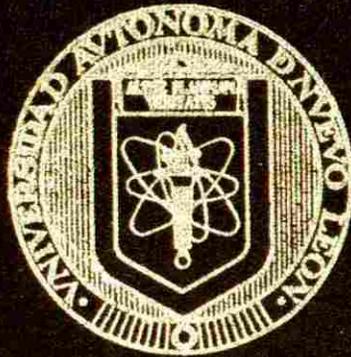


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO DE LA EVOLUCION DE LA CALIDAD  
QUIMICA DEL AGUA EN EL ACUIFERO DEL  
VALLE DE GUAYMAS SONORA**

**POR**

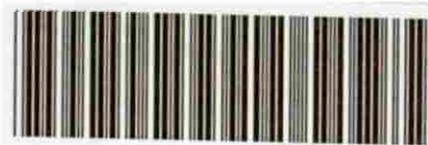
**HERIBERTO COTA VASQUEZ**

Como requisito parcial para obtener el  
Grado de MAESTRIA EN CIENCIAS con  
Especialidad en Hidrología Subterránea.

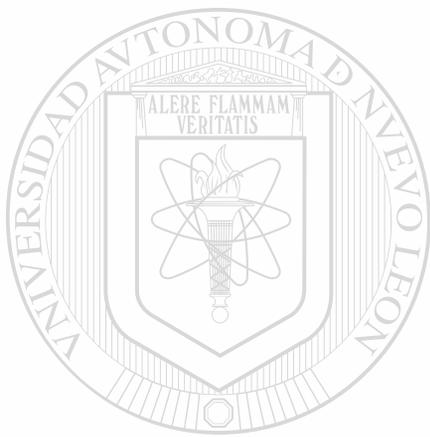
**Septiembre, 2002**

**ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD  
QUÍMICA DEL AGUA EN EL ACUÍFERO DEL  
VALLE DE GUAYMAS SONORA**

TM  
TD229  
.G8  
C6  
2002  
c.1



1080116302



# UANL

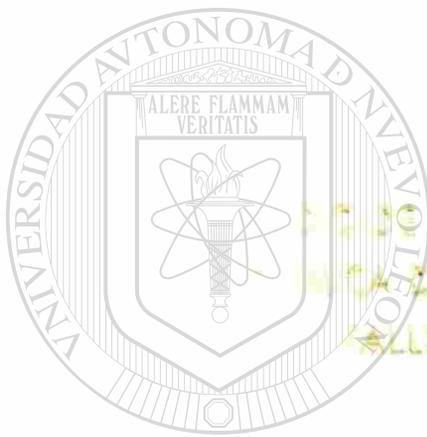
---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



UANL

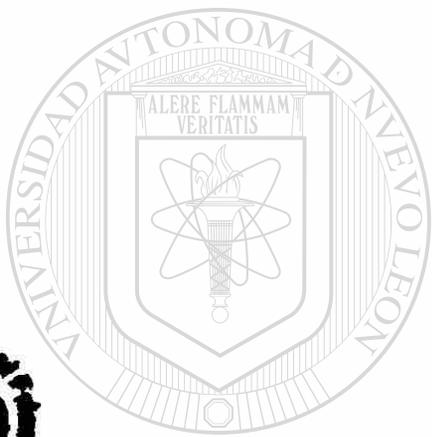
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES Y TECNICAS

Como requisito parcial para obtener el  
Grado de MAESTRIA EN CIENCIAS con  
Especialidad en Hidrología Subterránea.

Septiembre, 2002

TM  
FD229  
.G8  
C6  
2002



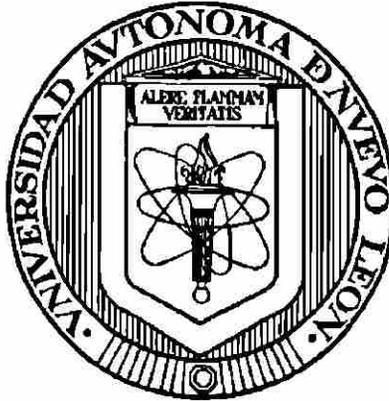
# UANL

BURRO RANGAL  
UANL  
FONDO  
TESIS MAESTRIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN<sup>®</sup>  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA**

**DEL AGUA EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE**

**GUAYMAS SONORA**

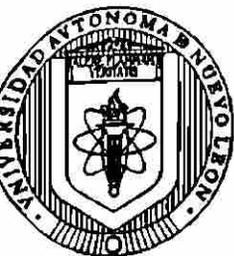
**Por**

**HERIBERTO COTA VASQUEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en  
Hidrología Subterránea**

**Septiembre, 2002**



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**COMPROBANTE DE CORRECCION**

Tesista: HERIBERTO COTA VÁSQUEZ

Tema de la tesis: ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE GUAYMAS, SONORA.

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

(ninguna)

Nombre y firma de quien corrigió:

*Ramón Longoria*  
 Arq. Ramón Longoria Ramírez

El Secretario de Posgrado:

*Ricardo*  
 Dr. Ricardo González Alcorta

Ciudad Universitaria, a 13 de mayo de 1999.

24 de abril del 2002

**ING. OSCAR JOSÉ MOREIRA FLORES**

*Presidente del Comité de Maestría*

**PRESENTE**

En atención a su oficio, en el que me informa que he sido designado como Evaluador de la tesis " ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE GUAYMAS SONORA", que presenta el Ing. Heriberto Cota Vásquez, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Hidrología Subterránea, comunico a Usted que he leído y evaluado la calidad de dicha tesis, considerándola como APROBADA.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Sin otro particular por el momento, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración que considere pertinente.

**ATENTAMENTE**

  
M. en C. Víctor Hugo Guerra Cobián

Monterrey N.L., a 21 de Enero de 2002

**Ing. Justino Cesar González Álvarez, M en I**  
**Subdirector de estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
Presente

Estimado M. en I. González Álvarez:

En atención a su oficio en el que me informa haber sido designado como *EVALUADOR* de la tesis

**“ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DEL  
AGUA EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE GUAYMAS SONORA”**

que presenta el *Ing. Heriberto Cota Vázquez*, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Hidrología Subterránea, informo a Usted que después de haber leído y evaluado críticamente la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Sin otro particular por el momento y saludándole cordialmente, manifiesto mi disponibilidad para cualquier aclaración que Usted considere pertinente.

ATENTAMENTE



M. en C. Juan Manuel Chapa Guerrero

Monterrey N.L., a 21 de Enero de 2002

**Ing. Justino Cesar González Álvarez, M en I**  
**Subdirector de estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**Presente**

Estimado M. en I. González Álvarez:

En atención a su oficio en el que me informa haber sido designado como *EVALUADOR* de la tesis

**“ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DEL  
AGUA EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE GUAYMAS SONORA”**

que presenta el *Ing. Heriberto Cota Vázquez*, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Hidrología Subterránea, informo a Usted que después de haber leído y evaluado críticamente la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

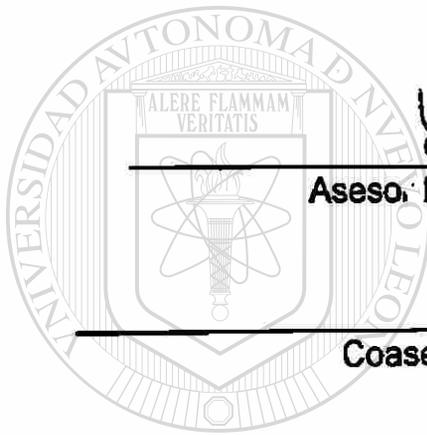
Sin otro particular por el momento y saludándole cordialmente, manifiesto mi disponibilidad para cualquier aclaración que Usted considere pertinente.

ATENTAMENTE

  
M. en C. Juan Manuel Chapa Guerrero

**ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUIMICA  
DEL AGUA EN EL ACUIFERO DEL VALLE  
DE GUAYMAS SONORA**

**Aprobación de la Tesis:**



*Lourdes Vega Granillo*

**Asesor Externo: M. I. Eva Lourdes Vega Granillo**

*José Castillo Gurrola*

**Coasesor Externo: Dr. José Castillo Gurrola**

*Víctor M. Aguilera Reyes*

**Asesor Interno: M. C. Víctor M. Aguilera Reyes**

**DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS**

**Secretario de Postgrado: Ricardo González Alcorta**

*Ricardo González Alcorta*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios y a Sta. María

A mi familia, especialmente al Sr. Hilario Cota Esquer y Sra. Ma. Lorenza Vásquez de Cota

A todos los maestros de la Universidad Autónoma de Nuevo León, especialmente al M.C. Víctor M. Aguilera Reyes por sus consejos, enseñanzas y asesoría en esta tesis.

A la Universidad de Sonora, especialmente al M.C. Arturo Ojeda de la Cruz, de la Escuela de Ing. Civil y Minas, a la M.I. Eva Lourdes Vega Granillo asesora externa de la Escuela de Geología, al Dr. José Castillo Gurrola, coasesor externo y al M.A. Miguel Angel Ríos A., de la Escuela de Agricultura y Ganadería, todos excelentes personas y maestros. A todos les agradezco su confianza, sus consejos y apoyo.

También de la Universidad de Sonora, a los alumnos: Guadalupe Borgos Valdez (Pupy), Claudio Escalante, José Luis Córdova, Juan Pablo Córdova, quienes con mi asesora y coasesor participamos en las visitas de campo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo en la realización de la Maestría.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN<sup>®</sup>  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## DEDICATORIA



**A Dios y a Sta. María**

**A mi familia, especialmente al Sr. Hilario Cota Esquer y Sra. Ma. Lorenza Vásquez de Cota**

UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN . . . . .	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS . . . . .	3
3. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. . . . .	6
4. ANTECEDENTES DE LOS PROBLEMAS DEL VALLE DE GUAYMAS . . . . .	9
5. EL MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	
5.1 Geología del Valle de Guaymas . . . . .	11
5.2 Suelos del Valle de Guaymas . . . . .	19
6. HIDRÁULICA	
6.1 Superficial	
6.1.1 Climatología . . . . .	20
6.1.2 Aprovechamientos. . . . .	25
6.2 Subterránea	
6.2.1 Censo de Pozos . . . . .	26
6.2.2 Estudios Geofísicos del Valle de Guaymas . . . . .	26
6.2.3 Fronteras . . . . .	28
6.2.4 Evolución de la Piezometría . . . . .	28
7. ESTUDIO DE LA HIDROGEOQUIMICA	
7.1 Calidad del agua subterránea. . . . .	33
7.2 Constituyentes químicos estudiados en el Valle de Guaymas . . . . .	40
7.3 Análisis de los datos históricos . . . . .	44
8. RESULTADOS	
8.1 Familias de aguas . . . . .	48

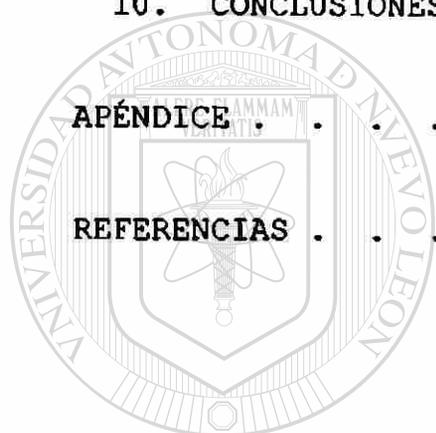
8.2 Evolución de la calidad química del agua subterránea . . . . .	69
8.2.1 Conductividad Eléctrica . . . . .	76
8.2.2 Potencial de Hidrógeno. . . . .	81
8.2.3 Sólidos Totales Disueltos. . . . .	85
8.2.4 Bicarbonato . . . . .	90
8.2.5 Sulfatos . . . . .	94
8.2.6 Sodio . . . . .	98
8.2.7 Cloro . . . . .	103
8.3 Contaminación del agua subterránea. . . . .	108

9. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS . . . . .	114
--	-----

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	115
--	-----

APÉNDICE . . . . .	117
--------------------	-----

REFERENCIAS . . . . .	140
-----------------------	-----



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
I.- Divisiones de la cuenca del Río Mátape . . .	20
II.- Temperaturas en las estaciones climatológicas de la cuenca del Río Mátape . . . . .	21
III.- Precipitación en las estaciones de la cuenca del Río Mátape . . . . .	24
IV.- Valores más frecuentes del agua de lluvia en ppm	34
V.- Resultados de Montes de Oca en 1988. . . . .	44
VI.- Muestreo de algunos pozos del Valle de Guaymas .	110
VII.- Resumen de la figura 14 a la 29 . . . . .	112
VIII.- Clasificación del agua para riego según Wilcox.	113

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

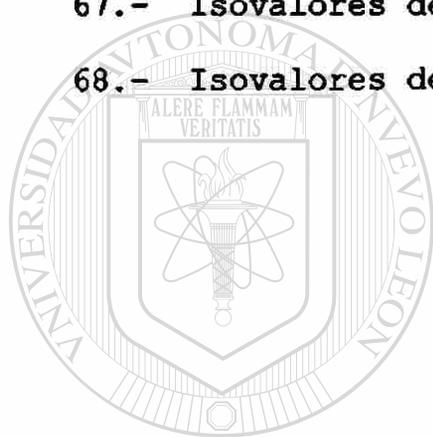
## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1.- Parte del equipo usado en el campo . . . . .	5
2.- Región Hidrológica 9 y cuenca del Río Mátape. . . . .	7
3.- Ubicación de la cuenca del Río Mátape y Valle de Guaymas en el estado de Sonora . . . . .	8
4.- Sierra y valle en la zona de estudio . . . . .	13
5.- Zona anómala y sondeo paralelo a la línea de la costa y a la carretera Guaymas-Obregón . . . . .	16
6.- Sondeo paralelo a la línea de la costa y a la carretera Guaymas-Obregón . . . . .	17
7.- Geología en el estado de Sonora. . . . .	18
8.- Climas en el estado de Sonora . . . . .	23
9.- Evolución de la piezometría del pozo 26 del Valle de Guaymas . . . . .	29
10.- Niveles estáticos en el Valle de Guaymas en 1975 . . . . .	31
11.- Niveles estáticos en el Valle de Guaymas en 1996 . . . . .	32
12.- Diagrama de Wilcox para aguas de riego . . . . .	39
13.- Ubicación de los pozos seleccionados del Valle de Guaymas . . . . .	50
14.- Diagramas de Stiff del pozo 138. . . . .	51
15.- Diagramas de Stiff del pozo 135. . . . .	52
16.- Diagramas de Stiff del pozo 20 . . . . .	53
17.- Diagramas de Stiff del pozo 27 . . . . .	54
18.- Diagramas de Stiff del pozo 83 . . . . .	55

19.- Diagramas de Stiff del pozo 70 . . . . .	56
20.- Diagramas de Stiff del pozo 131. . . . .	57
21.- Diagramas de Stiff del pozo 1-CP . . . . .	58
22.- Diagramas de Stiff del pozo 13-SM . . . . .	59
23.- Diagramas de Stiff del pozo 14-SM . . . . .	60
24.- Diagramas de Stiff del pozo 54-SM . . . . .	61
25.- Diagramas de Stiff del pozo 50-JMM . . . . .	62
26.- Diagramas de Stiff del pozo 109 . . . . .	63
27.- Diagramas de Stiff del pozo 118 . . . . .	64
28.- Diagramas de Stiff del pozo 121 . . . . .	65
29.- Diagramas de Stiff del pozo 143 . . . . .	66
30.- Diagrama de Piper de los pozos del Valle de Guaymas en 1997 . . . . .	67
31.- Diagrama de Piper de los pozos del Valle de Guaymas en 1998 . . . . .	68
<hr/>	
32.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 138 del Valle de Guaymas . . . . .	70
33.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 135 del Valle de Guaymas . . . . .	70
34.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 70 del Valle de Guaymas . . . . .	70
35.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 83 del Valle de Guaymas . . . . .	71
36.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 27 del Valle de Guaymas . . . . .	71
37.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 20 del Valle de Guaymas . . . . .	71
38.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 131 del Valle de Guaymas . . . . .	72

39.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 1-CP del Valle de Guaymas . . . . .	72
40.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 13-SM del Valle de Guaymas . . . . .	72
41.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 14-SM del Valle de Guaymas . . . . .	73
42.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 54-SM del Valle de Guaymas . . . . .	73
43.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 50-JMM del Valle de Guaymas . . . . .	73
44.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 109 del Valle de Guaymas . . . . .	74
45.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 118 del Valle de Guaymas . . . . .	74
46.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 121 del Valle de Guaymas . . . . .	74
47.- Tendencia de los valores de Cl del pozo 143 del Valle de Guaymas . . . . .	75
48.- Isovalores de CE del Valle de Guaymas en 1975. . . . .	78
49.- Isovalores de CE del Valle de Guaymas en 1986. . . . .	79
50.- Isovalores de CE del Valle de Guaymas en 1996. . . . .	80
51.- Isovalores de pH del Valle de Guaymas en 1975. . . . .	82
52.- Isovalores de pH del Valle de Guaymas en 1986. . . . .	83
53.- Isovalores de pH del Valle de Guaymas en 1996. . . . .	84
54.- Isovalores de STD del Valle de Guaymas en 1975 . . . . .	87
55.- Isovalores de STD del Valle de Guaymas en 1986 . . . . .	88
56.- Isovalores de STD del Valle de Guaymas en 1996 . . . . .	89
57.- Isovalores de HcO3 del Valle de Guaymas en 1975 . . . . .	91
58.- Isovalores de HcO3 del Valle de Guaymas en 1986 . . . . .	92
59.- Isovalores de HcO3 del Valle de Guaymas en 1996 . . . . .	93

60.- Isovalores de SO <sub>4</sub> del Valle de Guaymas en 1975 .	95
61.- Isovalores de SO <sub>4</sub> del Valle de Guaymas en 1986 .	96
62.- Isovalores de SO <sub>4</sub> del Valle de Guaymas en 1996 .	97
63.- Isovalores de Na del Valle de Guaymas en 1975. .	100
64.- Isovalores de Na del Valle de Guaymas en 1986. .	101
65.- Isovalores de Na del Valle de Guaymas en 1996. .	102
66.- Isovalores de Cl del Valle de Guaymas en 1975. .	105
67.- Isovalores de Cl del Valle de Guaymas en 1986. .	106
68.- Isovalores de Cl del Valle de Guaymas en 1996. .	107



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## RESUMEN

**Heriberto Cota Vásquez**

**Fecha de Terminación de Créditos de la Maestría: Diciembre 1996**

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Título de la Tesis: ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE GUAYMAS SONORA.**

**Numero de Páginas: 142**

**Candidato para el grado de Maestría Ciencias con Especialidad en Hidrología Subterránea.**

**Area de Estudio: Geohidrología Aplicada a la Ingeniería**

**Propósito, Contribuciones y Conclusión general:** Actualmente los acuíferos costeros con intrusión salina van en aumento, afectando los campos agrícolas en sus respectivas regiones; tal es el caso del acuífero del Valle de Guaymas, desde hace varios años. Para esta tesis se estudiaron las evoluciones de elementos como: Conductividad Eléctrica, Potencial de Hidrógeno, Sólidos Totales Disueltos, Bicarbonatos, Sulfatos, Sodio y Cloro, se seleccionaron varios pozos considerando que representarían varios puntos del acuífero, para cada uno de estos pozos se hicieron los diagramas de Stiff de los años 1975, 1986 y 1996 entre otros, esto para conocer mejor este acuífero y conociendo la magnitud del problema en la actualidad aportar soluciones al mismo, así como contribuir a futuras investigaciones que se realicen en esta región.

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

El estudio de la calidad del agua subterránea proporciona un conocimiento acerca del origen de la misma y ayudan a entender el funcionamiento de su sistema de flujo, algunos constituyentes determinados pueden detectar la presencia de yacimientos minerales escondidos (Werner, 1996). En países como México, Holanda, Israel, Sudáfrica y Estados Unidos se han registrado casos de intrusión salina en los acuíferos locales (Información verbal, Castillo 1997).

La interpretación geoquímica del agua subterránea se utiliza junto con la Geología y Geofísica como auxiliar para conocer y entender en forma más completa, el funcionamiento de los acuíferos y planear la explotación del agua en forma racional (Canales, 1989).

El estudio de la química del agua, en relación con los ambientes geológicos y antropogénicos, tiene que incluir el concepto de la evolución de la calidad química y sus implicaciones sobre usos, distribución y protección de este recurso.

La naturaleza propia de cada cuerpo de agua, su medio físico, la manera de explotación y la ausencia de medios de protección, traen a menudo la consecuencia de su deterioro en calidad y probablemente un aumento en el riesgo de la salud de los consumidores; la caracterización de los cuerpos de agua se logra mediante tres componentes principales, la hidrología, la fisico-química, y la biología; un criterio completo de la calidad del agua sólo se logra si existe un control apropiado de los tres

componentes (Barbarín, inéditos). En la presente tesis se estudiará la evolución de la parte química del acuífero del Valle de Guaymas, ya que esta agua se ha salinizado con el tiempo, lo que obliga a realizar estudios sobre el valle para conocer las diferentes familias de agua que actualmente se presentan y entender mejor el problema de salinidad, con lo que se podrían aportar soluciones al mismo. Los procedimientos relacionados en evaluar la calidad química del agua son complicados y son muchos; éstos han cambiado, de manera que en la actualidad éstas constituyen técnicas sofisticadas de monitoreo, realizando al final una tabla con el resumen, las configuraciones, los diagramas etc.

El agua ha sido siempre uno de los mejores solventes conocidos por el hombre, su grado relativamente lento de percolación, a través de la tierra, proporciona tiempo más que suficiente para que muchos de los minerales que forman la corteza de la tierra se incorporen a la solución. Estos minerales tienen diferentes grados de disolución en el agua, dependiendo de condiciones que pueden variar muy ampliamente, en una región pequeña. Como resultado, puede haber cambios apreciables en la calidad química del agua encontrada en regiones de extensión superficial relativamente limitada (Gibson,1974).

Para que los resultados de la investigación científica sean útiles, consistentes y confiables, deben tener una serie de etapas o tareas.

- 1.- EL PROBLEMA CIENTÍFICO.
- 2.- EL OBJETO DE LA INVESTIGACION.
- 3.- EL OBJETIVO DE LA INVESTIGACION.
- 4.- EL CAMPO DE ACCION.
- 5.- LA HIPÓTESIS.
- 6.- LOS MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.

En esta tesis son las siguientes:

- 1.- Aumento de las sales en las aguas subterráneas del Valle de Guaymas.
- 2.- El acuífero del Valle de Guaymas.
- 3.- Caracterización de la propiedades químicas de las aguas subterráneas del Valle de Guaymas.

---

4.- Hidrogeoquímica.

5.- Si se conoce la evolución de las sales en las aguas subterráneas del Valle de Guaymas, se puede dar mejor uso a estas y planear acciones a futuro para detener la contaminación y si es posible disminuirla.

6.- Revisión de trabajos anteriores sobre el área, visitas de campo, tomas de muestras, análisis geoquímico de muestras, tomas de datos en el sitio, proceso de la información con gráficas de isovalores de conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno, sólidos totales disueltos, bicarbonatos, sulfatos, sodio, cloro, también con clasificación de agua de acuerdo a Stiff, Piper, Wilcox y la evolución de los parámetros en el tiempo.

## CAPITULO 2

### MATERIALES Y MÉTODOS

Primero se evaluaron los antecedentes del Valle de Guaymas, donde se comprobó que continúa la contaminación salina. Se revisó también alguna bibliografía sobre el tema, y se estudiaron trabajos y tesis realizadas anteriormente en la región; se hicieron salidas al campo para tomar muestras de agua, utilizando botellas de plástico de un litro de capacidad, analizando en el campo, el pH, las temperaturas y conductividad eléctrica. Se utilizaron un termómetro y un peachimetro digital, se tomaron las coordenadas en X y en Y de cada pozo, utilizando un GPS (ver figura 1); se tomaron niveles estáticos en el paro de equipos de bombeo en 1997, decretado por la Comisión Nacional del Agua, CNA, y en colaboración con la misma; se analizaron los datos de laboratorio de diferentes pozos. Se estudió la Geología de la región, analizando cartas del INEGI, sobre Hidrología Superficial, Hidrología Subterránea y Geológica, en escala 1:250000 H12-11 y G12-2 así como estudios realizados por compañías particulares y centros de investigación de universidades, la hidráulica superficial, la subterránea, la climatología, la geofísica y las fronteras del acuífero también fueron analizadas de esta manera; todo para interpretar el avance de la contaminación y sus efectos actuales en la zona. Se revisaron los datos desde 1975 a 1998 de las concentraciones de Cloro, Sodio, Calcio, Magnesio, y Bicarbonatos. Se usó el "Surfer" para hacer las curvas de diferentes valores, para interpretar las familias de aguas en el Valle de Guaymas; se usaron los paquetes "Plotchem" y "Calidad".



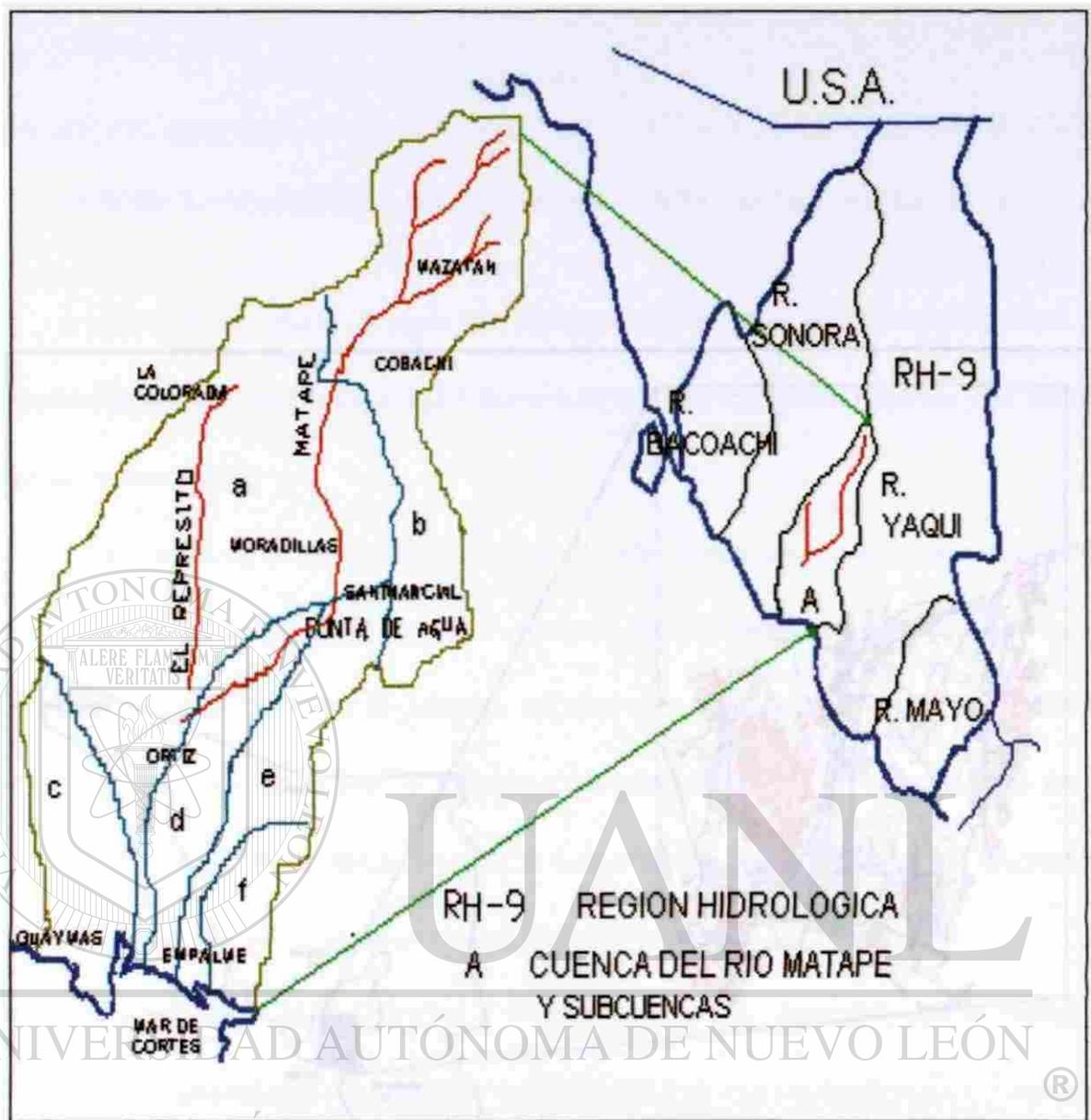
Figura 1.- Parte del equipo usado en el campo

## CAPITULO 3

### LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de Guaymas se encuentra en la cuenca del Río Mátape, que a su vez pertenece a la región Hidrológica 9, Sonora Sur. Esta región Hidrológica se ubica en las porciones noreste, este y sur de Sonora; tiene una superficie en territorio mexicano (Sonora y Chihuahua) de 137 504 km<sup>2</sup>, la cuenca del Río Mátape se encuentra en la porción central de la entidad y al oeste de lo que la SARH denominó la región Hidrológica 9; comprende un área de 9 043 km<sup>2</sup>, localizada íntegramente dentro del estado de Sonora (ver figura 2), el distrito de riego 84, el Valle de Guaymas representa la unidad con mayor superficie agrícola dentro de la cuenca, ocupando cerca del 35% de la misma, se localiza en la planicie de la cuenca y perteneciente a los municipios de

Guaymas y Empalme, sus cultivos principales son: trigo, cártamo, hortalizas, algodón, cítricos, vid, nogal y forrajes; el acuífero de la zona de Guaymas, se localiza en la parte centro-meridional del estado de Sonora y hacia el oeste de la región Hidrológica 9, Sonora sur (INEGI, 1993). El Valle de Guaymas presenta límites naturales bien definidos: al norte colinda con la sierra de San Antonio; al oeste, con la sierra de Santa Úrsula y El Pozo; al sur, con el Golfo de California y al este, con la sierra El Bacatete (Arambula/Palomino, 1991). La zona de estudio se encuentra dentro de las coordenadas 27° 52' y 28° 23' de Latitud norte, con 110° 32' y 110° 48' de Longitud oeste (ver figura 3).

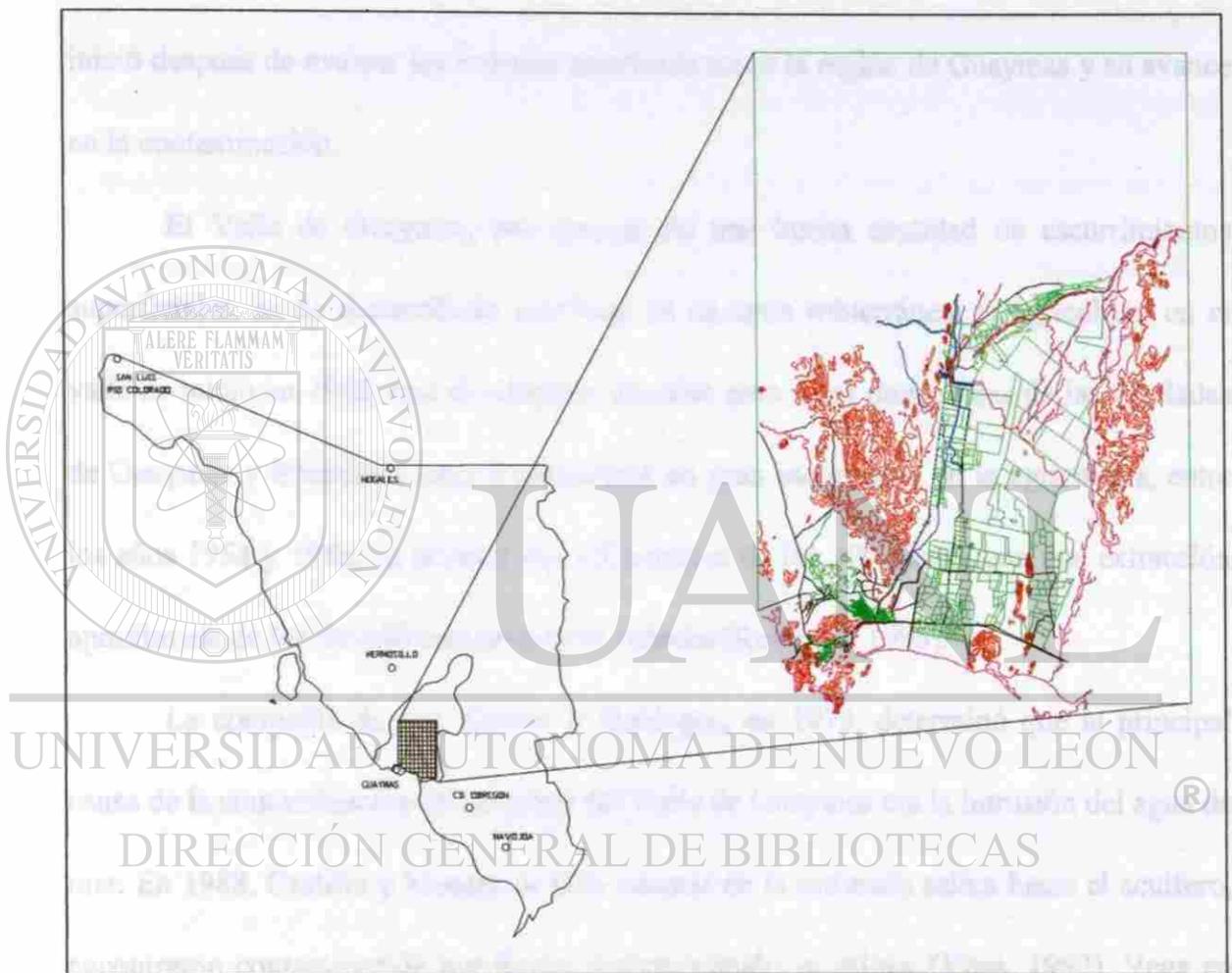


Subcuencas:

- a.- R. Empalme-Mátape
- c.- A. Guaymas
- e.- A. Chicuroso

- b.- R. Mátape-Presa Punta de Agua
- d.- Guaymas
- f.- A. Tetachiate

Figura 2.- Región Hidrológica 9 y cuenca del Río Mátape (Universidad de Sonora)



**Figura 3.- Ubicación de la Cuenca del Río Mátape y Valle de Guaymas en el estado de Sonora (Universidad de Sonora)**

## CAPITULO 4

### ANTECEDENTES DE LOS PROBLEMAS DEL VALLE DE GUAYMAS

Este trabajo sobre la evolución de la calidad química del agua subterránea se inició después de evaluar los trabajos anteriores sobre la región de Guaymas y su avance en la contaminación.

El Valle de Guaymas, por carecer de una buena cantidad de escurrimientos superficiales, se ha desarrollado con base en su agua subterránea, la agricultura en el valle se inició en 1940, que al principio era sólo para fines domésticos de las Ciudades de Guaymas y Empalme; pero al registrarse un gran incremento en la agricultura, entre los años 1954 y 1956, se alcanzó una cifra mayor de los 100 pozos, con una extracción aproximada de los 80 millones de metros cúbicos (Restrepo, 1995).

La compañía de Ing. Civiles y Geólogos, en 1975, determinó que la principal causa de la contaminación del acuífero del Valle de Guaymas era la intrusión del agua de mar. En 1988, Castillo y Montes de Oca además de la intrusión salina hacia el acuífero, encontraron contaminación por Bario, desconociendo su origen (Vega, 1992). Vega en 1992 determina que el Bario proviene de una ocurrencia natural aportada probablemente por los estratos paleozoicos con Barita sedimentaria, que en partes afloran y otros lugares subyacen en los valles de la cuenca. En el presente trabajo no se estudiará el problema del Bario.

Los suelos afectados por salinidad, según datos del INEGI de 1983, cubrían más de 100000 ha en la cuenca del Río Mátape, y prácticamente todo el Valle de Guaymas;

sin embargo, el distrito de riego 084-Guaymas, en 1992, muestra áreas menores de 10000 ha, aunque no se pueden comparar ambos reportes, ya que se realizaron en tiempos diferentes y con diferentes métodos (ICGA 1975). Pero muestran la salinidad del Valle, inducida principalmente por aguas de riego con alto contenido de sales. El agua de lluvia acarrea, por infiltración, estas sales a las aguas subterráneas. En el Valle de Guaymas no se recomienda perforar pozos de mas de 300 m de profundidad, ya que aumenta la posibilidad de encontrar mantos salados y localizar las nuevas perforaciones de los pozos lejos de la costa, para garantizar una vida útil mayor para el año 2010, se estimaba que la salinidad habria avanzado 20 km de la costa. Se están realizando diferentes estudios que continuarán los próximos años, sobre el Valle de Guaymas; ya que este acuífero es uno de los más importantes en el estado de Sonora, tanto por su uso, por estar localizado en una región cálida, como por su extensión y el avance de la contaminación.

El agua se extrae por pozos profundos, para desarrollar agricultura extensiva y para abastecer a las ciudades de Guaymas, Empalme y San Carlos, importante zona comercial y turística del Estado. Aquí la sobreexplotación del acuífero ha acelerado la invasión salina hacia el continente, dejando inutilizados algunos pozos (Vega, 1992). La zona de Guaymas es una zona de veda, desde el 20 de Diciembre de 1956; el distrito de riego Valle de Guaymas es zona de veda desde el 5 de Julio de 1967 (Información verbal, Castillo 1997).

## CAPITULO 5

### MARCO GEOLÓGICO REGIONAL:

#### 5.1 Geología del Valle de Guaymas

Esfuerzos tectónicos de tipo este-oeste provocaron la separación del basamento granítico en bloques orientados norte-sur, y limitados por grandes fallas posteriores a la separación, a través de las fracturas se emplazaron derrames andesíticos y basálticos cubiertos luego por sedimentos fluviales marítimos y lacustres, formando valles (ver figura 4). Los sedimentos del Valle de Guaymas descansan sobre una depresión rectangular de aproximadamente 15 X 45 km, a lo largo de la sección norte-sur; estos esfuerzos tectónicos de tipo tencional originaron los grabens y horst en la Sierra "El Bacatete". Herrera y otros concluyen en 1985 que:

a) la estructura tectónica regional ha dado lugar a profundidades mayores de los 200 m, a cuencas y canales aislados semejantes a los que se observan en la superficie; hacia el sureste se tiene una cuenca de 600-900 m de profundidad, separada por un canal este-oeste; de otra cuenca al norte, de más de 1000 m de profundidad.

b) sobre el basamento granítico se hallan capas intemperizadas del mismo. En los lugares con granito o con sedimentos se tiene buena permeabilidad, pero por su estructura no se hallan comunicados.

c) sobre las rocas anteriores se tiene un paquete con 160 m de sedimentos fluviales, lacustres y marinos, que constituyen el acuífero superior, que en ciertas zonas

descansa sobre arcilla, de 40-200 m de espesor, y en otros lugares el sedimento que lo subyace es arcilloso (ver figuras 5 y 6).

Los afloramientos (ver figura 7) que tenemos en el Valle de Guaymas son:

**Precámbrico:** No aflora.

**Paleozoico:** No aflora.

**Mesozoico:**

**GRANODIORITA K(Gd)**

Aflora sólo en una sección muy pequeña, relacionado con el afloramiento basalto del cenozoico Q(B), al sur del Ejido Úrsulo Galván y al oeste del Heriberto Jara.

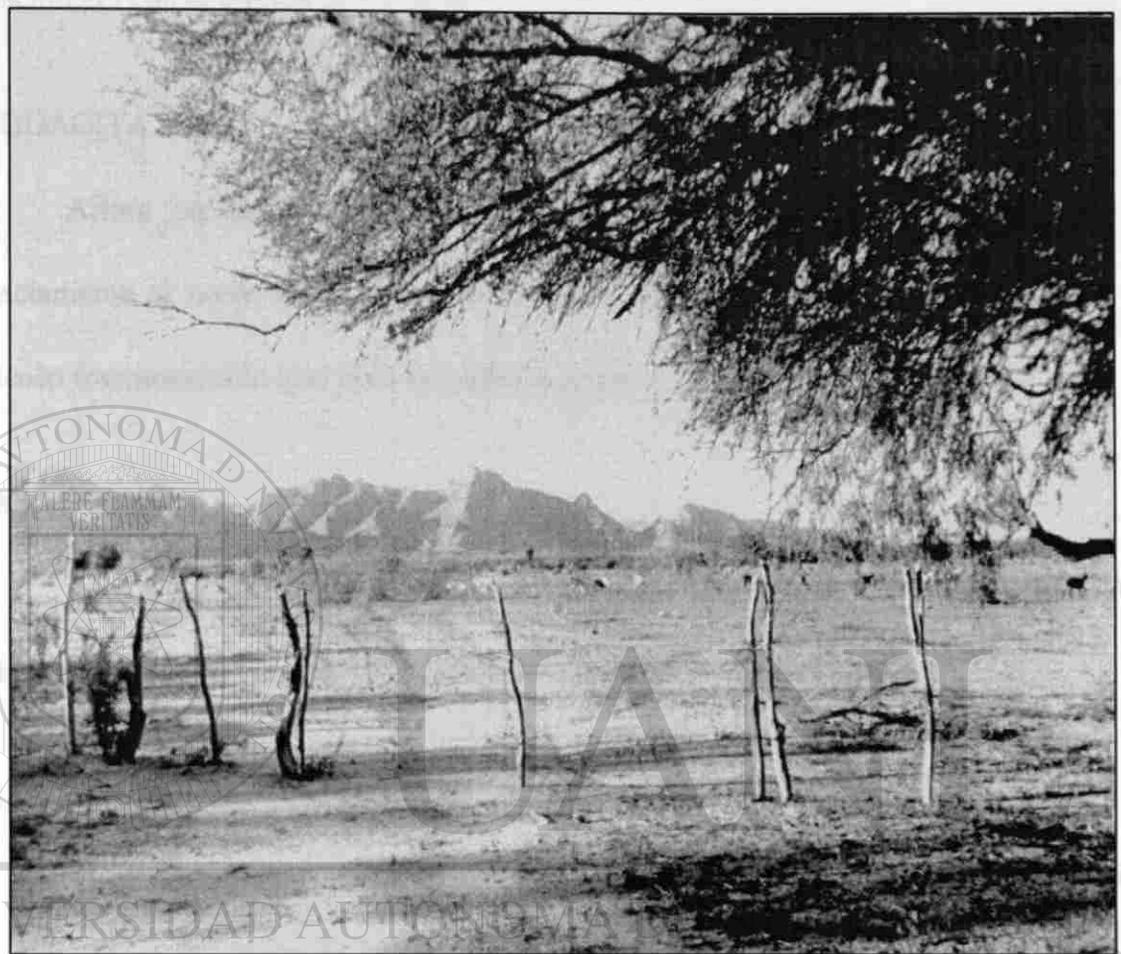
**GRANITO K(Gr)**

Tiene pequeños afloramientos en los Ejidos Mariano Escobedo y Lomas El Sobadero, en el resto del valle no aflora, sólo en la parte oeste de la Sierra Santa Úrsula y en la parte este del valle, en proporción mucho menor.

**Cenozoico:**

**CONGLOMERADO T(Cg)**

Aflora en una gran parte del centro al norte del valle, iniciando en el sur, desde el Ejido Francisco Márquez, hasta el inicio de la Sierra de San Antonio, en el norte



**Figura 4.- Sierra y valle en el Valle de Guaymas**

### **RIOLITA-TOBA ACIDA T(R-Ta)**

Aflora en secciones pequeñas al centro sur del valle, generalmente está relacionado con el afloramiento Q(B).

### **RIODACITA Ti(Rd)**

Aflora en una pequeña parte, colindando con la parte este, del valle y exactamente al norte del poblado de Empalme, su color es rojo claro y presenta un intenso fracturamiento que le da un carácter lajeado.

### **BASALTO Q(B)**

Aflora distribuido en secciones, al centro-sur del valle, también limita en la parte este y oeste del mismo valle; es de color negro, que interperiza a café.

### **ALUVIAL Q(al)**

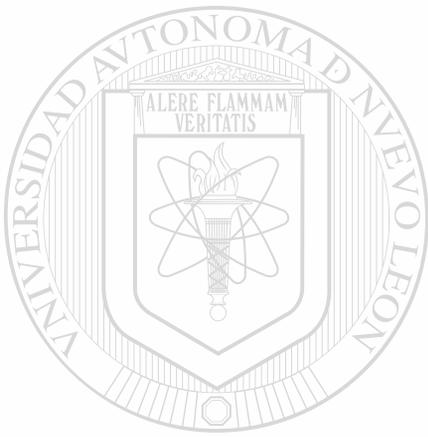
Es el afloramiento mayor del valle, prácticamente cubriéndolo todo, a excepción de la parte norte, donde predomina el conglomerado del terciario; se comprende de materiales derivados de rocas ígneas, con restos limo-arcillosos; en algunas áreas tienen, además, aportes de rocas sedimentarias.

### **LACUSTRE Q(la)**

Sólo aflora en la parte sur del valle, exactamente en la parte de la costa, está compuesto por materiales areno-arcilloso y cantidades considerables de evaporitas, como la sal.

