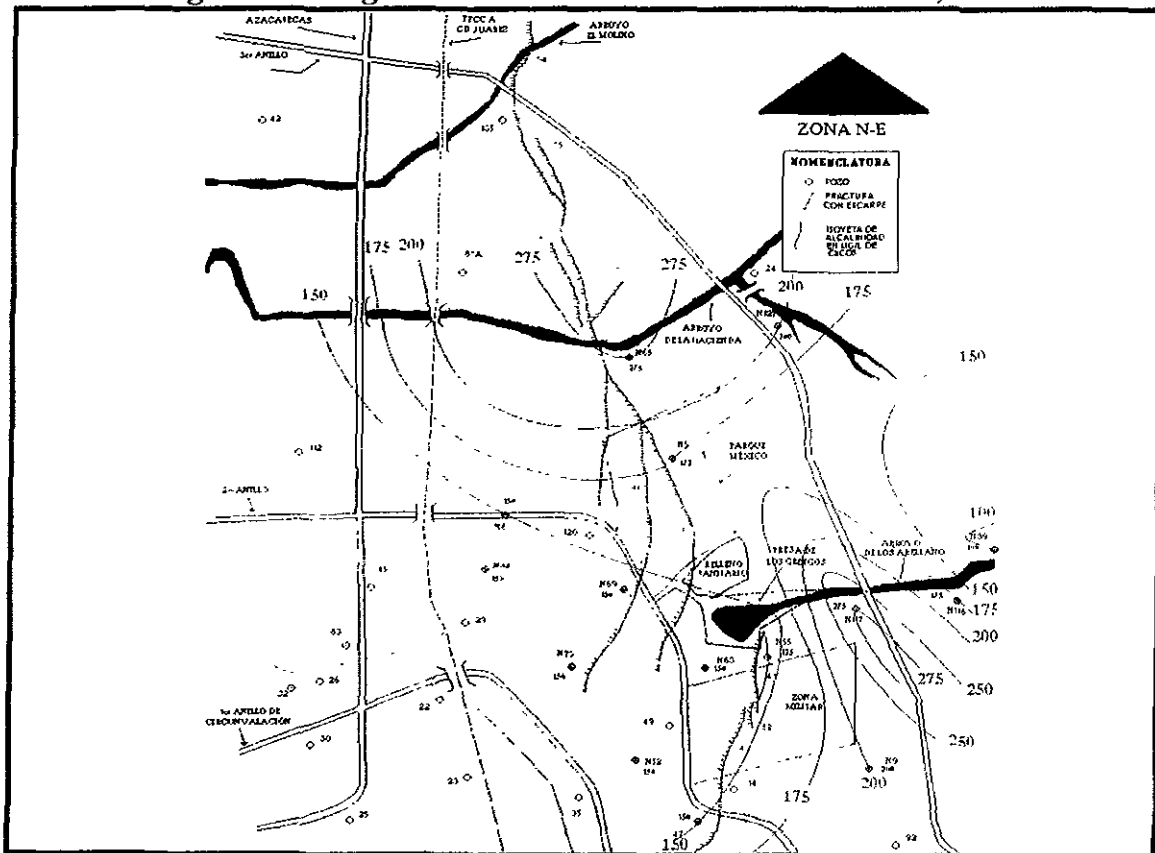


Fig. 23 Configuración de la alcalinidad en la zona 2, N-E.

ANEXO IV

Iones principales.

Tabla 14 Resultado de los análisis de iones principales realizados en el agua subterránea y superficial de la zona 1, S-W.

POZO	Ca++	Mg++	Na+	k+	CO3=	HCO3-	Cl-	SO4=
NO.	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
S50C	48	37.2	120.06	18.72	0	625.86	37.2225	0.48
S55	46	34.8	155.02	18.33	0	180.56	5.3175	441.6
S63	86	21.6	85.1	18.33	0	473.97	67.355	33.6
S64	82	21.6	88.32	17.94	0	225.7	12.4075	278.4
S63A	74	27.6	95.91	18.72	0	473.97	37.2225	88.32
S63B	78	21.6	74.29	17.55	0	406.26	47.8575	67.2
S61A	88	19.2	112.01	16.77	0	541.68	26.5875	83.52
S70A	74	13.2	120.06	15.99	0	519.11	23.0425	62.4
S70B	84	14.4	121.67	18.72	0	722.24	23.0425	0.48
S48	80	15.6	128.11	18.33	0	541.68	31.905	76.8
S121	28	30	99.36	15.21	0	383.69	44.3125	48
S82	72	20.4	118.45	14.04	0	541.68	28.36	52.8
S34	70	21.6	99.36	18.33	0	473.97	26.5875	72
S35	68	12	130.41	14.43	0	496.54	28.36	73.44
S100A	106	16.8	54.51	15.99	0	463.6	44.3125	28.8
S79	48	44.4	134.32	16.77	0	519.11	49.63	115.2
MEDIA	70.75	23.25	108.56	17.135625	0	474.35125	33.34515625	95.19
NORMAS	-	125	200	12	0	400	250	400
DIFERENCIA	-	-101.75	-91.44	5.135625	0	74.35125	-216.654844	-304.81
VARIANZA	357.4375	80.0775	600.81175	2.347449609	0	16475.93101	217.6525277	11720.1231
DESV. EST.	18.90601756	8.948603243	24.5114616	1.5321389	0	128.3586032	14.75305147	108.2595174
ANÁLISIS A CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES								
MUESTRA	Ca++	Mg++	Na+	k+	CO3=	HCO3-	Cl-	SO4=
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
PN	68	7.2	27	27.4	0	577.06	108	144
PTI	76	3.6	31.8	29.2	0	668.865	72	179
ASF	48	3.6	15.8	16.7	0	236.07	90	85.92
RSP	58	1.2	14	15.8	0	406.565	18	81.12
CSP	62	10.8	31	27	0	590.175	72	98.4
MEDIA	62.4	5.28	23.92	23.22	0	495.747	72	117.688
VARIANZA	88.64	11.2896	57.2096	33.0176	0	24176.77331	907.2	1433.986816
DESV. EST.	9.414881837	3.36	7.563702797	5.746094326	0	155.4888205	30.11976096	37.86801838

Tabla 15 Resultado de los análisis de iones principales realizados en el agua subterránea y superficial de la zona 2, N-E.

POZO	Ca++	Mg++	Na+	k+	CO3=	HCO3-	Cl-	SO4=
NO.	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
N52	22	19.2	31.74	7.02	0	203.13	19.4975	17.76
N73	36	8.4	47.61	10.14	0	203.13	28.36	28.8
N69	44	7.2	37.26	8.97	0	180.56	28.36	38.4
N63	40	18	28.29	4.68	0	248.88	17.725	14.4
N116	50	12	63.02	7.8	0	293.41	28.36	38.4
N117	60	7.2	75.67	7.8	0	315.98	40.7675	33.6
N55	42	8.4	30.36	4.68	0	451.4	24.815	0
N9	60	14.4	75.44	8.97	0	406.26	37.2225	2.4
N47	24	21.6	43.7	3.9	0	248.27	15.9525	24
N127	46	4.8	48.07	7.8	0	225.7	8.8625	48
N65	36	8.4	186.07	12.09	0	428.83	24.815	110.4
N39	24	12	32.89	4.68	0	203.13	14.18	48
N5	44	2.4	88.78	8.19	0	406.26	24.815	0.48
N84	26	19.2	60.03	10.92	0	270.84	23.0425	28.8
N6	30	26.4	56.35	10.92	0	293.41	8.8625	67.2
MEDIA	38.93333333	12.64	60.352	7.904	0	291.946	23.0425	33.376
NORMAS	-	125	200	12	0	400	250	400
DIFERENCIA	-	-112.36	-139.648	-4.096	0	-108.054	-226.9575	-366.624
VARIANZA	141.2622222	44.5184	1448.181936	6.073184	0	7703.204277	78.75335667	762.957824
DESV. EST.	11.88537851	6.672211028	38.05498569	2.464383087	0	87.76790004	8.874308799	27.62169119
ANÁLISIS A CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES								
MUESTRA	Ca++	Mg++	Na+	k+	CO3=	HCO3-	Cl-	SO4=
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
AA	74	1.2	19	19	0	445.91	18	179
AH	30	0	4.3	7.9	0	118.035	0	0
MEDIA	52	0.6	11.65	13.45	0	281.9725	9	89.5
VARIANZA	484	0.36	54.0225	30.8025	0	26875.50391	81	8010.25
DESV. EST.	22	0.6	7.35	5.55	0	163.9375	9	89.5

ANEXO V

Índices de saturación.

Tabla 19 Indices de saturación resultados del programa fuente MINTEQ A2, del agua de los pozos muestreados en la zona 1, S-W.

ZONA S-W											
POZO	ANHIDRITA	ARAGONITA	ARTINITA	BRUCITA	CALCITA	DOLOMITA	EPSOMITA	GYPSSUM	HALITA	HUNTITA	HIDROMAG
S79	-1.736	-0.683	-7.721	-6.082	-0.548	-0.837	-4.082	-1.55	-6.782	-5.458	-15.756
S100A	-2.006	-0.188	-8.446	-6.506	-0.073	-0.707	-5.017	-1.754	-7.198	-6.121	-17.624
S35	-1.694	-0.319	-8.113	-6.102	-0.204	-0.841	-4.817	-1.543	-7.036	-6.107	-17.138
S34	-1.719	-0.302	-7.718	-5.965	-0.187	-0.578	-4.569	-1.549	-7.179	-5.381	-16.037
S82	-1.836	-0.677	-8.876	-6.709	-0.562	-1.368	-4.723	-1.665	-7.074	.7	-18.438
S121	2.274	0.257	-4.551	-3.895	0.372	1.053	-4.525	-2.068	-6.941	-1.66	-9.71
S48	-1.585	-0.704	-9.13	-6.786	-0.59	-1.515	-4.767	-1.498	-7.014	-7.259	-18.918
S70B	-3.77	-0.833	-9.858	-7.32	-0.719	-1.869	-6.939	-3.638	-7.161	-8.132	-20.392
S70A	-1.696	-0.518	-8.654	-6.454	-0.404	-1.193	-4.895	-1.596	-7.176	-6.687	-18.056
S61A	-1.578	-0.624	-9.16	-6.935	-0.51	-1.367	-4.593	-1.417	-7.135	-7.088	-18.862
S63B	-1.73	-0.424	-8.031	-6.105	-0.309	-0.895	-4.579	-1.53	-7.04	-6.131	-16.979
S64A	-1.127	-0.243	-7.645	-5.892	-0.128	-0.495	-4.097	-0.993	-7.584	-5.195	-15.833
S50C	-4.048	-1.101	-9.234	-7.077	-0.986	-1.789	-6.485	-3.868	-6.947	-7.429	-18.801
S55	-1.267	-0.966	-8.428	-6.406	-0.852	-1.529	-3.678	-1.072	-7.702	-6.941	-17.643
S63	-2.003	-0.205	-7.942	-6.189	-0.09	-0.51	-4.878	-1.791	-6.835	-5.434	-16.412
S63A	-1.958	-0.579	-8.739	-6.619	-0.464	-1.218	-4.909	-1.794	-6.845	-6.739	-18.138
MEDIA	-2.0016875	-0.5055625	-8.265375	-6.315125	-0.390875	-0.978625	-4.8470625	-1.832875	-7.1030625	-6.172625	-17.1710625
VARIANZA	0.593017215	0.106963371	1.299377234	0.551631734	0.107103234	0.456691609	0.621861684	0.590940609	0.057744309	2.019201734	5.253362934
DESV EST	0.77007611	0.327052551	1.139902292	0.742719149	0.327266305	0.675789619	0.788582072	0.768726615	0.240300455	1.420986184	2.292021582
ZONA S-W											
POZO	MAGNESITA	MIRABILITA	NATRON	NESQUEHONIT	THENARDITA	TERMONATR	LIMA	PORTLANDITA	PERICLASA		
S79	-0.781	-6.797	-9.223	-3.192	-7.611	-10.545	-22.127	-12.127	-10.737		
S100A	-1.135	-7.856	-9.609	-3.54	-8.99	-11.233	-22.14	-11.859	-11.329		
S35	-1.126	-7.143	-9.229	-3.539	-7.79	-10.392	-21.279	-11.386	-10.669		
S34	-0.883	-7.314	-9.378	-3.295	-8.049	-10.624	-21.476	-11.513	-10.578		
S82	-1.297	-7.292	-9.616	-3.709	-8.032	-10.866	-22.187	-12.22	-11.325		
S121	0.185	-7.277	-8.267	-2.223	-8.188	-9.679	-20.13	-10.027	-8.601		
S48	-1.406	-7.476	-9.985	-3.826	-7.806	-10.848	-21.68	-12.038	-11.186		
S70B	-1.637	-9.5	-10.003	-4.053	-10.05	-11.075	-22.381	-12.565	-11.836		
S70A	-1.272	-7.54	-9.768	-3.691	-7.937	-10.694	-21.378	-11.683	-10.89		
S61A	-1.347	-7.209	-9.726	-3.76	-7.901	-10.933	-22.252	-12.322	-11.526		
S63B	-1.08	-7.465	-9.673	-3.489	-8.346	-11.059	-21.721	-11.641	-10.795		
S64A	-0.854	-7.03	-9.589	-3.269	-7.594	-10.672	-21.163	-11.336	-10.415		
S50C	-1.295	-9.276	-9.822	-3.706	-10.063	-11.117	-23.038	-13.034	-11.717		
S55	-1.171	-6.062	-9.271	-3.581	-6.919	-10.633	-22.443	-12.362	-11.084		
S63	-0.916	-7.594	-9.324	-3.324	-8.533	-10.764	-21.821	-11.695	-10.91		
S63A	-1.245	-7.821	-9.316	-3.658	-8.528	-11.136	-22.01	-12.069	-11.217		
MEDIA	-1.07875	-7.54075	-9.5249375	-3.4909375	-8.2710625	-10.768875	-21.826625	-11.8685625	-10.9259375		
VARIANZA	0.154063813	0.655768313	0.169366934	0.155480684	0.660284559	0.132892734	0.416454109	0.420148496	0.513810559		
DESV EST	0.392509634	0.809795229	0.411542141	0.39431039	0.812578955	0.364544557	0.645332557	0.648188627	0.716805803		

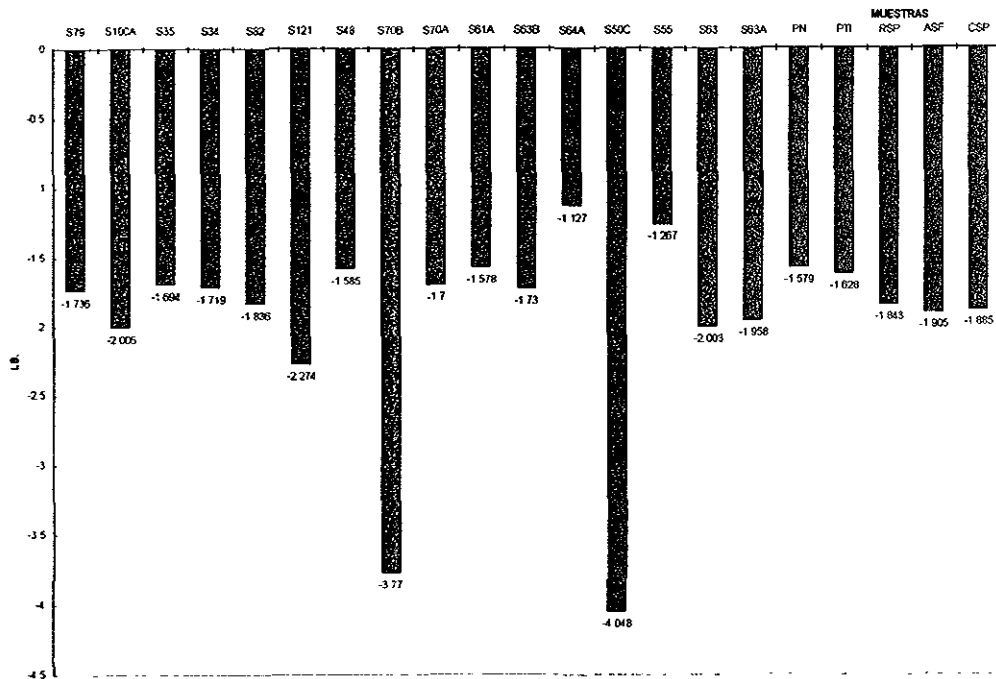
Tablas 20 Indices de saturación resultados del programa fuente MINTEQ A2, del agua de los pozos muestreados en la zona 2, N-E.

ZONA N-E											
POZO	ANHIDRITA	ARAGONITA	ARTINITA	BRUCITA	CALCITA	DOLOMITA	EPSOMITA	GYPSSUM	HALITA	HUNTITA	HIDROMAG
N6	-2.032	-0.752	-7.342	-5.594	-0.638	-1.026	-4.424	-1.86	-7.886	-5.825	-15.653
N84	-2.404	-0.45	-6.484	-4.962	-0.336	-0.483	-4.905	-2.252	-7.442	-4.771	-14.042
N5	-3.904	-0.019	-7.654	-5.436	0.095	-0.719	-7.608	-3.796	-7.25	-6.272	-17.141
N39	-2.18	-0.511	-6.655	-4.904	-0.397	-0.777	-4.842	-2.023	-7.905	-5.538	-14.919
N65	-1.733	-0.64	-8.365	-6.185	-0.525	-1.302	-4.844	-1.652	-6.959	-6.741	-17.697
N127	-1.937	-0.545	-8.925	-6.461	-0.43	-1.514	-5.301	-1.793	-7.957	-7.662	-19.279
N47	-2.525	-0.748	-7.267	-5.531	-0.634	-1.012	-4.904	-2.35	-7.732	-5.796	-15.554
N9	-3.125	-1.247	-10.255	-7.453	-1.133	-2.524	-6.203	-3.028	-7.157	-9.217	-21.458
N55	-4.933	-0.49	-7.842	-5.711	-0.375	-1.134	-7.999	-4.778	-7.697	-6.647	-17.236
N117	-2.023	-0.606	-9.321	-6.857	-0.492	-1.571	-5.34	-1.888	-7.11	-7.698	-19.665
N116	-2.047	-0.479	-8.028	-5.987	-0.364	-1.046	-4.999	-1.872	-7.331	-6.439	-17.226
N63	-2.572	-0.189	-6.584	-5.101	-0.074	-0.233	-5.173	-2.348	-7.863	-4.652	-14.29
N69	-2.071	-0.305	-7.697	-5.664	-0.19	-0.87	-5.177	-1.888	-7.55	-6.27	-16.902
N73	-2.262	-0.202	-6.959	-5.184	-0.087	-0.501	-5.232	-2.091	-7.445	-5.354	-15.351
N52	-2.713	-0.505	-7.193	-5.688	-0.391	-0.529	-5.125	-2.55	-7.794	-4.816	-14.742
MEDIA	-2.56406667	-0.51253333	-7.7714	-5.77986667	-0.39806667	-1.01606667	-5.47173333	-2.41126667	-7.53853333	-6.24653333	-16.7426667
VARIANZA	0.678684062	0.078107982	1.072655973	0.473870916	0.078205966	0.299536462	0.976074329	0.687068196	0.098187716	1.454836916	4.257758622
DESV EST	0.823822834	0.279478053	1.035691061	0.688382826	0.279654422	0.547299244	0.987964741	0.828895769	0.313349191	1.206166206	2.063433697
ZONA N-E											
POZO	MAGNESITA	MIRABILITA	NATRON	NESQUEHONIT	THENARDITA	TERMONATR	LIMA	PORTLANDITA	PERICLASA		
N6	-0.88	-7.76	-9.964	-3.291	-8.504	-11.219	-21.57	-11.599	-10.212		
N84	0.637	-8.144	-9.651	-3.05	-8.791	-10.814	-20.76	-10.867	-9.529		
N5	-1.298	-9.787	-9.316	-3.715	-10.22	-10.276	-19.879	-10.156	-9.89		
N39	-0.87	-8.383	-10.181	-3.283	-9.054	-11.367	-20.557	-10.646	-9.483		
N65	-1.257	-6.974	-9.265	-3.678	-7.278	-10.103	-21.111	-11.491	-10.531		
N127	-1.572	-8.155	-10.215	-3.987	-8.76	-11.339	-21.366	-11.506	-11.006		
N47	-0.87	-8.381	-10.092	-3.282	-9.14	-11.361	-21.529	-11.547	-10.156		
N9	-1.874	-9.332	-10.856	-4.292	-9.716	-11.77	-22.488	-12.804	-11.881		
N55	-1.248	-11.478	-10.499	-3.661	-12.139	-11.676	-20.954	-11.05	-10.285		
N117	-1.567	-7.997	-10.024	-3.982	-8.566	-11.113	-21.784	-11.953	-11.382		
N116	-1.174	-7.891	-9.81	-3.586	-8.65	-11.079	-21.412	-11.43	-10.612		
N63	-0.656	-8.755	-9.913	-3.63	-9.753	-11.408	-21.046	-10.874	-9.852		
N69	-1.173	-8.279	-10.008	-3.584	-9.076	-11.313	-20.962	-10.95	-10.309		
N73	-0.906	-8.234	-9.657	-3.318	-8.979	-10.12	-20.583	-10.612	-9.802		
N52	-0.629	-8.869	-10.128	-3.042	-9.56	-11.339	-21.61	-11.676	-10.281		
MEDIA	-1.1074	-8.56126667	-9.97193333	-3.55873333	-8.2124	-11.0884667	-21.1740667	-11.2774	-10.3487333		
VARIANZA	0.130724773	1.017022196	0.157792729	0.117591796	1.047363307	0.260117716	0.357148596	0.388808507	0.413421796		
DESV EST	0.36155881	1.008475183	0.397231329	0.342916601	1.023407693	0.510017368	0.597619106	0.623545112	0.642978845		

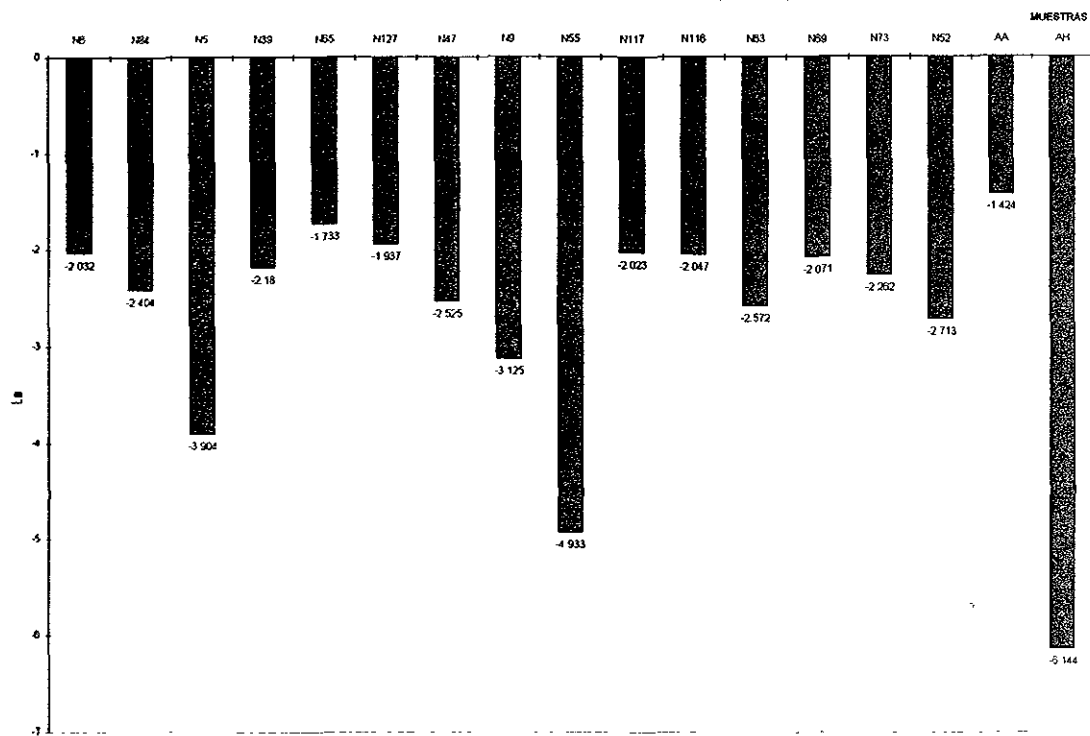
Tabla 21 Índices de saturación de los minerales analizados del programa MINTEQ A2 en los cuerpos de agua superficiales (CAS) de las dos zonas de estudio.

MTRA.	ANHIDRITA	ARAGONITA	ARTINITA	BRUCITA	CALCITA	DOLOMITA	EPSOMITA	GYPSUM	HALITA	HUNTITA	HIDROMAGNE	MAGNESI
PN	-1.579	0.249	-4.458	-3.611	0.365	0.823	-3.937	-1.328	-6.043	-2.402	-10.355	-0.042
PTI	-1.628	-0.081	-5.662	-4.445	0.035	0.116	-4.008	-1.367	-6.905	-3.879	-12.706	-0.42
RSP	-1.843	-0.42	-6.6	-5.024	-0.305	-0.59	-4.225	-1.571	-6.426	-5.334	-14.761	-0.788
ASF	-1.905	-0.617	-7.084	-5.347	-0.501	-0.0955	-4.234	-1.623	-6.173	-6.05	-15.765	-0.958
CSP	-1.885	-0.301	-5.778	-4.528	-0.186	-0.145	-4.059	-1.613	-5.947	-4.236	-12.959	-0.462
AA	-1.424	-0.314	-6.371	-4.904	-0.199	-0.347	-3.872	-1.193	-6.373	-4.756	-14.057	-0.647
AH	-6.144	-1.317	-8.813	6.326	-1.202	-2.363	-8.626	-5.923	-7.747	-8.78	-19.519	-1.658
MEDIA*	-1.71066667	-0.24733333	-5.99216667	-4.64316667	-0.13183333	-0.03975	-4.05583333	-1.44916667	-6.31116667	-4.44283333	-13.43383333	-0.55283333
VARIANZA	0.032002889	0.074634222	0.702270139	0.304391806	0.074732139	0.196659813	0.018420139	0.026492806	0.098878139	1.333487472	2.969744805	0.085862806
DES EST	0.178893513	0.273192647	0.838015596	0.551717143	0.273371796	0.443463429	0.135753965	0.162766107	0.314448945	1.154767281	1.723294753	0.293023558
* No se considera al valor más alto (AH)												
MTRA.	MIRABILITA	NATRON	RESQUEONITA	THENARITA	THERMONATR	LIMA	PORTLANDITA	PERICLASA				
PN	6.358	9.091	2.817	-7.487	-9.719	-19.891	9.617	-8.432				
PTI	8.271	19.396	2.824	-9.451	-11.972	-20.741	-10.425	-9.292				
RSP	6.981	9.151	3.191	-8.209	-10.865	-21.353	-10.997	-9.897				
ASF	-6.897	-9.212	-3.359	-8.175	-10.974	-21.765	-11.368	-10.246				
CSP	-6.351	-8.36	-2.865	-7.579	-10.074	-21.064	-10.708	-9.4				
AA	6.716	-9.155	-3.053	-7.747	-10.681	-21.026	-10.827	-9.673				
AH	-13.811	-12.52	-4.065	-14.793	-14.002	-22.381	-12.221	-11.07				
MEDIA*	-6.92916667	-9.04716667	-2.9565	-8.108	-10.7141667	-20.9738333	-10.657	-9.49				
VARIANZA	0.418811806	0.500909806	0.085304583	0.435890333	0.512279806	0.333469139	0.298007667	0.322890333				
DES EST	0.647156709	0.707749818	0.292069484	0.660068431	0.715737246	0.577467868	0.545900785	0.5682344				

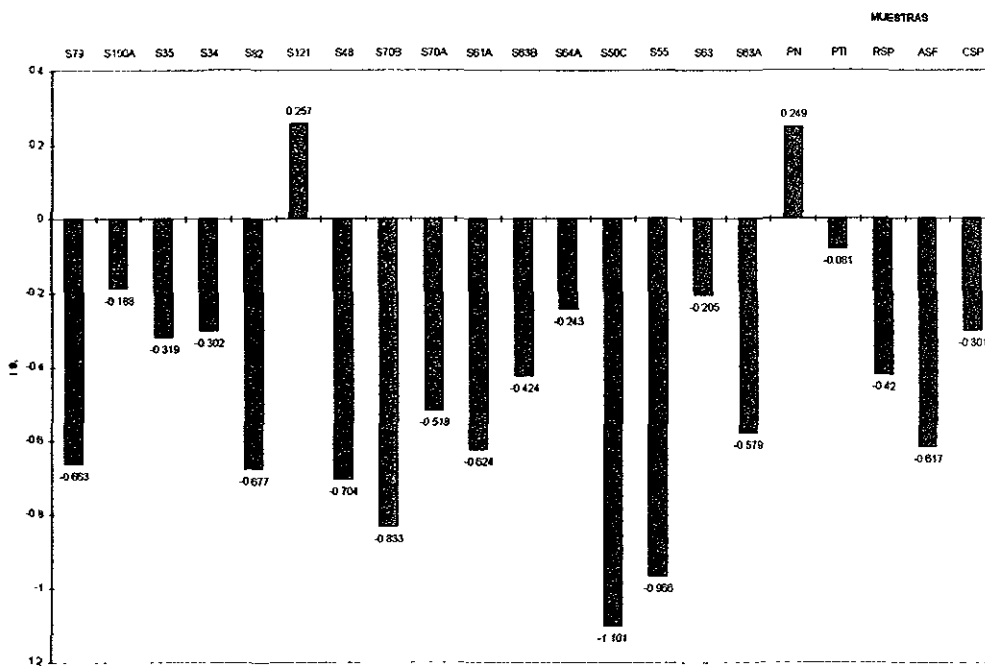
Gráfica 3 Índices de saturación de la anhídrita, zona 1, S-W.



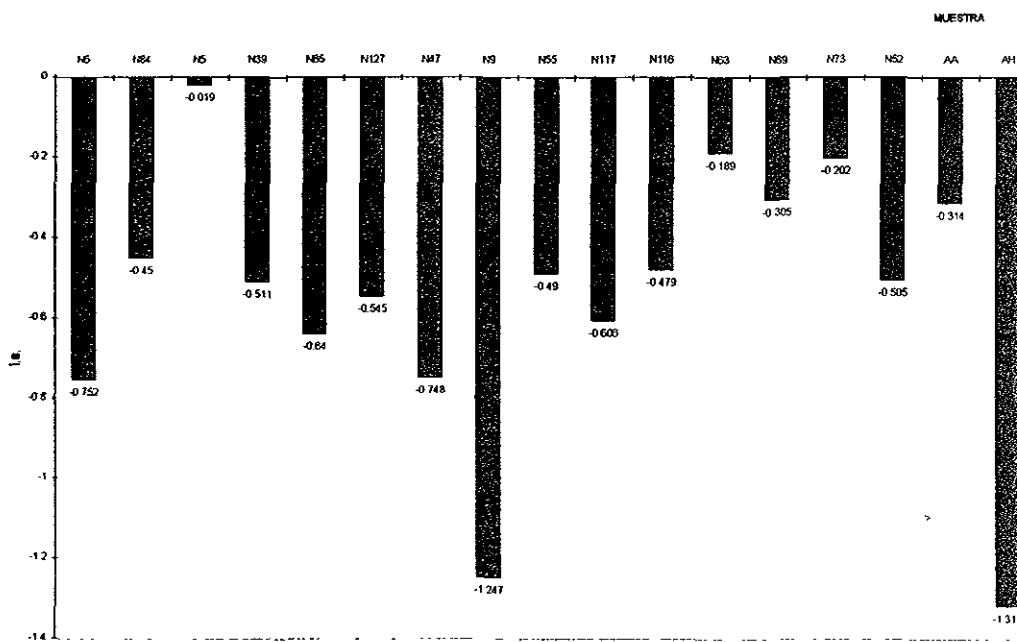
Gráfica 4 Índices de saturación de la anhídrita, zona 2, N-E.



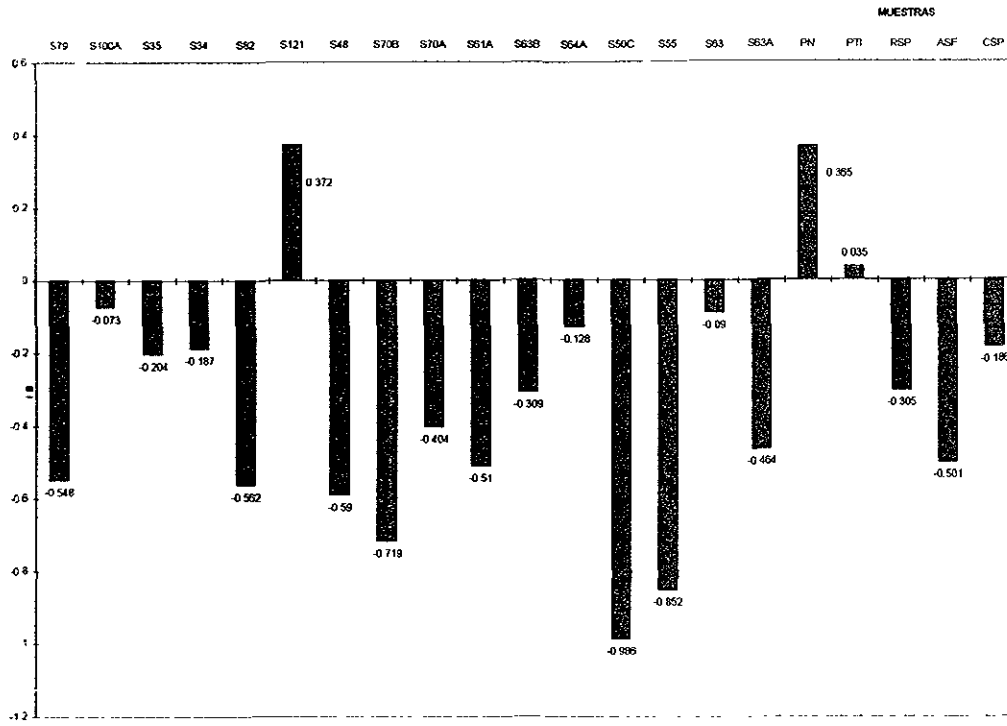
Gráfica 6 Índices de saturación de la aragonita, zona 1, S-W.



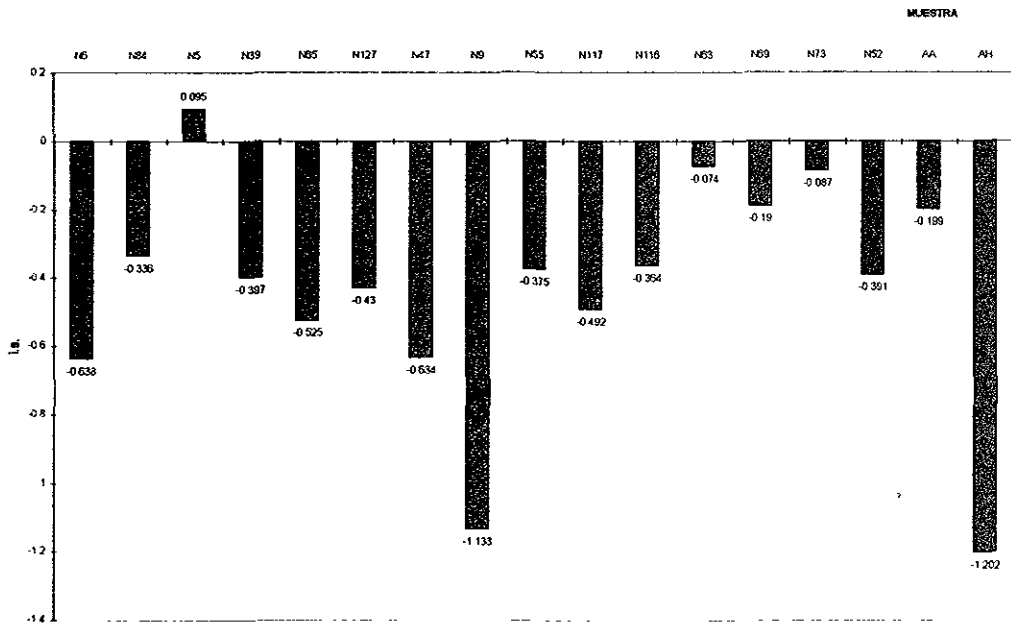
Gráfica 6 Índices de saturación de la aragonita, zona 2, N-E.



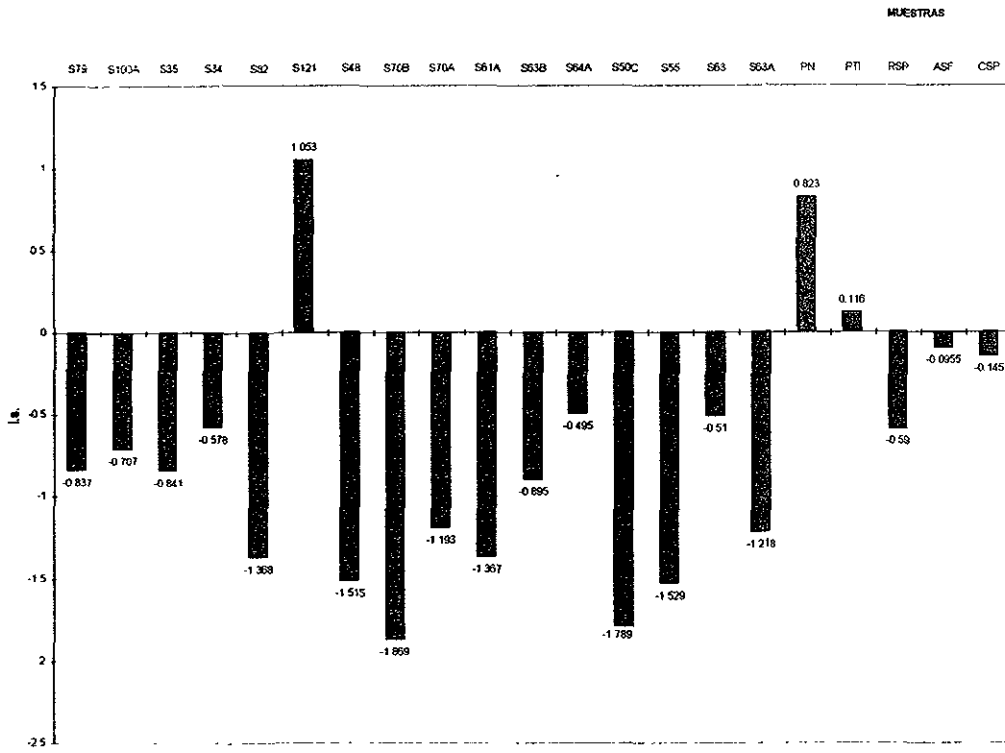
Gráfica 7 Índices de saturación de la calcita, zona 1, S-W.



