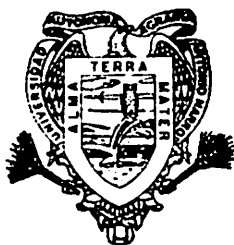


**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

DIVISION DE INGENIERIA



***Calidad del Agua Subterránea del Ejido
El Tunal, Municipio de Arteaga, Coah.***

P o r :

DARIO MARTINEZ HERNANDEZ

TESIS

***Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:***

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 1996

CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA DEL EJIDO EL TUNAL MPIO. DE
ARTEAGA, COAHUILA

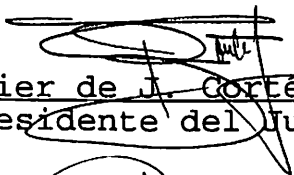
POR

DARIO MARTINEZ HERNANDEZ

T E S I S

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de
asesoría y aprobada como requisito parcial para optar el
Titulo de

**INGENIERO AGRONOMO EN
IRRIGACION
COMITE PARTICULAR**

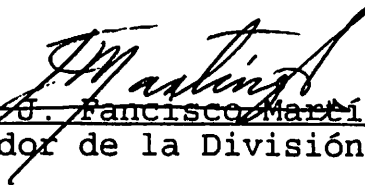

Mc. Javier de J. Cortés Bracho
Presidente del Jurado


Mc. Manuela Bolívar Duarte
Asesor

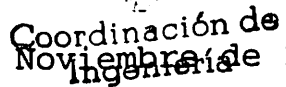

Dr. Juan Fco. Pissani Zúñiga
Asesor


Ing. Arturo Monroy Nieto
Asesor

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"


Ing. G. Francisco Martínez Avalos
Coordinador de la División de Ingeniería



Buenavista, Saltillo, Coahuila,  Coordinación de
Ingeniería de Noviembre de 1996

DEDICATORIAS

A DIOS Por haberme guiado en todo momento y darme la vida y la salud.

A MIS PADRES Micaela Hernández Cruz
Raymundo Martínez Tolentino
Con profundo amor y agradecimiento a quienes a base de trabajo, ejemplo y amor han hecho de mí una persona útil y que supieron guiarme con sus sabios consejos para salir siempre adelante y no desistir ante nada, aunque las cosas parecieran casi imposibles. Por la mejor de todas las herencias que me han dado lo cual estaré siempre agradecido.

A MIS HERMANOS Janet, Judith, Maritza y Neón
Con gran cariño y estimación por haberme otorgado su confianza, su apoyo moral y espiritual para seguir adelante.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo, especialmente a Claudia V. Godina por su buena disposición en la realización de este documento.

- Sra. Jesusita (Madrina)

A MIS AMIGOS

- Ezequiel Rivera Mártir
- Saturnino Lara Masías
- Fernando Cristobal Corona
- Bernabe Rodriguez Cárcamo
- María de la Luz de la Peña
- María Esthela de la Peña
- Javier Sánchez Ontivero
- Daniel Moran Correa

A todos mis amigos de la Generación LXXX de la Especialidad de Irrigación e integrantes de la Rondalla Universitaria.

A alguien que estimo mucho. Melys

AGRADECIMIENTOS

A LA UAAAN Por abrirme sus puertas y brindarme la
oportunidad de llevar a cabo mi formación
profesional.

A mis asesores por todo el apoyo brindado con sus sabios consejos
y conocimientos para la terminación del trabajo, en especial al
M.C. Javier de Jesús Cortés Bracho y a la M.C. Manuela Bolívar
Duarte por sus conocimientos y experiencias transmitidas para mi
acervo cultural como profesionista.

Dr. Francisco Pissani Zúñiga Por sus valiosas sugerencias y por la
orientación técnica en algunos aspectos del trabajo, a la SAGAR en
especial al Ing. Arturo Monrroy Nieto, por el acceso al archivo y
facilidades que me dieron para la obtención de los datos
metereológicos.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
INTRODUCCION	1
Objetivos	2
REVISION DE LITERATURA	3
Aspectos Geológicos Relacionados con el Agua Subterranea	3
Origen del Agua Subterránea	8
Calidad del Agua Subterránea	13
Criterios e Indices de Clasificación	17
MATERIALES Y METODOS	32
Localización	32
Geología	32
Fisiografía	32
Estratigrafía	36
Geología Histórica	37
Geología Estructural	40
Hidrología de Superficie	42
Clima	42
Esguerrimiento Superficial	43
Geohidrología	43
Parámetros Físicos	44
Vías de Comunicación	44
Actividades Económicas	44
Ubicación de los Pozos	44
Muestreo	45
RESULTADOS Y DISCUSION	47
Potencial Hidrógeno (pH)	48
Conductividad Eléctrica	48
Salinidad Efectiva y Salinidad Potencial	49
Porciento de Sodio Posible	50
Carbonato de Sodio Residual	50
Cloruros	50
Relación de Adsorsión de Sodio	51

Solidos Totales Disueltos	51
Bicarbonatos	52
Calcio	52
Sulfatos	53
Familias de Aguas	53
CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFIA	58
ANEXO A:	62
ANEXO B:	68

INDICE DE TABLAS

2.1.-	Variación de la porosidad de los materiales sedimentarios	5
2.2.-	Composición química de los sedimentos	6
2.3.-	Clasificación elemental de las rocas sedimentarias consolidadas	7
2.4.-	Criterios e índices de clasificación del agua de riego	18
2.5.-	Clasificación del agua de riego de acuerdo a su SE y SP	25
2.6.-	Clasificación del agua de riego de acuerdo a su SE y SP, considerando condiciones del suelo	26
2.7.-	Clasificación del agua de riego de acuerdo al contenido de CSR	27
2.8.-	Clasificación del agua de acuerdo al PSP	28
3.1.-	Formaciones aflorantes	37
3.2.-	Datos climatológicos del Ejido el Tunal, Arteaga, Coahuila	43
4.1.-	Condiciones químicas de del agua subterránea de el Ejido el Tunal	49
4.2.-	Clasificación del agua subterránea del ejido el Tunal	51
1-A.-	Cálculos del muestreo del 5 de abril	62
2-A.-	Cálculos del muestreo del 2 de junio	62
3-A.-	Cálculos del muestreo del 18 de agosto	62
4-A.-	Cálculos del muestreo del 15 de septiembre	63
5-A.-	Clasificación del muestreo del 5 de abril	63
6-A.-	Clasificación del muestreo del 2 de junio	63
7-A.-	Clasificación del muestreo del 18 de agosto	64
8-A.-	Clasificación del muestreo del 15 de septiembre	64
9-A.-	Media de las muestras. Condición química del agua subterránea del Ejido el Tunal, Arteaga, Coah.	65
10-A.-	Cultivos tolerantes, semitolerantes y sensibles a las sales	66

INDICE DE FIGURAS

2.1.-	Diagrama para la clasificación de las aguas de riego por su CE	19
2.2.-	Diagrama de Piper, familia de aguas	31
3.1.-	División política de Coahuila	34
3.2.-	Localización del área de estudio	35
3.3.-	Ubicación de los pozos muestreados	46
1.-	Censo de los pozos del Ejido el Tunal	67
2.-	Curvas de pH	68
3.-	Isoconductividad eléctrica	69
4.-	Concentraciones de calcio en ppm	70
5.-	Concentraciones de magnesio en ppm	71
6.-	Concentraciones de sodio en ppm	72
7.-	Concentraciones de carbonatos en ppm	73
8.-	Concentraciones de bicarbonatos en ppm	74
9.-	Concentraciones de sulfatos en ppm	75
10.-	Concentraciones de cloro en ppm	76
11.-	Diagrama de Piper para la interpretación de análisis químico de agua	77
12.-	Diagrama de Scholler para la interpretación de análisis químico de agua	78
13.-	pozo C033	79
14.-	pozo C035	80
15.-	pozo F017	81
16.-	pozo G0001	82
17.-	pozo F016	83
18.-	pozo F023	84
19.-	pozo T9	85
20.-	pozo P002	86
21.-	pozo F007	87
22.-	pozo G0021	88
23.-	pozo F006	89
24 .-	pozo F030	90

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Ejido El Tunal Mpio. de Arteaga Coahuila, el cual se ubica al Sureste del Estado de Coahuila a una altura de 2360 msnm durante el periodo marzo-diciembre de 1995.

Este trabajo tiene la finalidad de evaluar el contenido de las sales solubles del agua, su clasificación y recomendación para su uso.

Las determinaciones se lograron analizando las muestras en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego Y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

De cada muestra se determinaron sus cationes y aniones, clasificandolas como buenas, condicionadas o no recomendables para el riego de acuerdo a su CE, SE, SP, CSR, PSP y Cl.

Conforme a los resultados de los análisis se obtuvo que en base a su CE los aprovechamientos C033, C035, F017, F016, F006 G0001 y T9 no son recomendables usarlas para el riego en suelos con drenaje deficiente. Con lo que respecta a sales, la mayoría de los aprovechamientos caen en agua

condicionada a excepción de los pozos F023, T9, G0021 y F030.

De acuerdo a su contenido de Ca, Mg, Na, HCO_3 , CO_3 , SO_4 y Cl se obtuvieron familias cálcicas-bicarbonatadas y cálcicas-sulfatadas de agua usando los diagramas de Piper, Schoeller y Stiff, siendo las primeras las más predominantes con un 75 por ciento.

Los resultados obtenidos de los métodos utilizados indican que la mayoría de los aprovechamientos son de agua condicionada, encontrándose las de mejor calidad al suroeste del Ejido el Tunal.

INTRODUCCION

Se llaman aguas subterráneas a las existentes entre los intersticios del terreno, bajo superficie. La aparente falta de regularidad en la aparición de afloramientos de aguas subterráneas y la dificultad de su previsión, unido a la enorme importancia que en algunas regiones ha representado su existencia para la vida de los pueblos, han dado siempre un carácter curiosamente misterioso a los estudios que se les han dedicado desde la antigüedad más remota.

La apertura de pozos para captar el agua del subsuelo es realmente una de las prácticas más antiguas del hombre. La literatura de las más antiguas culturas abunda en descripciones mágicas relacionadas con los alumbramientos de agua.

El análisis químico del agua de los acuíferos es importante, ya que proporcionan información acerca de la historia geológica de las rocas que la contienen o por donde circula, por lo que se realizó el estudio de este tipo en el Ejido el Tunal municipio de Arteaga, Coahuila, para conocer la calidad del agua para uso agrícola, ya que los habitantes de este lugar se dedican principalmente a la explotación de la tierra estableciendo cultivos perennes

(manzano, *Malus sylvestris* mill) como base de su economía y algunos anuales tales como maíz (*Zea mays*) para autoconsumo.

OBJETIVOS

Determinar la calidad del agua subterránea y clasificarla mediante el muestreo de los pozos existentes en el Ejido de El Tunal, Mpio. de Arteaga, Coahuila con los resultados obtenidos clasificar el tipo de agua y plantear recomendaciones para su uso.

REVISION DE LITERATURA

Aspectos Geológicos Relacionados con el Agua Subterránea

Thorne y Peterson (1977) mencionan que los suelos salinos se originan durante el intemperismo de las rocas y minerales en cuyo proceso se forman grandes cantidades de sales solubles. En los climas húmedos, estas sales generalmente son extraídas del suelo y llevadas al mar por las aguas subterráneas. En los climas áridos y semiáridos se pueden acumular sales en los horizontes inferiores del suelo o transportarse a un área de drenaje en la que el agua se evapore y la sal se acumule. La acumulación de sal es más grave en los suelos bajos, donde se intensifican los factores de posición y de permeabilidad.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H., 1974) señala que en forma natural todos los suelos agrícolas contienen sales, las cuales son utilizadas por las plantas como nutrientes, aún cuando su uso sea selectivo y preferente., sin embargo, pueden dañar a plantas y

animales cuando su contenido o forma, o ambos exceden de ciertos límites.

El problema de la acumulación de sales es un proceso natural que puede ser aumentado o no por el riego y por la producción agrícola, dando por resultado una amplia variabilidad en cualquiera de los parámetros relativos a la calidad química del agua subterránea para un área determinada en estudio. Esta variabilidad debe considerarse aplicando los criterios que sea posible establecer sobre las relaciones cultivo, salinidad del suelo, calidad del agua subterránea (De la Peña, 1963).

Johnson (1975) determina que en términos geohidrológicos, las lutitas y otros materiales similares (limonitas) no pueden constituir buenos acuíferos; en cambio, las areniscas por su capacidad de ceder agua varía grandemente debido al grado de cementación, por eso en algunos casos rinden las mayores cantidades de agua en las areniscas parcialmente cementadas y fracturadas, considerándose como mejores acuíferos incluyéndose también arena, grava y mezclas de ambas que por su forma granular, no consolidadas varían ampliamente de tamaño de partículas y de grado de acomodo, con la consecuente variación de su capacidad de rendir agua.

Keith (1973) menciona que la estructura que tienen los poros de las rocas son caracterizados por su tamaño, forma, irregularidades y distribución en relación con el consumo del agua subterránea; los depósitos granulares sedimentarios son de mayor importancia, ya que la porosidad de éstos depende de la forma y disposición de las partículas individuales, distribución por tamaños y grados de cementación y compactación. Además de estos factores, el rango de porosidad depende del tipo de material, como se observa en la tabla 2.1

Por los procesos químicos que sufren los materiales geológicos, Groud citado por Pettijohn (1976) muestra en la tabla 2.2 la composición química de los sedimentos geológicos.

Tabla 2.1. Variación de la porosidad de los materiales sedimentarios según Keith (1973).

Material	Porosidad %
Pizarras	0 - 10
Areniscas	10 - 20
Gravas y arenas	20 - 25
Gravas	30 - 40
Arenas pequeñas	30 - 35
Arenas medias	30 - 40
Arenas grandes	35 - 40
Limos	40 - 55
Arcillas	45 - 55
Suelos	50 - 60

Tabla 2.2.- Composición química de los sedimentos (%).
Groud citado por Pettitjohn (1976).

Componente	Arena fina	Limo	Arcilla gruesa	Arcilla fina
TiO ₂	71.15	61.29	49.08	40.61
SiO ₂	0.50	0.85	0.89	0.79
Al ₂ O ₃	10.16	13.30	16.83	18.97
FeO	3.72	3.94	6.91	7.42
MgO	1.66	3.31	3.56	3.19
CaO	3.65	5.11	4.96	6.24
Na ₂ O	0.86	1.32	1.17	1.19
K ₂ O	2.20	2.32	2.57	2.62
Ignición	5.08	7.05	10.91	12.51

Las rocas detríticas, como lo consideran Custodio y Llamas (1976), se obtienen de un conjunto de partículas sólidas de tamaño determinado que son formadas por tres partes esenciales como son los granos de cantos de grava y arena, que forman las de arena fina y arcilla que constituyen la llamada matriz y el propio cemento que puede ser calcáreo, arcilloso o silíceo, así como una mezcla en proporciones variables de éstos son conglomerados, areniscas , limos y arcillas, como se muestra en la tabla 2.3. Por esta razón constituyen aproximadamente la mitad de las rocas sedimentarias; y

afirman que las lutitas son muy poco permeables, pero su condición de roca almacén, puede tener importancia desde el punto de vista hidrogeológico. En lo que respecta a los conglomerados y areniscas señalan que por la variedad de su composición original, entre sus componentes predominan el cuarzo y el cemento y el más usual suele ser, el carbonato de calcio y geohidrológicamente pueden dar lugar a acuíferos.

Tabla 2.3. Clasificación elemental de las rocas sedimentarias consolidadas según Custodio y Llamas (1976).

Origen	Composición mineral predominante	Tamaño de partículas	Nombre de la roca
Detrítico	Fragmento de rocas más antiguas, sedimentarias o metamórficas	Mayor de 2 mm entre 2-.06 mm menor de .06 mm	Conglomerado, caliza, detríticas, areniscas, arcillitas y limonitas o lutitas
Químico inorgánico	Yeso y sal común, dolomita	Microscópicas excepto en los de cristalización	Evaporitas dolomitas
Bioquímico	Calcitas de restos vegetales y calcitas	Muy variados	Calizas, margas, carbón calizas orgánicas

Origen del Agua Subterránea

Keith (1973) recalca que el agua subterránea se da en formaciones geológicas permeables conocidas como acuíferos que tienen una estructura que permite apreciar los movimientos del agua a través de ellos bajo ciertas condiciones especiales; considera también que existen formaciones impermeables que pueden contener agua, pero no almacenar grandes cantidades, y otros materiales como arcillas, granito, que no pueden contener ni transmitir agua; además afirma que se tiene una estimación que el 90 por ciento del desarrollo de los acuíferos consiste en rocas no consolidadas principalmente agua y arena.

Vargas (1976) menciona que las propiedades de un acuífero y muy especial, su riqueza y calidad de transmisibilidad de agua dependen fundamentalmente de las características de las rocas que lo constituyen. Por eso Castany (1978) hace referencia que la geología interviene mediante dos factores, la naturaleza litológica de las rocas que determinan la permeabilidad, infiltración y la circulación subterránea.

Por otra parte Meléndez y Fuster (1978) comentan que el movimiento de las aguas en el suelo dependen del

gradiente o inclinación de la superficie freática y de la transmisibilidad de las rocas, y que a su vez depende de su porosidad y de un factor específico para cada tipo de roca, puesto que las características de la circulación freática o percolación están esencialmente determinadas por la permeabilidad o conductividad hidráulica de las rocas, o tal como dice Castany (1978), como propiedad de las rocas de transmitir agua bajo presión. También menciona que la permeabilidad a su vez depende de la formación de los granos de las rocas permeables, de sus dimensiones respectivas y de su ordenación, las cuales determinan evidentemente la porosidad total, porque en rocas heterogéneas donde existen granos de tamaños diferentes, los pequeños ocupan partes de los poros que quedan entre los grandes después de su agrupación y ordenación y por consiguiente la porosidad disminuirá. En cambio en las rocas homogéneas los granos son todos del mismo tamaño y los espacios que quedan entre ellos son iguales y regulares, lo que determina la porosidad total, por lo tanto, cuando mayor sea la porosidad total, mayor será la permeabilidad.

Benítez (1972) menciona que casi el total del agua subterránea es agua meteórica proveniente de la precipitación. En algunos sitios se encuentra agua de

formación, presente en la roca durante su formación o deposición, y generalmente de alto contenido salino. En menores cantidades existe también la llamada agua juvenil, formada químicamente dentro del subsuelo y traída a la superficie por rocas intrusivas. Tanto el agua de formación como el agua juvenil con frecuencia son la fuente de minerales indeseables en el agua subterráneas.

También establece que el agua de lluvia llega a formar parte del agua subterránea por infiltración y percolación de corrientes y lagos. La percolación es el proceso más efectivo en la recarga del agua subterránea donde los suelos son altamente permeables o donde la capa freática está cerca de la superficie del terreno. En sitios donde la precipitación es relativamente baja y la capa freática está a cientos de metros bajo la superficie, se puede esperar muy poca o nula recarga. En estas áreas, el agua de irrigación puede producir alguna recarga, pero la infiltración del agua de los ríos a través de gravas permeables será posiblemente la mayor fuente de recarga. Los ríos que contribuyen al agua subterránea se denominan corrientes afluentes. Las corrientes de agua casi nunca son afluentes en toda su longitud, y afirma que el origen de las aguas subterráneas es uno de los problemas que más ha preocupado al hombre desde los tiempos más remotos.

La teoría de la infiltración, supone que todas las aguas subterráneas provienen de infiltración directa en el terreno de las lluvias o nieves, o indirectamente de ríos o lagos. Por un explicable error colectivo que ha durado decenas de siglos, los pensadores de la antigüedad aceptaban como axiomático que las precipitaciones atmosféricas no eran suficientes para mantener los grandes alumbrados por la mano del hombre en algunos puntos de la superficie terrestre y, lógicamente se lanzaban a inventar las teorías más ingeniosas variadas y pintorescas para explicar su origen (Benítez, 1972). Por otra parte Zumberge (1974), menciona que el agua subterránea se origina de la fracción de precipitación total que se infiltra por el suelo y llena los huecos de las rocas y el material no consolidado.