## EÓLICO Q(eo)

Se encuentra sólo en el sur del valle, en lo que es la parte de la costa, son depósitos de arena de cuarzo y feldespato, provenientes de las acumulaciones litorales y son transportadas por el viento, formando dunas de poca extensión en la playa.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

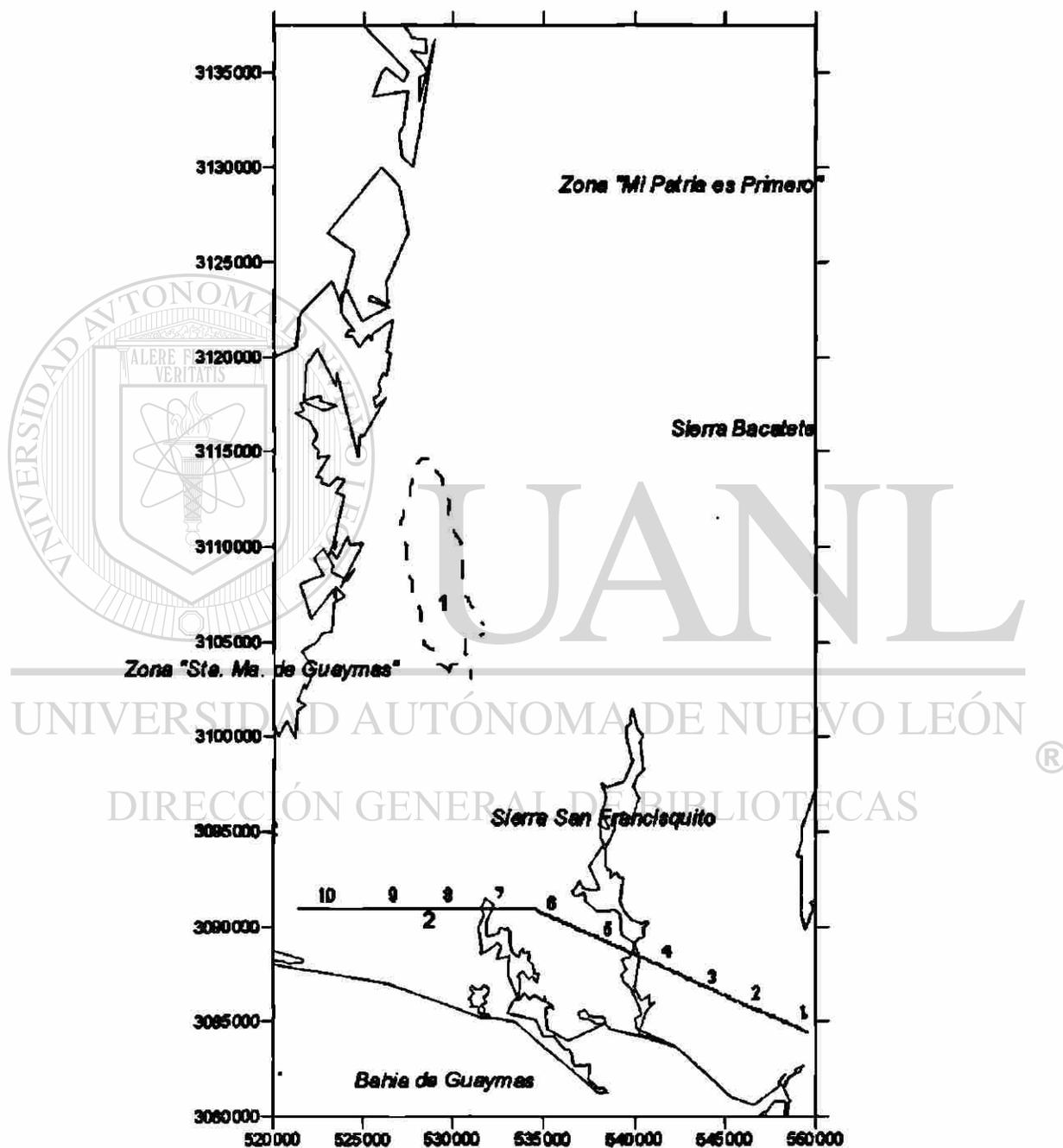


Figura 5

- 1.- Zona anómala
- 2.- Sondeo paralelo a la línea de la costa y a la carretera Guaymas- Obregón

**SONDEO PARALELO A LA LINEA DE LA COSTA Y A LA CARRETERA  
GUAYMAS OBREGON**

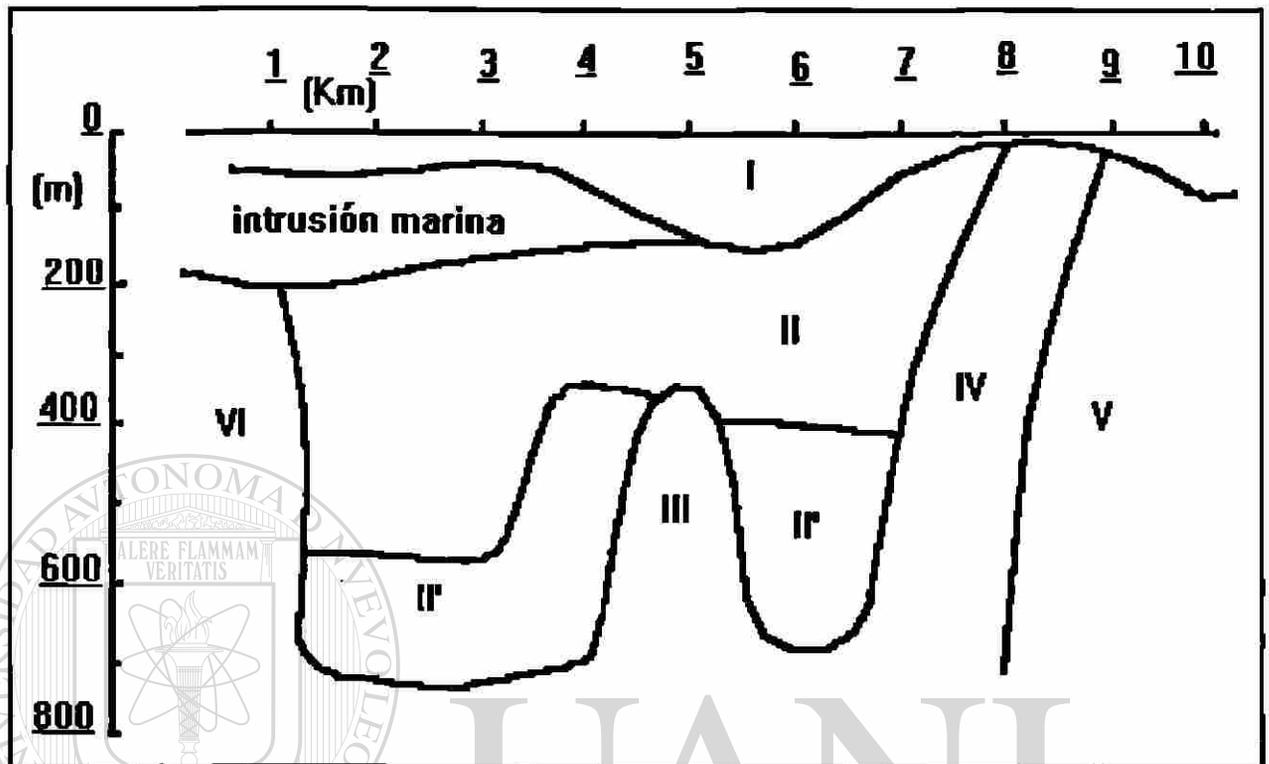


Figura 6

(Campos/Ortega/Medina)

I.-Sedimentos no consolidados

II.- Arcilla

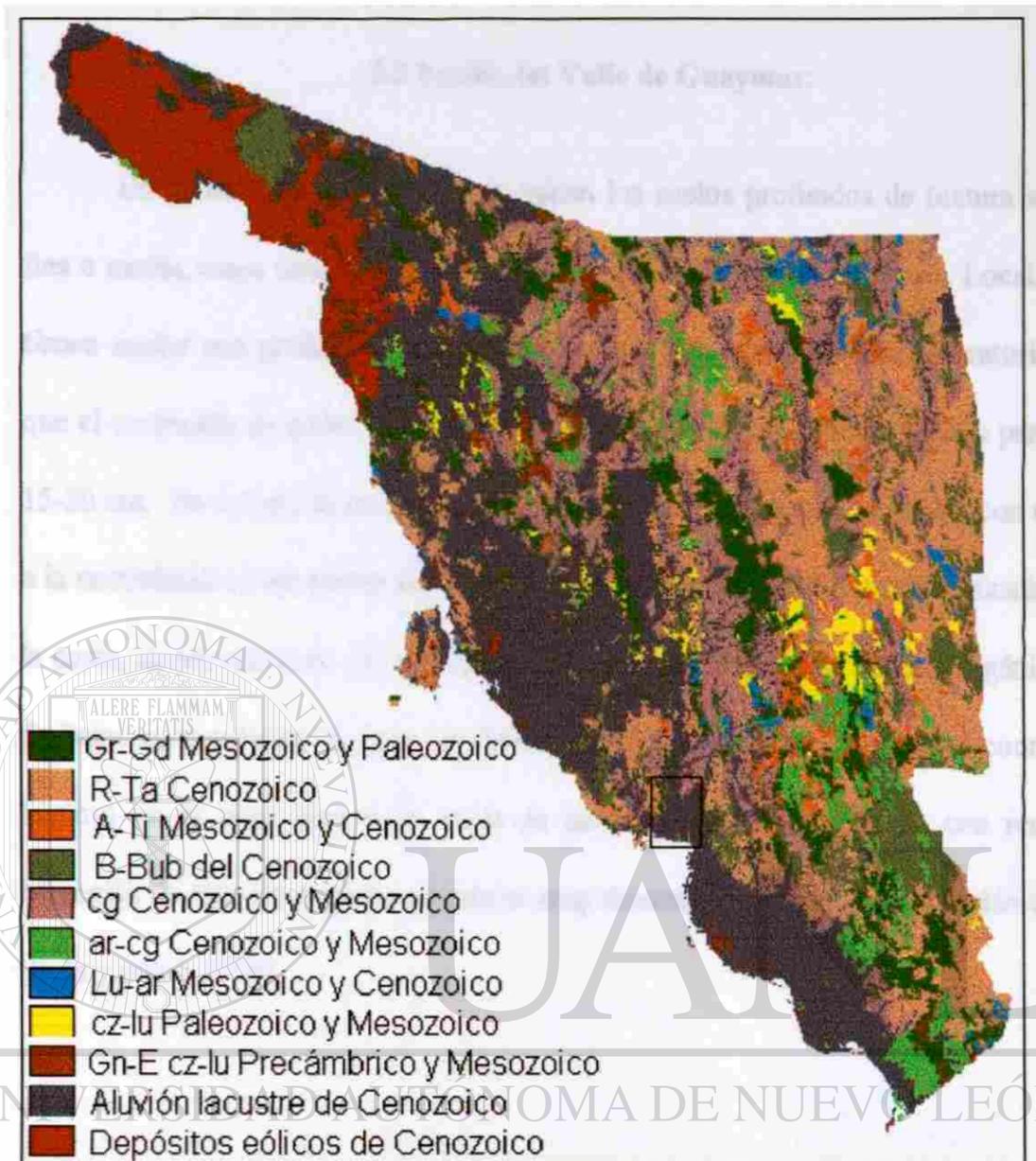
II'.-Arcilla Granular

III.-Paquete granular poco permeable, probablemente arcilla lenticular

IV.-Zona de alteración de V

V.-Continuación de la Sierra San Francisquito en el subsuelo, cuerpo intrusivo

VI.-Basamentos



**Figura 7**

**Geología en el Estado de Sonora**

**(CIDESON, Internet)**

## 5.2 Suelos del Valle de Guaymas:

En general, se observa que dominan los suelos profundos de textura superficial fina a media, éstos ocupan más del 60% del área del Valle de Guaymas. Localmente, se tienen suelos con profundidad menor de los 100 cm, los análisis de laboratorio indican que el contenido de sodio es poco alto a poca profundidad, detectándose a partir de los 15-30 cm. En su pH, se consideran, en general, moderadamente alcalinos, con tendencia a la neutralidad en las partes altas. En contraste, tienden a ser fuertemente alcalinos hacia la costa, donde alcanzan pH mayores de 8.5. Los contenidos de materia orgánica varían de bajos a muy bajos; aunque localmente pueden tener valores altos, el contenido de Fósforo en la capa superficial varía de medio a alto y su relación con respecto al contenido de materia orgánica no parece muy directa y tienen un alto contenido de calcio. (Pefía y otros, 1995).

## CAPITULO 6

### HIDRÁULICA

#### 6.1 Superficial

La zona estudiada se encuentra localizada en la provincia fisiográfica: Zona Desértica de Sonora (Cartas INEGI, 1983).

TABLA I

DIVISIONES DE LA CUENCA DEL RÍO MÁTAPE

REGIÓN	CUENCA	SUBCUENCA
RH-9 Sonora Sur	C) Río Mátape	a) R. Empalme - Mátape
		b) R.Mátape- Presa Punta de Agua
		c) A.Guaymas
		d) Guaymas
		e) A.Chicuroso
		f) A.Tetacbiate

Cartas de Hidrología Superficial, INEGI 1983.

El Valle de Guaymas comprende la subcuena a, en su mitad noroeste, la mayor parte de la subcuena d parte de la subcuena e, en el este del valle y en la parte inferior derecha del valle, una pequeña parte de la subcuena f (ver figura 2).

##### 6.1.1 Climatología

El clima es el promedio de los estados del tiempo de un área determinada, calculada sobre observaciones hechas durante un período muy largo. Los elementos que entran en la determinación del clima son también elementos de tiempo: temperatura,

presión, viento, humedad y precipitaciones (López, 1993). El clima predominante en la región es de tipo semidesértico, seco muy cálido, del tipo BW (h') w (c) con lluvias deficientes todo el año (ver figura 8). La temperatura media anual es de 23 °C, en las zonas montañosas es de 18.3 °C; en la zona intermedia es de 22.5 °C y en las zonas bajas es de 25.1°C, con una humedad relativa media registrada en Guaymas de 55% (SARH,1988). La temperatura mínima registrada en la zona es de -6.5 °C y la máxima es de 50 °C decreciendo entre dos y cuatro grados en las partes altas.

**TABLA II**  
**TEMPERATURAS EN LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO MÁTAPE (1967-1995)**

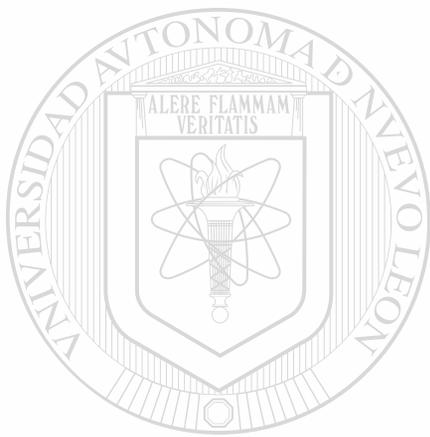
Estación	Máxima	Mínima	Municipio	Latitud	Longitud
Punta de agua	49.0	-6.5	Guaymas	28°25'59"	110°23'34"
La Misa	50.0	3.0	Guaymas	28°22'37"	110°31'51"
San Francisco	47.0	-1.0	Guaymas	28°09'00"	110°41'12"
Fco. Márquez	46.0	-2.0	Guaymas	28°03'18"	110°36'42"
ETA	48.0	1.0	Empalme	28°03'18"	110°45'30"
Guaymas	43.0	1.0	Guaymas	27°55'36"	110°56'30"
San Ignacio			Empalme	27°57'42"	110°43'30"

( CNA Datos Técnicos)

La precipitación media anual es de 320 mm, mientras que la evaporación potencial media anual es de 2600 mm (ver tabla III), la cual es aproximadamente 8 veces más que la precipitación.

El escurrimiento superficial se presenta sólo en épocas de lluvia, que es entre los meses de Julio a Septiembre, efectuándose a través del cauce del Río Mátape. Durante el

mes de agosto es cuando se presenta la mayor cantidad de lluvias, con una precipitación media de 80.4 mm en la planicie registrada en la Estación Guaymas y de 121.6 mm en la zona montañosa de la Estación Punta de Agua.



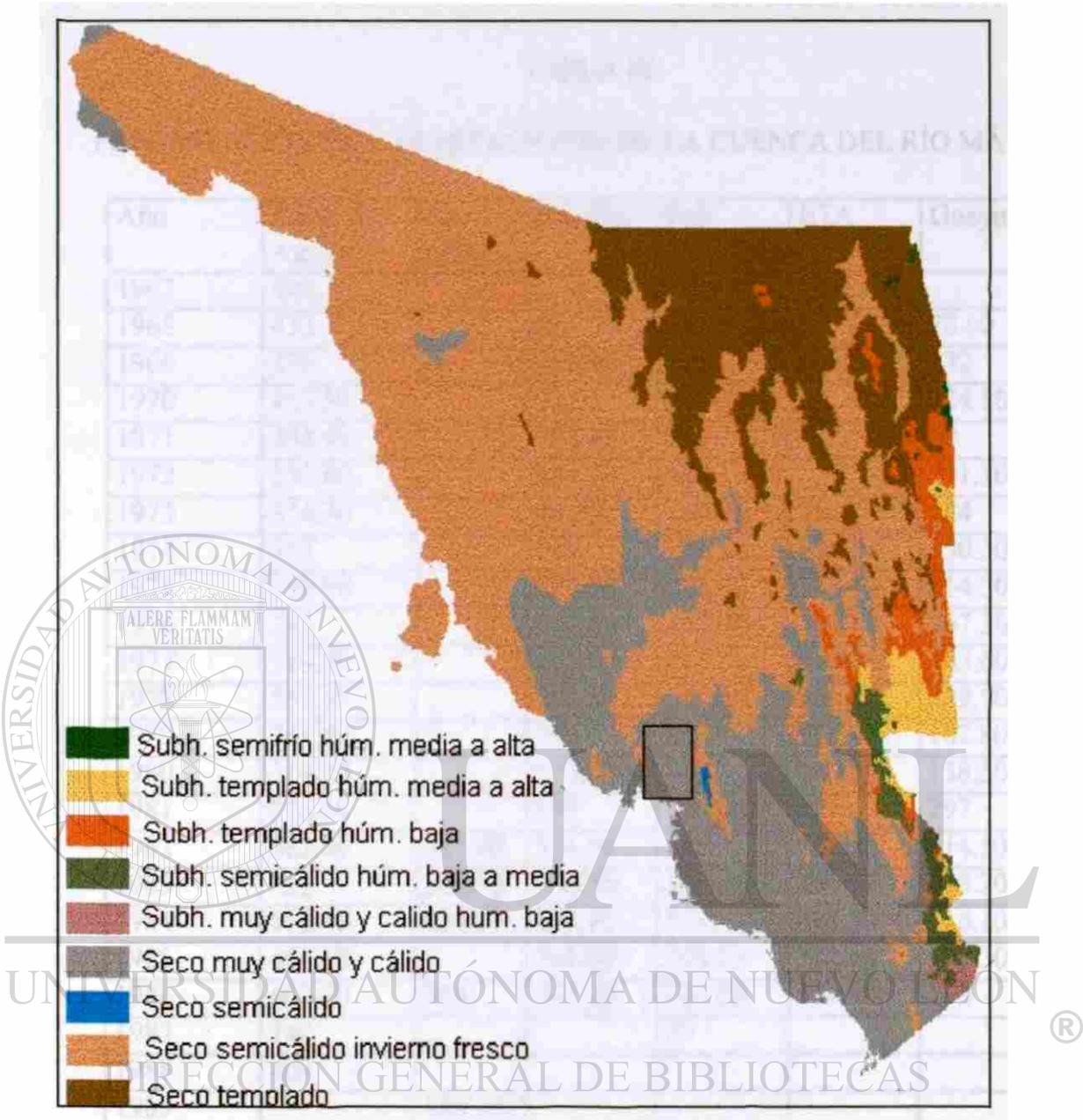
# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**Figura 8.- Climas en el estado de Sonora**

**(CIDESON, Internet)**

TABLA III

PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO MÁTAPE

Año	Punta de Agua	La Misa	San Fco.	Fco. Márquez	ETA	Guaymas
1967	448					
1968	433		88	80		28.60
1969	379		281.50	226		132
1970	453.50		241	163.50		224.50
1971	388.40		197.40	165		69
1972	293.60		184.50	158		291.30
1973	354.30		49.50	142.50	28	124
1974	555		285	294.50	235.20	150.30
1975	350.90		250.50	222.40	147.40	214.30
1976	285		144.50	140.50	150.40	267.30
1977	226.20		153.50	111	140.80	163.60
1978	537.60		279.30	357.40	233.50	229.80
1979	241.80		280	288	221.40	107.80
1980	314.90		133.60	255	98.30	138.50
1981	376.10		180	254.60	127	297
1982	382.90	323.40	514.20	565	362.60	414.50
1983	452	308.50	550.50	536.90	458.60	515.20
1984	591.40	414.60	531.70	550	483.30	516.10
1985	451.10		391.90	244.60	332.10	194.30
1986	407.80	369	347.30	466.50	357.90	399
1987	240			87		
1988	408					
1989		189.10				
1990	585.20	344.30		611.50		
1991		483		455.50		
1992	631.90	451.90	661.30	510.50	214.30	
1993	429.40	438.50	235	416.50		
1994	542	472				
1995	447.80	328				
Promedio de Estación	415.06	374.7	284.7	304.26	239.38	235.6

(CNA Datos Técnicos).

### 6.1.2 Aprovechamientos

La pendiente general en la Cuenca del Río Mátape oscila entre media y baja. El dren principal de la cuenca es el Río Mátape, el cual tiene su nacimiento al norte de la localidad de Mátape, desde donde inicia su trayectoria de 82 km hasta descargar sus aguas en el vaso de la Presa Ignacio L. Alatorre, para que posteriormente su cauce se aproveche en la zona agrícola del Valle de Guaymas. Durante este recorrido, el Río Mátape observa una pendiente media de 0.38% y dirección general noreste - suroeste.

Las presas Ignacio L. Alatorre y La Haciendita, ambas sobre el Río Mátape, representan las obras de almacenamiento de mayor importancia en el área. El aprovechamiento del agua superficial se destina a las actividades agrícolas, domésticas y pecuarias.

La disponibilidad del agua en la superficie de la Cuenca Río Mátape es del orden de los 120.62 millones de m<sup>3</sup> anuales, derivados a partir de un volumen medio anual precipitado de 3092.7 millones de m<sup>3</sup> y un coeficiente de escurrimiento abtenido de 3.9% (INEGI,1993). En el Valle de Guaymas, por ser un área agrícola, se tiene una buena cantidad de canales y arroyos, como: San Marcial, El Seco, Santa Cruz, Mautal, El Cochino, La Crucecita, El Salpullido y el Río Mátape, en la parte norte. Huichori, San Alejandro, La Tinaja, La Palma y San Marcial, en la parte central; El Carrizo y Guapari en el sur del valle (INEGI).

## 6.2 Subterránea

### 6.2.1 Censo de Pozos

En el Valle de Guaymas se tiene un número aproximado de 167 aprovechamientos conocidos, entre los que se encuentran pozos con papalote, norias y pozos con bombas eléctricas, siendo estas últimas las que predominan. El diámetro de descarga predominante en el valle es de 10 plg. Se debe tomar en cuenta que las reubicaciones de algunos aprovechamientos, así como el cierre de otros, es casi constante, por lo que el número varía constantemente.

### 6.2.2 Estudios geofísicos del Valle de Guaymas

En 1975, la compañía de Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados practicó pozos de exploración de hasta 200 m de profundidad. Se encontraron lentes de arcilla que hicieron pensar en tres acuíferos, los dos primeros separados por arcilla café, y el tercero separado por el segundo, por una formación arcillosa compacta del terciario, llamada arcilla azul. A la arcilla que separa al acuífero superior del intermedio se le asignaron espesores variables de alrededor de 15 m; al acuífero superior un espesor variable, saturado desde 8 m hasta 38 m, el espesor del acuífero intermedio también se detectó variable, desde 10 m hasta 55 m. Se debe tomar en cuenta que estos estudios no cubrieron totalmente lo que representa todo el valle, dejando sin información la parte norte del mismo.

En 1984 se llegó a conclusiones completamente distintas a lo que se pensaba en los años anteriores a esa fecha. En este trabajo, realizado por Campos y otros, se presentó un modelo geoestructural evidenciando un control tectónico no sólo en las

estructuras relacionadas con el basamento, sino en el paquete sedimentario suprayacente. Este paquete se compuso de depósitos granulares y de un paquete arcilloso que comprende la arcilla azul. Esta formación resultó no ser tan continua ni con la geometría que se suponía antes de 1984, concluyendo entonces que se podía hablar de un acuífero superior, con un espesor promedio de 150 m y con transmisibilidades que van desde  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$  a  $7.1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{seg.}$  constituido por depósitos aluviales representados por capas de boleos, gravas, arenas y arcillas, dispuestas en forma errática, y una serie de formaciones acuíferas semiconfinadas y/o colgadas, con espesor promedio de 160 m y transmisibilidad media de  $2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{seg.}$  Este estudio determinó lo siguiente: en dirección este-oeste, paralelos a la costa y a un costado de la carretera Guaymas - Obregón se tienen sedimentos no consolidados, con profundidades desde cero hasta 200 m (ver figuras 5 y 6). La recarga media anual es del orden de los 100 millones de  $\text{m}^3$ , de los cuales 40 son generados por los retornos de riego; 30 ingresan por la parte norte, por la alimentación subterránea, 20 aporta el acuífero inferior y los 10 restantes corresponden a la infiltración vertical de la lluvia, que se suscita principalmente en la parte alta del valle. Se estima que la recarga natural del acuífero inferior es de 10 millones de  $\text{m}^3$  anuales. El flujo regional del agua subterránea es de norte a sur, mientras que el flujo local presenta un comportamiento radial, hacia el oeste de la zona.

En general, prácticamente todo el Valle de Guaymas se considera con posibilidades altas de formar acuíferos, excepto en pequeñas partes en el sur del valle, donde se considera como material consolidado con posibilidades bajas. (INEGI, 1993), (Herrera, 1984)

### 6.2.3 Fronteras

Las fronteras en el Valle de Guaymas son, en su parte sur, el Mar de Cortés y la Sierra San Francisquito; en la parte este, la Sierra El Bacatete; el valle limita, en la parte oeste, con la Sierra Santa Úrsula. Las mismas fronteras del Valle de Guaymas, en sus partes sur, este y oeste, son también las fronteras de su acuífero. En el norte, la frontera se considera la recarga constante de su infiltración del agua de lluvia.

La permeabilidad de los materiales que se encuentran en el área tiene características bien definidas, que puede clasificarse de alta a baja. Las sierras compuestas por rocas ígneas principalmente y por pequeños afloramientos de sedimentarias, se han considerado como impermeables, debido a su origen, composición, y al poco fracturamiento que presentan. También se consideró de permeabilidad baja a la superficie del suelo lacustre aledaño a la costa, en el noroeste.

Las serranías compuestas de rocas basálticas recientes, que se encuentran intensamente fracturadas, se consideran permeables, así como a los materiales que forman el valle, con suelos de origen aluvial y composición arenosa (Beltrán, 1983) (Córdova/Salomón, 1997) (INEGI, 1993).

### 6.2.4 Evolución de la Piezometría

La evolución de la piezometría ha sufrido un gran descenso, desde que se inició la extracción, hacia 1940. Esto ha sido ocasionado por el incremento de la demanda en la agricultura y en la población, además de que esto mismo está ocasionando la intrusión salina del agua de mar; que avanza, desde los pozos de la playa, hacia los que están más

en el centro del valle. Se tiene también la recuperación de varios pozos, pero ésta es en gran parte por la intrusión del agua del mar en el acuífero, por ejemplo:

	1990	1991	1992
Pozos recuperados	28	30	46
Pozos Abatidos	70	31	27
			CNA, Datos Técnicos

En el período comprendido de 1967 a 1988, se registraron abatimientos que van desde 10 m hasta 40 m, lo que sitúa al nivel estático a profundidades que fluctúan entre los 26 m, en el sur de la zona y los 119 m, en la porción noreste (INEGI,1993).

Se tienen registros de la piezometría de la mayoría de los pozos, pero prácticamente uno solo de los pozos, el 26 es el que cuenta con medición de todos los años, desde 1967.

Este pozo se encuentra en el Ejido Cruz de Piedra, en el sur del Valle de Guaymas.

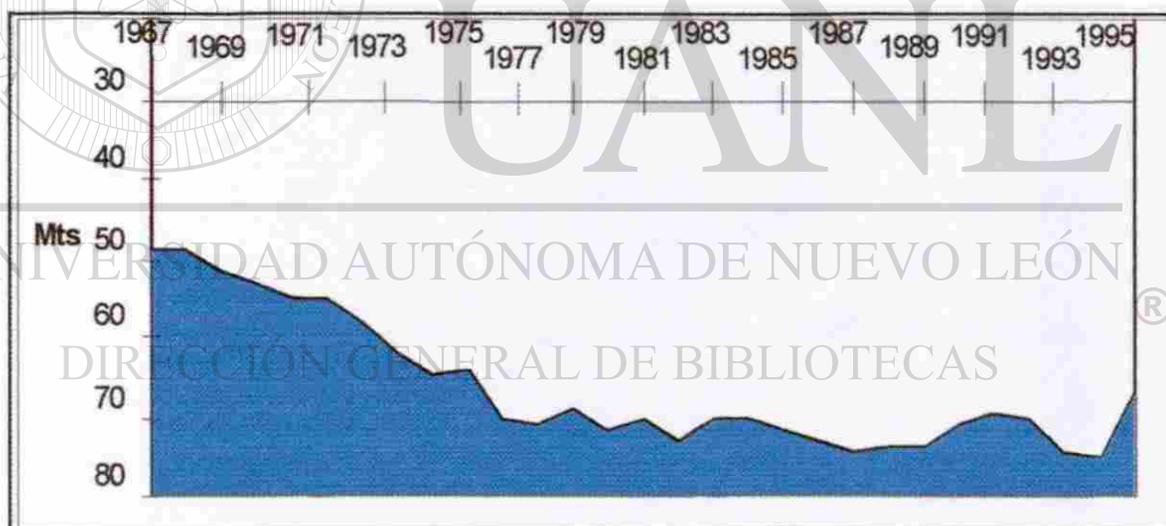
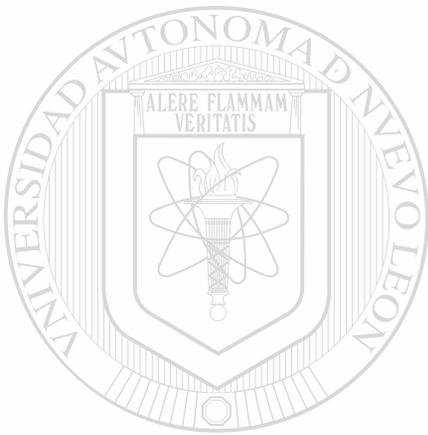


Figura 9.- Evolución de la piezometría del pozo 26 del Valle de Guaymas.

Los problemas en el Valle de Guaymas y Empalme se han incrementado con el tiempo; en la actualidad, se ha llegado a la necesidad de implantar un plan correctivo, por la reducción de los mantos acuíferos en un 15% en los últimos dos años, según datos de la CNA, en Empalme.

**El valle de Guaymas se encuentra en un 50% de su capacidad productora. Esto se debe no sólo a los problemas anteriormente expuestos, o por el acuerdo de reducción de las extracciones, iniciado en 1983, sino también a la crisis económica que ha enfrentado el productor agrícola. (Córdova / Salmón,1997)**

**En las figuras 10 y 11 se ve la evolución de la piezometría del Valle de Guaymas.**



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

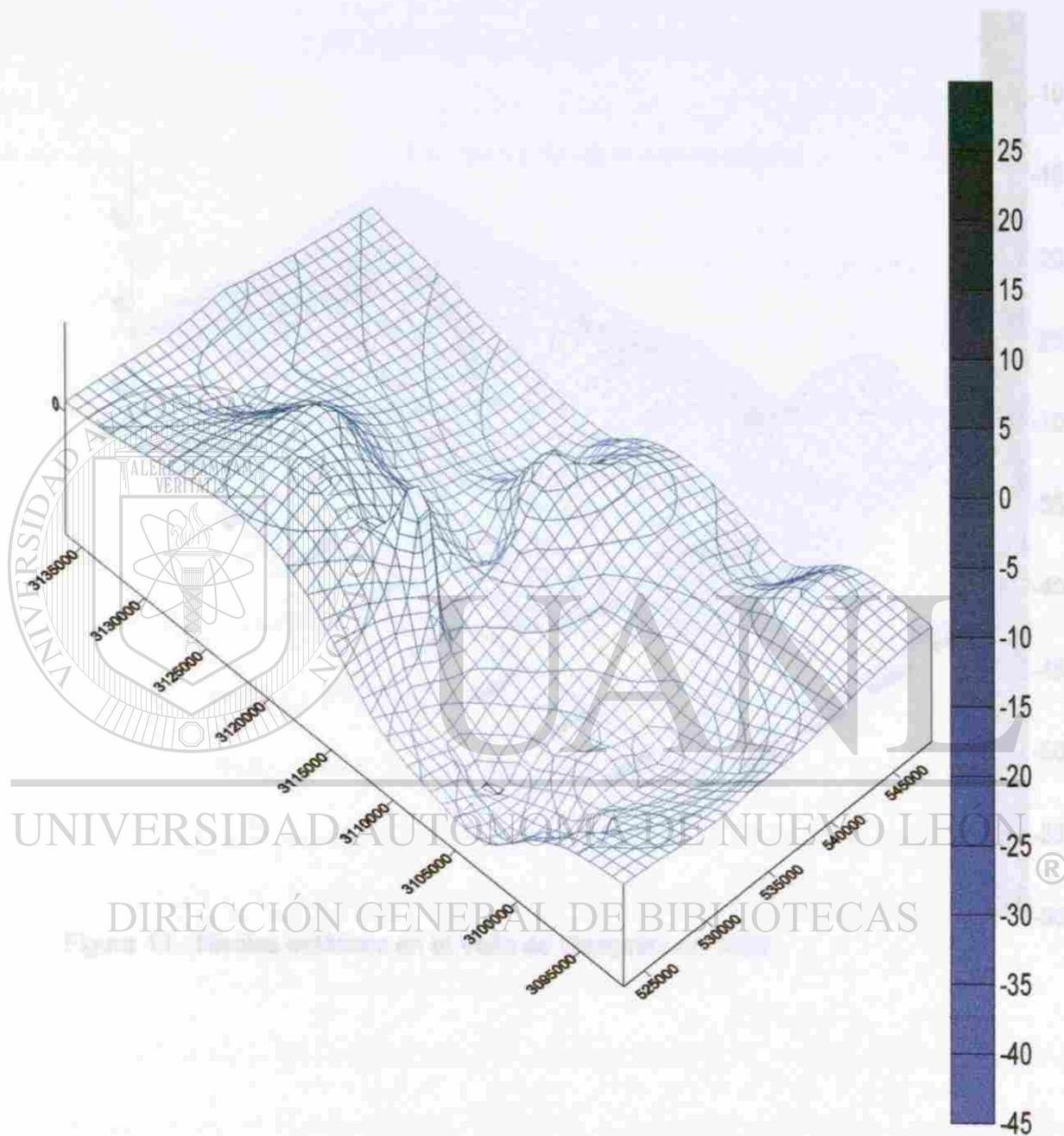


Figura 10.- Niveles estáticos en el Valle de Guaymas en 1975



Figura 11.- Niveles estáticos en el Valle de Guaymas en 1995

Vázquez, J. (1995). *Geología del Valle de Guaymas*. (México: UNAM, 1995).

El Valle de Guaymas es una zona de gran importancia económica y social, tanto para el sector agrícola como para el industrial. En esta zona se encuentra el Valle de Guaymas, que es una zona de gran importancia económica y social. El Valle de Guaymas es una zona de gran importancia económica y social, tanto para el sector agrícola como para el industrial. En esta zona se encuentra el Valle de Guaymas, que es una zona de gran importancia económica y social. El Valle de Guaymas es una zona de gran importancia económica y social, tanto para el sector agrícola como para el industrial. En esta zona se encuentra el Valle de Guaymas, que es una zona de gran importancia económica y social.

El Valle de Guaymas es una zona de gran importancia económica y social, tanto para el sector agrícola como para el industrial. En esta zona se encuentra el Valle de Guaymas, que es una zona de gran importancia económica y social. El Valle de Guaymas es una zona de gran importancia económica y social, tanto para el sector agrícola como para el industrial. En esta zona se encuentra el Valle de Guaymas, que es una zona de gran importancia económica y social.

## CAPITULO 7

### ESTUDIO DE LA HIDROGEOQUIMICA

#### 7.1 Calidad del agua subterránea

La calidad del agua subterránea es el resultado de todos los procesos y reacciones que tienen acción desde el momento en que el agua es condensada en la atmósfera, hasta que es descargada por un pozo o manantial (Bouwer, 1978). Es importante conocer continuamente la calidad del agua que se usa en una determinada zona, ya que esta calidad está condicionada a ese uso (Chavez, 1979).

La concentración de los diferentes iones y sustancias disueltas pueden expresarse de diferentes maneras. Parte por millón (ppm), es la forma más usual y es el gramo de un millón de gramos o sea es el mg/Kg. Variantes de la misma son la parte por cien mil (ppc) y la llamada en la literatura anglosajona parte por billón (ppb) que en el sistema numeral latino es la parte por mil millones. El miligramo por litro (mg/l) se entiende 1 miligramo por litro de disolución. (Custodio/Llamas, 1976).

En el Valle de Guaymas, el uso del agua subterránea es principalmente agrícola, también existe el uso doméstico, ganadero e industrial, en menor proporción. Para efectuar una interpretación hidrogeoquímica se debe tomar en cuenta que el agua que forma los acuíferos proviene en parte, del agua de lluvia, donde parte de ésta al precipitarse sobre las formaciones geológicas se infiltra y corre a través de ellas.

Al precipitarse hacia la corteza terrestre, el agua de lluvia arrastra diferentes materiales finos, que se encuentran en suspensión en la atmósfera y que en muchos casos

son transportados por el viento (Chavez, 1979). El contenido de sales del agua de lluvia depende de la distancia a la costa y de la proximidad a ciudades. También depende de la estación del año, de los vientos dominantes, de la intensidad y hora de la lluvia. Es más fuerte el contenido de Cl<sup>-</sup> al principio de la lluvia y después desciende a valores mucho menores.

**TABLA IV**  
**VALORES MÁS FRECUENTES DEL AGUA DE LLUVIA EN PPM**

ION	EN LA COSTA		A 50 Km DE LA COSTA		A 100 Km DE LA COSTA	
	MEDIA	MÁXIMA	MEDIA	MÁXIMA	MEDIA	MÁXIMA
Cl <sup>-</sup>	10-40	100	1-5	20	0.5	1
SO <sub>4</sub>		15	1-3	30		
HCO <sub>3</sub>				20		
NO <sub>3</sub>		2	2.7	12		
NH <sub>3</sub>				28		
rMg/rCa <sub>2</sub>			0.3		0.2	

(Chavez, 1979)

En general, el agua de lluvia aporta muy pocas sales, excepto en la costa donde puede aportar cantidades notables de cloruro de sodio, Na Cl. Aunque debe tomarse en cuenta que el agua de lluvia es incapaz de la aportación total (Correu y Andrade, 1974).

Las aguas subterráneas son soluciones de composición compleja y de mineralización diferente, la cual oscila dentro de los límites de unidades de miligramo y hasta centenares de gramos por litro. En las mismas se han descubierto iones, moléculas, incluso gases, pero sólo algunas de ellas están presentes en cantidades considerables; por consiguiente, los principales iones que determinan la mineralización y el tipo químico del agua son: cloro Cl<sup>-</sup>, sulfato SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, bicarbonatos HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, carbonatos CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, sodio Na<sup>+</sup>, calcio Ca<sup>2+</sup>, magnesio Mg<sup>2+</sup> y potasio K, conocidos con el nombre de

macrocomponentes. A éstos también pertenecen los compuestos de nitrógeno y los elementos tungsteno W, silicio Si, fierro Fe, aluminio Al, fosforo P. Los macrocomponentes constituyen la parte principal de la composición mineral de las aguas subterráneas. En las aguas dulces más del 90 % y en las fuertemente mineralizadas, más del 99%. A todos los demás elementos que se encuentran en estado disperso se les denomina microcomponentes; éstos no determinan el tipo químico del agua pero influyen considerablemente en la formación de las particularidades específicas de las aguas subterráneas. A éstos pertenecen los elementos: litio Li, boro B, titanio Ti, cromo Cr, manganeso Mn, cobalto Co, níquel Ni, cobre Cu, zinc Zn, arsénico As, bromo Br, estroncio Sr, molibdeno Mo, itrio Y, bario Ba, plomo Pb, etc. (Mijailov, 1989).

Todas las aguas subterráneas suelen contener una proporción de sales disueltas relativamente elevada. Generalmente, se encuentran mayores proporciones de sales disueltas en las aguas subterráneas que en las superficiales, ya que aquéllas han estado expuestas durante su curso entre los materiales de los acuíferos, a una mayor disolución de las materias químicas existentes en las rocas que componen éstos. También pueden las aguas subterráneas absorber gases de origen geológico que contribuyen a la disolución de los productos minerales de las rocas que las rodean (Benítez,1972) (Clarke, 1980).

La química del agua dependerá de la solubilidad y composición de las rocas y suelos por los que circula y de los factores que afectan la solubilidad, como son principalmente: las temperaturas del agua y de las rocas, el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, la previa composición química del agua, la concentración de sustancias ya disueltas (Chávez

1979). En el suelo se tienen multitud de fenómenos que favorecen el ataque químico y la disponibilidad de sales solubles. Es en el suelo donde el agua adquiere una parte de su carácter químico, después sólo sufrirá pequeñas modificaciones si su permanencia en los acuíferos no es muy grande.

La materia viviente de los suelos esponja éstos y permite el paso del aire y del oxígeno del aire. La mayoría de estos organismos, en su respiración producen bióxido de carbono  $\text{CO}_2$  y así se tiene una atmósfera en el suelo rica en  $\text{CO}_2$ . En climas cálidos y secos, como es el caso del Valle de Guaymas y Empalme, sólo las lluvias muy intensas llegan al acuífero, y entonces pueden llegar muy cargadas en sales, pues no sólo han disuelto una gran cantidad de sales que lluvias anteriores evaporadas precipitaron en el suelo, sino que además han sufrido una notable concentración por evaporación. Pero se debe tomar en cuenta que el agua que se infiltra por el suelo y el agua de lluvia tienen concentraciones diferentes de sales, el agua retenida en el suelo es muy rica en sales, mientras que el agua que se infiltra es el resultado de una dilución que será menor cuanto más árido sea el clima. Los niveles freáticos en el Valle de Guaymas no se consideran dentro de los someros, dando así lugar a una filtración menor, pero de mayor cantidad de elementos químicos (Correau/Andrade, 1974). Además, en los últimos años no se registran precipitaciones muy fuertes en el valle, se debe considerar que de cada 40 ciclones que se registran en el Océano Pacífico de México, sólo uno entra a Sonora, lo que da como promedio un ciclón cada 3 años, que desfavorece aún más la infiltración (información verbal Castillo, 1997). Los cationes más comúnmente presentes en las aguas subterráneas son el cloro y el calcio, los aniones correspondientes son bicarbonato, carbonato y sulfato, generalmente los cloruros provienen de contaminación de aguas

residuales o por intrusión de agua de mar, caso que se presenta en el Valle de Guaymas (Benites1972) (Correau/Andrade, 1974). En el agua para riego se utiliza la clasificación de Wilcox (ver figura 12), a partir de la cual y por medio de las concentraciones de sodio, magnesio, calcio y la conductividad eléctrica, se conoce la clase de agua para riego a que pertenece cada muestra analizada, así como las recomendaciones relativas al tipo de suelo en que debe usarse, las prácticas del control de la salinidad y los tipos de cultivo más adecuados.

Las especificaciones de las clases de agua, en cuanto a salinidad (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) y en cuanto a Sodicidad (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>) en sus diferentes valores y relaciones dará origen a las siguientes clasificaciones:

C<sub>1</sub>: Agua de baja salinidad, puede usarse para el riego en la mayoría de los cultivos y casi en cualquier tipo de suelo, con muy poca posibilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero ésta se desarrolla y se logra en condiciones normales de riego, excepto en los suelos de baja permeabilidad.

C<sub>2</sub>: Agua de salinidad media, 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 salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a sales.

C<sub>3</sub>: Agua altamente salina, no debe usarse en suelo cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de salinidad debiendo, por lo tanto, seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

C<sub>4</sub>: Agua muy altamente salina, no es propia para riego, en 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 estos casos se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales.

**S1:** Agua baja en sodio, puede usarse para el riego de la mayoría de los suelos; no obstante, los cultivos sensibles como algunos frutales y aguacate, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

**S2:** Agua media en sodio, 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. Esta agua sólo debe usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

**S3:** Agua alta en sodio, puede producir niveles tóxicos de sodio en la mayoría de los suelos, por lo que éstos necesitan prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden impedir se desarrollen niveles perjudiciales de sodio, cuando se riega este tipo de agua. Puede requerirse el uso de mejoradores químicos para sustituir el sodio intercambiable, sin embargo, no serán económicos si se usan aguas de alta salinidad.

**S4:** Agua muy alta en sodio, es inadecuada para riego, excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del calcio del suelo y la aplicación del yeso y otros mejoradores no hacen antieconómico el empleo de esta clase de agua (Chávez, 1979).

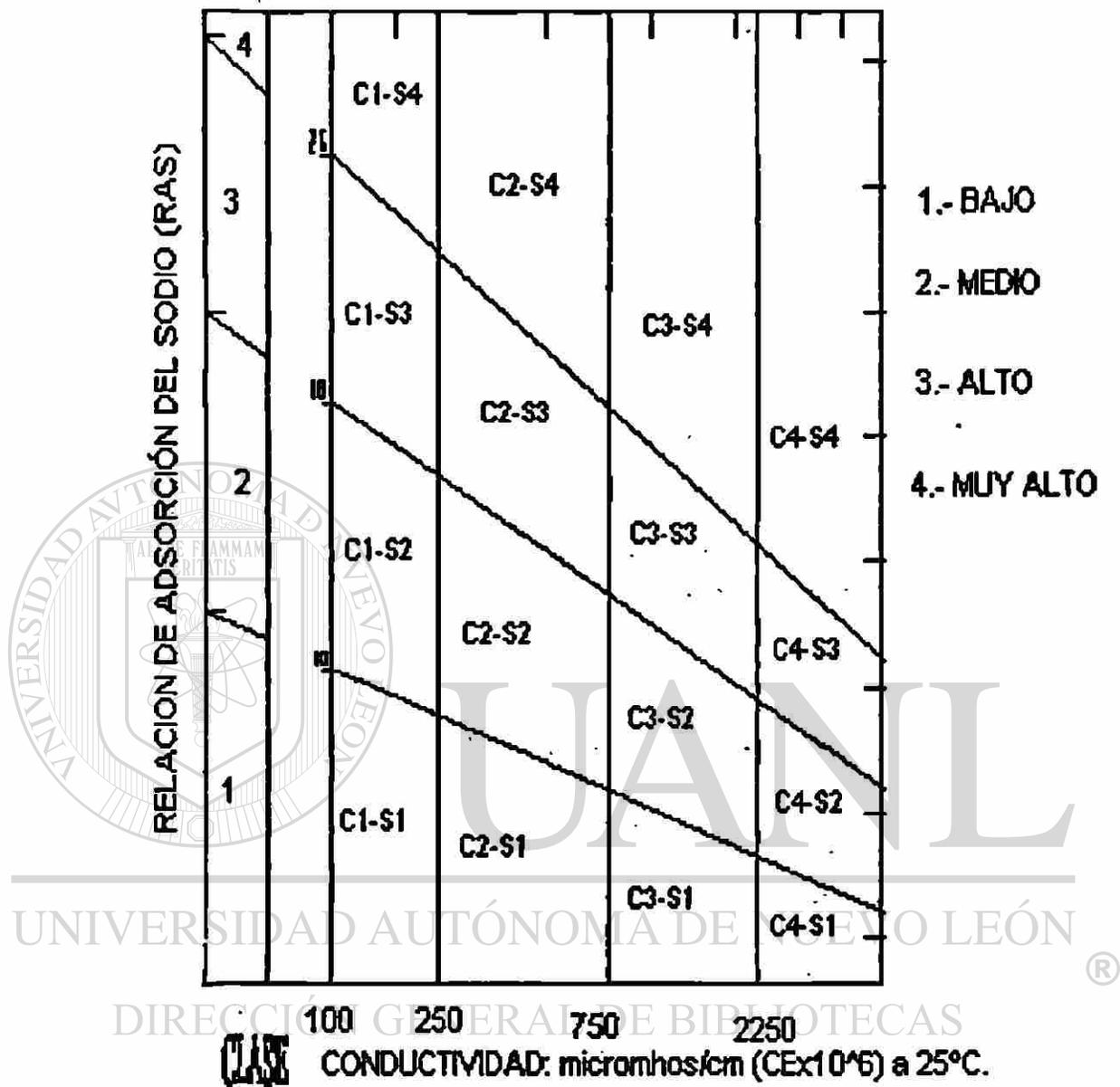


Figura 12.- Diagrama de Wilcox para aguas de riego

## 7.2 Constituyentes químicos estudiados en el Valle de Guaymas

Para el presente trabajo, se analizaron los constituyentes químicos más representativos, que son los aniones: bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4$ ), cloruros (Cl) y los cationes: sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), conductividad eléctrica, el potencial de hidrógeno (pH), STD, y en algunos pozos la temperatura del agua. Los bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ) y carbonatos ( $\text{CO}_3$ ), producen alcalinidad. Los bicarbonatos de calcio y magnesio se descomponen en aguas calientes, facilitando la incrustación. En combinación con calcio y magnesio es causa de la dureza. La dureza es la propiedad del agua que se demuestra mejor por la facilidad con la cual disuelve jabón para producir espumas. No se producen éstas en un agua dura hasta que los minerales que causan la dureza se han eliminado, mientras más alta la dureza, más jabón se requerirá para producir espuma (Gibson, 1974).

Las aguas con elevado contenido de sulfatos no quitan la sed y tienen sabor poco agradable y amargo puede comunicar propiedades laxantes. El ion sulfato procede de lavados de terrenos formados en condiciones de gran aridez o en ambiente marino. De oxidación de sulfuros de rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias. De la concentración en el suelo del agua de lluvia (Custodio/Llamas, 1976).

Los cloruros en grandes concentraciones aumentan el poder corrosivo del agua, y en combinación con sodio, da un sabor salado. Proviene de la disolución de rocas y suelos (Canales, 1989).

La clasificación de las aguas subterráneas por la sal común o ion cloruro es la siguiente:

Agua dulce	0	a 1,000 mg/l Cl
Agua salobre	1000	a 10,000 mg/l Cl
Agua salada	10000	a 100,000 mg/l Cl
Salmueras	>	100,000mg/l Cl

El sodio en su estado natural en el agua subterránea puede contribuir a la alta presión sanguínea, proviene de la disolución de la mayoría de rocas y suelos. El potasio en grandes concentraciones, en combinación con cloro produce también un sabor salado.

Proviene de la disolución de la mayoría de las rocas y suelos. El magnesio y el calcio, son los principales responsables de la dureza y del agua incrustante. Proviene de la disolución de la mayoría de los suelos y rocas.

La conductividad eléctrica es la capacidad del agua para conducir electricidad, la resistividad eléctrica es el inverso de la conductividad. Es más recomendable el uso de la conductividad ya que crece paralelamente a la salinidad. La conductividad crece con la temperatura y con el contenido de sólidos disueltos. Las unidades de conductividad son 1 microsiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) o micromhos/cm ( $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ ) (Custodio/Llamas,1976).

El pH indica la neutralidad del agua si su valor es 7, valores mayores indican alcalinidad y menores acidez. La determinación del valor del pH es importante en el control de la corrosión que es un proceso que destruye los metales, generalmente aumenta al disminuir el pH. La incrustación, a diferencia de la corrosión, no destruye el metal, pero provoca el depósito de minerales sobre él y en la capa acuífera que circunda el pozo. Las aguas incrustantes son, generalmente alcalinas, lo opuesto a las aguas

corrosivas, las cuales son ácidas (Werner,1996). En general los ácidos y el bióxido de carbono, bajan el valor del pH. Carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, fosfatos, silicatos y boratos, aumentan el valor del pH (Canales, 1989).

La temperatura del agua subterránea es un parámetro muy útil, ya que puede utilizarse como auxiliar de datos geoquímicos en la clasificación de diferentes tipos de agua. Algunos trabajos han reconocido la relación directa entre la dirección, profundidad (Mifflin,1968) y salinidad (Edmus,1984) del agua subterránea y su incremento de temperatura, de tal manera que las aguas más calientes y en ocasiones las más concentradas generalmente tienen una profundidad de circulación considerable. Sin embargo, la temperatura que alcanzan en la zona más profunda generalmente no corresponde con la descarga registrada en la superficie. A medida que el agua desciende, se calienta paulatinamente por efecto del gradiente geotérmico local, además de reaccionar con la roca encajonante (Cardona/ Carrillo, 1991). La mineralización de las aguas subterráneas generalmente aumenta con su temperatura. Las temperaturas de las aguas subterráneas están influenciadas por la temperatura del aire en la superficie de la tierra, lo que quiere decir, por los factores climáticos o por la energía del sol. Las aguas subterráneas se diferencian en sus temperaturas en:

a) Aguas frías, que son las aguas de los sistemas de flujo someros, con temperaturas parecidas a las del aire de la región, que pueden alcanzar aproximadamente los 30 °C en zonas calientes, estas aguas son casi exclusivamente afectadas por el factor climático.

b) Las aguas termales son las de los sistemas de flujo profundos, son casi exclusivamente afectadas por el factor geotérmico (Werner,1996).

Podemos considerar los pozos con anomalías térmicas en el Valle de Guaymas como pertenecientes a acuíferos termales secundarios producto del calentamiento a través de procesos de conducción de calor, cuya fuente son los acuíferos termales profundos almacenados en rocas de origen marino. Se considera al patrón tectónico del Golfo de California (Falla de San Andres), como fuente de calor de los acuíferos termales profundos. Influye en el Valle de Guaymas la cercanía a la fuente de calor y que cuenta con poca dispersión térmica, debido al gran sello formado por los sedimentos aluviales terciarios y recientes (Herrera y otros, 1985).