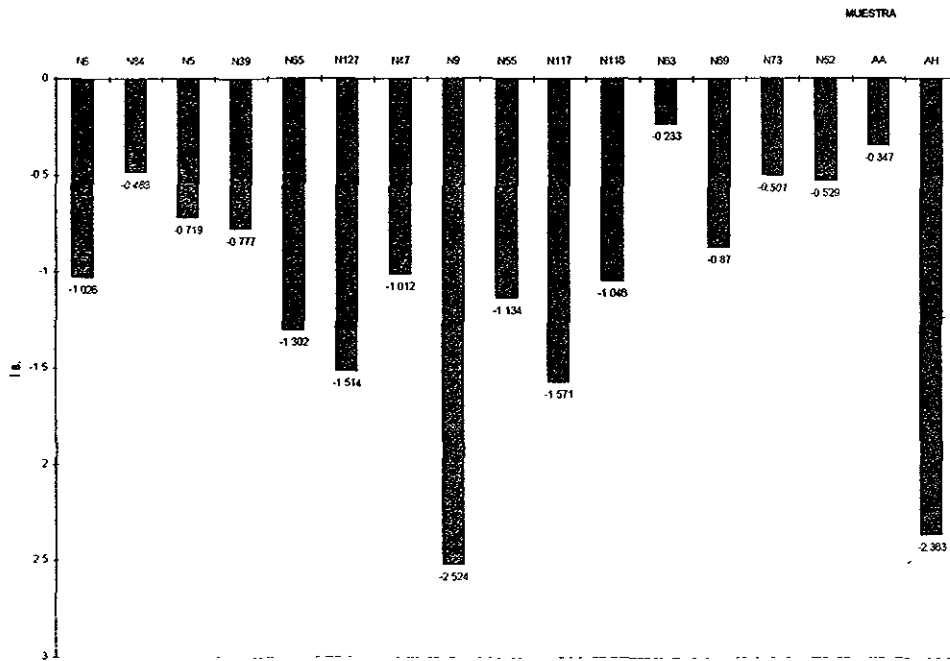
Gráfica 8 Índices de saturación de la calcita, zona 2, N-E.



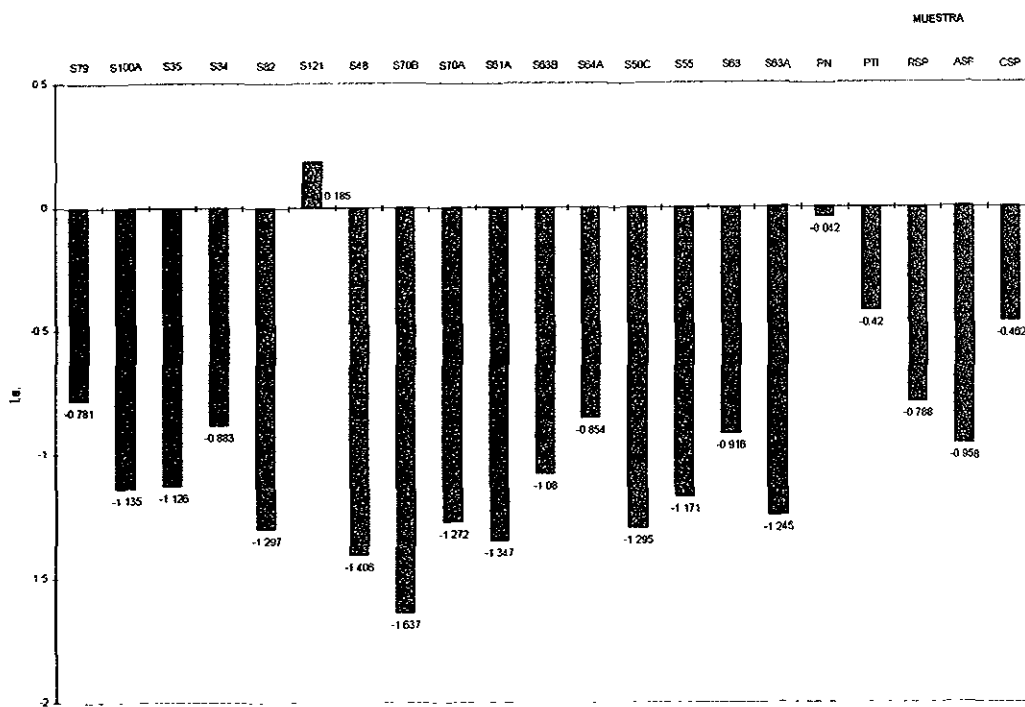
Gráfica 9 Índices de saturación de la dolomita, zona 1, S-W.



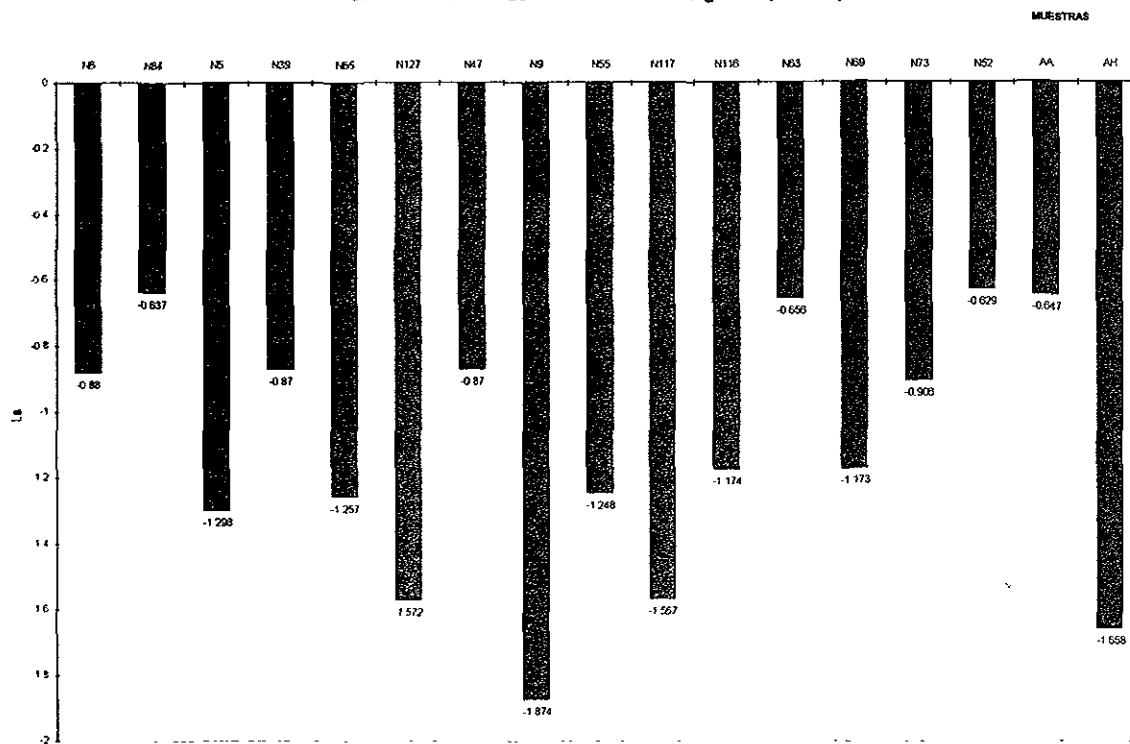
Gráfica 10 Índices de saturación de la dolomita, zona 2, N-E.



Gráfica 11 Índices de saturación de la magnesita, zona 1, S-W.



Gráfica 12 Índice de saturación de la magnesita, zona 2, N-E.



ANEXO VI

Diagramas de Stiff.

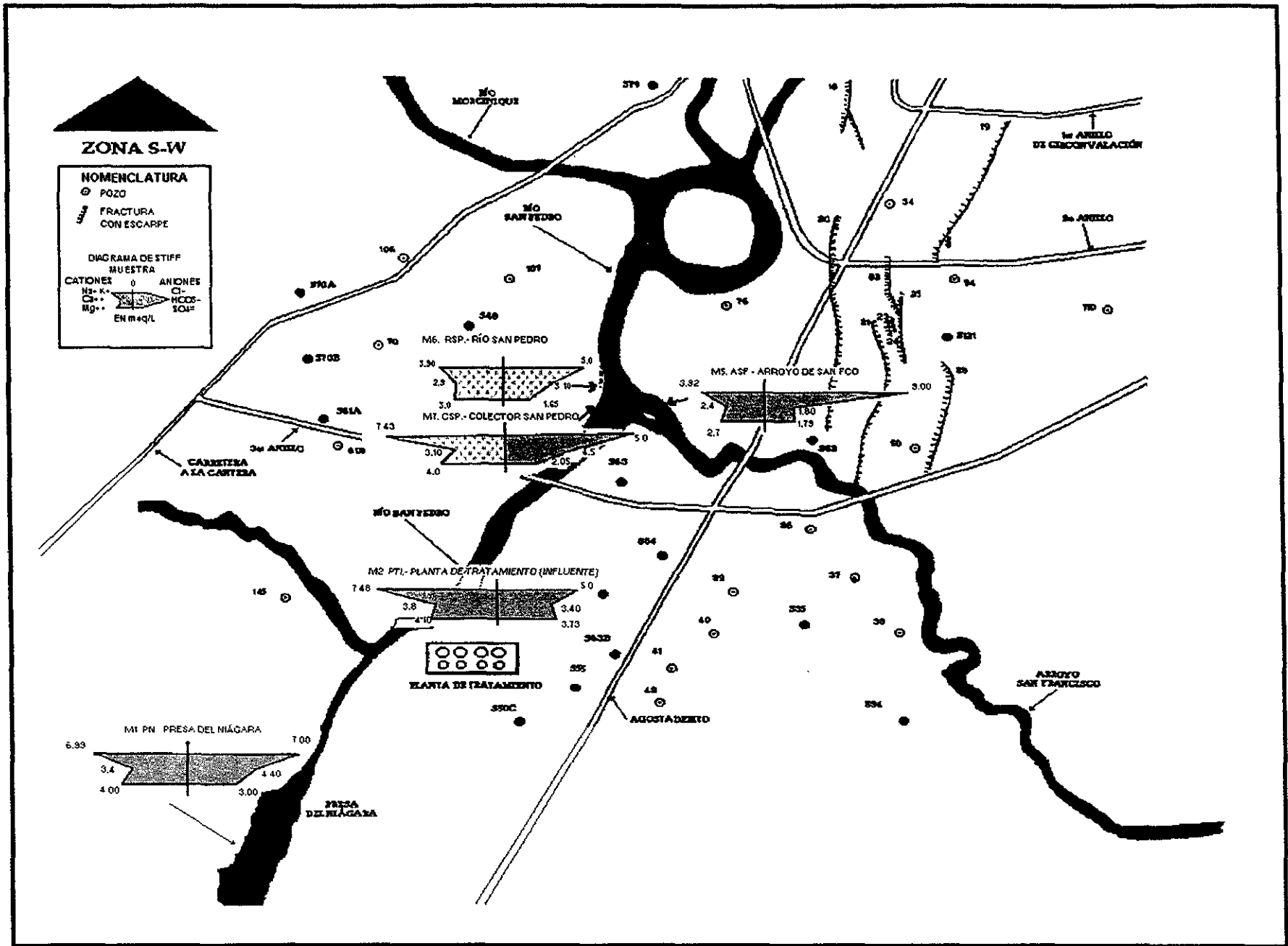


Fig. 24 Diagramas de Stiff de los CAS localizados en la zona 1, S-W.

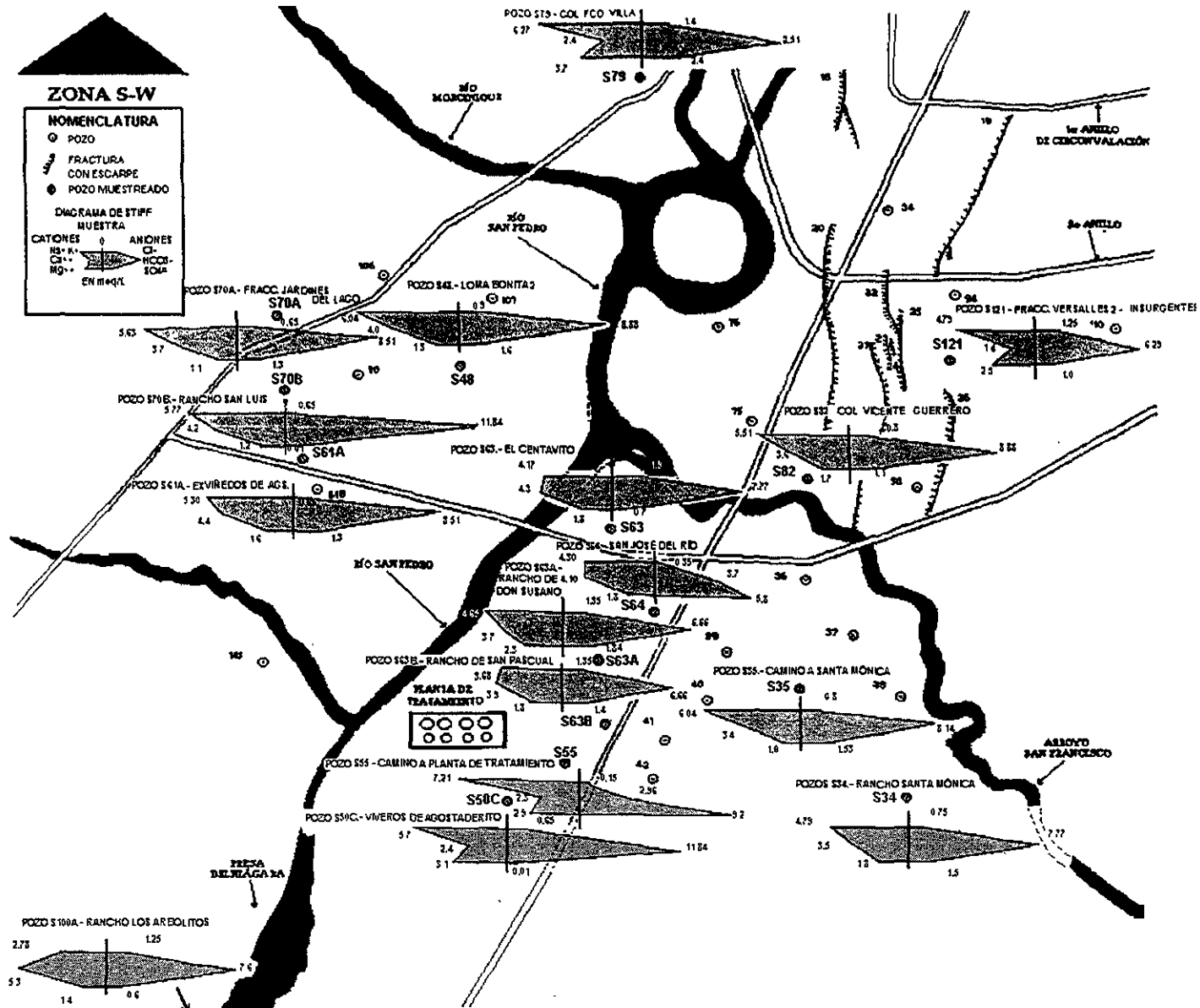


Fig. 25 Diagramas de Stiff de los pozos localizados en la zona 1, S-W.

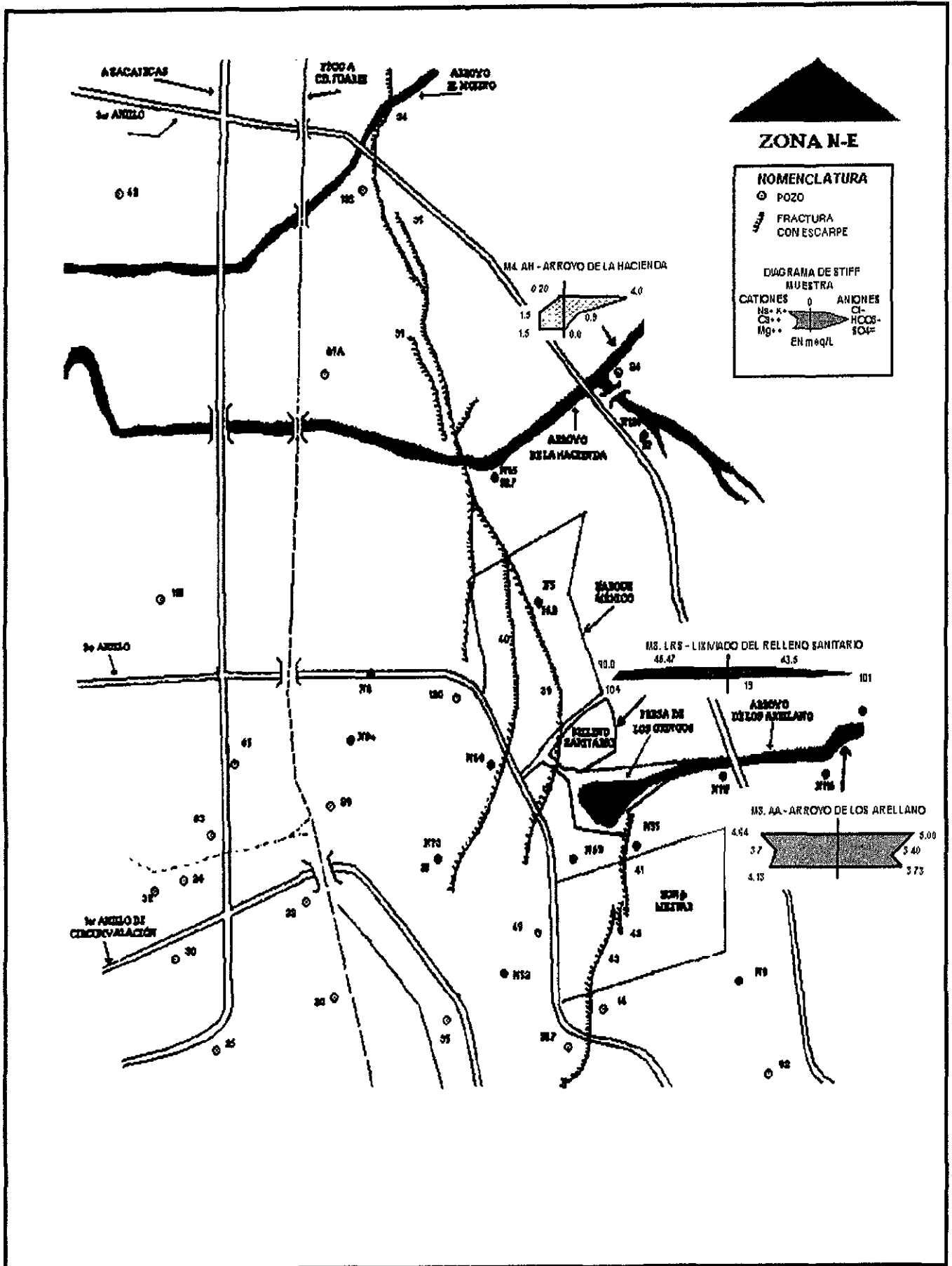


Fig. 26 Diagramas de Stiff de los CAS en la zona 2, N-E.

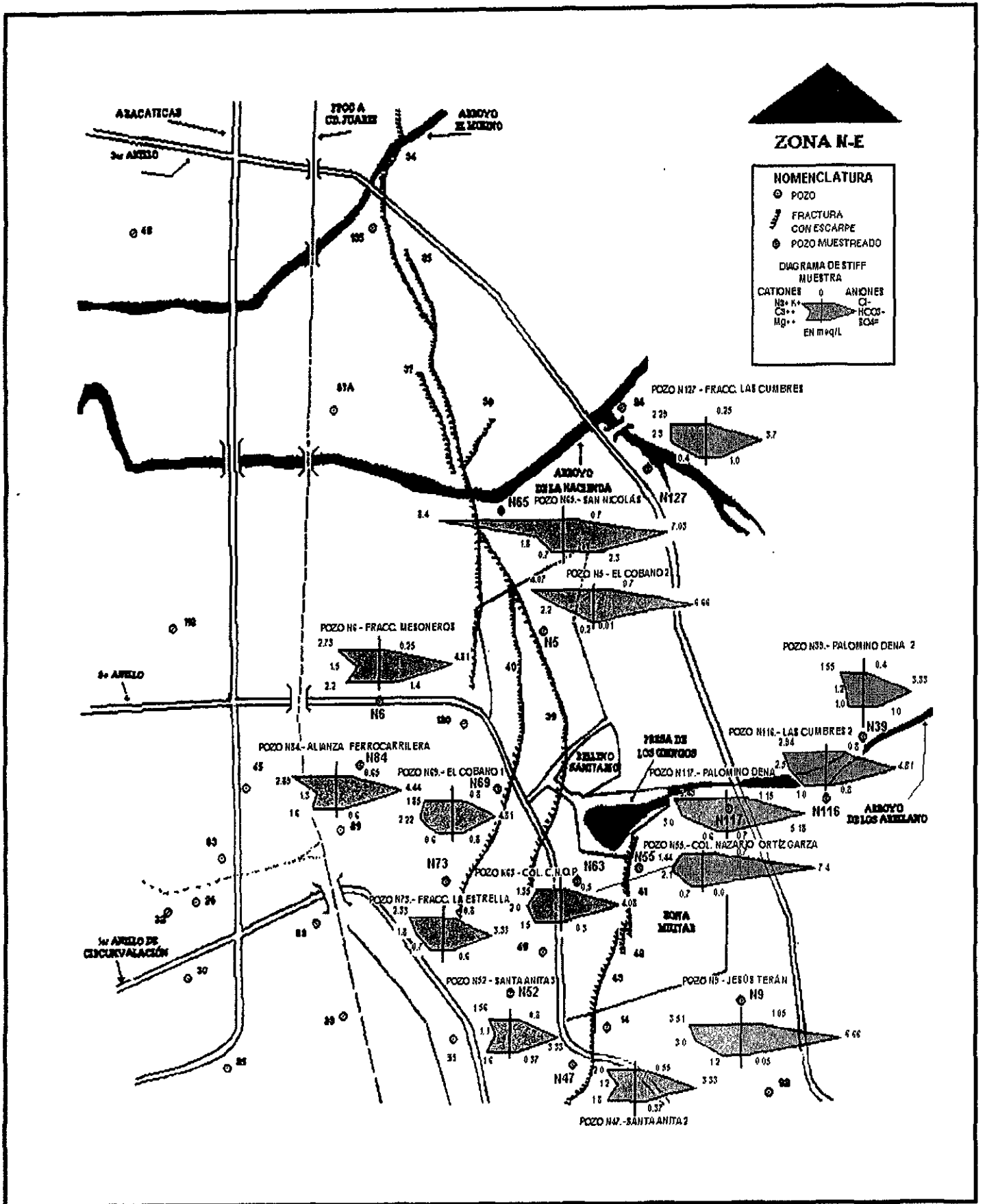


Fig. 27.- Diagramas de stiff de los pozos localizados en la zona 2, NE

ANEXO VII

Distribución espacial de iones principales.

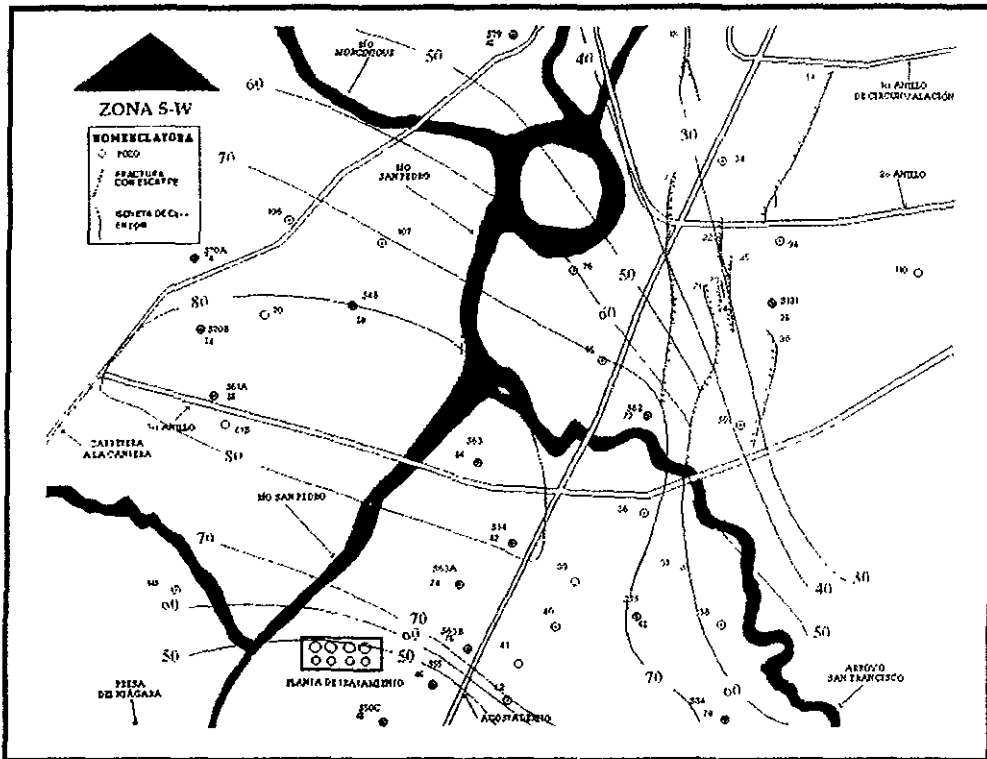


Fig. 28 Configuración de Ca^{++} en la zona 1, S-W.

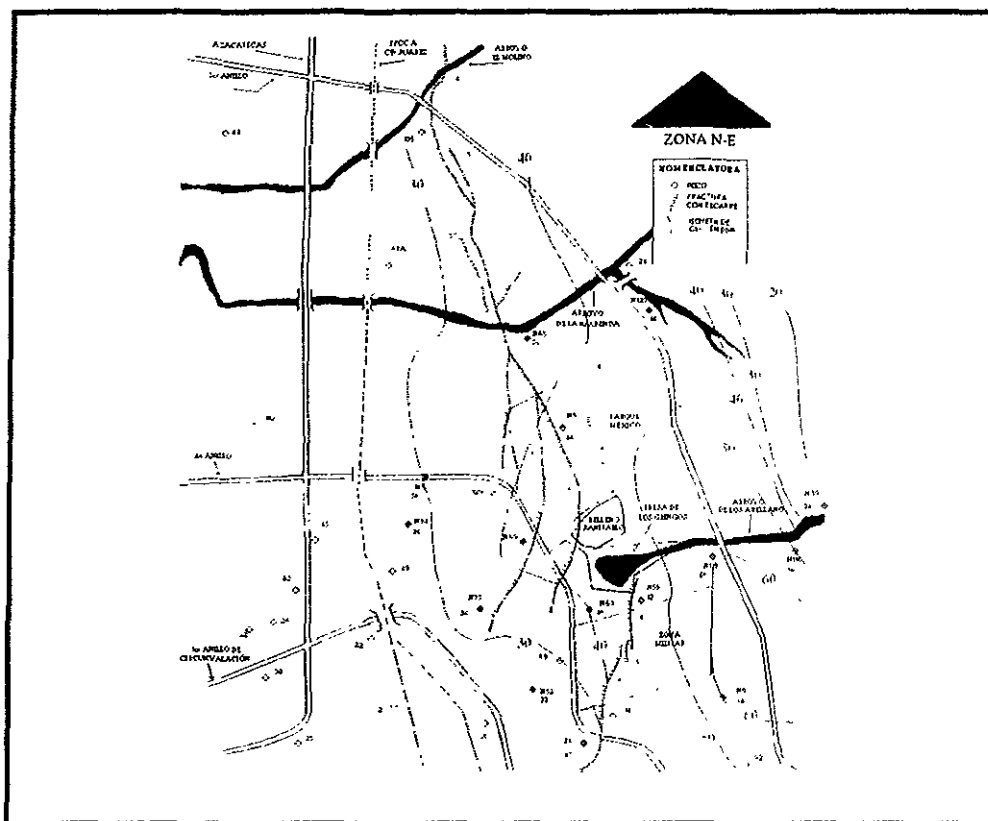


Fig. 29 Configuración de Ca^{++} en la zona 2, N-E.

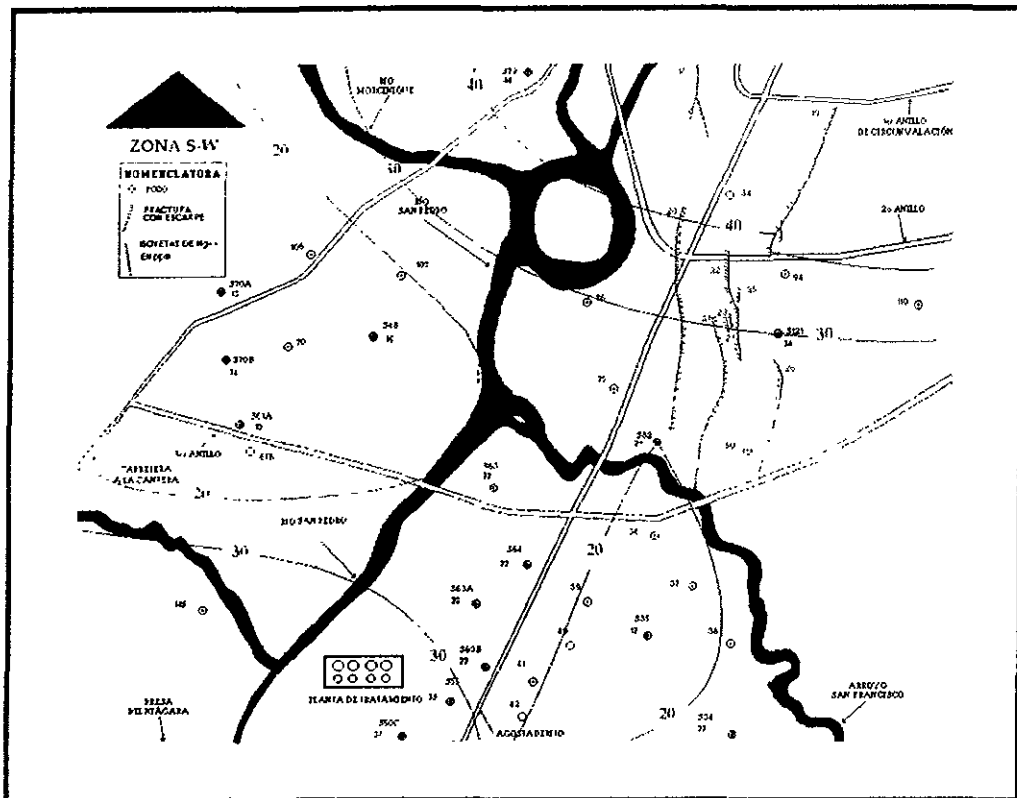


Fig. 30 Configuración de Mg++ en la zona 1, S-W.

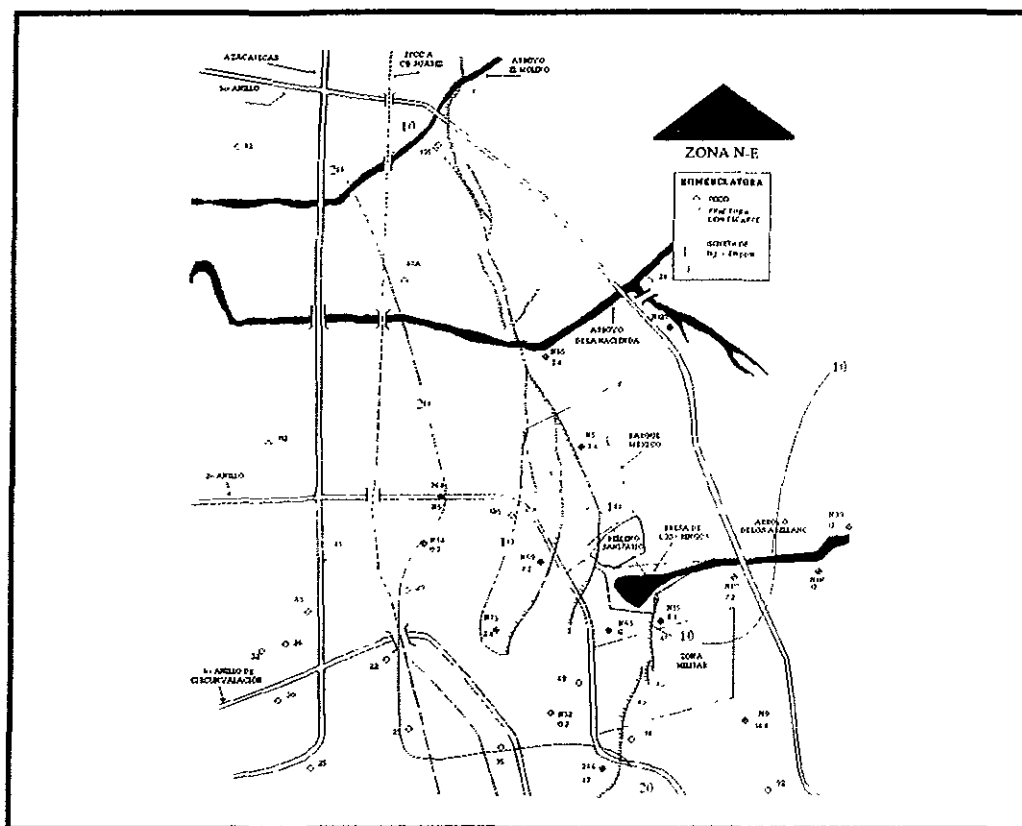


Fig. 31 Configuración de Mg++ en la zona 2, N-E.

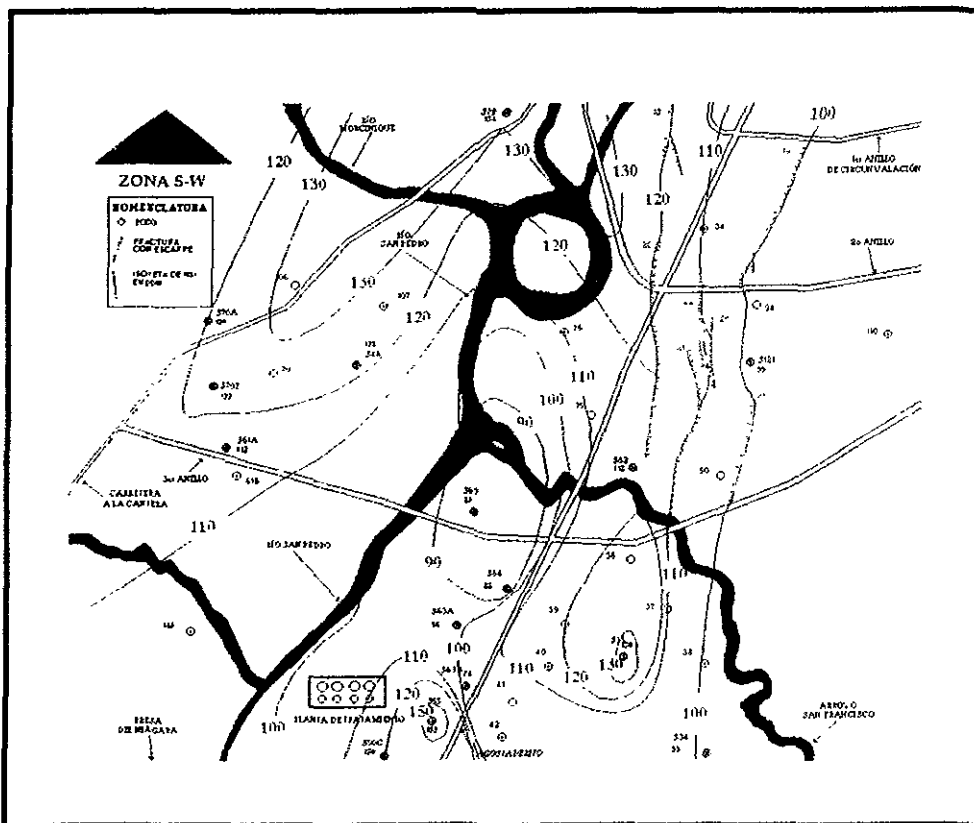


Fig. 32 Configuración de Na⁺ en la zona 1, S-W.

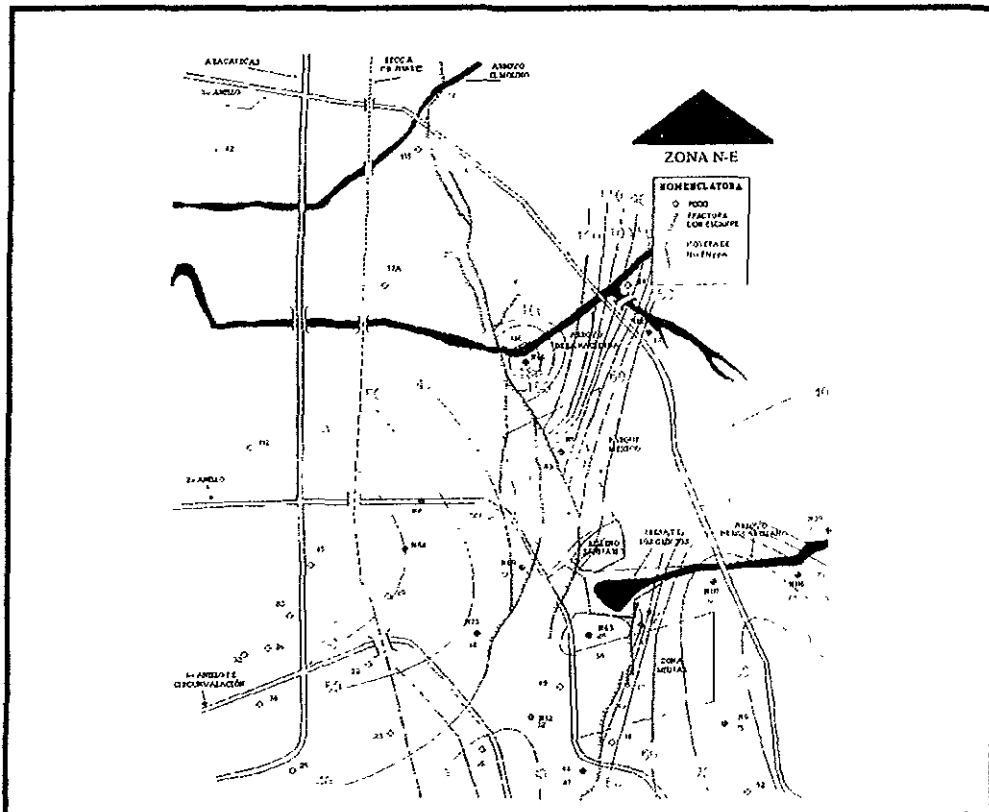


Fig. 33 Configuración de Na⁺ en la zona 2, N-E.