Así, Maderey (1967) comenta que para el siglo XIX se habían generalizado dos teorías acerca del origen del agua. La primera dice que las aguas subterráneas se debían a la concentración del vapor de agua atmosférico en los poros o intersticios de la tierra y grietas de las rocas, la segunda dice que procedía de la infiltración del agua de las precipitaciones.

El mismo autor menciona que en la actualidad se ha comprobado que la procedencia de la mayor parte del agua

subterránea se debe a la infiltración del agua en el suelo y forma parte del ciclo hidrológico. Además de las aguas debidas a otros fenómenos, tales como las magmáticas y las volcánicas (aguas juveniles) y las que resultan al quedar atrapadas en los intersticios de rocas sedimentarias en el momento en que se depositan éstas (aguas fósiles).

Murcia (1976) menciona que la recarga de la zona de saturación debida a la aportación de las precipitaciones atmosféricas pueden descomponerse en dos etapas, que son:

- 1) infiltración del agua desde la superficie al terreno que se encuentra inmediatamente bajo ella.

- 2) movimiento descendente del agua en la zona de saturación, donde pasa a formar parte de las propiamente llamadas aguas subterráneas. Evidentemente, una parte del agua que entra a la zona de aireación vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración vegetal, perdiéndose así su incorporación al almacén subterráneo de la zona de saturación.

También establece que la infiltración se produce por la acción combinada de las fuerzas de gravedad y de atracción molecular. Cuando la humedad del suelo es reducida y una gota de lluvia toca la superficie del terreno, las fuerzas moleculares de éste la atraen y hacen que se absorba rápidamente.

calidad del Agua Subterránea

Es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo del agua, con fines de riego de cultivos agrícolas, potable etc., para cuya determinación generalmente se toma como base las características químicas del agua; así como la tolerancia de los cultivos a las sales, las propiedades de los suelos, las condiciones de manejo de los suelos y aguas y las condiciones climatológicas. Aunque la calidad del agua no es una característica inherente de la misma, en algunos casos puede ser definida exclusivamente en base a sus características químicas (Palacios y Aceves 1970).

Davis y De Wiest (1971) comentan que la adquisición de las sales se efectúa durante el proceso de infiltración, dependiendo de la naturaleza del perfil por su desarrollo donde se tiene influencia principalmente de la roca madre y del clima; el proceso de infiltración influye en la disolución de sales procedentes de la descomposición de los materiales solubles por el lavado de los suelos y todas las sales que éste aporta pasan a acuíferos subyacentes con un grado de concentración mayor dependiendo del tipo de terreno.

Por esta razón, el estudio de las propiedades químicas del agua permite ver si es apta o no para un cierto uso o si el tratamiento correctivo necesario es costeable económicamente. Por eso Keith (1973) dice que cuando el agua es de alta salinidad, por lo regular se encuentra en regiones de climas áridos por la escasa precipitación y por el tipo de material que es más salino.

Davis y De Wiest (1971), mencionan que el contenido de sólidos disueltos en las aguas naturales oscila dentro de una amplia gama de valores que van desde menos de 10 ppm hasta 100,000 ppm en el caso de las lluvias y de la nieve hasta más de 300,000 ppm y algunas salmueras. Las aguas destinadas para usos domésticos e industriales deben contener en la mayor parte de los casos menos de 1000 ppm. Pero la clasificación definitiva de la calidad química de un agua en relación con sus diferentes usos, debe de estar basadas en la concentración particular de cada ión y no en la suma total de sólidos disueltos. También Palacios y Aceves (1978) argumentan que se puede medir el efecto de las sales en el agua mediante la conductividad eléctrica expresada en $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C , que es una medida de presión osmótica que ha recibido gran difusión por lo práctico que es.

Custodio y LLamas (1976) indican que la calidad de las aguas subterráneas depende mucho de las condiciones del acuífero, de su litología, de la velocidad de circulación, de la calidad del agua de infiltración, de las relaciones con otras aguas o acuíferos y de las leyes del movimiento de las sustancias transportadas por el agua. Además, las aguas subterráneas tienen la oportunidad de adsorber materiales por las lentas velocidades de circulación, mayor presión y temperatura a las que están sometidas y facilidad de disolver bióxido de carbono del suelo no saturado. Por ello, sus concentraciones salinas son superiores a las de aguas superficiales en general y su calidad queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que pueda causar cada uno de los elementos que contienen o el conjunto de todos ellos, permite establecer las posibilidades de su utilización clasificando así, de acuerdo con límites estudiados de su destino para bebida, usos agrícolas, industriales, etc.

Por otra parte (Benítez 1973) menciona que la mayor parte de las sales solubles encontradas en las aguas subterráneas provienen de la solución de los materiales existentes en las rocas, y que el hecho de estar en contacto con los terrenos que la contienen, desde los tiempos de formación geológica del terreno, hacen que los

contenidos de sales de estas aguas sean muy elevados, pudiendo adsorber además gases de origen geológico que contribuyen a la disolución de los productos minerales de las rocas que lo rodean.

También menciona que el agua subterránea al atravesar rocas ígneas suele disolver sólo pequeñas cantidades de sustancias minerales, debido a la escasa solubilidad de estas rocas. Lo contrario con rocas sedimentarias que son generalmente más abundantes, donde se constituye la mayor proporción de sales.

Rojas et al (1984) señalan que la calidad del agua para riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga, por lo que se debe tener mucho cuidado para prevenir la salinidad o contenido de sodio en las zonas de riego.

La calidad del agua de riego depende principalmente de su contenido de limo y constituyentes salinos. Entre los factores más importantes del agua están la concentración total de sólidos disueltos, la porción de sodio con otros cationes, la presencia de iones especialmente tóxicos, como el boro, sodio, o el bicarbonato. (Thorne y Peterson, 1969).

También mencionan que los constituyentes de la sal se clasifican como álcali blanco (sales neutras) o álcali negro (sales alcalinas cáusticas). En el caso de álcali

blanco, las aguas que contienen más de 2000 ppm de sal, se clasifican como muy inferiores. Cualquier concentración apreciable de álcali negro en el agua la hace más inservible para riego.

Criterios e Indices de clasificación

Palacios y Aceves (1970) mencionan que existen tres criterios de clasificación para juzgar la conveniencia o limitación del empleo del agua con fines de riego de cultivos agrícolas. Estos criterios son: el contenido de sales solubles, el efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos y el contenido de elementos tóxicos para las plantas como se observa en el la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Criterios e índices de clasificación del agua de riego. Palacios y aceves (1970).

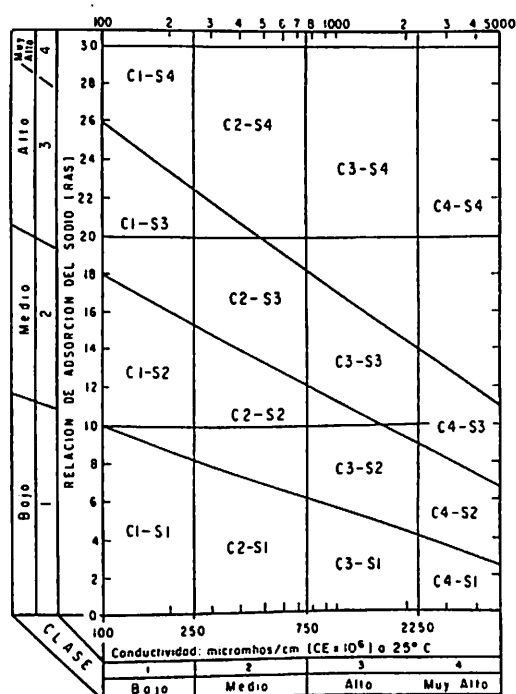
Criterios	Indices	Abreviaturas
Contenido de sales solubles	Conductividad eléctrica Salinidad efectiva Salinidad potencial	C E S E S P
Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo	Relación de adsorción de sodio Carbonato de sodio residual Porcentaje de sodio posible	R A S C S R P S P
Contenido de los elementos Tóxicos para las plantas	Contenido de boro Contenido de cloruros	B Cl

Como se sabe, el efecto de las sales solubles se debe a que producen presiones osmóticas en la solución del suelo que está en contacto con las raíces de las plantas, que al pasar de ciertos valores de concentración salina en la solución del suelo ocasionan disminuciones en los rendimientos o pérdida total de las cosechas; estos efectos son diferentes para distintos cultivos y etapas de desarrollo Palacios y Aceves (1970).

Palacios y Aceves (1970) mencionan que los índices para medir el efecto de las sales solubles en el agua de

riego es la conductividad eléctrica, ésta generalmente se expresa en micromhos por centímetro a 25°C, ahora obsoleta, siendo la medida preferida hoy en día microcisiemen por centímetro la cual es una medida indirecta de la presión osmótica que ha recibido una gran difusión, debido a la facilidad y rapidez con que puede ser medida. En base a esto, existen clasificaciones de agua y la tolerancia de los cultivos a las sales expresadas en términos de conductividad eléctrica (anexo 10-A), por lo que el Laboratorio de Salinidad de E.U.A. (1985) establece cuatro tipos de clasificación de las aguas con respecto a su conductividad eléctrica y el índice de adsorción de sodio (RAS) como se observa en la figura 2.1, haciendo los siguientes comentarios sobre la conveniencia o limitación en el empleo de aguas en diferentes suelos.

Figura 2.1 Diagrama para la clasificación de las aguas de riego por su $CE \times 10^6$ y por su RAS (L S E.U.A, 1985)



La conductividad eléctrica es el recíproco de los ohm, así ohm^{-1} es conocido como mho. En el sistema internacional de unidades, los mhos son designados como siemens (S). Las medidas de conductividad son hechas en una celda que contiene dos electrodos de geometría definida. Un potencial eléctrico cruza los electrodos y la resistencia de la solución entre los electrodos es medida. Los resultados se multiplican por la constante de la célula para corregir la geometría, permitiendo reportar los datos como conductividad específica (CE), esto es la conductividad por unidad de volumen (1 cm^3) de solución en siemens (S) por cm. El siemen es demasiado grande para medir la CE en la mayoría de los sistemas naturales. De aquí que, las unidades de trabajo sea en milisiemen ($\text{S} \times 10^{-3}$) por cm, esto es mS/cm . Debido a que la longitud básica en la conversión de unidades internacionales es el metro, la medida preferida para la CE es el decisiemen por metro (dS/m) (Kenneth k. 1990).

Agua de baja salinidad (C1): puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero éste se logra en

Agua de salinidad media (C2): debe usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Agua altamente salina (C3): no debe usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad debiendo, por tanto, seleccionarse únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

Agua muy altamente salina (C4): No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado. En este caso, se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales.

Agua baja en sodio (S1): Pueden usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Agua media en sodio (S2): en suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, más aún si dichos

suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contenga yeso. Estas aguas solo deben usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

Agua alta en sodio (S3): pueden producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que éstos necesitarán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riega con este tipo de aguas. Puede requerirse el uso de mejoradores químicos para sustituir al sodio intercambiable; sin embargo, tales mejoradores no serán económicos si se usan aguas de muy alta salinidad.

Agua muy alta en sodio (S4): es inadecuada para riego, excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso u otro mejoradores no hacen antieconómico el empleo de esta clase de aguas.

El criterio fundamental y el más determinante sobre la calidad del agua de riego es tomando en cuenta la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) debido a que el sodio influye sobre las características físicas del suelo. El Personal de

Laboratorio de Salinidad de los E.U.A. (1985) señalan que cuando las aguas de riego contienen cantidades considerables de sodio en solución, éste se acumula paulatinamente en el suelo y al alcanzar ciertas concentraciones elevadas en relación con los otros cationes disueltos, sea por acumulación de sodio o por precipitación de calcio y magnesio, sustituye a estos del complejo de intercambio ocasionando un desequilibrio eléctrico de la micela coloidal en que deja cargas negativas residuales, por lo que las partículas se repelen y como consecuencia el suelo se deflocula; a causa de esto, la permeabilidad del suelo, el aire y el agua disminuye favoreciendo la formación de costras, por lo que impide el desarrollo normal de los cultivos.

Para calcular la RAS se usa la siguiente fórmula:

1

$$RAS = \sqrt{\frac{Na}{Ca + Mg}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Otro índice de clasificación es la salinidad efectiva (SE) la cual representa una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a

formar parte de la solución del suelo, pues toma en cuenta la precipitación ulterior de la sales menores solubles tales como carbonatos de calcio y magnesio y sulfato de calcio, los que por consiguiente, dejan de participar en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo. Palacios y Aceves (1978) afirman que este proceso es más notable cuando las aguas tienen un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos.

Las fórmulas para calcular la SE son las siguientes:

Si $Ca > CO_3 + HCO_3 + SO_4$, entonces:

$$SE = \Sigma \text{ cationes} - (CO_3 + HCO_3 + SO_4) \dots\dots\dots (2.1)$$

Si $Ca < CO_3 + HCO_3 + SO_4$; pero $Ca > CO_3 + HCO_3$, entonces:

$$SE = \Sigma \text{ cationes} - Ca \dots\dots\dots (2.2)$$

Si $Ca < CO_3 + HCO_3$; pero $Ca + Mg > CO_3 + HCO_3$; entonces:

$$SE = \Sigma \text{ cationes} - (CO_3 + HCO_3) \dots\dots\dots (2.3)$$

Si $Ca + Mg < CO_3 + HCO_3$; entonces:

$$SE = \Sigma \text{ cationes} - (Ca + Mg) \dots\dots\dots (2.4)$$

También consideran la salinidad potencial (SP) como otro de los índices que infiere que cuando la humedad aprovechable del suelo disminuye a niveles inferiores del 50 por ciento, las últimas sales que quedan en solución son los cloruros y parte de los sulfatos y precisamente estos

criterios permiten estimar el peligro de estas sales que quedan en solución, a bajos niveles de humedad y que aumentan considerablemente la presión osmótica y por esta razón la salinidad potencial es uno de los mejores estimadores del efecto de las sales sobre las plantas y para su clasificación mencionan tres condiciones para determinar la clase de agua de acuerdo a su SE y SP como se observa en la tabla 2.5 y 2.6.

La fórmula para calcular la salinidad potencial es como sigue:

$$SP = Cl + 1/2 SO_4 \dots \dots \dots (2.5).$$

Tabla 2.5. Clasificación de las aguas de riego, de acuerdo con su SP y SE. Palacios y Aceves (1970).

Clase	SE y SP en meq/l
Buena	Menos de 3
Condicionada	de 3 a 15
No recomendable	más de 15

Tabla 2.6. Clasificación de las aguas de riego, de acuerdo a su SP y SE, considerando condiciones del suelo. Palacios y Aceves (1970).

Condición del suelo	C L A S E S		
	Primera	Segunda	Tercera
Textura pesada, velocidad de infiltración básica (menos de 0.5 cm/h) Nivel freático poco profundo	Menos de 3	De 3 a 5	Más de 5
Textura media, velocidad de infiltración básica media (de 0.5 a 2 cm/h) Nivel freático poco profundo	Menos de 5	De 5 a 10	Más de 10
Textura ligera, velocidad de infiltración básica alta (más de 2cm/h) Nivel freático poco profundo	Menos de 7	De 7 a 15	Más de 15

Otro de los criterios que mencionan Palacios y Aceves (1978) es el carbonato de sodio residual (CSR). Cuando en el agua de riego, el contenido de carbonatos y bicarbonatos es

mayor que el de calcio y magnesio, existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio, debido a que, por su alta solubilidad, puede permanecer en solución aún después de que han precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. En estas condiciones, la concentración total y relativa del sodio puede ser suficiente para desplazar al calcio y magnesio del complejo de intercambio, produciendo la defloculación del suelo. También mencionan el porcentaje de sodio posible (PSP) que marca el peligro de sodificación del suelo. El peligro del desplazamiento del calcio y el magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, empieza cuando el contenido de sodio en solución representa más de la mitad de los cationes disueltos. Para su clasificación de acuerdo a su CSR y PSP se usan las tablas 2.7 y 2.8, respectivamente.

Las concentraciones de CSR y PSP se calculan con las siguientes fórmulas:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg}) \dots \dots \dots (2.7).$$

$$\text{PSP} = (\text{Na}/\text{SE}) * 100 \dots \dots \dots (2.8).$$

Tabla 2.7. Clasificación de las aguas de riego de acuerdo con el CSR. Palacios y Aceves (1970).

Clase	Valor del CSR en meq/l
Buena	Menos del 1.25
Condicionada	De 1.25 a 2.50
No recomendable	Más de 2.50

Tabla No. 2.8. Clasificación del agua de acuerdo al PSP.
Palacios y Aceves (1970).

Clase	Valor del PSP
Buena	Menos del 50
Condicionada	Mayor del 50

Otro de los parámetros que se usan para ver la acidez o alcalinidad del agua es el pH, el cual es definido según Custodio y Llamas (1976) por la cantidad de gases de CO_2 disuelto y por los carbonatos y bicarbonatos de las sales minerales. Por eso la lectura debe de ser tomada inmediatamente como sea posible debido a que se pierde rápidamente. De otra manera se deduce que una muestra de agua que se tome de un pozo no representa el verdadero carácter químico del agua del acuífero por lo que es necesario realizarlo en el campo.

La mayoría de las aguas subterráneas según Pizarro (1975) tienen un pH entre 6.5 y 8.0 por la presencia de CO_2 y carbonatos disueltos. Este índice es de poca importancia por si mismo, más sin embargo, Limón (1988) establece que el principal uso del pH, es que permite una evaluación rápida de la posibilidad de que el agua no sea adecuada, sabiendo que el rango normal del agua para riego su pH es de 6.5 a 8.4, las aguas con valores fuera de este rango

pueden ser usadas, pero también se puede sospechar que debido a su uso puedan originar algunos problemas relacionados con la nutrición o toxicidad de las plantas.

Stednick (1991) establece que para una mejor interpretación de los componentes del agua (cationes y aniones) es recomendable utilizar el diagrama de Stiff el cual consiste en graficar los cationes y aniones formando un polígono y de acuerdo a los vértices que sobresalgan es el tipo de agua a la que pertenece dicha muestra.

Custodio y Llamas (1976) mencionan que los diagramas Triangulares o de Piper son ideales para representar tres componentes en cada uno de los vértices del triángulo equilátero, graficando los componentes de las muestras en porcentaje, ubicando un punto en el lugar donde se crucen los valores de cada componente y prolongando los puntos de cada uno de los triángulos al rombo para saber a que familia pertenece (figura 2.2). Se exige que los aniones estén reducidos a porcentaje y sólo permite reunir 3 aniones y tres cationes, a cada vértice corresponde al 100 porcentaje de ambos.

El diagrama de Schoeller es un diagrama logarítmico donde se disponen varias semirectas verticales paralelas igualmente espaciadas. A cada semirecta se le asocia un anión o un catión y se representan a partir de un origen,

se emplean concentraciones absolutas en me/l y todas las columnas tienen las potencias de 10 en la misma horizontal, pero para facilitar la representación se aísla una columna con esta graduación y las otras se expresan en ppm para lo cual basta tener otra escala logarítmica del mismo módulo pero colocada de modo que la división que valga el peso equivalente del ion quede en la misma horizontal que el uno de la escala de me/l.