El RAS que es la concentración relativa de sodio, con respecto al calcio y magnesio, es usado junto con la conductividad eléctrica para determinar la calidad del agua para riego. Se calcula usando la concentración de los iones que se indican en miliequivalentes por litro (Chávez, 1979) (CFE, 1983).

La resistividad es una medida indirecta de los sólidos totales disueltos (STD, TSD o SDT, consistente en el residuo seco después de evaporación a 110°C. No es igual al total de las sustancias disueltas en la muestra) que contiene el agua, ya que sus valores son inversamente proporcionales a éstos últimos. Por lo tanto, debería esperarse que un agua con alto contenido de sólidos totales disueltos presente los problemas de sabor, la formación de escamas, dureza, efectos laxantes, y otros asociados con cada uno de los minerales. Tales aguas son, usualmente, corrosivas para las rejillas del pozo y otras partes de su estructura. Tomando en cuenta esta característica, se pueden calcular resistividades a partir de sólidos totales disueltos, o viceversa (Chávez, 1979) (CFE, 1983) (Gibson, 1974).

### 7.3 Análisis de los datos históricos

#### 1) Cartas de INEGI aguas subterráneas de 1988.

El INEGI, en sus cartas hidrológicas de aguas subterráneas, escala 1:250,000, sostiene que el acuífero del Valle de Guaymas tiene agua de buena calidad de uso doméstico, agrícola y pecuario. En la porción occidental del valle, clasifican el agua como bicarbonatada-clorurada sódica y en la porción central como bicarbonatada-clorurada calco-sódica.

2) Montes de Oca, tesis: Detección de la Presencia de bario en el agua subterránea en la franja costera del Valle de Guaymas, 1988.

TABLA V

RESULTADOS DE MONTES DE OCA EN 1988

Muestra	Nombre de la captación	= CO 3	- HC O 3	- Cl	= SO 4	++ Ca	++ Mg	+ Na	+ K	STD (ppm)	pH	CE Uv <sup>®</sup>	°C
1	Pozo Cochorit	0.8	183	1535 0	603	4166	2050	909	345	42123	7.8	50000	*
2	Noria prov. Avícola km 103	0.3	52	3680	26	976	450	100	40	3245	7.8	9000	*
3	Noria prov. Avícola #4	0.2	78	2450	13	625	325	100	40	1868	8.0	4500	28
4	Pozo 19	0.6	122	1450	279	685	125	160	80	1613	8.2	1900	*
5	P. Los Chiltepines	0.4	128	659	51	168	138	60	10	910	8.4	1900	32.5
6	P. 33 CP	0.1	110	103	240	99	27	40	30	378	8.2	850	33
7	P.(Mercurio)	0.0	97	1756 8	366	4563	372	340	80	18343	7.2	45000	*
8	P.34	0.0	97	6535	75	36539	213	160	40	7623	7.6	18000	31

TABLA VI (Continuación)

9	P.32	2.39	54	6321	189	1957	1250	240	60	7848	7.2	18000	32
10	P.30	1.91	79	4350	85	1506	701	220	60	6868	7.7	13500	32
11	P.22	9.6	136	171	18	80	19	40	10	358	8.5	650	34
12	P.20	11.6	102	172	20	79	21	40	15	318	8.4	680	34
13	P.23	9.6	107	199	20	58	38	40	15	365	8.4	750	33
14	P.26	4.8	108	257	29	58	38	40	20	213	8.3	780	*
15	P.32 CP	0.0	78	1581	45	750	58	146	91	2388	7.9	4900	33
16	P.34 CP	0.0	68	3126	52	1731	96	180	60	4530	7.9	9900	*
17	P.28	14.4	161	206	30	67	29	45	15	268	8.6	600	*
18	P. JMM4	12	160	103	41	29	19	55	35	285	8.6	720	36
19	P.110	12	151	104	62	40	17	55	5	363	8.7	550	38
20	P.Ejido Graciano Sánchez	12	190	102	51	18	28	55	10	323	8.8	500	37
21	P.Felipe Ángeles	4.8	102	669	167	346	38	53	10	104	8.1	2000	*
22	P. La Misa	7.2	123	263	47	114	26	30	10	420	8.3	850	38
23	P. Ejido L. Cárdenas	4.8	117	254	44	106	29	30	10	398	8.3	820	*
24	P. Morua	7.2	160	306	53	158	38	50	15	308	8.4	650	*
25	P.106 Sta. Rosa	7.2	160	306	48	158	38	50	15	498	8.4	1250	35
26	P.72	2.4	107	839	70	385	77	100	25	2500	8.1	2500	*
27	P.58	0.0	93	1906	55	827	163	120	60	2553	7.9	5000	32
28	P.70	0.0	175	769	46	375	67	75	25	1483	8.2	2000	*
29	P.68	0.0	136	3603	81	1981	154	200	40	5520	7.9	12000	33
30	P.66	0.0	102	1890	76	798	109	200	60	3520	7.9	5000	33
31	Noria Ladrillera Nte	0.0	102	5350	535	2750	288	320	80	7848	7.9	15000	28
32	Noria Ladrillera Sur	0.0	102	6589	8276	7212	96	380	100	14818	7.7	20000	*
33	Noria San Humberto	7.2	136	1526 0	311	7115	529	983	105	50538	7.8	40000	27
34	Pozo Maytorena	9.6	146	309	87	106	28	60	10	605	8.3	1000	*

\* No se determinó (De Oca,1988)

3) Herrera Revilla y otros, Estudio Tectónico, Geoquímico y Geotérmico del acuífero del Valle de Guaymas Sonora, en 1985, hacen comparaciones interesantes, en cuanto a la relación de diferentes elementos con respecto al cloro en el agua subterránea del Valle de Guaymas, llegando a la conclusión de que, al disminuir la relación de sodio, aumenta la relación de cloro; igual, al disminuir la relación de potasio, aumenta la de cloro, lo mismo pasa al disminuir las relaciones de sulfato, calcio, magnesio; individualmente, aumenta la relación de cloro para cada uno de ellos. Determinan también que se encuentran pozos en el Valle de Guaymas con temperaturas superiores a los 35° C. en sus aguas, encontrándose éstos entre las zonas Mi Patria es Primero y Santa María de Guaymas.

4) Vega Granillo, tesis: Estudio Hidrogeoquímico de la cuenca del Río Mátape, Sonora con énfasis en la presencia de bario, 1992.

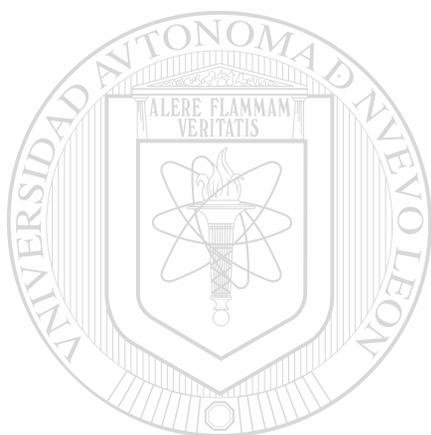
---

De 84 muestras que se analizaron en toda la Cuenca del Río Mátape, resultaron bicarbonatadas calcico-magnésicas la mayor parte de la cuenca, debido a la disolución de los afloramientos calcáreos por los cuales atraviesa el Río Mátape.

En la porción sur de la cuenca correspondiente al Valle de Guaymas, las aguas son cloruradas-sulfatadas en general, con variación a cálcicas, magnésicas y sódicas; esta composición se atribuye a la invasión de agua de mar al continente.

Las curvas de isovalores de cloruros y sulfatos muestran la dirección del agua de mar del suroeste hacia el noreste, es decir, del Golfo de California hacia el continente, en coincidencia con la piezometría. Las curvas de bicarbonatos muestran su presencia en

toda la cuenca, sin restringirse a una porción específica, dados los abundantes afloramientos de rocas volcánicas.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## **CAPITULO 8**

### **RESULTADOS**

#### **8.1 Familias de aguas**

El manejo y los estudios de análisis químicos pueden simplificarse con el empleo de gráficos y diagramas; en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de aguas de un mismo lugar, en épocas diferentes o de diferentes lugares.

(Custodio/Llamas, 1976)

#### **METODO TRIANGULAR DE PIPER-HILL LANGELIER:**

Consiste en un triángulo izquierdo en el cual se presentan las concentraciones de los principales cationes (Mg, Na+K, Ca) y uno derecho donde se muestran los aniones (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>). En ambos la representación es puntual, estos puntos proyectados

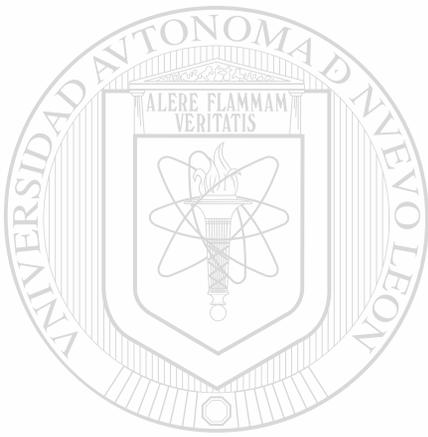
sobre un rombo central proporcionan un tercer punto que da el carácter químico de la muestra (Figura 30). Estos diagramas son útiles cuando se tiene un gran número de muestras, ya que se pueden representar todas en el mismo diagrama.

#### **DIAGRAMA DE STIFF:**

Se compone de 3 rectas horizontales paralelas igualmente espaciadas y cortadas centralmente por una recta vertical. A la izquierda se disponen los cationes y a la derecha los aniones, cada recta representa un segmento porcentual. La composición de la muestra esta dada por el catión y el anión dominantes.

Para el acuífero del Valle de Guaymas, se seleccionaron los pozos ubicados en 2 líneas N-S y una E-W cerca de la costa y que además tuvieron información en el

transcurso de los años estudiados, estos fueron los pozos 143, 121, 118, 109, 50-JMM, 54-SM, 14-SM, 13-SM, 1-CP, 131, 70, 83, 27, 20, 135, y 138, cuyas ubicaciones se ven en la figura 13. Para cada uno de estos pozos se realizaron los diagramas de Stiff que se representan de la figura 14 a la figura 29; también en las figura 30 y 31 se ven los diagramas de Piper, para el acuífero del Valle de Guaymas, en los años 1997 y 1998.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

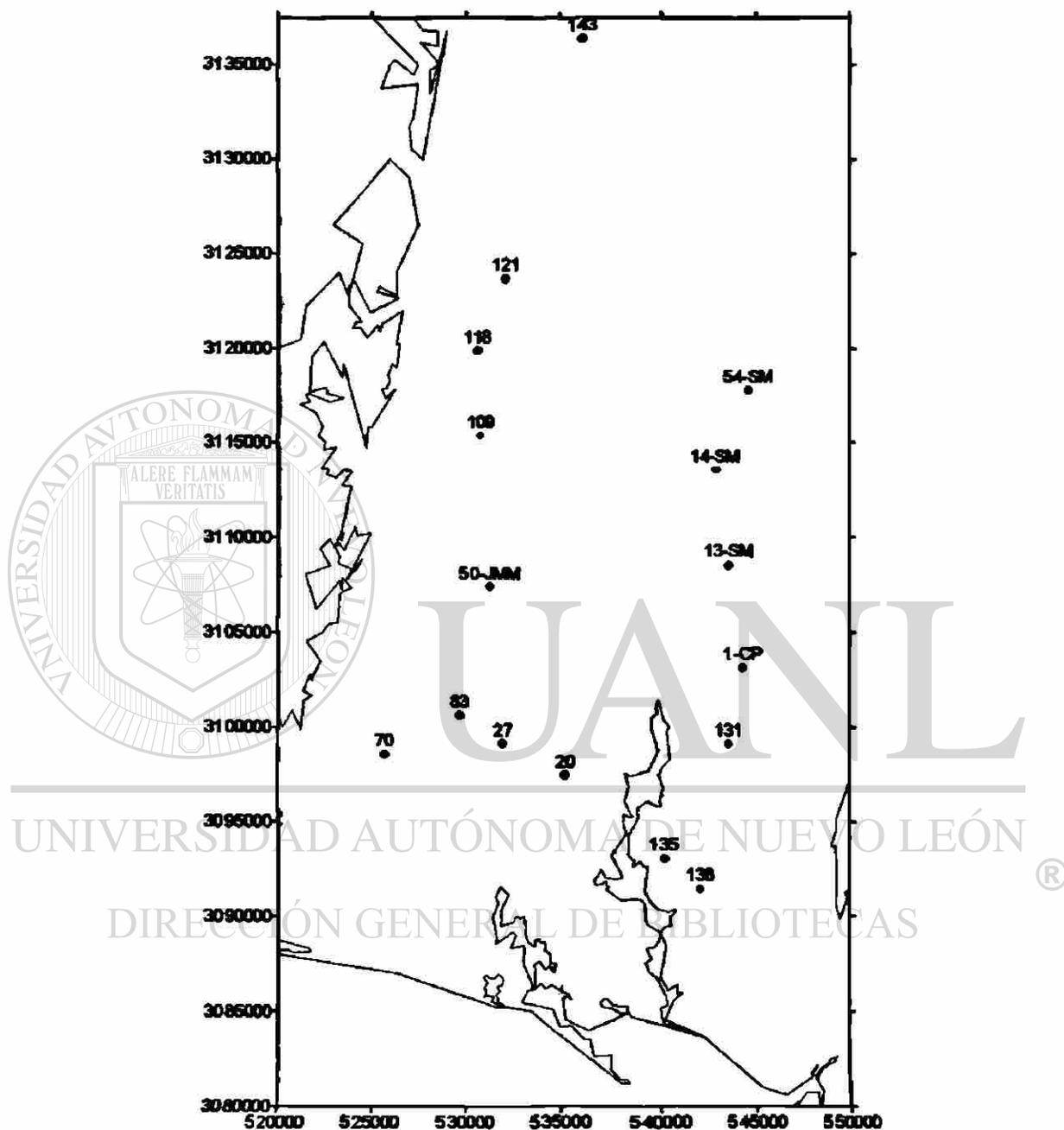
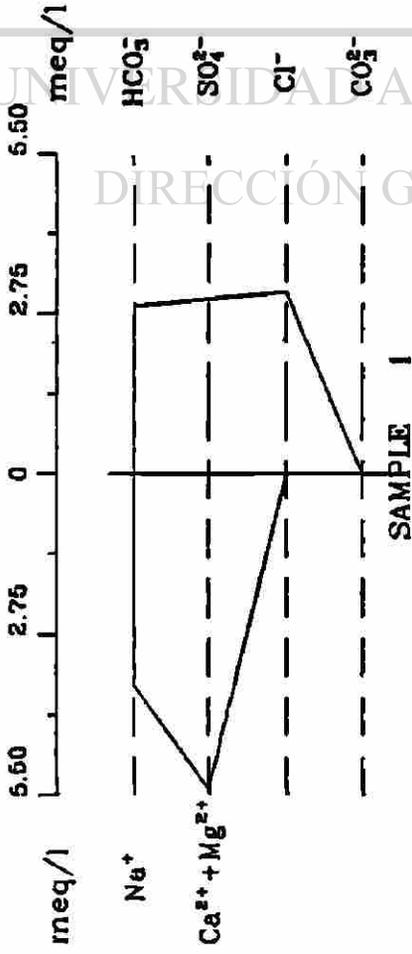


Figura 13.- Ubicación de los pozos seleccionados en el Valle de Guaymas

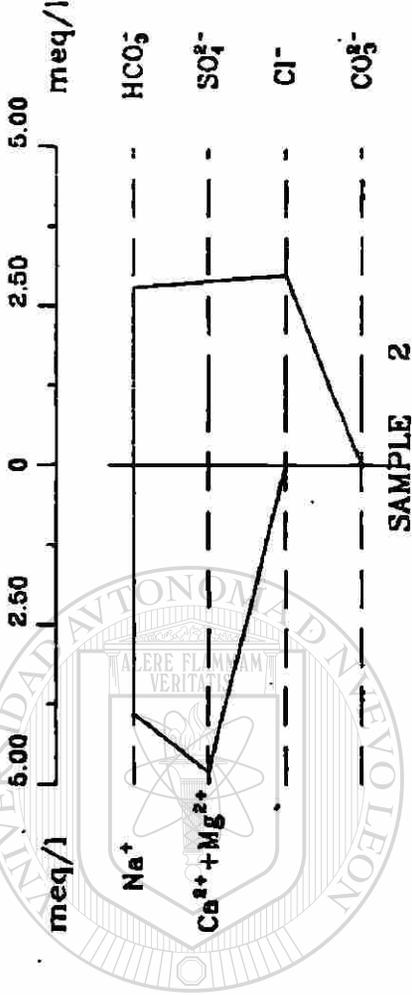
1975

CLORURADA - CALCICO - MAGNÉSICA



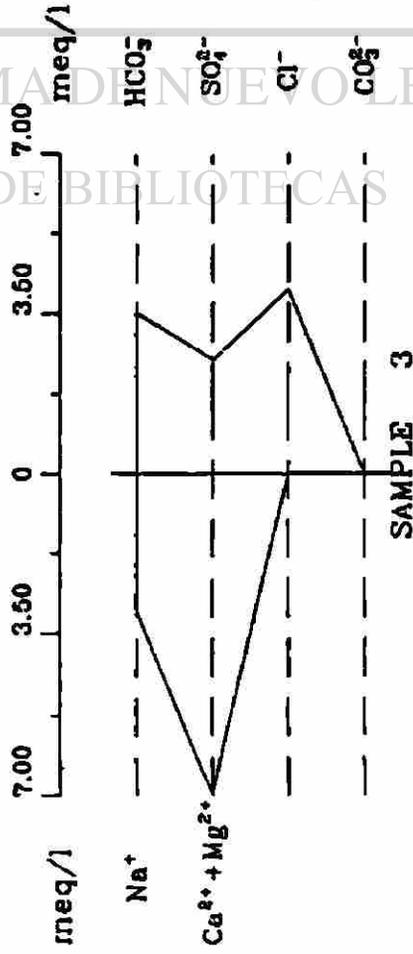
1986

CLORURADA - CALCICO - MAGNÉSICA



1996

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNÉSICA



Heriberto Cota V.

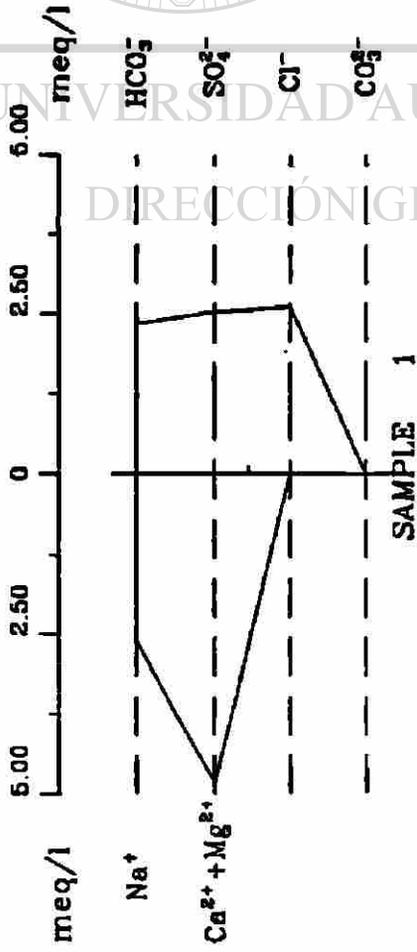
Pozo 138

TESIS

Figura 14

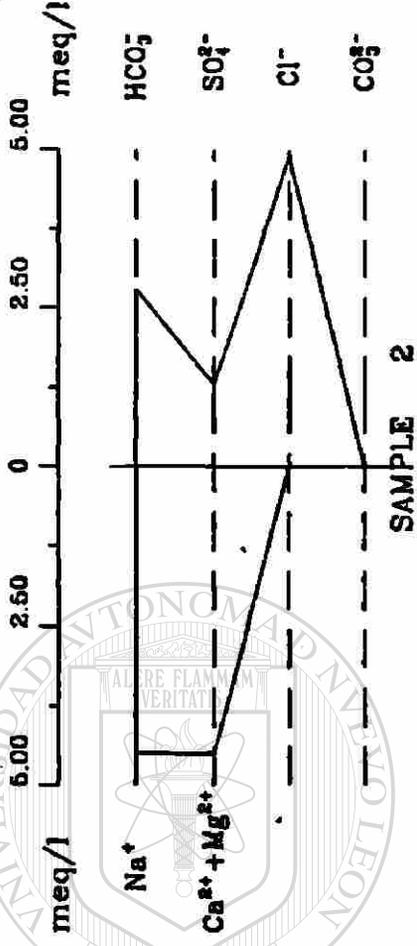
1975

SULFATADA - CALCICO - MAGNESICA



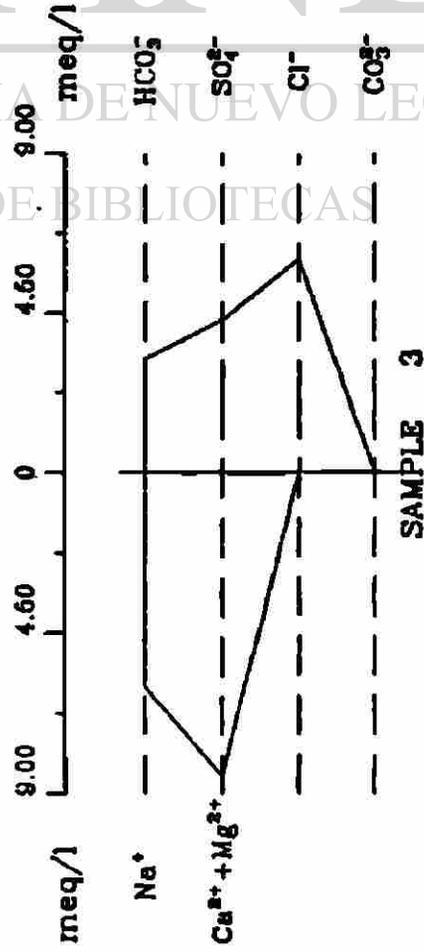
1986

CLORURADA - SODICA - CALCICO - MAGNESICA



1996

SULFATADA - CALCICO - MAGNESICA



Heriberto Cota V.

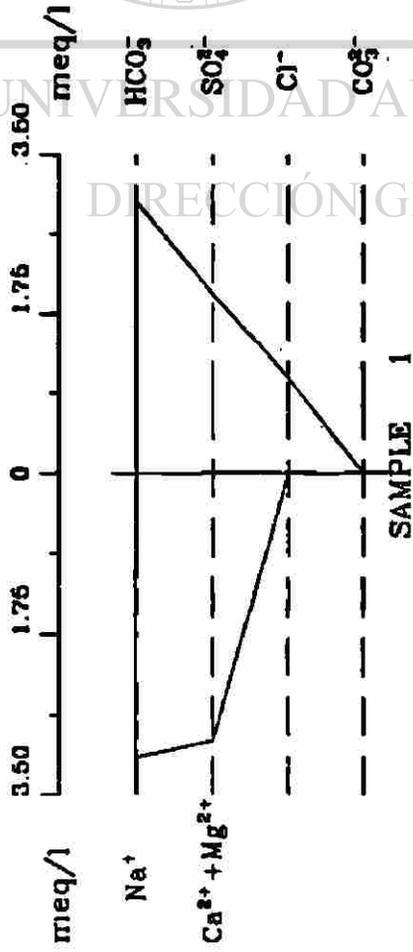
Pozo 135

TESIS

Figura 15

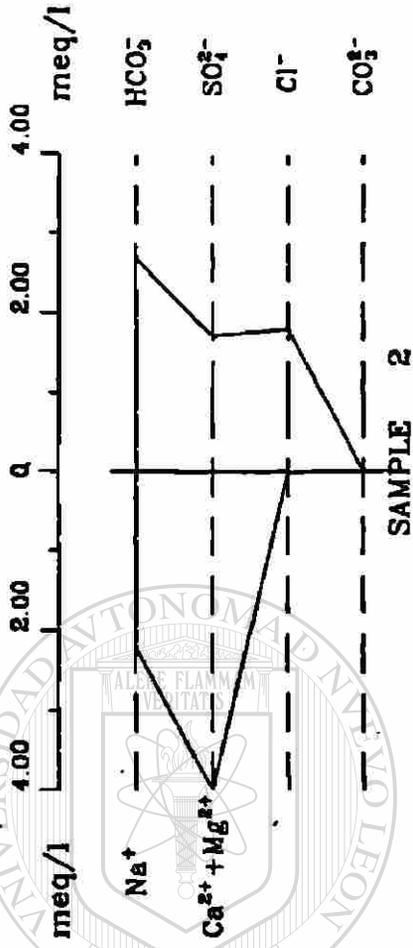
1975

BICARBONATADA - SODICA



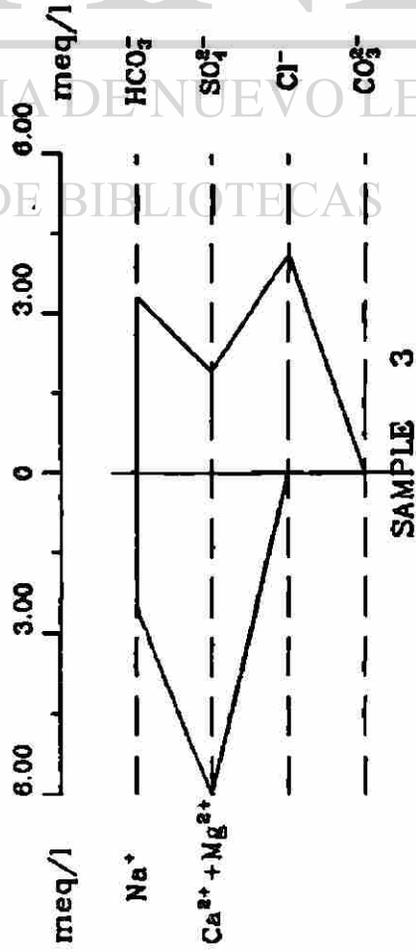
1986

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



1996

CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



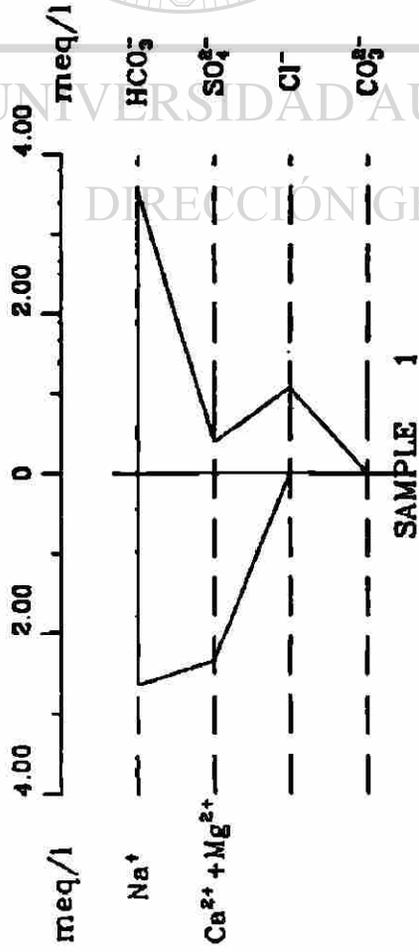
TESIS

Heriberto Cota V.  
Pozo 20

Figura 16

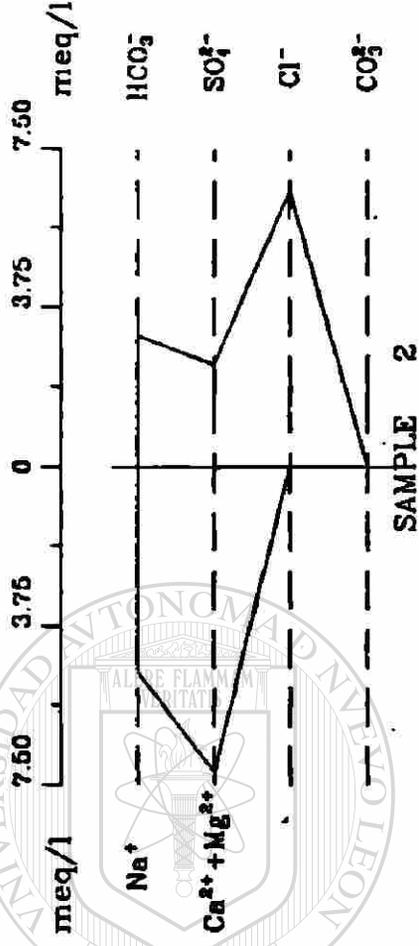
1975

BICARBONATADA - SODICA



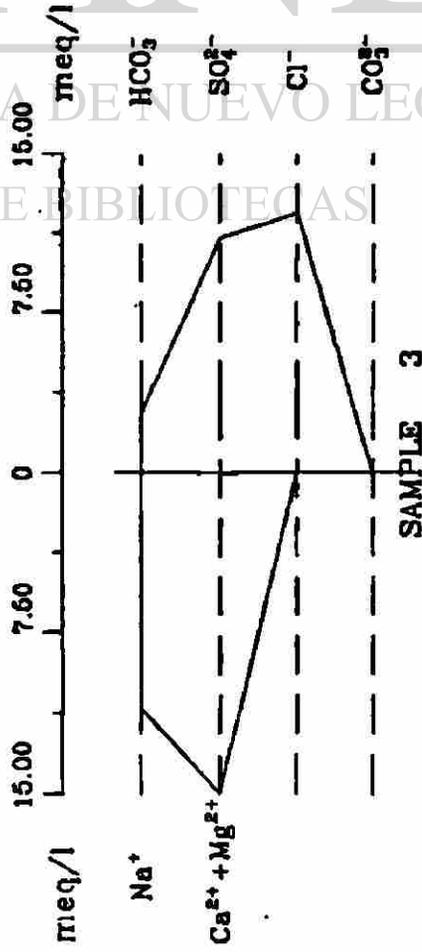
1986

CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



1996

CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



Heriberto Cota V.

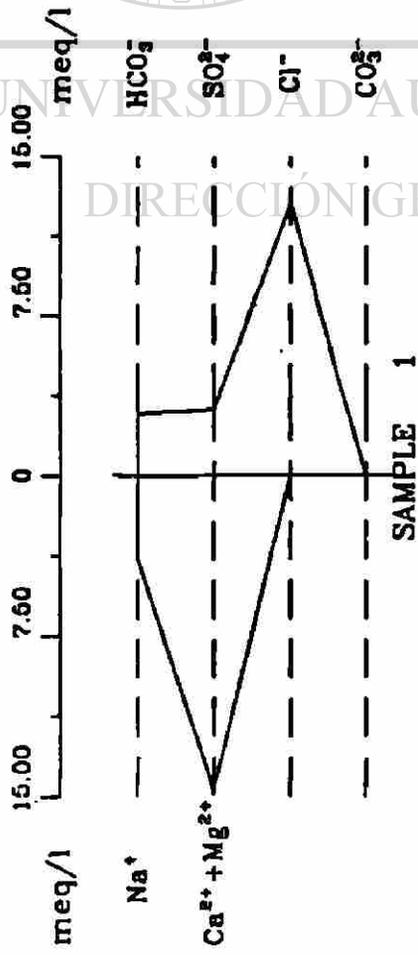
Pozo 27

TESIS

Figura 17

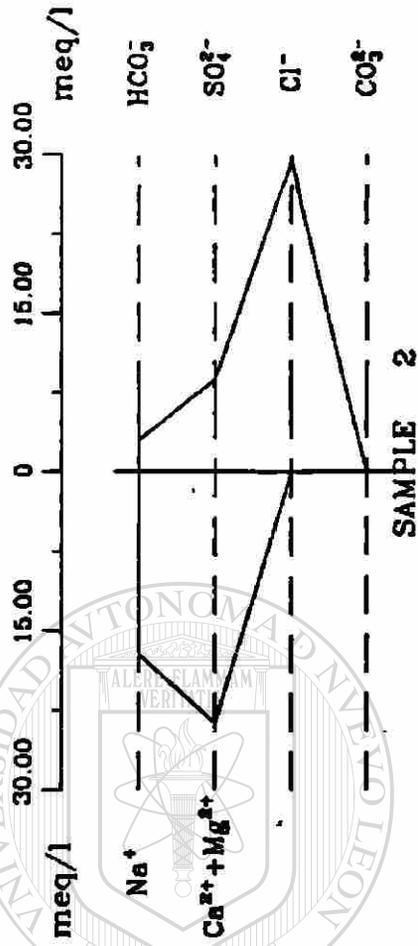
1975

CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



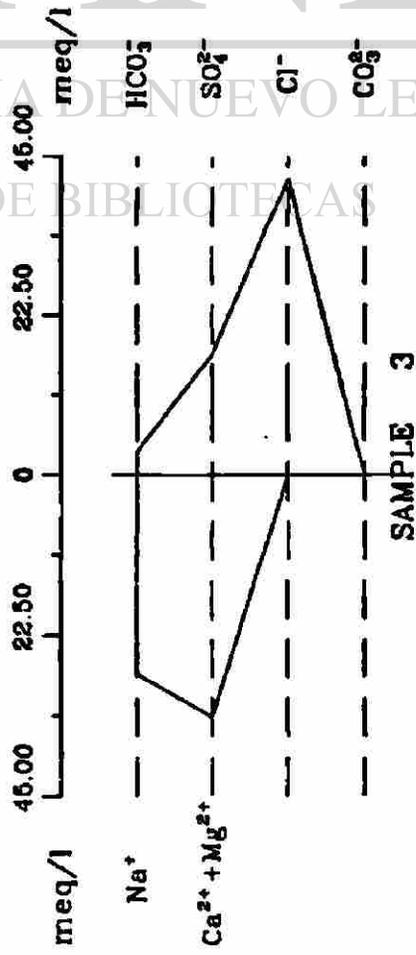
1986

CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



1986

CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



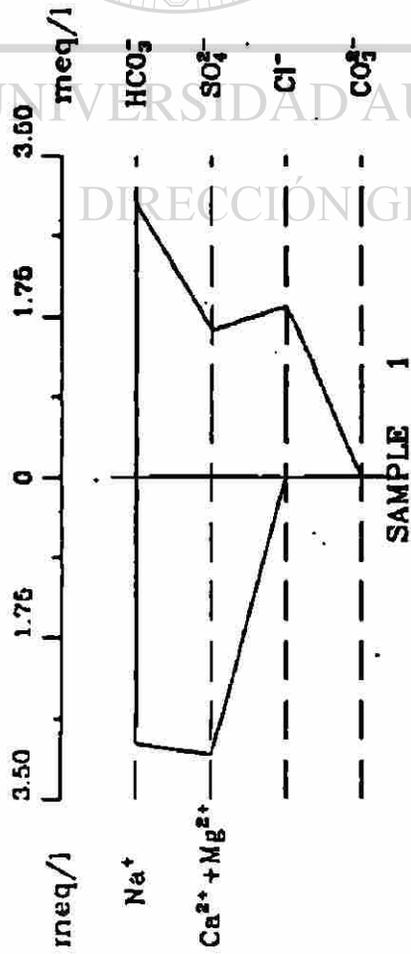
Heriberto Cota V.  
Pozo 83

TESIS

Figura 18

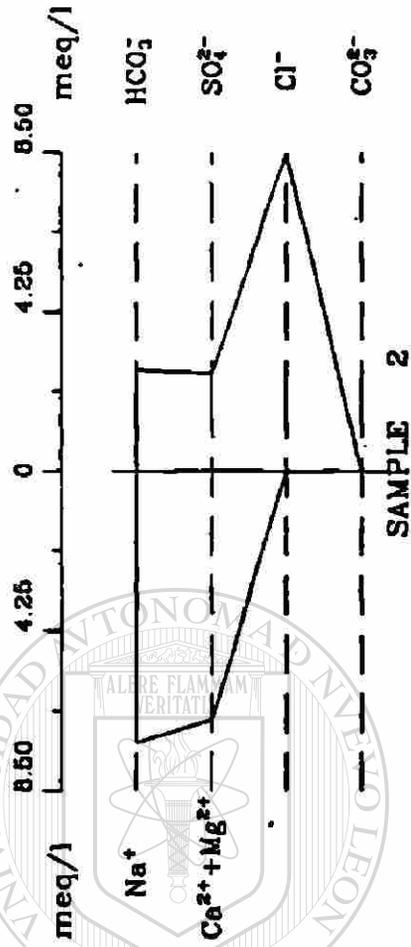
1975

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



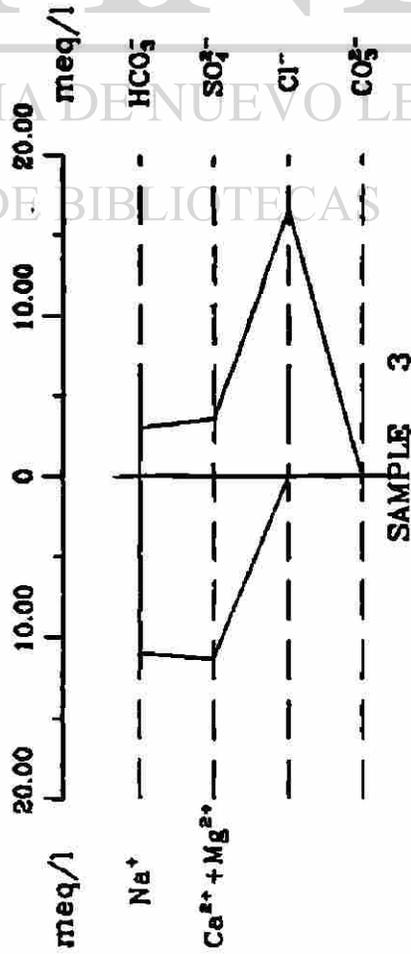
1980

CLORURADA - SODICA



1996

CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



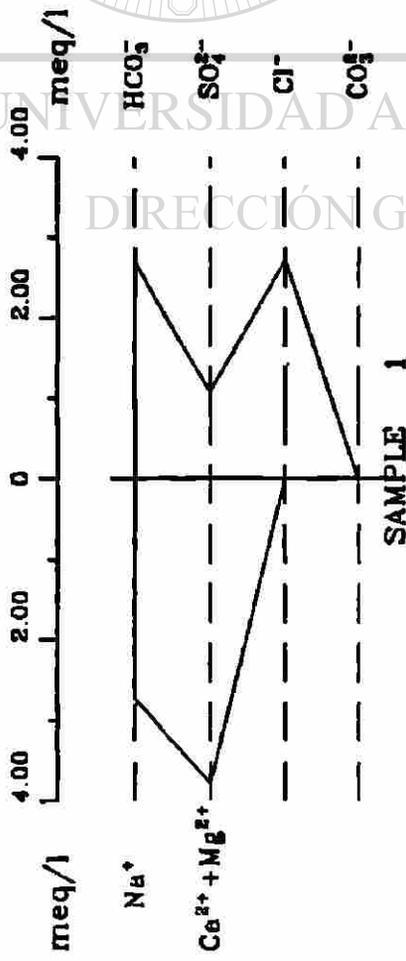
Heriberto Cota V.  
Pozo 70

TESIS

Figura 19

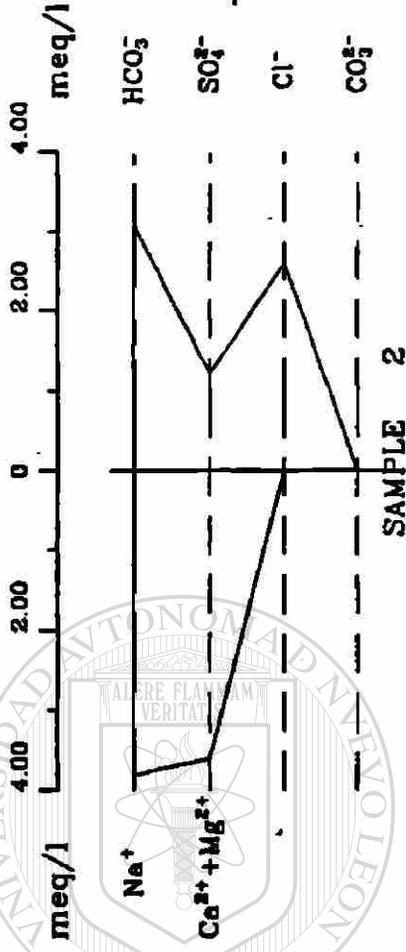
1975

CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



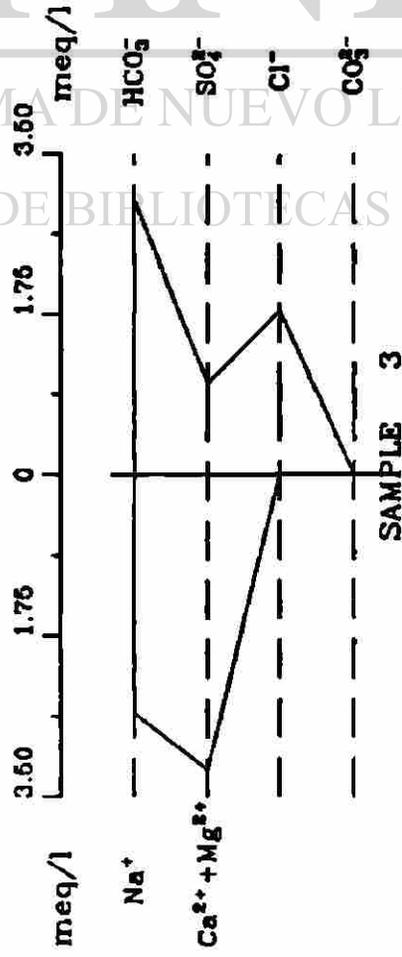
1986

BICARBONATADA - SODICA



1986

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



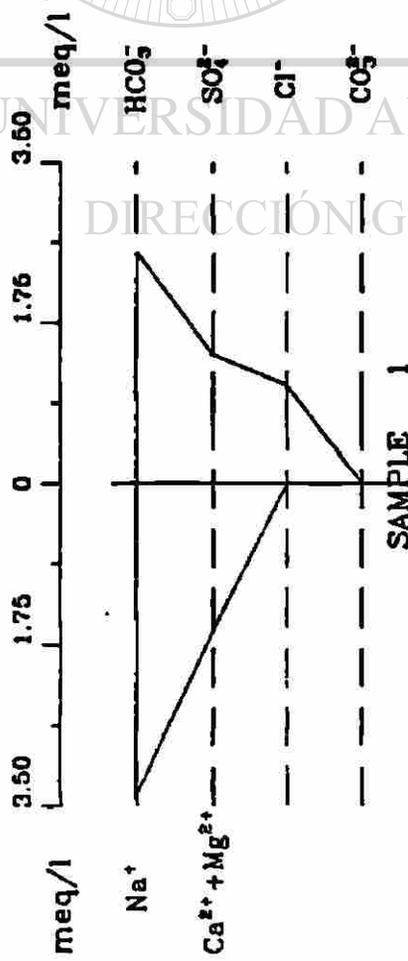
Heriberto Cota V.  
Pozo 131

TESIS

Figura 20

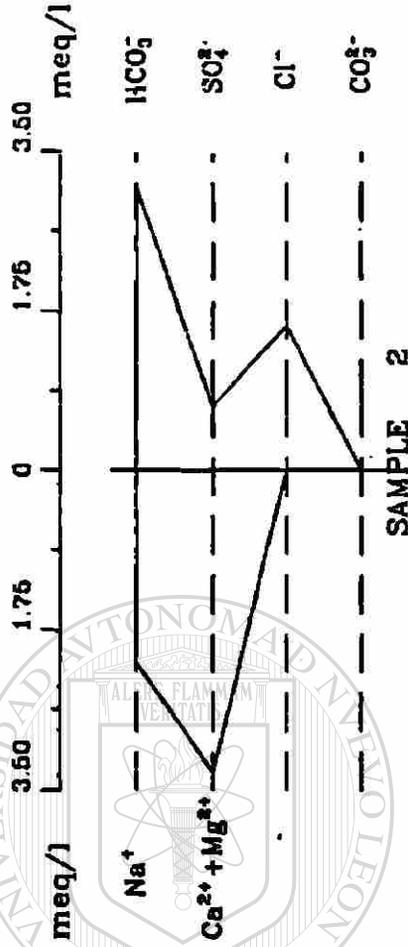
1975

BICARBONATADA - SODICA



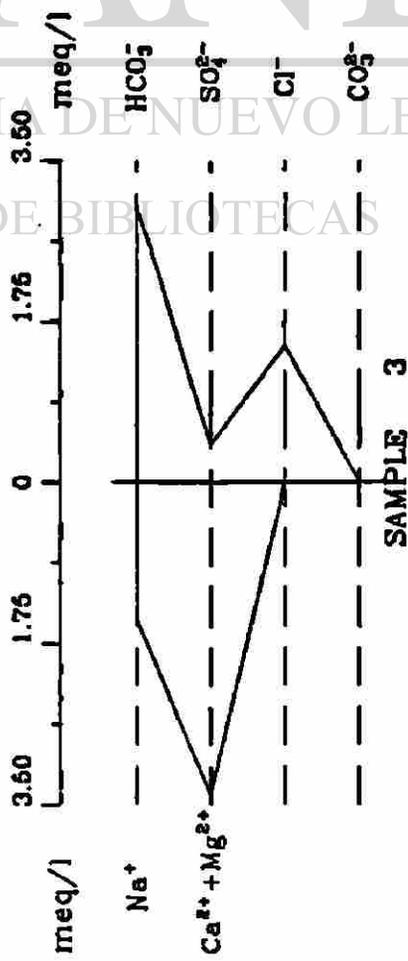
1986

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



1996

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



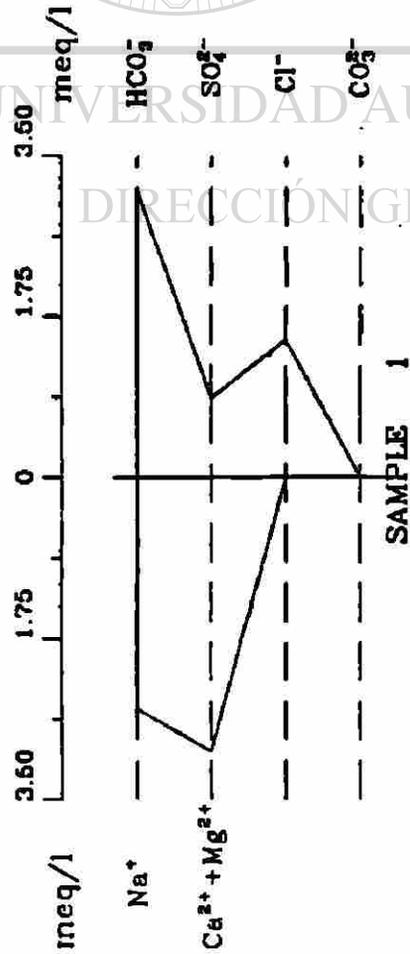
Heriberto Cota V.  
Pozo 1-CP

TESIS

Figura 21

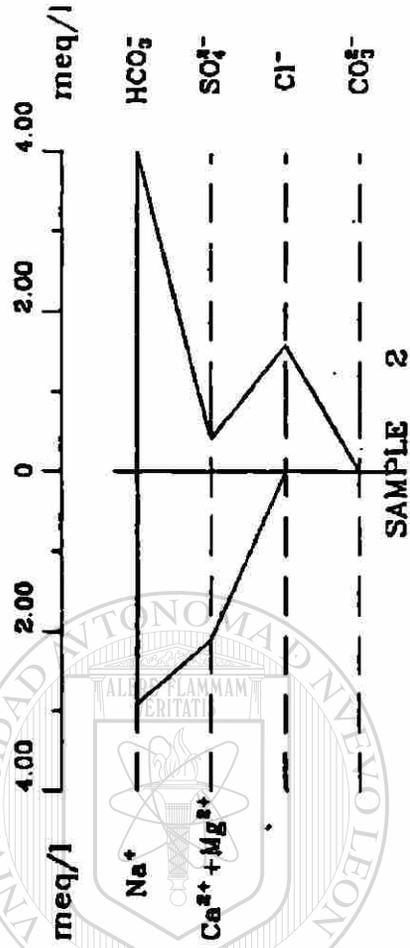
1975

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNÉSICA



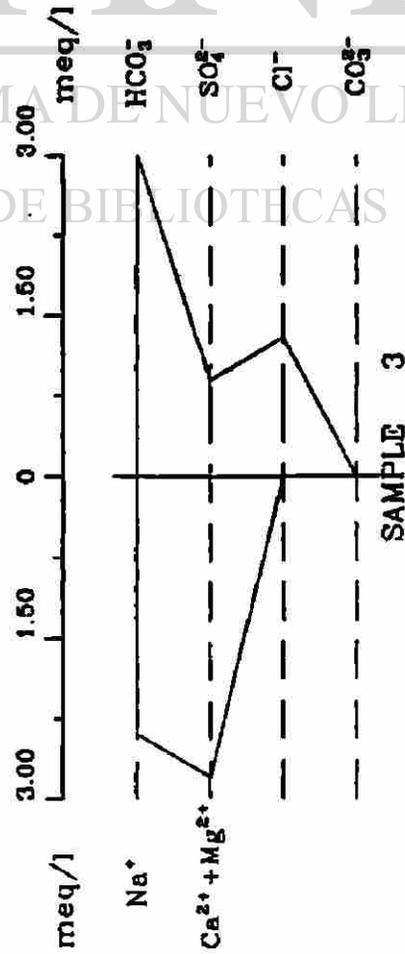
1986

BICARBONATADA - SODICA



1996

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNÉSICA



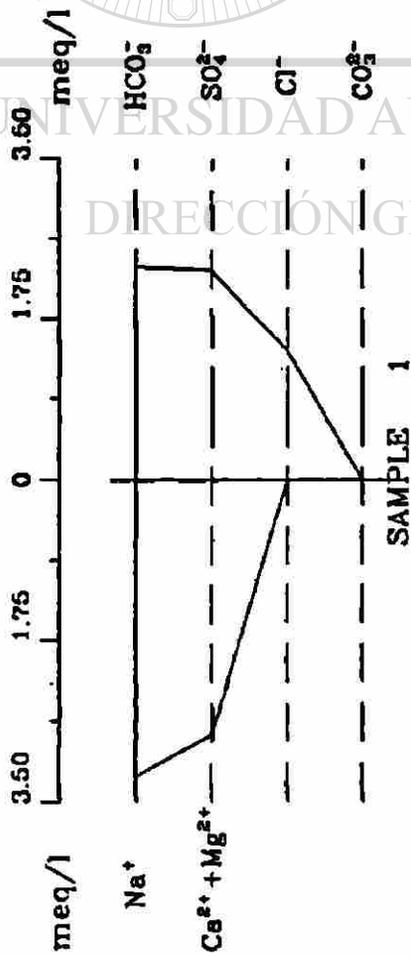
Heriberto Cota V.  
Pozo 13-SM

TESIS

Figura 22

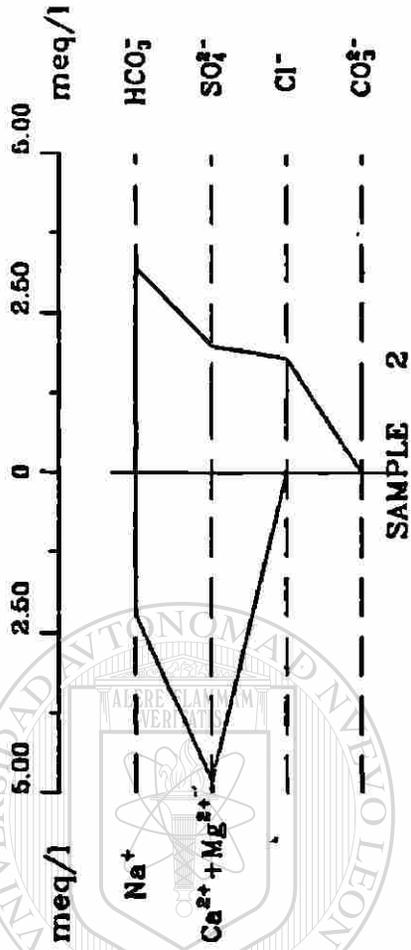
1975

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



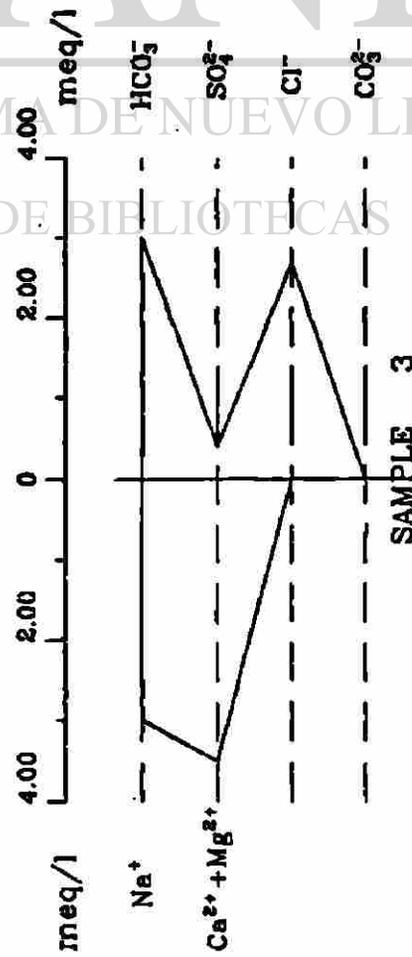
1986

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



1996

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



Heriberto Cota V.