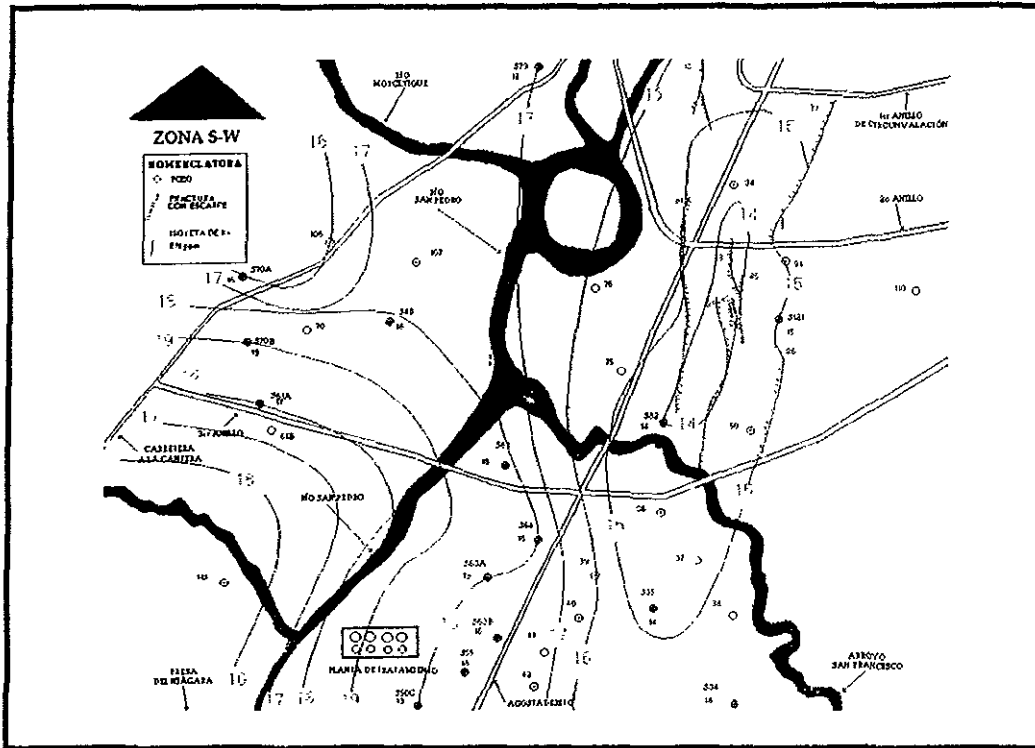


Fig. 34 Configuración de K+ en la zona 1, S-W.

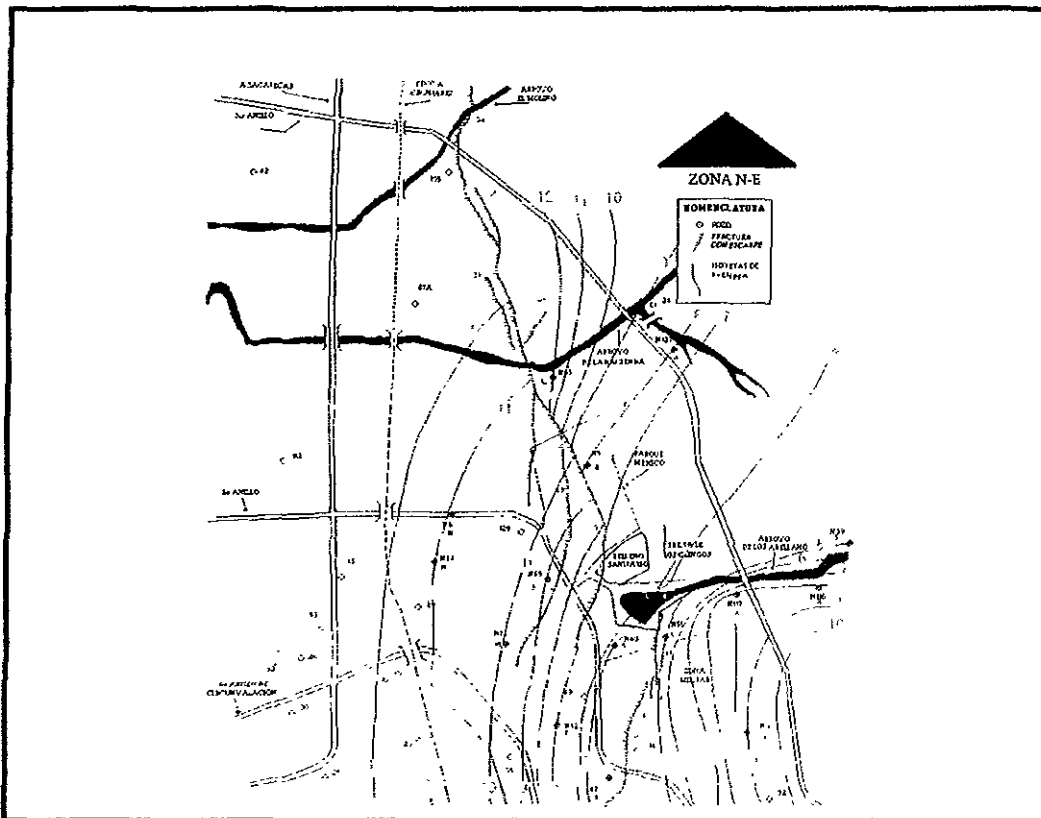


Fig. 35 Configuración de K+ en la zona 2, N-E.

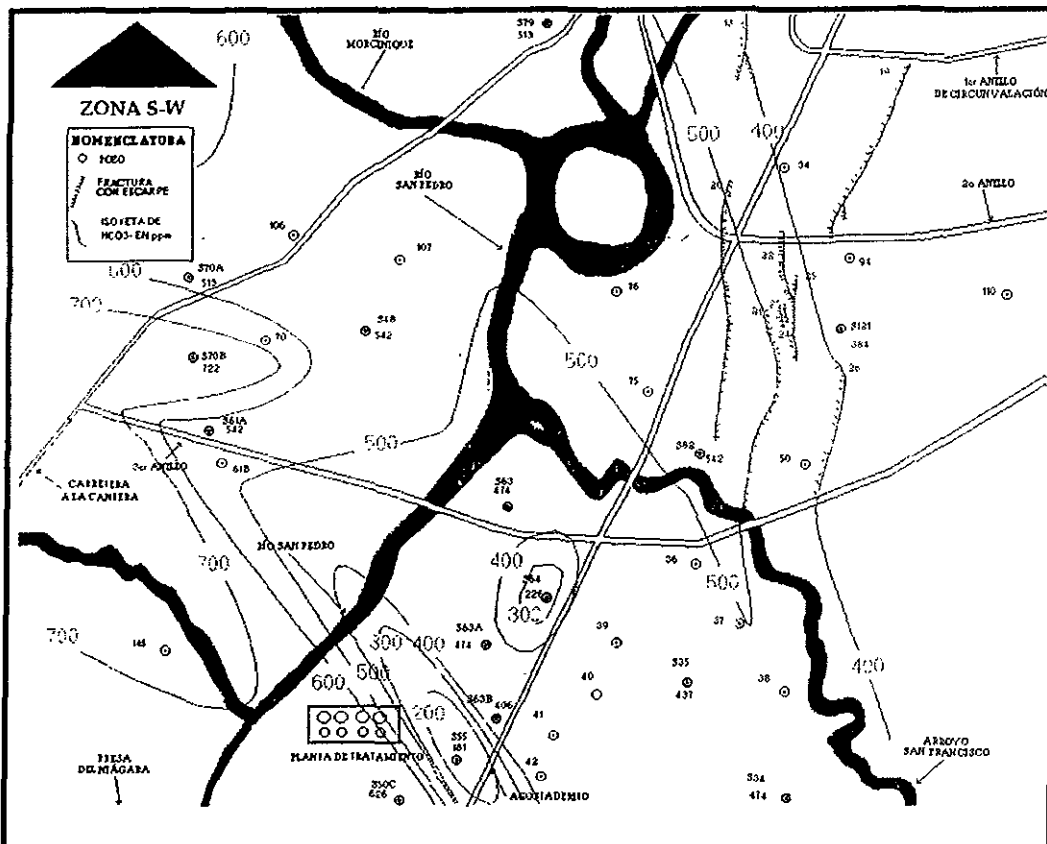


Fig. 38 Configuración de HCO₃- en la zona 1, S-W.

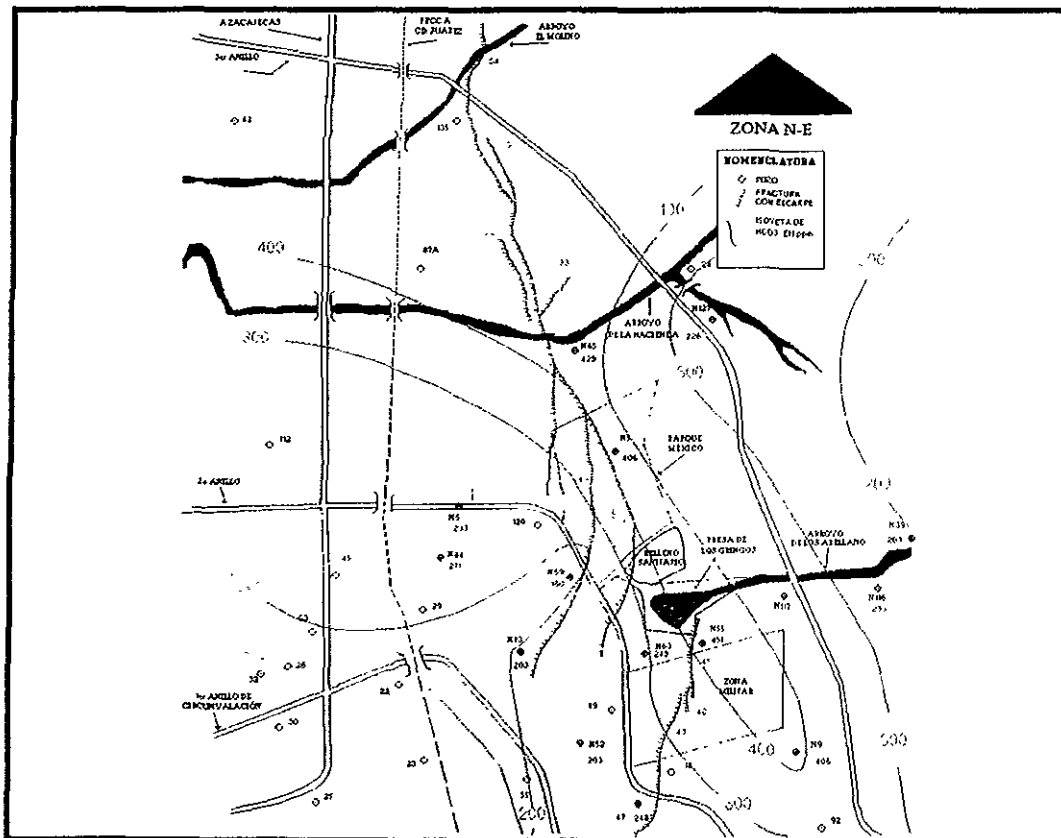


Fig. 39 Configuración de HCO₃- en la zona 2, N-E.

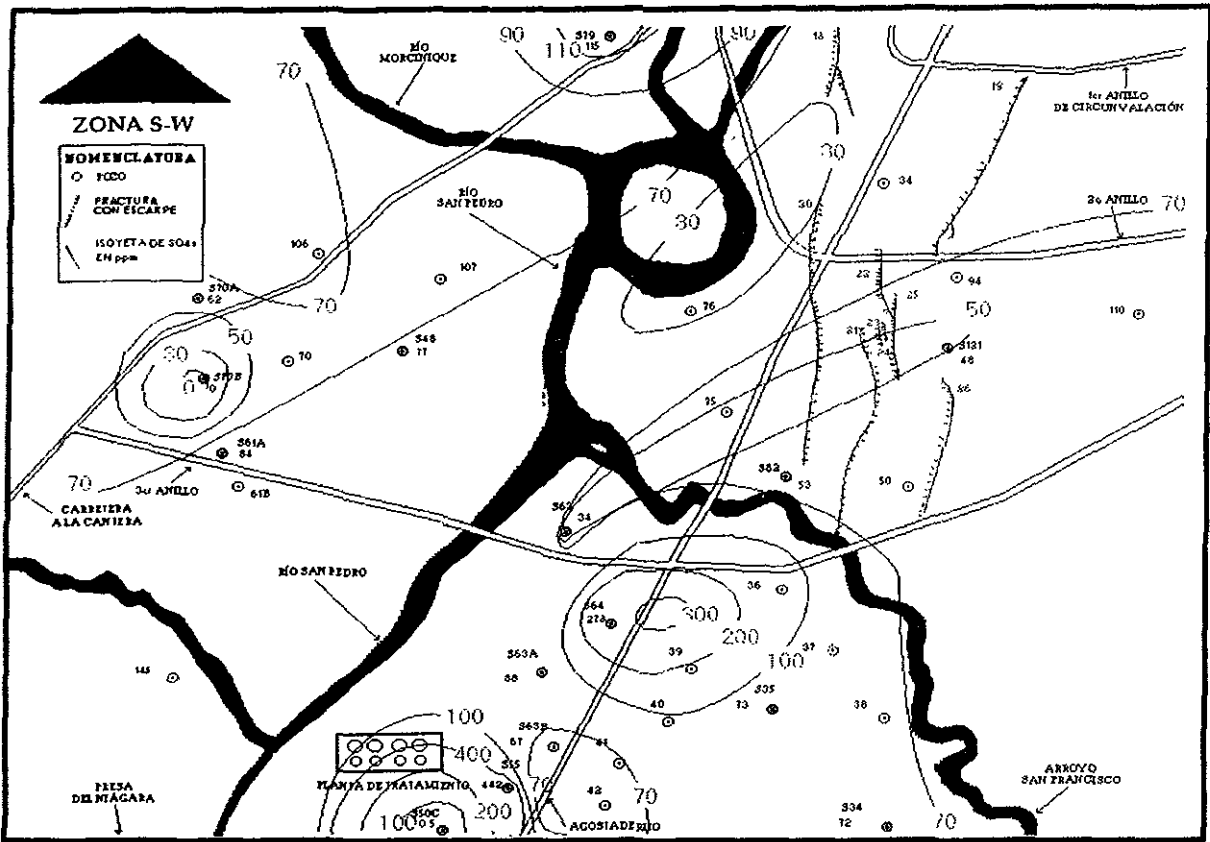


Fig. 40 Configuración de $SO_4=$ en la zona 1, S-W.

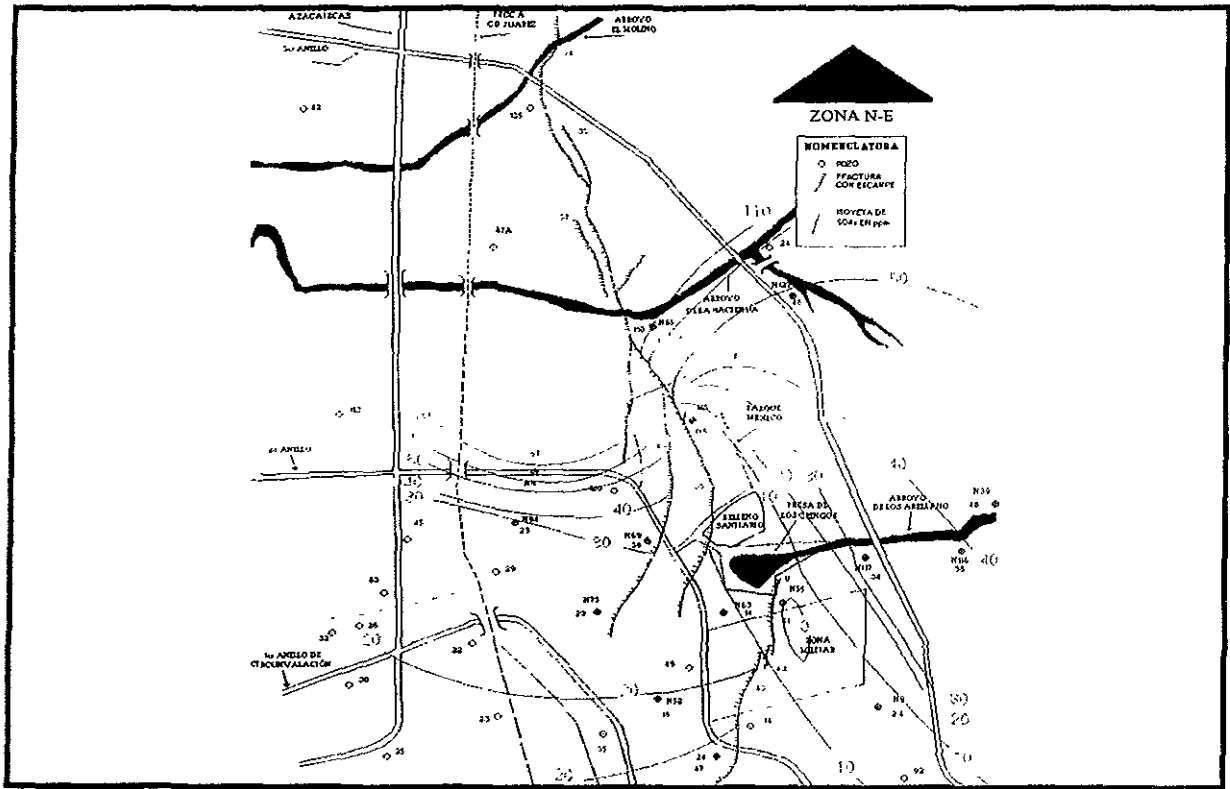
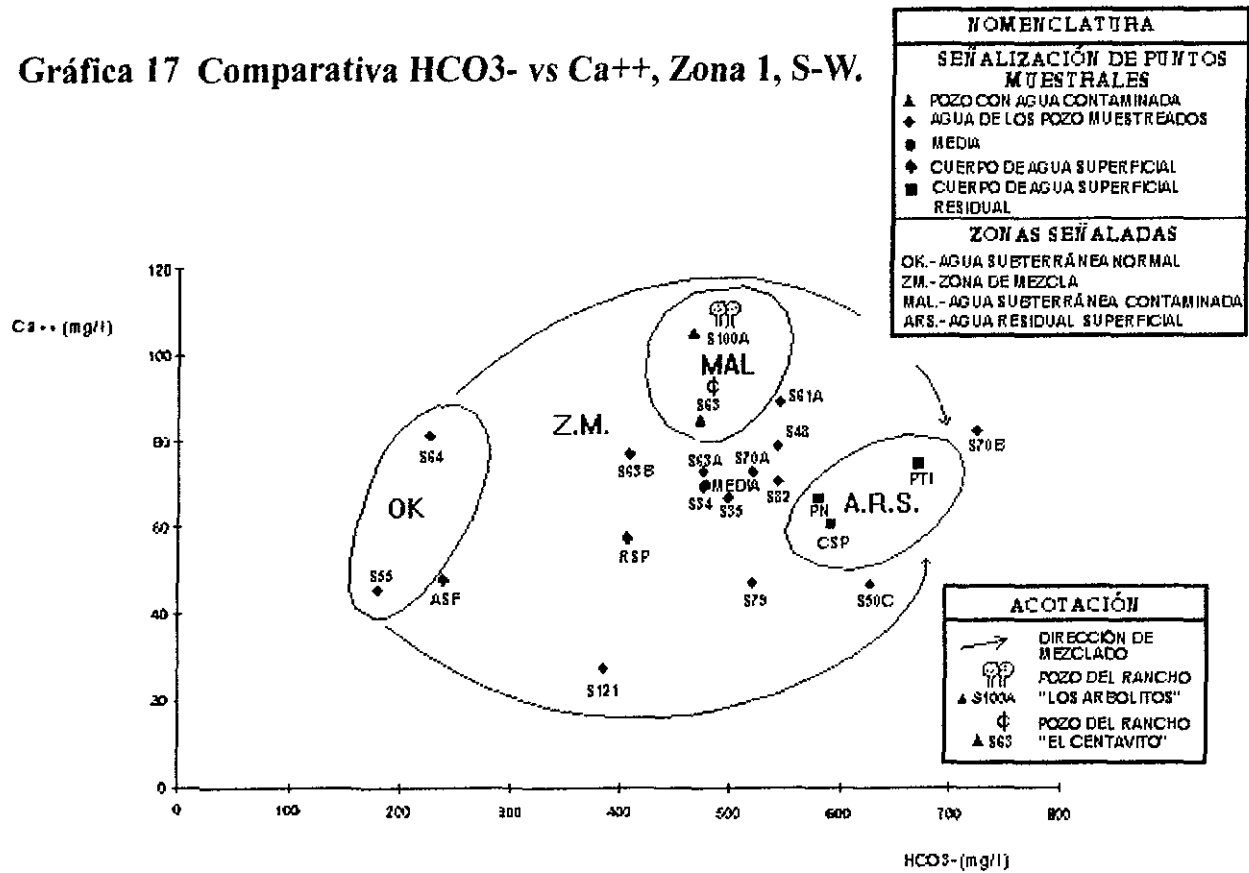


Fig. 41 Configuración de $SO_4=$ en la zona 2, N-E.

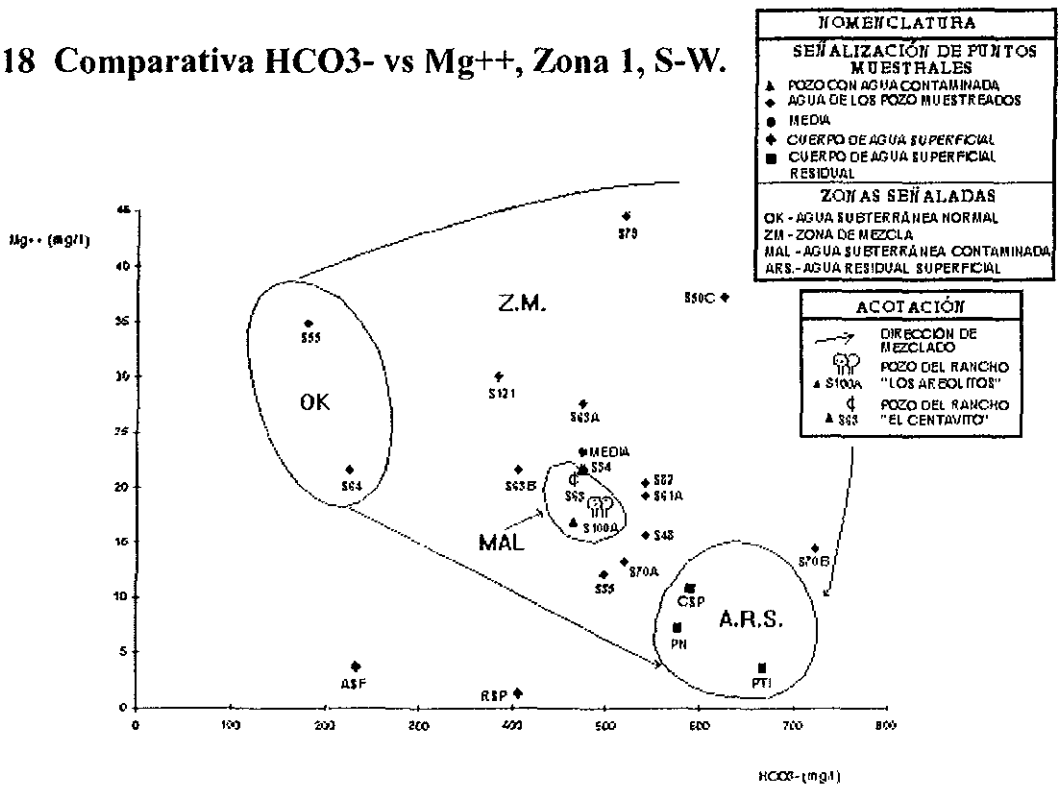
ANEXO VIII

Gráficas comparativas de Pares iónicos.

Gráfica 17 Comparativa HCO₃⁻ vs Ca⁺⁺, Zona 1, S-W.



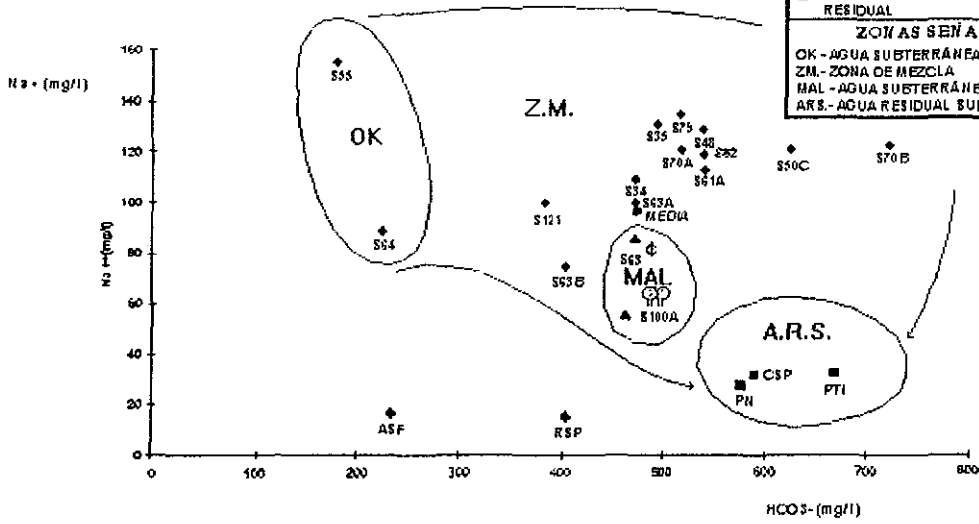
Gráfica 18 Comparativa HCO₃⁻ vs Mg⁺⁺, Zona 1, S-W.



Gráfica 19 Comparativa HCO₃⁻ vs Na⁺, Zona 1, S-W.

ACOTACIÓN	
	DIRECCIÓN DE MEZCLADO
	POZO DEL RANCHO "LOS ARBOLITOS"
	POZO DEL RANCHO "EL CENTAVITO"

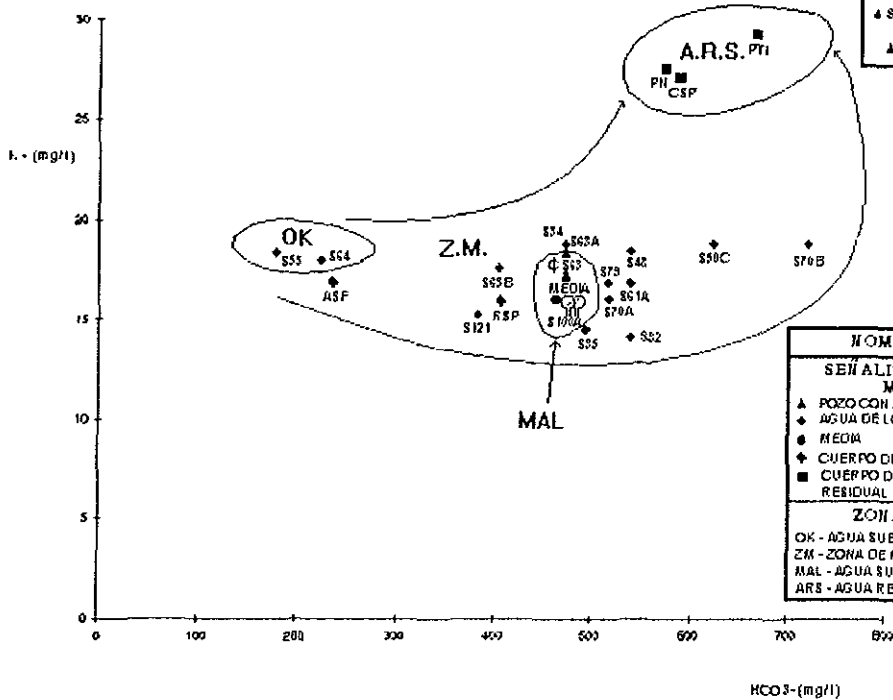
NOMENCLATURA	
SEÑALIZACIÓN DE PUNTOS MUESTRALES	
	POZO CON AGUA CONTAMINADA
	AGUA DE LOS POZO MUESTREADOS
	MEDIA
	CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL
	CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL RESIDUAL
ZONAS SEÑALADAS	
OK	AGUA SUBTERRÁNEA NORMAL
Z.M.	ZONA DE MEZCLA
MAL	AGUA SUBTERRÁNEA CONTAMINADA
A.R.S.	AGUA RESIDUAL SUPERFICIAL



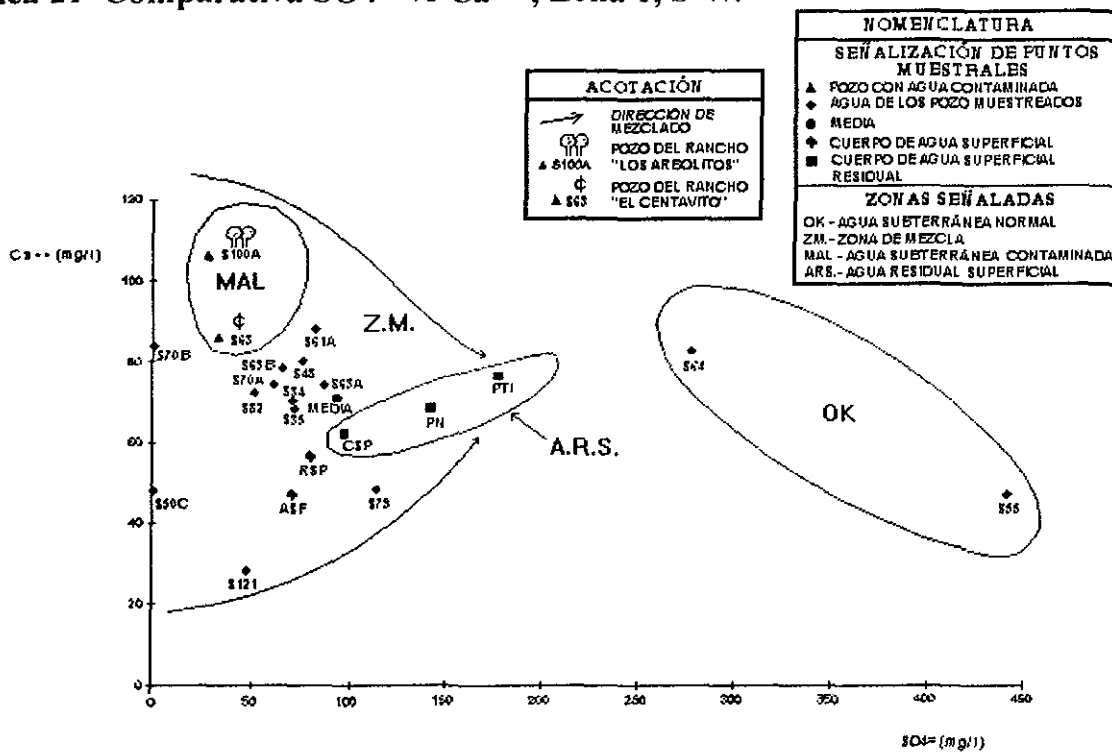
Gráfica 20 Comparativa HCO₃⁻ vs K⁺, Zona 1, S-W.

ACOTACIÓN	
	DIRECCIÓN DE MEZCLADO
	POZO DEL RANCHO "LOS ARBOLITOS"
	POZO DEL RANCHO "EL CENTAVITO"

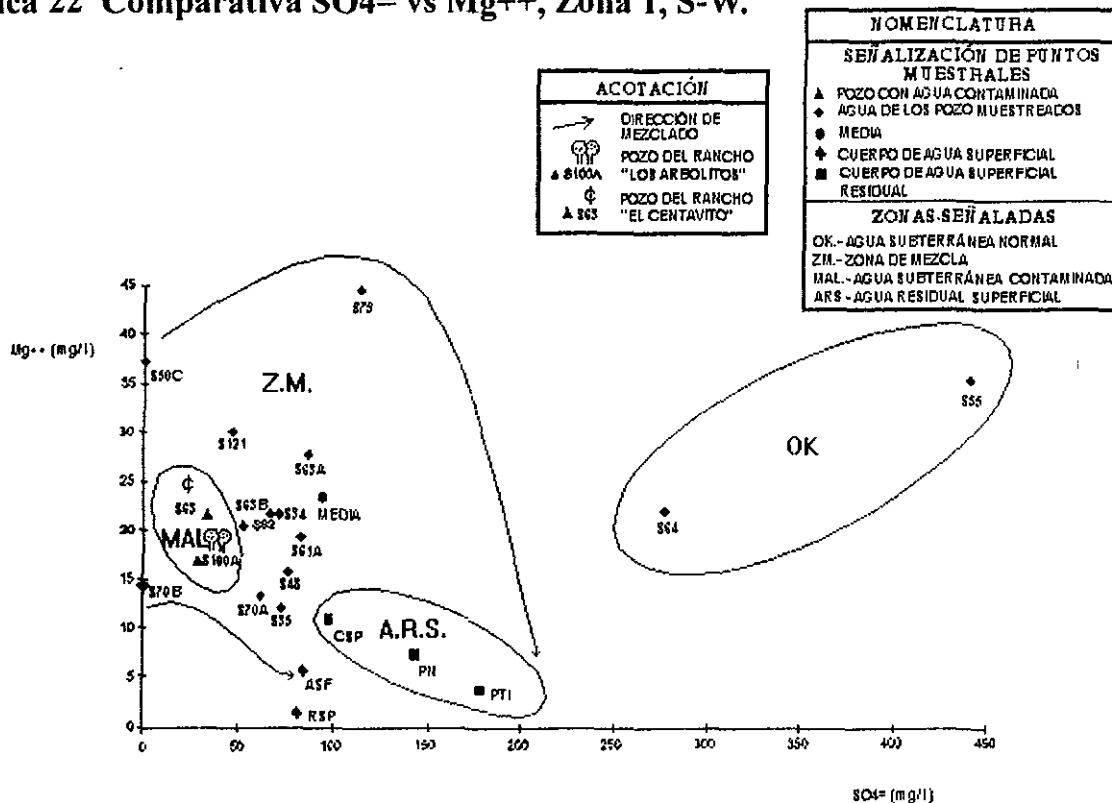
NOMENCLATURA	
SEÑALIZACIÓN DE PUNTOS MUESTRALES	
	POZO CON AGUA CONTAMINADA
	AGUA DE LOS POZO MUESTREADOS
	MEDIA
	CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL
	CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL RESIDUAL
ZONAS SEÑALADAS	
OK	AGUA SUBTERRÁNEA NORMAL
Z.M.	ZONA DE MEZCLA
MAL	AGUA SUBTERRÁNEA CONTAMINADA
A.R.S.	AGUA RESIDUAL SUPERFICIAL



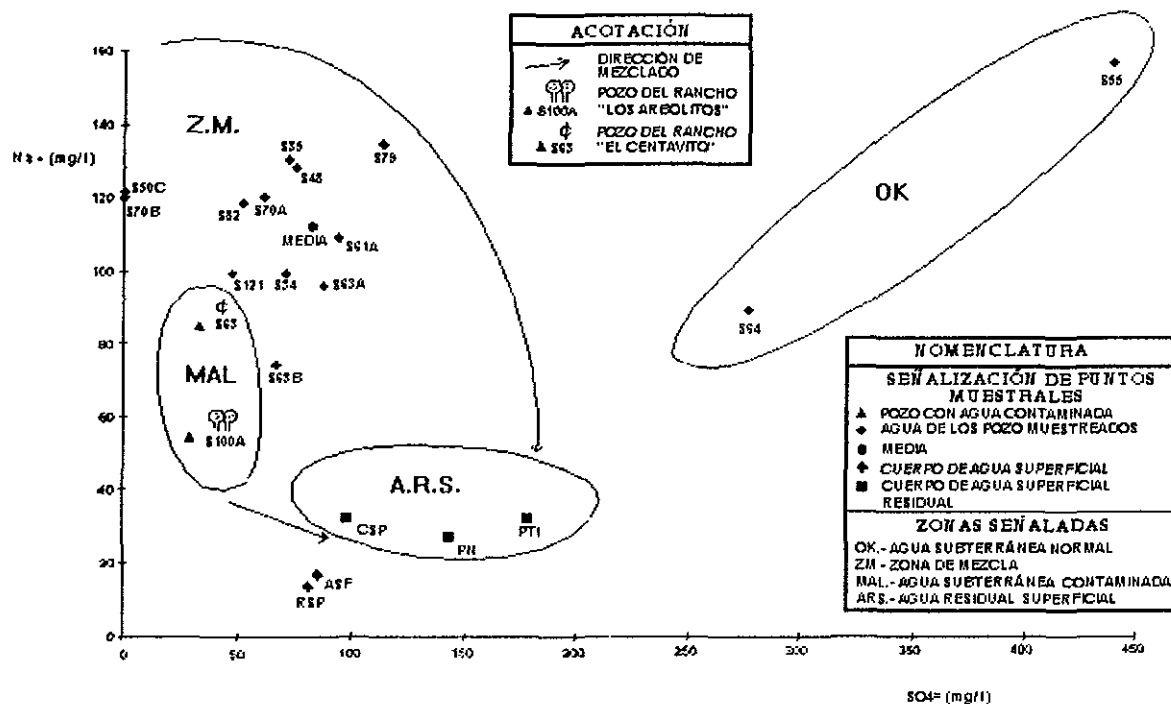
Gráfica 21 Comparativa $SO_4^{=}$ vs Ca^{++} , Zona 1, S-W.