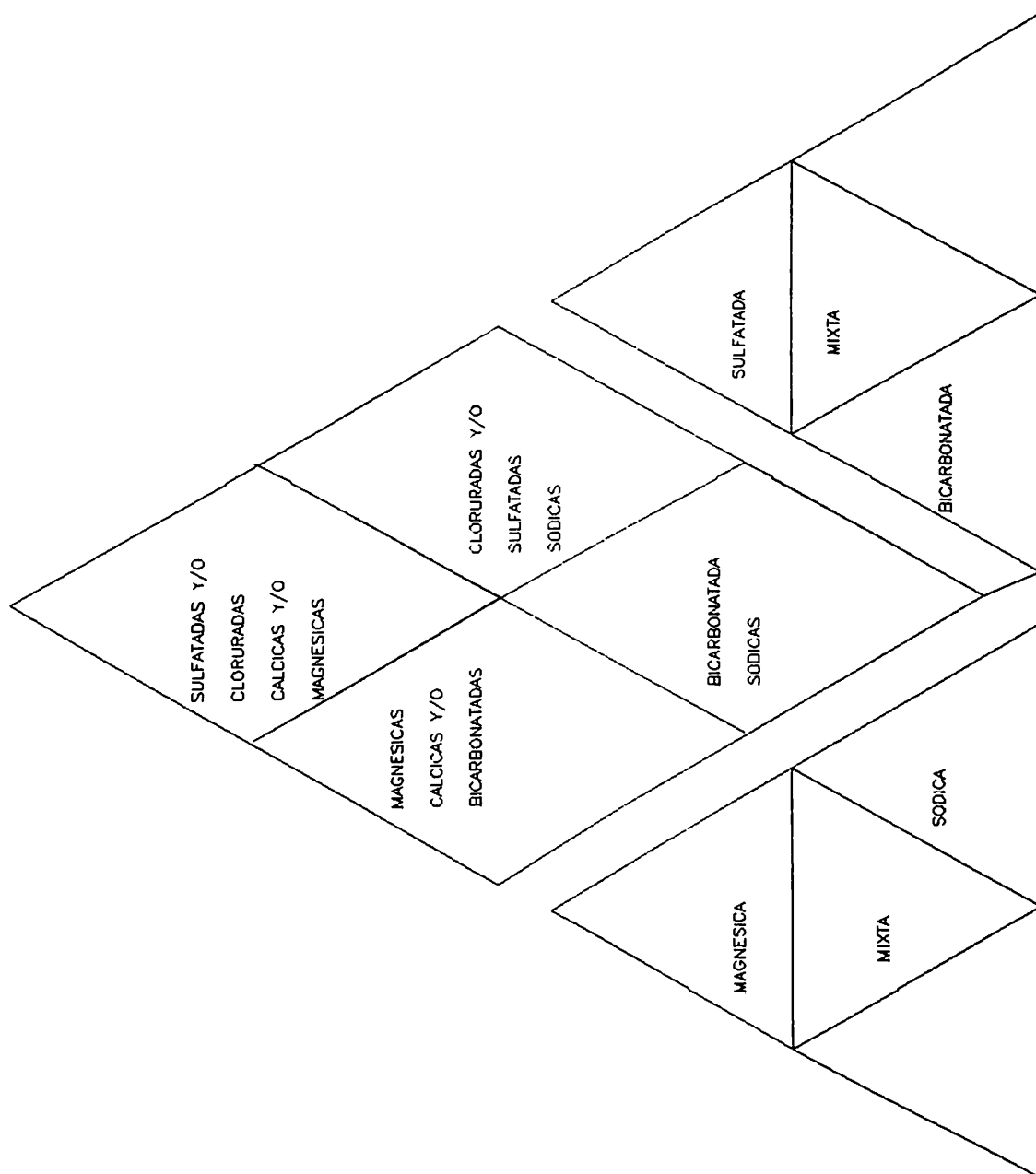


FIGURA 2.2 FAMILIAS DE AGUAS (Piper 1953)

MATERIALES Y METODOS

LOCALIZACION

De acuerdo a la SARH (1984), los terrenos del Ejido El Tunal, se localiza en la región sur-oriental del Estado de Coahuila, (Figura 3.1) a una altura media sobre el nivel del mar de 2360 metros, a una longitud oeste de $100^{\circ} 36' 00''$ y a una latitud norte de $25^{\circ} 25' 30''$.

GEOLOGIA

Fisiografía

Fisiográficamente la zona de estudio se localiza dentro de la provincia de la Sierra Madre Oriental con una superficie de 3,698 Has. (Figura 3.2) (SARH, 1984).

La misma dependencia establece que la provincia fisiográfica de la sierra madre oriental se inicia tectónicamente en la subprovincia de la antigua zona lacustre, donde el gran espesor de los sedimentos lacustre la sepulta, dándole una fisonomía distinta y es hasta la Sierra de Mapimí, donde empieza a observarse la continuidad que se observan hasta el Istmo de Tehuantepec, y la mayor característica de esta provincia es la angostura

que presenta la cual raramente alcanza una anchura transversal de más de 50 km .

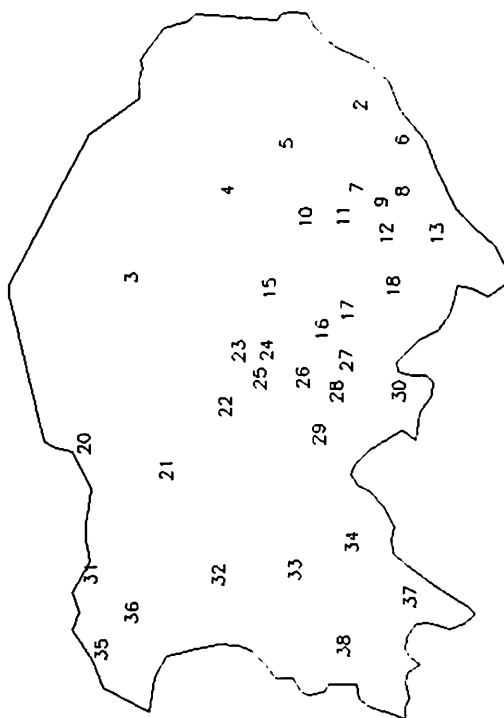


FIGURA 3.1. DIVISION POLITICA DE COAHUILA

- | | | |
|---------------------|--------------------|---------------------|
| 1- Acuña | 2-Jiménez | 3- Ocampo |
| 4- Muzquiz | 5- Zaragoza | 6- P. Negras |
| 7- Morelos | 8- Nava | 9 - Allende |
| 10- S.J. de Sabinas | 11- Nueva Rosita | 12- Villa Unión |
| 13- Guerrero | 14- Sierra Mojada | 15- S. Buenaventura |
| 16- Escobedo | 17- Progreso | 18- Juárez |
| 19- Hidalgo | 20- Fco. I. Madero | 21- S. Pedro |
| 22- Cuatro Ciénegas | 23- La Madrid | 24- Nadadores |
| 25- Sacramento | 26- Frontera | 27- Abasolo |
| 28- Monclova | 29- Castaños | 30- Candela |
| 31- Matamoros | 32- Parras | 33- Gral. Cepeda |
| 34- Ramos Arizpe | 35- Torreón | 36- Viesca |
| 37- Arteaga | 38- Saltillo | |



FIGURA 3.2 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

Estratigrafía

La región de estudio se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias marinas y continentales que van desde la parte alta del Jurásico hasta el Cuaternario reciente observándose en particular las siguientes formaciones: Grupo la Casita, Taraises, Cupido, la Peña, Tamaulipas superior y los depósitos granulares del cuaternario reciente, con formaciones aflorantes en el área, edad y pisos, su espesor probable, así como sus principales rasgos litológicos como se observa en la tabla 3.1 dictada por la SARH en 1984

TABLA 3.1. Formaciones aflorantes. SARH (1984)

Formación	Piso	Espe- sor	Litología
Jurásico superior: Grupo la Casita	Kimmeridgi ano tithoniano	550	Calizas arenosas, areniscas y lutitas
Cretácico			
Taraises	Neocomiano	240	Calizas y limolitas calcáreas
Cupido	Neocomiano- aptiano	490	Calizas
La peña	Aptiano	25	Calizas arcillosas lutitas y limolitas calcáreas
Tamaulipas superior	Albiano	150	Calizas
Aluvión	Cuaternario resiente	150	Gravas y arenas empacadas en una matriz y arcillosas

Geología Histórica

A principios del Jurásico Superior las aguas marinas del Mesozóio, penetraron en los sitios del Geosinclinal Mexicano y del Golfo de Sabinas. Después de extenderse rápidamente, fueron parcialmente restringidas por los movimientos ascendentes de las masas terrestres contemporáneas, de modo que se desarrollaron condiciones

lagunares semicerradas al principio del Oxfordiano (SARH, 1984).

Durante el Kimmeridgiano Medio, las aguas marinas vuelven a avanzar generalmente sobre las áreas negativas, distribuyendo ampliamente plásticos finos oscuros, carbonosos, bajo condiciones reductoras y restringidas.

Las condiciones restringidas en ambientes sedimentarios y las interrupciones en la sedimentación durante el Kimmeridgiano, así como la entrada de clásticos gruesos en los mares, a fines del portlandiano están relacionados con las etapas de movimientos del Jurásico Superior. Al final del Jurásico, las aguas marinas se retiran ligeramente de las áreas marginales, pero pronto regresa a principios del Cretácico Inferior. Al final del Jurásico, las aguas marinas se retiraban ligeramente de las áreas marginales, pero pronto regresan a principios del Cretácico inferior (SARH, 1984).

Así mismo menciona que la sedimentación de principios del cretácico inferior, en el geosiclinal mexicano y en toda la parte oriental del golfo de Sabinas, esta caracterizada por una mezcla de clásticos finos y de lodos calcáreos estos materiales finos posiblemente se derivaron de las áreas terrestres que sufrieron, cuando menos local y marginalmente un rápido levantamiento a principios del

cretácico. Durante el neocomiano superior y la parte más inferior del aptiano, el hundimiento continuo en las áreas negativas y se depositó un gran espesor de lodos calcáreos en la parte oriental del golfo de Sabinas y en el geosiclinal mexicano.

A principios del aptiano, tuvo lugar una marcada disminución de la profundidad de los mares, indicada por un depósito general de calizas de rudistas, en aguas someras y calcarenitas riolíticas, junto con conglomerados intraformacionales que constituyen los estratos mas altos del grupo Nuevo León (SARH, 1984).

Durante el aptiano superior, hubo una entrada considerable de clásticos finos, como lo indica la amplia distribución de lutitas y margas de la formación la peña, posiblemente estos materiales representen sedimentos derivados de suelos en las arenas de tierras bajas, que sufrieron súbitos movimientos marginales durante esta época (SARH, 1984).

Por otra parte, la misma dependencia establece que todo el norte de México estuvo cubierto por mares del albiano y del senomiano inferior, que depositaron lodos finos en las arenas geosinclinales y bancos de rudistas, en aguas someras sobre lo que fueron los bordes de la península de Coahuila. Hacia el final de la parte inferior del

cenomaniano, los mares disminuyeron en profundidad y se retiraron localmente en el norte de México. Aunque los mares de principio del cretácico superior, cubrieron todo en el este de México, un incremento en el contenido de arena de los depósitos en la parte occidental del geosinclinal Mexicano, mas un contenido universal de material piroclásico en los depósitos de esta edad, sugieren que se eleva un continente en la parte occidental de México, acompañado por vulcanismo intermitente.

A lo largo de los bordes de las antiguas áreas peninsulares, empezaron a desarrollarse antefosas conjuntamente con la elevación y plegamientos de las masas terrestres, en las antiguas áreas geosinclinales, por ello durante el campaniano y el maestrichtiano se acumularon grandes cantidades de sedimentos clásticos en la cuenca de parras, que se hundía rápidamente en forma de depósitos de lodos y clásticos gruesos, alternando con turberas en la fosa de cuenca carbonífera de Sabinas, que se hundía también (SARH, 1984).

Geología Estructural

Los elementos mesozóicos que el elemento positivo paleogeográfico llamado Isla o península de Coahuila, han sido deformadas intensamente. Se ha postulado que este

elemento positivo no cedió ante las fuerzas compresivas del disturbio larámide, lo que causó que los sedimentos que lo rodean (cuenca de Parras), se deformaran en pliegues estrechos, también hacia el sur formando pliegues isoclinales en abanico, doblemente recurrentes, con orientación preferencial E-W . El diastrofismo que tuvo lugar en el norte de México, alcanzó la mayor actividad durante el cretácico superior y es responsable de la mayor parte de las estructuras ahora observables, aunque movimientos ocurridos durante el terciario, han sido responsables de algunas estructuras mas jóvenes (SARH, 1984).

También menciona que los terrenos del Ejido el Tunal se localizan en la porción meridional del anticlinario de Arteaga, el cual corresponde al área norte de la curvatura de Monterrey, caracterizada esta región por sus pliegues apretados asimétricos, con planos axiales casi verticales que varían en longitud de 15 a 60 km aproximadamente y que incluye a todos los anticlinales existentes, desde las Mitras al norte, hasta el de Jamé al sur, sumando un total de 11 estructuras, contándose entre ellas el del Chorro el cual se extiende desde el poblado de Bella Unión al este y formado su núcleo por estratos de la formación la casita. Este anticlinal se presenta en su parte occidental como un gran pliegue de Caja

simétrico, mientras que en su parte oriental asume también la forma de un pliegue de caja pero recostado hacia el noreste, éste pliegue se encuentra abierto dando lugar a lo que se conoce como Potrero.

Hidrología De Superficie

Clima

Según la SARH, (1984) el clima de la región, según la clasificación climática de Köppen, modificada por E. García en 1964, para adaptarla a las condiciones particulares de la República Mexicana, corresponde a la fórmula BSkw(x), el cual pertenece al grupo de los climas secos, siendo el menos seco de este grupo, templado con verano cálido, temperatura media anual entre los 12°C y 20°C, la del mes más frío entre 5.5°C y 10°C, con un régimen de lluvias en verano, y una precipitación promedio anual de 385.32 mm.

Como referencia se tomaron los datos climatológicos de la estación meteorológica de el Ejido el Tunal (tabla 3.2), con una latitud de 25° 25' 16" N y una longitud de 100° 38' 09" W.

Tabla 3.2. Datos climatológicos de el Ejido el Tunal, Arteaga, Coahuila (1982 - 1995).

Mes	Precipitación	Temperatura
Enero	18.53	8.76
Febrero	16.08	9.31
Marzo	12.08	11.45
Abril	22.08	14.15
Mayo	41.68	17.21
Junio	39.23	16.25
Julio	58.77	17.38
Agosto	68.73	17.24
Septiembre	55.15	15.71
Octubre	14.92	13.14
Noviembre	14.46	11.12
Diciembre	22.00	8.62

Escorrentamiento Superficial

La zona de estudio, se localiza en la región hidrológica No. 24, denominada Cuenca río San Juan. Presenta un drenaje de tipo consecuente a subdendítico los cuales no llegan a formar ningún arroyo en las partes bajas (SARH, 1984).

Geohidrología

El agua subterránea tiene lugar tanto en materiales rocosos consolidados así como en cualquier tipo de roca

sedimentaria, ígnea o metamórfica pudiendo constituir un acuífero si es lo suficientemente porosa o permeable (SARH, 1984).

Parámetros Físicos

Vías de comunicación

La principal vía de comunicación la ofrece la carretera federal No. 57 Saltillo-San Luis Potosí, así como la carretera estatal Los Chorros-Los Lirios y los caminos de mano de obra que unen a las carreteras estatales y federales con las rancherías que se localizan en la zona (SARH, 1984).

Actividades Económicas

Los habitantes del Ejido el Tunal se dedican principalmente a la fruticultura, especialmente al cultivo del manzano, quedando en segundo término en la agricultura la producción de básicos, siendo este último prácticamente para el autoconsumo (SARH 1984).

Ubicación de los pozos

El área en estudio cuenta con 74 pozos activos, los cuales fueron localizados en la carta geológica G14C35 de San Antonio de las Alazanas, escala 1:50,000 de CETENAL

(1976) enumerándolos del 1 al 74 como se observa en el anexo 1-B.

Muestreo

Para el muestreo se tomaron en cuenta la composición del terreno con ayuda de la carta edafológica G14C35 de San Antonio de las Alazanas, esc. 1:50,000 de CETENAL (1976), seleccionando 12 pozos de acuerdo a los lugares más accesibles y sacando las coordenadas geográficas de cada uno como se observa en la figura 3.3.

En el transcurso del tiempo se lograron realizar cuatro muestreos, las muestras se tomaron cada mes y medio aproximadamente en frascos de plástico de un litro, etiquetándolas con las claves que la C.N.A. ha clasificado a los pozos, nombre de la huerta o propiedad a la que pertenecen y fecha de muestreo, trasladándose éstas al Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro para su análisis químico.

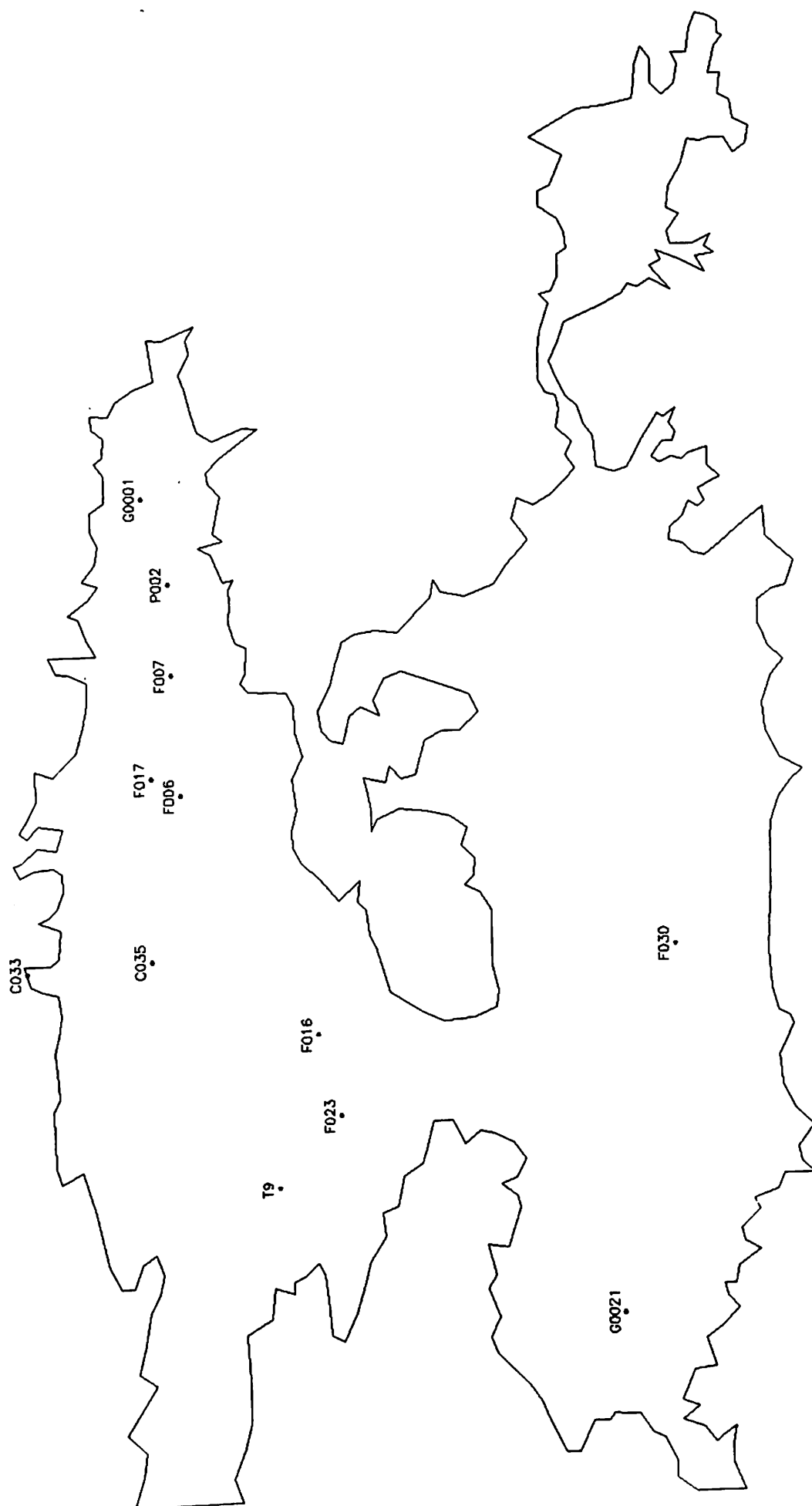


FIGURA 3.3. UBICACION DE LOS POZOS MUESTREADOS

DISCUSION Y RESULTADOS

En cada toma se midió el nivel del espejo del agua de los pozos con la ayuda de una sonda eléctrica graduada cada 5 metros con una longitud total de 180 metros.