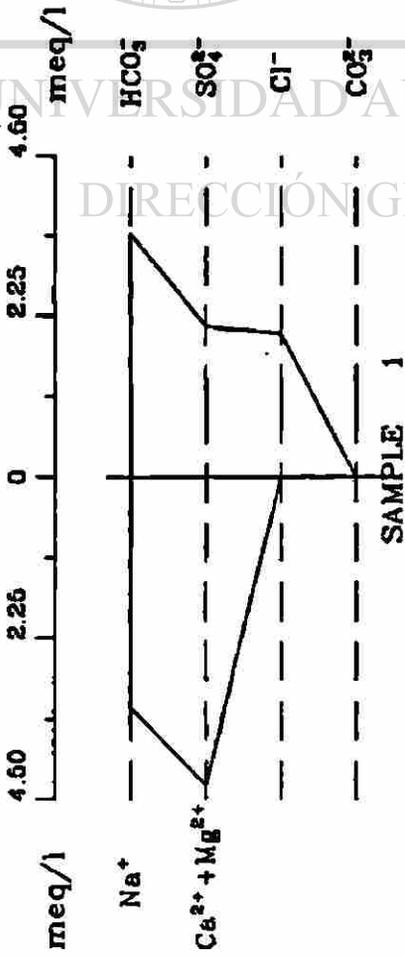
Pozo 14-SM

TESIS

Figura 23

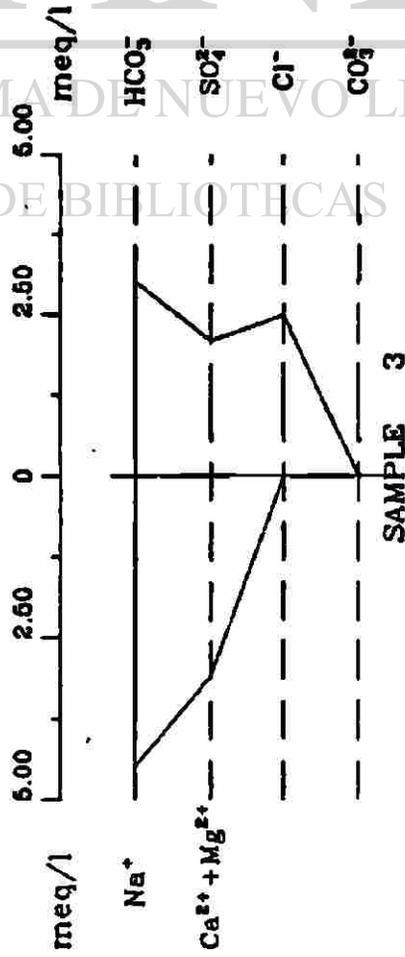
1986

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



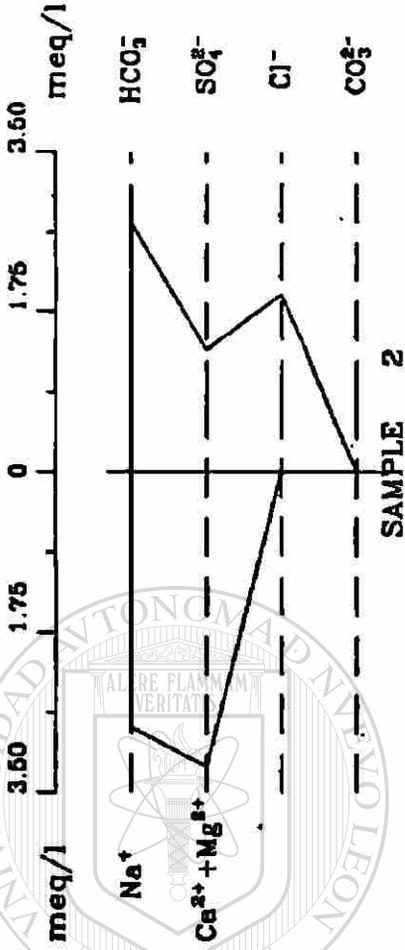
1996

BICARBONATADA - SODICA



1975

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



Heriberto Cota V.

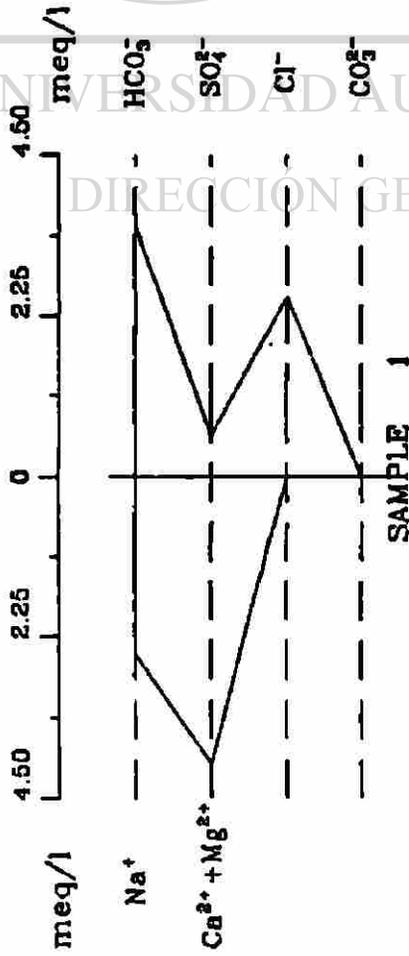
Pozo 54-SM

TESIS

Figura 24

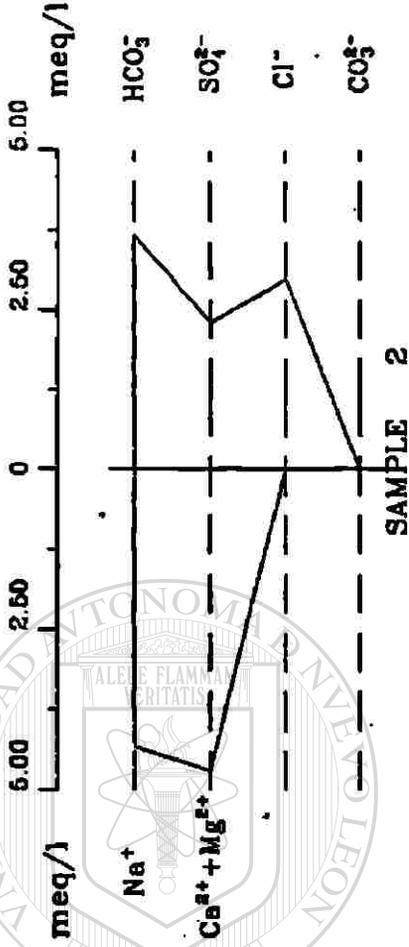
1975

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



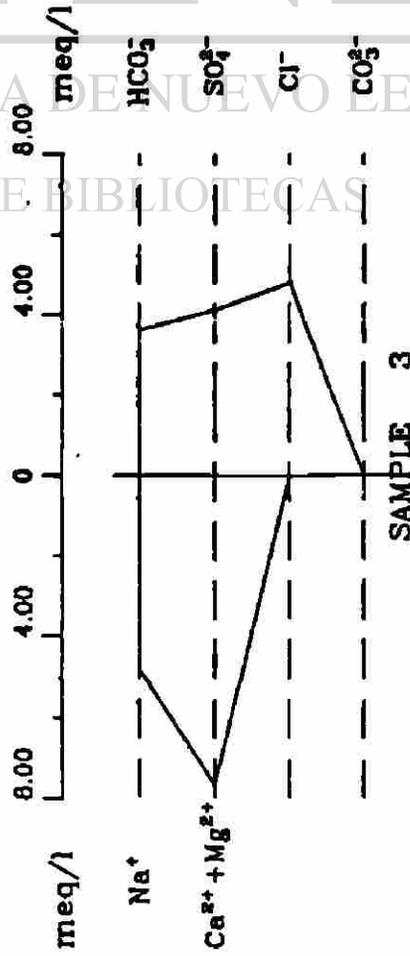
1986

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



1996

CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



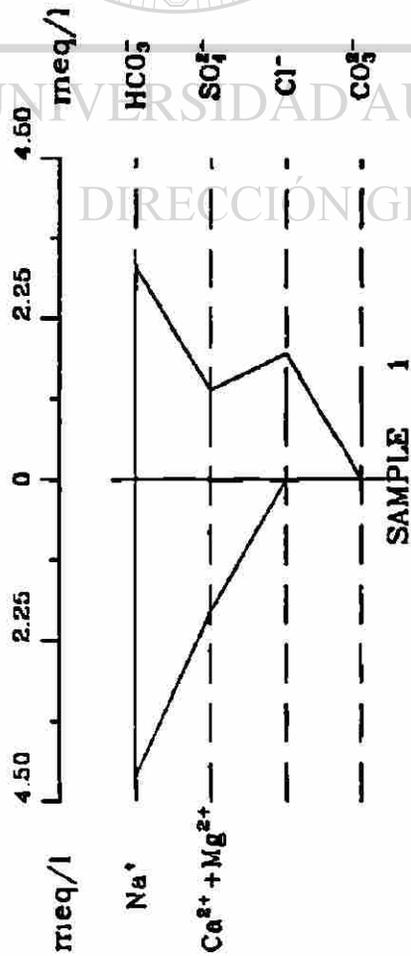
TESIS

Heriberto Cota V.  
Pozo 50-JMM

Figura 25

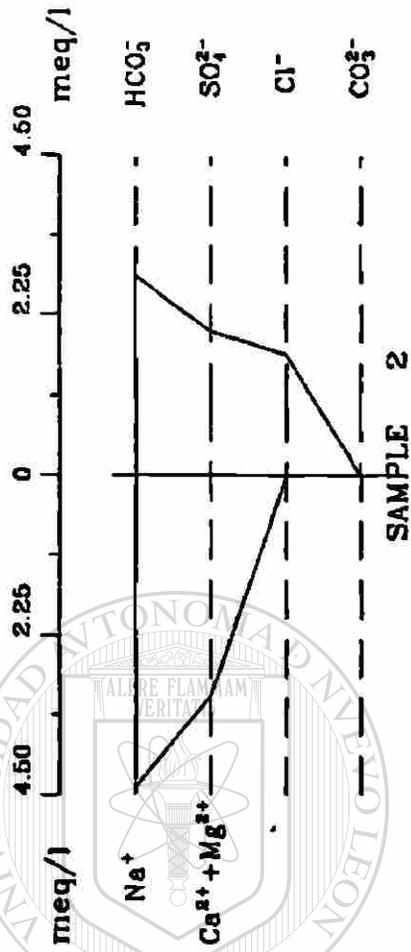
1975

BICARBONATADA - SODICA



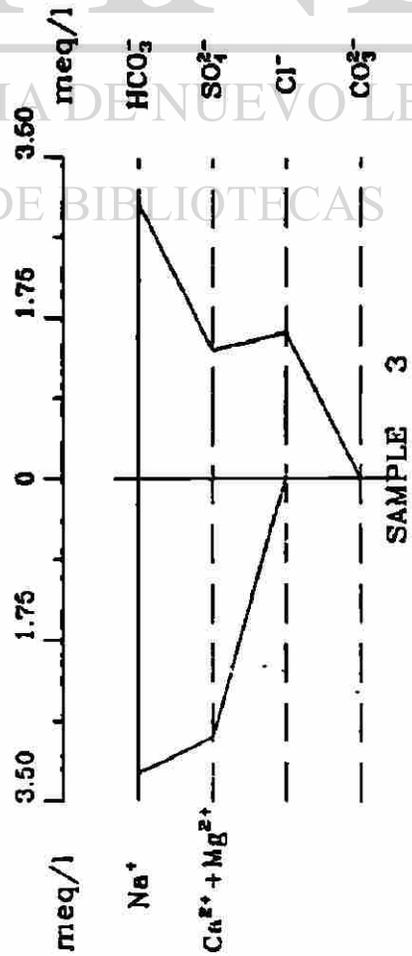
1986

BICARBONATADA - SODICA



1996

BICARBONATADA - SODICA



Heriberto Cota V.

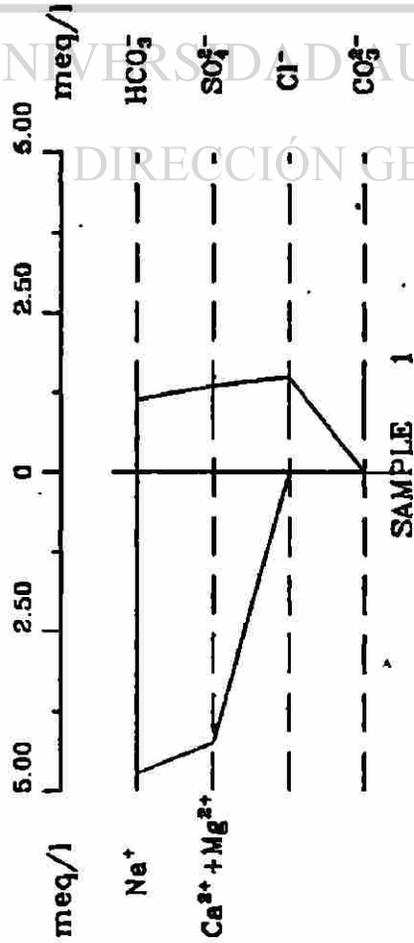
Pozo 109

TESIS

Figura 26

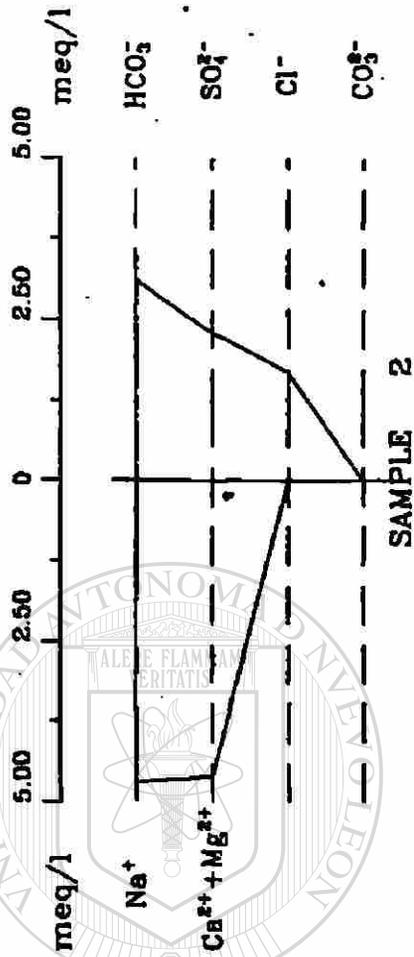
1975

CLORURADA - SODICA



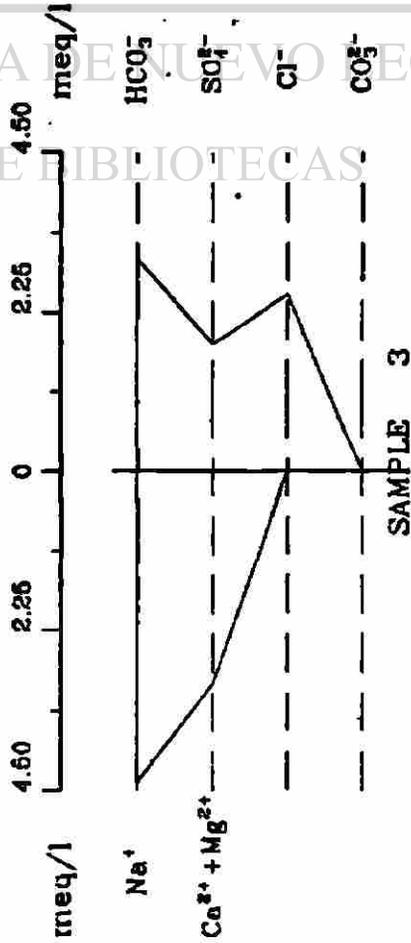
1986

BICARBONATADA - SODICA



1996

BICARBONATADA - SODICA



Heriberto Cota V.

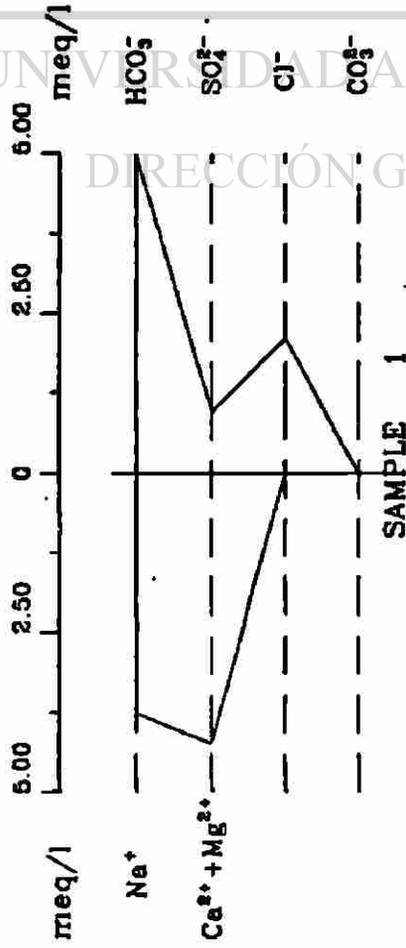
Pozo 118

TESIS

Figura 27

1975

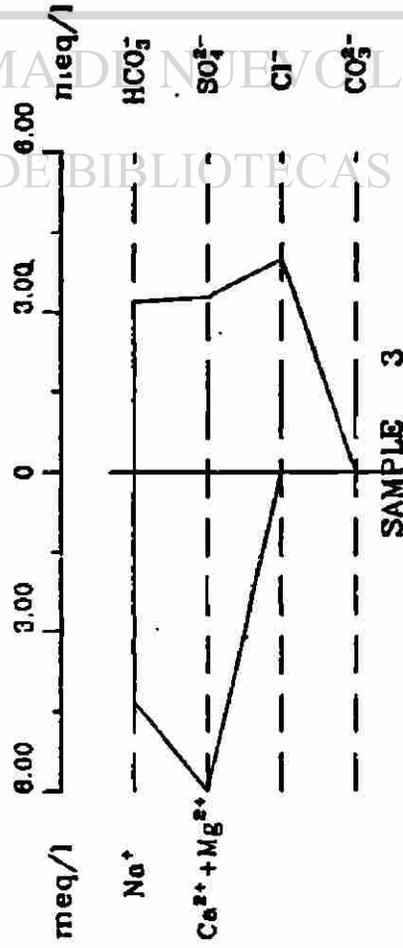
BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



SAMPLE 1

1986

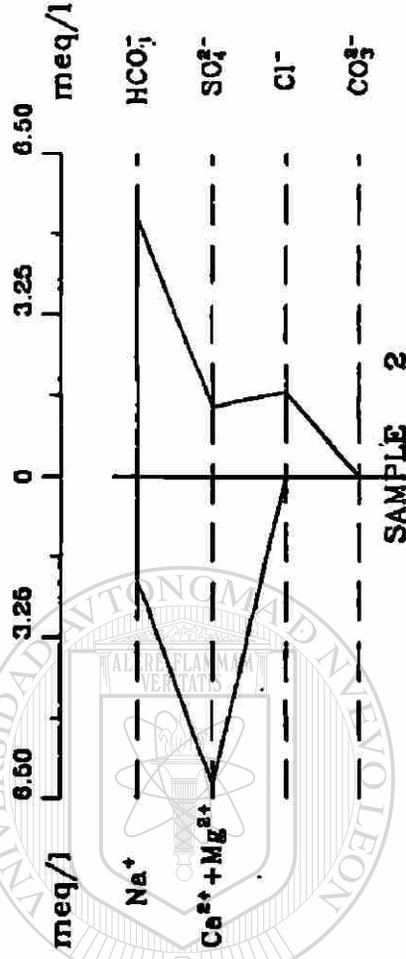
CLORURADA - CALCICO - MAGNESICA



SAMPLE 3

1986

BICARBONATADA - CALCICO - MAGNESICA



SAMPLE 2

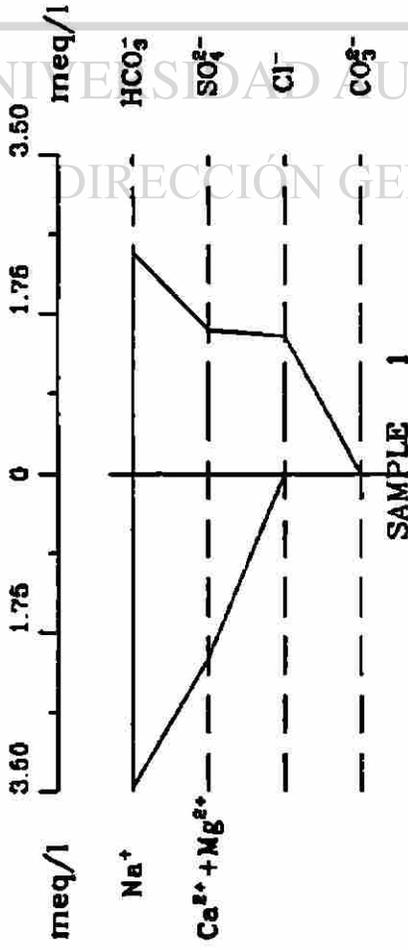
Heriberto Cota V.  
Pozo 121

TESIS

Figura 28

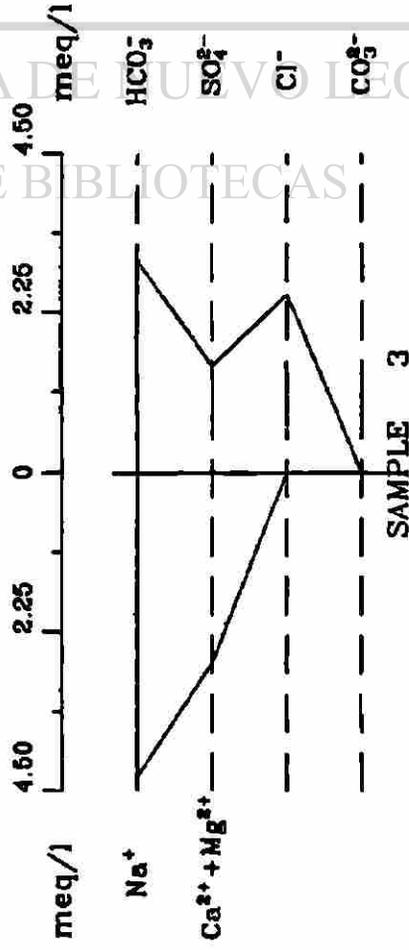
1975

BICARBONATADA-SODICA



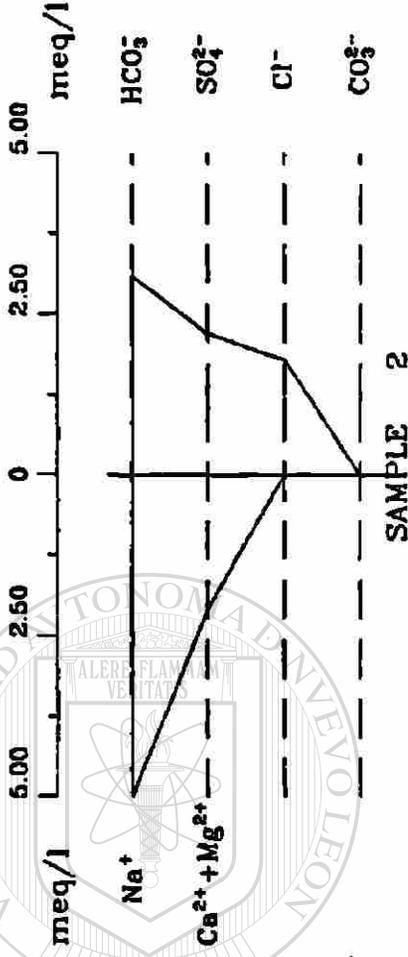
1996

BICARBONATADA-SODICA



1986

BICARBONATADA-SODICA



TESIS

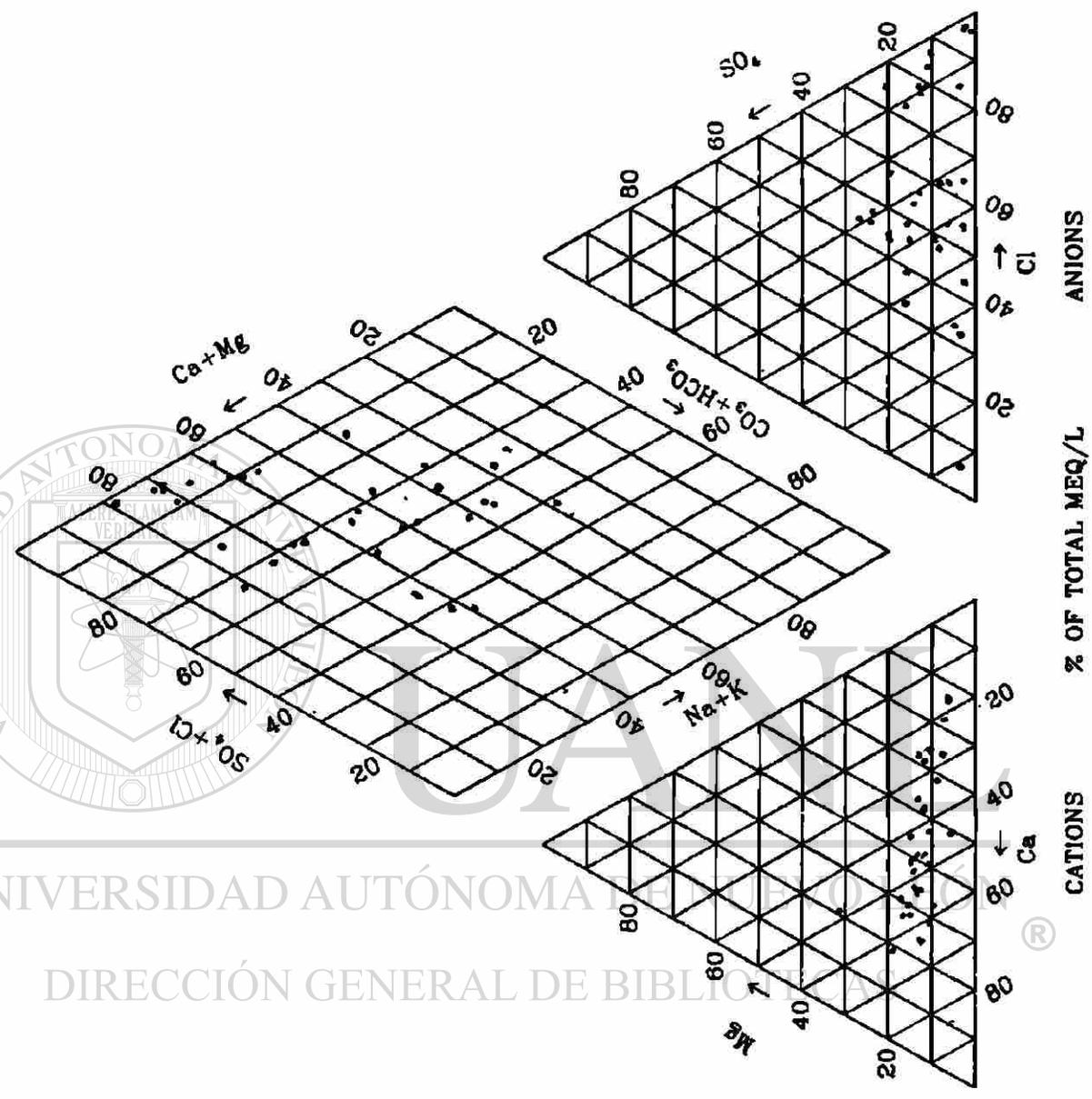
Heriberto Cota V.

Pozo 143

Figura 29

# Pozos del Valle de Guaymas

1997



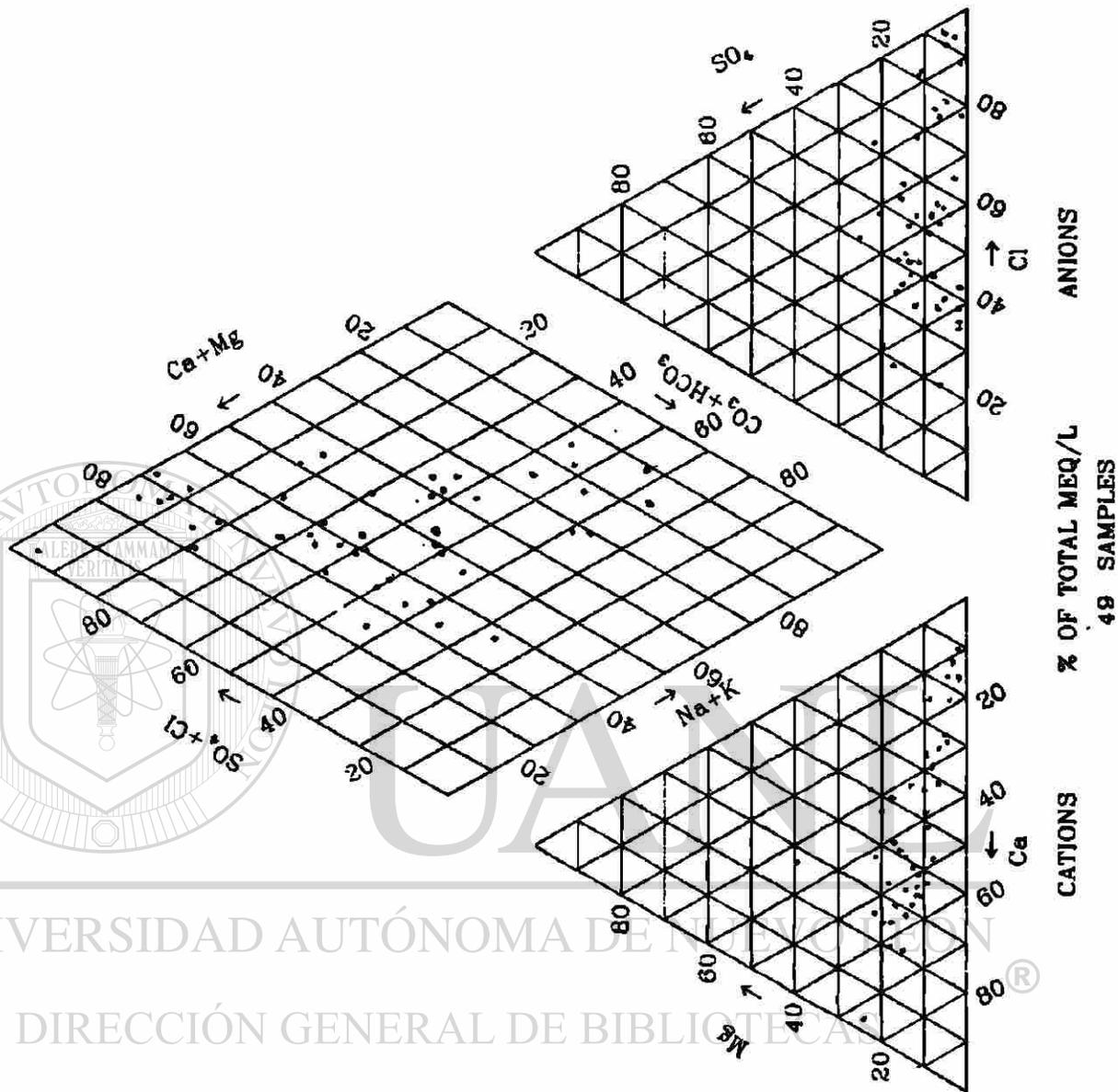
TESIS

Heriberto Cota V.

Figura 30

# Pozos del Valle de Guaymas

1998



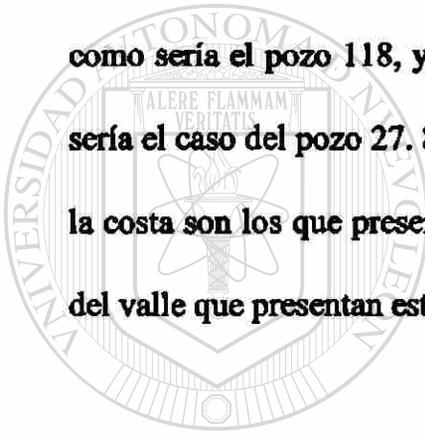
TESIS

Heriberto Cota V.

Figura 31

## 8.2 Evolución de la calidad química del agua subterránea

Con base en la información anual que se tiene de cloruros, desde el año 1975 hasta el año 1996 (ver apéndice) (exceptuando el año 1993), se estudiaron las tendencias de este elemento, cuidando que la información tuviera la mayor cantidad posible, también que los pozos no hubieran sido reubicados. Observando las gráficas de estos pozos, se ve que tienen diferentes tendencias, como el pozo 143 que tiende a crecer y decrecer entre cada 5 y 7 años en la concentración de Cl, otros tienen una tendencia casi constante como sería el pozo 118, y otros, en cambio, se ve su clara tendencia a aumentar, como sería el caso del pozo 27. Se observa, en general, que los pozos que están más cercanos a la costa son los que presentan una tendencia al aumento; aunque hay pozos en el centro del valle que presentan esta tendencia (figuras 32 a la figura 47).