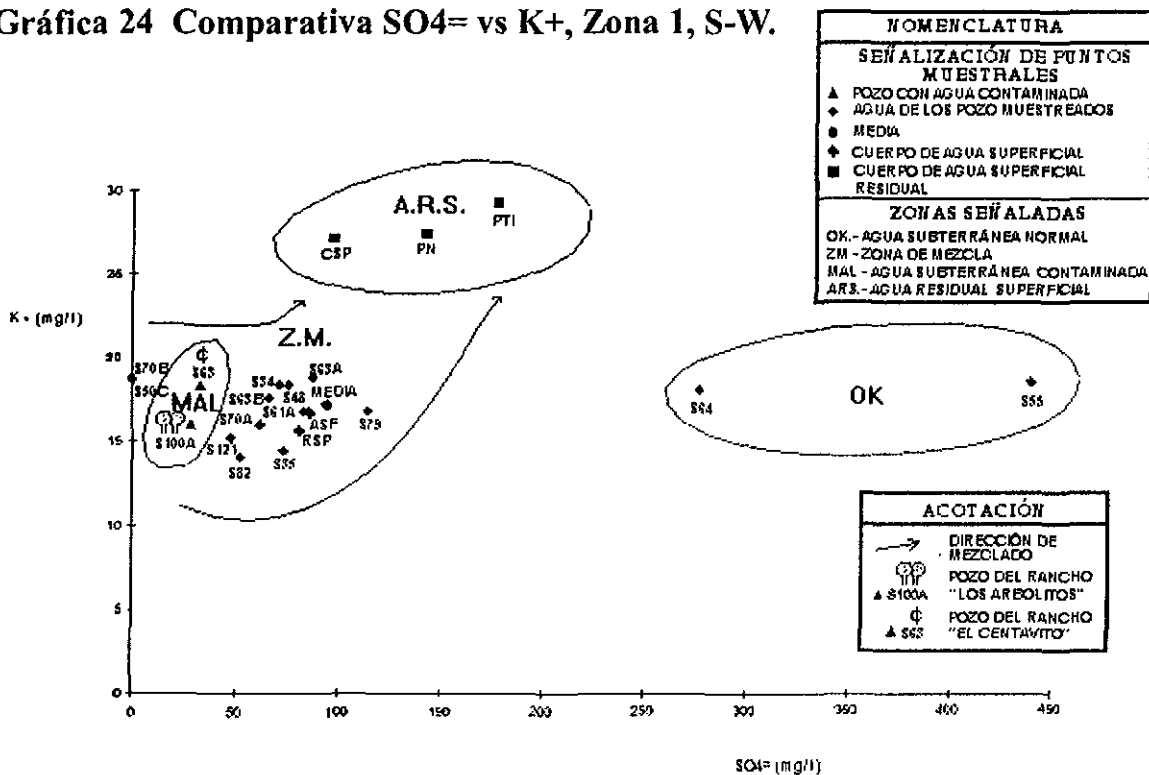
Gráfica 22 Comparativa $SO_4^{=}$ vs Mg^{++} , Zona 1, S-W.



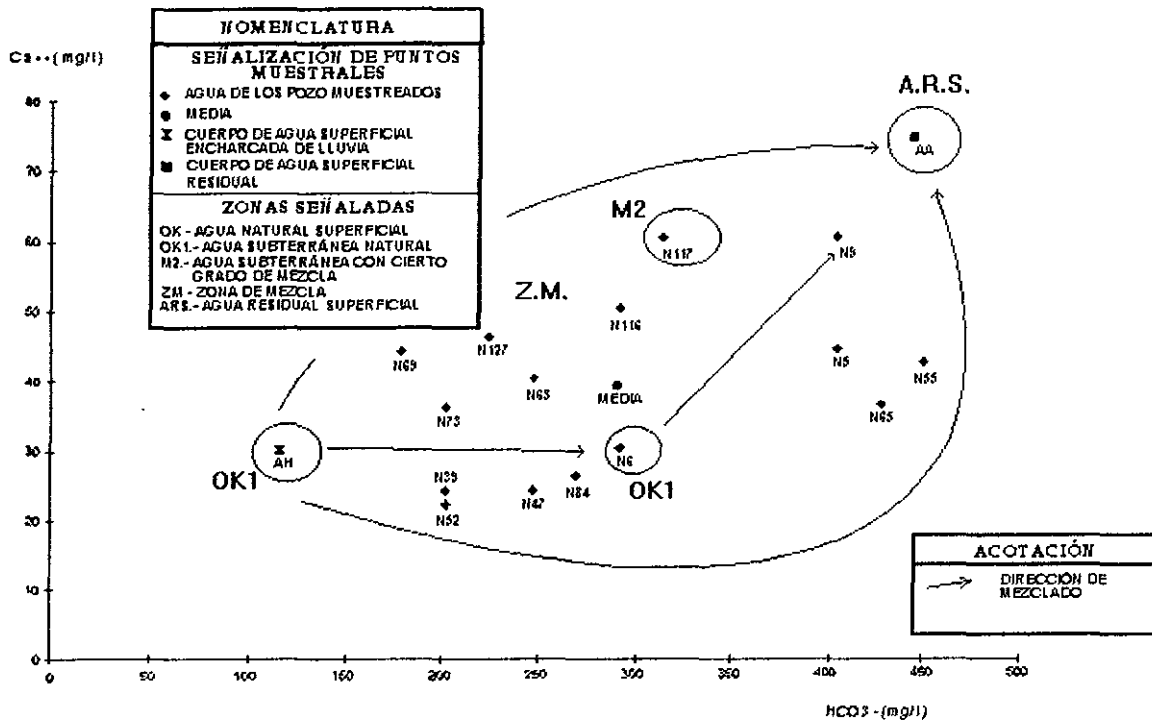
Gráfica 23 Comparativa SO₄= vs Na⁺, Zona 1, S-W.



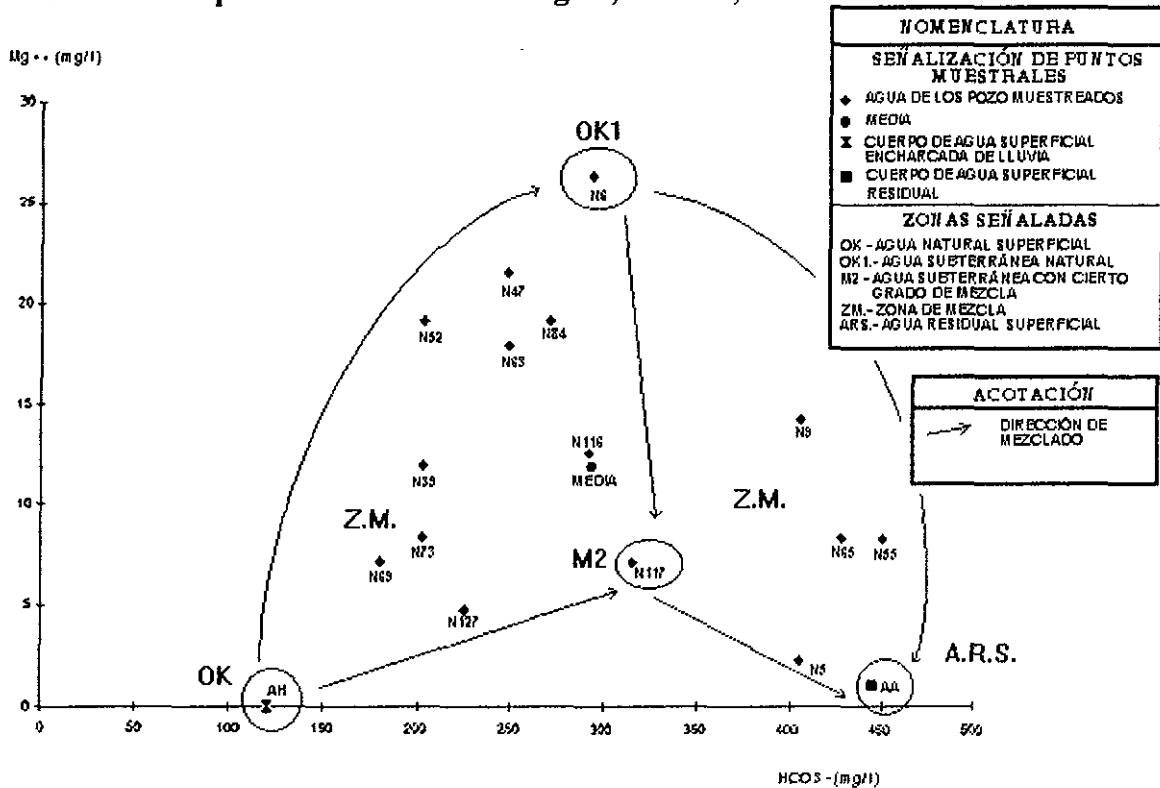
Gráfica 24 Comparativa SO₄= vs K⁺, Zona 1, S-W.



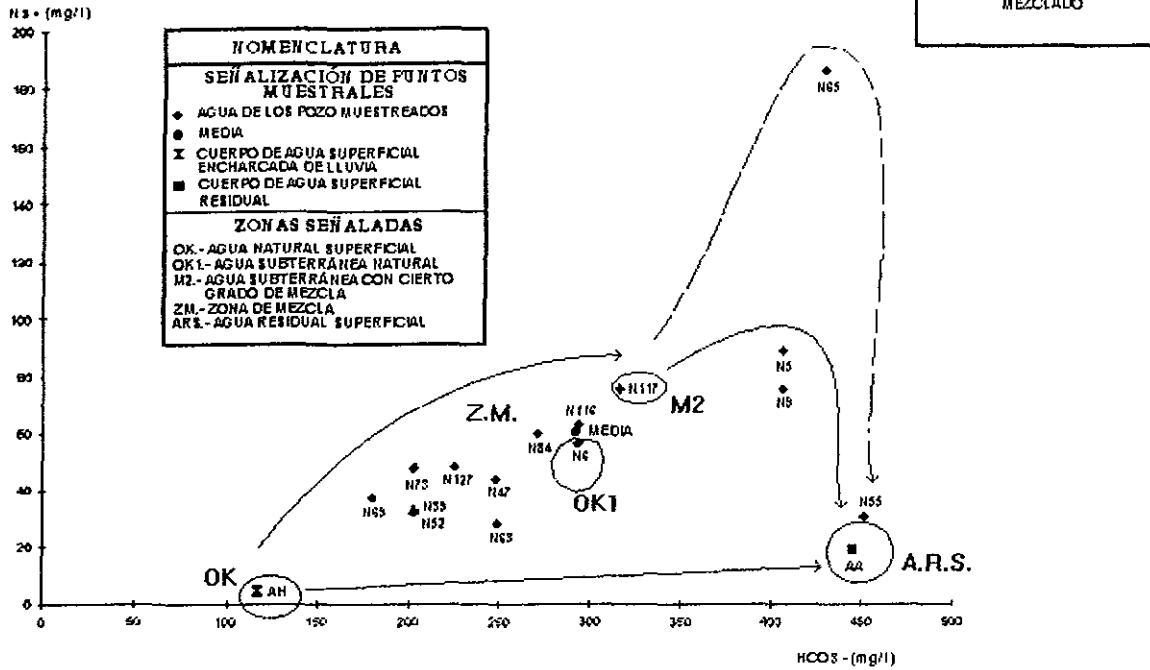
Gráfica 29 Comparativa HCO₃⁻ vs Ca⁺⁺, Zona 2, N-E.



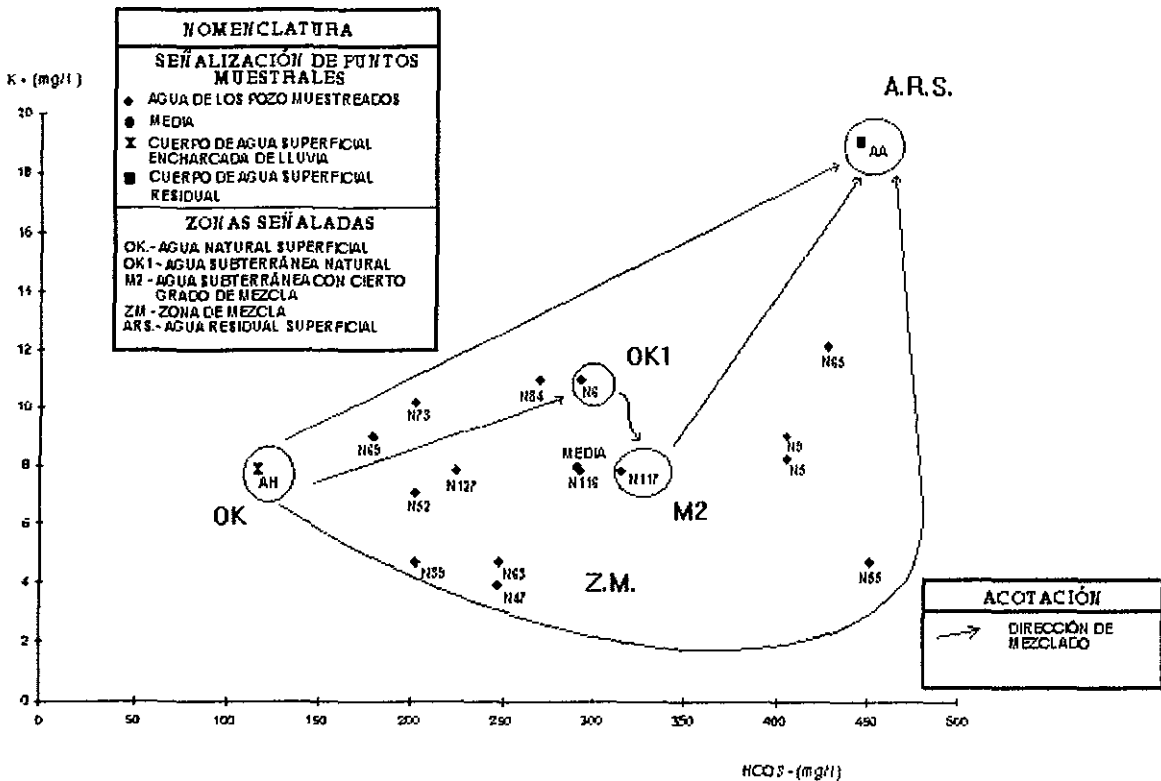
Gráfica 30 Comparativa HCO₃⁻ vs Mg⁺⁺, Zona 2, N-E.



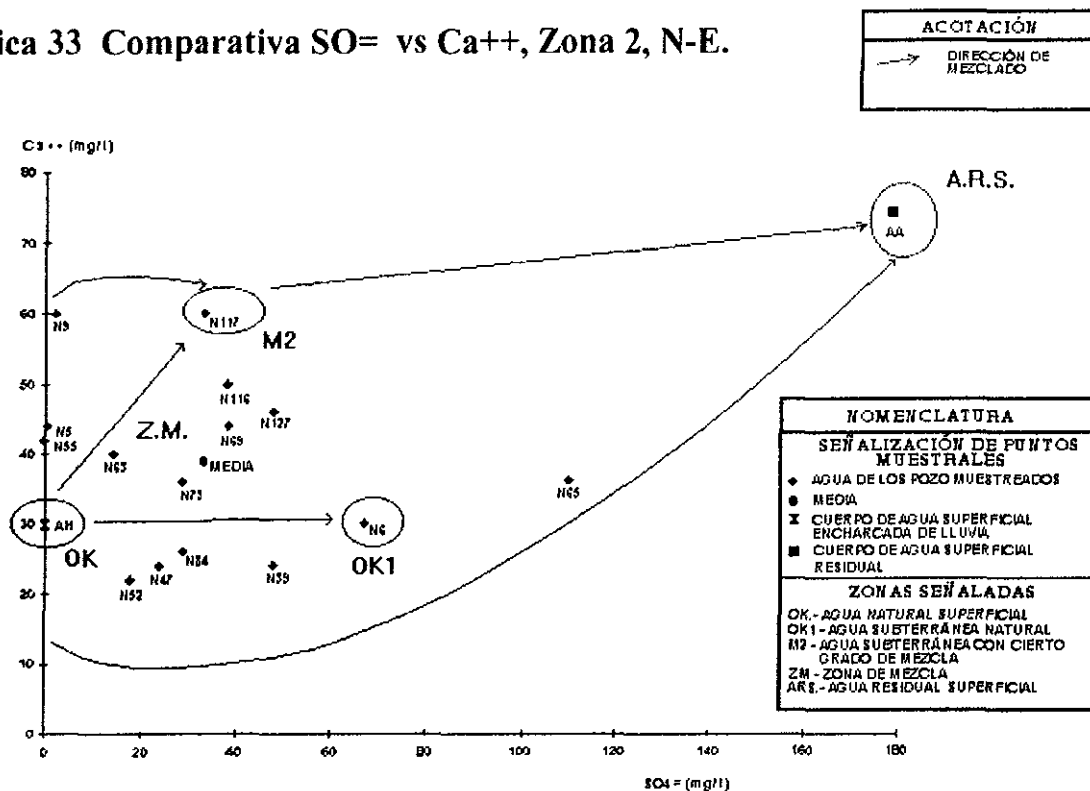
Gráfica 31 Comparativa HCO_3^- vs Na^+ , Zona 2, N-E.



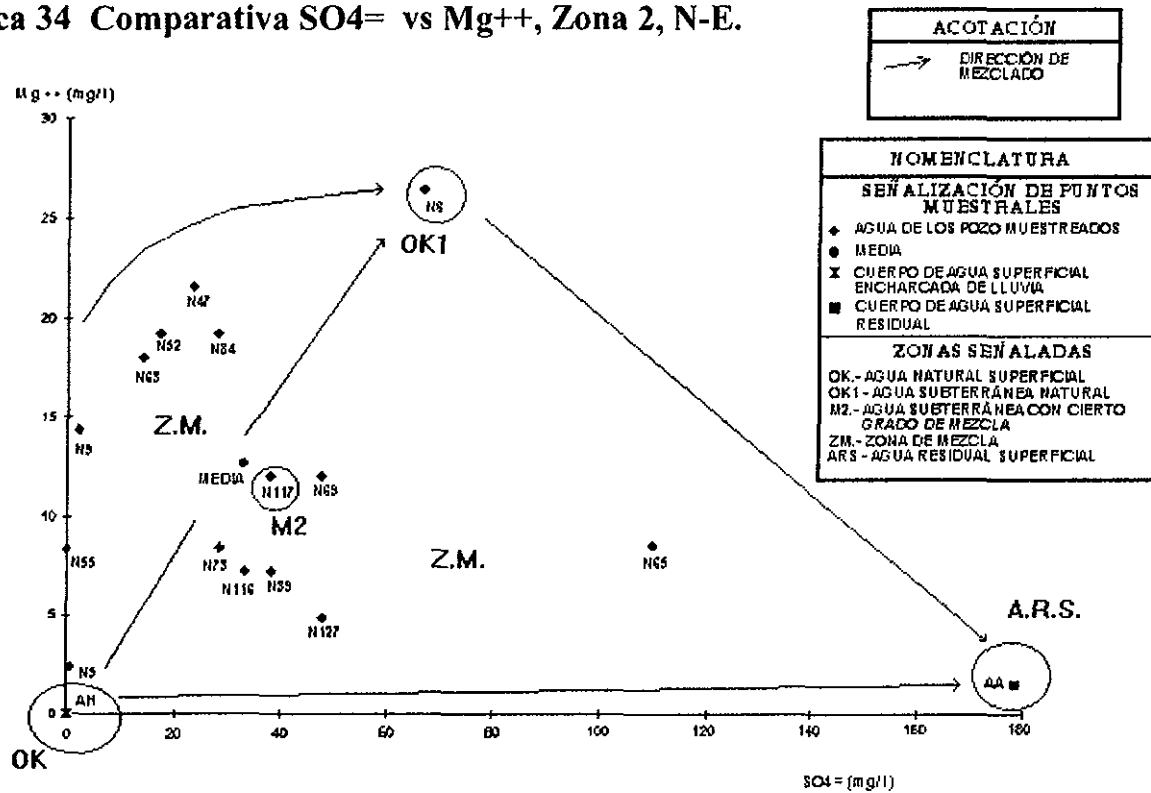
Gráfica 32 Comparativa HCO_3^- vs K^+ , Zona 2, N-E.



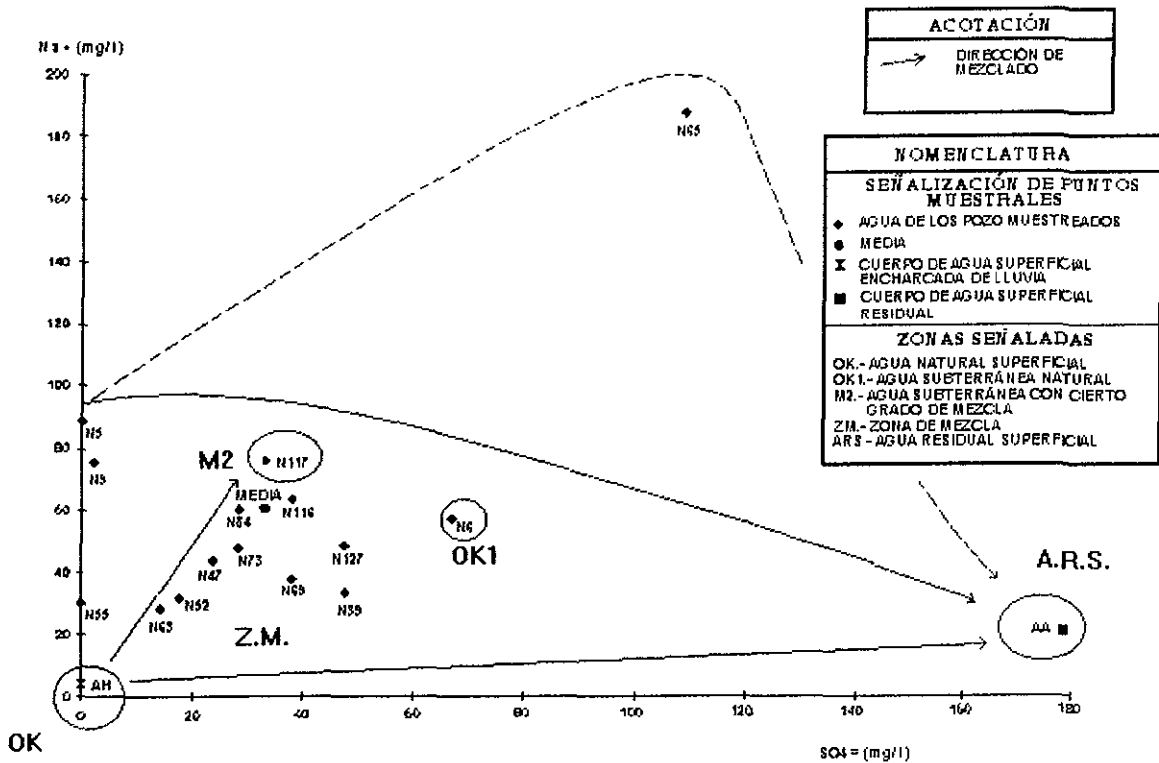
Gráfica 33 Comparativa SO₄⁼ vs Ca⁺⁺, Zona 2, N-E.



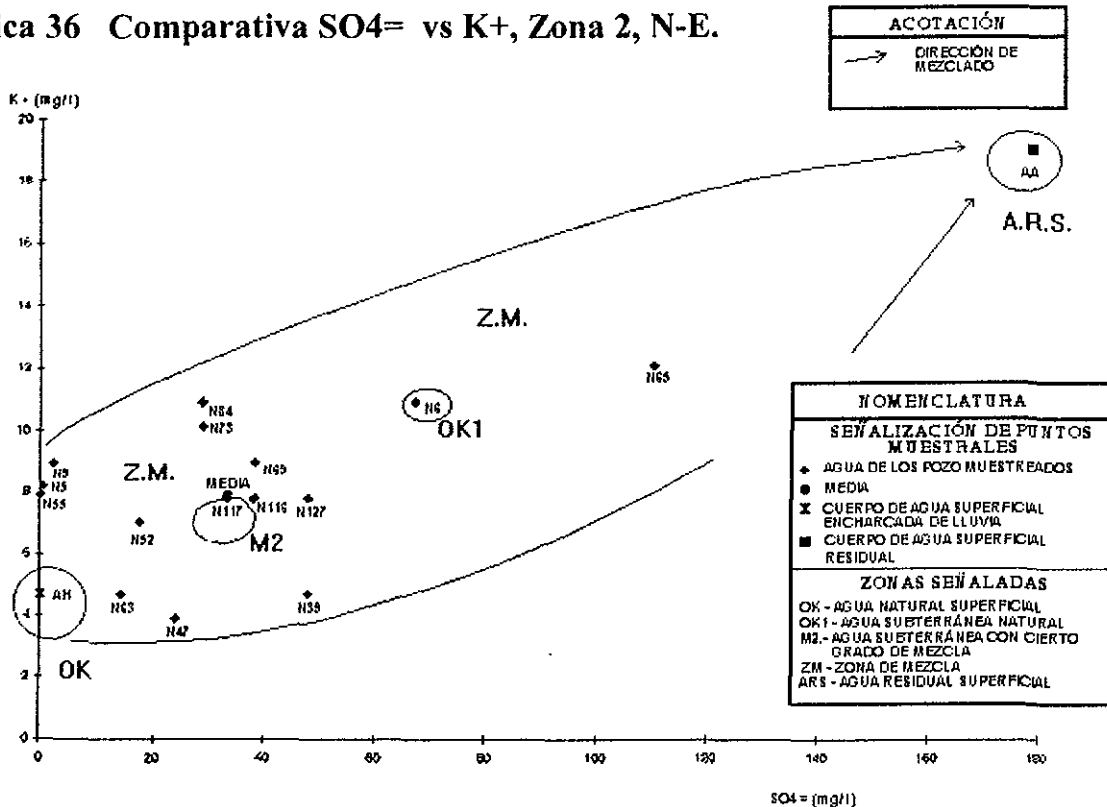
Gráfica 34 Comparativa SO₄⁼ vs Mg⁺⁺, Zona 2, N-E.



Gráfica 35 Comparativa SO4= vs Na+, Zona 2, N-E.



Gráfica 36 Comparativa SO4= vs K+, Zona 2, N-E.



ANEXO IX

Metales.

Tabla 23 Concentraciones de metales encontradas en el agua subterránea de la zona 1, S-W.

MUESTRAS	CONCENTRACIÓN EN mg/l Ó ppm								
	Fe++	Cu++	Mn++	Zn++	Pb++	Cr++	Co++	Ni++	Cd++
NORMA	0.3	2	0.15	5	0.025	0.05	SN	0.02	0.005
S50C	0.115	0.022	0.013	0.076	0.301	0	0.181	0.149	0.03
S55	0.115	0.043	0.025	0.041	0.301	0	0	0.149	0.03
S63	0.086	0.043	0.463	0.041	0.451	0	0.09	0.179	0.02
S64A	0.172	0.022	0.025	0.022	0.301	0	0.09	0.119	0.02
S63A	0.057	0.022	0.025	0.038	0.301	0	0.03	0.179	0.02
S63B	0.115	0.022	0	0.041	0.752	0	0.06	0.179	0.01
S61A	0.086	0.02	0.025	0.014	0.15	0	0.03	0.081	0
S70A	0.115	0.022	0.013	0.059	0.301	0	0.181	0.149	0.04
S70B	0.23	0.022	0.013	0.041	0.301	0	0.098	0.208	0.03
S48	0.115	0.022	0.025	0.034	0.301	0	0.06	0.149	0.03
S121	0.057	0.022	0.025	0.021	0.301	0	0.06	0.029	0.03
S82	0.115	0.022	0.013	0.041	0.602	0	0.06	0.149	0.04
S34	0.144	0.022	0.038	0.048	0.451	0	0.09	0.119	0.03
S35	0.115	0.022	0.025	0.031	0.451	0	0.12	0.208	0.03
S100A	0.144	0.022	0.013	0.024	0.301	0	0.181	0.208	0.04
S79	0.115	0.109	0.013	0.041	0.15	0	0.09	0.149	0.04
MEDIA	0.1185	0.0299375	0.047125	0.0383125	0.35725	0	0.0888125	0.1501875	0.0275
NORMA	0.3	2	0.15	5	0.025	0.05	SN	0.02	0.005
DIFERENCIA	-0.1815	-1.9700625	-0.102875	-4.9616875	0.33225	-0.05	-----	0.1301875	0.0225
VARIANZA	0.001648125	0.000465434	0.011604359	0.000213715	0.022279938	0	0.002792777	0.002121527	0.00011875
DES. EST.	0.040597106	0.02157391	0.107723532	0.014618989	0.149264656	0	0.052846734	0.046060041	0.010897247

Tabla 24 Concentraciones de metales encontradas en el agua subterránea de la zona 2, N-E.

MUESTRAS	CONCENTRACIÓN EN mg/l Ó ppm								
	Fe++	Cu++	Mn++	Zn++	Pb++	Cr++	Co++	Ni++	Cd++
NORMA	0.3	2	0.15	5	0.025	0.05	SN	0.02	0.005
N52	0.144	0.022	0.013	0.01	0.301	0	0.12	0.208	0.03
N73	0.23	0.022	0.013	0.028	0.451	0	0.06	0.238	0.04
N69	0.115	0.022	0.013	0.045	0.451	0	0.09	0.149	0.02
N63	0.172	0.022	0.025	0.041	0.301	0	0.06	0.149	0.03
N116	0.115	0.043	0.025	0.031	0.451	0	0.06	0.179	0.03
N117	0.144	0.022	0.025	0.028	0.752	0	0.06	0.208	0.03
N55	0.144	0.022	0.025	0.028	0.301	0	0.09	0.238	0.04
N9	0.115	0.022	0.025	0.045	0.15	0	0.06	0.149	0.03
N47	0.144	0.022	0.038	0.028	0.301	0	0.06	0.089	0.05
N127	0.057	0.023	0.013	0.017	0.15	0	0.03	0.089	0.03
N65	0.144	0.022	0	0.031	0.15	0	0.06	0.089	0.04
N39	0.086	0.022	0.025	0.045	0.451	0	0.06	0.179	0.01
N5	0.115	0.043	0.025	0.031	0.451	0	0.06	0.179	0
N84	0.115	0.022	0.013	0.028	0.451	0	0.06	0.179	0.02
N6	0.057	0.022	0.063	0.024	0.301	0	0.06	0.089	0.04
MEDIA	0.126466667	0.024866667	0.022733333	0.030666667	0.360866667	0	0.066	0.160733333	0.029333333
NORMA	0.3	2	0.15	5	0.025	0.05	SN	0.02	0.005
DIFERENCIA	-0.17353333	-1.97513333	-0.12726667	-4.96933333	0.335866667	-0.05	-----	0.140733333	0.024333333
VARIANZA	0.001751716	5.06489E-05	0.000192062	9.44889E-05	0.023536249	0	0.000384	0.002582596	0.000152889
DES EST	0.041853501	0.007116803	0.013858652	0.00972054	0.153415282	0	0.019595918	0.050819244	0.012364825

ANEXO X

Distribución espacial de metales.

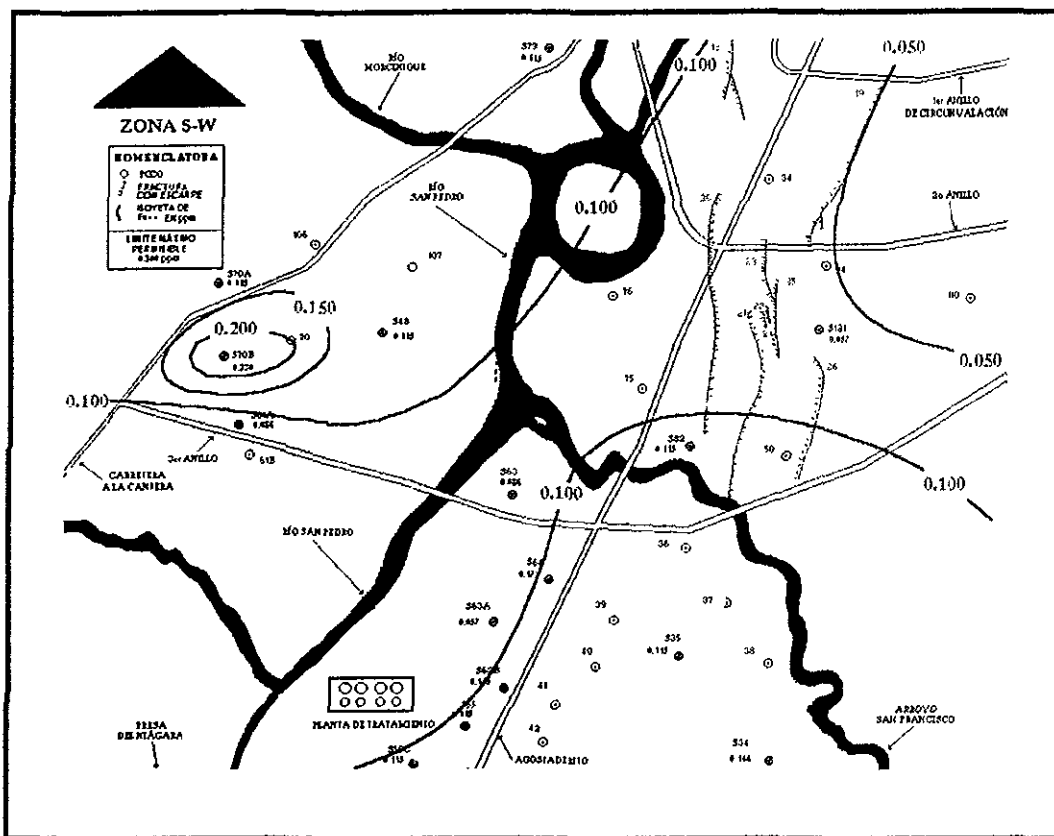


Fig. 42 Configuración de las concentraciones de Fe⁺⁺ en la zona 1, S-W

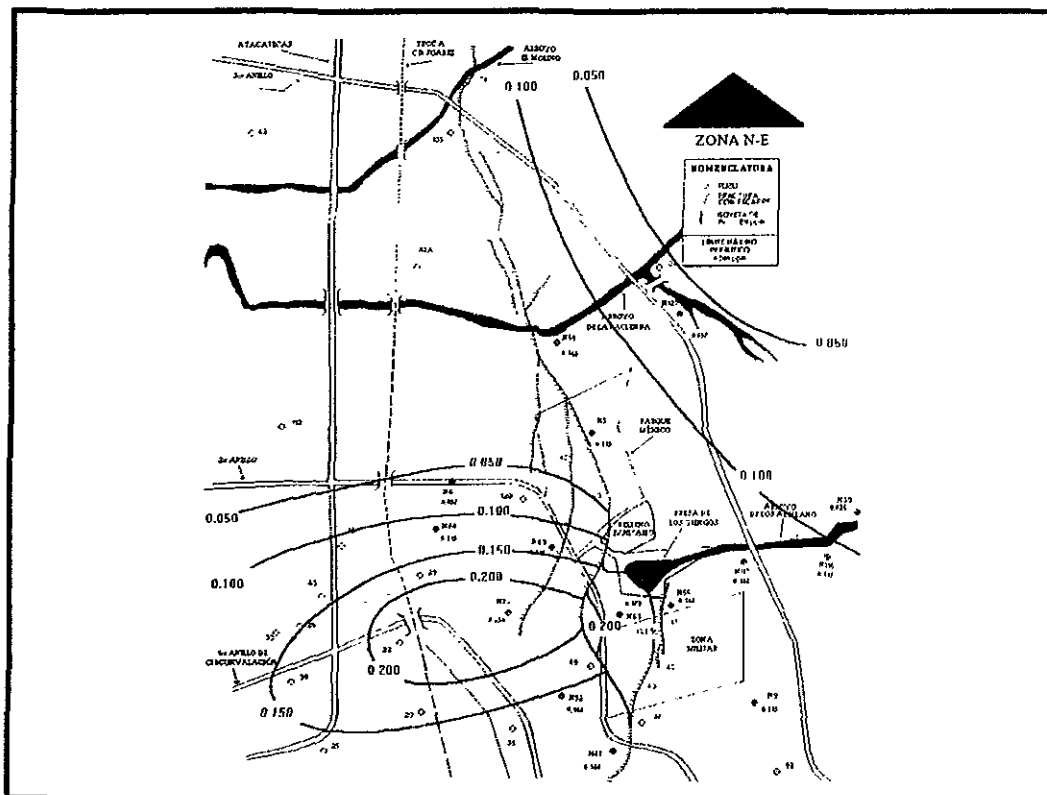


Fig. 43 Configuración de las concentraciones de Fe⁺⁺ en la zona 2, N-E.