Al momento de tomar las muestras se determinó la conductividad eléctrica con un conductivímetro al igual que en el Laboratorio.

En el Laboratorio se determinó también el pH por el método del potenciómetro, los iones Ca, Mg, CO_3 , HCO_3 , Cl, por el método de titulación, SO_4 por el método gravimétrico y las determinaciones de Na y K por el método de absorción atómica.

Para la clasificación de las muestras se calcularon la SE usando las fórmulas 2.2, 2.3 y 2.4, SP con la fórmula 2.5, RAS, con la fórmula 2.6, CSR con la fórmula 2.7 y el PSP con la fórmula 2.8 donde todos los conceptos son expresados me/l., (Tablas 1-9 del anexos), y su clasificación utilizando las tablas 2.5, 2.7, 2.8 y la figura 2.1.

Las características químicas y biológicas del agua, determinan su utilidad para los usos industrial, agrícola y doméstico. La calidad del agua tiene una función directa

en la concentración de sales, por lo que fueron determinadas en sus diversos índices.

Potencial Hidrógeno (pH)

Los valores mas elevados de pH se encuentran al norte del área con un valor de 7.51 el más alto y el más bajo al noreste con un valor de 6.38, por lo que se observan aguas más alcalinas en la parte norte del área de estudio (figura 2-B del anexo).

Conductividad Eléctrica (CE)

Las áreas más afectadas en salinidad alta son los pozos C0033, C035, F017, F016, F006, F007, G0001, P002 Y T9 con una conductividad entre 750 y 2250 $\mu\text{s}/\text{cm}$ que corresponde aproximadamente a 480 - 1440 mg/l de sólidos disueltos, mientras que los pozos F023, F030 y G0021 se encuentra en un rango de 250 a 750 $\mu\text{s}/\text{cm}$ de salinidad media correspondiendo a 160 - 480 mg/l de sólidos disueltos aproximadamente como lo establece el Laboratorio de Salinidad de los E.U.(1985). Estas concentraciones se observan en la tabla 4.1, 4.2 y en la figura 3-B del anexo.

Tabla 4.1. Condición química del agua subterránea del Ejido El Tunal

Pozo	SE	SP	RAS	CSR	PSP	CE en μ/cm
C033	7.64	7.64	0.55	0.00	16.03	1001.3
C035	8.92	8.92	0.55	0.00	17.33	1535.5
F017	7.15	7.15	0.40	0.00	16.43	
G0001	5.14	5.14	0.28	0.00	14.79	1308.2
F016	5.99	5.99	0.42	0.00	15.19	1310.0
F023	3.82	3.82	0.59	0.00	31.16	922.0
T9	5.54	5.54	0.52	1.56	15.70	673.0
P002	9.47	9.47	0.80	0.00	24.29	802.0
F007	10.61	10.61	0.35	0.00	12.25	1710.0
G0021	5.25	5.25	0.40	0.14	12.10	1616.5
F006	3.86	3.86	0.24	0.00	18.39	369.5
F030	3.27	3.27	0.61	0.00	26.91	1860.0
						456.0

Salinidad Efectiva Y Salinidad Potencial

Estos parámetros se pueden estimar de manera más real al peligro potencial de sales del agua.

En cuanto a la salinidad efectiva todos los pozos muestreados se encuentran en el rango de agua condicionada y en base a su SP, los pozos C033, C035, F017, G0001, F016, P002, F007, F006 se clasifican como agua condicionada mientras que los pozos F023, T9, G0021 y el F030 se clasifican como agua buena para riego como se observa en la tabla 4.2.

Por Ciento De Sodio Posible (PSP)

Cuando abunda el sodio, existe la posibilidad de que desplace al Ca y al Mg, esta calidad química del agua se clasifica como PSP el cual está referido a la SE y en base a este índice el agua se considera buena para riego ya que no sobrepasa el 50 por ciento de sodio posible como se puede observar en la tabla 4.1.

Carbonato De Sodio Residual (CSR)

En base al CSR el agua de los pozos es buena para riego a excepción del T9 se establece en el rango de agua condicionada como se puede observar en la tabla 4.2.

CLORUROS

Estos iones son fitotóxicos en concentraciones altas en frutales, por lo que es necesario tomarlos en cuenta en los análisis de salinidad. En base a este ión se clasificó el agua de los pozos encontrándose buenas para riego excepto el pozo C033 que se encontró como condicionada de acuerdo a Palacios y Aceves (1970) que clasifica el agua como buena con menos de 1 me/l, condicionada de 1 a 5 me/l y no recomendable con más de 5 me/l. Estas concentraciones se pueden observar mejor en la figura 10-B del anexo.

RELACION DE ADSORCION DE SODIO (RAS)

Es uno de los parámetros para medir la sodificación del agua, para saber si es apta para el riego.

Las muestras analizadas indican que el agua es baja en sodio (S1) como se observa en la tabla 4.2

Tabla 4.2. Clasificación del agua subterránea del Ejido El Tunal

Pozo	SE	SP	CSR	PSP	RAS Y CE
C033	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
C035	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F017	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
G0001	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F016	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F023	Cond	Buena	Buena	Buena	C3 - S1
T9	Cond	Buena	Cond	Buena	C3 - S1
P002	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F007	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
G0021	Cond	Buena	Buena	Buena	C2 - S1
F006	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F030	Cond	Buena	Buena	Buena	C2 - S1

Solidos Totales Disueltos

Los sólidos totales disueltos son residuos que se dan al evaporarse cierta cantidad de agua. Este valor es arbitrario, ya que durante la evaporación de la muestra, los sólidos volátiles se pierden, los bicarbonatos se convierten en carbonatos y se retienen cantidades de agua de cristalización que no alcanza a evaporarse.

Bicarbonatos (HCO_3)

Este anión se forma principalmente por la presencia de CO_2 en el agua, en la cual se encuentra formando ácido carbónico, que a su vez se disocia con el hidrógeno y bicarbonato.

En la zona de estudio, las concentraciones del anión HCO_3 varía de 170 a 391 partes por millón, siendo las menos afectadas la de los pozos G0001, F030, y F007. como se observa en la figura 7-B y 8-B del anexo. De acuerdo a la interpretación del diagrama de Piper los aprovechamientos F023, T9, G0021 y F030 caen dentro de las aguas bicarbonatadas.

Calcio (Ca)

Los análisis de las muestras indican la presencia de calcio en valores que van de 46 a 465 ppm, siendo los menos afectados los pozos F030, G0021, F023, T9, C033, y F016. (figura 4-B del anexo).

La presencia de este ión se debe a la disolución del carbonato de calcio que presenta la roca caliza. Los aprovechamientos quedan dentro de las aguas cálcicas.

Sulfatos (SO_4)

Este anión contenido en el agua subterráneas (Custodio y Llamas 1976) proviene principalmente del yeso o de la anhidrita (sulfato de calcio) o puede derivarse también de la oxidación de la pirita (sulfato de hierro). Las concentraciones de este anión van de 122 a 817 ppm como se observa en la figura 9-B del anexo.

La mayoría de los pozos se encuentran en la clasificación de aguas sulfatadas a excepción de los aprovechamientos F023, T9 y F030.

El sodio junto con el calcio y magnesio corresponden a los principales cationes encontrados en la naturaleza.

En la zona de trabajo las concentraciones de Na van de 14 a 53 ppm (Figura 6-B del anexo), y las de Mg van de 4 a 49 ppm siendo las más afectadas la de los pozos C033, C035, F016, F023, F007 Y F006. (Figura 5-B del anexo).

Familias De Aguas

De las clasificaciones para riego la mayoría de las muestras se agrupan dentro de salinidad alta con poco sodio excepto los aprovechamientos G01021 y F030 que caen en salinidad media con poco sodio.

En los diagramas de Piper y Stiff (Fig. 11-B y Figuras 13-B a 24-B del anexo) se observa que la mayoría de las

muestras de agua caen en la clasificación de aguas cálcicas-sulfatadas a excepción de los aprovechamientos G0021, T9 y F030 que caen en la clasificación de aguas cálcicas-bicarbonatadas esto se puede apreciar mejor el diagrama de Schoeller (figura 12-B del anexo).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del estudio de la calidad del agua subterránea en el ejido el Tunal municipio de Arteaga, Coahuila se llega a las siguientes conclusiones.

En base al pH se considera que el agua es buena para fines del riego ya que los valores oscilan entre 6.5 y 7.5 por lo que no existen problemas de toxicidad para las plantas como lo menciona Limón (1988); de acuerdo a la interpretación del diagrama de Wilcox o diagrama para la clasificación del agua de riego se observa que el 75 por ciento pertenece a la clase C3-S1 y el 25 por ciento a la clase C2-S1 por lo que se concluye que el agua es de mala calidad encontrándose la de mejor calidad al suroeste del área en estudio. por otra parte, en cuanto a su SE el 100 por ciento es de buena calidad y condicionada para el PSP, para la salinidad potencial el 66.66 por ciento es condicionada y el 33 por ciento buena, para el contenido de CSR el 91.6 por ciento es de buena calidad y el 8.33 condicionada.

Los cationes y aniones que más predominan son el Ca, CO₃, HCO₃ Y SO₄, las concentraciones mas altas se encuentran en la parte norte y este del Ejido el Tunal,

donde se encuentran la formación la casita y taraises las cuales están constituidas por calizas, areniscas y horizontes yesíferos por lo que dan como resultado un agua de mala calidad por los altos contenidos de sales, encontrándose un agua menos salina en la parte suroeste. En cuanto a los elementos tóxicos para las plantas las concentraciones más altas de Cl se localizan en la parte norte.

De acuerdo a la interpretación de los diagrama de Piper y de Schoeller se observa que el 75 por ciento pertenece a la familia de aguas cálcicas sulfatadas y el 25 por ciento a aguas cálcicas Bicarbonatadas esto se comprueba mejor en los diagramas de Stiff observando los vértices que mas sobresalen del polígono.

De acuerdo a su CE se recomienda que el agua de los pozos C0033, C035, F017, F016, F006, F007, G0001, P002 Y T9 no se deben usar para el riego en suelos con drenaje deficiente; establecer cultivos tolerantes a la salinidad y controlar la salinidad del agua; el agua de los pozos F023, F030 y G0021, puede usarse con un grado de lavado sin excesivo control de la salinidad se puede cultivar en la mayoría de los casos con plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Como se mencionó anteriormente el agua de los pozos de acuerdo a su SE, SP, CSR, y PSI, se clasificaron como BUENA las cuales pueden ser utilizadas para el riego en la gran mayoría de los cultivos, en la generalidad de los suelos, con el mínimo de cuidados en el manejo de suelos y aguas, CONDICIONADA, respecto a este término, la calidad del agua no puede ser definida en base exclusivamente a sus características químicas; en este caso se requiere información adicional sobre cultivos y suelos en los que va a ser empleada, así como sobre las condiciones de manejo del suelo y agua y condiciones climatológicas a las condiciones dominantes de una zona de riego y de acuerdo a la tolerancia del cultivo, permeabilidad y condiciones del suelo, podrán finalmente decidirse si el agua es buena o no recomendable para esas condiciones.

BIBLIOGRAFIA

- Braticevic D., J.Karanjac. Mr. Galani. 1995. Ground water for windows (GWW). Software (ver. 1.10). Propiedad de UNITED NATIONS. New York
- Benítez A., 1972. Captación de aguas subterráneas. 2ª Ed. Editorial Dossat S. A. Madrid, España.
- Castany G., 1978. Tratado Práctico de las aguas subterráneas. 1ª Edición. Ed. Omega S. A. Madrid, España 24-80 p.
- CETENAL 1976. Carta Hidrológica de aguas subterráneas. Comisión de estudios del territorio Nacional. Carta G14C35 de San Antonio de las Alazanas, esc. 1:50,000.
- CETENAL 1976. Carta Geológica G14C35 de San Antonio de las Alazanas, esc. 1:50,000.
- Custodio E., Y M. R. Llamas 1976. Hidrología subterránea. 2ª Ed. Editorial Omega, Barcelona, España. 2359 p.
- Clarke F., W. 1924. Data of geochemistry; U. S. Geol. Survey Bull 593 - 770 p.
- Davis S., N. y R. de Wiest. 1971. Hidrología. Ed. Ariel S. A. Barcelona, España 563 p.
- De la Peña Y., 1963. Metodología establecida para la determinación y solución de los problemas de drenaje en los distritos de riego de la República Mexicana. S.A.R.H., Memorándum Técnico N0. 341 Mex. D. F.

- García E., 1964. Modificaciones al sistema de clasificación Climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 1ª Ed. UNAM, Mex. D. F.
- Johnson E., 1975. El agua subterránea y los pozos. Ed. Phillips Beedon, Saint Paul. 513 p.
- Keith T., D. 1973. Hidrología. Aguas Subterráneas. Editorial Paraninfo, S.A. Madrid, España. 270-385 p.
- Kenneth K., Tanji, (1990). Agricultural Salinity Assessment and Management, Library of congress catalog card No. 90-759 ISBN 0-87262-762-4 States of America. 608 pp.
- Limón O., A. 1988. Calidad del agua para riego y ejemplos específicos en el Estado de Tlaxcala. Monografía. UAAAN. Coahuila, Mex.
- Maderey R., L. E. 1967. Estudio preliminar sobre las aguas subterráneas en México. Ed. UNAM. 77 p.
- Meléndez B., y J. Fuster 1978. Geología. 4ª Ed. Paraninfo, S. A. Madrid, España 115 p.
- Murcia V., A. 1976. Aguas subterráneas. Prospección y alumbramientos para riego, 4ª Ed. Gráficas, Uquina, Madrid. 369 p.
- Palacios V., O. Y N. E. Aceves. 1970. Instituto para el muestreo de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de posgraduados, Chapingo Mex. 49 p.
- Palacios V., O. Y N. E. Aceves. 1978. Instituto para el muestreo de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de posgraduados, Chapingo Mex. 37 p.

- Personal de Laboratorio de salinidad de los E. U. A. 1985.
Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y
sódicos. Limusa, México. 172 p.
- Pettijohn F., J. 1976. Rocas Sedimentarias. 3ª Ed. Edición
Universidad de Buenos Aires, Argentina. 106 -
407 p.
- Pizarro W., J. 1975. Drenaje agrícola y recuperación de
los suelos salinos. Ed Agrícola España, S. A.
Madrid, España. 521 p.
- Rojas P., B.S.G. 1984. Teoría y aplicación del uso y
conservación del agua. U.A.A.A.N. México.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.).
1974. Comportamiento físico químico del suelo y
el agua. Subsecretaría de agricultura y
operación. Dirección general de distritos de
riego. México.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.).
1984. Informe del estudio geohidrológico regional
del área San Juanito-Zapalinamé, Coahuila. Ed.
Geoexploraciones y construcciones S. A. Méx. 182
p.
- Stednick J., D. 1991. Wildland water quality sampling an
analysis. San Diego, California. Acafemic Press.
217 p.
- Surfer Access System ver. 3.0. Golden Software inc. 1987.
- Thorne D., W. y Peterson H. B. 1969. Técnica del riego,
fertilidad y explotación de suelos. 2ª Ed.
Editorial continental S. A. Méx. 49 p.

- Thorne D., W. y Peterson H. B. 1977. Técnica del riego, fertilidad y explotación de suelos. Escuela de Agricultura del Estado de Utah, E.U.A. 85- 131 p.
- Vargas A., V. 1976. Técnica y análisis de costos de pozos profundos y aguas subterráneas. 2ª Edición, Ed. Limusa 35 - 56 p.
- Zumberge J., H. 1974. Geología elemental. Editorial CECSA. México, D. F.

ANEXO A:

**CALCULOS DE INDICES DE CLASIFICACION Y CLASIFICACION DEL AGUA
SUBTERRANEA DEL EJIDO EL TUNAL MUNICIPIO DE ARTEAGA,
COAHUILA.**

.

La SE, SP, RAS, CSR, están expresados en me/l y la CE en μ /cm.

Tabla 1. Cálculos del Muestreo del 5 de abril de 1996

Pozo	SE	SP	RAS	CSR	PSP	CE
C033	6.86	4.34	0.64	0.00	21.42	1010
F035	10.42	8.47	0.61	0.00	15.45	1340
F017	10.40	9.84	0.46	0.00	12.01	1530
G0001	5.14	7.62	0.28	0.00	14.78	1310
F016	3.67	4.49	0.39	0.00	24.52	960
F023	1.75	1.56	0.29	0.00	36.00	632

Tabla 2. Cálculos del Muestreo del 2 de junio de 1996

Pozo	SE	SP	RAS	CSR	PSP	CE
F023	2.58	1.58	0.22	0.00	20.93	674
T9	3.98	2.23	0.52	1.56	21.85	802
C033	8.42	5.12	0.45	0.00	11.85	1012
F017	10.67	9.32	0.52	0.00	13.12	1644
P002	9.47	9.17	0.80	0.00	24.28	1710
F016	4.97	3.97	0.49	0.00	22.13	978
C025	6.87	7.22	0.53	0.00	20.81	1498

Tabla 3. Cálculos del Muestreo del 18 de agosto de 1996

Pozo	SE	SP	RAS	CSR	PSP	CE
F017	4.37	5.97	0.32	0.00	23.34	1677
F016	4.97	2.82	0.46	0.00	16.49	838
F006	3.86	6.01	0.24	0.00	18.39	1585
F030	3.57	2.12	0.92	0.30	35.01	372
G0021	3.07	1.82	0.51	0.28	24.42	489
F023	3.77	2.22	1.16	1.58	47.74	716

Tabla 4. Cálculos del Muestreo del 15 de septiembre de 1996

Pozo	SE	SP	RAS	CSR	PSP	CE
C035	9.48	9.72	0.53	0.00	16.87	1320
F007	10.61	14.84	0.35	0.00	12.25	1860
F016	8.75	6.46	0.35	0.00	9.37	908
G0021	6.15	3.86	0.31	0.00	8.45	423
F017	3.17	7.52	0.32	0.00	32.49	1612
F023	4.81	3.29	0.96	0.00	37.42	970
F030	2.97	1.86	0.34	0.00	17.17	367

Tabla 5. Clasificación del Muestreo del 5 de abril 1996

Pozo	SE	SP	CSR	PSP	RAS Y CE
C033	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
C035	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F017	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
G0001	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F016	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F023	Buena	Buena	Buena	Buena	C2 - S1

Tabla 6 Clasificación del Muestreo del 2 de junio de 1996

Pozo	SE	SP	CSR	PSP	RAS Y CE
F023	Buena	Cond	Buena	Buena	C2 - S1
T9	Cond	Cond	Cond	Buena	C3 - S1
C033	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F017	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
P002	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F016	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
C025	Cond	Buena	Buena	Buena	C3 - s1

Tabla 7. Clasificación del Muestreo del 18 de agosto de 1996

Pozo	SE	SP	CSR	PSP	RAS Y CE
F017	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F016	Cond	Buena	Buena	Buena	C3 - S1
F006	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F030	Cond	Buena	Buena	Buena	C2 - S1
G0021	Cond	Buena	Cond	Buena	C2 - S1
F023	Cond	Buena	Cond	Buena	C2 - S1

Tabla 8. Clasificación del Muestreo del 15 de septiembre de 1996

Pozo	SE	SP	CSR	PSP	RAS Y CE
C035	Cond	Cond	Buena	Buena	C2 - S1
F007	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F016	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
G0021	Cond	Cond	Buena	Buena	C2 - S1
F017	Cond	Cond	Buena	Buena	C3 - S1
F023	Cond	Cond	Buena	Buena	C2 - S1
F030	Buena	Buena	Buena	Buena	C2 - S1

Tabla 9. Media de las muestras. Condición química del agua subterránea del Ejido el Tunal expresadas en me/l

Pozo	Ca	Mg	Na	CO3	HCO3	Cl	SO4
C033	6.25	3.57	1.22	1.10	4.40	1.07	7.32
C035	12.33	3.13	1.54	0.80	4.13	0.62	15.70
F017	14.12	2.98	1.17	1.10	4.40	0.55	15.20
G0001	13.20	0.68	0.76	1.00	2.80	0.70	13.80
F016	6.87	2.46	0.91	0.85	3.70	0.55	7.75
F023	4.88	3.24	1.19	0.90	4.35	0.55	3.33
T9	5.10	0.34	0.87	0.60	6.40	0.48	3.50
P002	14.60	1.70	2.30	1.00	5.40	0.67	17.00
F007	23.20	4.00	1.30	1.40	3.40	0.67	28.30
G0021	2.53	2.43	0.63	1.10	4.00	0.57	4.54
F006	13.80	3.70	0.71	1.20	5.20	0.76	2.55
F030	2.30	1.75	0.88	1.00	3.00	0.71	2.55

Tabla 10. Cultivos tolerantes, semitolerantes y
Sensibles a las sales (Palacios y Aceves,
1970).