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

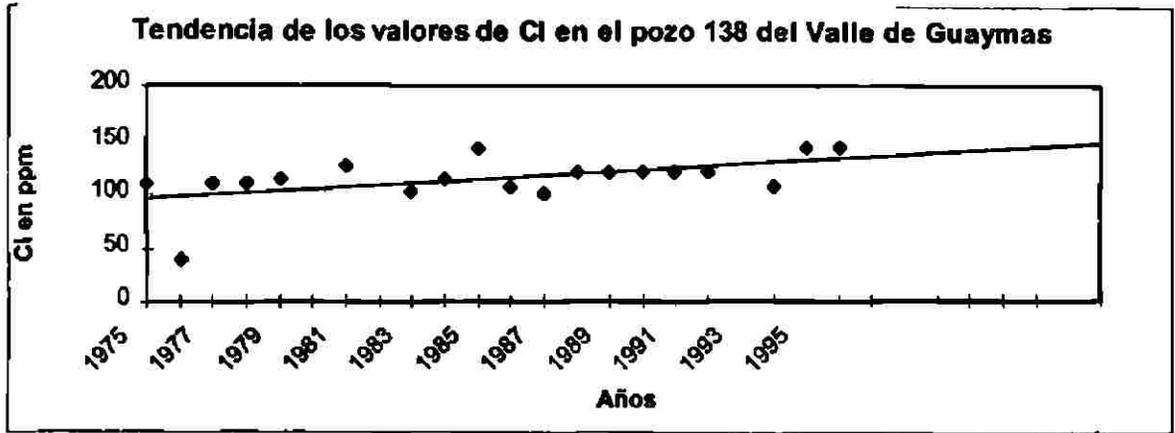


Figura 32

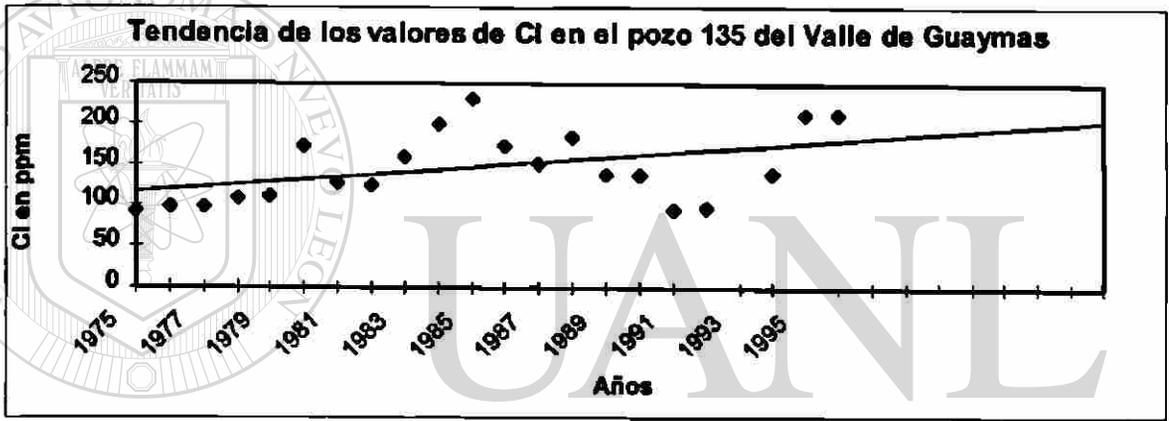


Figura 33

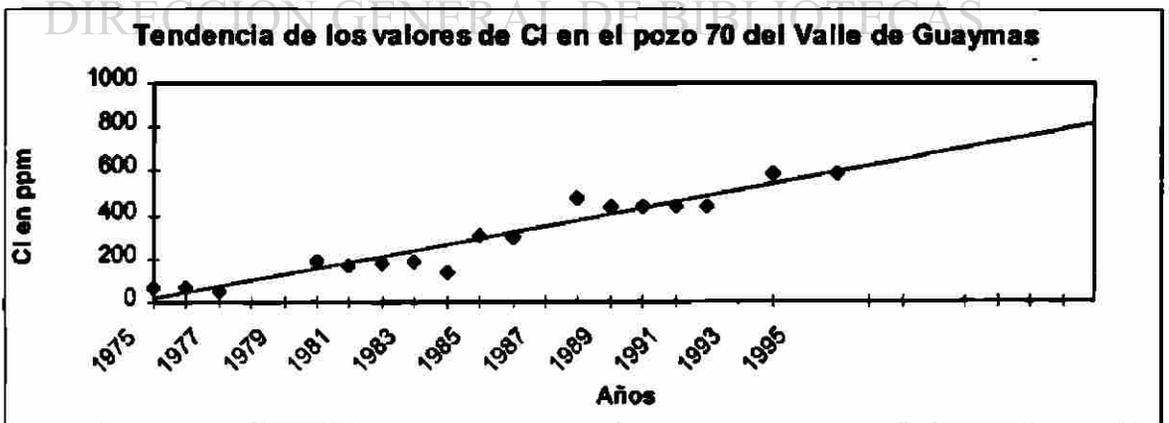


Figura 34

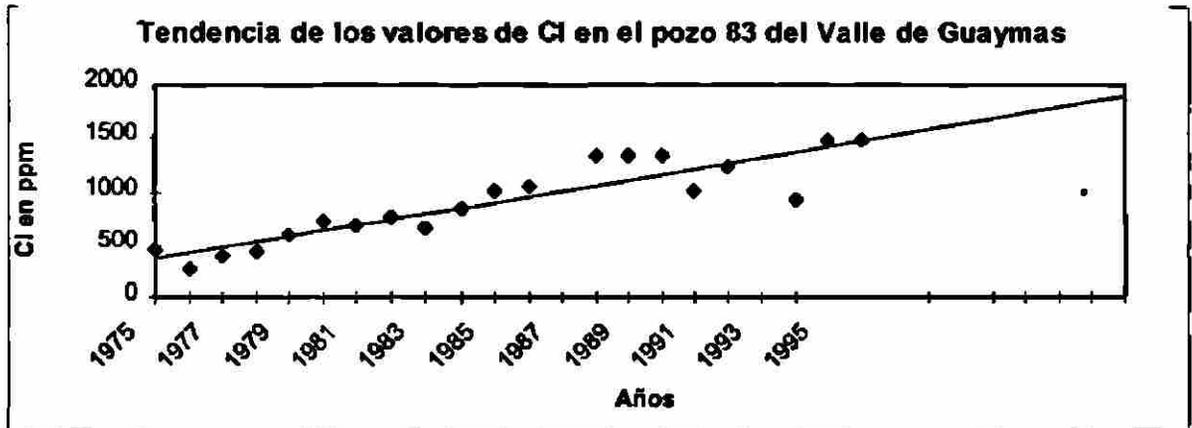


Figura 35

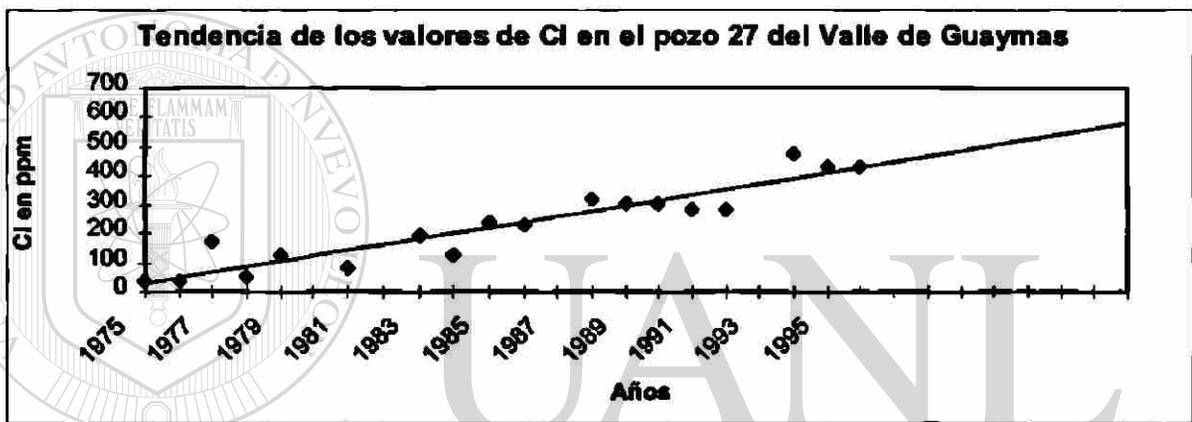


Figura 36

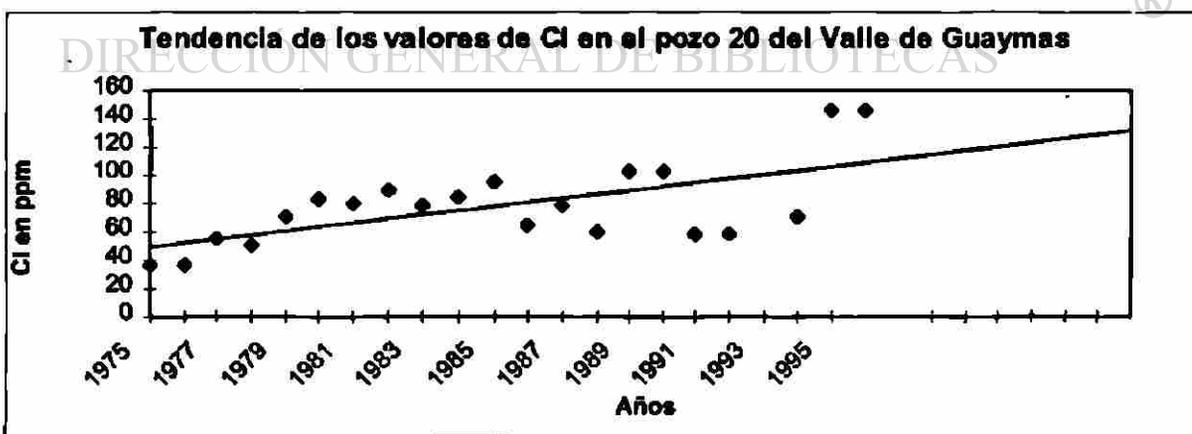


Figura 37

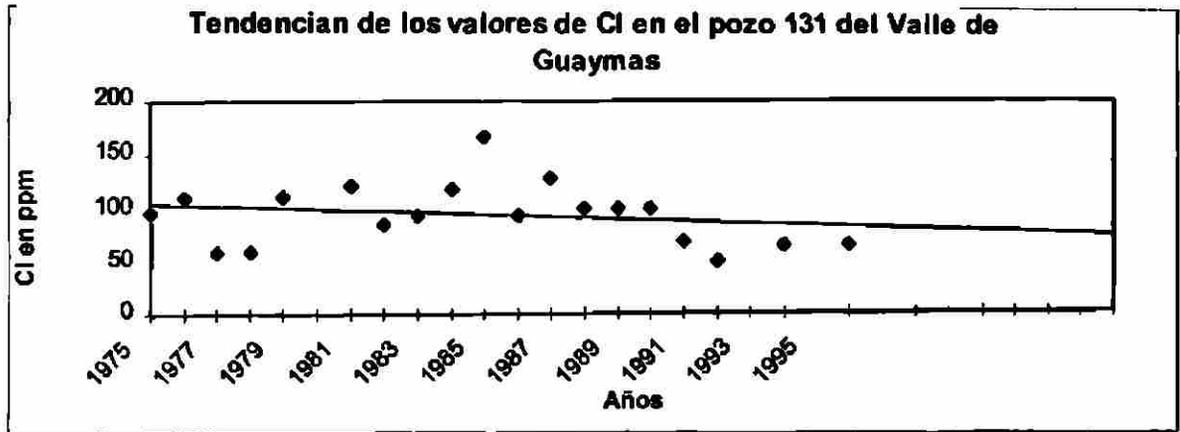


Figura 38

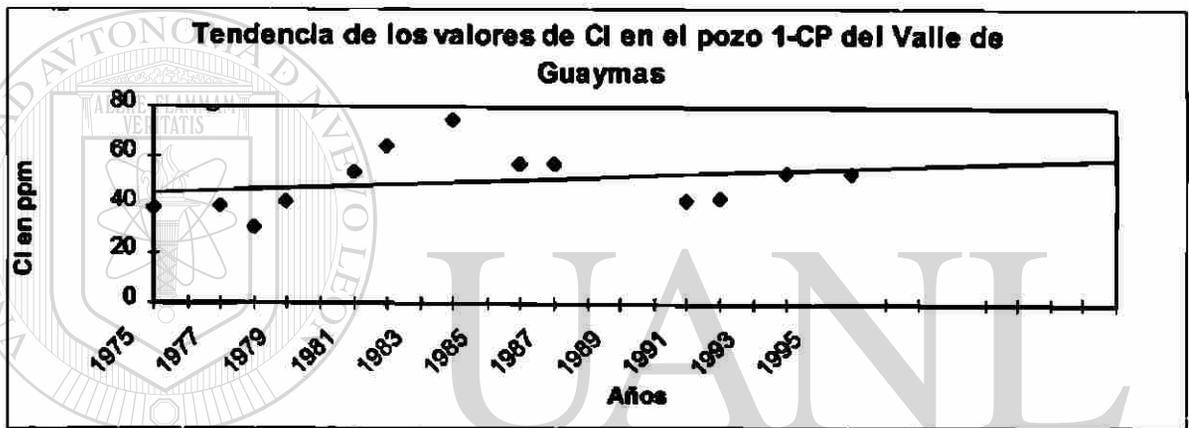


Figura 39

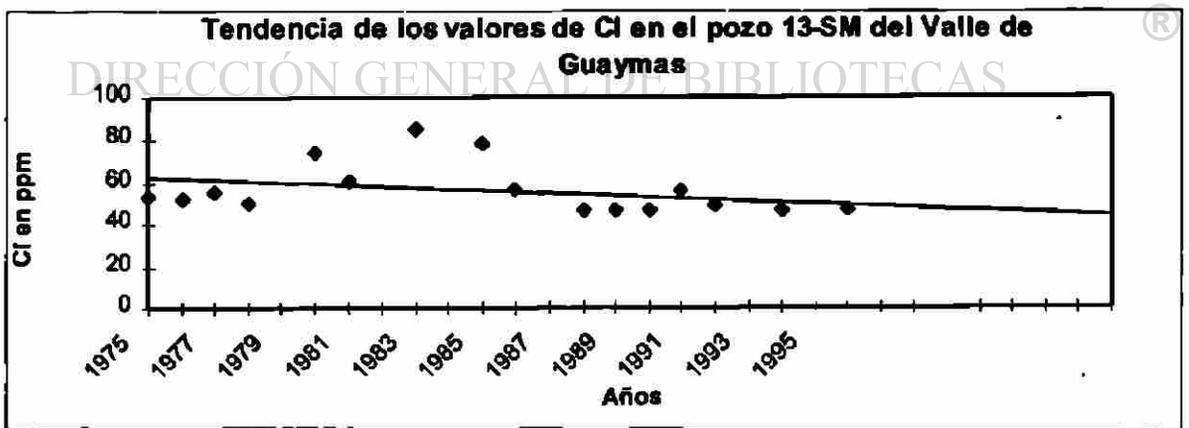


Figura 40

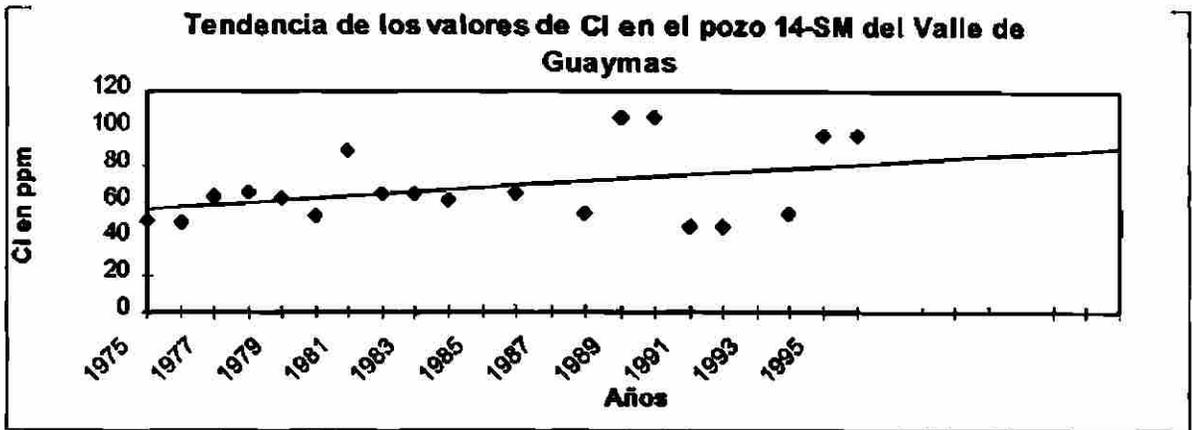


Figura 41

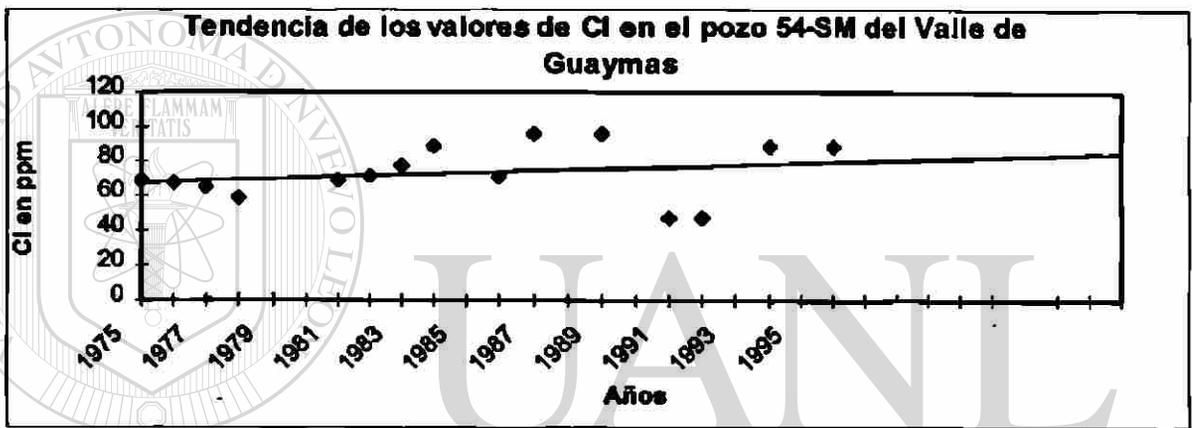


Figura 42

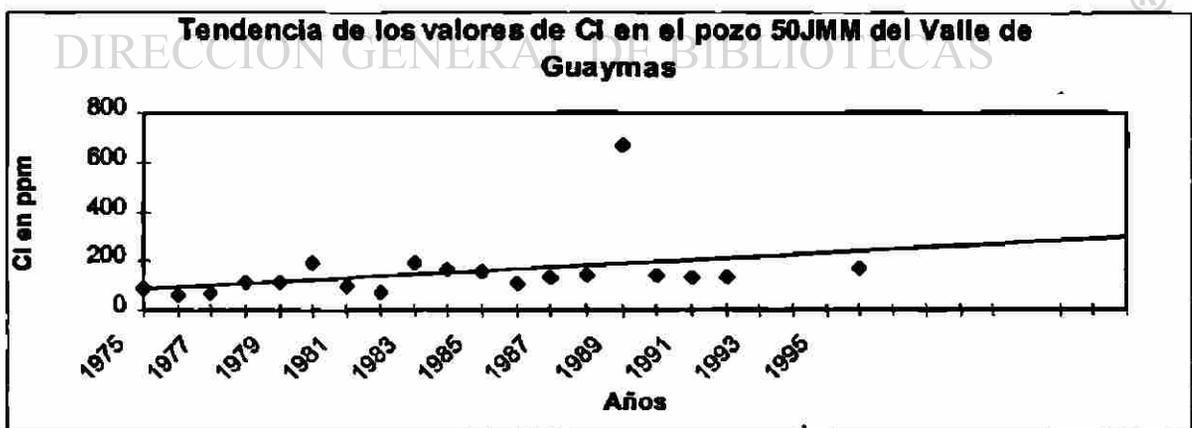


Figura 43

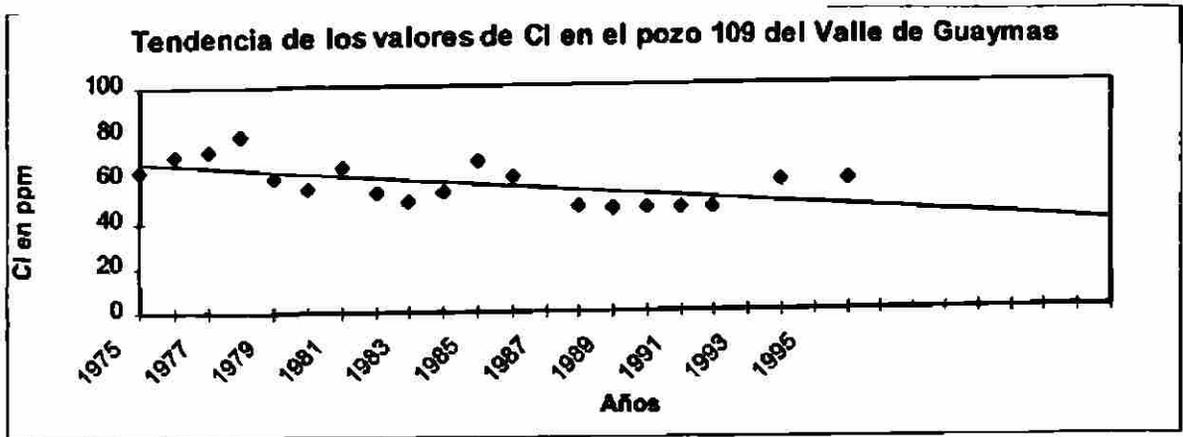


Figura 44

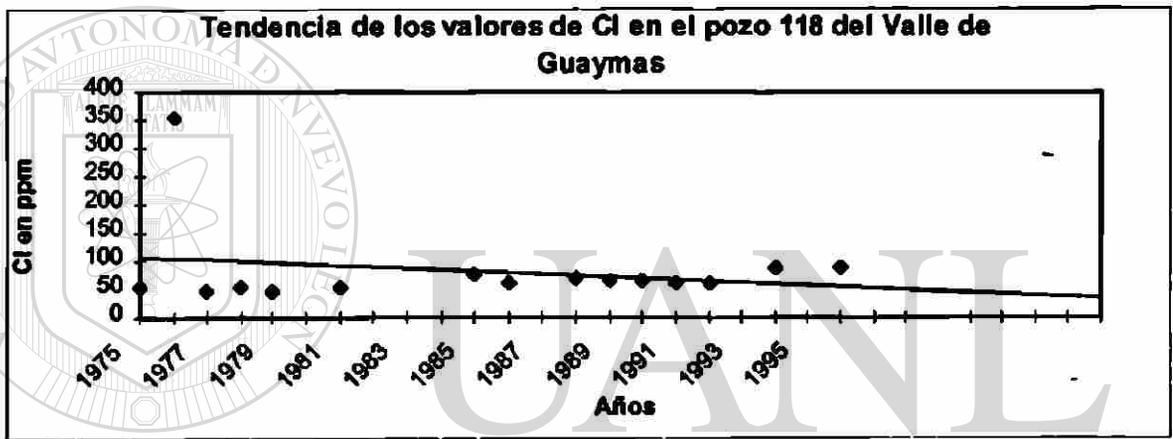


Figura 45

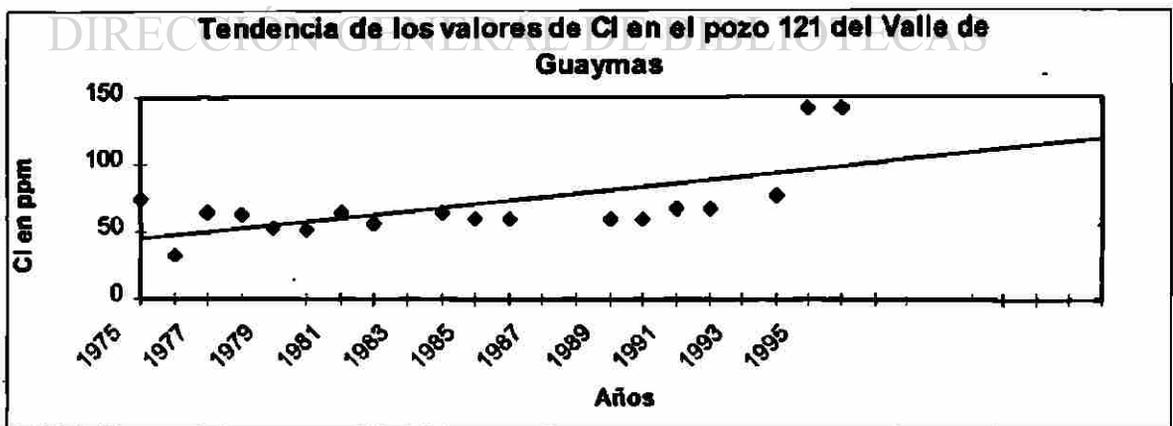
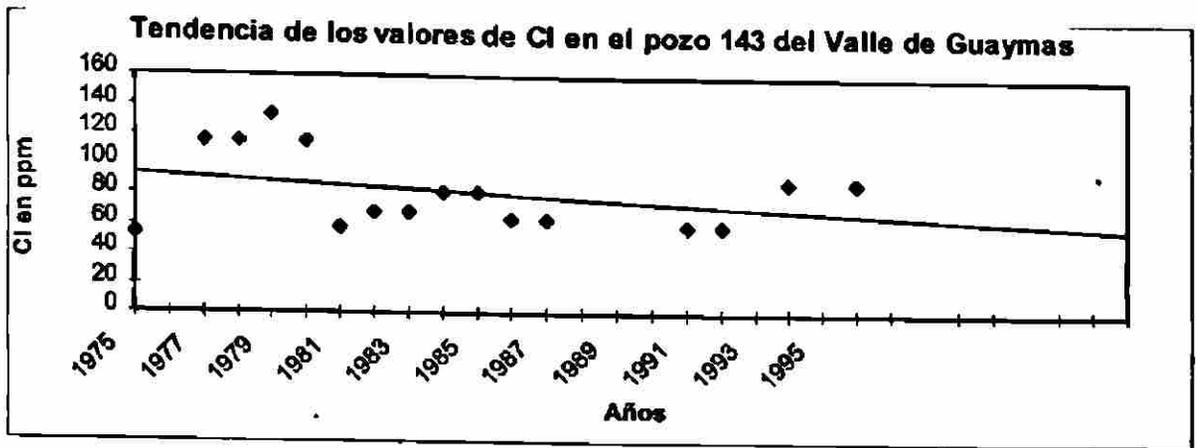
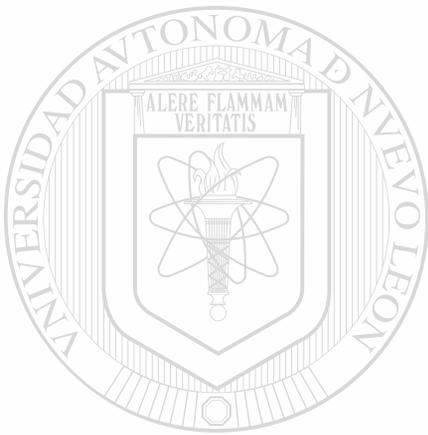


Figura 46



**Figura 47**



**UANL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 8.2.1 Conductividad Eléctrica

### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA 1975

Se observan 4 zonas de alta concentración; en el suroeste del valle se pueden ver dos: una con valores mayores que 2.80 y la otra, inmediatamente enseguida de esta, siendo mucho más pequeña y con valores mayores que 1  $\mu\text{mhos/cm}$ , otra de las zonas se encuentra en el sureste del valle, con valores mayores que 1  $\mu\text{mhos/cm}$ , la cuarta zona se ubica sobre la parte superior a la ubicada en el sureste, en lo que es el centro-este del valle; se le ven valores mínimos de 0.60 y mayores de 1.20  $\mu\text{mhos/cm}$ ; en el noreste se ven valores de 0.20 y 0.60  $\mu\text{mhos/cm}$ , en el oeste del valle, limitando la Sierra de Santa Úrsula, se ven dos líneas, con 0.20 y 0.40  $\mu\text{mhos/cm}$ , que cruzan el valle de norte a sur (ver figura 48).

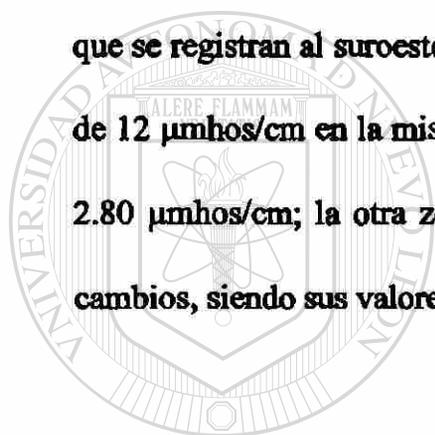
### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA 1986

En el noreste del valle se observan valores de 0.20, 0.40 y 0.60  $\mu\text{mhos/cm}$ , a diferencia de 1975 donde sólo se observan de 0.20 y 0.40, cruzando el valle de sur a norte por la parte oeste se ven los mismos valores de 0.20, 0.40 y 0.60  $\mu\text{mhos/cm}$ , a diferencia de 1975 donde sólo se registran de 0.20 y 0.40  $\mu\text{mhos/cm}$ , en el centro del valle se observa una línea de 0.80  $\mu\text{mhos/cm}$  y esta cargada hacia el oeste del mismo, en el sur se observan dos zonas de alta concentración, una al suroeste con valores mayores a 5  $\mu\text{mhos/cm}$  a diferencia de los 2.80  $\mu\text{mhos/cm}$  que se registran en 1975, también esta zona se ve en 1986 mas extendida, y desapareció la zona más pequeña que se registró inmediatamente enseguida de esta última en 1975; en cambio, la zona que se registra en

el sureste del valle se observa prácticamente igual que en 1975, pero aumentando en el intervalo de sus valores (ver figura 49).

### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA 1996

En este año, tanto en el noreste como en el borde de la Sierra de Santa Úrsula, al oeste del valle, no existen cambios con respecto a 1986, registrando en las dos áreas valores de 0.20, 0.40 y 0.80  $\mu\text{mhos/cm}$ , en lo que es el centro del valle, tampoco existen grandes cambios, salvo que se registran más valores de 1  $\mu\text{mhos/cm}$ , de las dos zonas que se registran al suroeste y sureste del valle la primera aumento sus valores a mayores de 12  $\mu\text{mhos/cm}$  en la misma área donde en 1986 se registraban 5  $\mu\text{mhos/cm}$  y en 1975 2.80  $\mu\text{mhos/cm}$ ; la otra zona que se encuentra al sureste del valle sigue sin presentar cambios, siendo sus valores de 0.2 a 1  $\mu\text{mhos/cm}$  (ver figura 50).



U.A.N.L.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

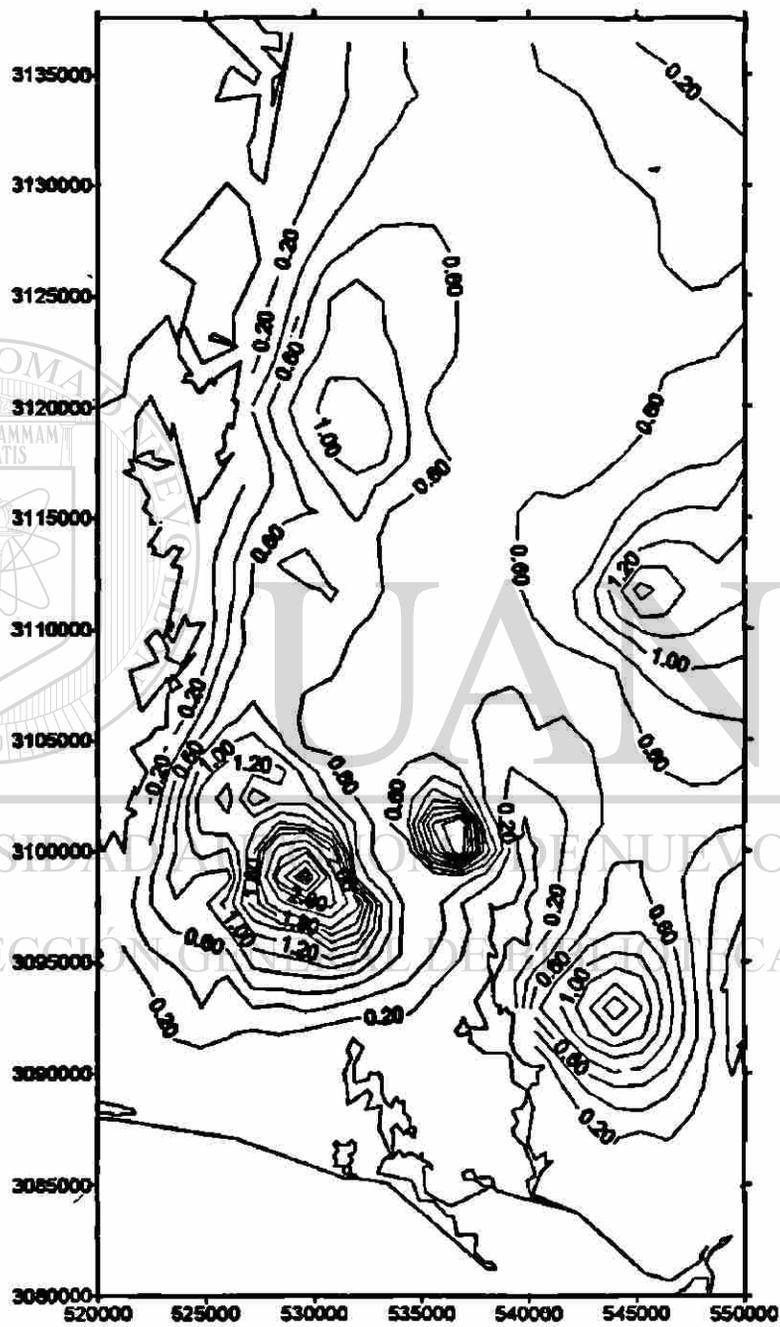


Figura 48.-Isovalores de CE en mmhos/cm del Valle de Guaymas en 1975

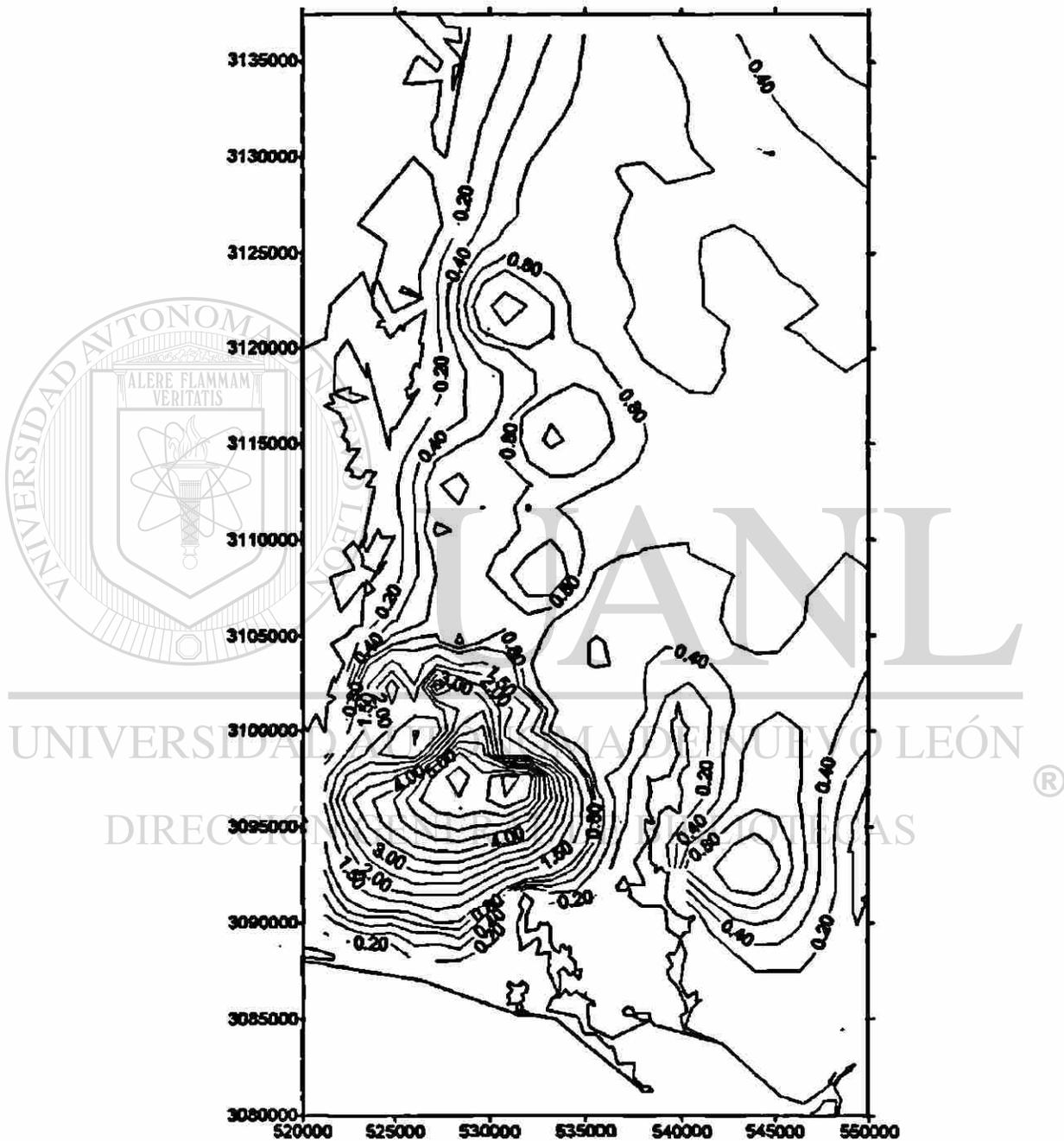


Figura 49.-Isovalores de CE en mmhos/cm del Valle de Guaymas en 1986

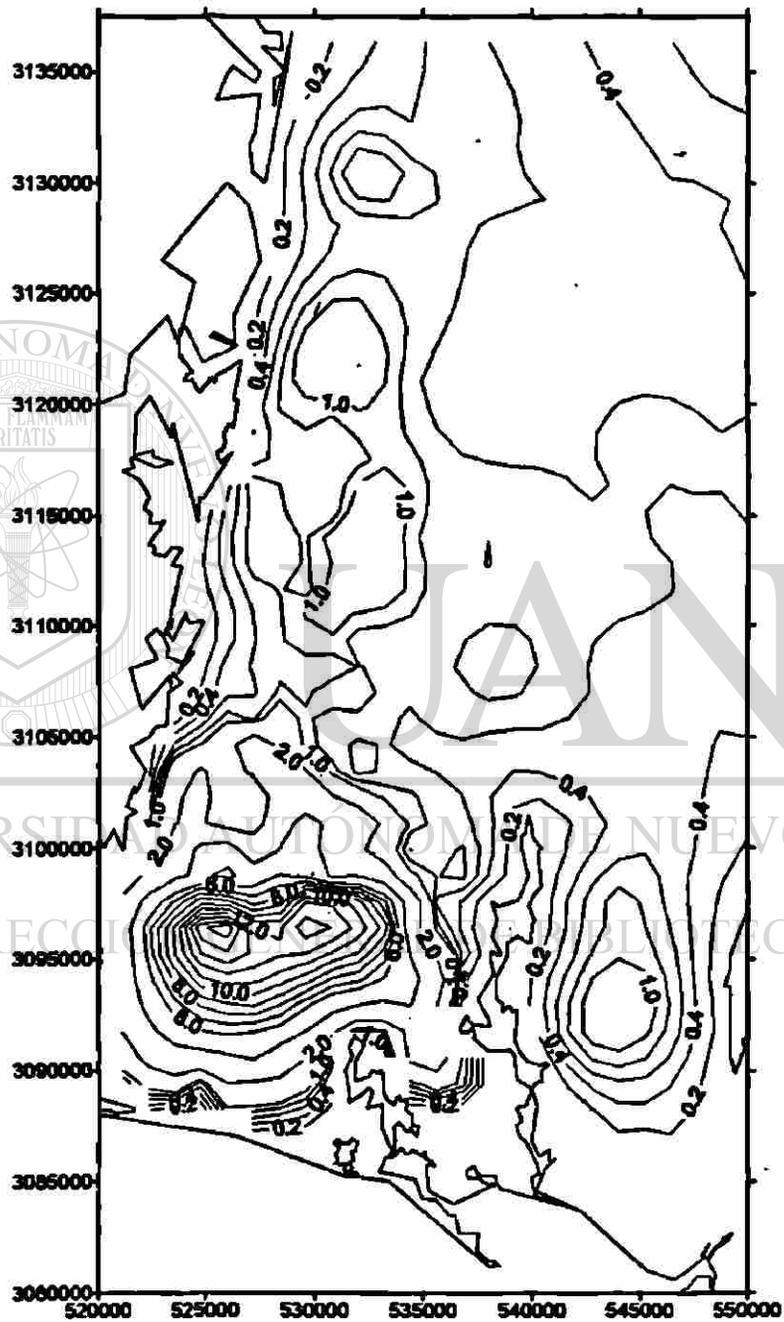


Figura 50.- Isovalores de CE en mmhos/cm del Valle de Guaymas en 1996

## 8.2.2 El potencial de Hidrógeno

### pH 1975

Se observa que los valores de pH en el valle siguen un orden algo similar en cuanto a la ubicación a los valores de Bicarbonatos, cerrando prácticamente el centro del valle, se ve también que los valores van en aumento hacia el centro norte del valle, con valores de 6 aunque en la parte norte del valle sólo se ven valores de 6 y un poco mayores (ver figura 51).

### pH 1986

Este año sigue el mismo contorno que en 1975, aunque en el centro-norte se observa el área restringida más extendida en 1986, también aparecen valores menores a 6, lo que no se registra en 1975; otra diferencia es que en el centro del valle aparecen más valores que en 1975, predominando los de 7.40 y 7.60 ( ver figura 52).

### pH 1996

Sigue el mismo contorno que en los años anteriores, a excepción de la parte centro-norte del valle, donde el área se extiende más este año, además de que, en esta misma zona, aparecen valores de 7, 7.40 y 7.80 en pH, que no se veían en los años anteriores, también desaparece la de 4, que se registra en 1986, en lo que es el centro del valle se registran menos intervalos de valores que en 1986, observándose solo de 7.40 y 7.60 (ver figura 53).

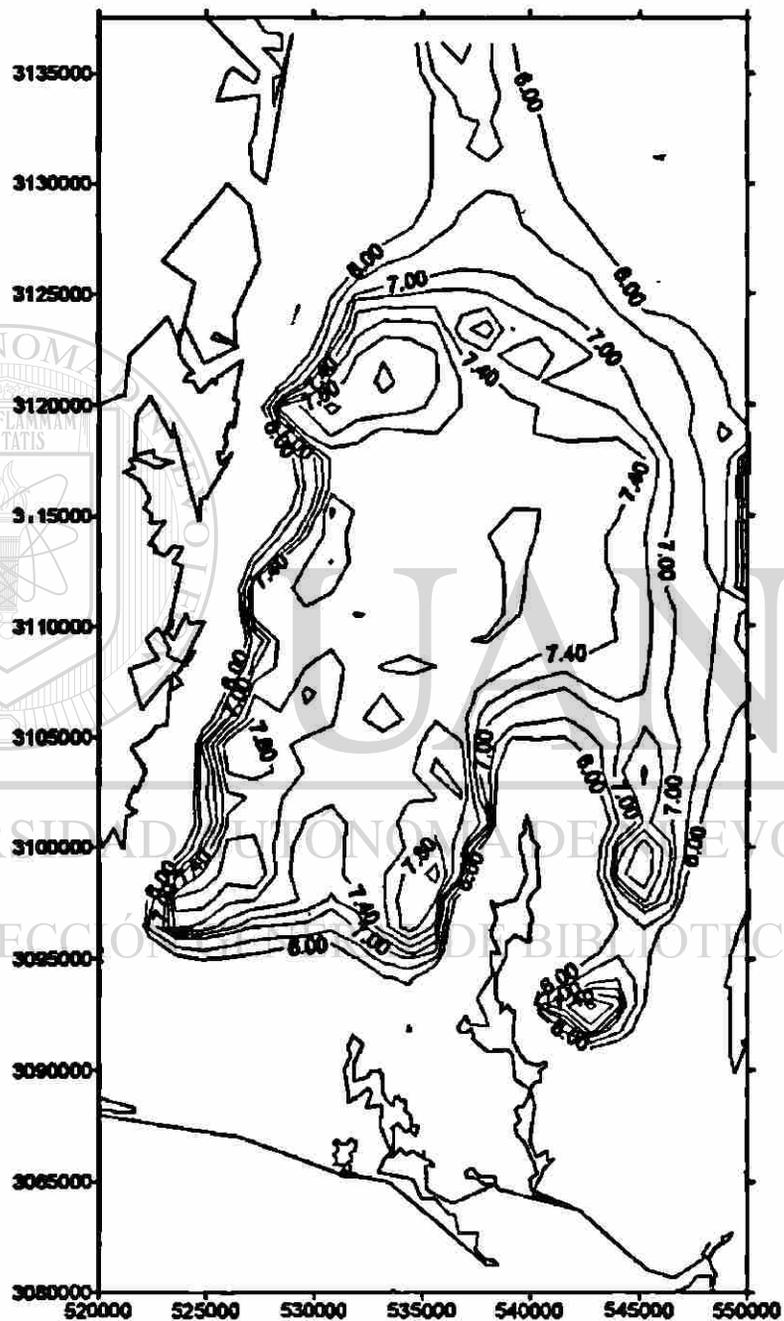


Figura 51.-Isovalores de pH del Valle de Guaymas en 1975

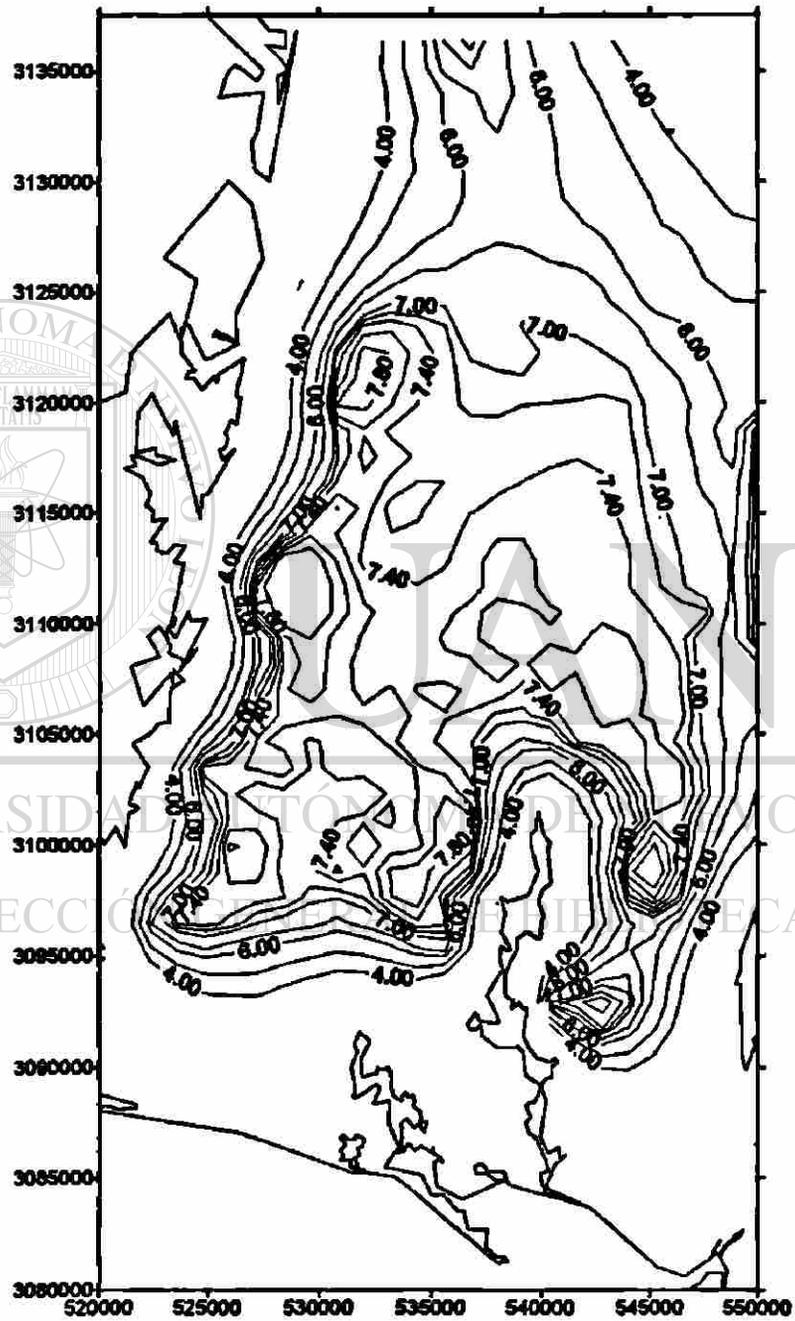


Figura 52.- Isovalores de pH del Valle de Guaymas en 1986

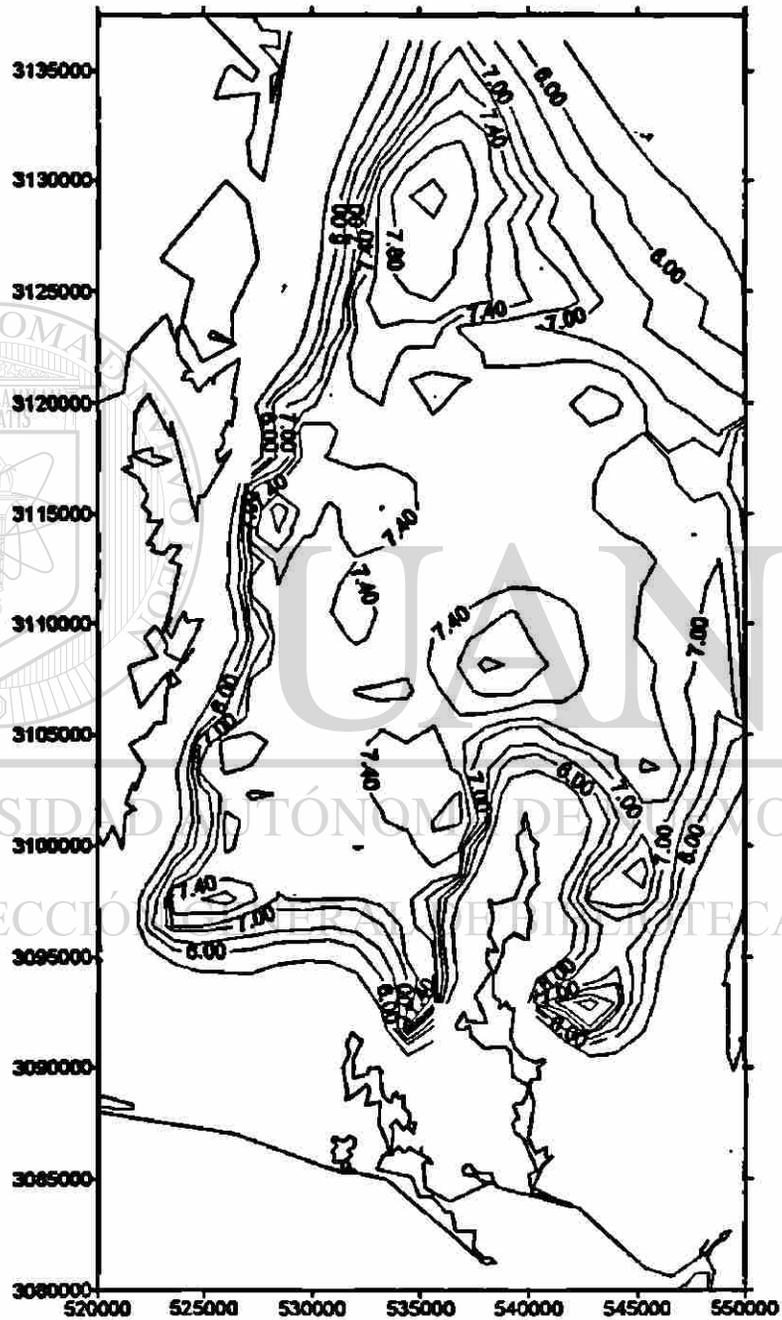


Figura 53.- Isovalores de pH del Valle de Guaymas en 1996

### 8.2.3 Sólidos Totales Disueltos

#### SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS EN 1975

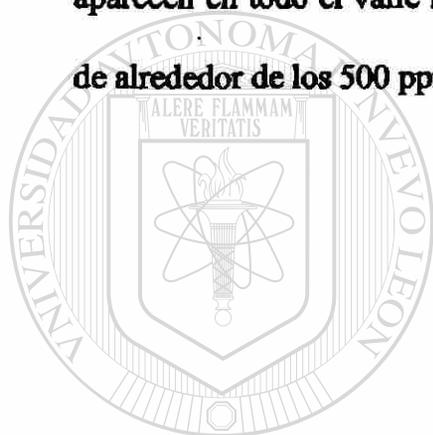
Se observan dos zonas de alta concentración de valores, una en el suroeste del valle, con valores mayores a 1600 ppm, la otra zona se observa al norte, con valores también mayores, también a 1600 ppm, entre estas dos zonas se observa una línea de 400 ppm. Al este de la Sierra de San Francisquito, en el sureste del valle se observan valores de 200 y 400 ppm, bordeando la misma sierra se observan valores de 100 y 200 ppm; al oeste del valle en los límites de la Sierra de Santa Úrsula, y siguiendo el antiguo cauce del río, se observan valores de 60 y 200 ppm que suben de sur a norte el valle (ver figura 54).

#### SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS EN 1986

En este año se observan tres zonas de alta concentración, una en el suroeste del valle, misma que se registra en 1975, aunque más extendida y con un claro aumento en sus valores, siendo estos mayores de 3400 ppm a diferencia de los 1600 ppm que se registran en 1975 en la misma área. Cruzando la Sierra de San Francisquito, al sur del valle, se observa la formación de una zona de alta concentración con valores de 500 ppm donde en 1975 se registran 400 ppm, la zona que en 1975 se registró en el norte del valle, en 1986 desaparece; en cambio, aparecen dos más en el centro y centro-este del valle, la del centro, con valores mayores a 500 ppm y la del centro-este con valores mayores a 1800 ppm y limitada por la Sierra de Bacatete, al oeste del valle se siguen observando las líneas que atraviesan el valle de norte a sur, siguiendo el antiguo cauce del río (ver figura 55).

## SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS 1996

Se observan dos zonas de alta concentración, una al suroeste del valle, misma que se observa en años anteriores, aunque este año sus valores son mayores a los 6000 ppm, la otra zona se observa al sureste del valle, a la misma altura que la anterior, pero cruzando la Sierra de San Francisquito, las dos zonas que en 1986 se encontraban en el centro del valle desaparecen en 1996, se siguen viendo las líneas que siguen el antiguo cause del río al oeste del valle y en los límites de la Sierra de Santa Úrsula, también aparecen en todo el valle mas líneas de valores que en los años anteriores, siendo estos de alrededor de los 500 ppm (ver figura 56).



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

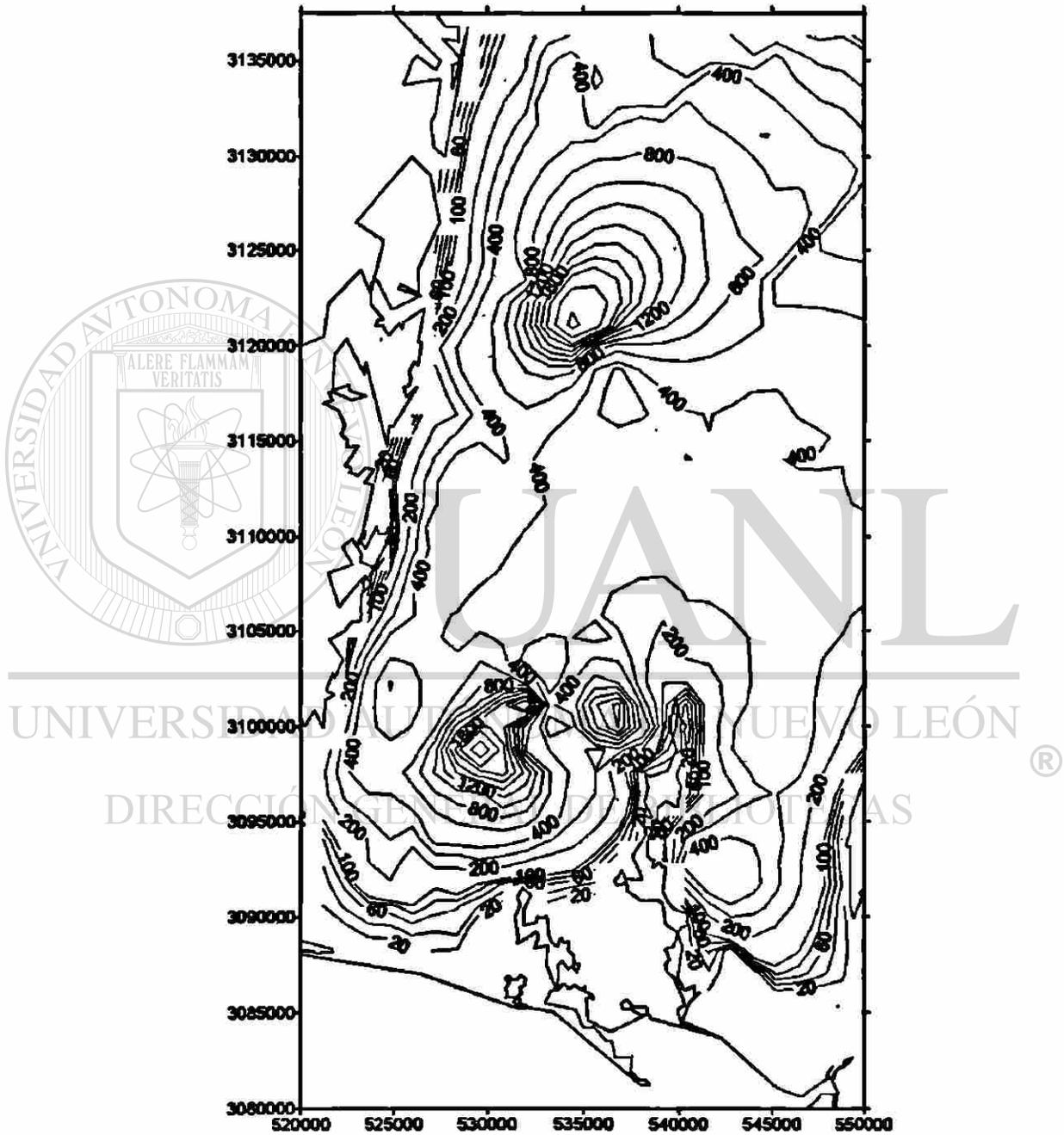


Figura 54.- Isovalores de STD en ppm del Valle de Guaymas en 1975

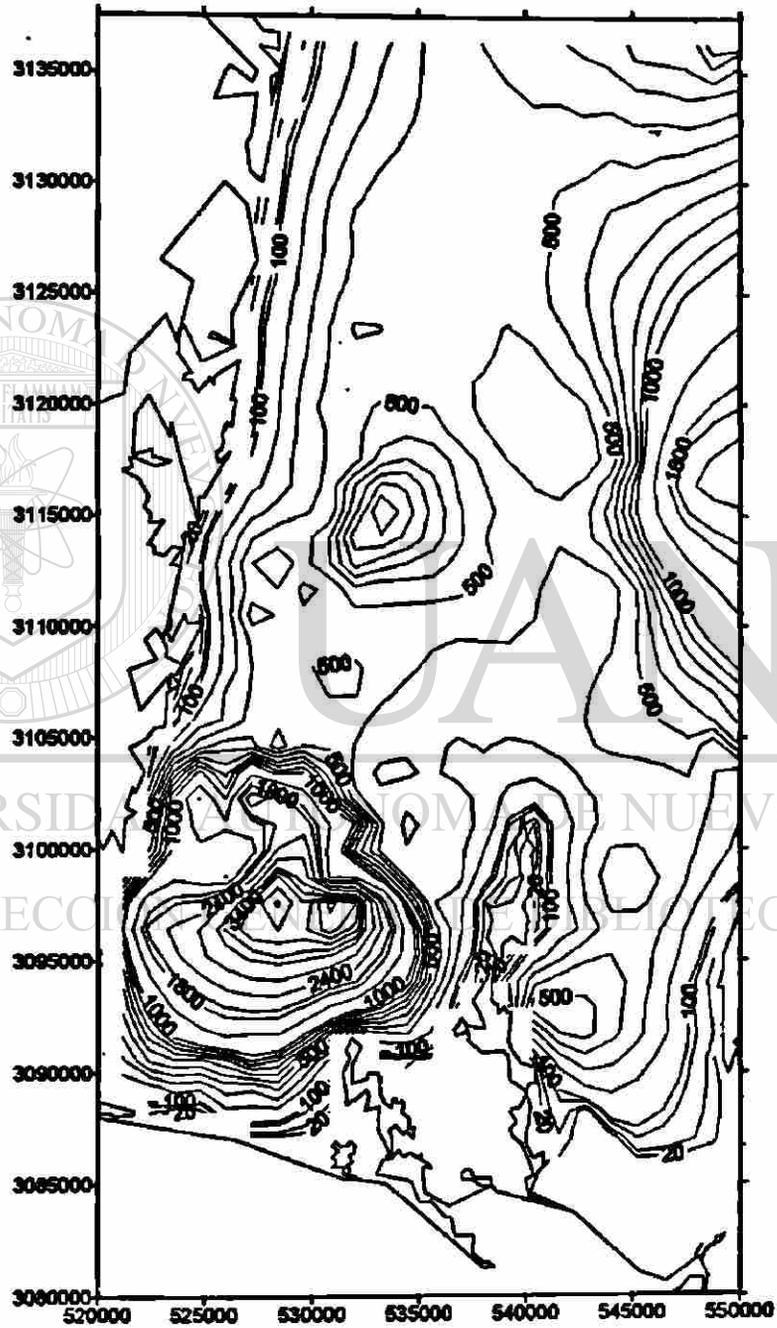


Figura 55.- Isovalores de STD en ppm del Valle de Guaymas en 1986

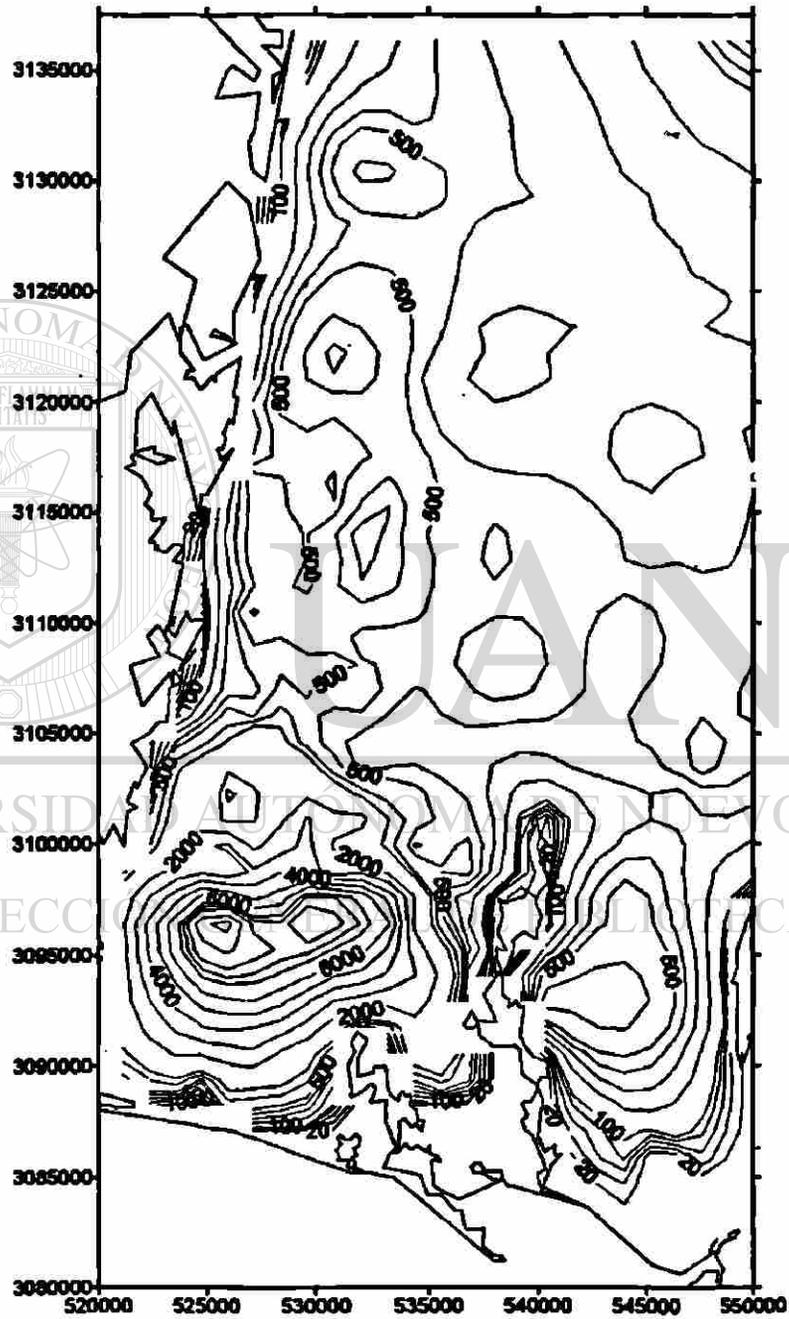


Figura 56.- Isovalores de STD en ppm del Valle de Guaymas en 1996

## 8.2. 4 Bicarbonato

### BICARBONATOS 1975

Se observan valores que van de 20 a 180 ppm y siguiendo un contorno que va desde los límites de la Sierra de Bacatete, hacia la playa, bordeando la Sierra San Francisquito, de ahí pasan a la playa y suben bordeando la Sierra de Santa Ursula, siguiendo un antiguo cause de río que ahí se encontraba; en el centro del valle, se observa una línea de 180 ppm que recorre de norte a sur el valle, al este de esta línea se ven valores de 180 ppm y 140 ppm; en cambio, al oeste de la línea, se ven valores de 220 y 240 ppm (ver figura 57).