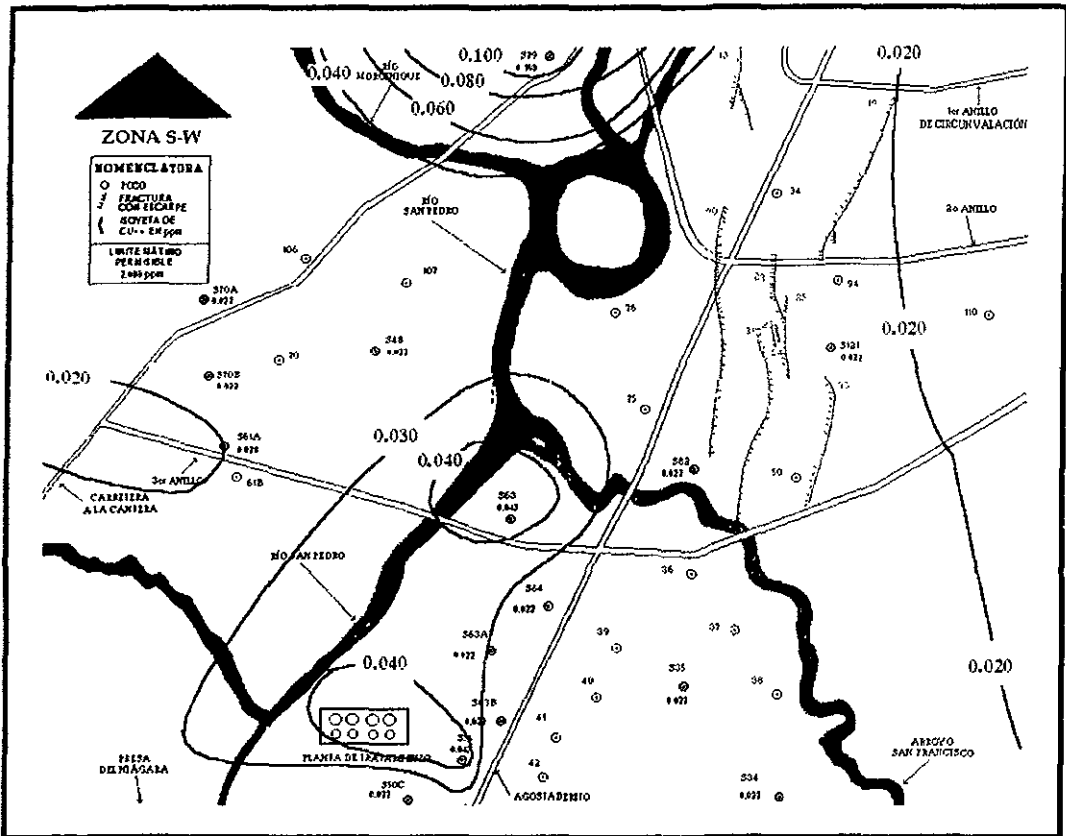


Fig. 44 Configuración de las concentraciones de Cu++ en la zona 1, S-W.

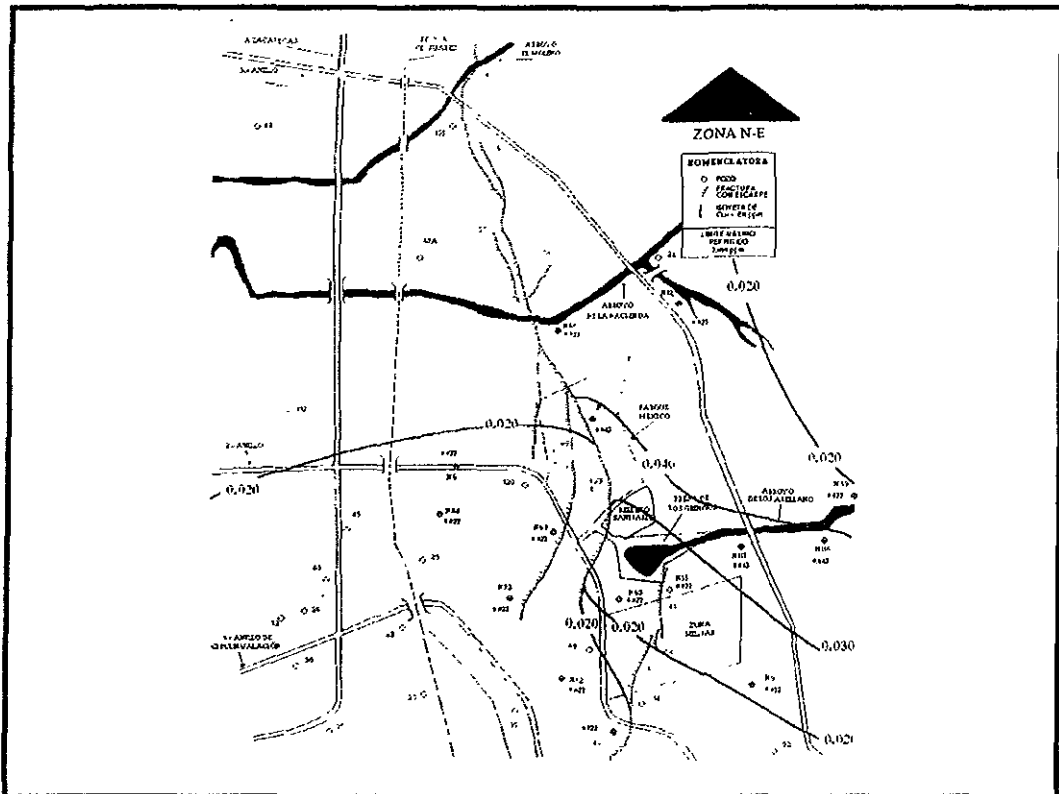


Fig. 45 Configuración de las concentraciones de Cu++ en la zona 2, N-E.

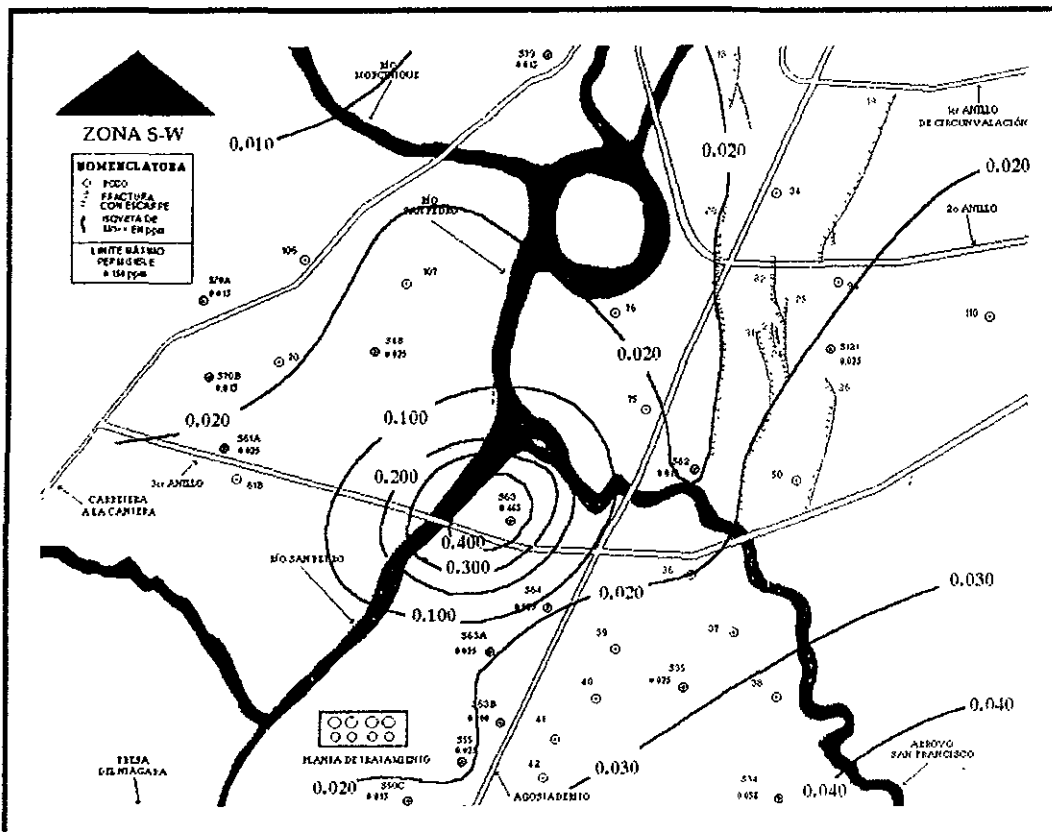


Fig. 46 Configuración de las concentraciones de Mn⁺⁺ en la zona 1, S-W.

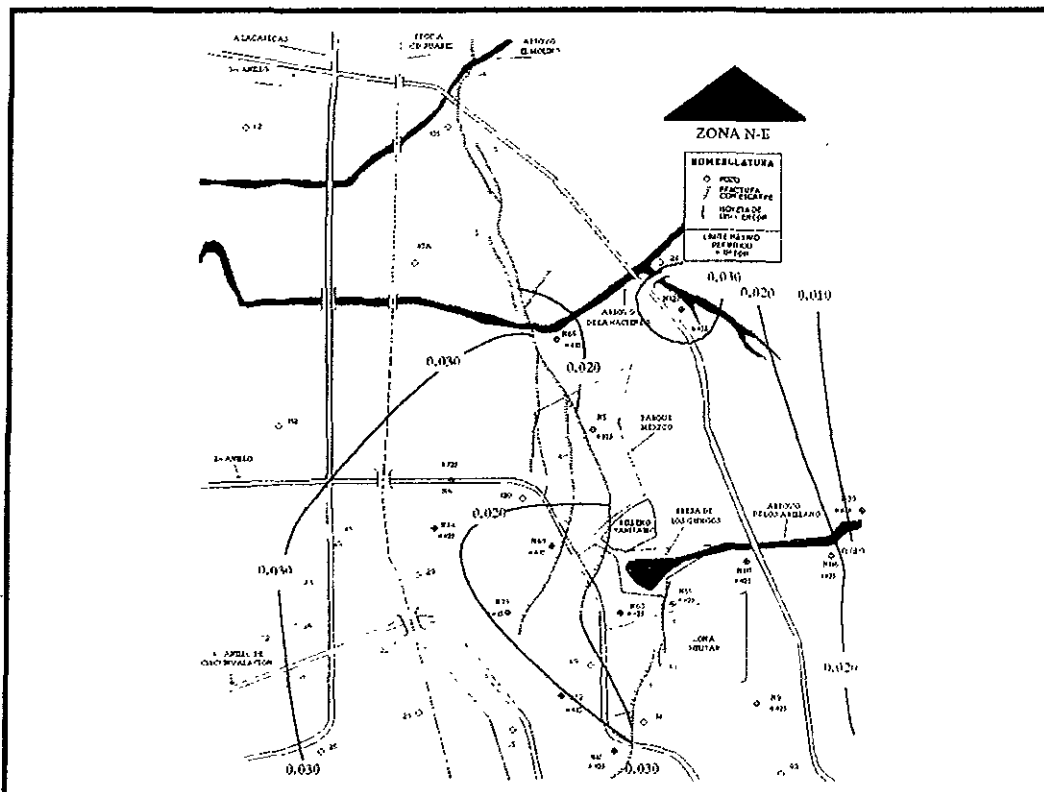


Fig. 47 Configuración de las concentraciones de Mn⁺⁺ en la zona 2, N-E.

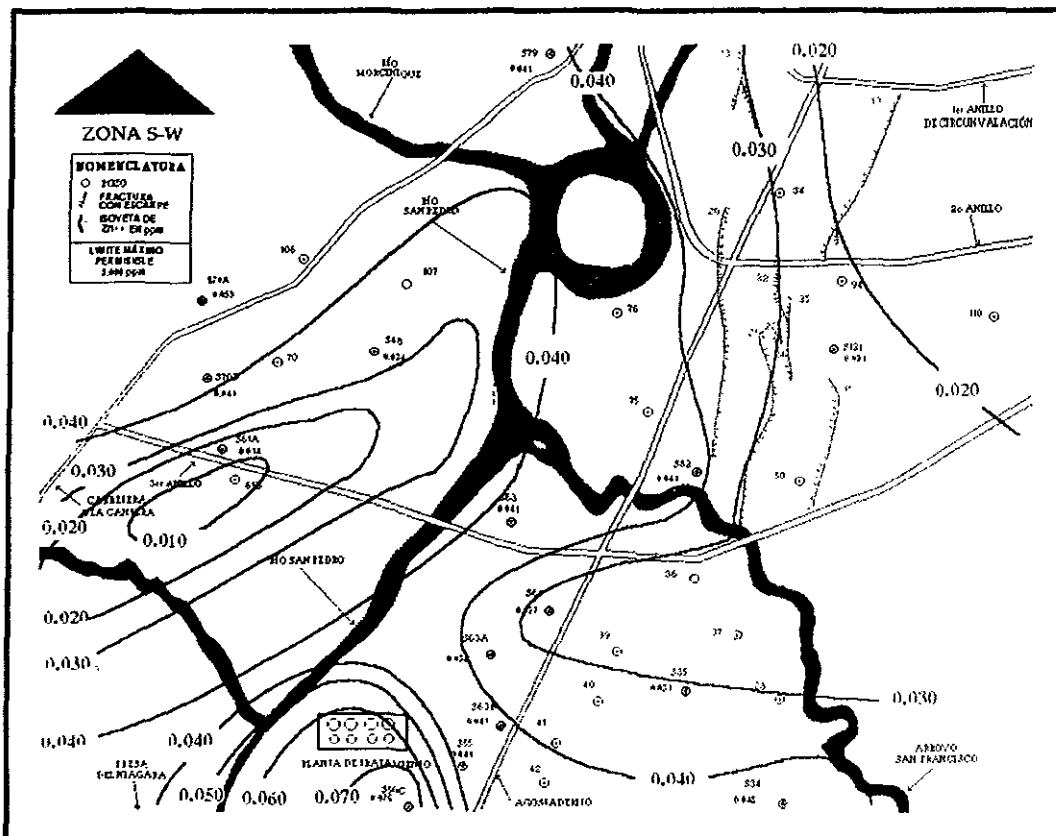


Fig. 48 Configuración de las concentraciones de Zn⁺⁺ en la zona 1, S-W.

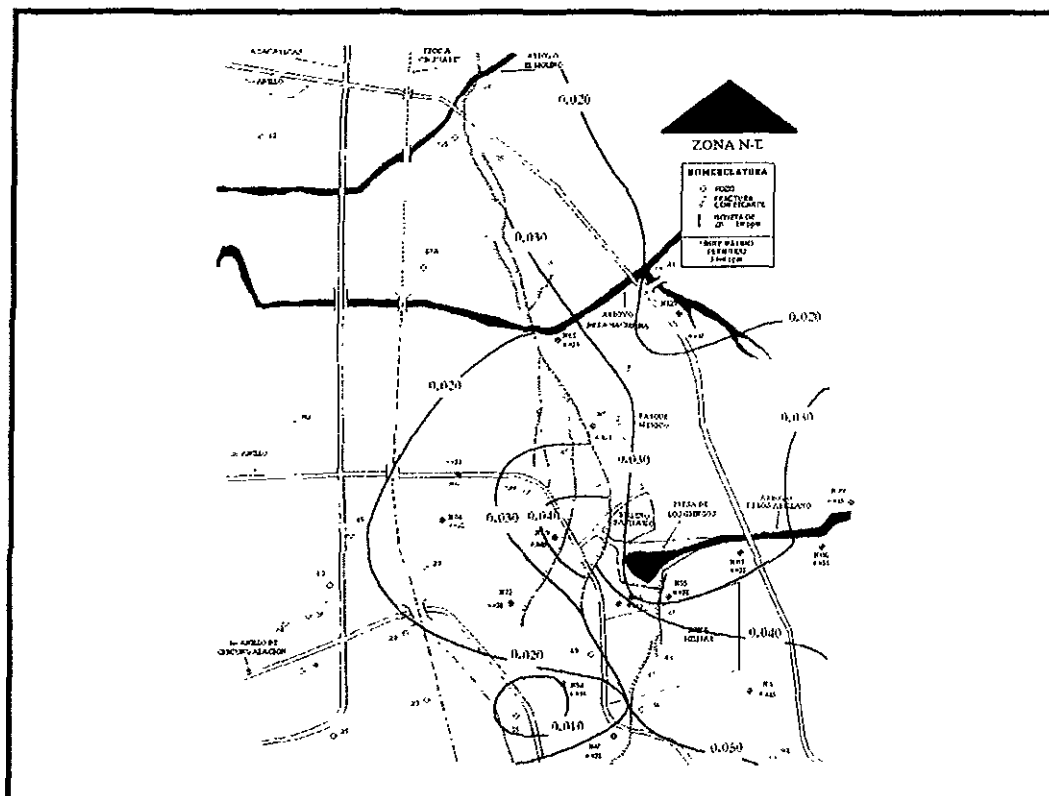


Fig. 49 Configuración de las concentraciones de Zn⁺⁺ en la zona 2, N-E.

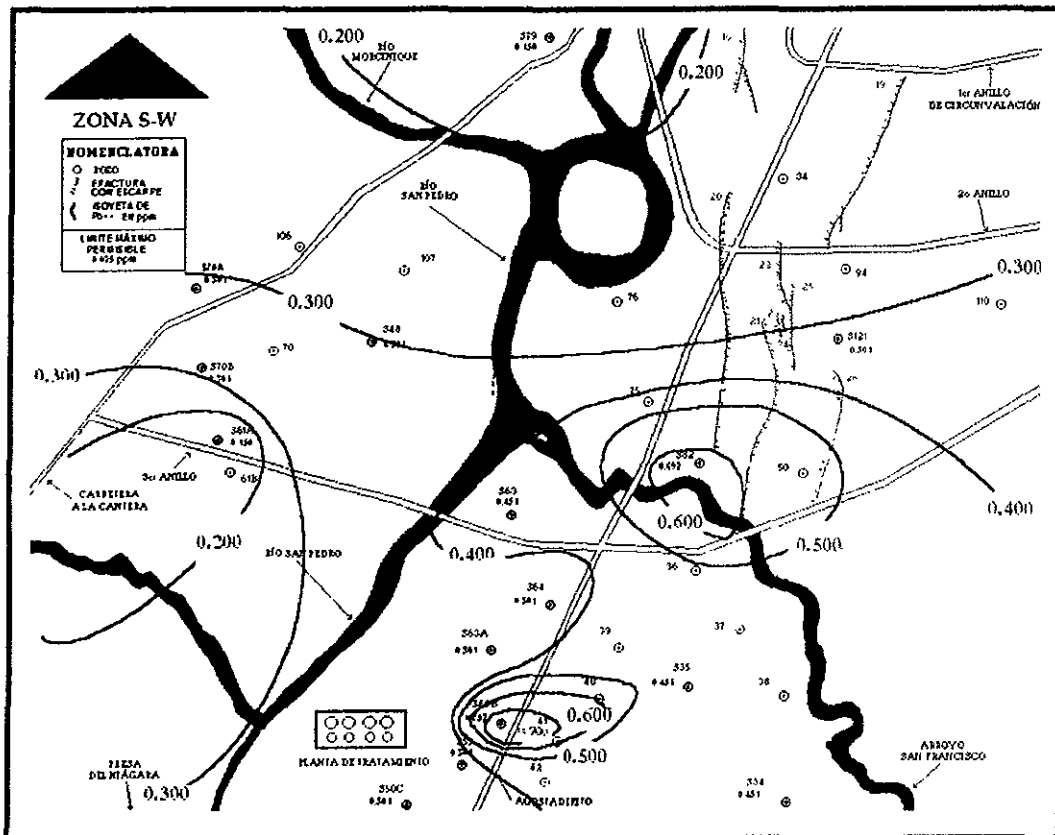


Fig. 50 Configuración de las concentraciones de Pb++ en la zona 1, S-W.

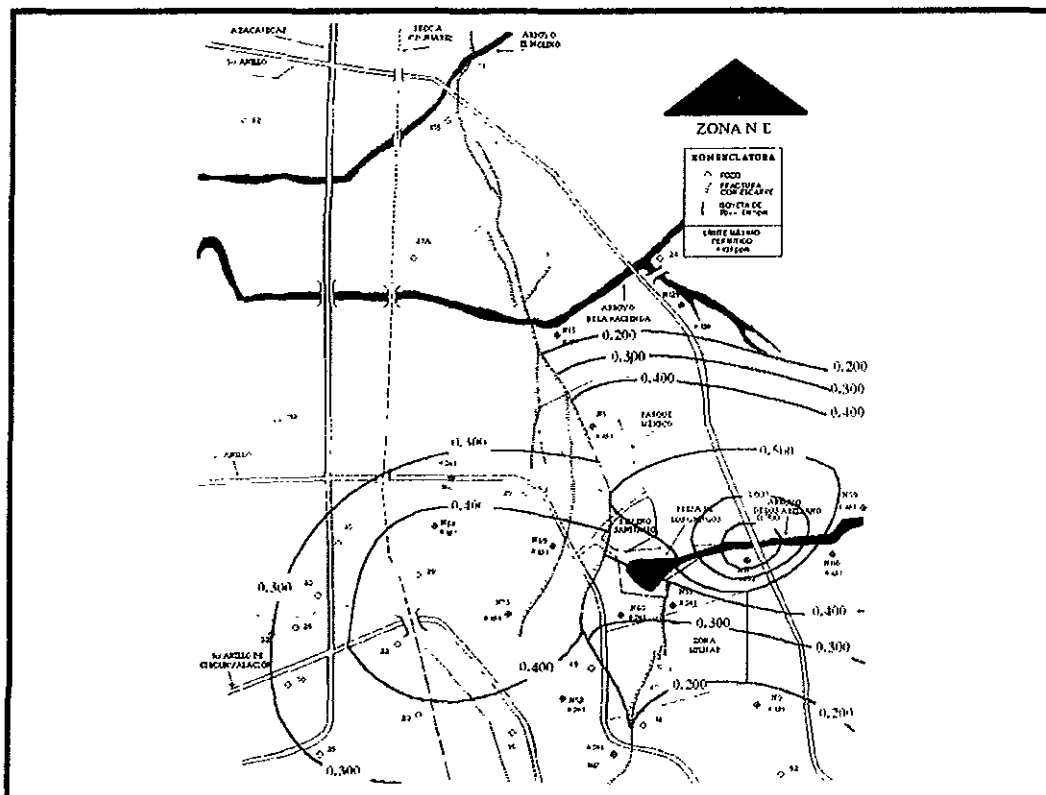


Fig. 51 Configuración de las concentraciones de Pb++ en la zona 2, N-E.

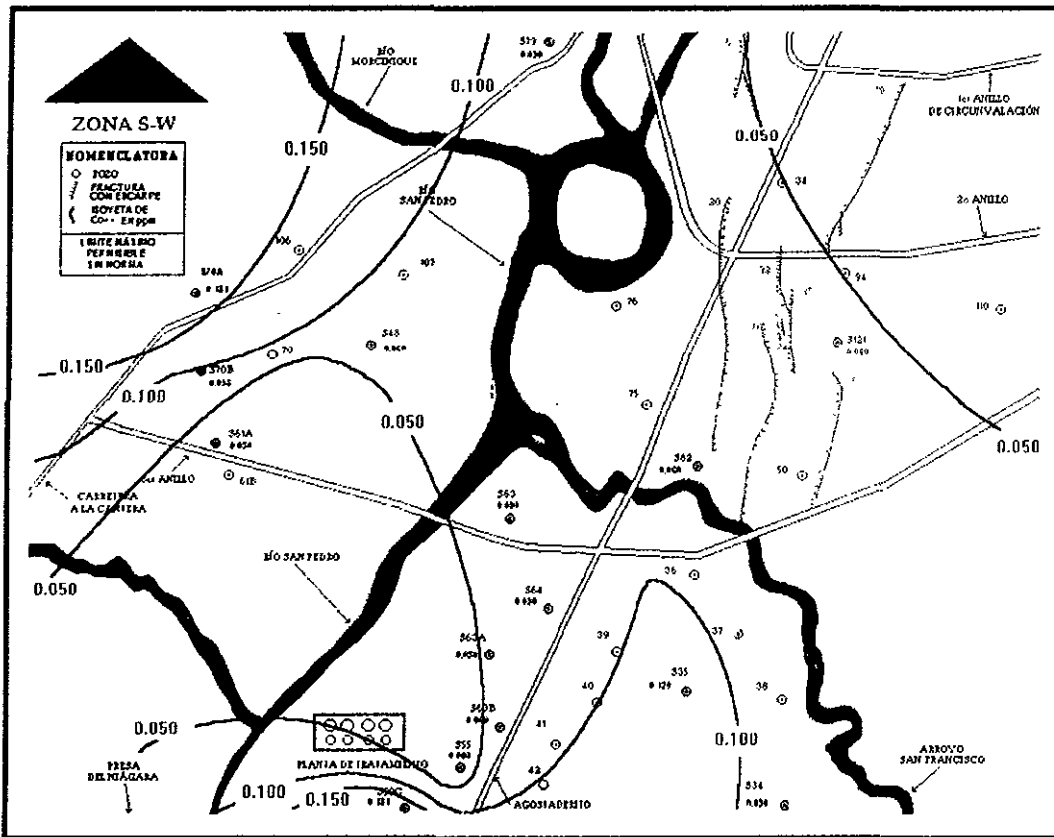


Fig. 52 Configuración de las concentraciones de Co++ en la zona 1, S-W.

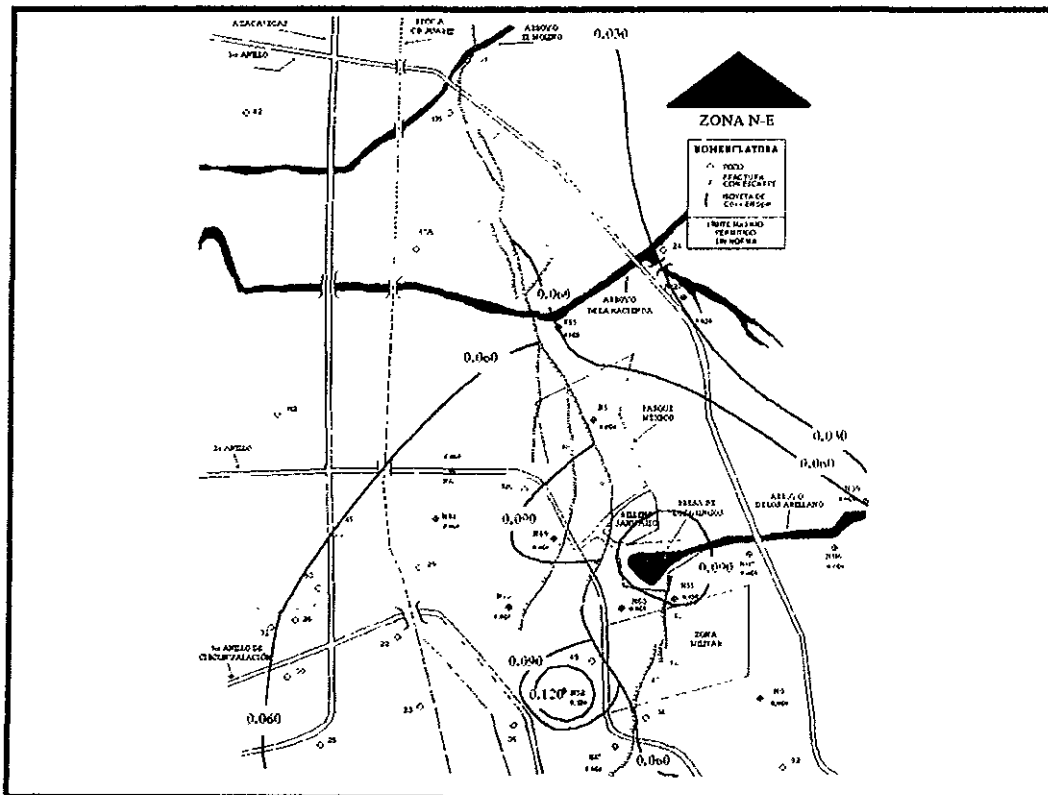


Fig. 53 Configuración de las concentraciones de Co++ en la zona 2, N-E.

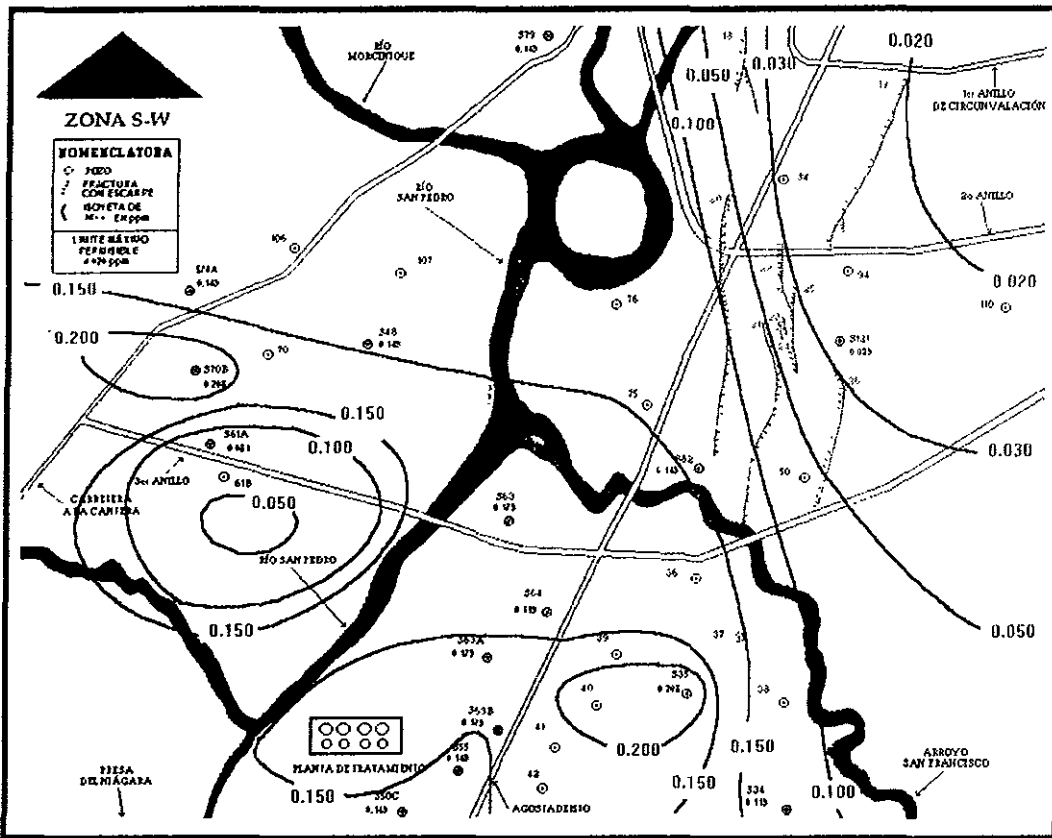


Fig. 54 Configuración de las concentraciones de Ni++ en la zona 1, S-W.

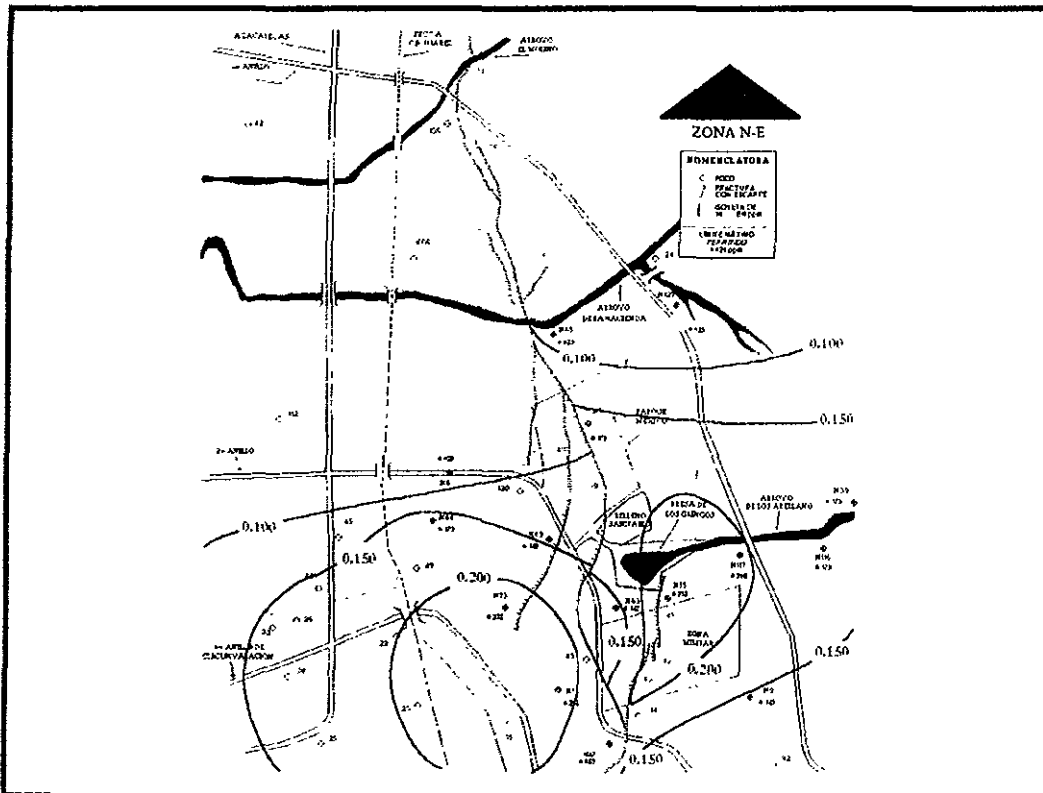


Fig. 55 Configuración de las concentraciones de Ni++ en la zona 2, N-E.

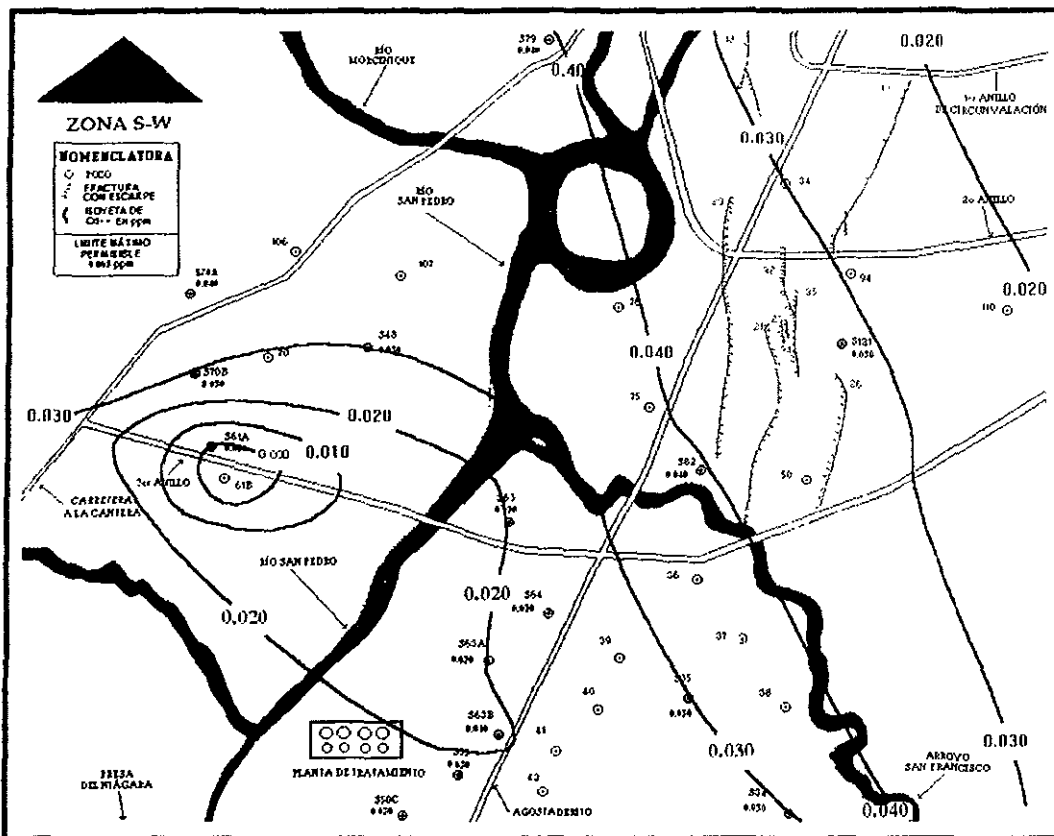


Fig. 56 Configuración de las concentraciones de Cd⁺⁺ en la zona 1, S-W.