Tolerantes	Semitolerantes	Sensibles
Esparragos	Girasol (nativo)	Nogal negro
Palma datilera	Papa	Nogal persa
Remolacha a.	Algodón	Ciruelo
Alfalfa	Jitomate	Peral
Gladiola	Rábano	Manzano
Haba	Chicharo	Uva
Cebolla	Avena	Durazno
Nabo	Olivo	Aguacate
Col	Cebada	Naranja
Lechuga	Trigo	Chabacano
Zanahoria	Maíz	Limonero
	sorgo	Toronja

ANEXO B:

**PLANOS CON CURVAS DE IGUAL CONCENTRACION ORELACION IONICA Y
FAMILIAS DE AGUAS SUBTERRANEAS DEL EJIDO EL TUNAL, MUNICIPIO
DE ARTEAGA, COAHUILA.**

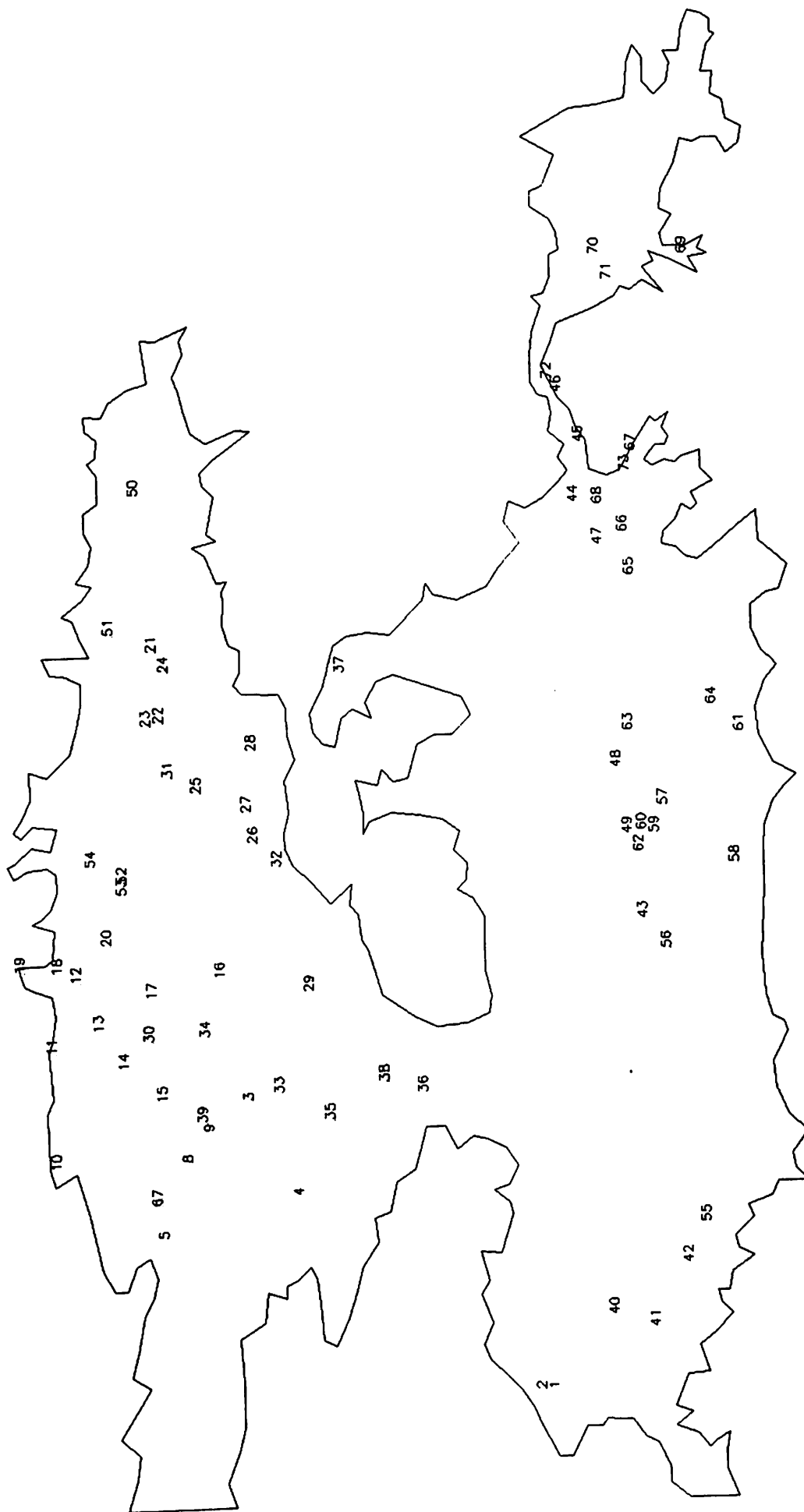


FIGURA 1 CENSO DE POZOS ACTIVOS DE EJIDO EL TUNAL

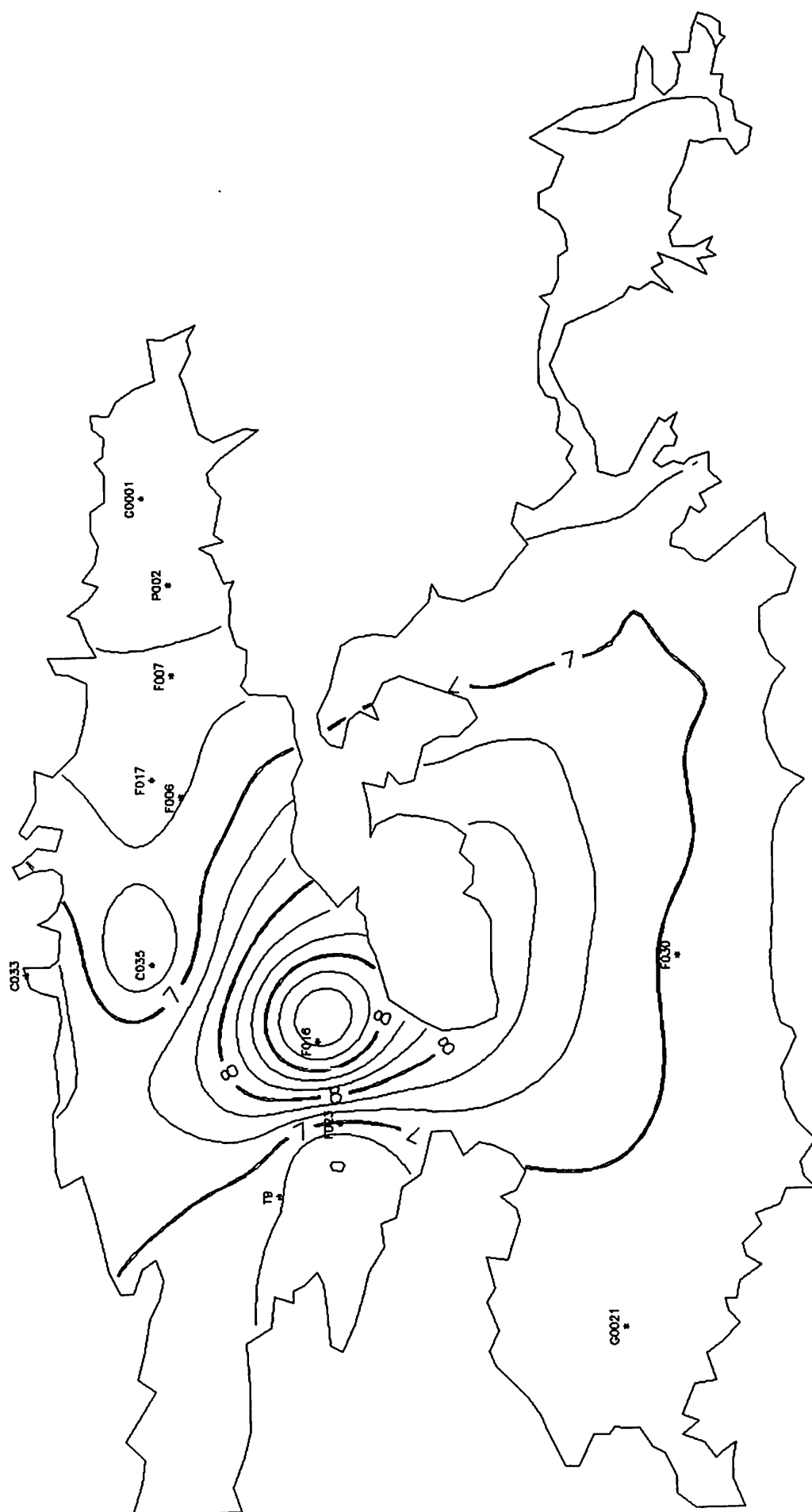


FIGURA 2 CURVAS DE pH

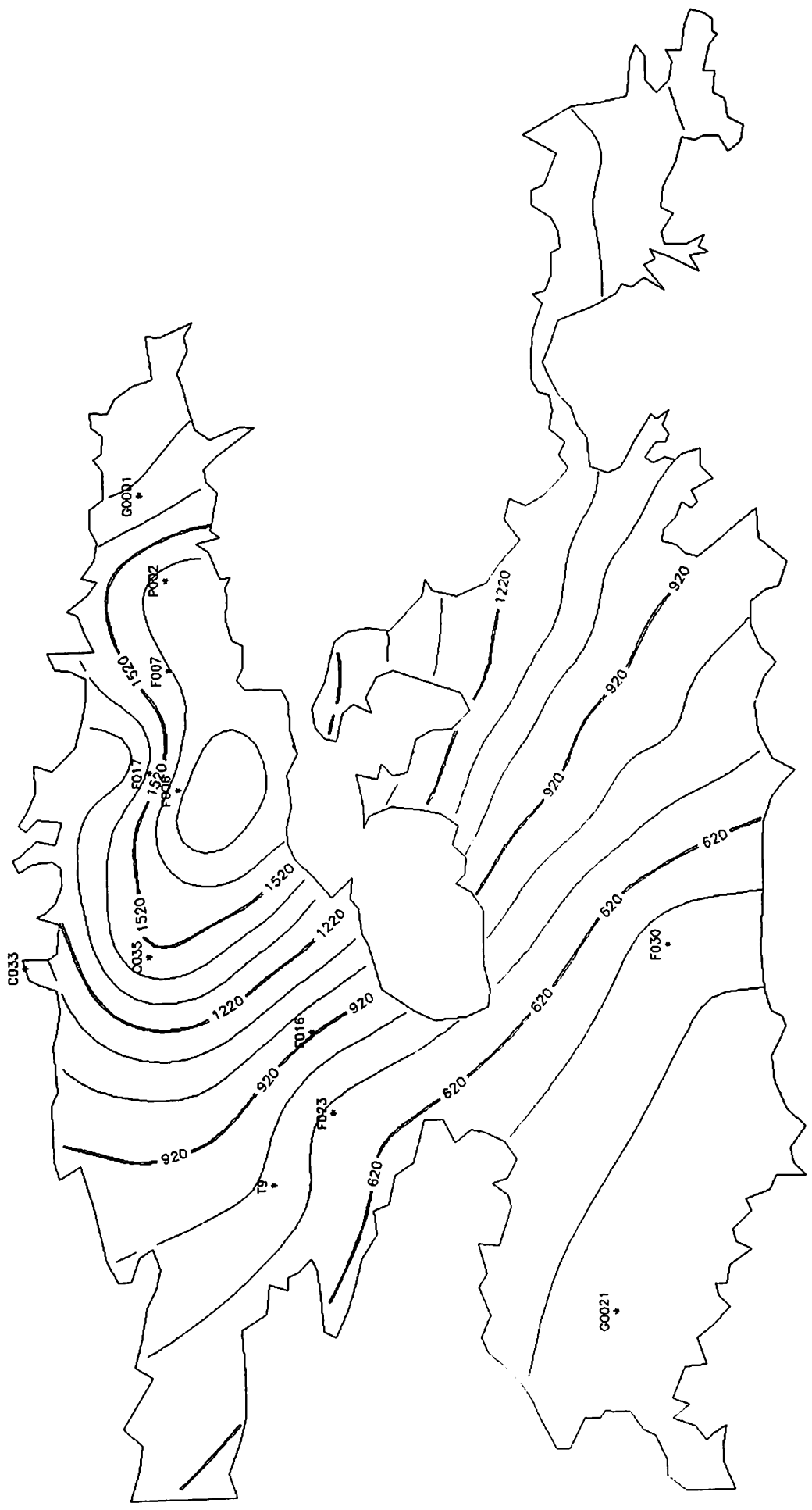


FIGURA 3 ISOCONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN MICROSIEMENS/CM