### BICARBONATOS 1986

En este año el Valle de Guaymas se ve claramente limitado con una franja de líneas con valores que van de 20 a 180 ppm, estas siguen el mismo contorno que en 1975 con la diferencia que en 1986 se cierran completamente en el noreste del valle, dejando un centro con valores de 200 y 220 ppm (ver figura 58).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### BICARBONATOS 1996

Este año se parece más a 1975 que a 1986, en lo que respecta al contorno que siguen las líneas, el valle ya no se ve totalmente cerrado, como en 1986, siguiendo la misma ubicación de limitar la Sierra de Bacatete y seguir a la playa, limitar la Sierra de San Francisquito, ir a la playa, y limitar la Sierra de Santa Ursula siguiendo el antiguo cause del río, en cuanto a los valores se observa el aumento especialmente en el norte del valle, donde se ven valores de 180 ppm diferenciados de los 120 que se registraban en 1975 (ver figura 59).

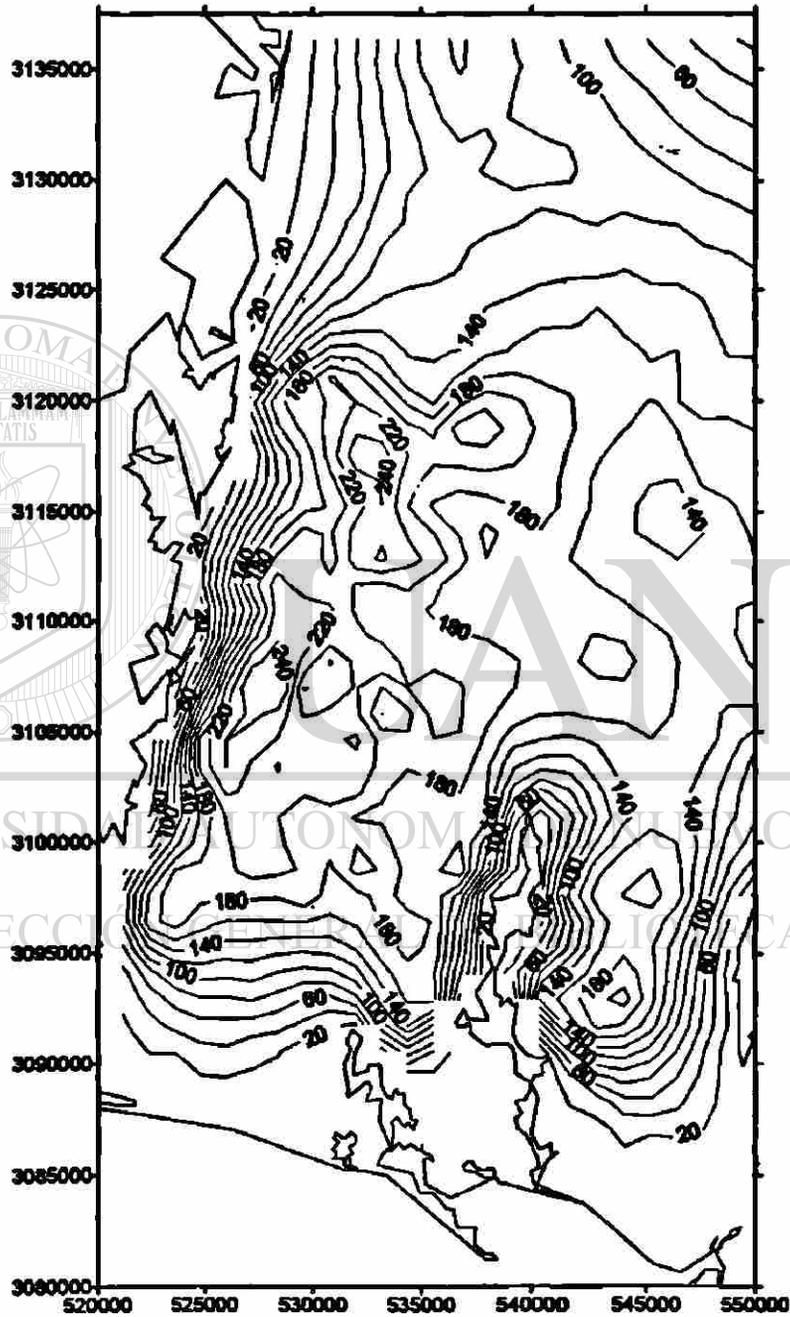


Figura 57.- Isovalores de Bicarbonatos en ppm del Valle de Guaymas en 1975

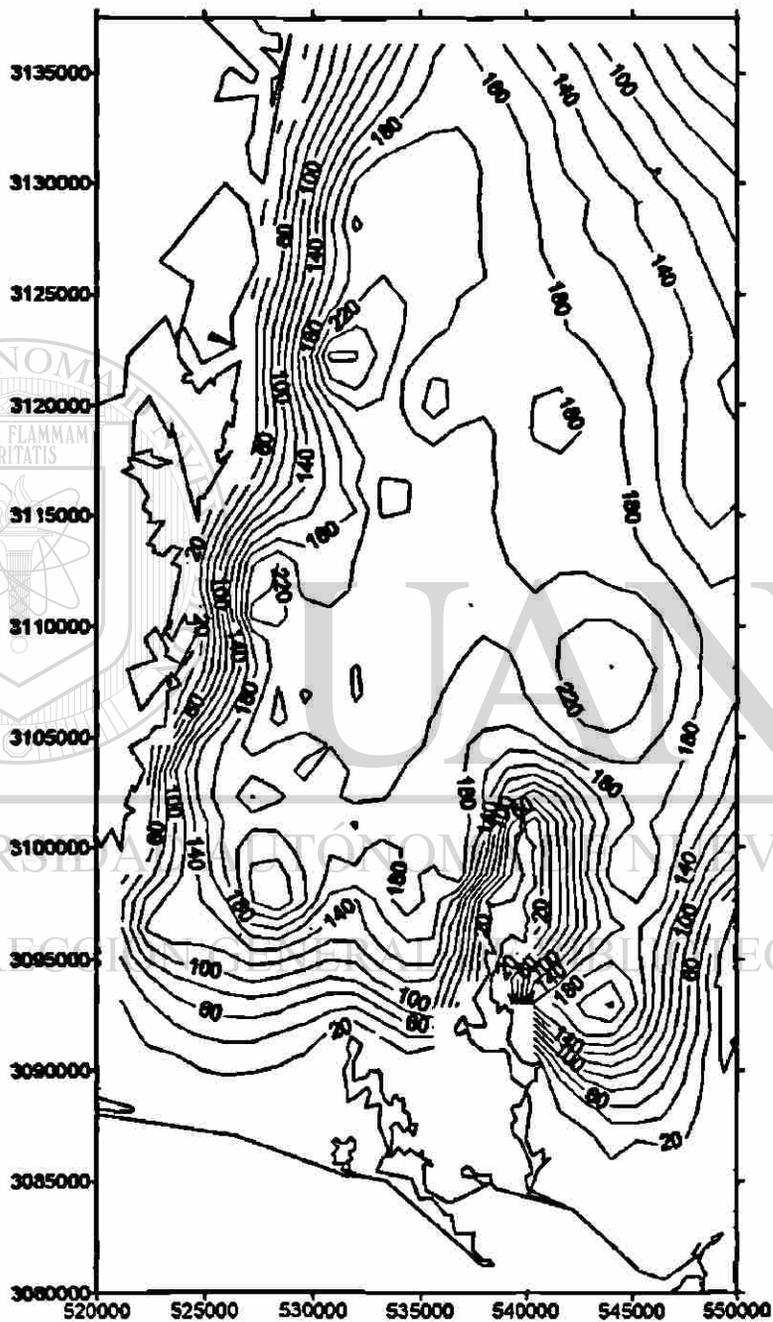


Figura 58.- Isovalores de Bicarbonatos en ppm del Valle de Guaymas en 1986

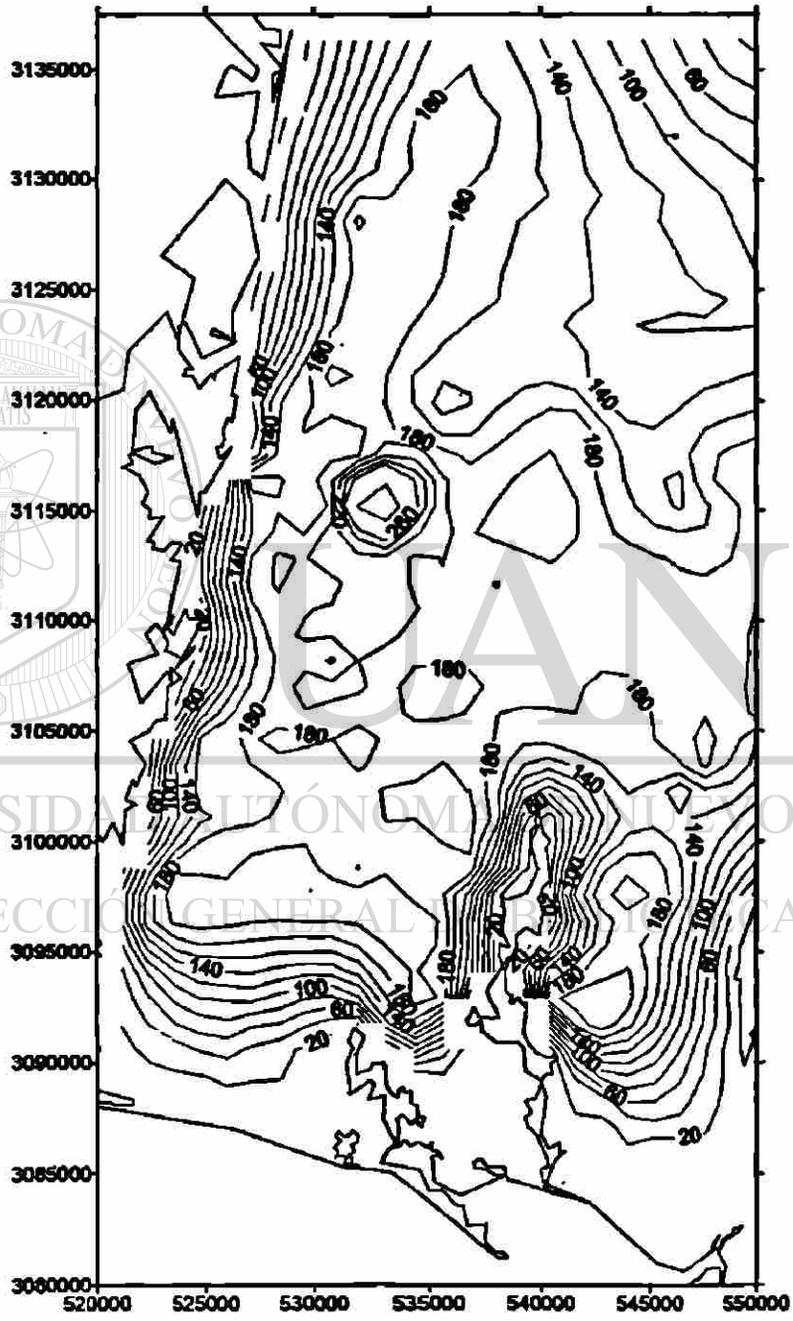


Figura 59.- Isovalores de Bicarbonatos en ppm del Valle de Guaymas en 1996

## 8.2.5 Sulfato

### SULFATOS 1975

Se aprecian en el sureste del valle, los valores más altos de concentración, siendo mayores que 300 ppm, en cambio, al suroeste del valle, los máximos que registró fueron superiores a 100 ppm, que también se ven en el centro y centro-este del valle, en el norte del valle se ven valores desde 10 hasta 40 y 60 ppm (ver figura 60).

### SULFATOS 1986

Este año, contrario a lo que se registró en 1975 en el área sureste del valle, se registran valores de 10 a mayores que 100 ppm; en cambio, en el suroeste donde en 1975, se registraron valores mayores que 100 ppm, en 1986 se registran mayores que 600, en el norte se aprecian los mismos valores que en 1975, de 10, 40 y 50 ppm; en el centro del valle no se registran valores, a excepción de una zona donde se aprecian los 200 ppm (ver figura 61).

### SULFATOS 1996

A diferencia de 1986 se registran valores en todo el valle, el área del sureste se aprecia más concentrada, en el área del suroeste se registran valores mayores que 900 ppm, en el centro ya se aprecian los 40, 70 y 100 ppm, mismos que se ven en todo el valle, se puede ver que, en general, toda la parte este del valle, desde el norte hasta el sur, registra valores menores que los de la parte oeste, donde llegan a ser mayores de 100 ppm (ver figura 62).

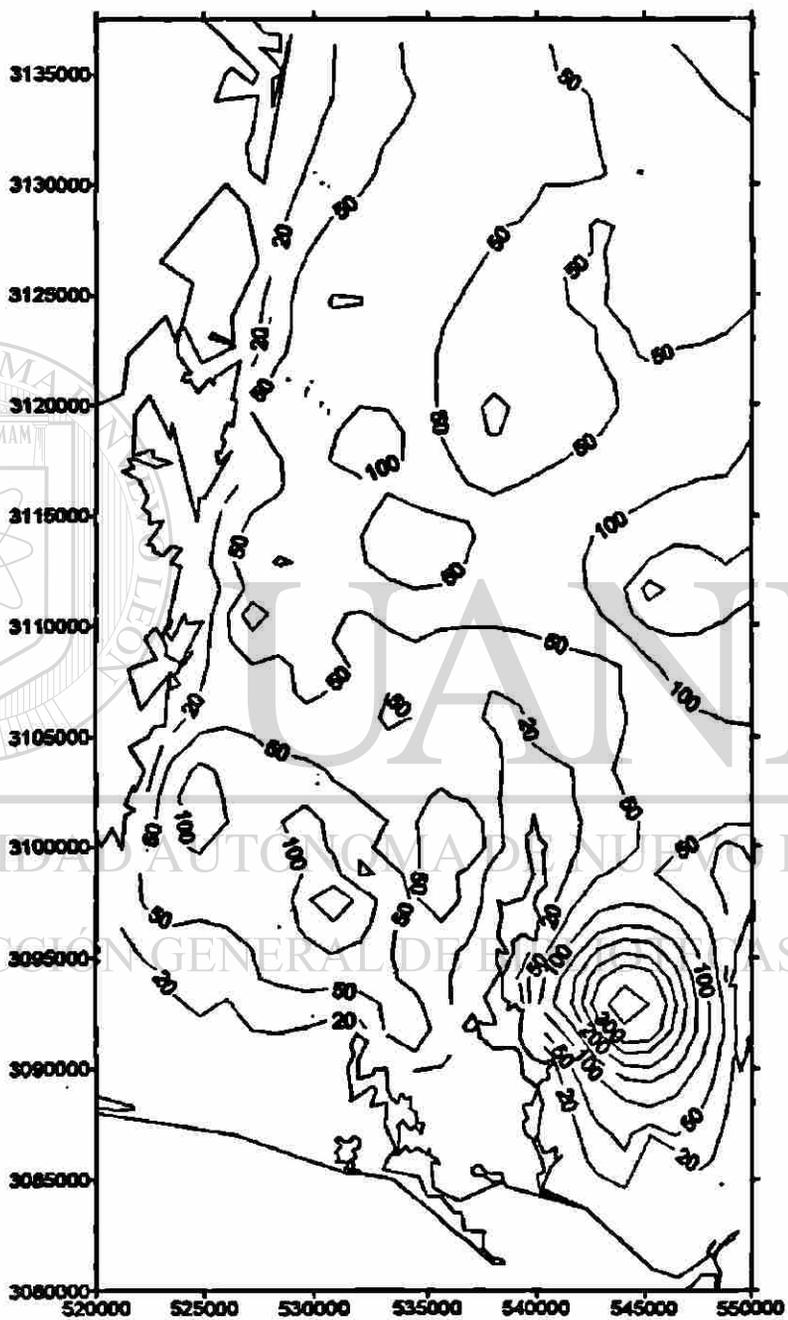


Figura 60.- Isovalores de Sulfatos en ppm del Valle de Guaymas en 1975

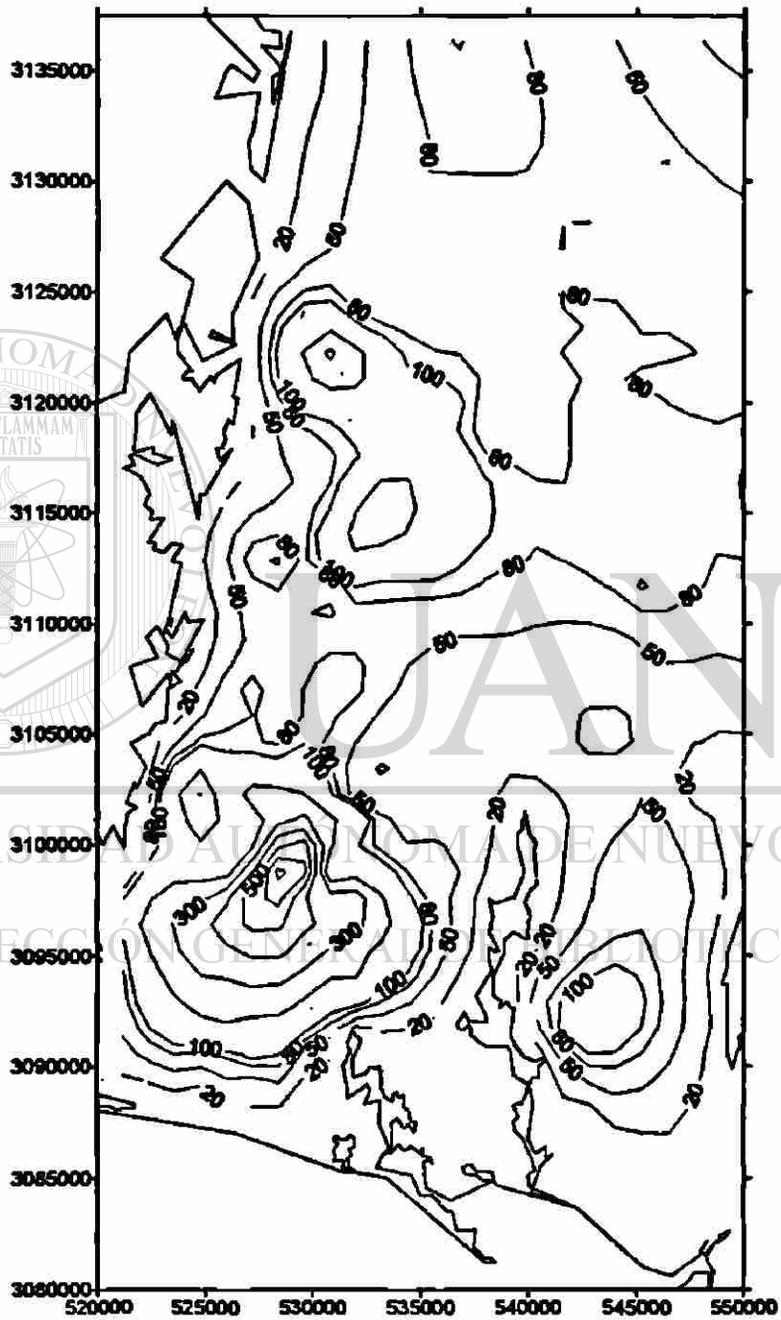


Figura 61.- Isovalores de Sulfatos en ppm del Valle de Guaymas en 1986

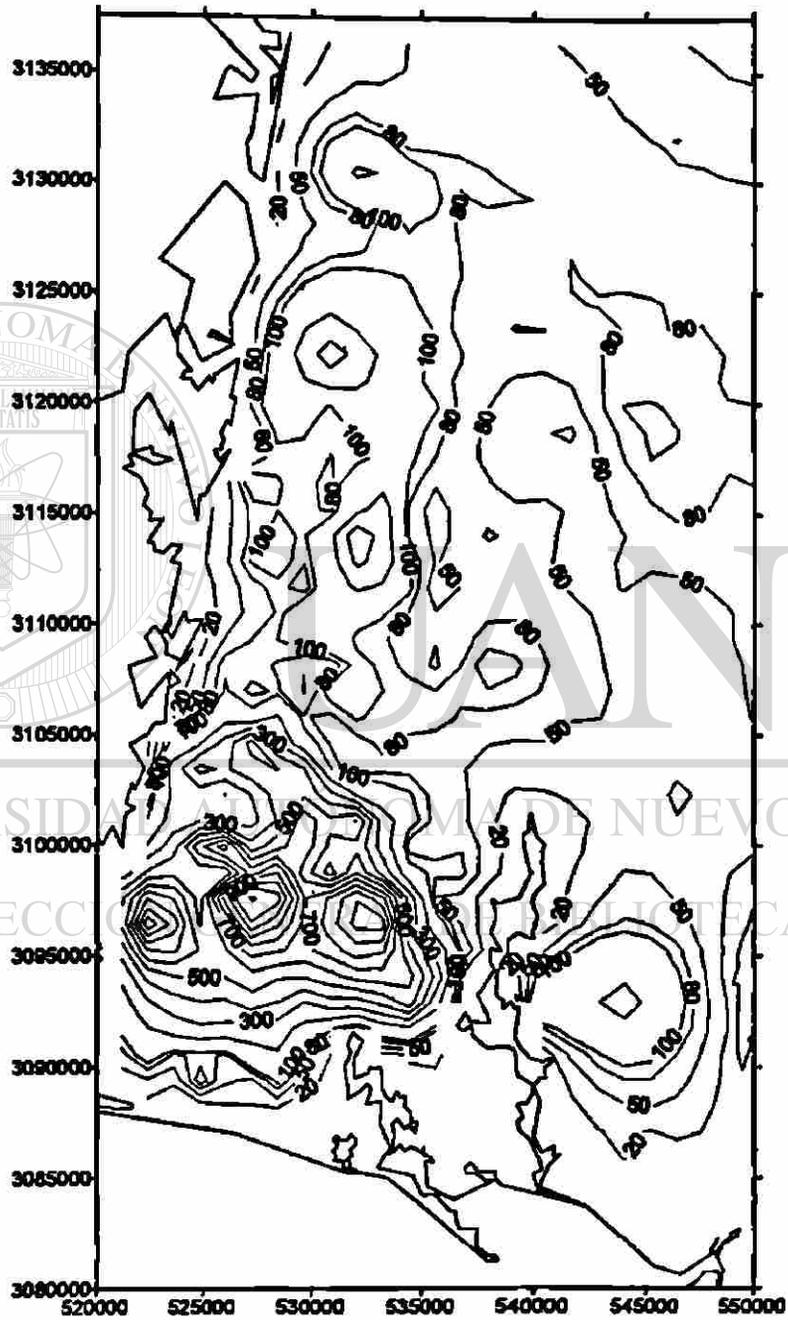


Figura 62.- Isovalores de Sulfatos en ppm del Valle de Guaymas en 1996

## 8.2.6 Sodio

### SODIO 1975

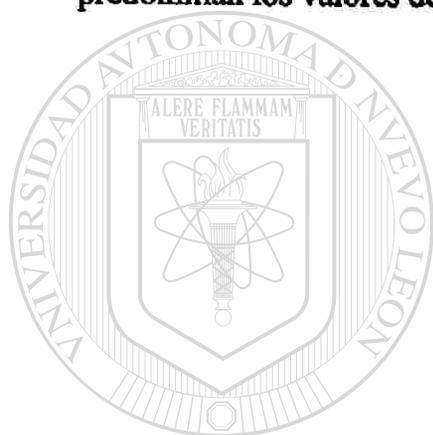
En este año, en el Valle de Guaymas, se observan 5 zonas de alta concentración de sodio, dos al sur del valle, dos al centro y una al norte; la zona del sureste registra valores mayores que 180 ppm y menores que 20 y 60 ppm, mismas que se extienden hacia la zona del suroeste y al centro del valle, pasando de ahí hacia la zona del norte; la zona del suroeste reporta valores mayores que 180 ppm y 20 ppm como menores, en la zona del centro-oeste los valores son mayores que 60, en la zona del centro este son mayores que 100 ppm, en la zona del norte, que es la mas extendida, se tienen valores mayores que 220 ppm y 20 como menores, en todo el valle la línea que predomina es la de 60 ppm (ver figura 63).

### SODIO 1986

En este año prevalecen las dos zonas de alta concentración que se encontraban en el sur del valle en 1975, las dos se ven extendidas en su tamaño en 1986, aunque la del sureste se ve con niveles mayores que 100 ppm cuando en 1975 la misma presentaba niveles mayores que 180 ppm, en cambio la zona del suroeste cambia de tener valores mayores que 180 ppm en 1975, a tener mayores que 400 en 1986, las zonas que se encontraban en 1975 en el centro del valle no se observan en 1986, así como la que se encontraba en el norte; en cambio, en 1986 aparece en el centro-este una zona con valores de 200 ppm y que se ve claramente limitada con la Sierra de Bacatete, en todo el valle predominan los valores de 60 y 100 ppm (ver figura 64).

## SODIO 1996

En este año siguen apareciendo las dos zonas de alta concentración en el sur del valle, la del sureste se ve mas extendida que en 1975, aunque en sus valores no se observan aumento ni disminución; en cambio la del suroeste, aumenta de tener valores mayores que 400 ppm, en 1986, a tener valores mayores que 900 en 1996; la zona del centro-este que se encontraba en 1986, desaparece en 1996. Del centro al norte del valle predominan los valores de 60 y 100 ppm (ver figura 65).



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

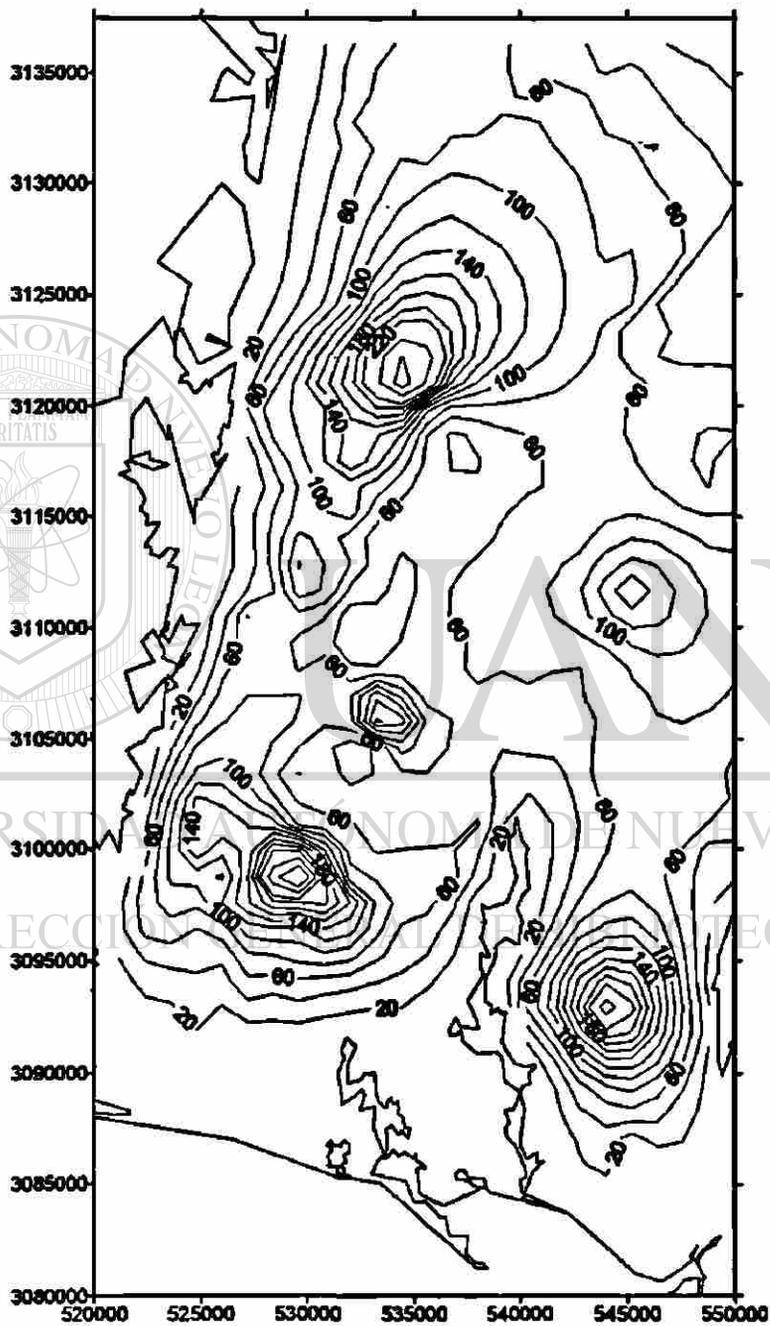


Figura 63.- Isovalores de Na en ppm del Valle de Guaymas en 1975

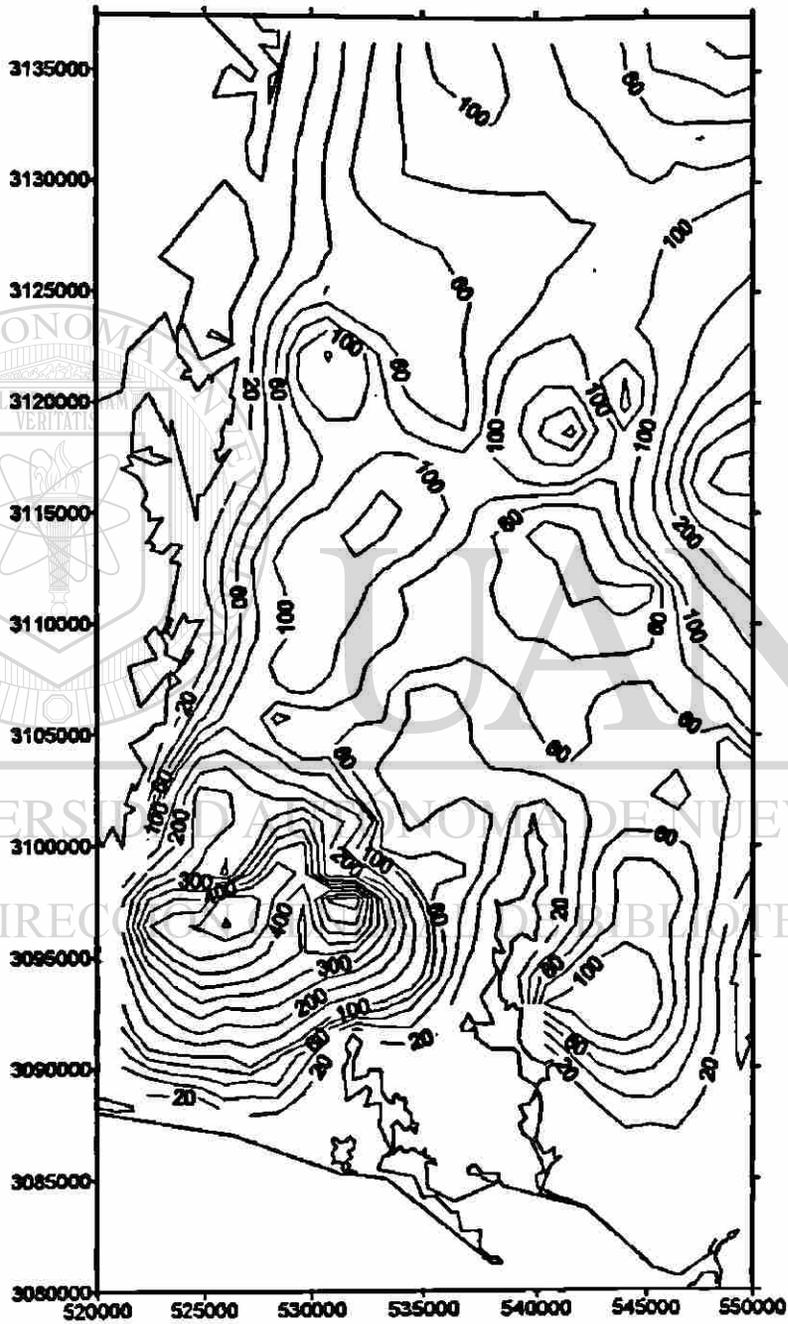


Figura 64.- Isovalores de Na en ppm del Valle de Guaymas en 1986

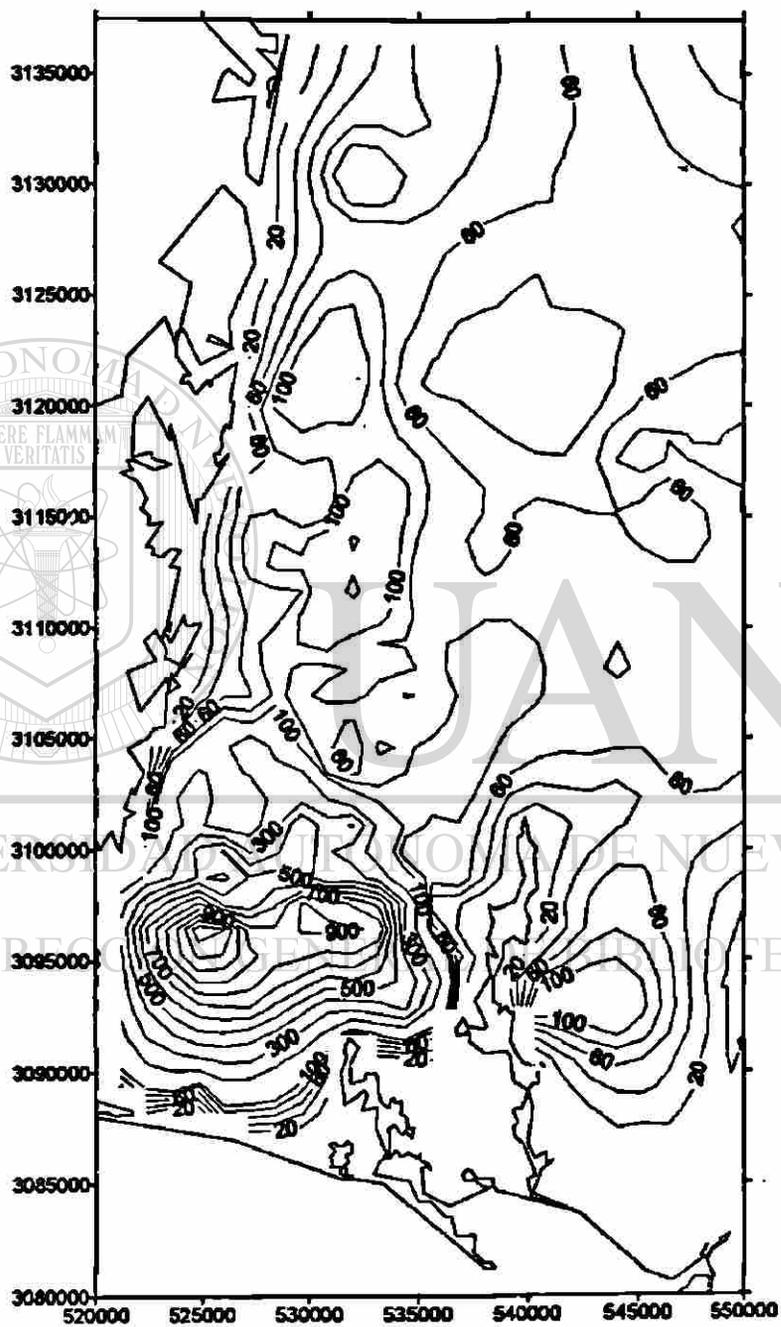


Figura 65.- Isovalores de Na en ppm del Valle de Guaymas en 1996

## 8.2.7 Cloro

En el apéndice se pueden ver los niveles de concentración de Cloro, desde el año 1975 hasta el año 1996; exceptuando el año 1993, los intervalos de valores son los mismos en todos los años, para apreciar el cambio en cada uno de los pozos, se aclara que los pozos que en un determinado año no presentan datos, no aparecen en el mapa ese año, esto se debe a que es muy difícil que una determinada dependencia o centro de estudio cuente con toda la información completa en todos los años.

### CLORUROS, DE 1975 A 1978

De 1975 a 1981, se aprecian algunos cambios; sobre todo de la parte centro hacia el este del valle, se puede ver que en la parte sureste del valle, en 1975, se registran valores mayores que 100 ppm, mientras que en la misma área, en 1981, ya son mayores que 800 ppm; en cambio, en el centro-este del valle, en 1975, (ver figura 66), se ve una

---

zona con valores mayores que 400 ppm, que en 1981 prácticamente desaparece.

En el norte, en 1975, se ven valores de 40 ppm, donde en 1981 son de 80 ppm; en la parte oeste del valle no se aprecian muchos cambios, de 1975 a 1981. Se registran valores de 40, 80, 100 ppm en ambos años, a excepción del suroeste, que registra valores que 800 ppm.

### CLORUROS DE 1981 A 1986

De 1975 a 1986, se aprecian cambios más en el sur y este del valle, en el este del valle, a la altura central, se registran isovalores de 80 a 300 ppm en 1981, en donde en 1986 alcanzan los 600 ppm, en el sureste del valle en 1981 se ven valores mayores que los 800 ppm en la misma zona que en 1986 (ver figura 67), registra valores mayores de 100,

aunque puede alcanzar los 500 ppm. En lo que respecta al suroeste, del año 1981 se ven valores mayores que 800 ppm y en 1986 mayores que los 1600 ppm. En el resto del valle se aprecia que se alcanza con mayor frecuencia el valor de los 100 ppm, en 1986.

#### CLORUROS DE 1986 A 1991

De 1986 a 1991 se ve un cambio en lo que respecta a toda la parte este del valle; en 1986, en el noreste, se registran 60 y 100 ppm; en 1991 se registran sólo 20 y 40 ppm; en el centro-este del valle, en 1986 se registran valores mayores que 400 ppm que en 1991 desaparecen completamente, en lo que es el sureste del valle, también se ve afectado de manera similar, en 1986 se registran valores mayores que 100 ppm en el área que en 1991 son mayores de 60 y 80 ppm, en cambio el suroeste del valle registra en 1986 valores de 1600 ppm que aumentan en 1991 hasta 6000 ppm y más, el resto del valle prácticamente se conserva igual de 1986 a 1991.

---

#### CLORUROS DE 1991 A 1996

De 1991 a 1996 se aprecia un gran cambio en el área suroeste, donde en 1991 se registran 600 ppm en 1996 (ver figura 68), solo se ven valores mayores a los 3500 ppm, en el suroeste en cambio en 1991 se registran valores de 60 ppm que en 1996 aumentan a 100 ppm; en el centro este del valle, en 1996, ya se registraron los 60 y 100 ppm, también en el centro, pero hacia el oeste predominan los 100 ppm

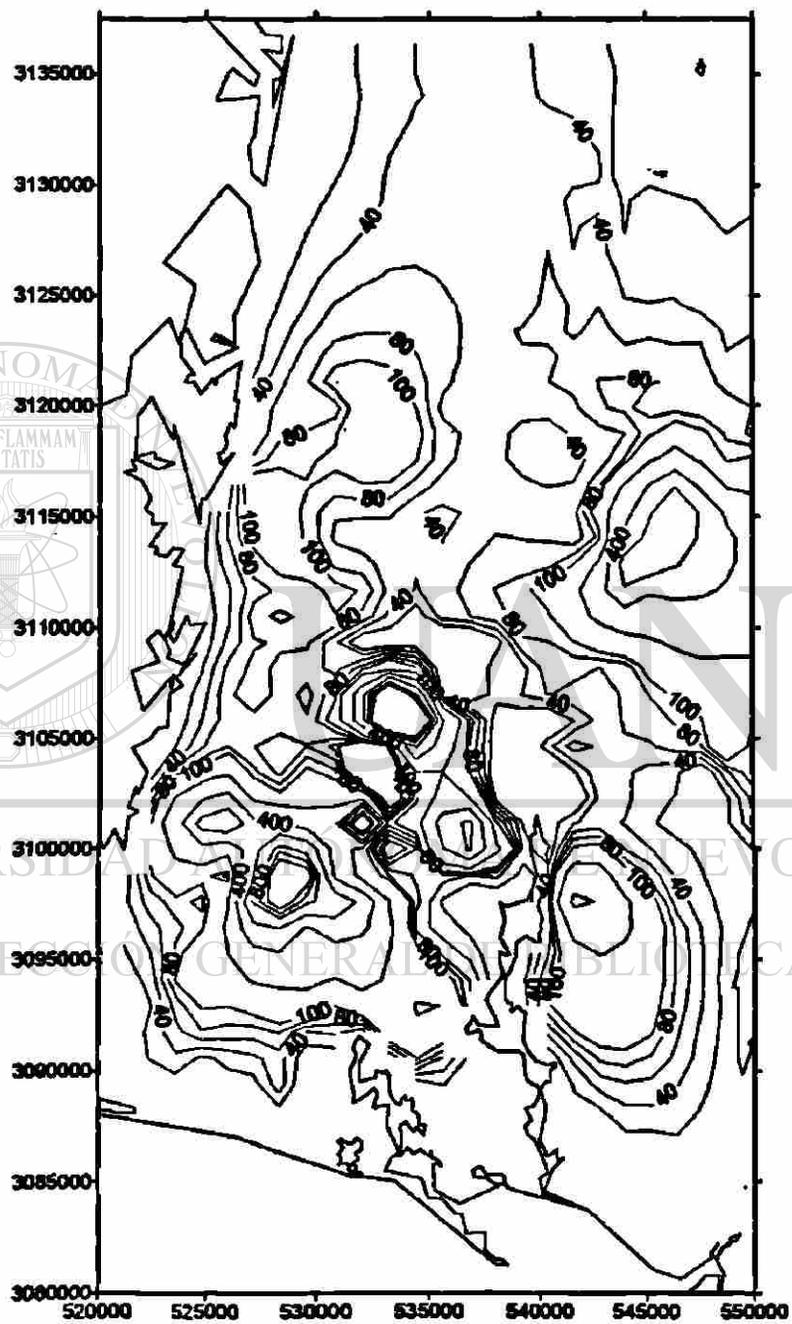


Figura 66.- Isovalores de Cl en ppm del Valle de Guaymas en 1975

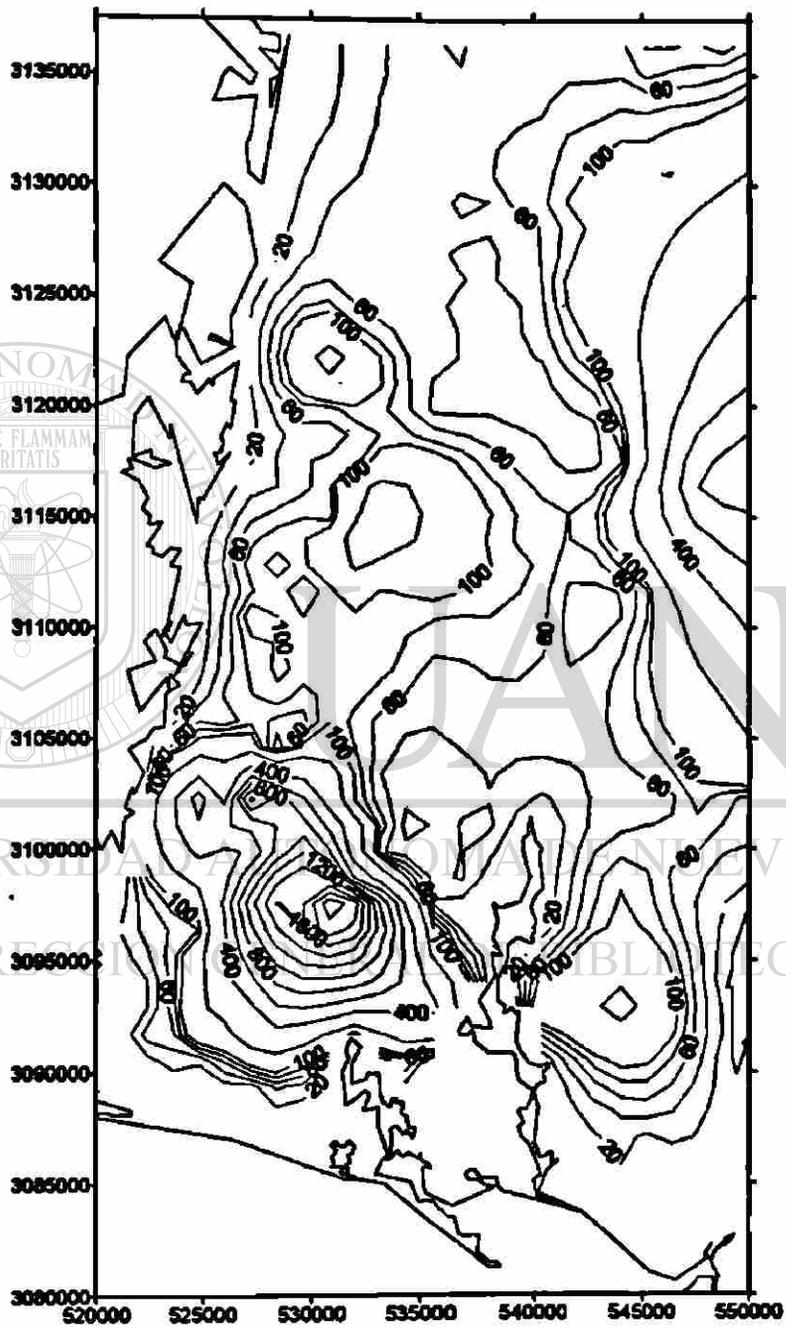


Figura 67.- Isovalores de Cl en ppm del Valle de Guaymas en 1986

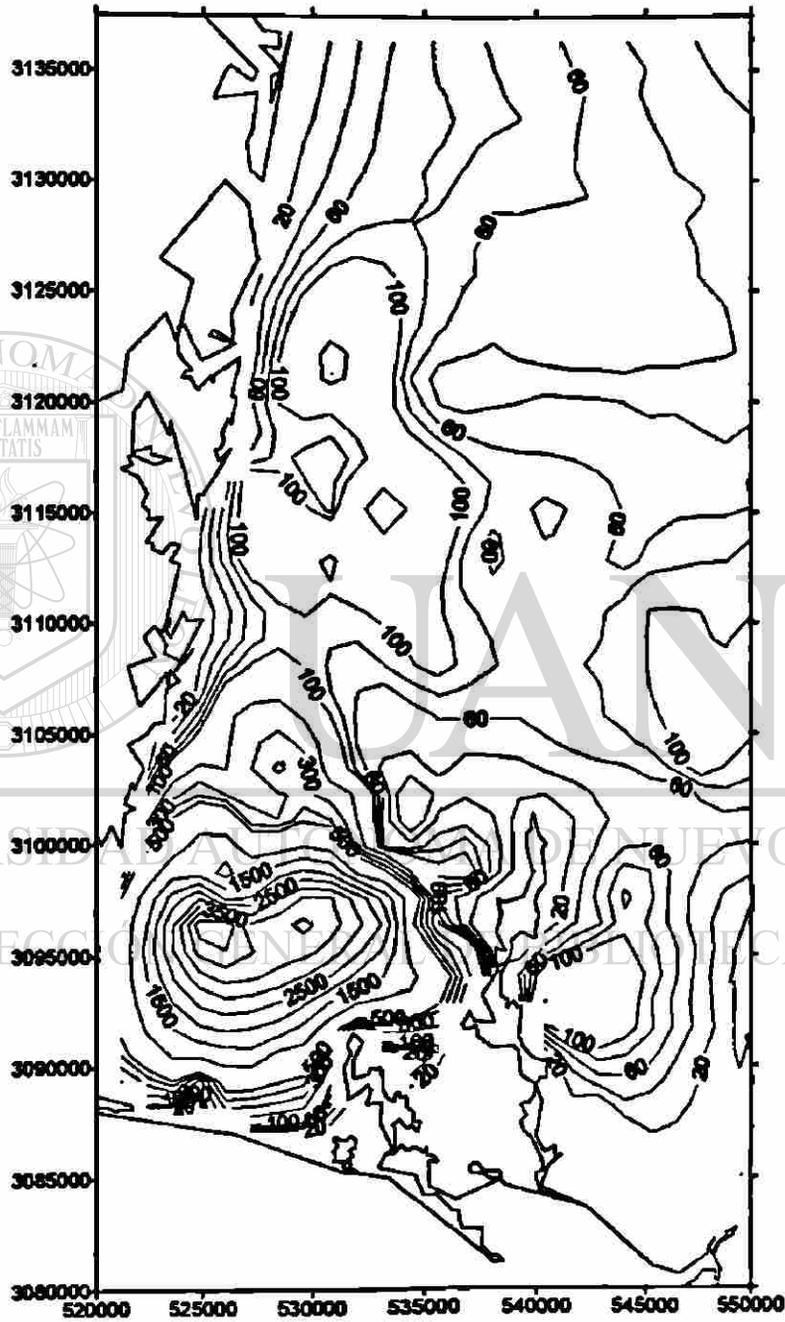


Figura 68.- Isovalores de Cl en ppm del Valle de Guaymas en 1996

### **8.3 Contaminación del agua subterránea**

No es fácil establecer valores concretos para las sales que pueden aportar los diferentes tipos de rocas; no sólo porque existen importantes diferencias de composición y alterabilidad de minerales dentro de cada uno de ellos, sino también porque las condiciones climáticas, la composición del agua de recarga, el tiempo de contacto, la longitud de recorrido, el grado de aereación-permeabilidad, etc. influyen de forma importante y a veces dominante. No obstante, pueden establecerse criterios generales.