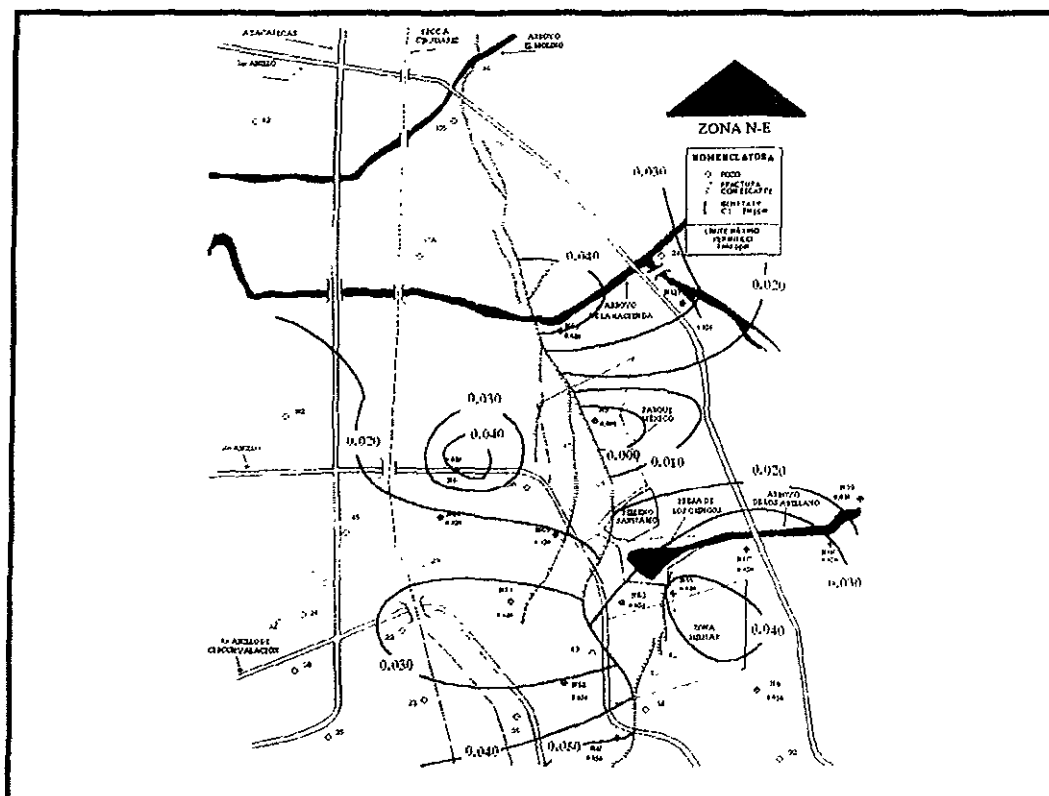
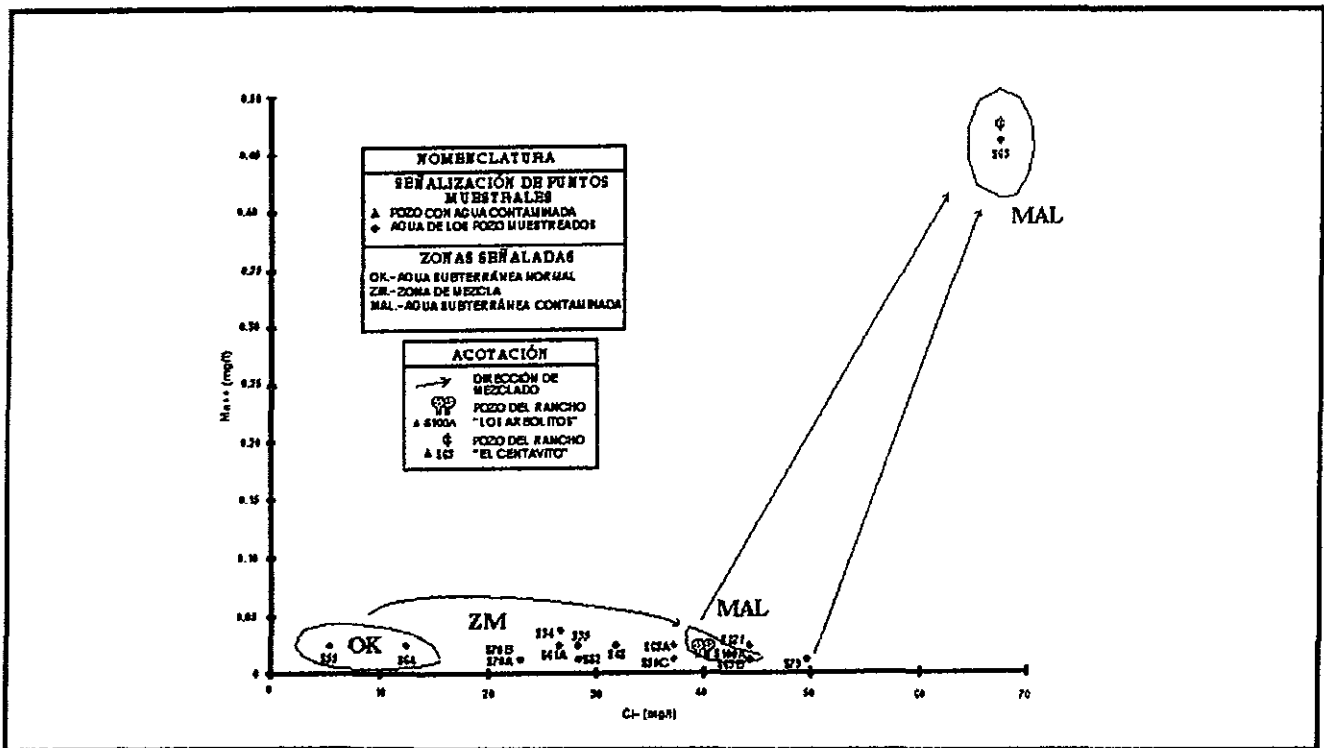


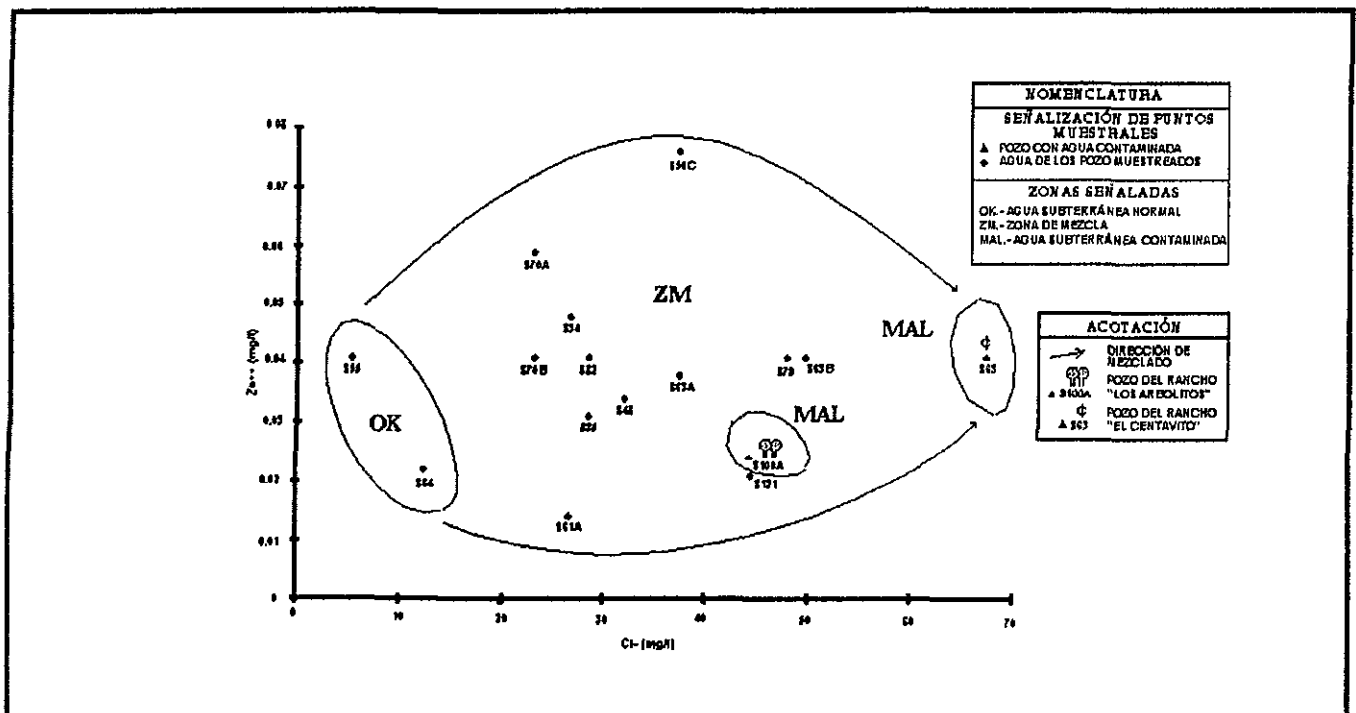
Fig. 57 Configuración de las concentraciones de Cd⁺⁺ en la zona 2, N-E.

ANEXO XI

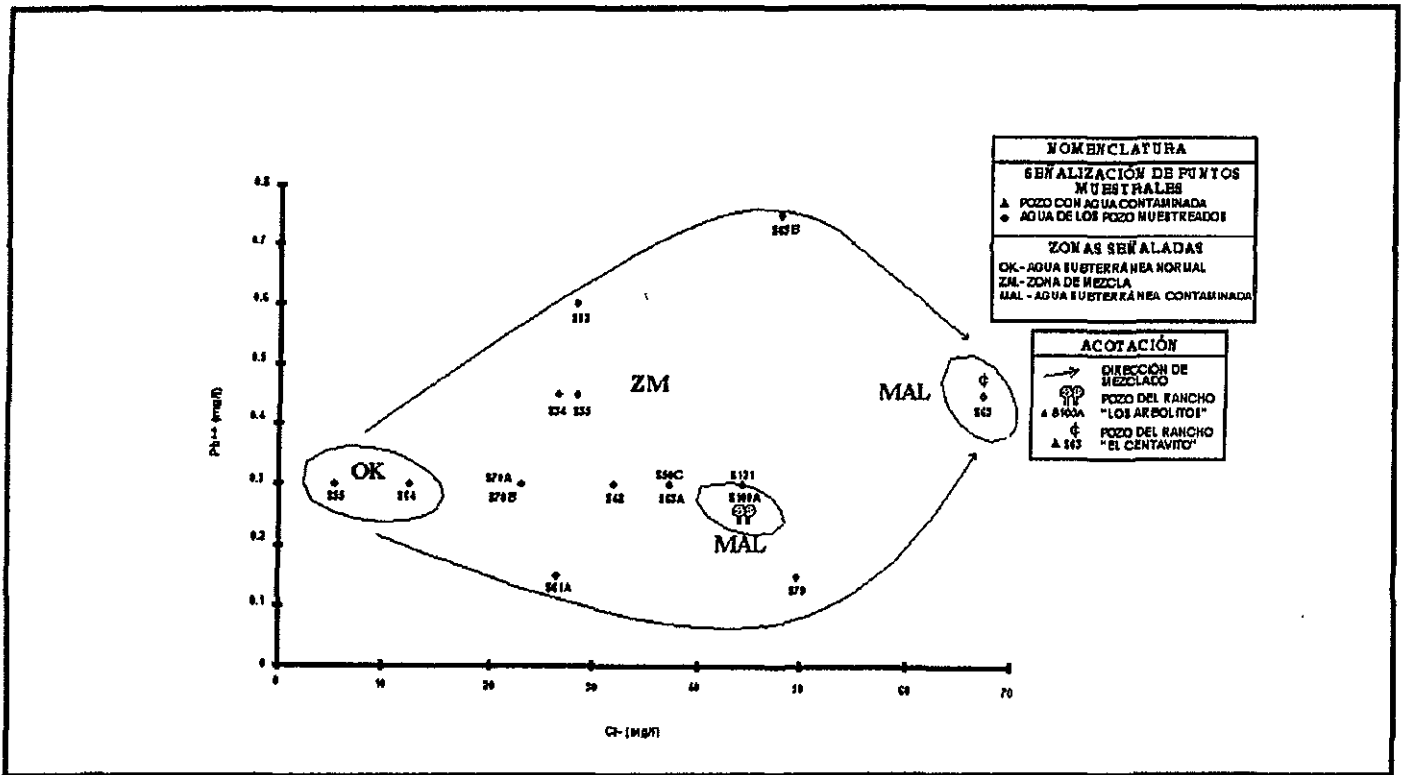
Pares iónicos Comparativas: aniones – metales.



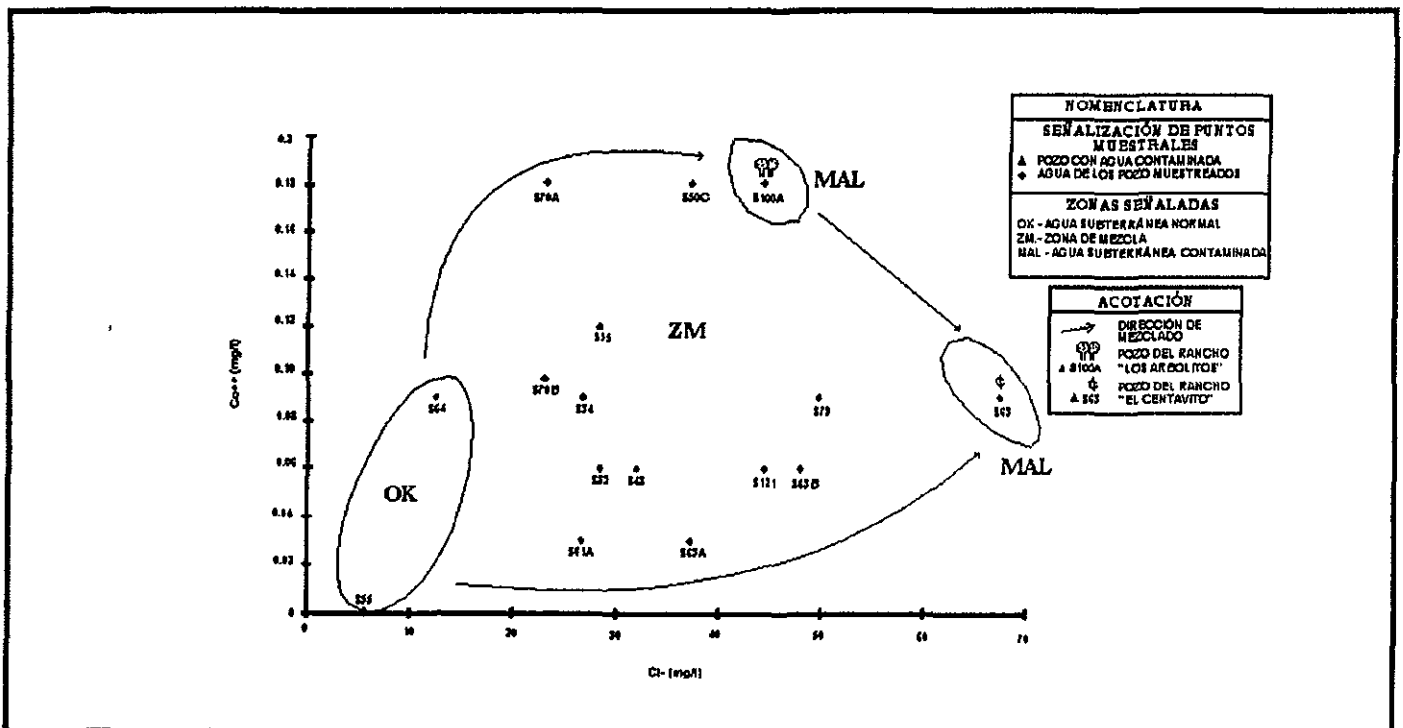
Gráfica 39 Comparativa Cl- vs Mn⁺⁺, zona 1, S-W.



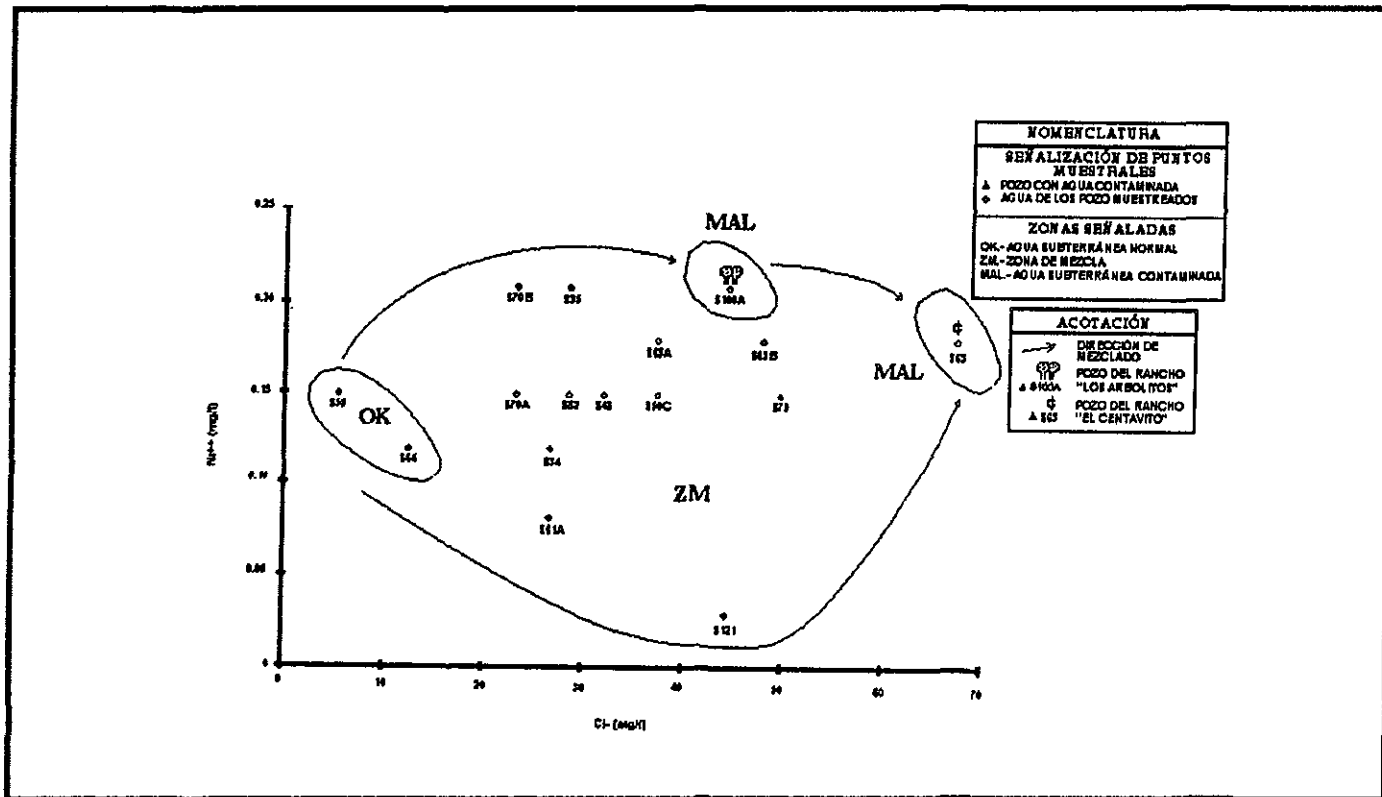
Gráfica 40 Comparativa Cl- vs Zn⁺⁺, zona 1, S-W.



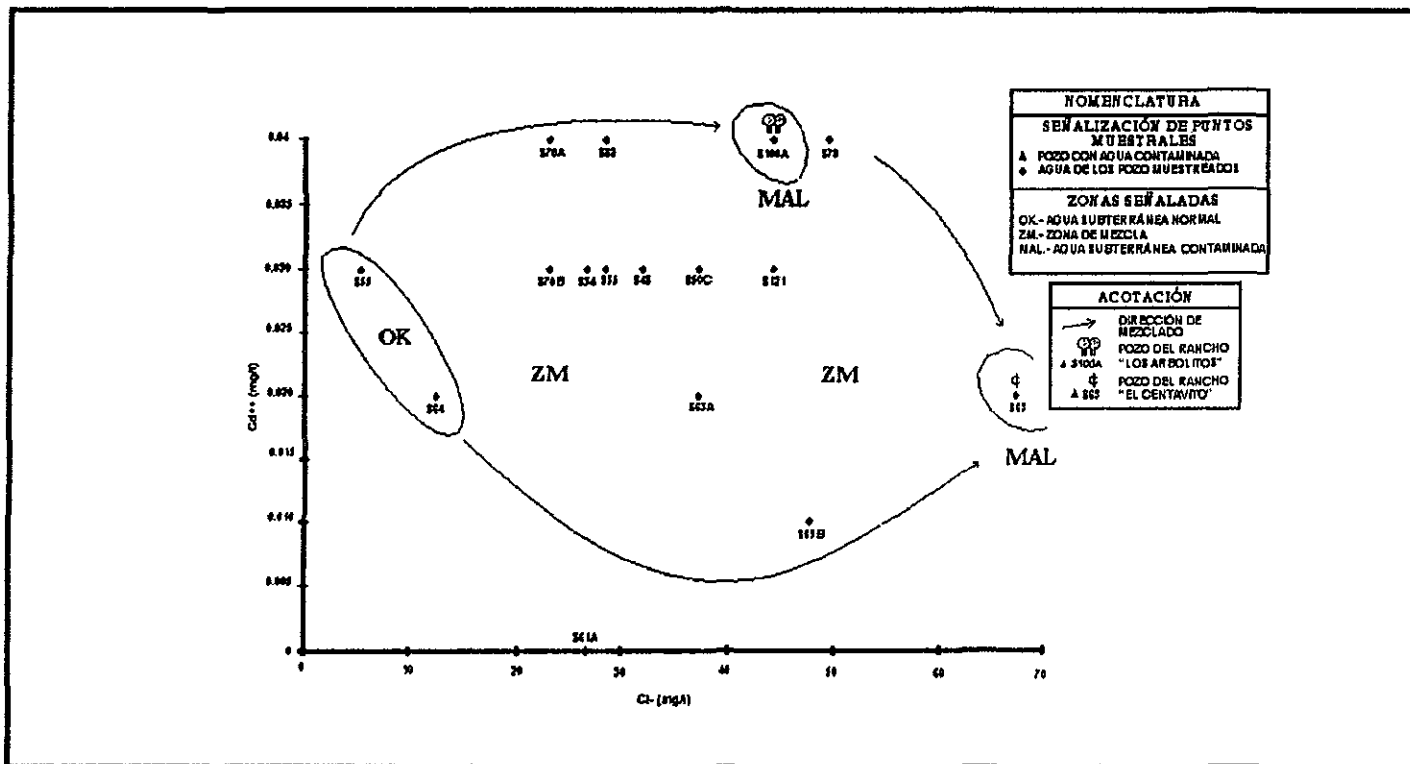
Gráfica 41 Comparativa Cl- vs Pb⁺⁺, zona 1, S-W.



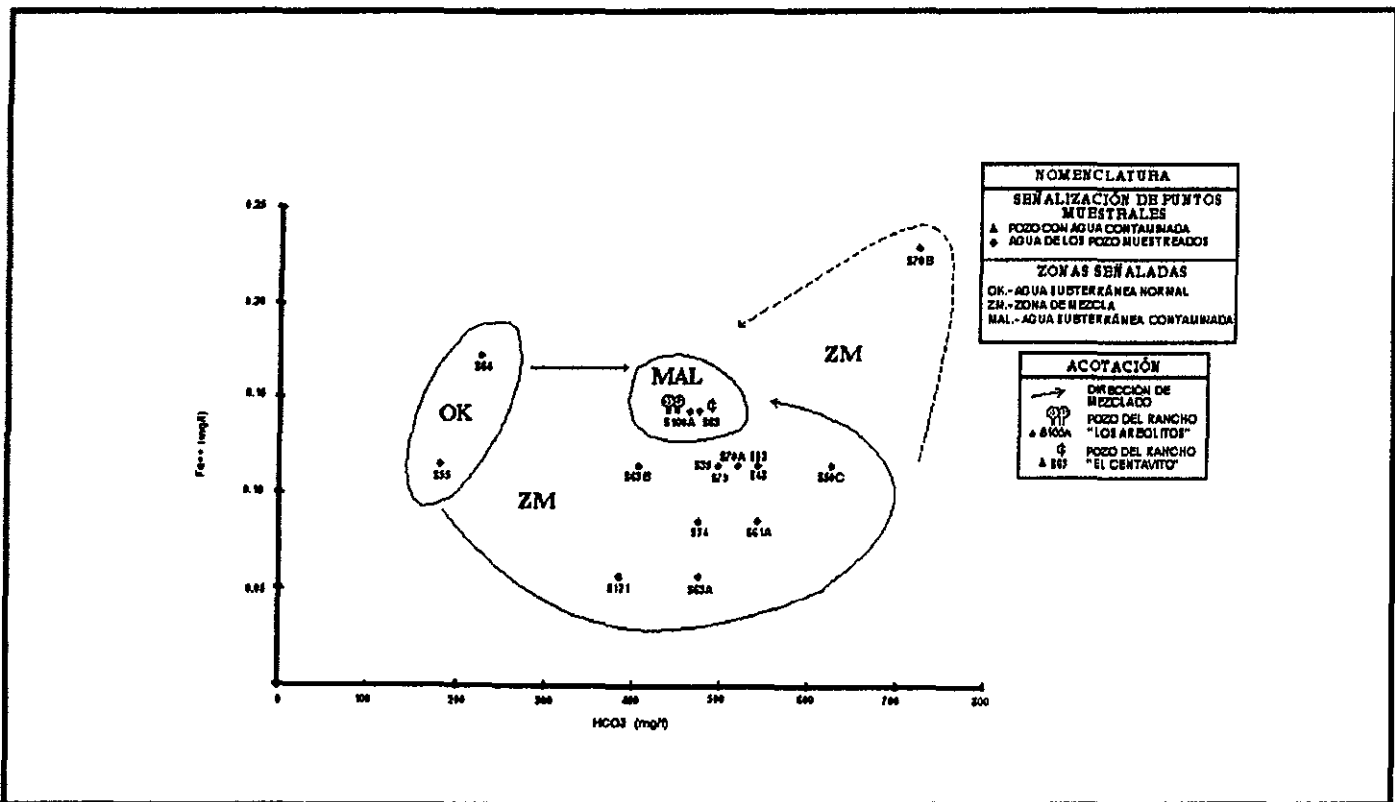
Gráfica 42 Comparativa Cl- vs Co⁺⁺, zona 1, S-W.



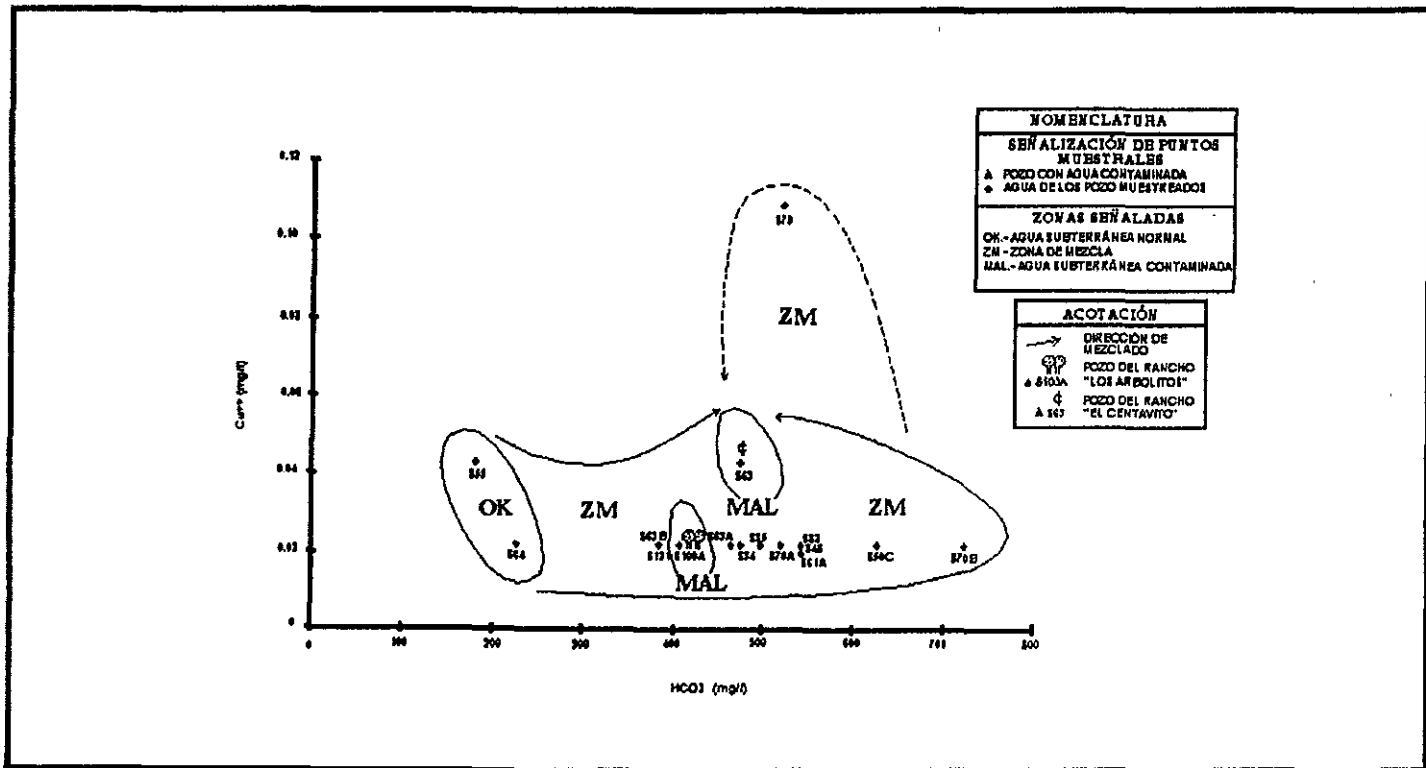
Gráfica 43 Comparativa Cl- vs Ni++, zona 1, S-W.



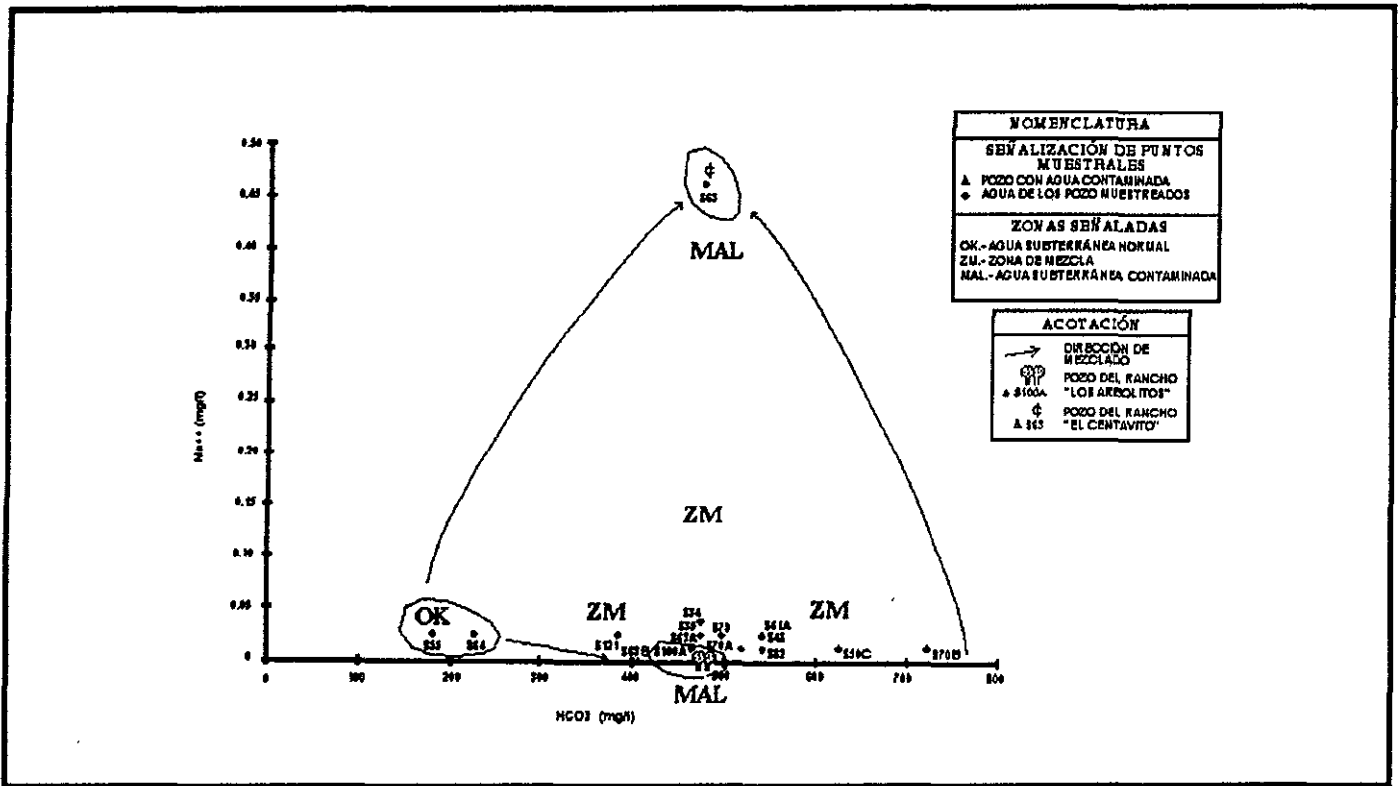
Gráfica 44 Comparativa Cl- vs Cd++, zona 1, S-W.



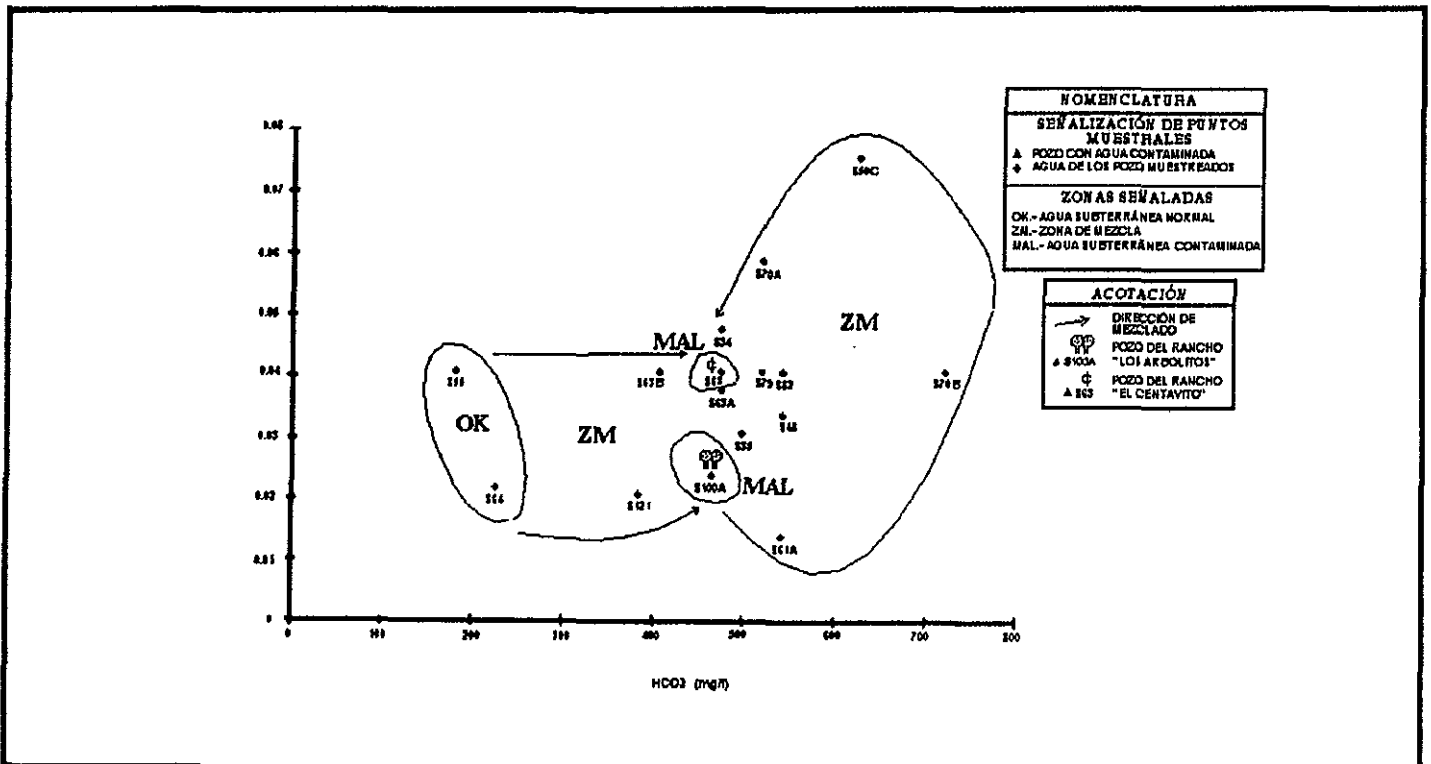
Gráfica 45 Comparativa HCO₃- vs Fe⁺⁺, zona 1, S-W.



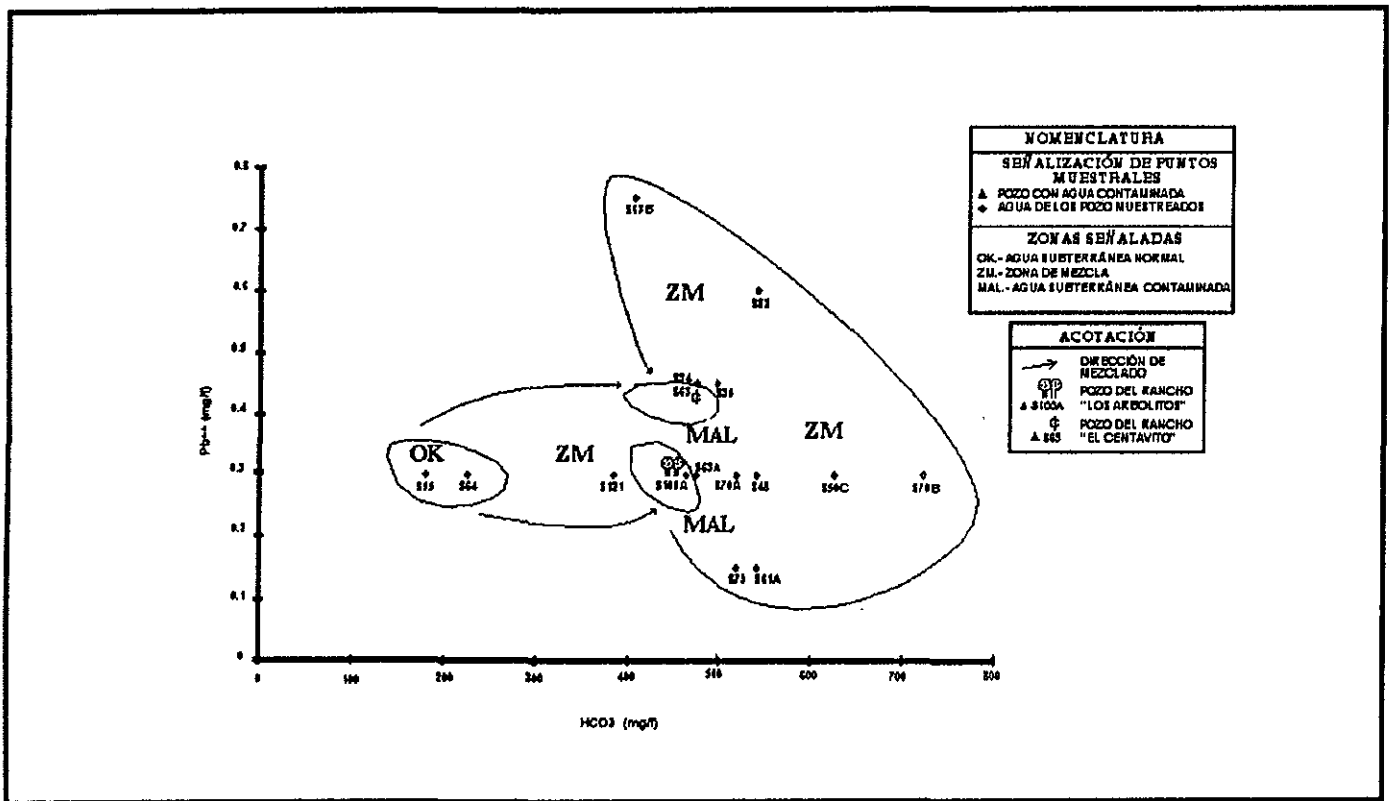
Gráfica 46 Comparativa HCO₃- vs Cu⁺⁺, zona 1, S-W.