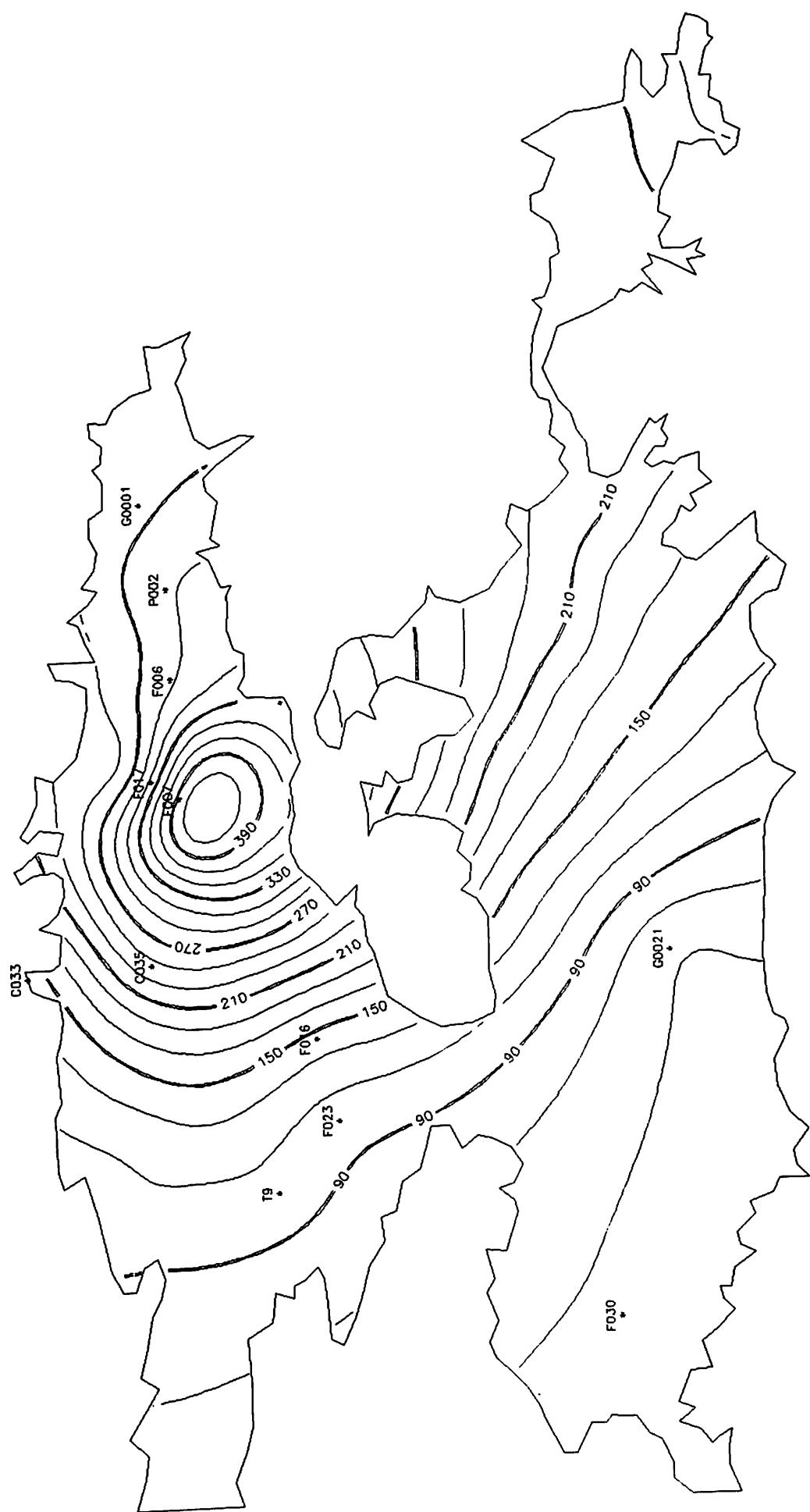


FIGURA 4 CONCENTRACIONES DE CALCIO EN PPM



FIGURA 5. CONCENTRACIONES DE MAGNESIO EN PPM



FIGURA 6 CONCENTRACIONES DE SODIO EN PPM

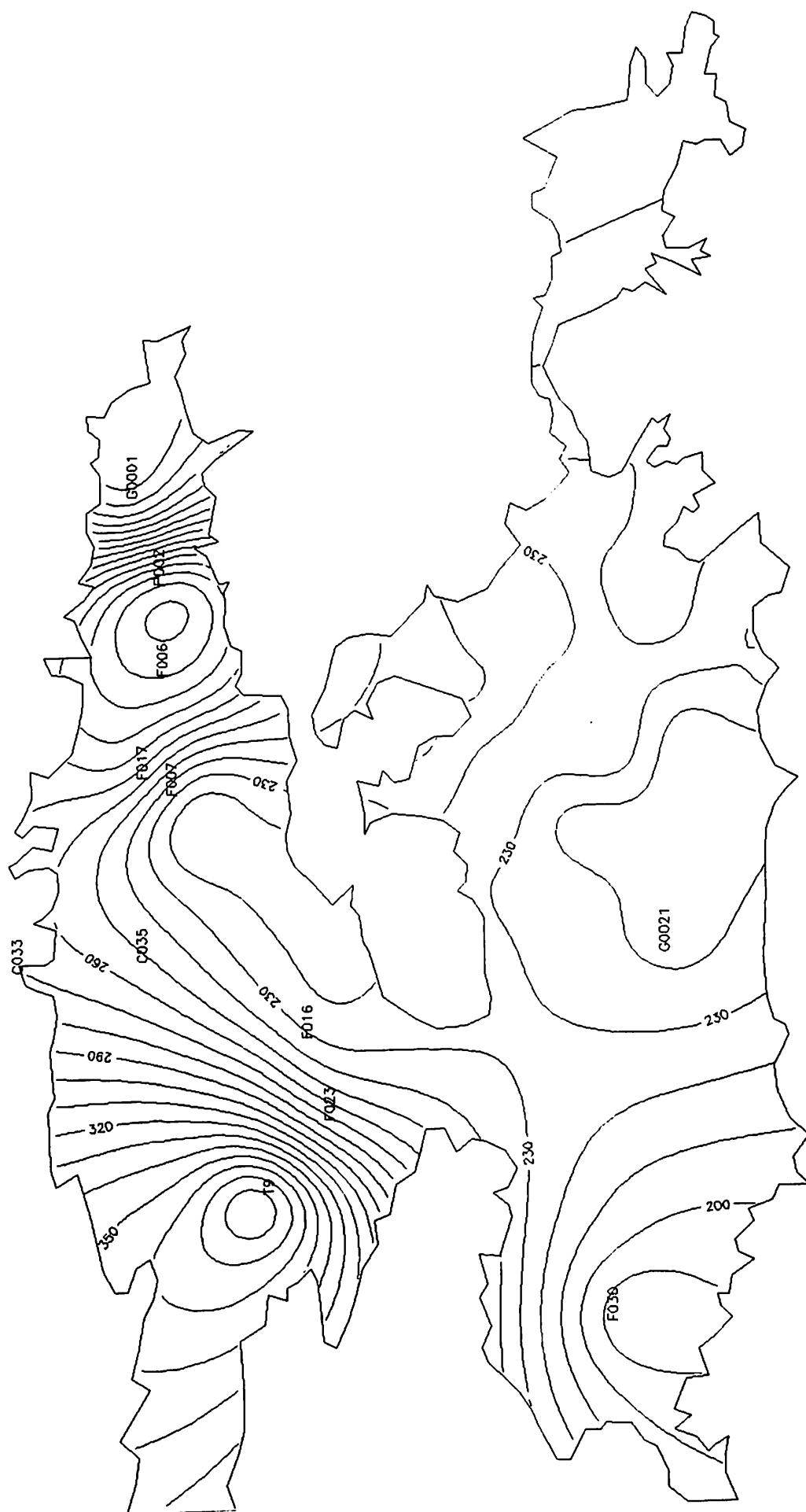


FIGURA 7 CONCENTRACIONES DE BICARBONATOS EN PPM

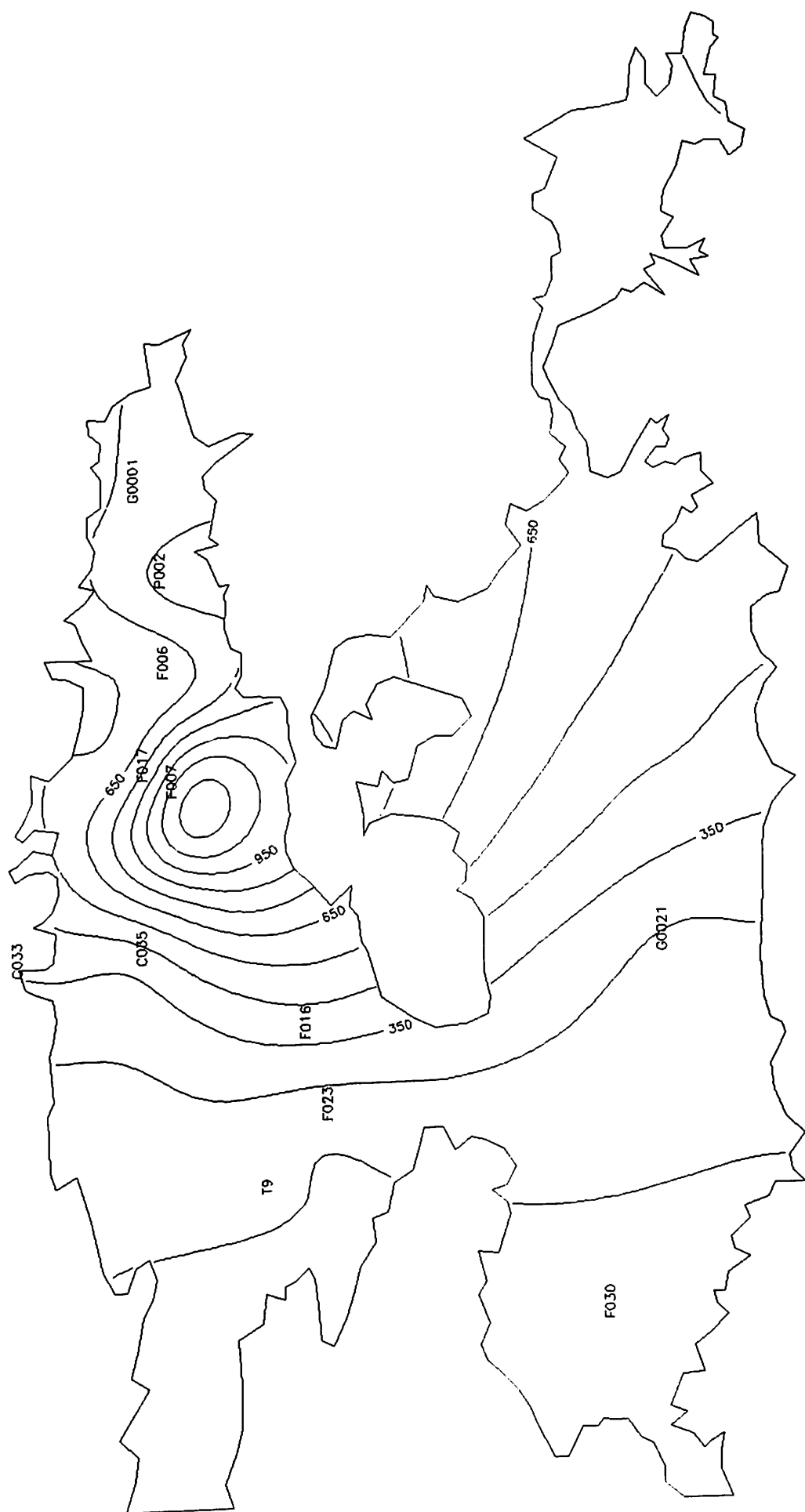


FIGURA 9 CONCENTRACIONES DE SULFATOS EN PPM

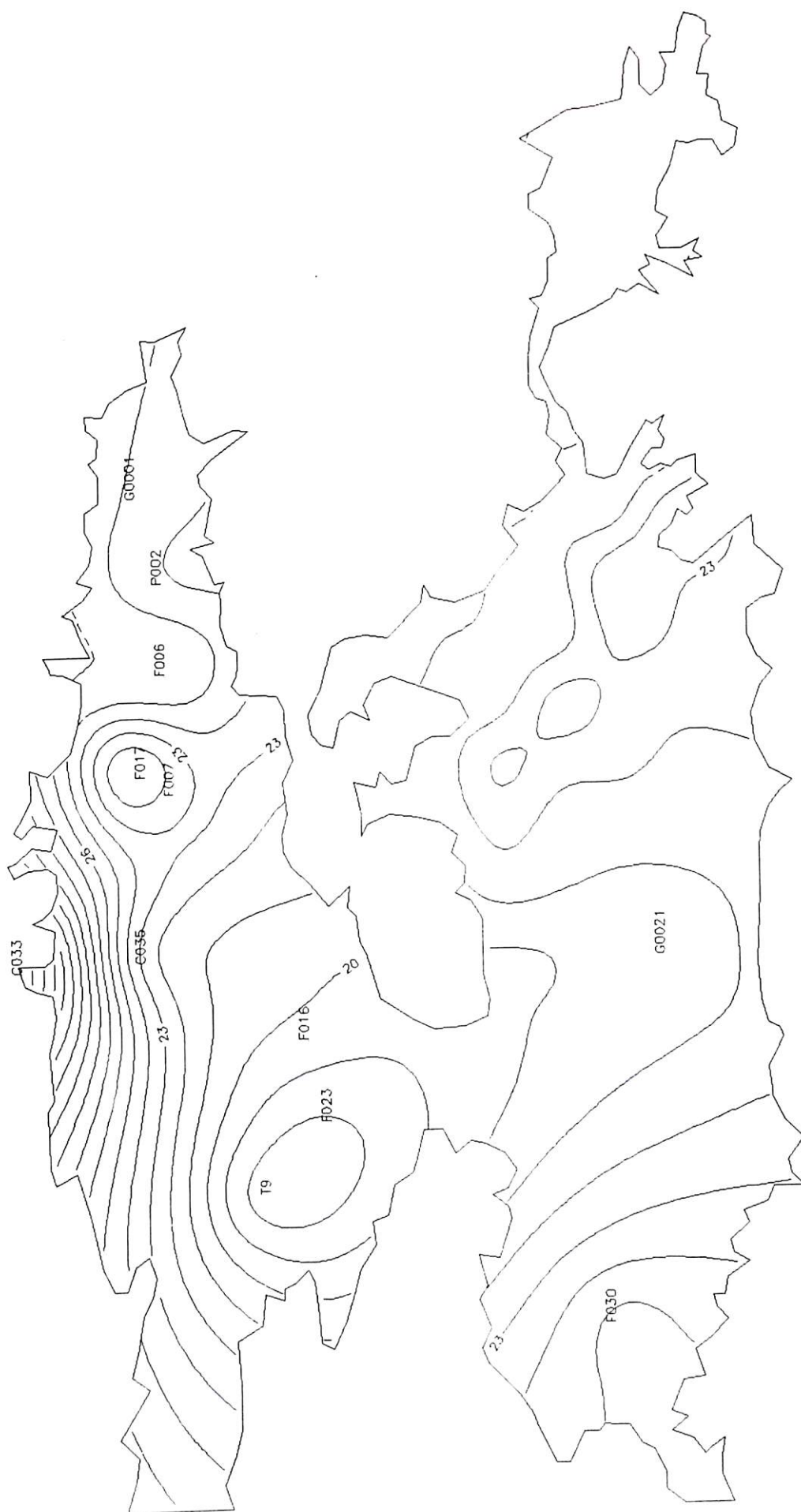


FIGURA 10 CONCENTRACIONES DE CLORUROS EN PPM

Piper Diagram .. Demo of the GWW Software

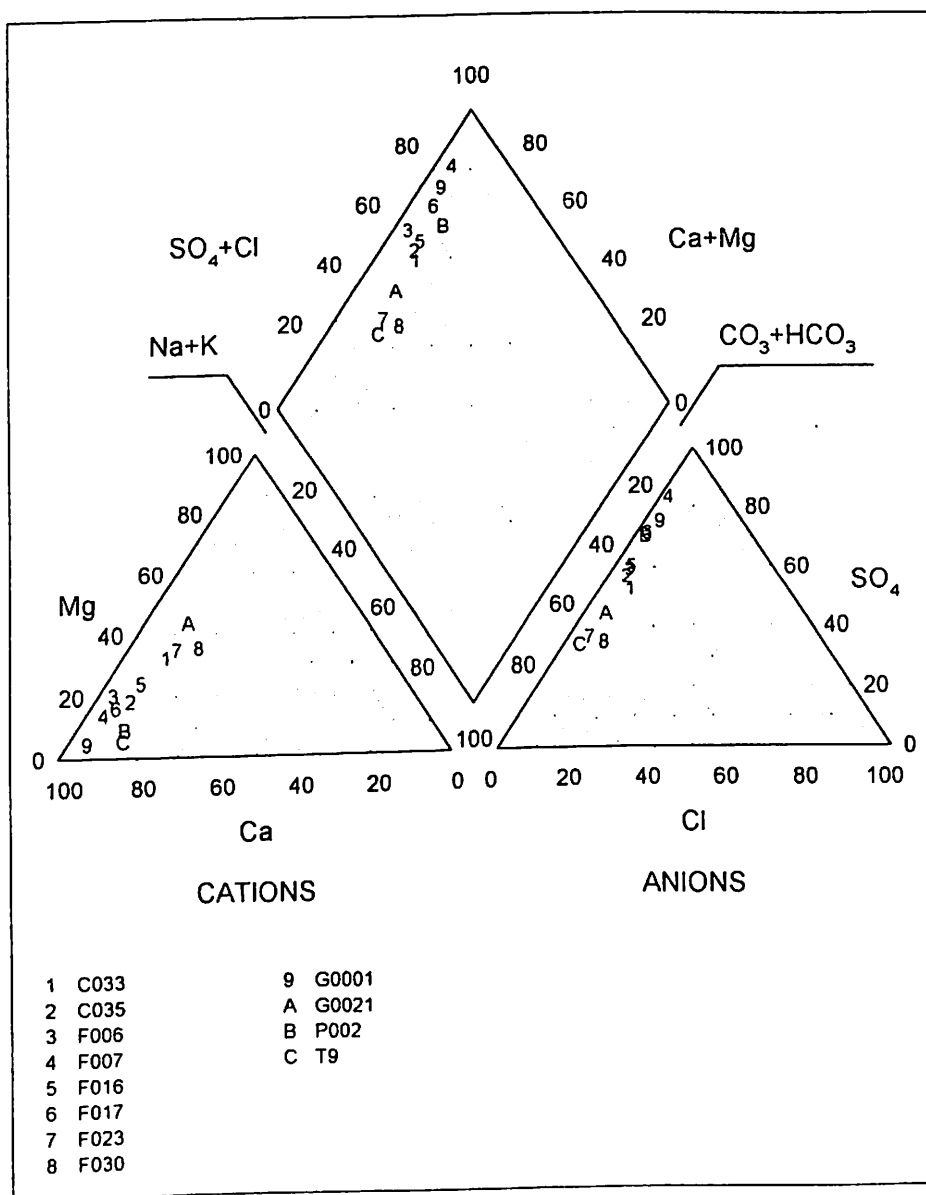


Figura 11. Diagrama de Piper para la interpretación de análisis químico del agua

Schoeller Diagram .. Demo of the GWW Software

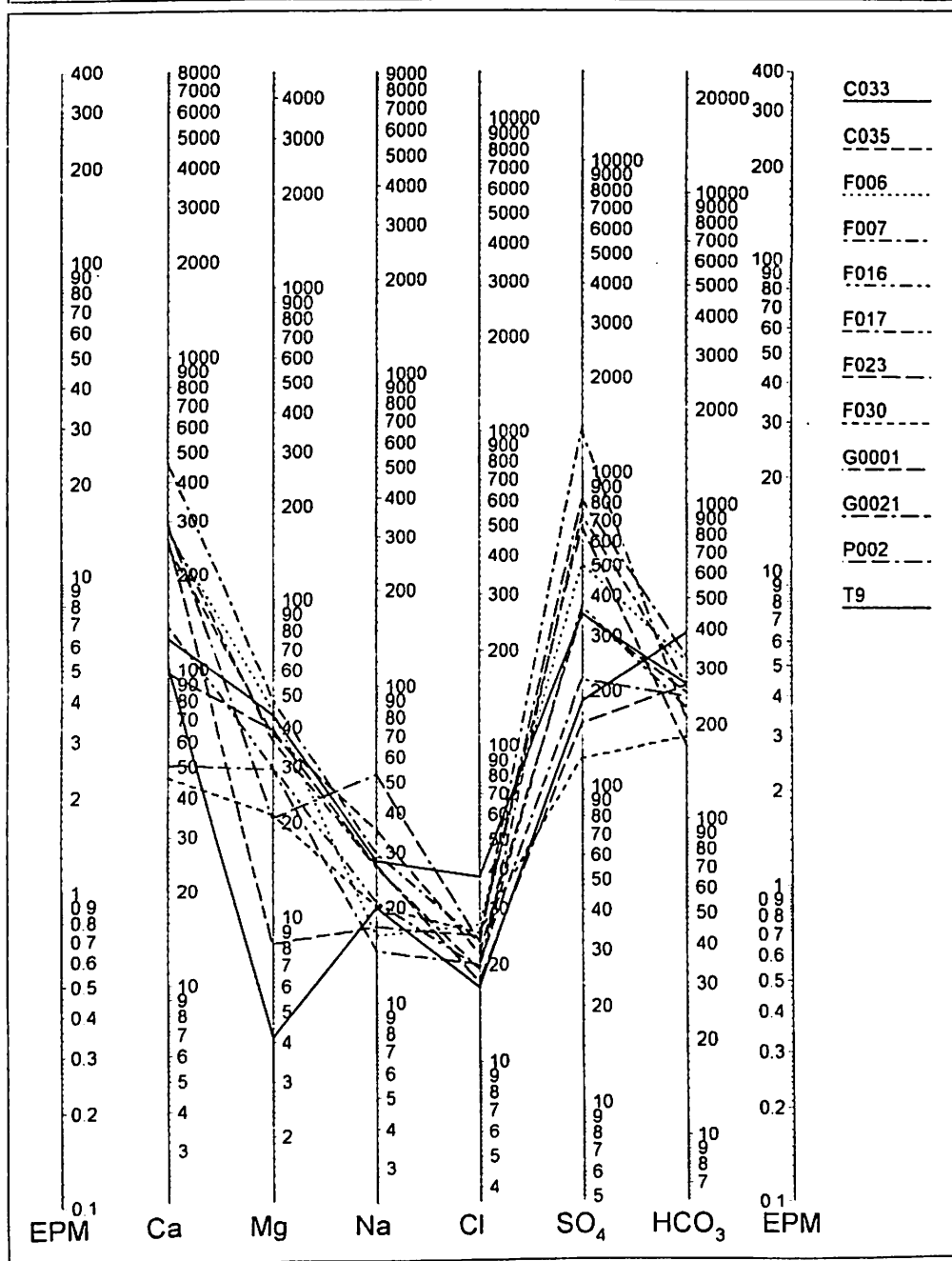


Figura 12. Diagrama de scholler para la interpretación de análisis químico del agua

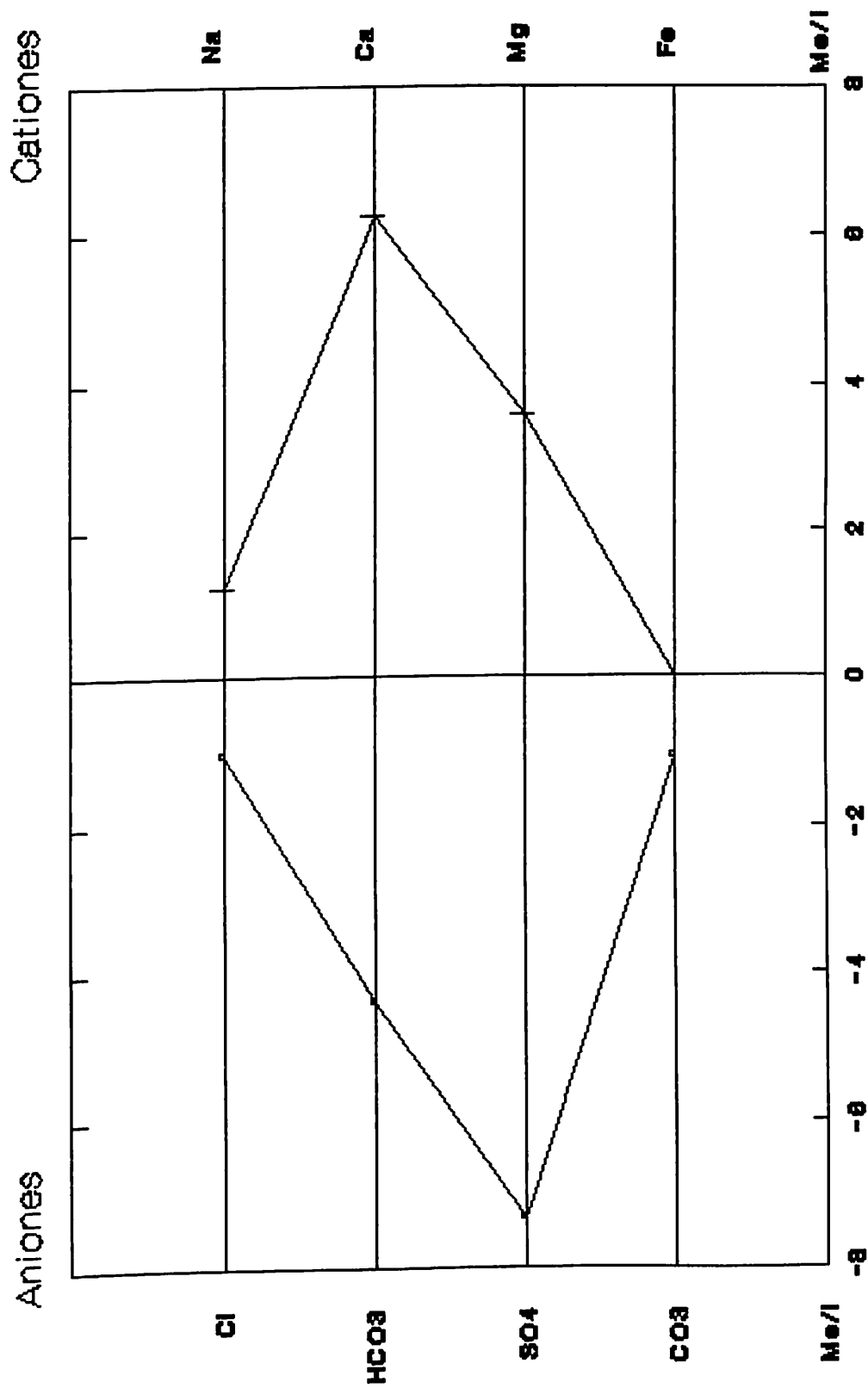


Fig. 13 Pozo C033 Fam. Cálculo-Sulfatada
Diagrama de Stiff (Stednlok, 199)