- a) En las rocas ígneas, las aguas relacionadas con los granitos son en general poco salinas; el agua relacionada con terrenos basálticos suele ser más salina, dada la más fácil alterabilidad de los minerales constituyentes.
- b) Las rocas metamórficas suponen una degradación entre granito y las sedimentarias, por lo tanto, las aguas constituyentes tendrán características intermedias más próximas a unas o a otras, según el grado de metamorfismo.
- c) Las rocas sedimentarias, al ser normalmente más porosas, son capaces de aportar más sales y más rápidamente que las rocas ígneas y metamórficas; por lo menos inicialmente, antes de haber sufrido un proceso de lavado interno.

En general, puede decirse que las aguas de terrenos kársticos son bicarbonatadas cálcicas o cálcicas magnésicas; las de terrenos yesosos son sulfatadas cálcicas; las de terrenos formados por granitos son bicarbonatadas sódicas y cálcicas; las de terrenos sedimentarios, de origen marino algo arcilloso, son cloruradas sódicas con escaso calcio y magnesio; las de terrenos sedimentario, de origen continental, algo arcillosos son bicarbonatadas cálcicas (Custodio/Llamas, 1976).

En la tabla VII, que corresponde a un resumen de las figuras 14 a la 29, de los pozos seleccionados en el Valle de Guaymas, (figura 13) se observa, en cuanto a familias de aguas que pasaron de bicarbonatadas calcico-magnésicas a cloruradas calcico-magnésicas; en otros pozos que de ser bicarbonatadas calcico-magnésicas y cloruradas sódicas pasaron a ser bicarbonatadas-sódicas, en cuanto a su tendencia en concentración de cloro, ésta se ve de las figuras 32 a la 47, la mayoría tiende a aumentar su concentración de Cl, aunque también se observa que algunos pozos posiblemente reubicados tienden a disminuir, lo que concuerda con el análisis anterior. En general, se observa que los pozos ubicados hacia la costa son los que presentan más concentración de cloruros, esto por la intrusión del agua del Mar de Cortés hacia el continente. En el estudio de la UNAM-SARH (1985) realizado por Herrera y otros (1985), se detectaron pozos con alta concentración de cloruros, no ubicados en la costa del valle; y por lo tanto, no contaminados por el agua del mar, que además tiende a disminuir muy poco en su concentración de cloruros. Por lo que se piensa que esto se debe a una recarga de agua fría y salobre del Río Mátape, que se encuentra a un costado. Esta zona anómala tiene también pozos con temperaturas de sus aguas muy elevadas, lo que algunos autores como Herrera lo adjudican a una continuación de la Falla de San Andrés y al basamento, lo que da origen a aguas más profundas y, por lo tanto, más calientes, en la tabla VI; se observa que el pozo 48-JMM registró 40.4 °C, este pozo se encuentra dentro de esta zona anómala ( figura 5).

TABLA VI

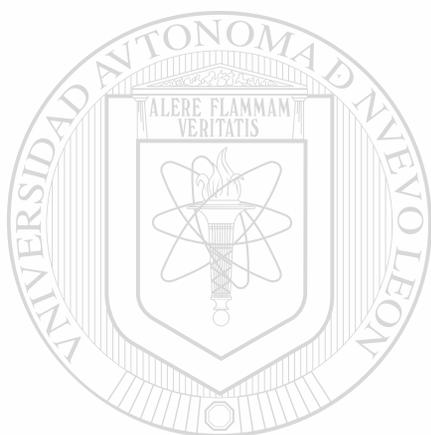
Muestreo de algunos pozos del Valle de Guaymas (1997)

POZO	* °C DEL AGUA	f CE en $\mu$ S	f pH
73	31.2	7700	6.13
72	32.5	4200	6.29
48 JMM	40.4	6840	7.5
51 JMM	32.8	1311	6.91
16 SM	33.2	1120	6.98
52 SM	33.5	610	7.2
El Trunfo Sta. Rosa	33.5	660	7.71
150	34.2	580	7.59
139	27.4	570	7.95
Sta Maria	37.3	805	7.8
113	37.1	640	7.99
Ejido Graciano Sanchez	35	700	8.12
122	33.8	760	7.88
Gpe el Cautivo 108	18.7	1150	7.6
108	32.6	760	7.92
107	34.9	850	7.95
2 SM	35.8	830	8.12
105 SM		840	7.91
46 SM	35.2	630	8.02
29 SM	35.4	560	8.06
50 JMM	31.8	1220	7.6
12	34.4	580	7.7
129	32	540	7.81
Rancho el Papalote	22.7	900	7.62
Km 94 Obregón-Hillo.	31.3	4130	7.38
138	32.3	1060	7.78
135	30.6	1060	7.78
133	33.7	1550	7.65
6	33.3	1060	7.72
132		840	7.92
131	33.2	590	7.92
22	26.1	1110	7.82
23	31.4	950	7.75
3 Km al sur del 23	30.7	1040	7.9
33 CP	32.5	3060	7.57
24	32	1190	7.82
44 SJG	34.5	620	7.93
28	35.4	760	8.02
82	31.7	3460	7.4
86	30.7	1620	7.69
85	32.7	1540	7.59
Ejido Maytorena	31.4	1830	7.92
39 M		1000	8
40	34.4	820	7.96
9	32.3	1080	7.85
12	34.8	720	8.1

76	35.5	1710	7.86
58	32.7	5860	7.36
Ladrillera	23.6	18890	7.38

\* Instrumento de medición: YSI, Incorporated Model 30/25 ft SN:95K38983.

f Instrumento de medición: pH Conductivity Meter Model 1484-44 Cole-Parmer.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TABLA VII

Resumen de la Figura 14 a la 29

Pozo No.	1975			1986			1986			1996			Tendencia		
	c	s	b	c	s	b	c	s	b	c	s	b	1975	1986	1996
138	X			X									C	C	B
135		X		X				X					S	C	S
20			X			X	X						B	B	C
27			X	X			X						B	C	C
83	X			X			X						C	C	C
70			X	X			X						B	C	C
131	X					X							C	B	B
1-CP			X			X							B	B	B
13-SM			X			X							B	B	B
14-SM			X			X							B	B	B
54-SM			X			X							B	B	B
50-JMM			X			X	X						B	B	C
109			X			X							B	B	B
118	X					X			X				C	B	B
121			X			X	X						B	B	C
143			X			X			X				B	B	C
Totales	4	1	11	5	0	11	6	1	9						

Nomenclatura:

C.- Clorurada S.- Sulfatada B.- Bicarbonatada

En cuanto a la clasificación para riego, según Wilcox, de los pozos seleccionados, se tiene que predominan las aguas de salinidad media - poco sódica (C2-S1), aunque también se encuentran las aguas altamente salina - poco sódica (C3-S1), muy altamente salina - sodicidad media (C4-S2), muy altamente salina - sodicidad alta (C4-S3) y altamente salina - sodicidad media (C3-S2)

**TABLA VIII**

**Clasificación del agua para riego según Wilcox.**

<b>Pozo No.</b>	<b>1975</b>	<b>1996</b>
138	C3-S1	C3-S1
135	C3-S1	C3-S1
20	C2-S1	C3-S1
27	C2-S1	C4-S2
83	C3-S1	C4-S3
70	C2-S1	C4-S2
131	C2-S1	C2-S1
1-CP	C2-S1	C2-S1
13-SM	C2-S1	C2-S1
14-SM	C2-S1	C2-S1
54-SM	C2-S1	C3-S1
50-JMM	C2-S1	C3-S1
109	C2-S1	C2-S1
118	C3-S2	C3-S2
121	C3-S1	C3-S1
143	C2-S1	C2-S1

## CAPITULO 9

### DISCUSION DE LOS RESULTADOS:

Todos los estudios que se han realizado en el Valle de Guaymas tienen la principal falta de no tomar las muestras de agua en una misma profundidad; pero se debe tomar en cuenta que esto es también muy difícil, ya que no se tienen los cortes geológicas de los pozos para determinar que tipo de acuífero se está muestreando (superior o inferior) aunado a que los pozos no cuentan con orificios adecuados para introducir muestreadores especiales, por lo que las muestras se toman en las descargas de las tuberías, así mismo el problema de intrusión ha provocado que los mismos usuarios reubiquen los pozos, y esto no se hace siempre a la profundidad del pozo anterior o cuando no hacen la reubicación, se profundiza más el mismo pozo. En cuanto a la variedad de las diferentes familias de aguas, se debe tomar en cuenta que no hay homogeneidad en el acuífero en su parte horizontal ni como aparenta, en su vertical; además de las diferentes zonas de recarga para el acuífero, lo que no se discute es el gran avance del agua del Mar de Cortés hacia el continente, ya que todos los pozos cercanos a la costa son constantemente reubicados por la continua salinización de los mismos. Otro de los impedimentos en los estudios realizados sobre el acuífero del Valle de Guaymas es que aún no se tiene una seguridad de la geometría exacta del acuífero; los diferentes estudios geofísicos realizados han mostrado diferentes presentaciones, aunque se supone que entre más reciente sea el estudio se acercará más a la forma real, por el avance de la tecnología y por la experiencia acumulada en la geofísica.

## CAPITULO 10

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

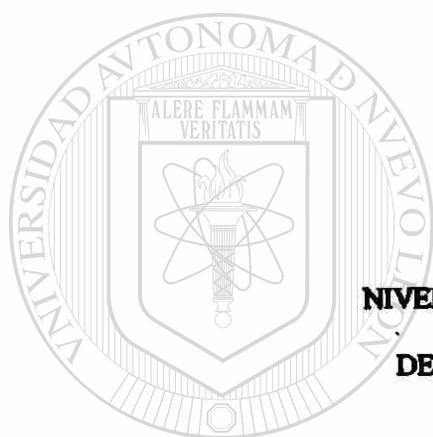
#### CONCLUSIONES:

- En el Valle de Guaymas existe una fuerte contaminación de cloruros observada en la parte costera, originada por la sobreexplotación del área.
  - La sobreexplotación del acuífero causada por extraer mayor agua que la que se recarga ha provocado fuertes abatimientos de los niveles estáticos.
  - Algunos pozos tienen recuperación piezométrica, debido a la intrusión del agua marina al acuífero.
  - Las familias de aguas muestran una diversidad, dependiendo de la zona en que se encuentre el pozo, en general son cloruradas - sulfatadas del centro al sur del valle, y bicarbonatadas en la parte norte.
- 
- El área noreste del valle es la menos contaminada de cloruros, debido a la lejanía de la costa y del cause del Río Mátape.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## RECOMENDACIONES:

- Incentivar diferentes estudios sobre el agua subterránea, tales como: geofísicos, termales, trazadores, etc. en el acuífero del Valle de Guaymas mediante convenios entre el Gobierno y las Universidades.
- Apoyar científica y técnicamente la reubicación de los pozos, para tener mejor control de la información, hacer obligatorio entregar el corte geofísico y geológico de los pozos.
- Realizar estudios de recarga al acuífero, con agua menos salobre, para detener el avance de la interface agua dulce-salada. Esta recarga podría ser con agua desalinizada del mar, como se hace en países como Japón.
- Realizar campañas de información en la comunidad, sobre el más eficiente uso del agua subterránea.
- Una vez conocidos los parámetros de calidad y cantidad del agua subterránea del Valle de Guaymas, se planee adecuadamente su uso, sin extraer mayores volúmenes que los recargados.



**APENDICE**

**NIVEL DE VALORES DE CLORO EN LOS POZOS  
DEL VALLE DE GUAYMAS DE 1975 A 1996**

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



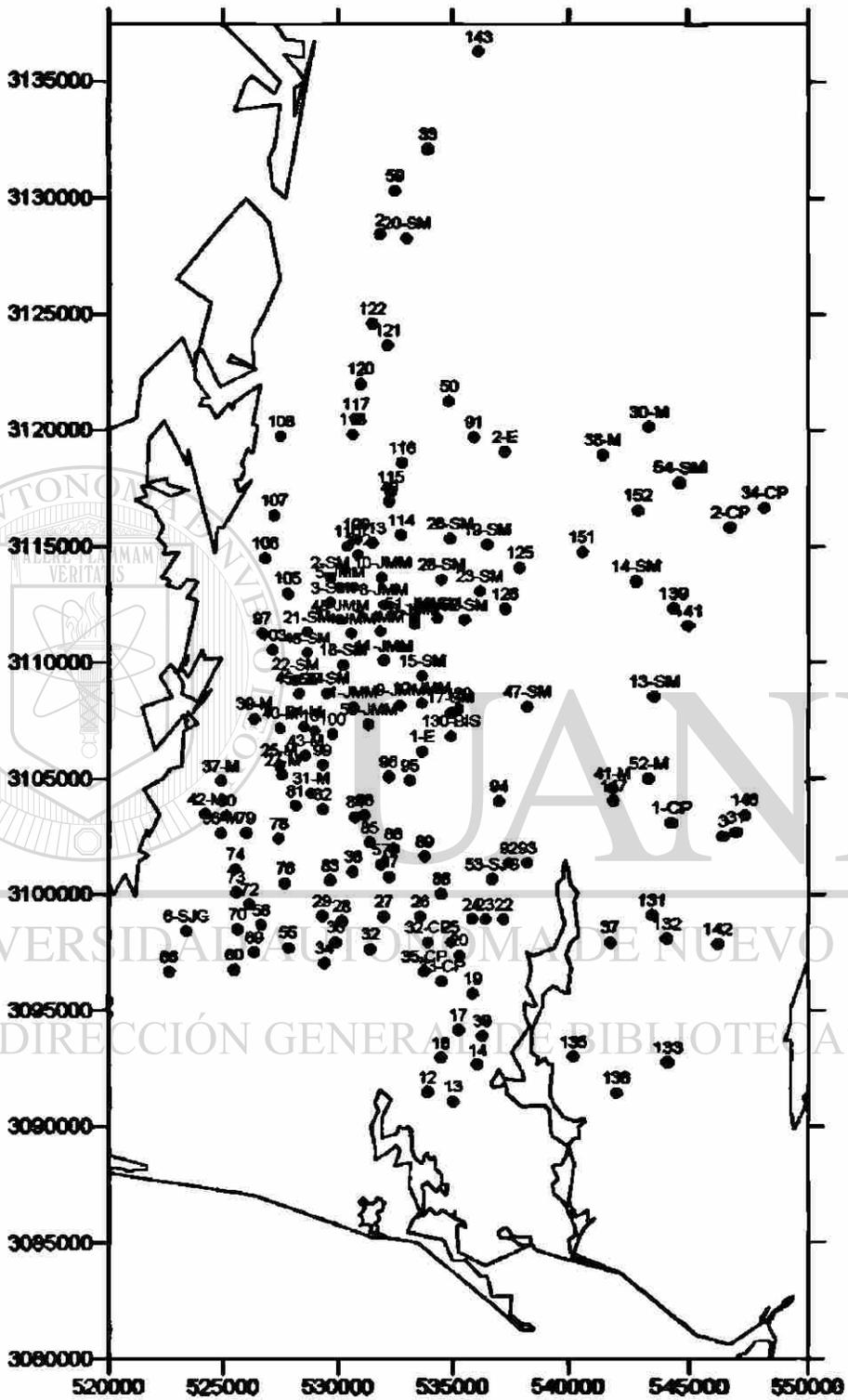


Figura 69.-Ubicación de los pozos en el Valle de Guaymas

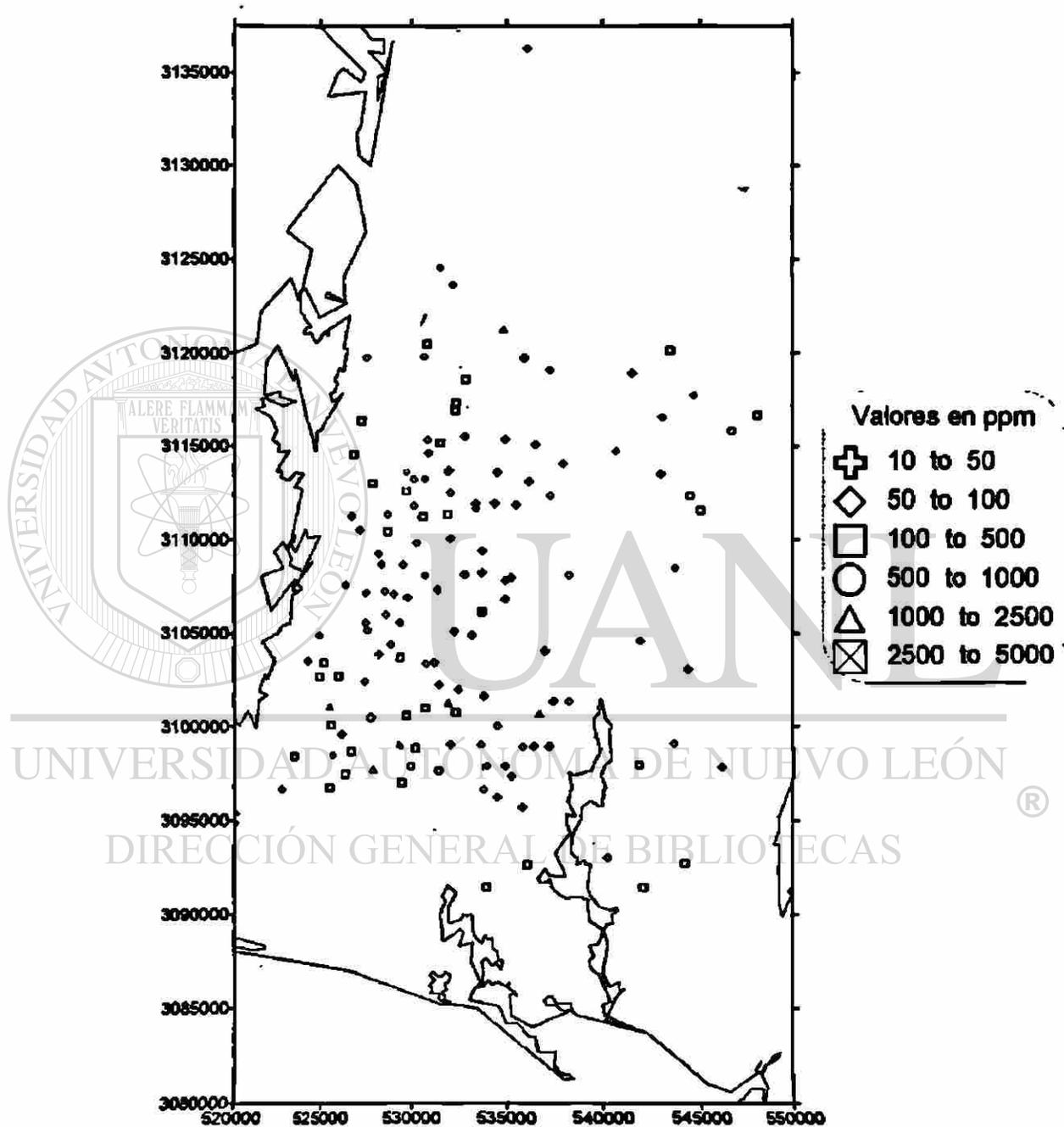


Figura 70.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1975

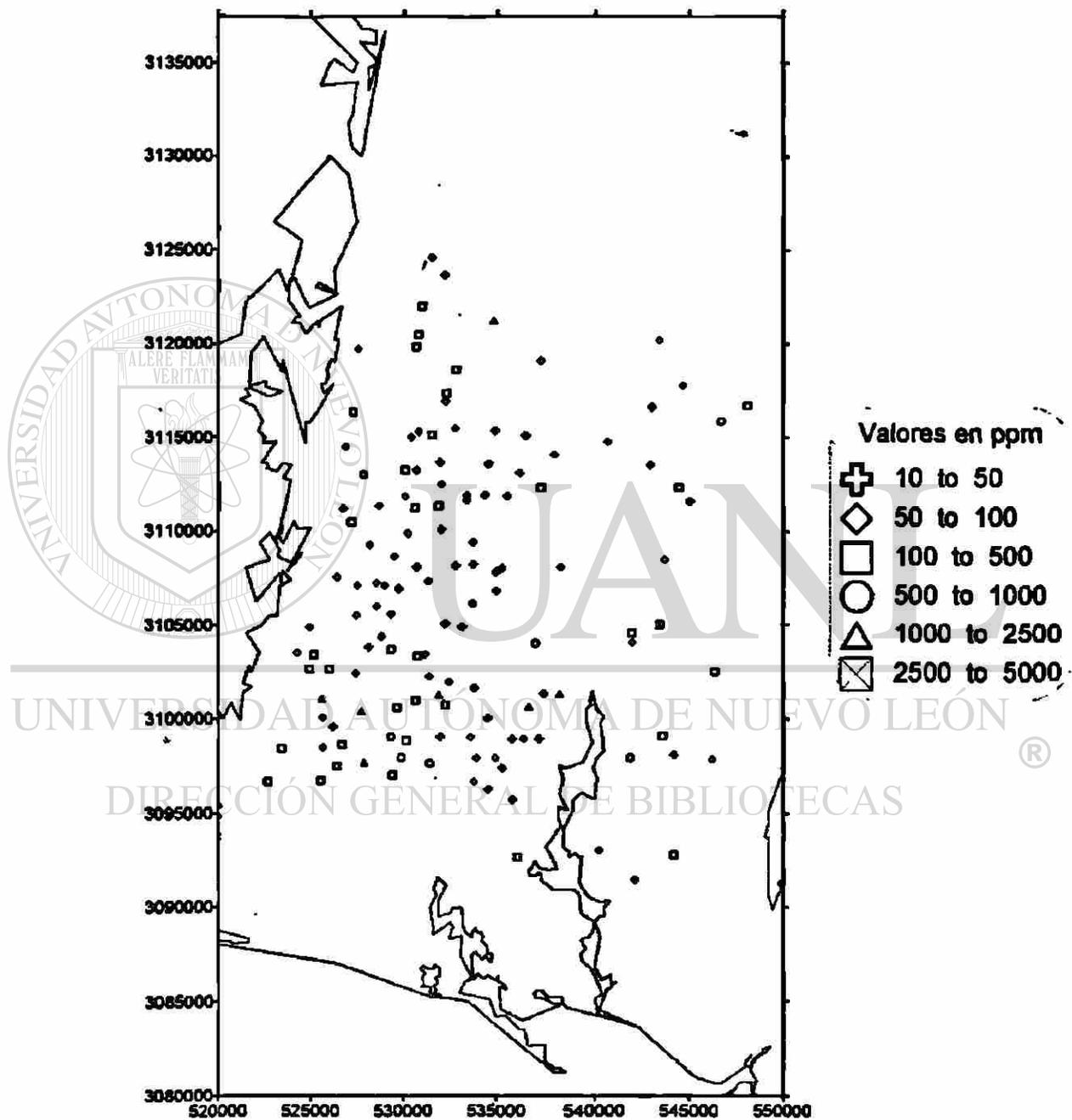


Figura 71.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1976

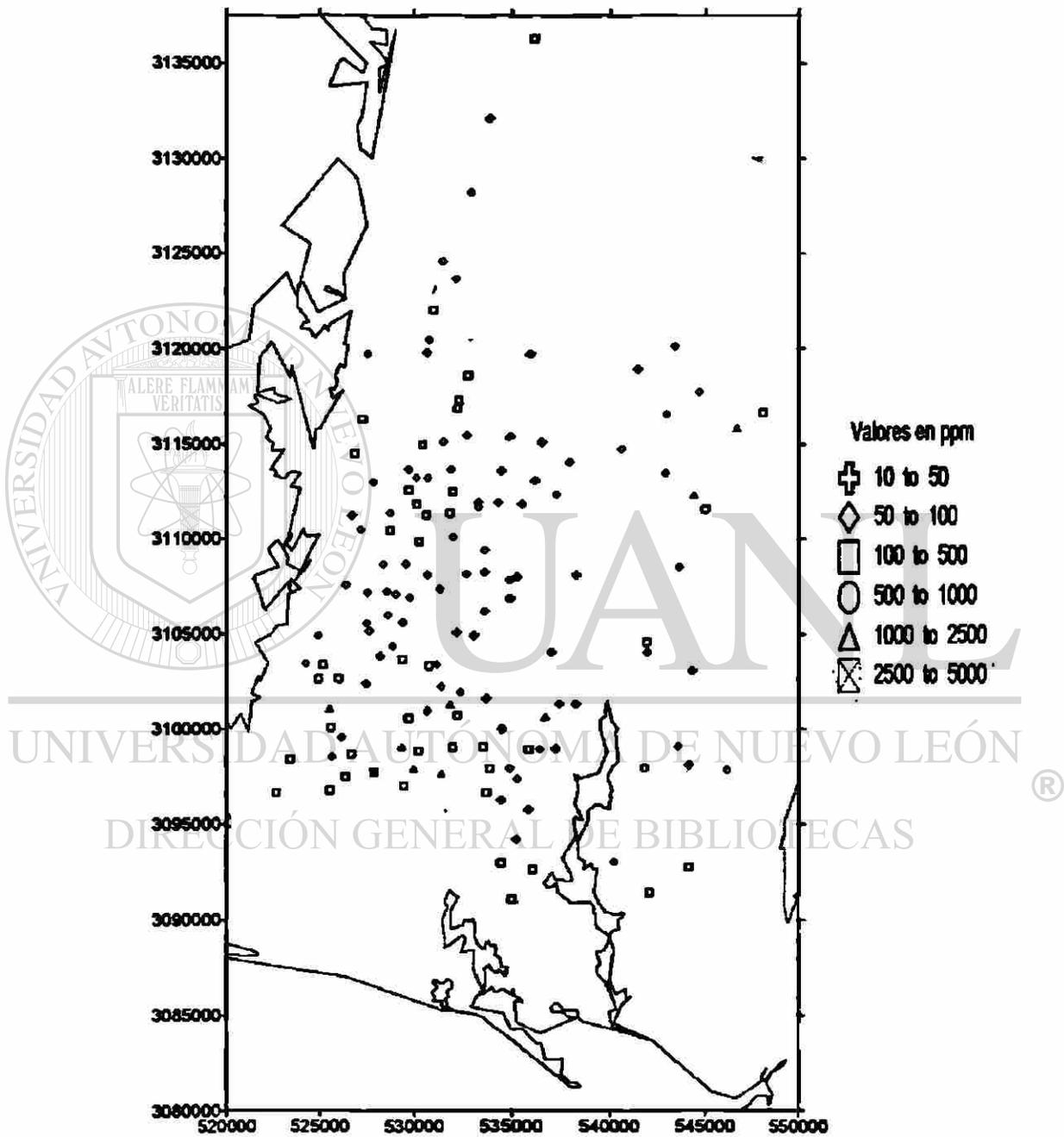


Figura 72.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1977

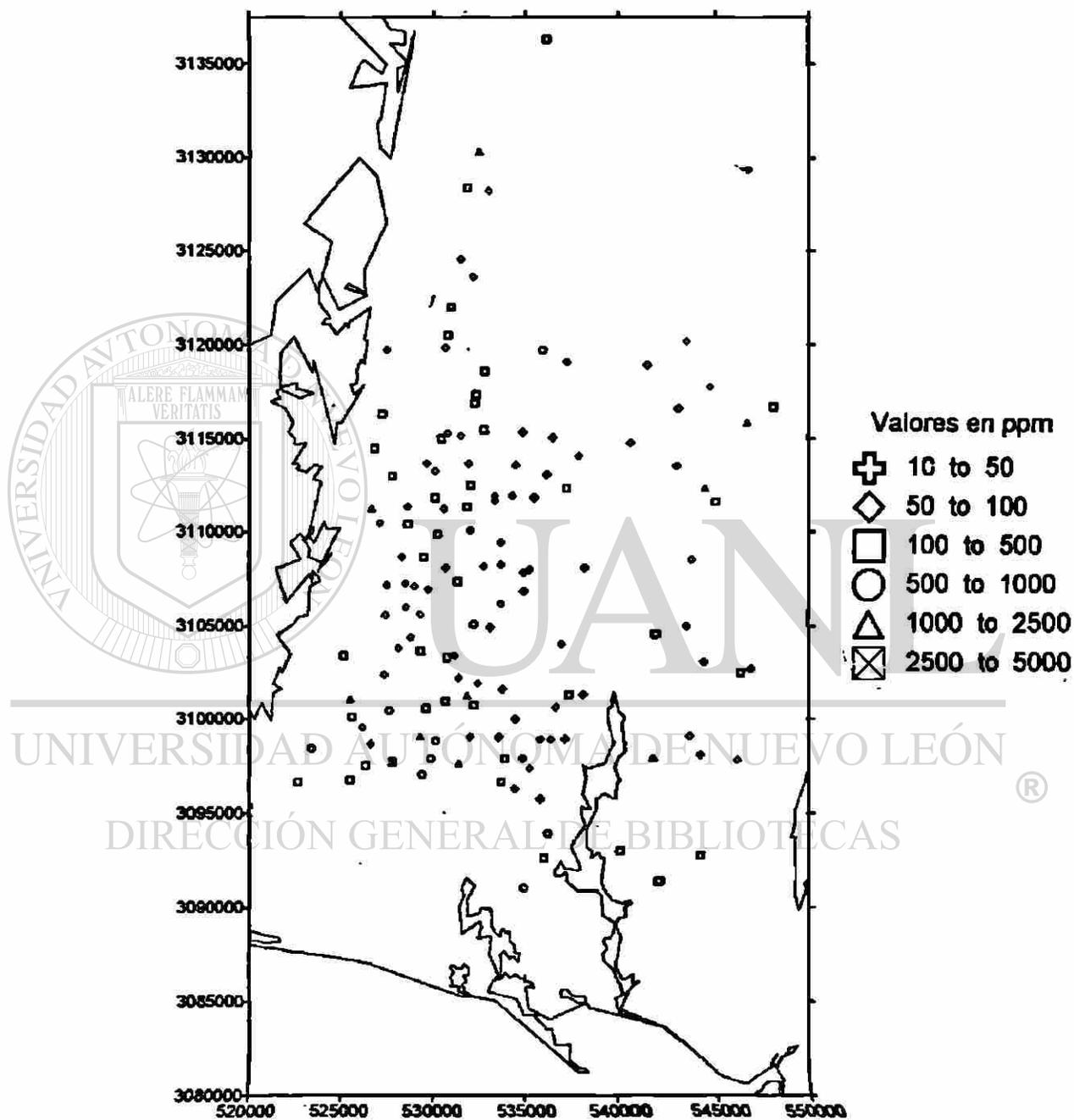


Figura 73.-Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1978

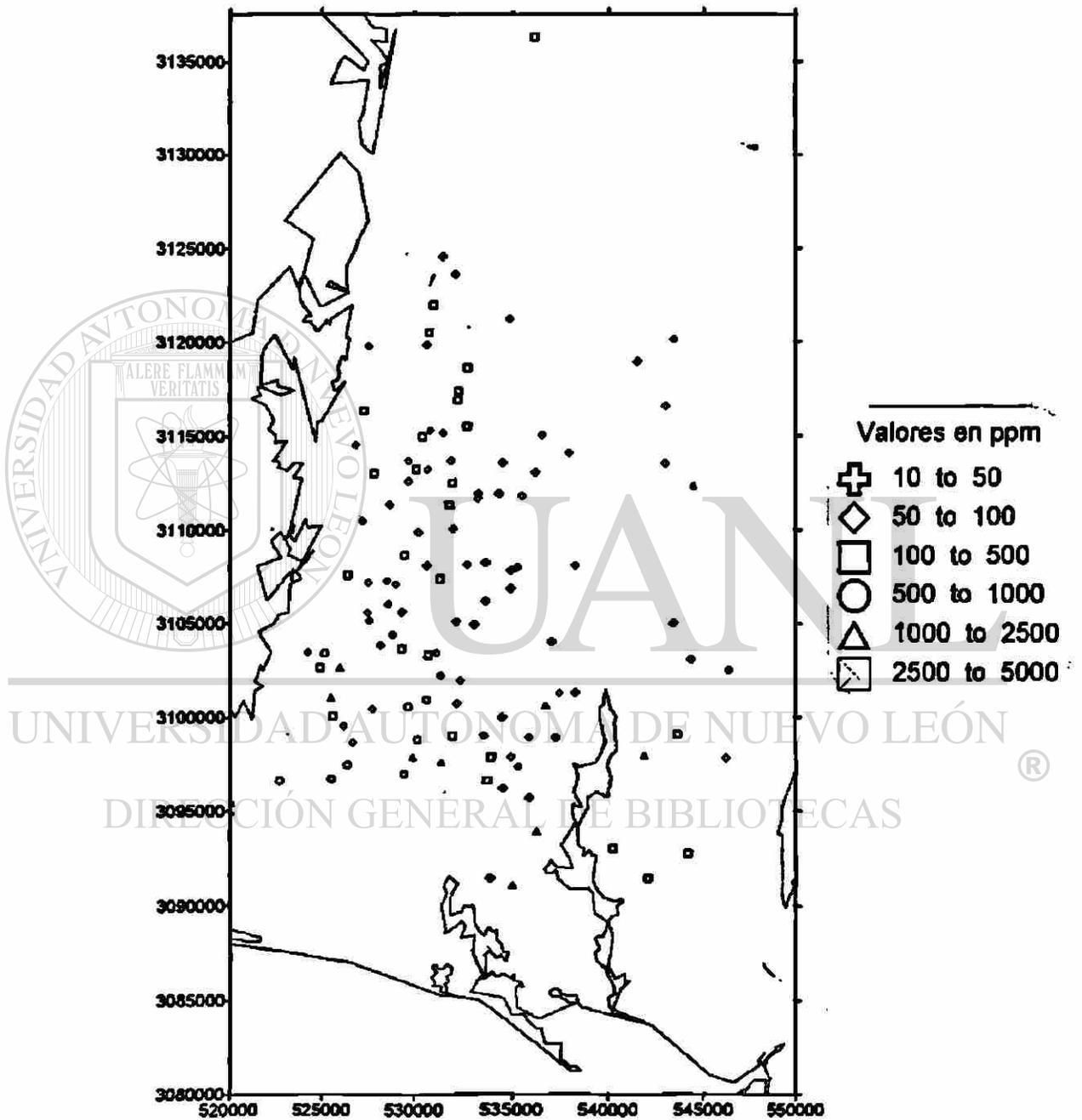


Figura 74.-Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1979

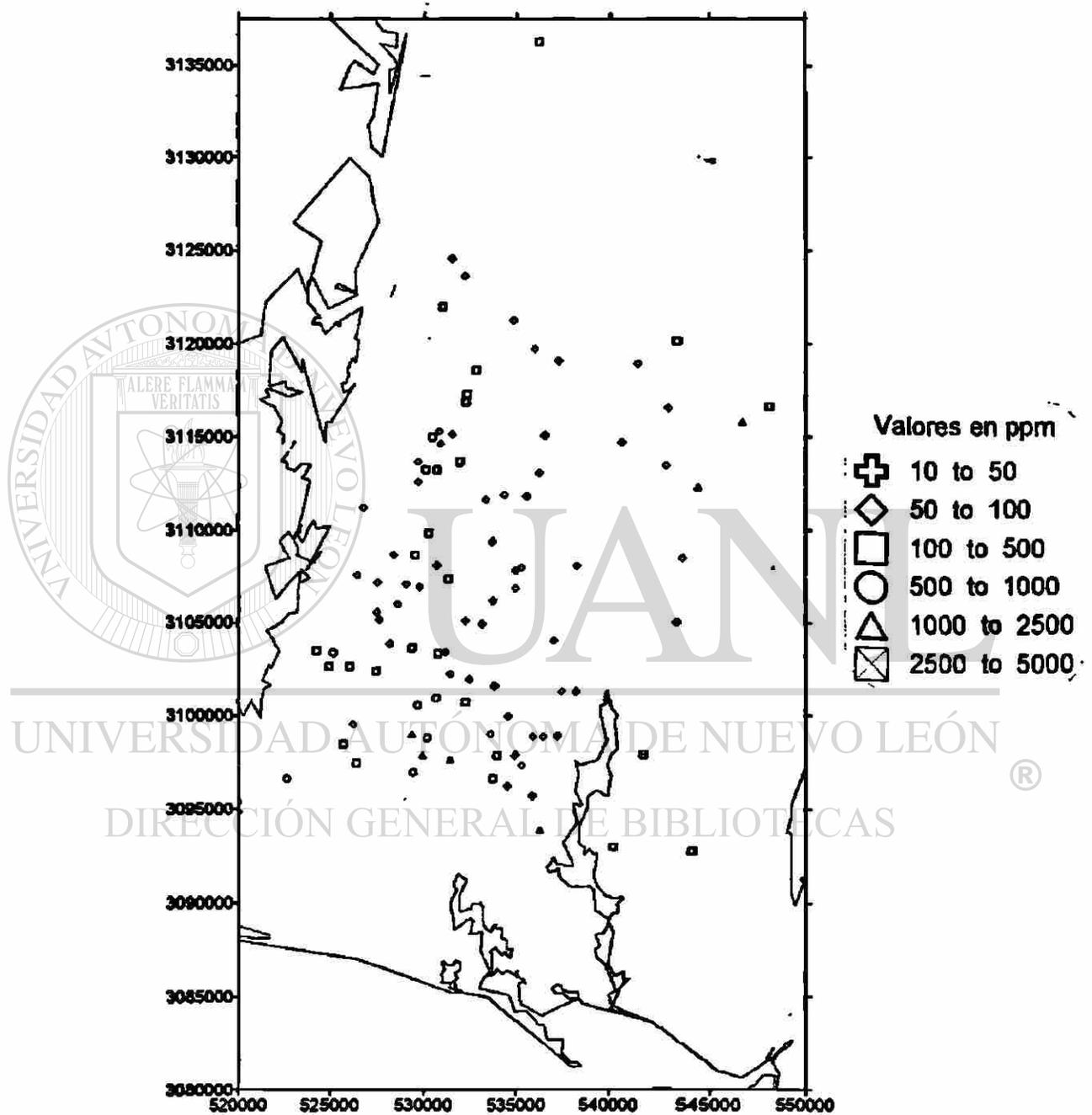


Figura 75.- Niveles de los valores de  $Pb$  en los pozos del Valle de Guaymas en 1980