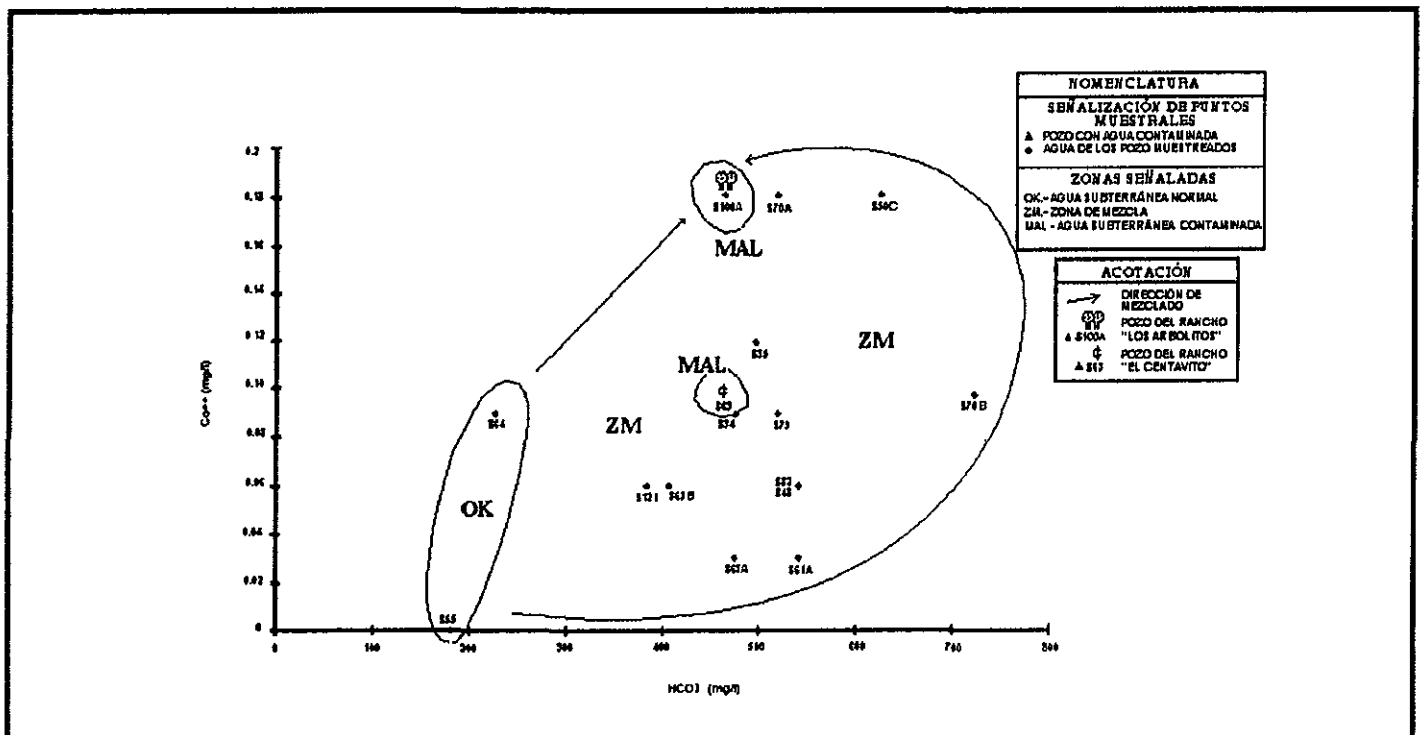
Gráfica 47 Comparativa HCO3- vs Mn++, zona 1, S-W.



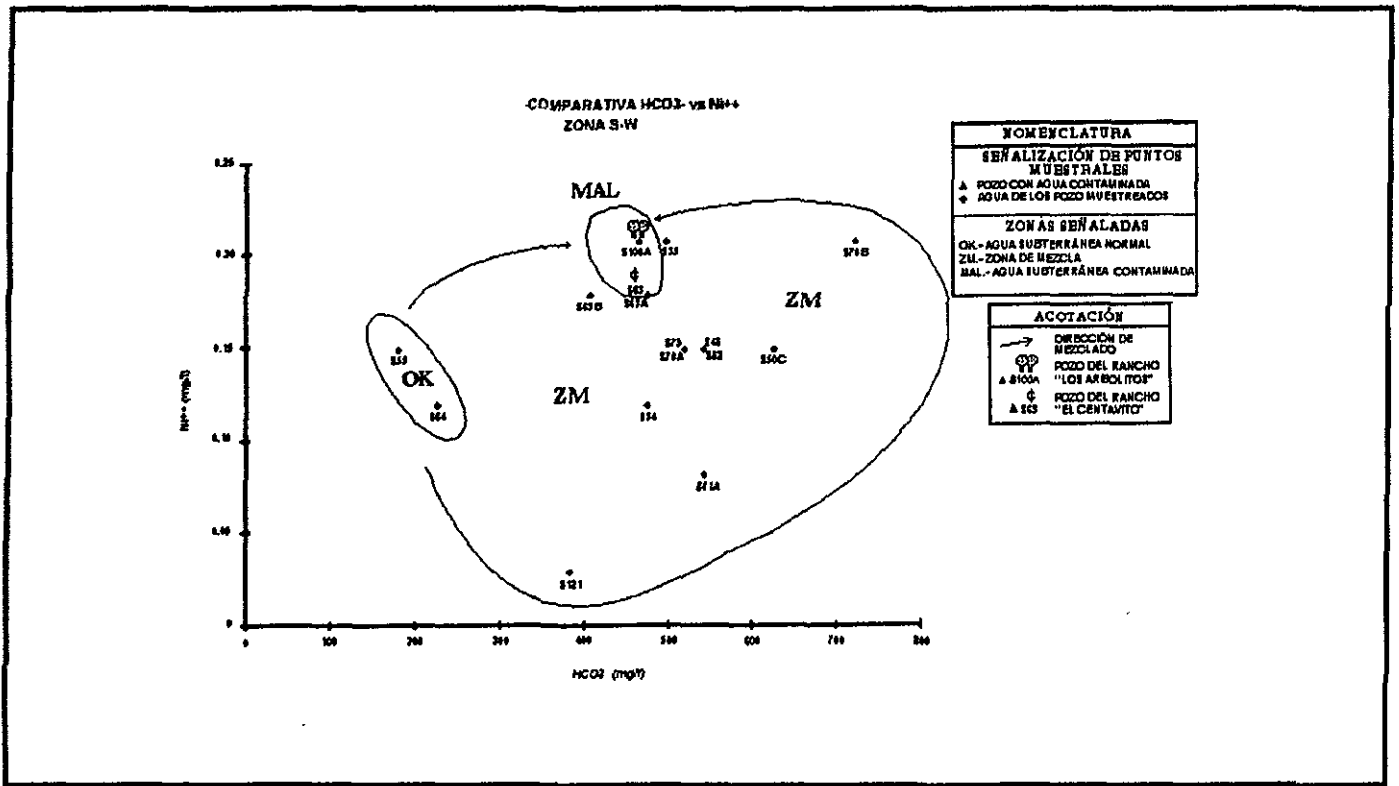
Gráfica 48 Comparativa HCO3- vs Zn++, zona 1, S-W.



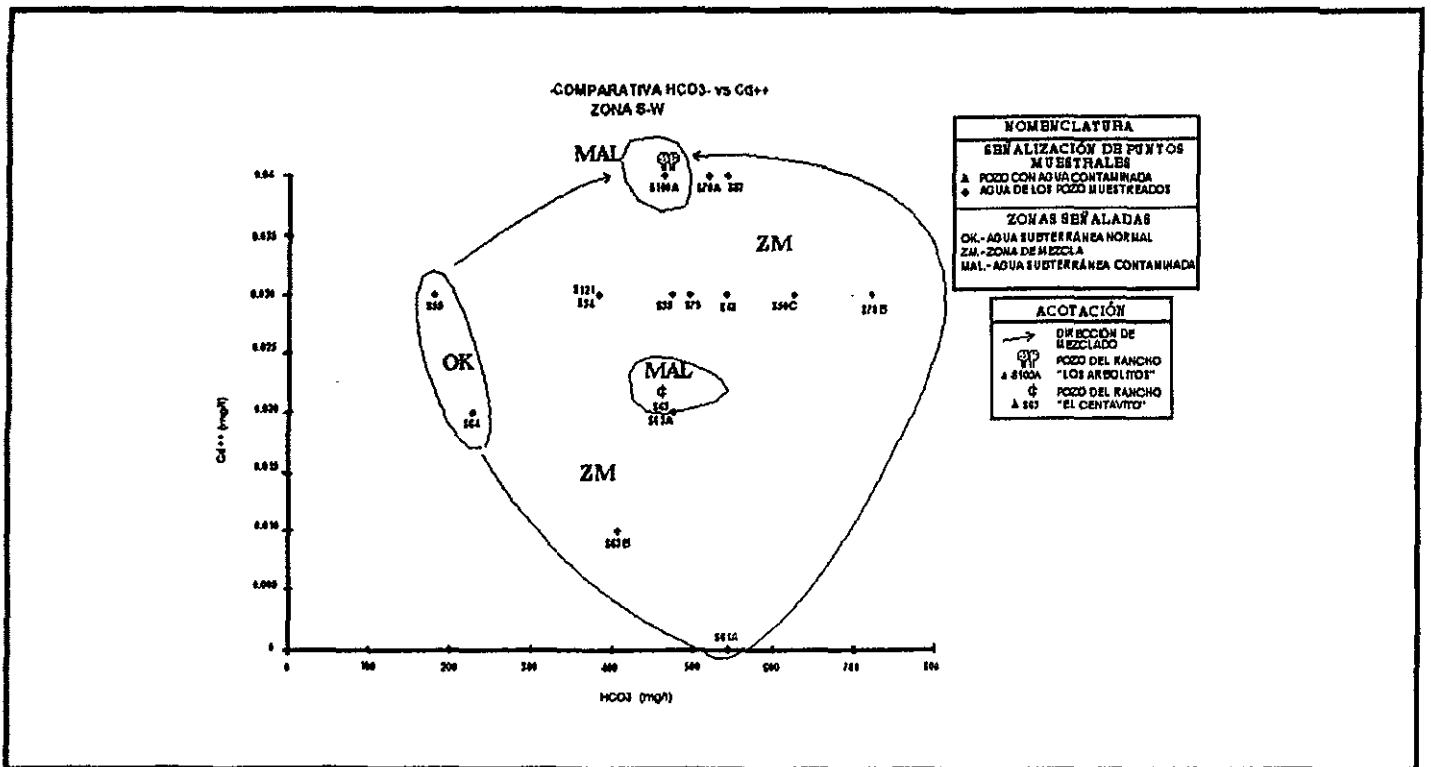
Gráfica 49 Comparativa HCO₃⁻ vs Pb⁺⁺, zona 1, S-W.



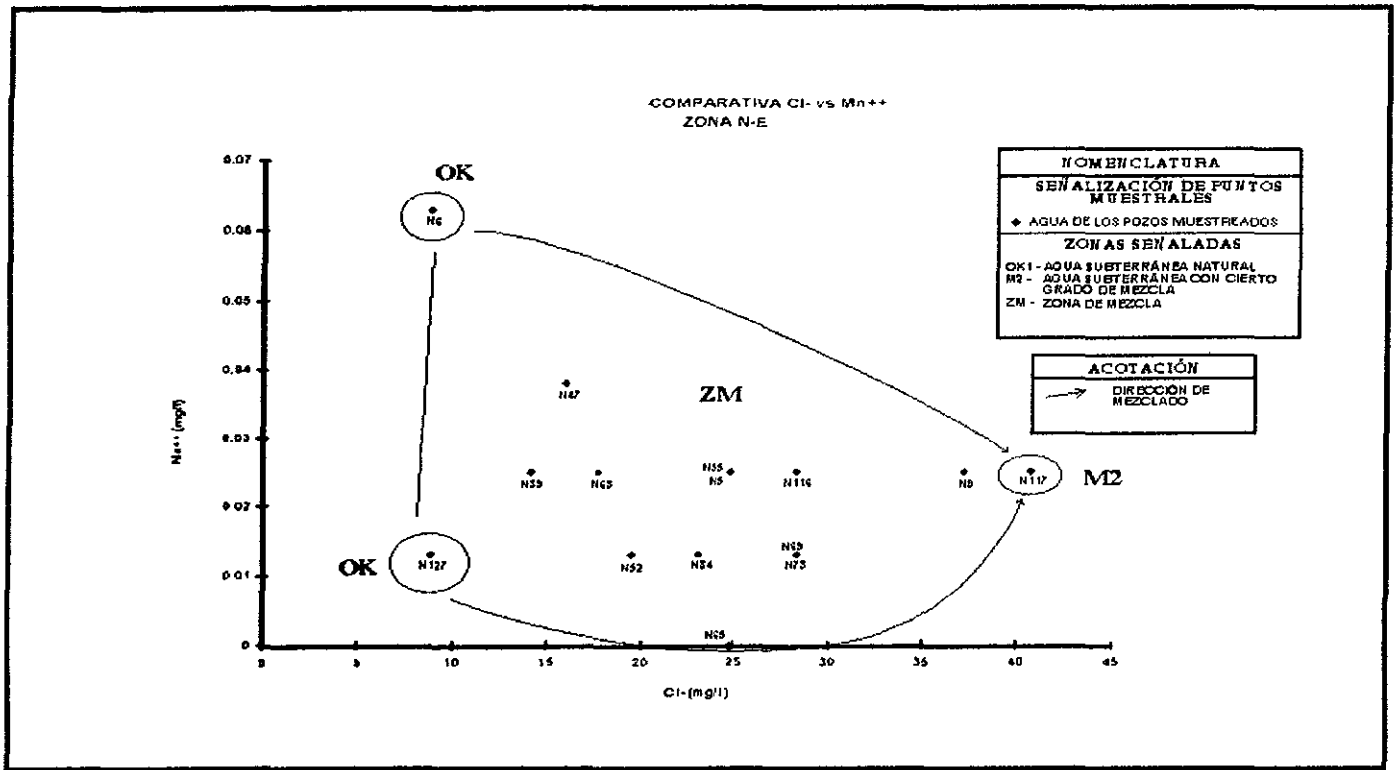
Gráfica 50 Comparativa HCO₃⁻ vs Co⁺⁺, zona 1, S-W.



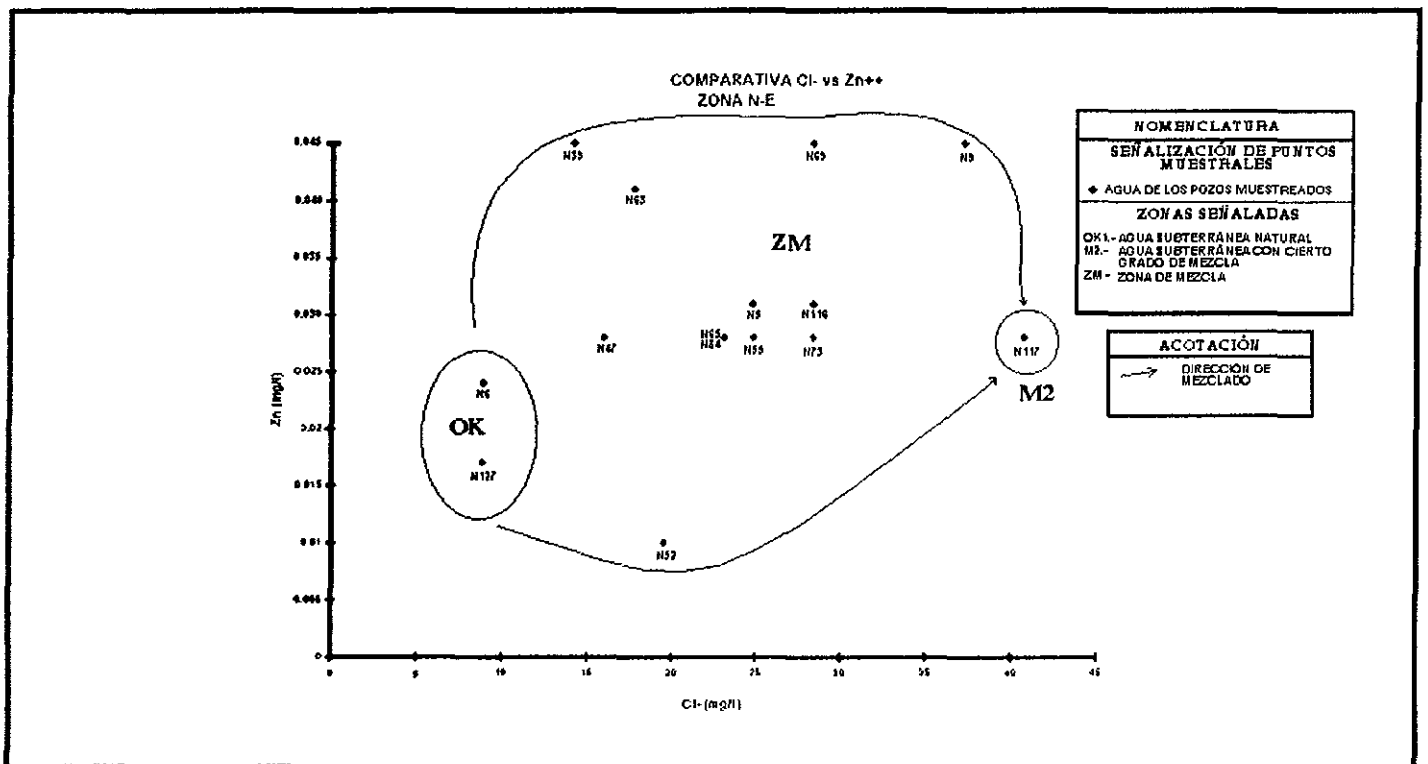
Gráfica 51 Comparativa HCO₃⁻ vs Ni⁺⁺, zona 1, S-W.



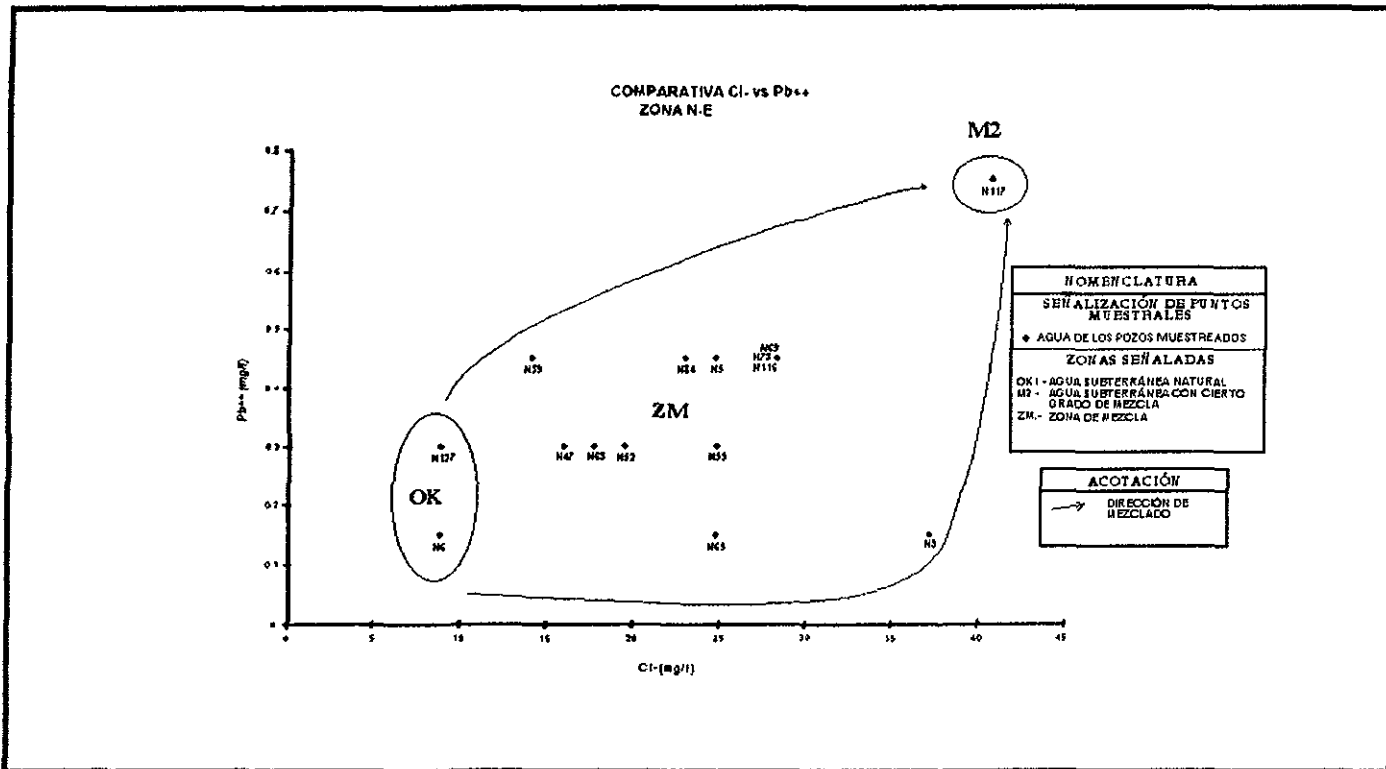
Gráfica 52 Comparativa HCO₃⁻ vs Cd⁺⁺, zona 1, S-W.



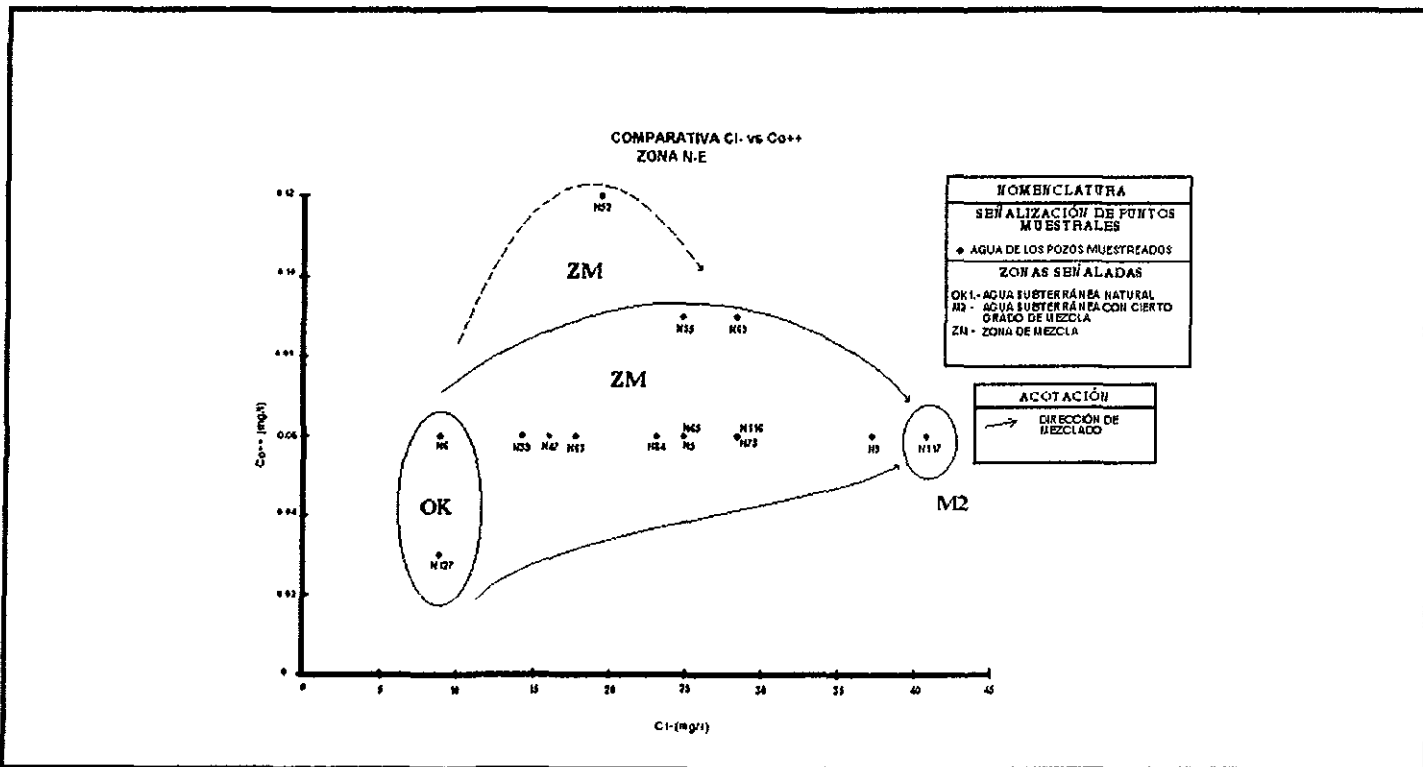
Gráfica 55 Comparativa Cl- vs Mn⁺⁺, zona 2, N-E.



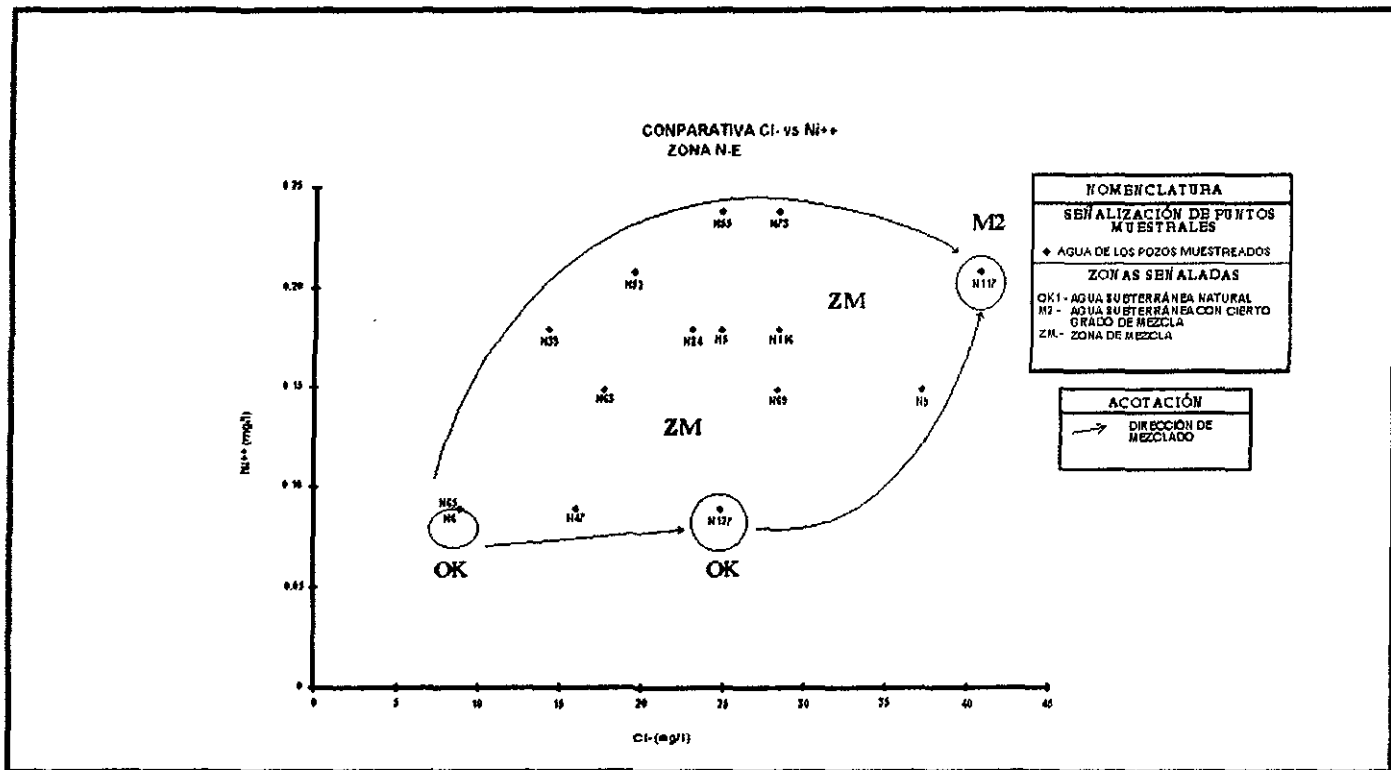
Gráfica 56 Comparativa Cl- vs Zn⁺⁺, zona 2, N-E.



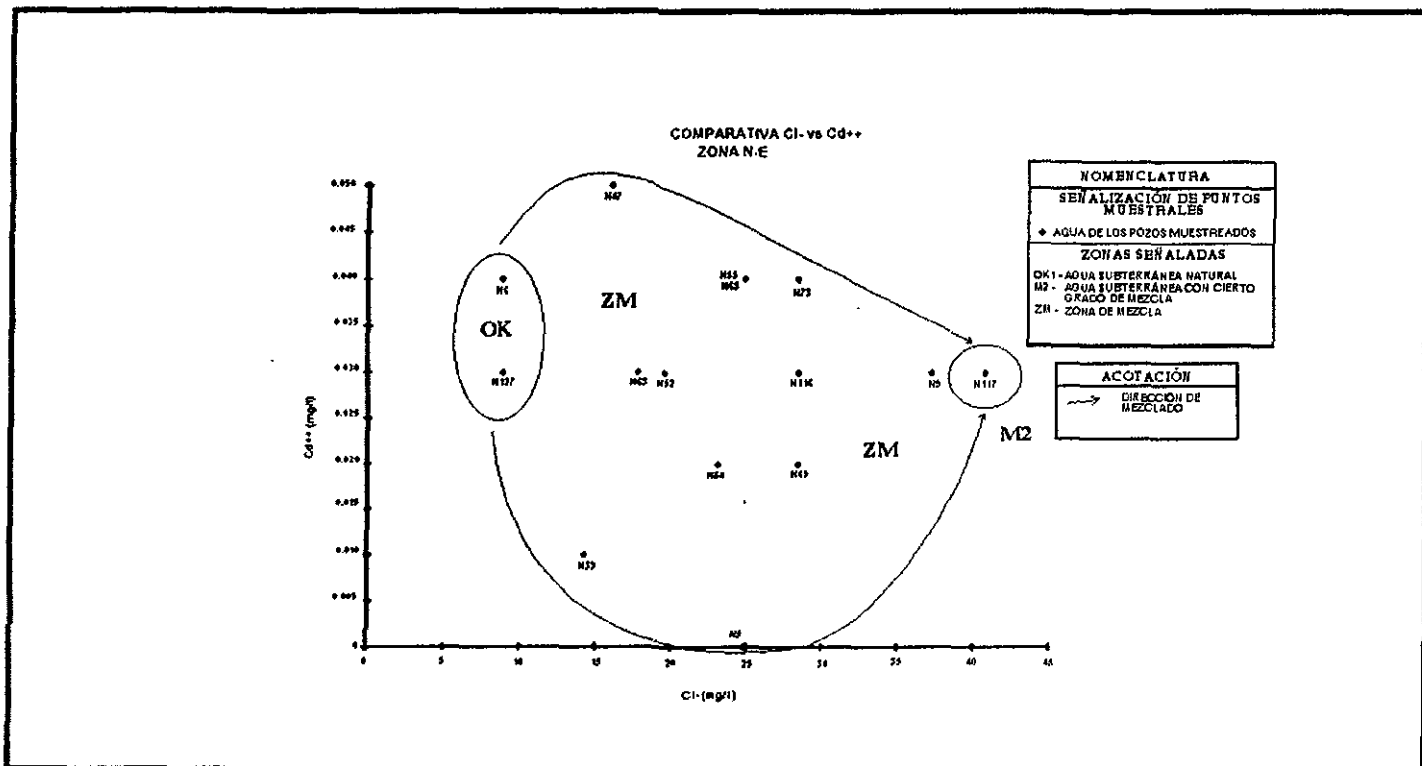
Gráfica 57 Comparativa Cl- vs Pb⁺⁺, zona 2, N-E.



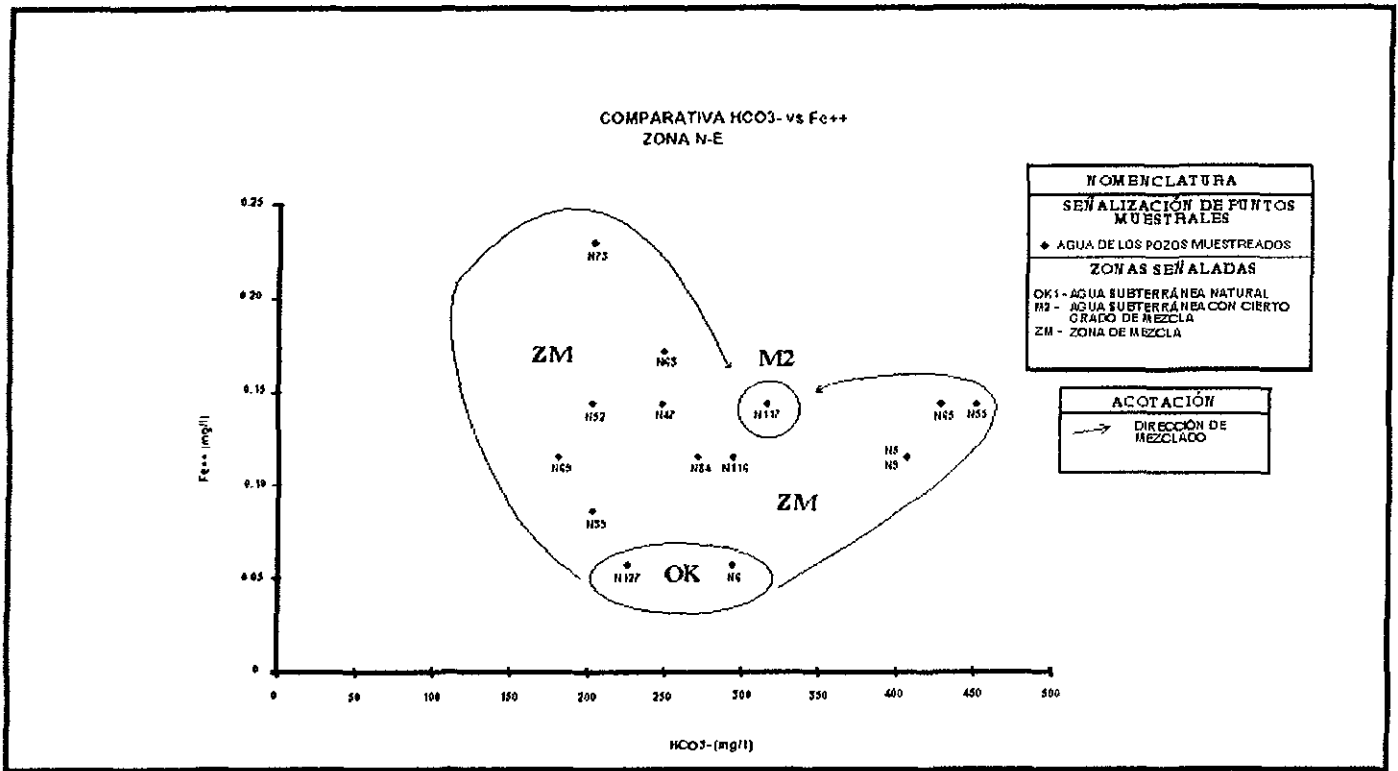
Gráfica 58 Comparativa Cl- vs Co⁺⁺, zona 2, N-E.



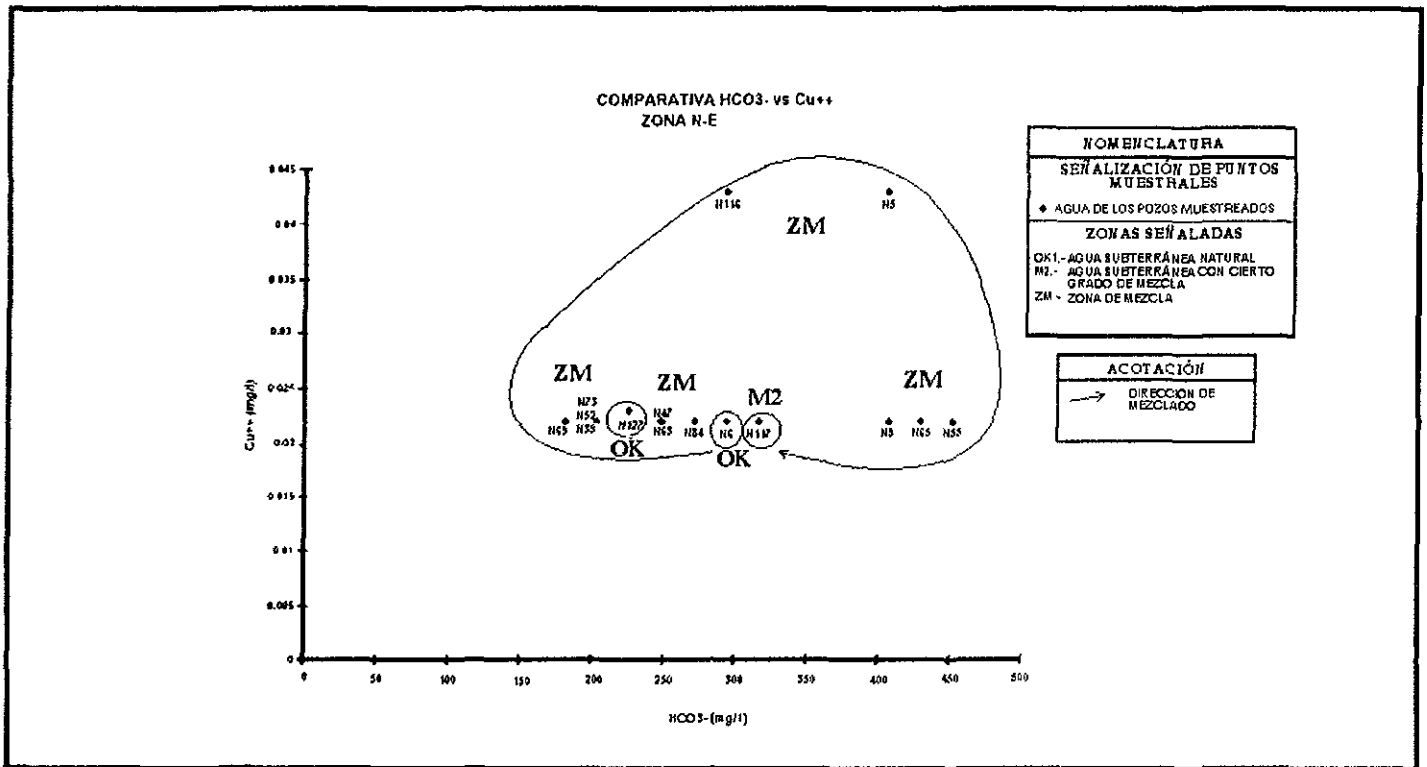
Gráfica 59 Comparativa Cl- vs Ni⁺⁺, zona 2, N-E.