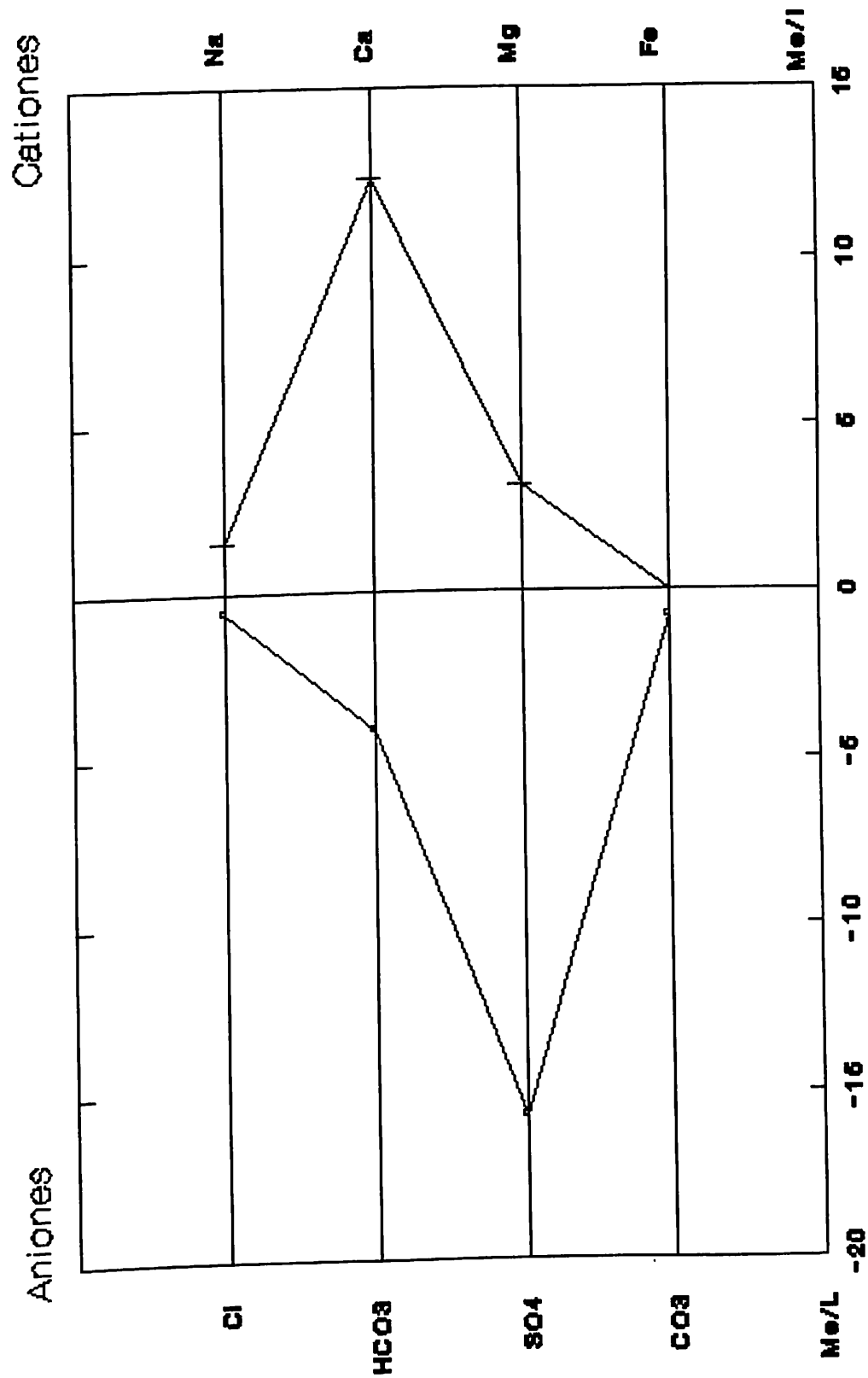


Fig. 14 Pozo C036 Fam. Cálculo-Sulfatad
Diagrama de Stiff (Stednlok, 1991).

Aniones

Cationes

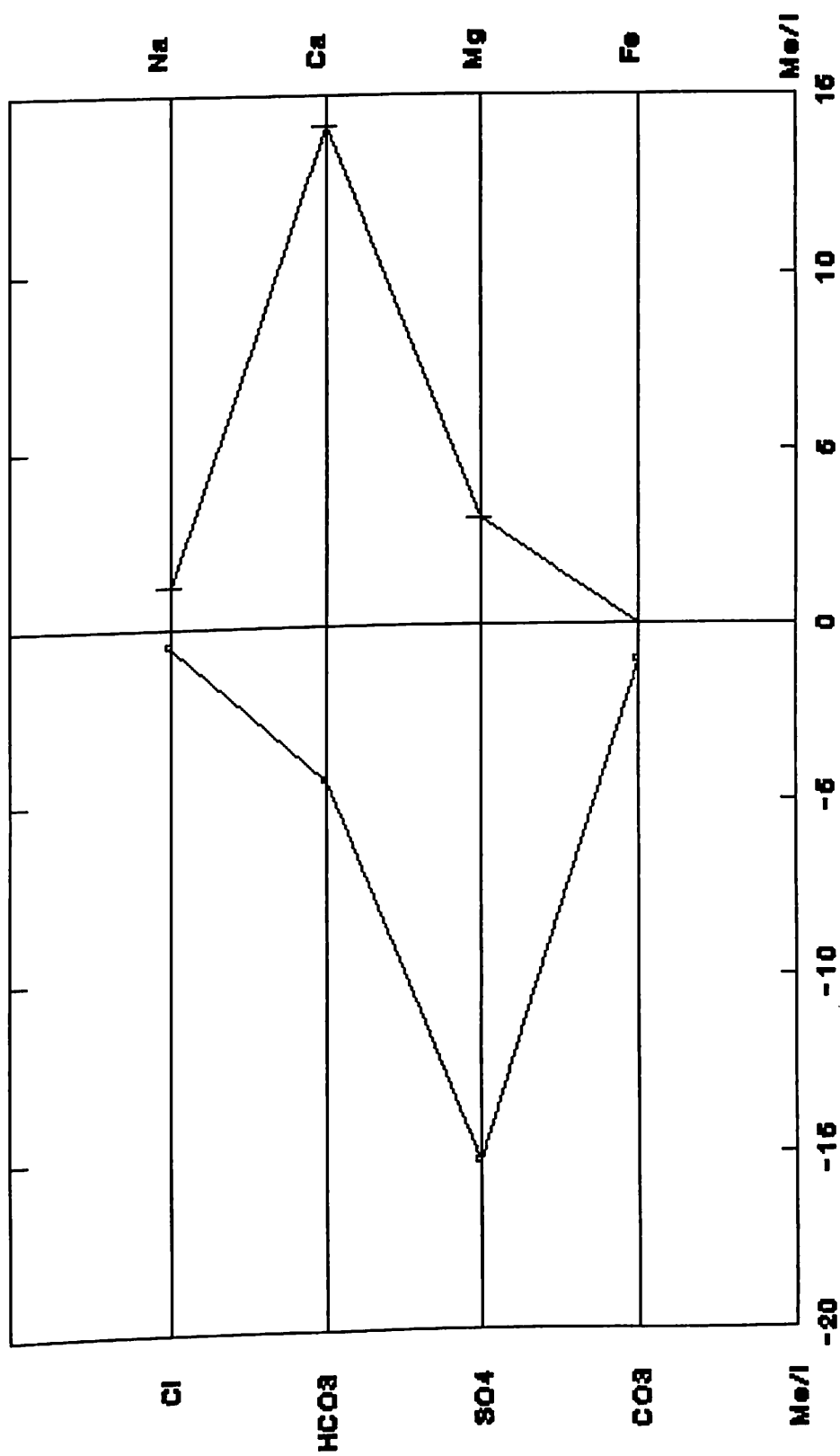


Fig. 16 Pozo F017 Fam. Cálculo-Sulfatad

Diagrama de Stiff (Stednick, 1991).

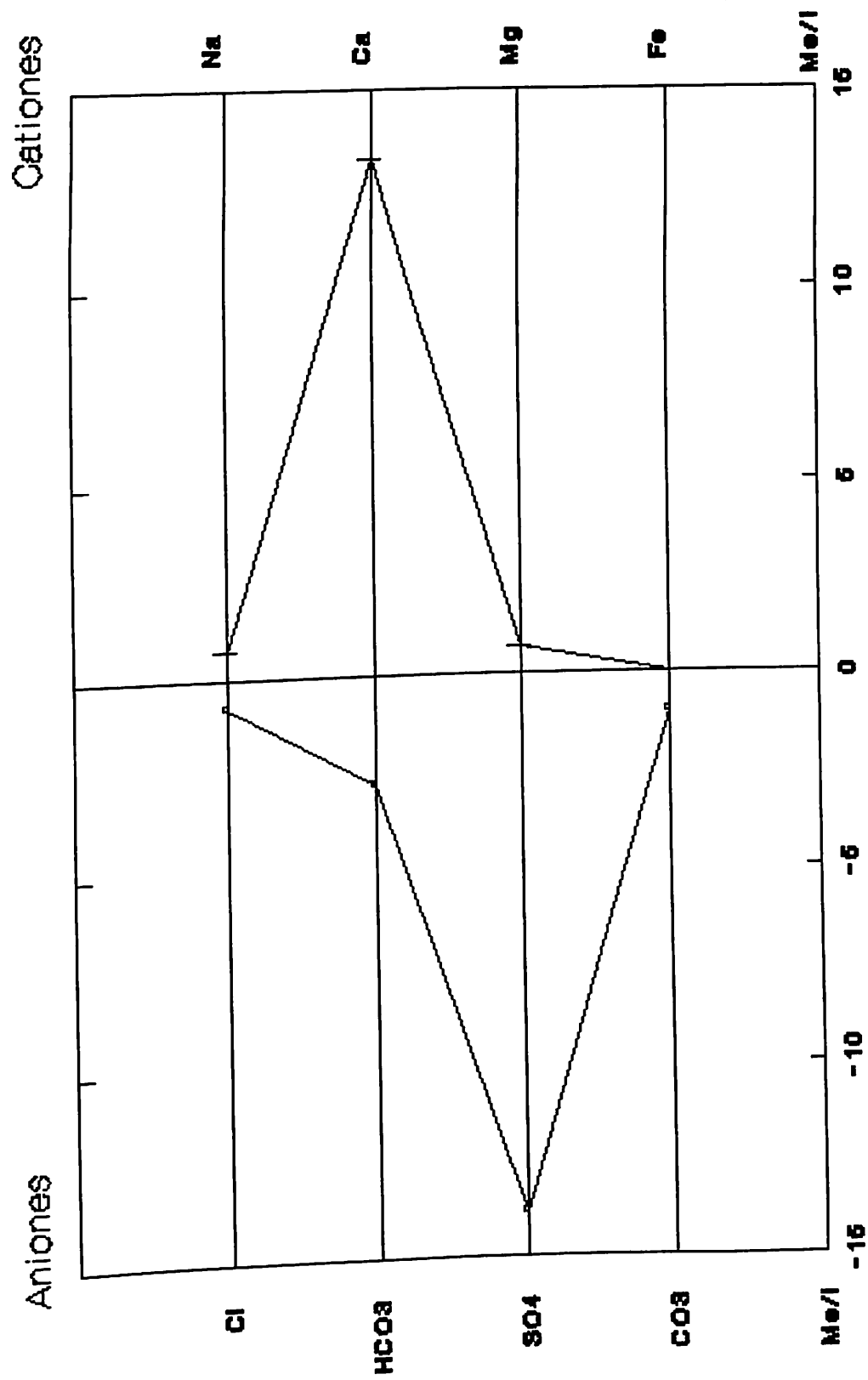


Fig. 10 Pozo G0001 Fam. Cálculo-Sulf.
Diagrama de Stiff (Stednlok, 1991)

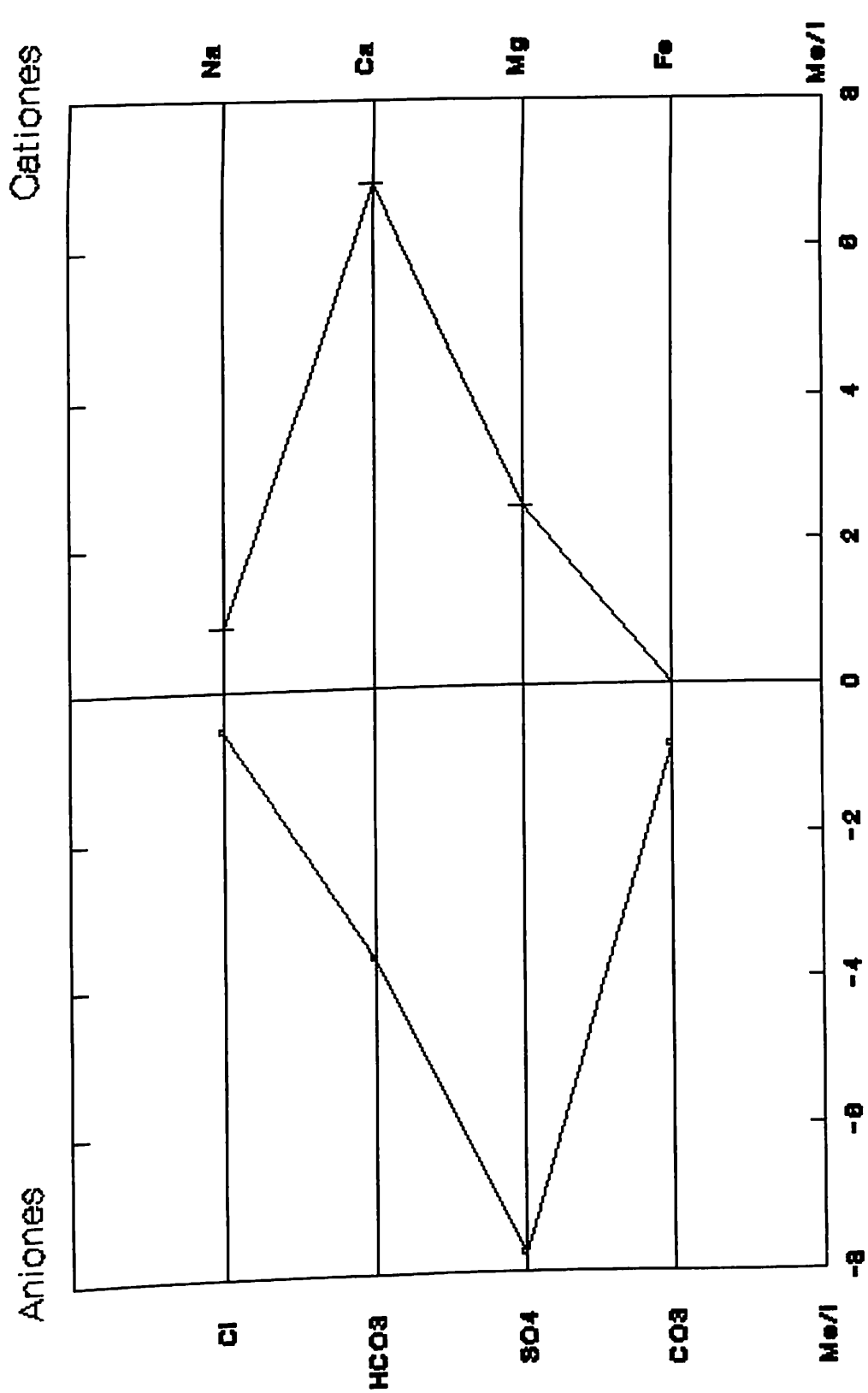


Fig. 17 Pozo F010 Fam. Cálculo-Sulfatad
Diagrama de Stiff (stodnlok, 1991)

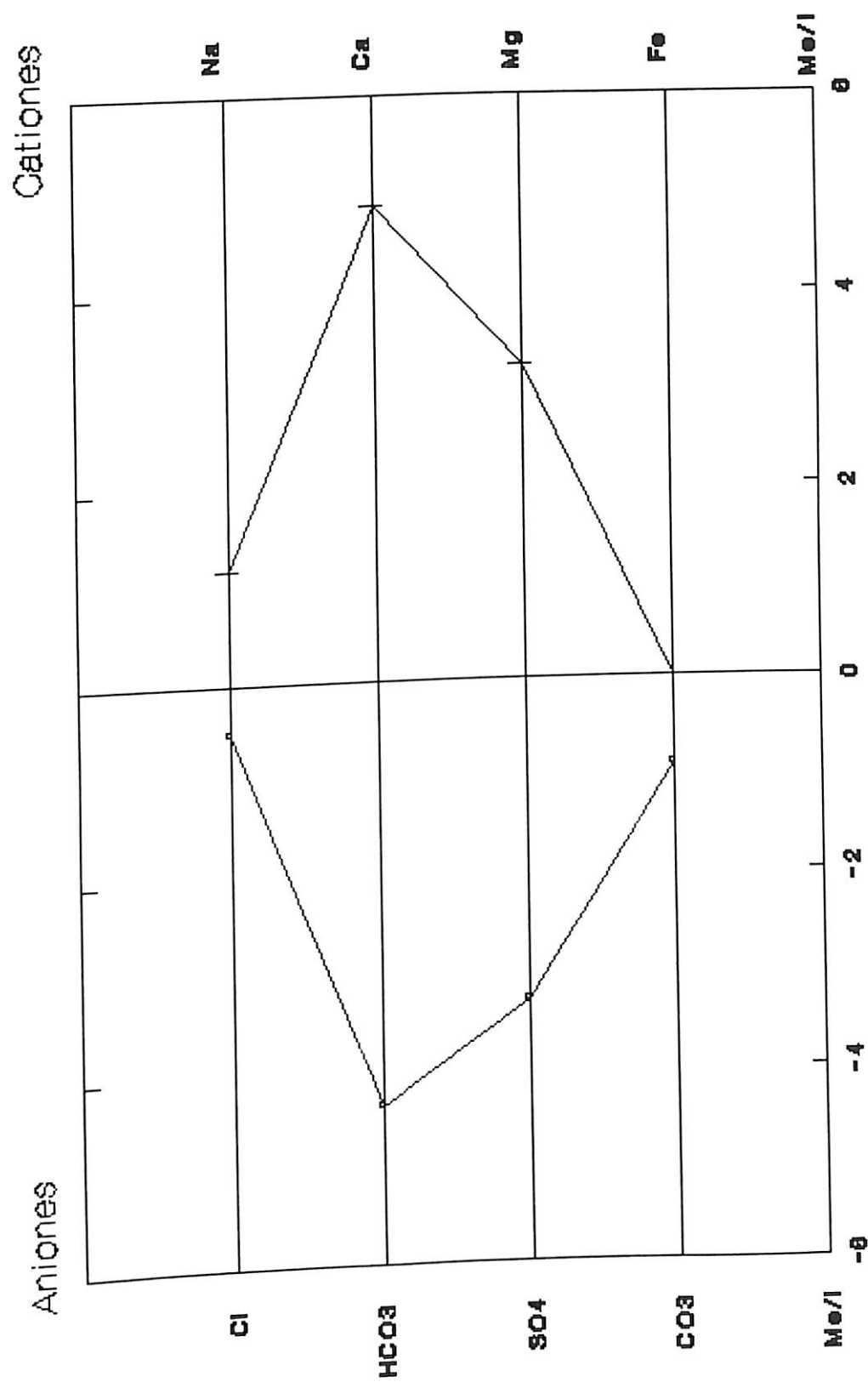


Fig. 18 Pozo F023 Fam. Cálculoa-Bloar.
Diagrama de Stiff (stodnlok, 1991)