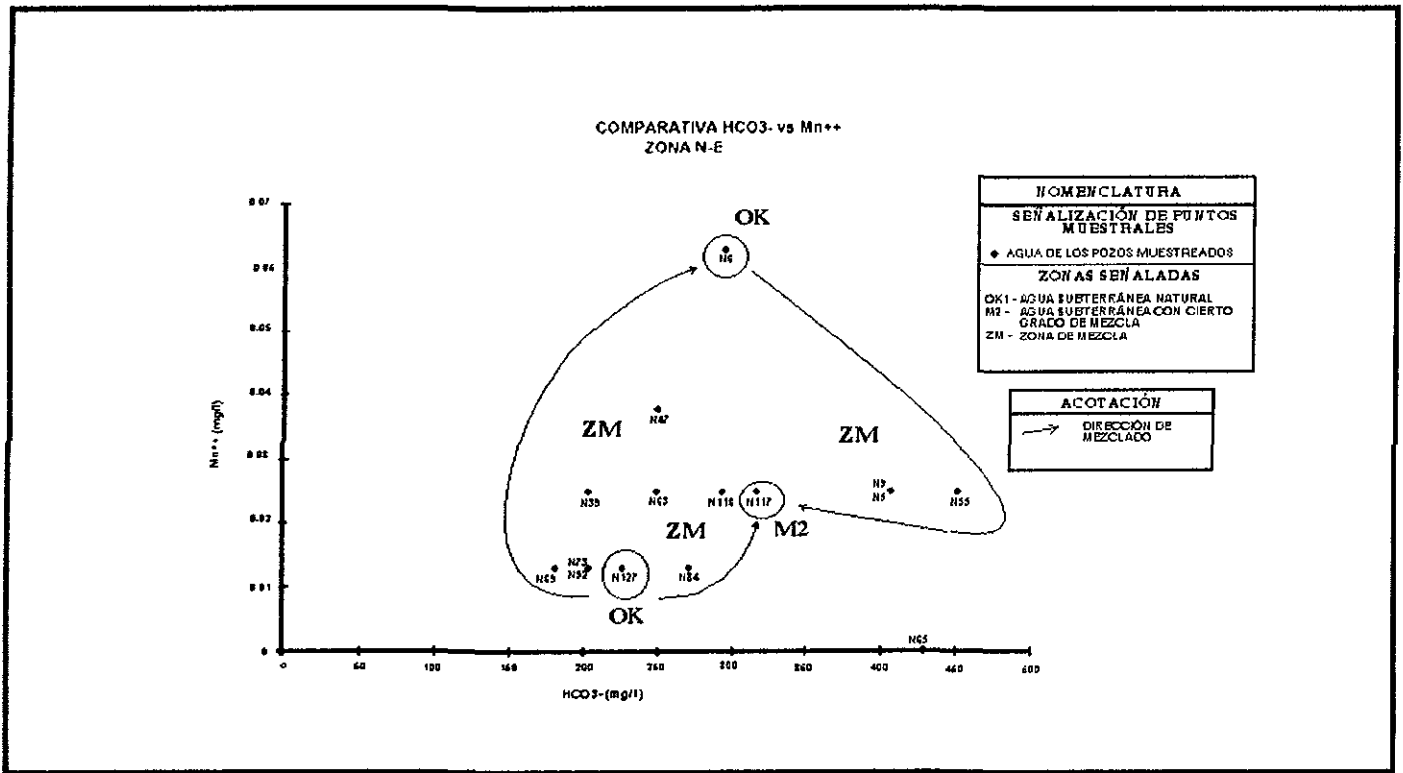
Gráfica 60 Comparativa Cl- vs Cd⁺⁺, zona 2, N-E.



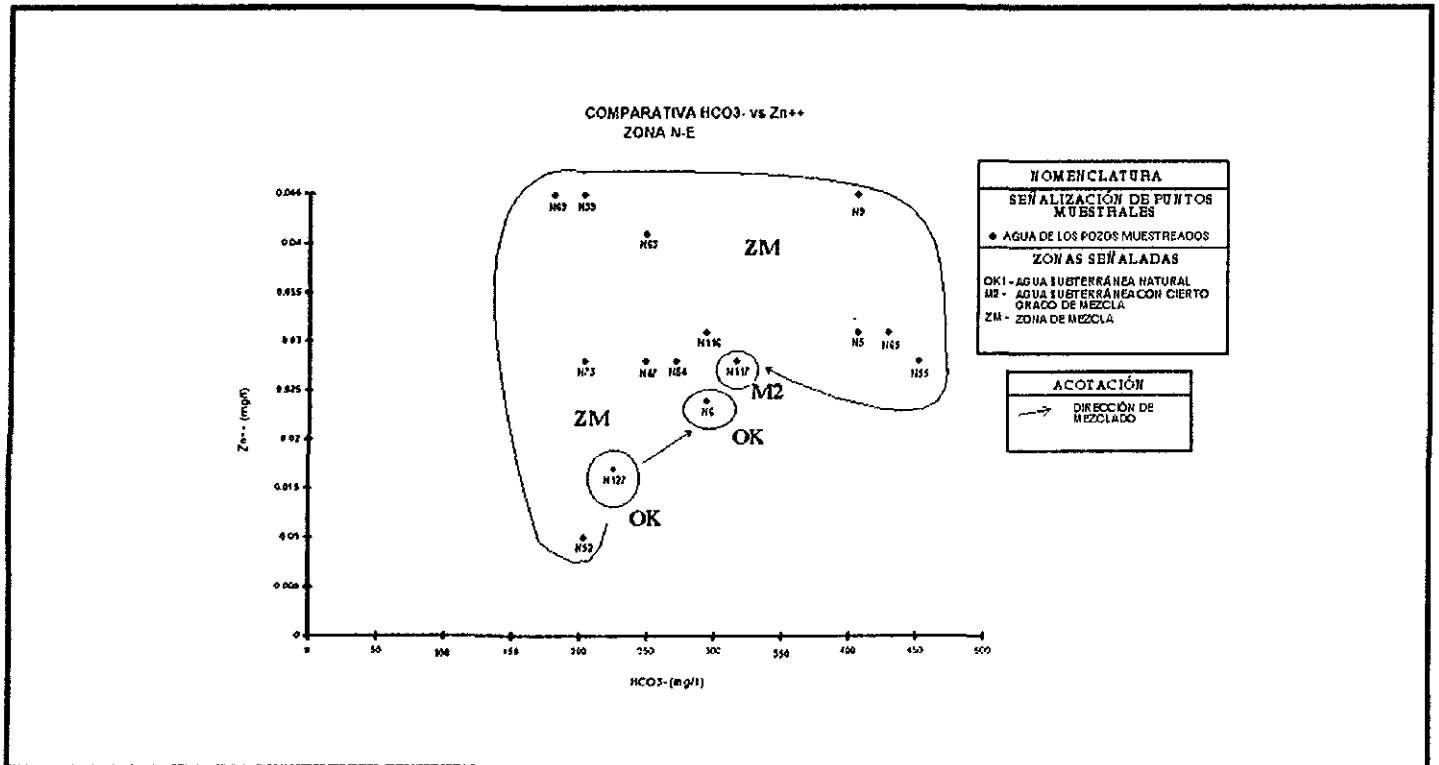
Gráfica 61 Comparativa HCO₃⁻ vs Fe⁺⁺, zona 2, N-E.



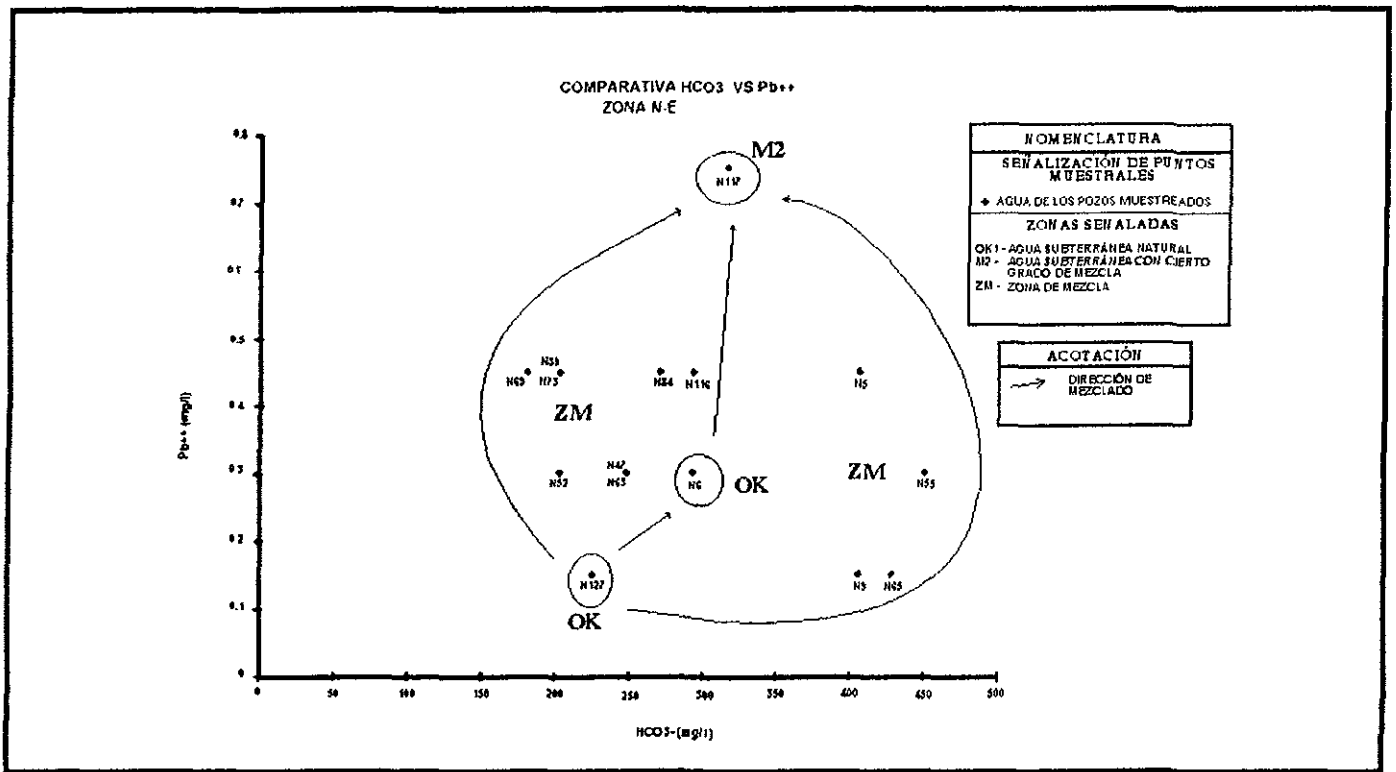
Gráfica 62 Comparativa HCO₃⁻ vs Cu⁺⁺, zona 2, N-E.



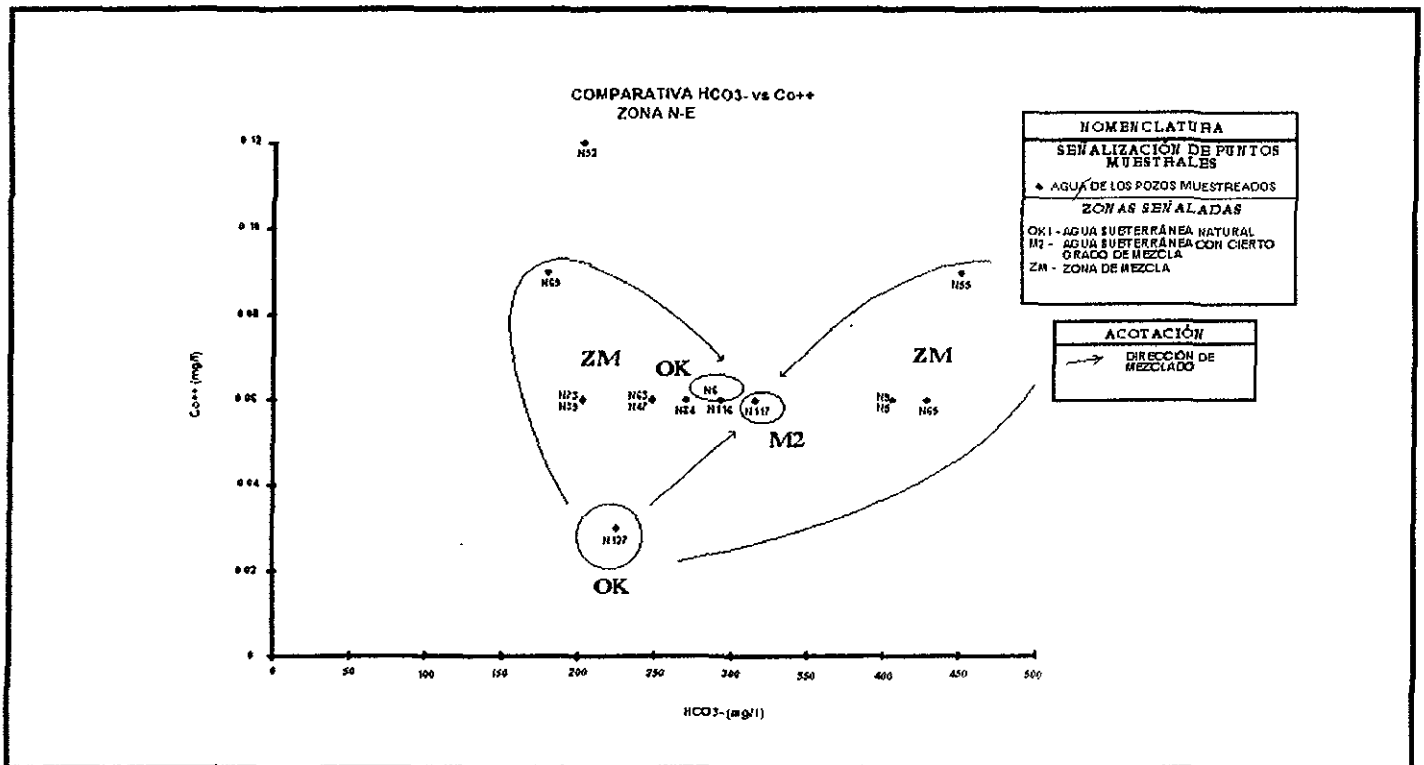
Gráfica 63 Comparativa HCO₃- vs Mn⁺⁺, zona 2, N-E.



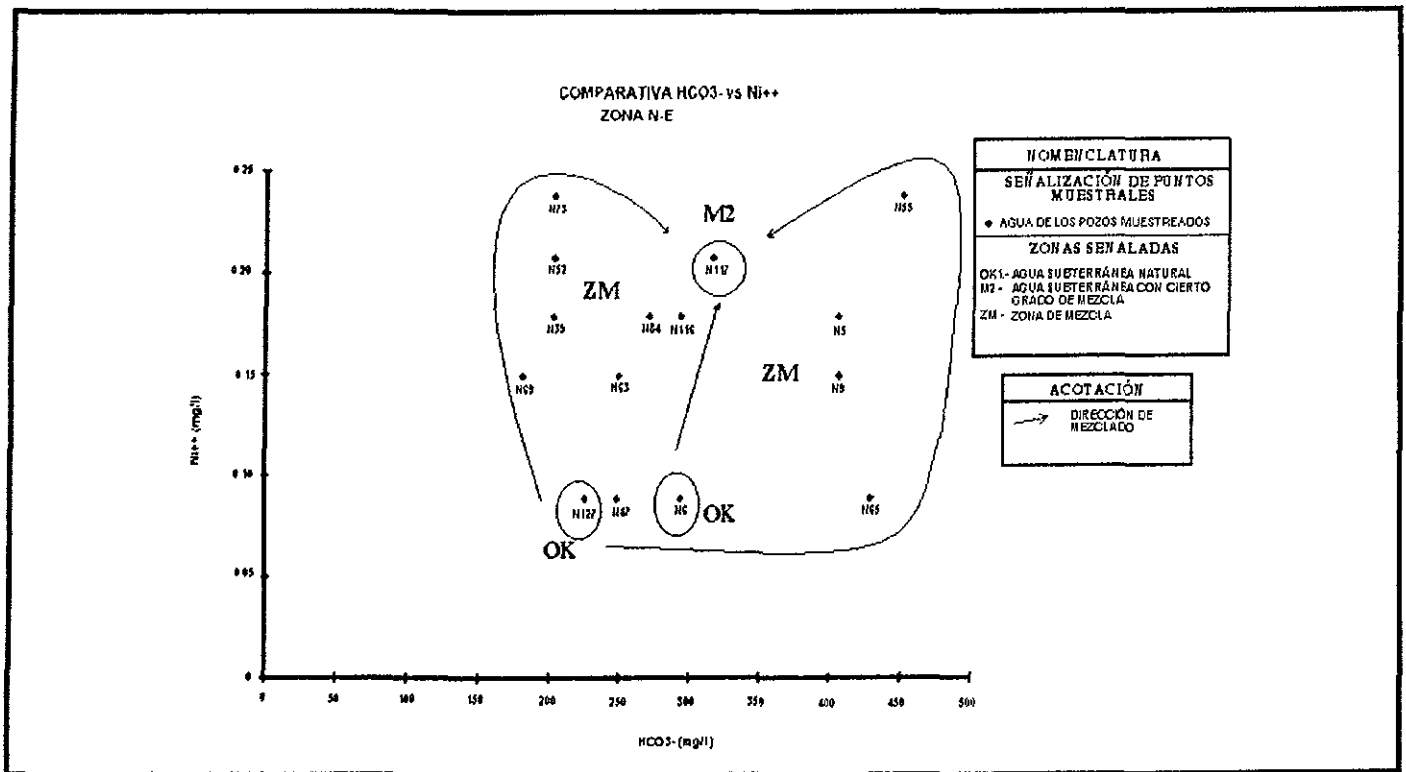
Gráfica 64 Comparativa HCO₃- vs Zn⁺⁺, zona 2, N-E.



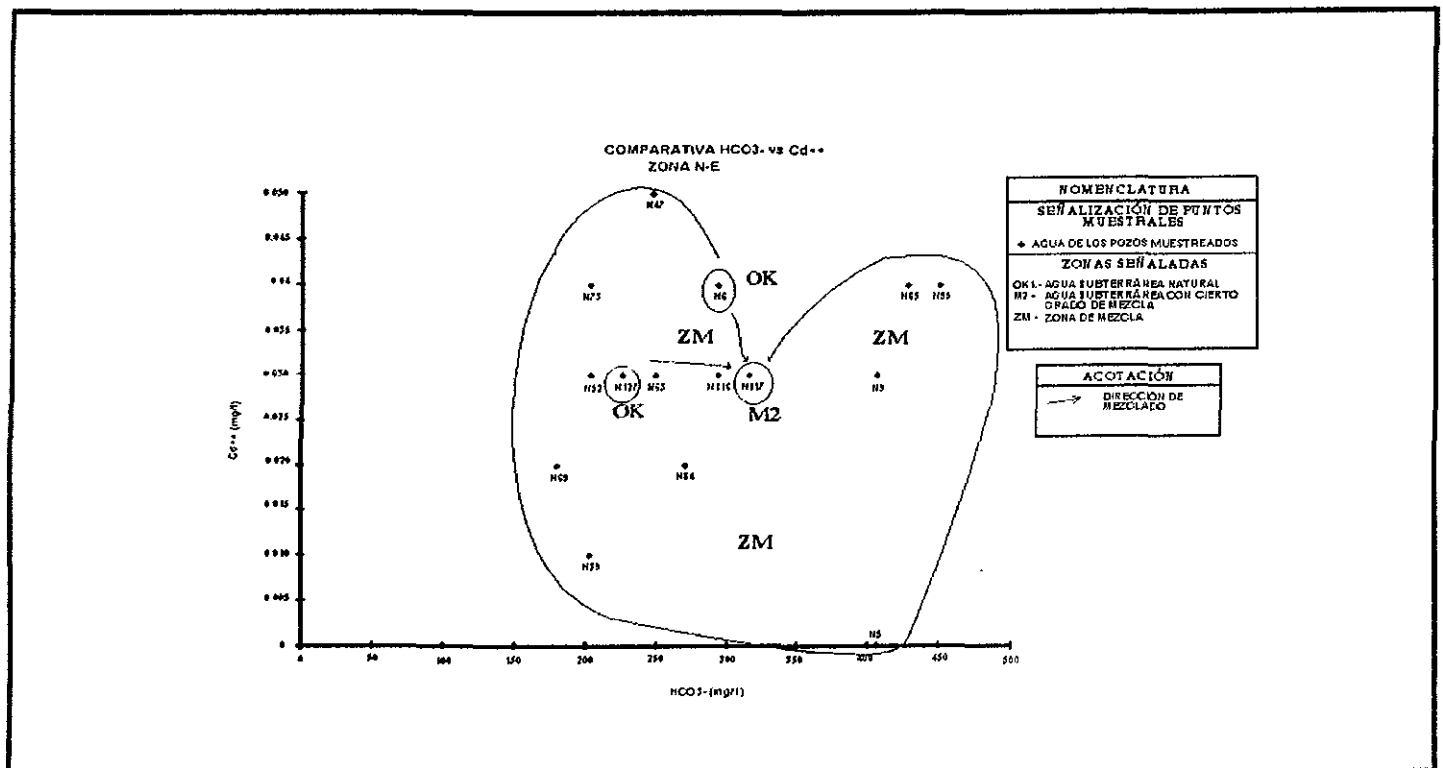
Gráfica 65 Comparativa HCO₃⁻ vs Pb⁺⁺, zona 2, N-E.



Gráfica 66 Comparativa HCO₃⁻ vs Co⁺⁺, zona 2, N-E.



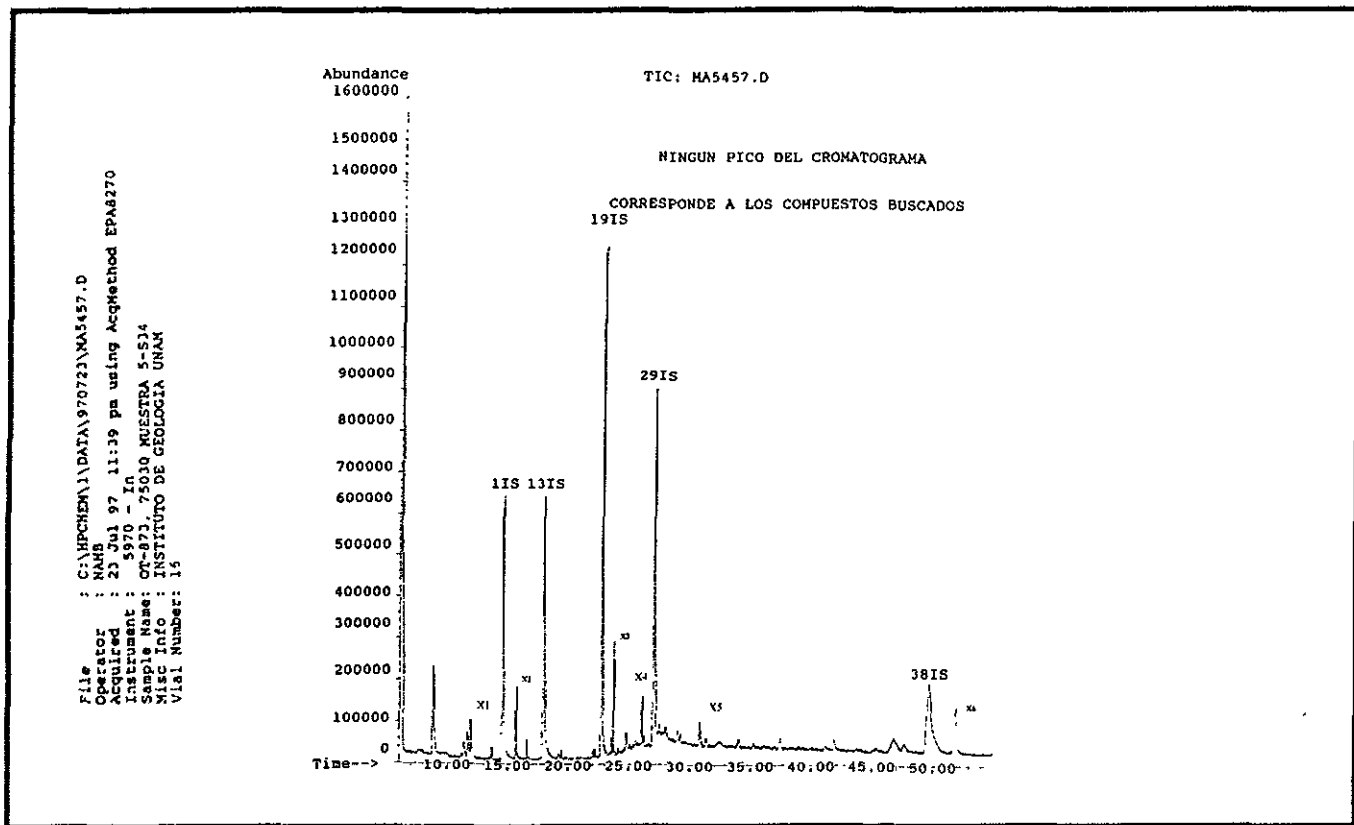
Gráfica 67 Comparativa HCO₃⁻-vs Ni⁺⁺, zona 2, N-E.



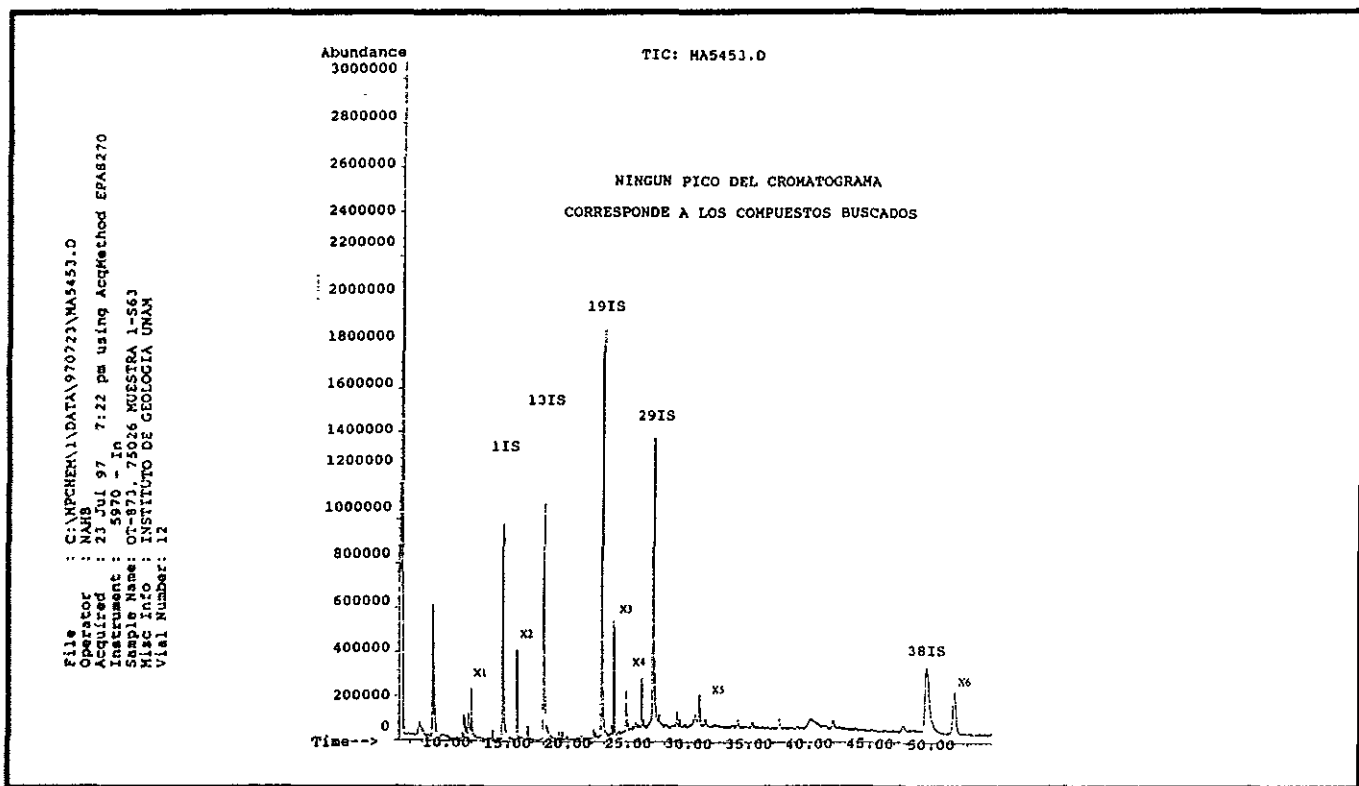
Gráfica 68 Comparativa HCO₃⁻-vs Cd⁺⁺, zona 2, N-E.

ANEXO XII

Cromatografías del agua De los pozos muestreados.

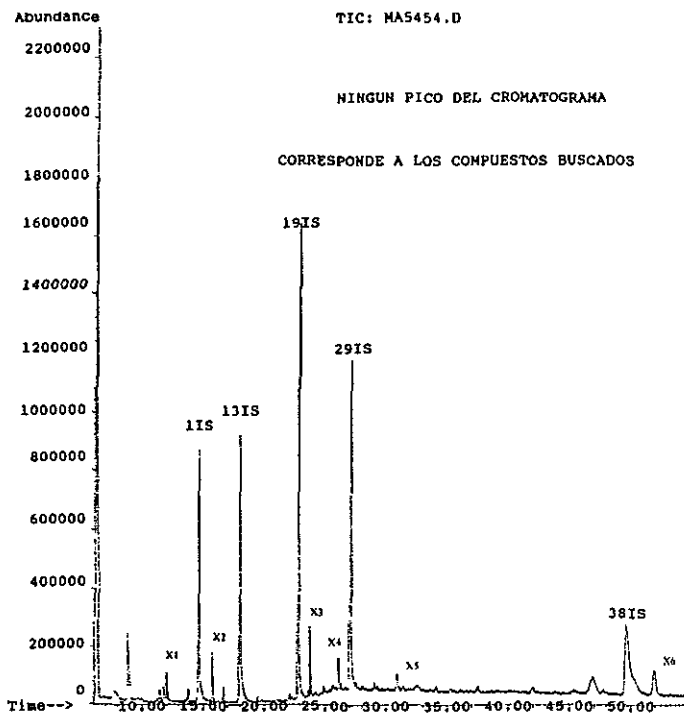


Gráfica 69 Cromatografía del agua muestreada del pozo S34.

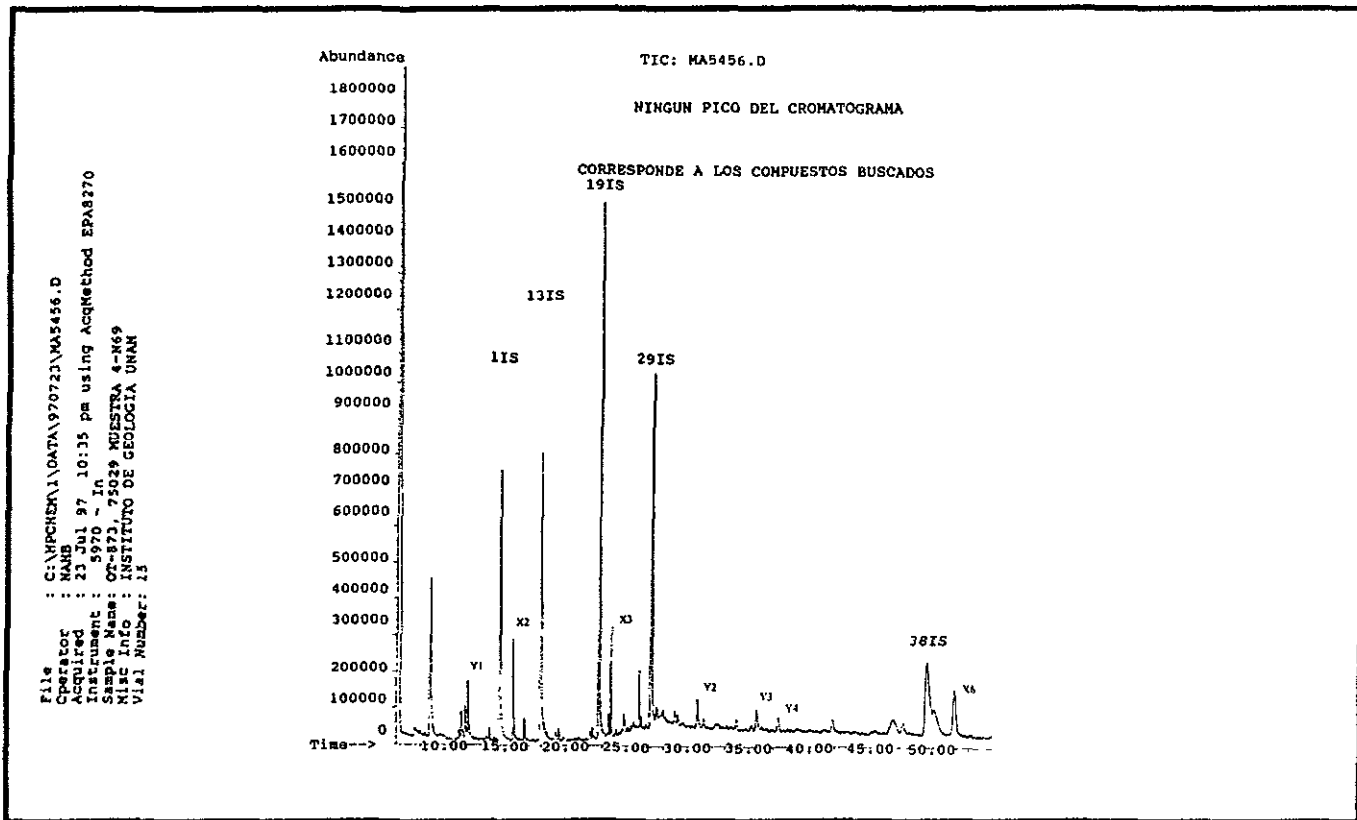


Gráfica 70 Cromatografía del agua muestreada del pozo S63.

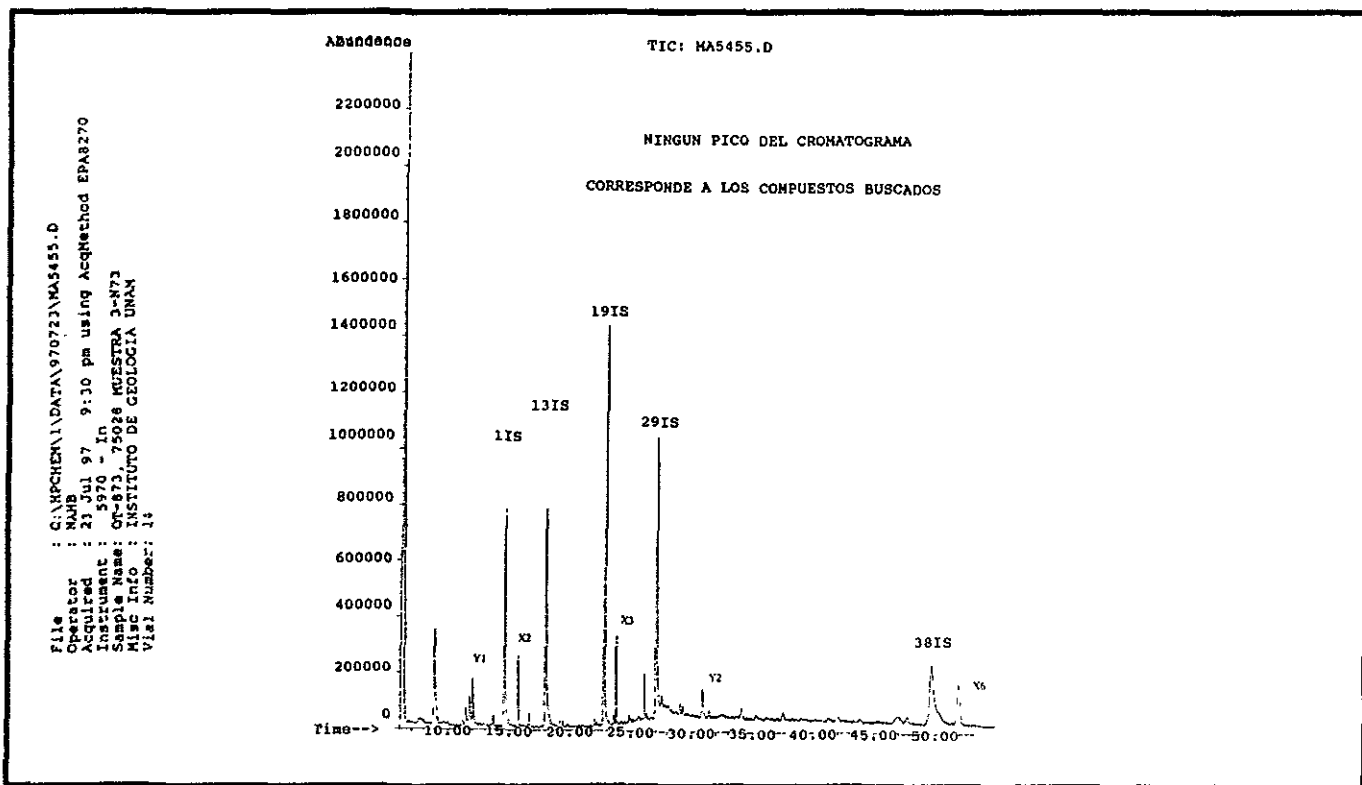
File : C:\NQCHEM\1\DATA\970723\MA5454.D
Operator : NMS
Acquired : 23 Jul 97 8:26 pm using AcqMethod EPA8370
Instrument : 970 In
Sample Name : 0872.7027 MUESTRA 2-S100-A
Misc Info : INSTITUTO DE GEOLOGIA UNAM
Vial Number: 13



Gráfica 71 Cromatografía del agua muestreada del pozo S100A.



Gráfica 72 Cromatografía del agua muestreada del pozo N69.



Gráfica 73 Cromatografía del agua muestreada del pozo N73.