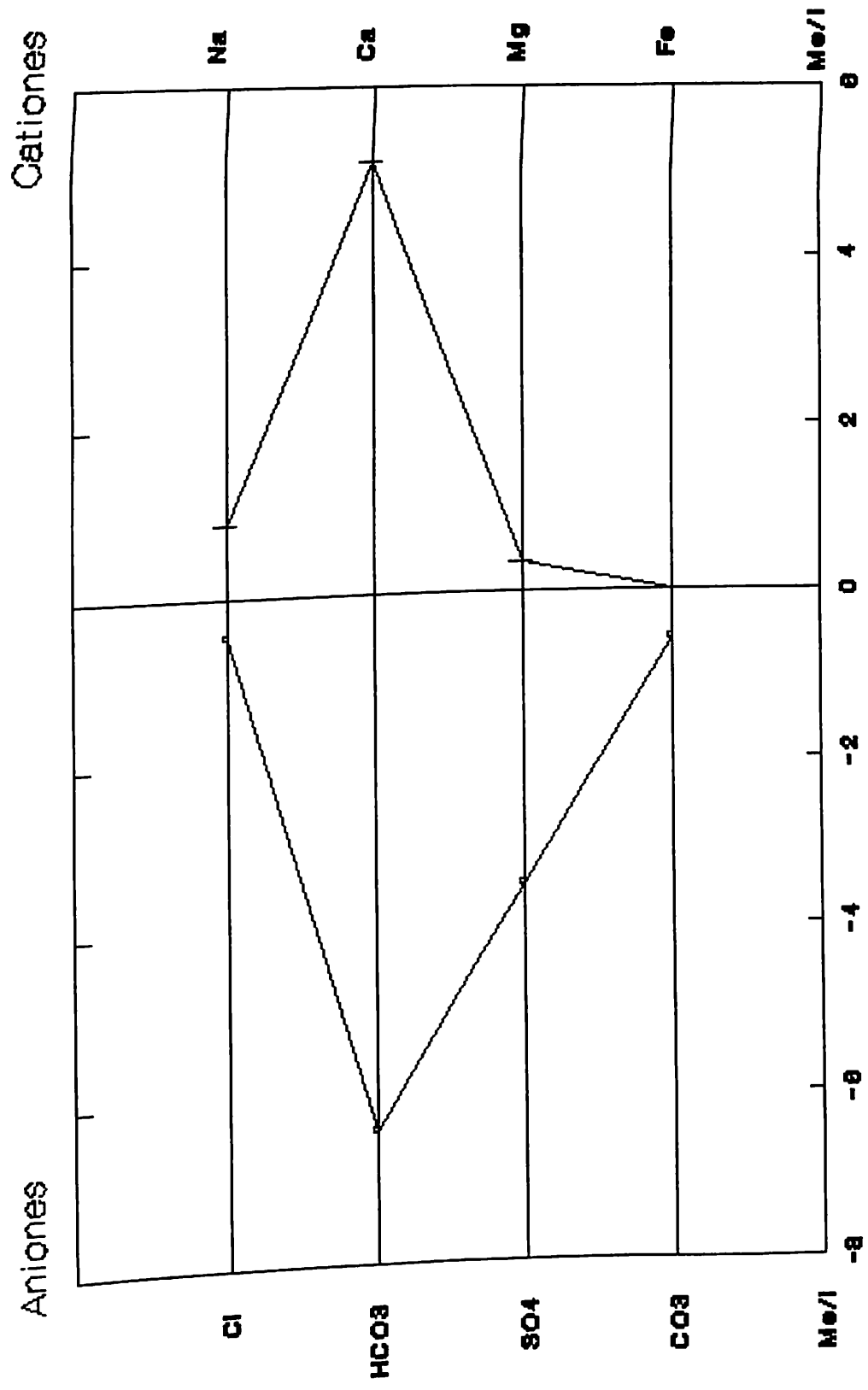


Fig. 19 Pozo T9 Fam. Cálculo-Bloar.
Diagrama de Stiff (Stednlok, 1991)

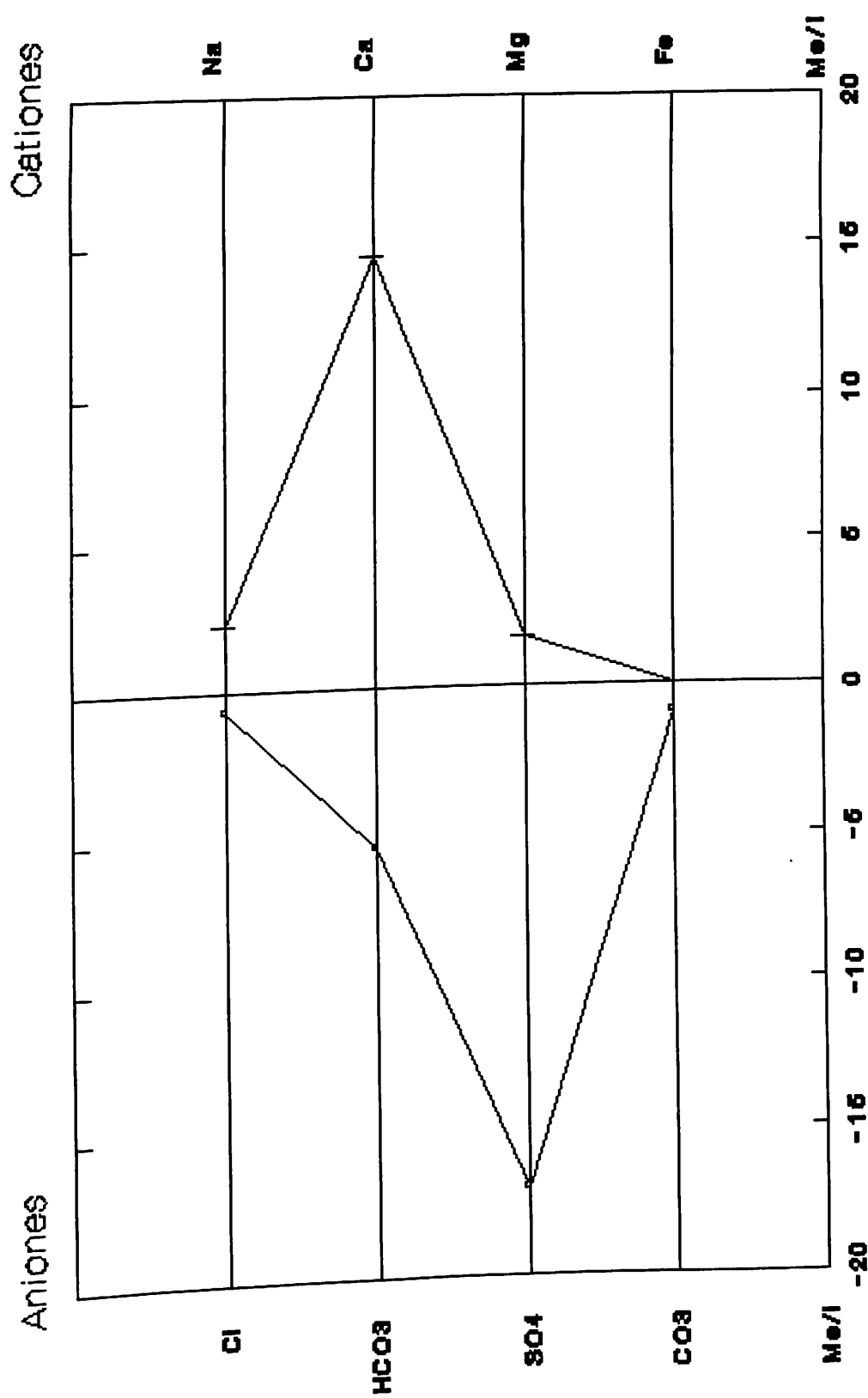


Fig. 20 Pozo P002 Fam. Cálculo-Sulfatada
Diagrama de Stiff (Stednlok, 1991)

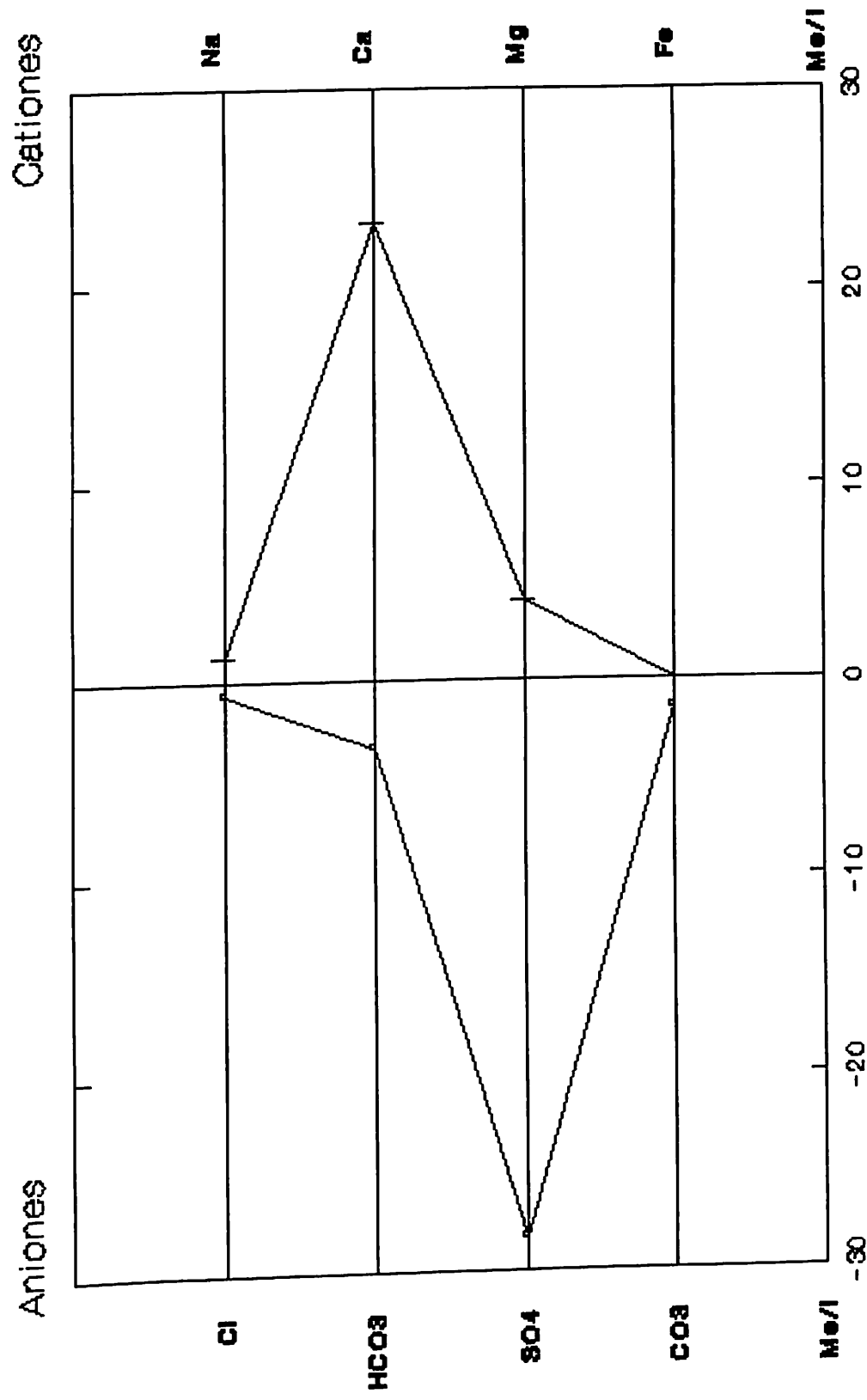
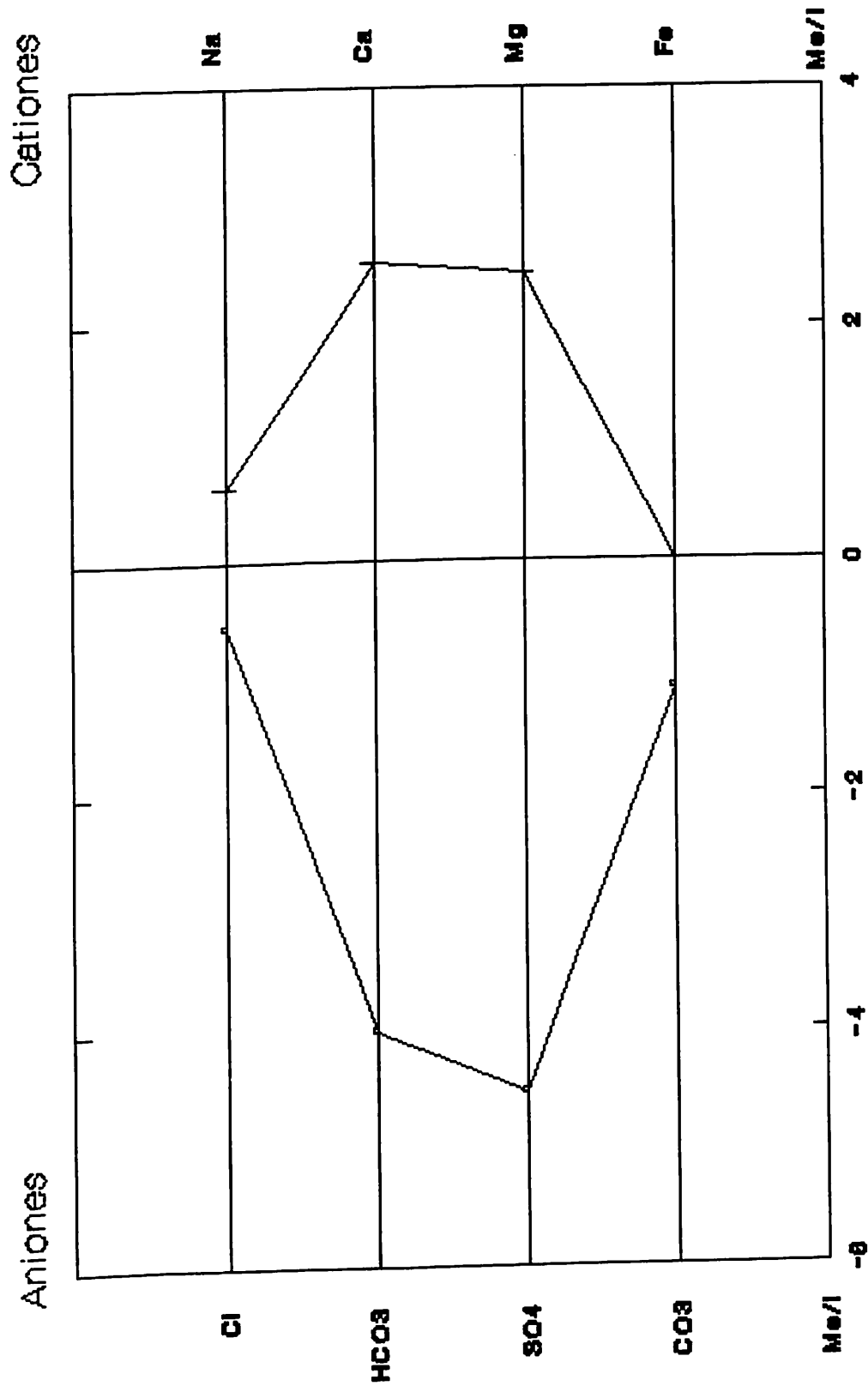


Fig. 21 Pozo f007 Fam. Cálclaa-Sulfatada
Diagrama de Stiff (Stednlak, 1991).



**Fig. 22 Pozo G0021 Fam. Cálloa-Sult.
Diagrama de Stiff (Stodnlok, 1991)**

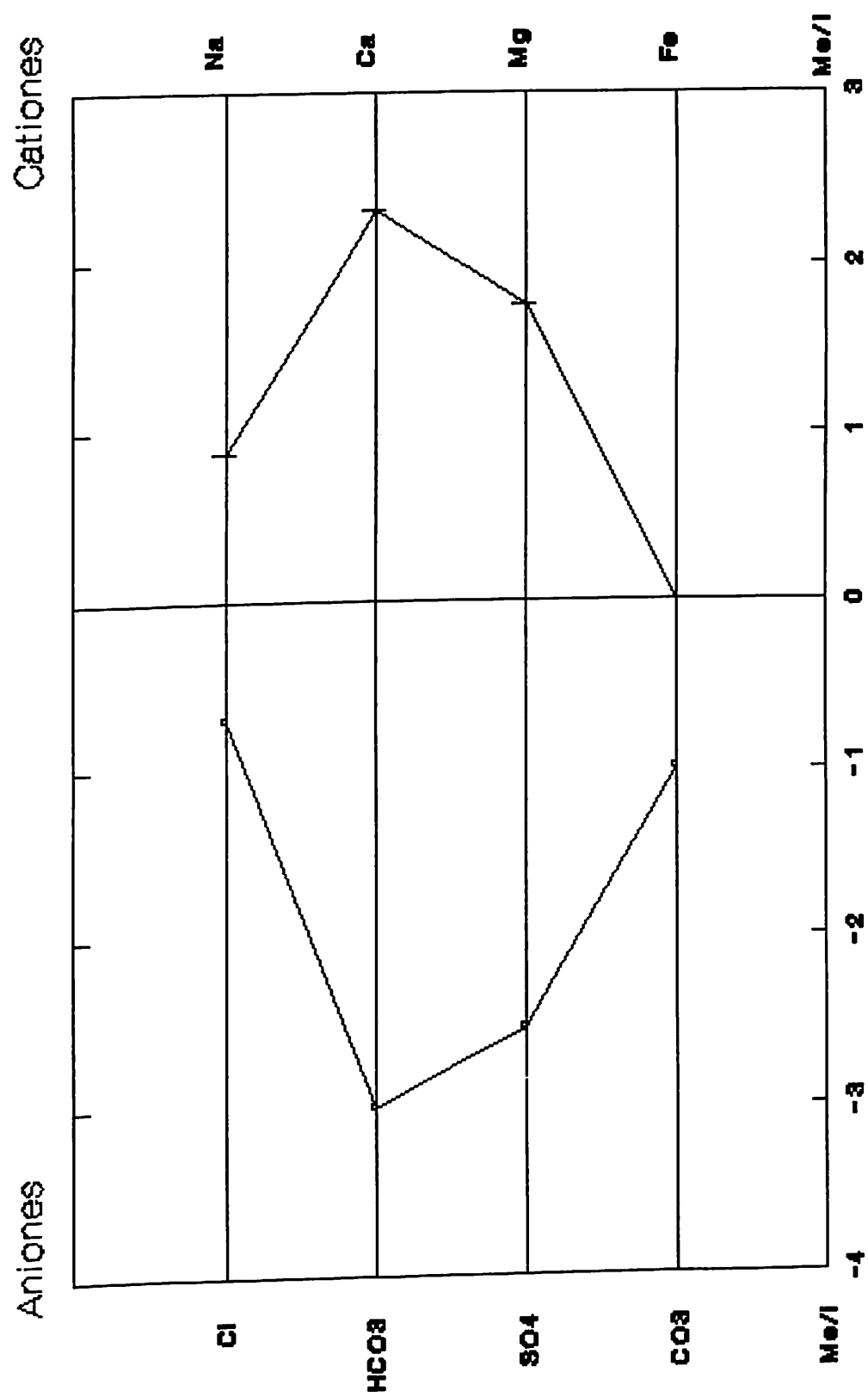


Fig. 24 Pozo F030 Fam. Cálloa-Bloar.
Diagrama de Stiff (Stednlok, 1991)