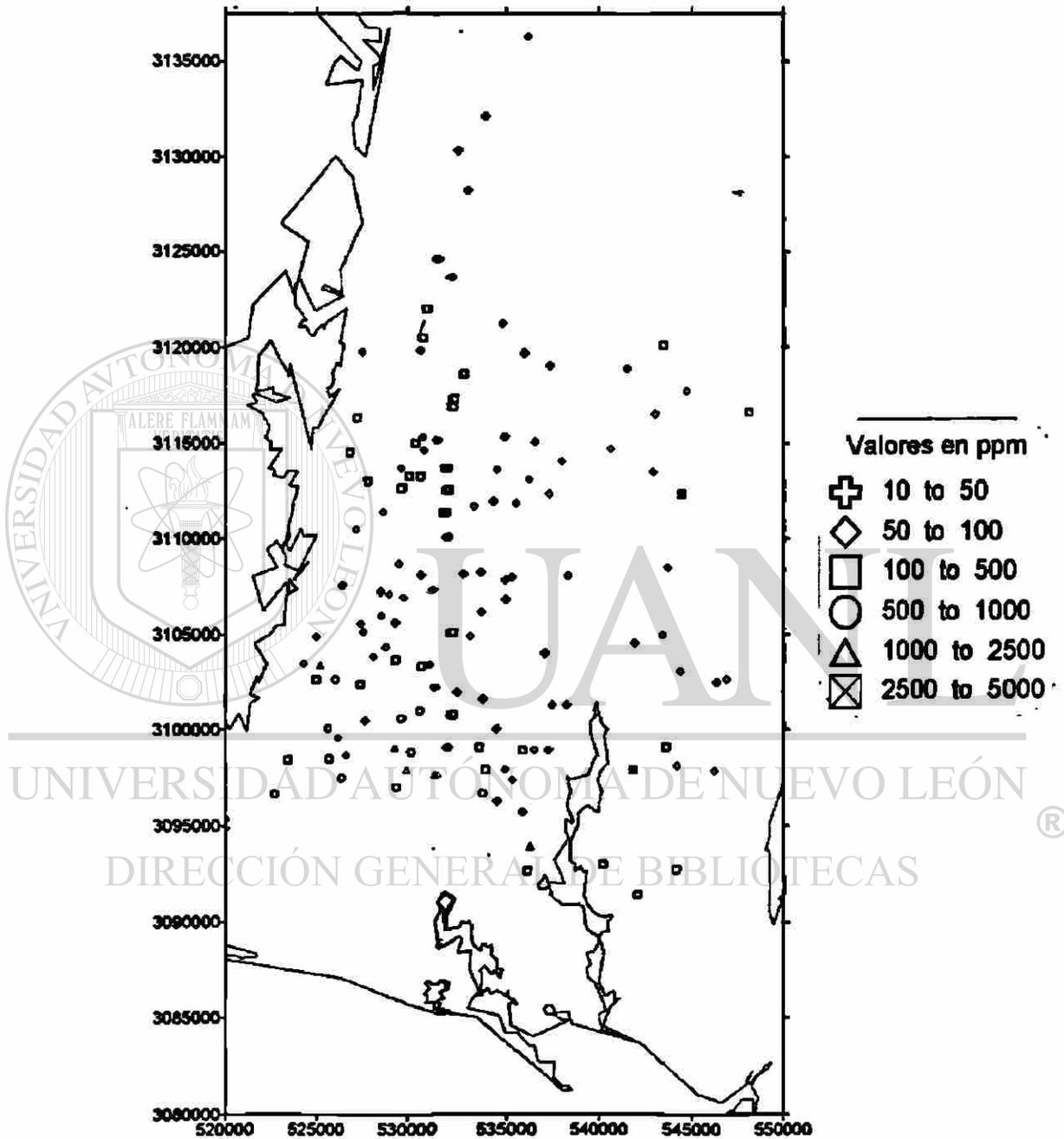


Figura 76.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1981

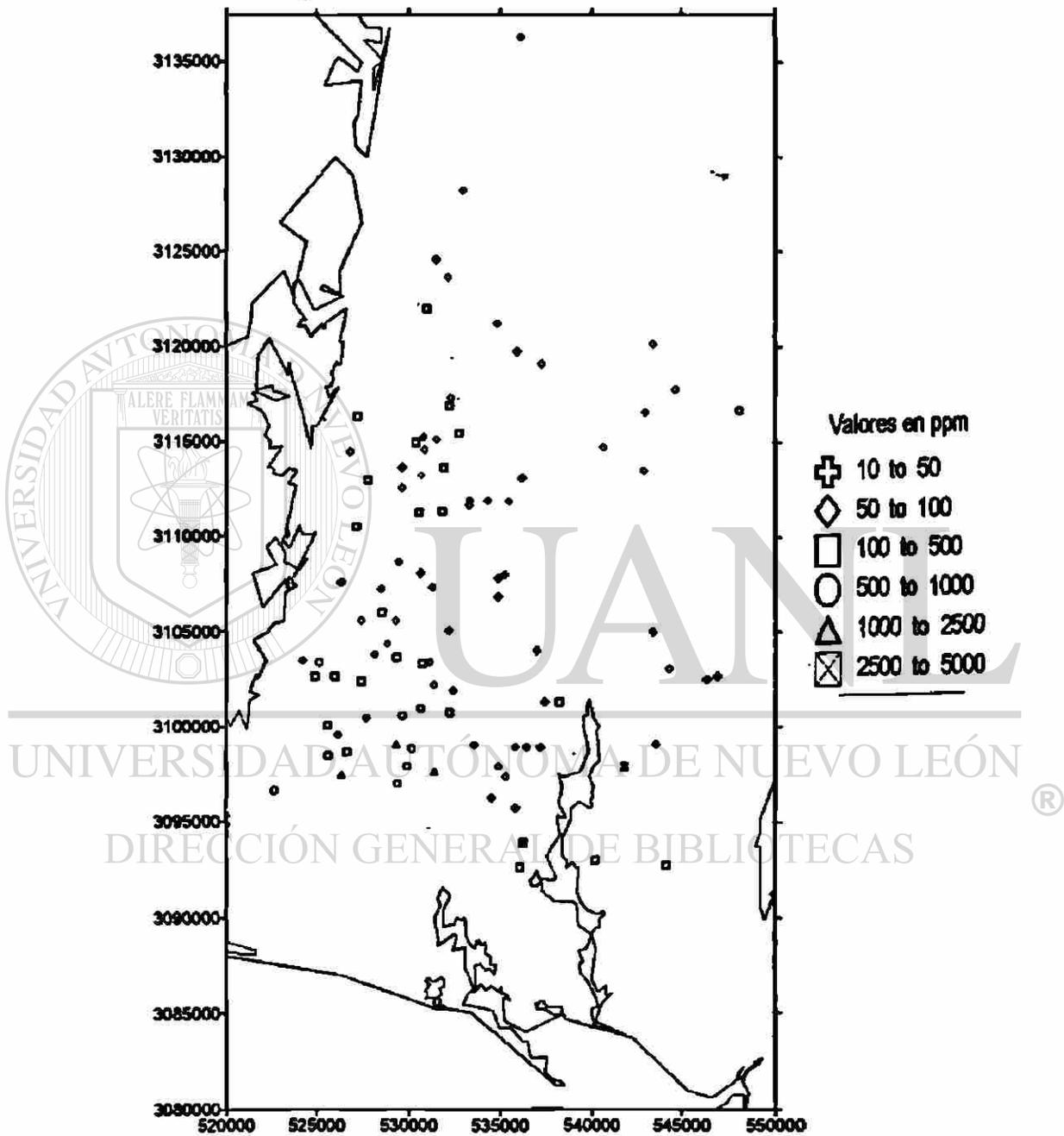


Figura 77.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1982

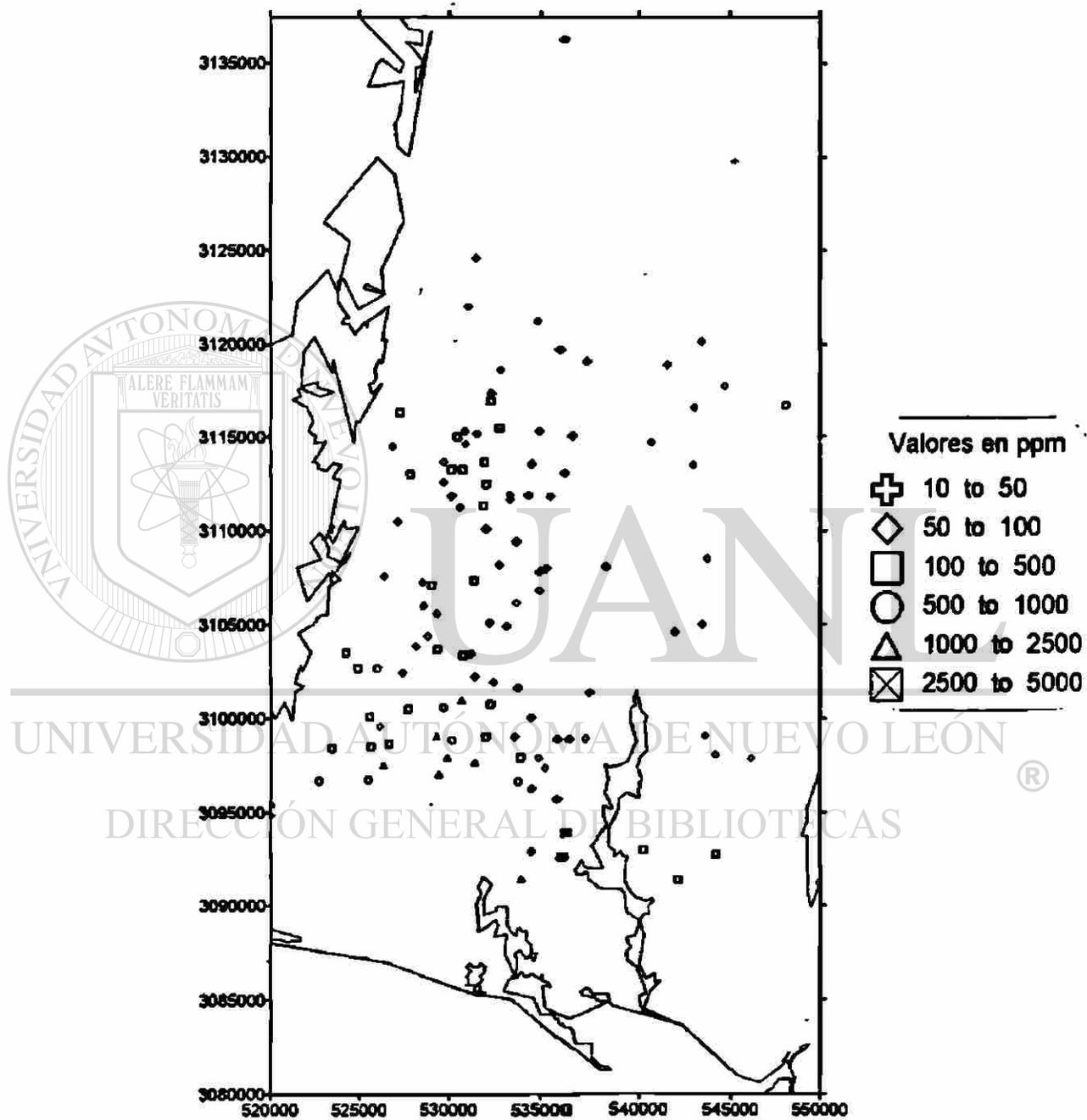


Figura 78.-Niveles de los valores de  $Pb$  del Valle de Guaymas en 1983

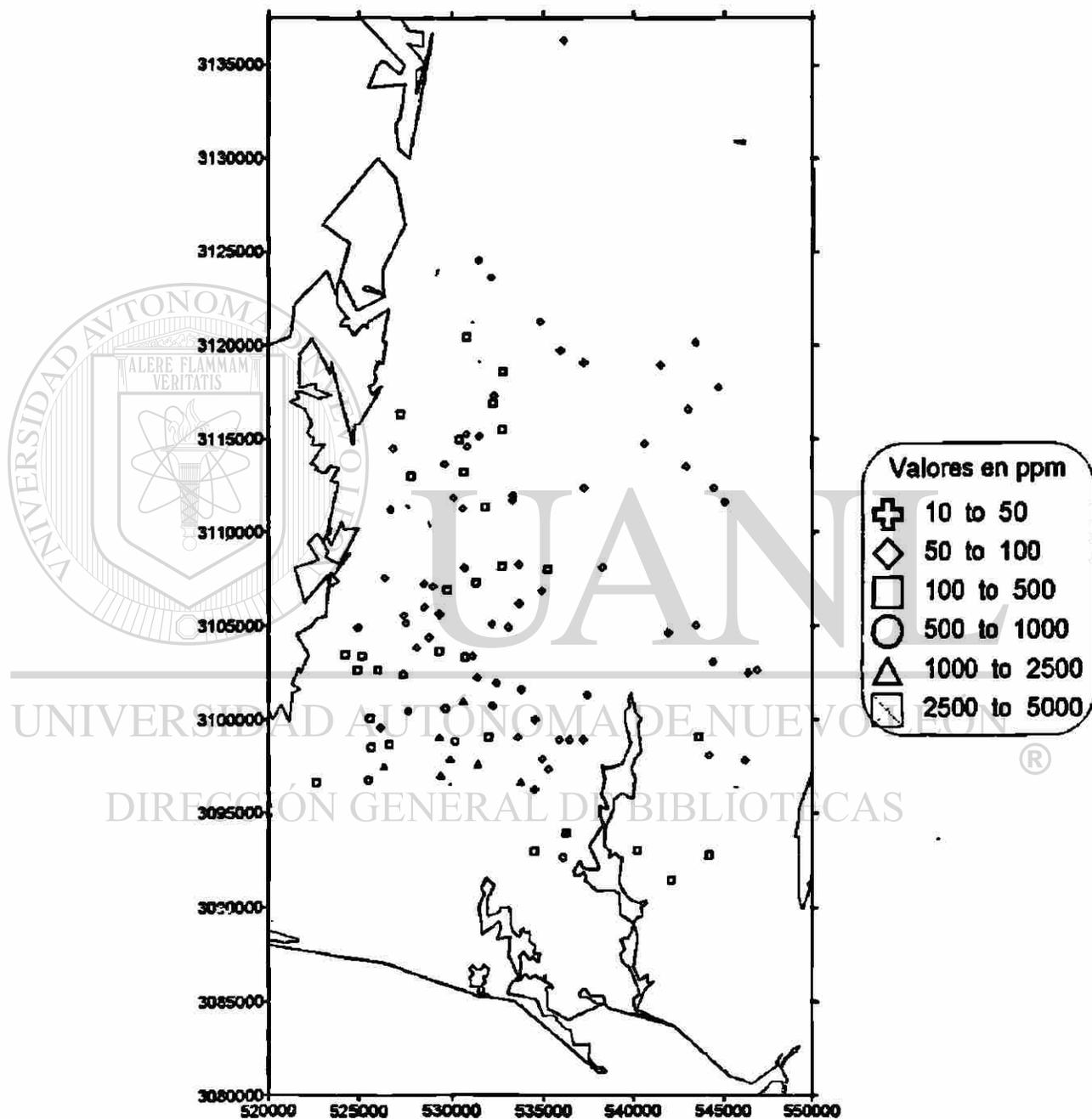


Figura 79.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1984

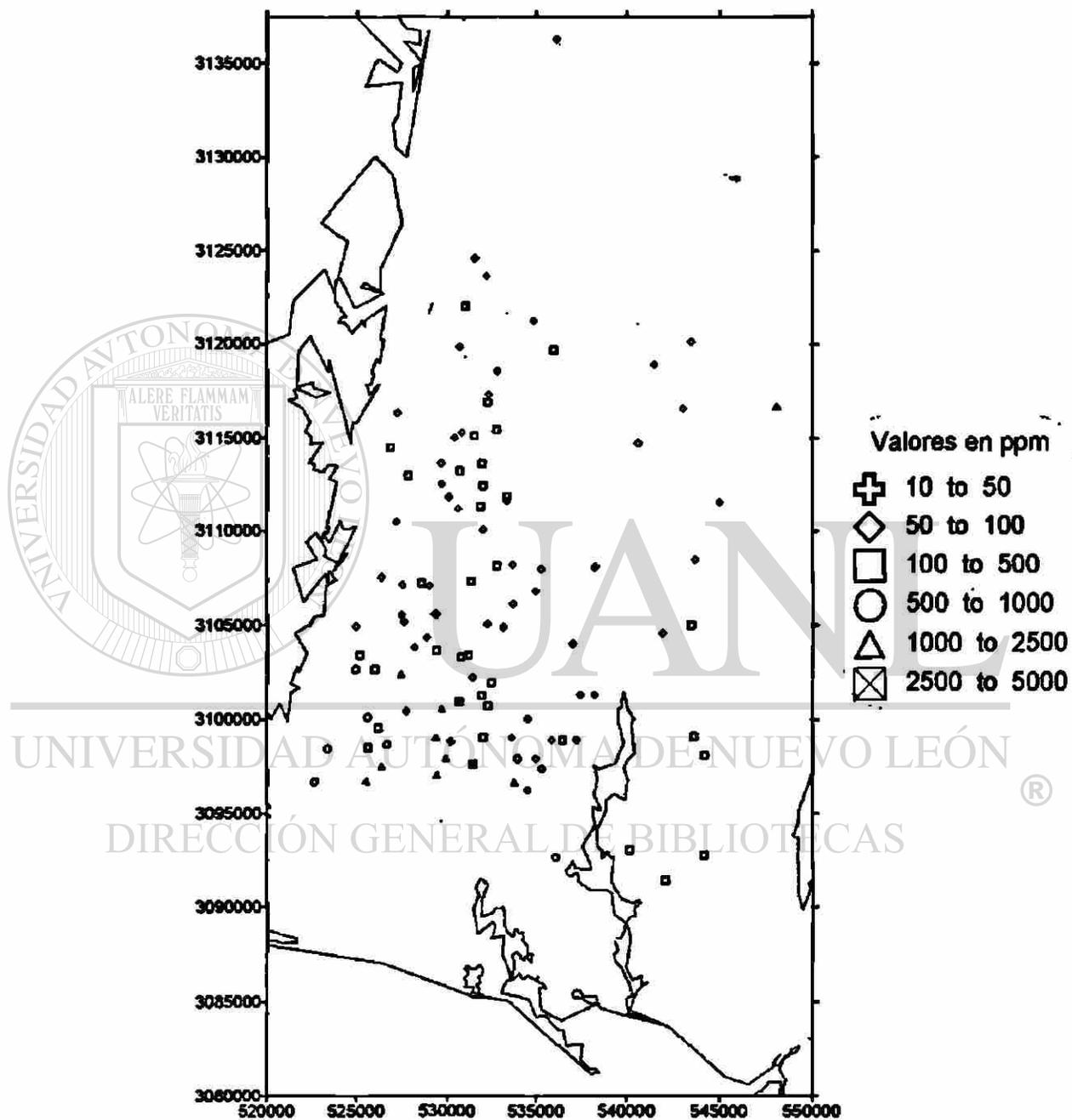


Figura 80.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1985

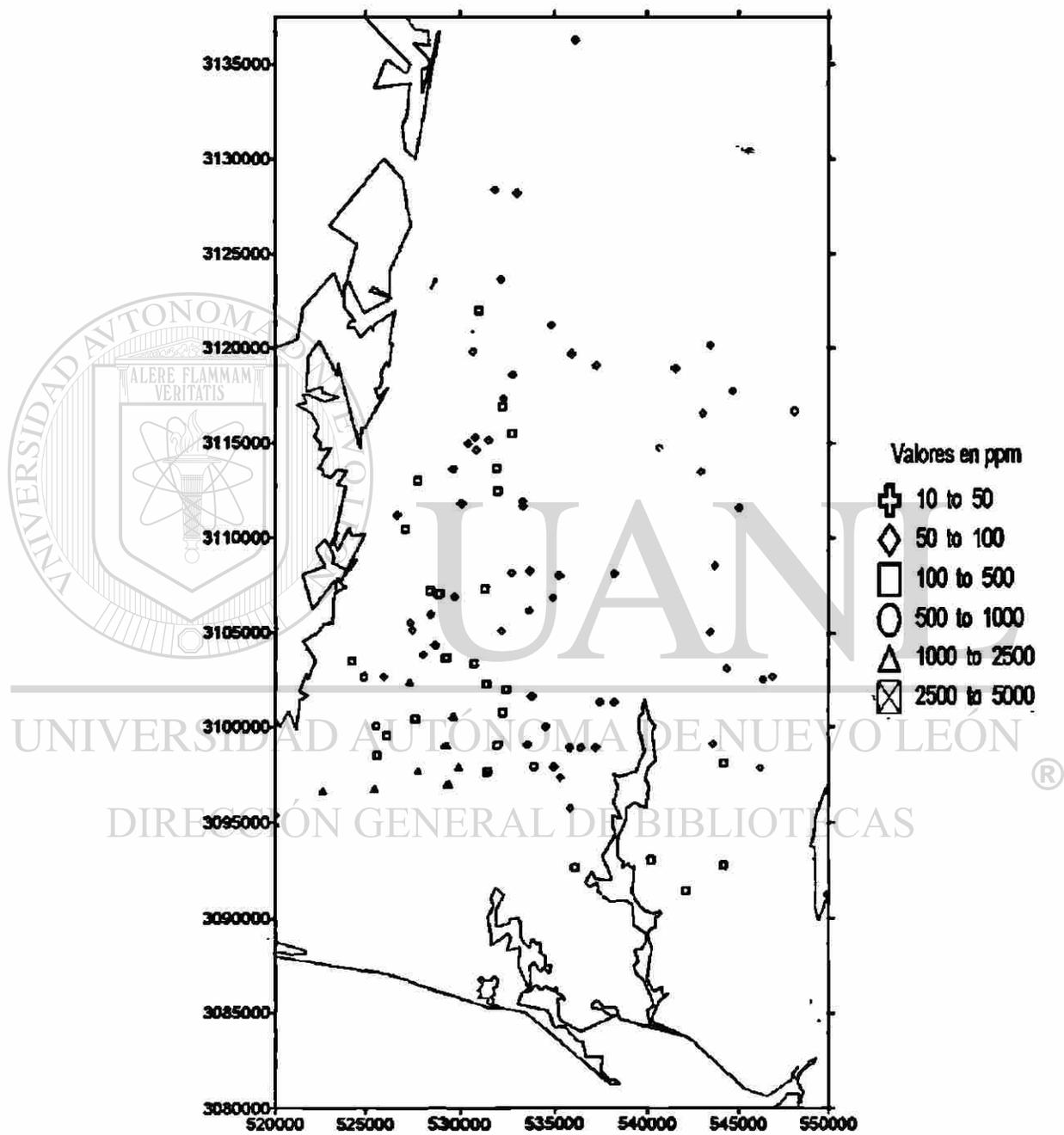


Figura 81.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1986

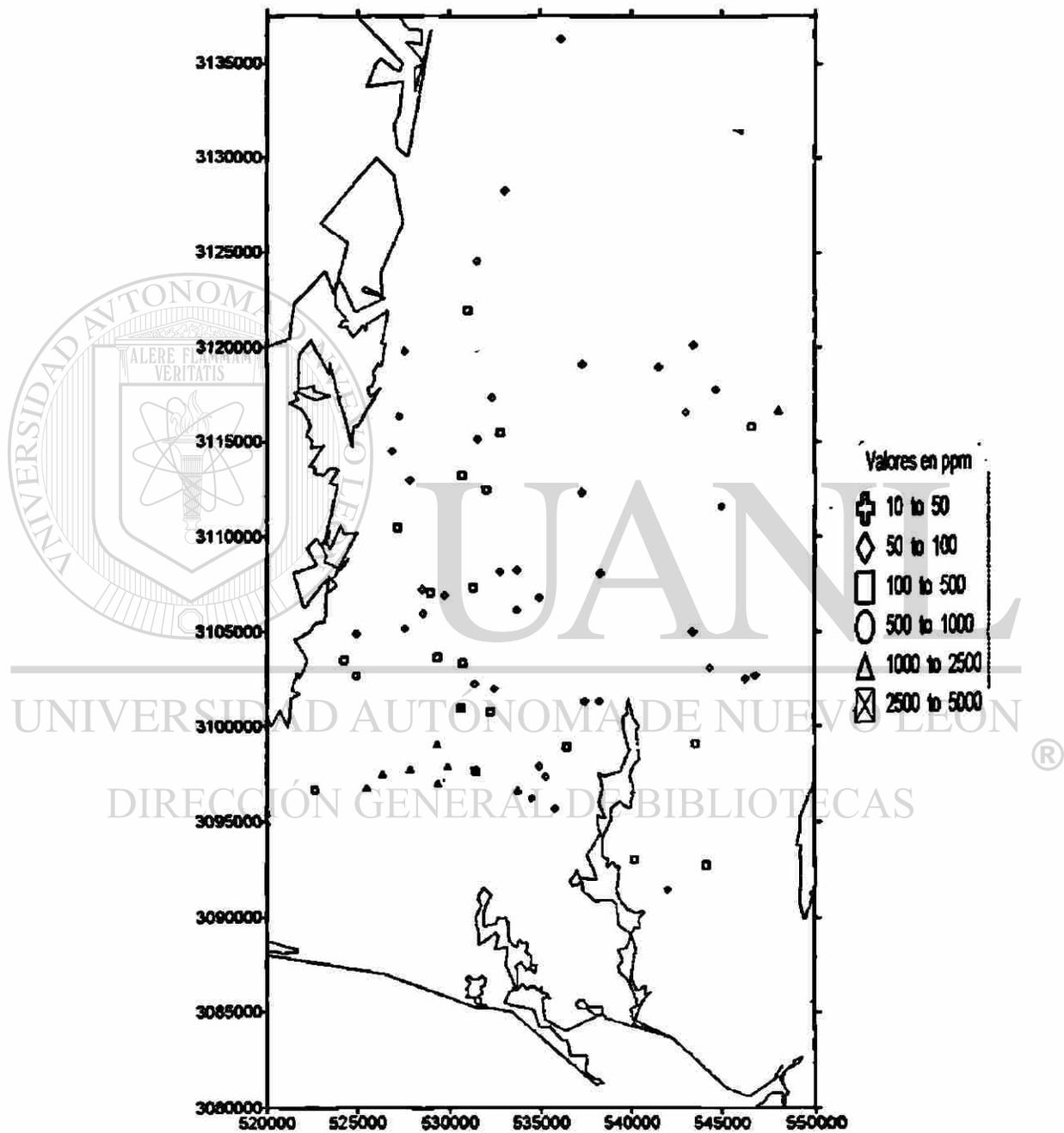


Figura 82. Intervalo de valores en los pozos del Valle de Guaymas en 1987

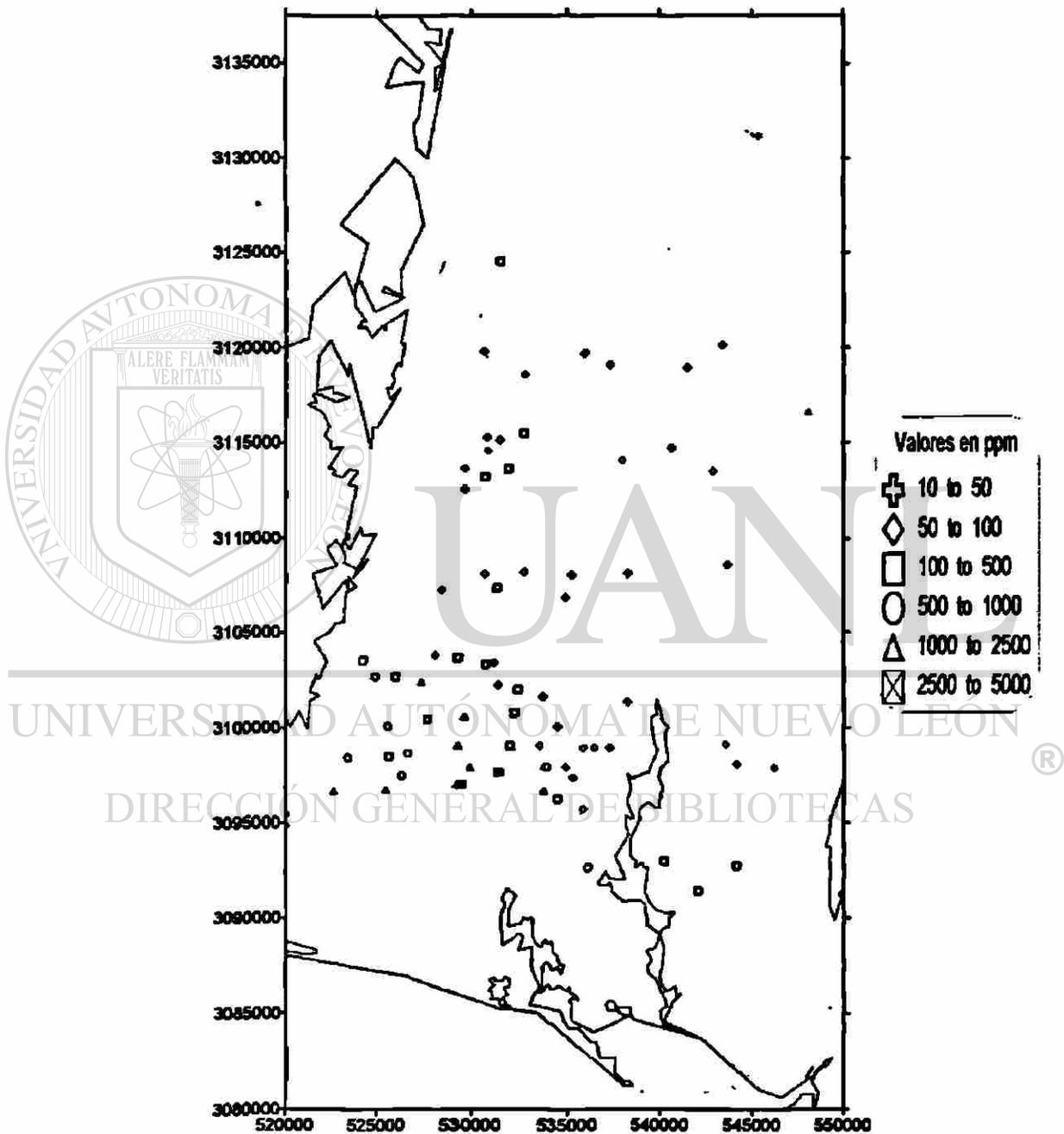


Figura 83.- Intervalo de valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1988

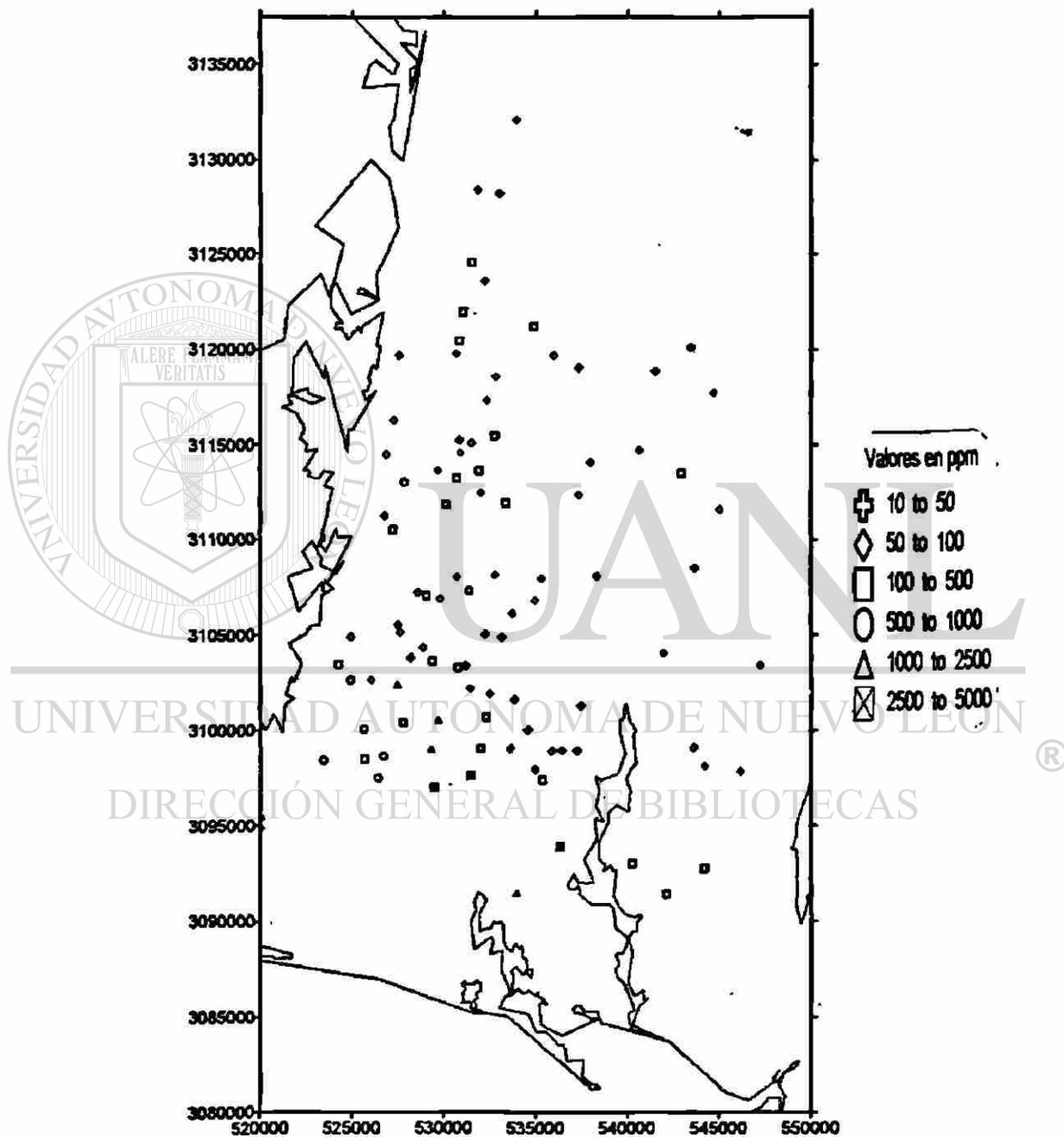


Figura 84.-Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1989

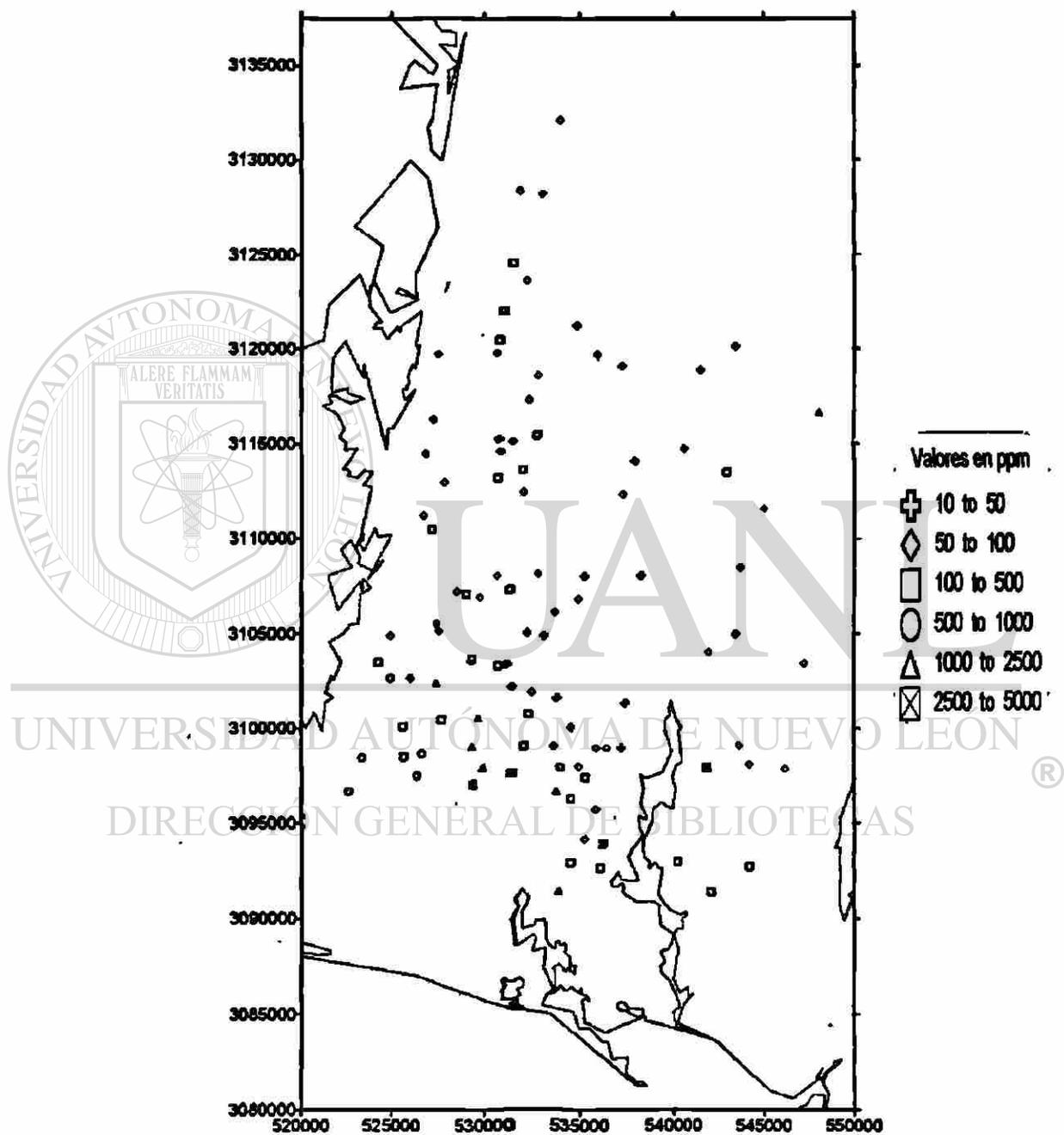


Figura 85.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1990

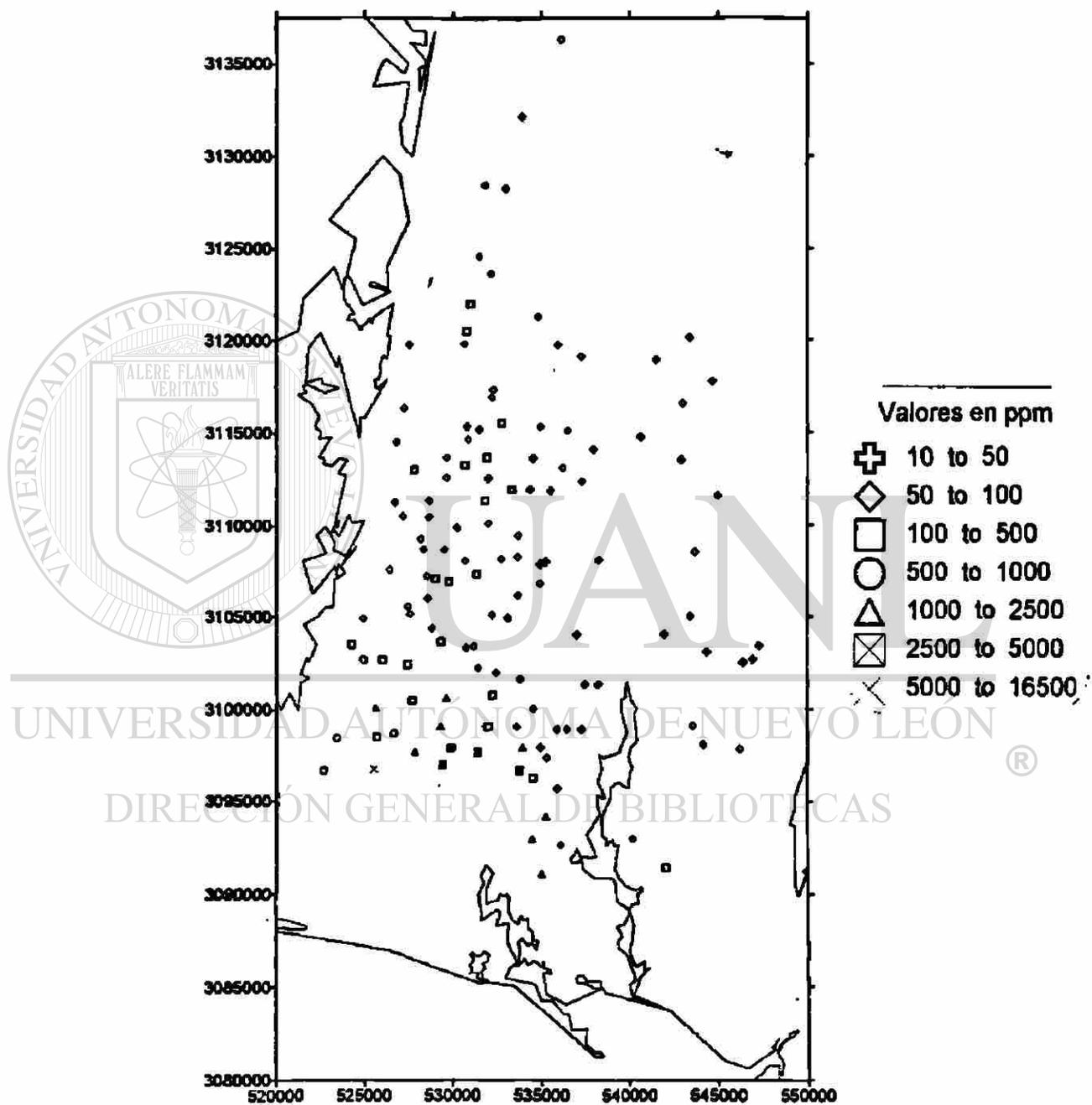


Figura 86.- Intervalo de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1991

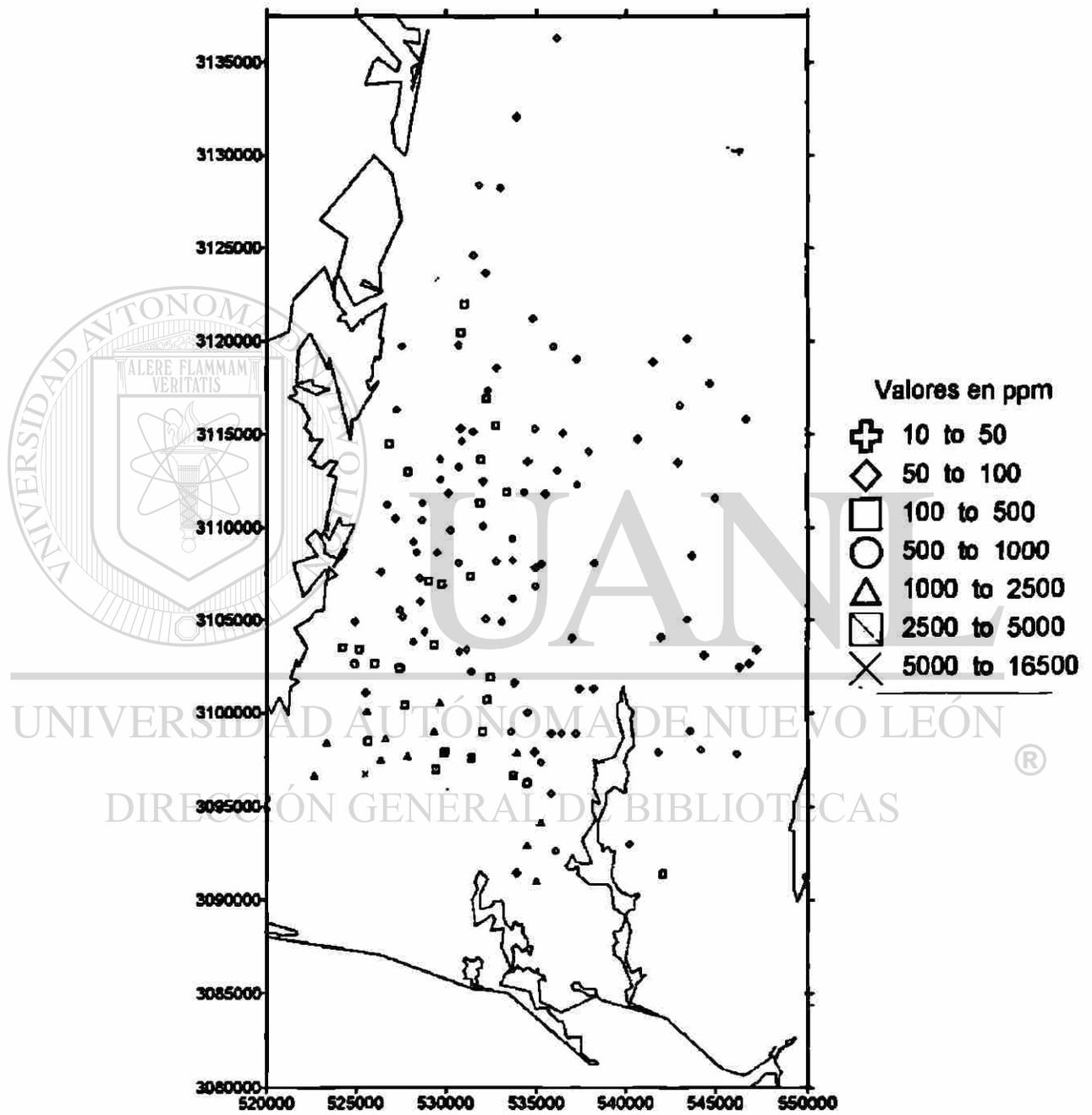


Figura 87.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1992

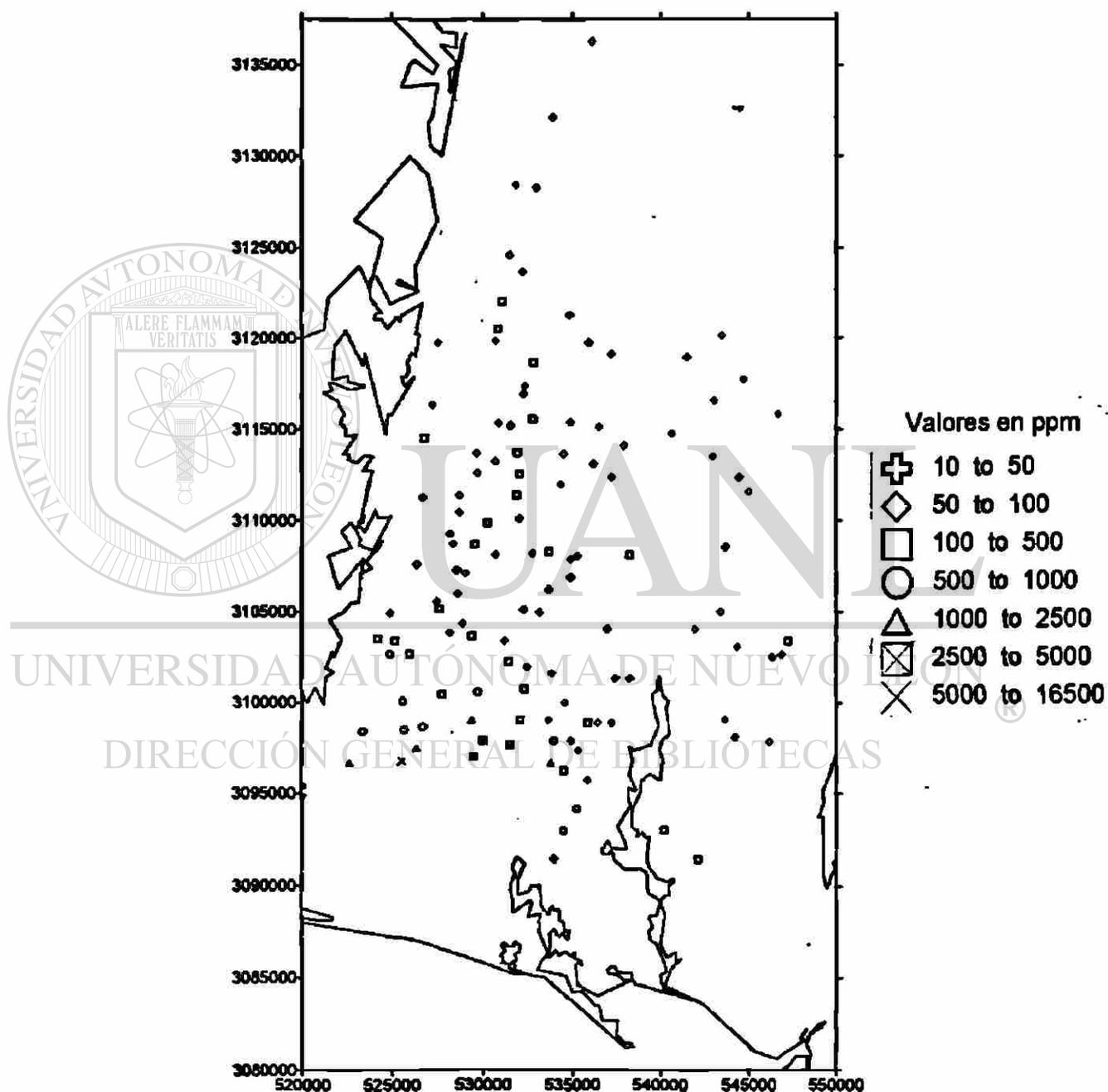


Figura 88.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1994

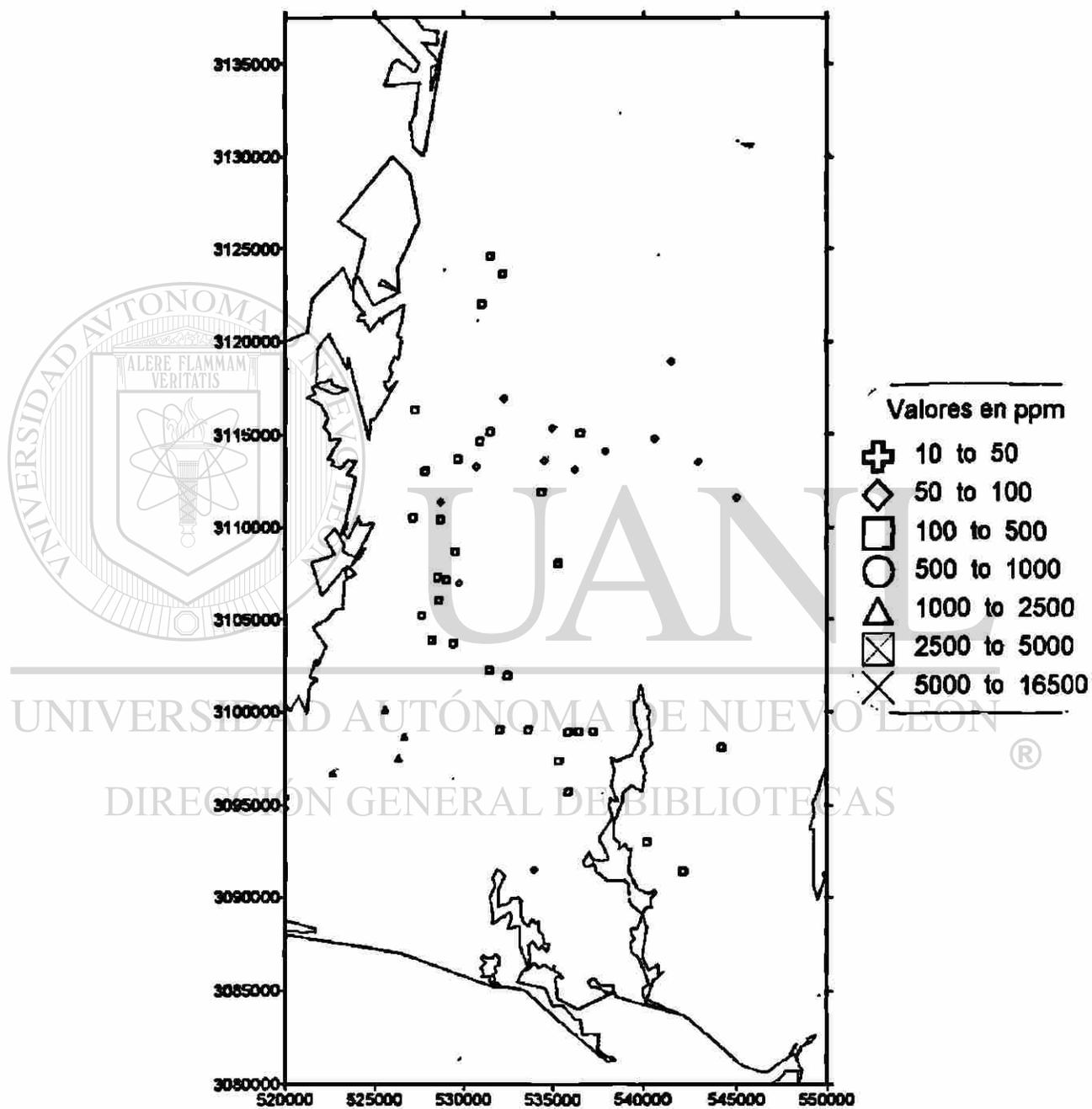


Figura 89. Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas eb 1995

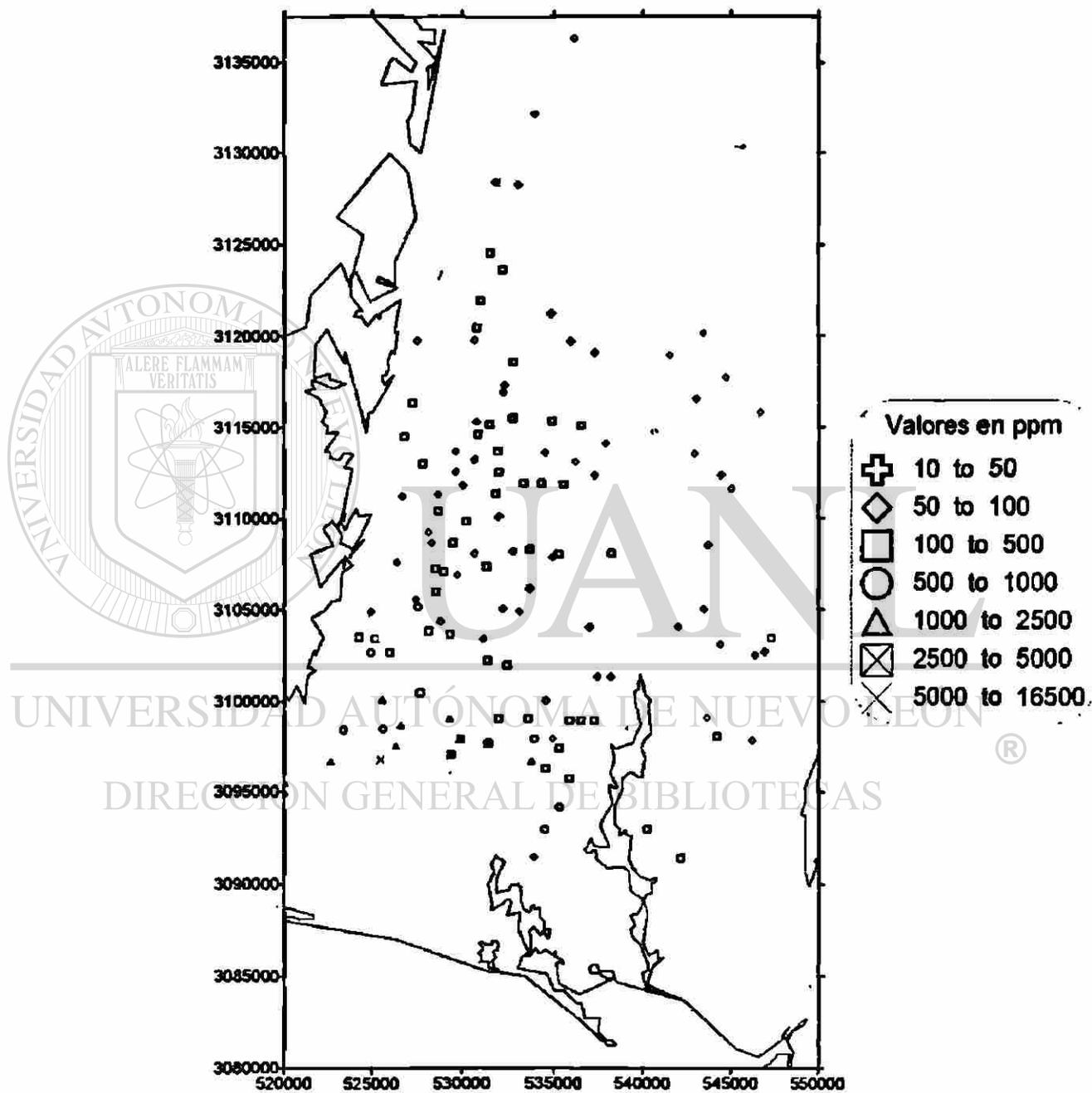


Figura 90.- Niveles de los valores de Cl en los pozos del Valle de Guaymas en 1996

## REFERENCIAS

- Aguilera Reyes Víctor Manuel, Muñoz Hernandez Benito, Salgado Gutierrez R., (1985) Correlación Físico-Química entre los Acuíferos Calizo y Granular de Bustamante N.L. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ing. Civil.
- Arambula M Daniel A., Palomino M Julio C., (1991) Panorama Geohidrológico del estado de Sonora, Tesis, Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora.
- Barbarín Castillo Juan M., (1996) Apuntes de Hidrogeoquímica, inéditos, Monterrey N.L México.
- Beltrán Ramírez José Dolores, (1983) Geohidrología y Evaluación del Potencial de Recarga del Valle de Agua Caliente, Municipio de Guaymas, Sonora. Tesis, Universidad de Sonora.
- Benites Alberto, (1972) Capitación de aguas subterráneas, Madrid España, Dossat.
- Bouwer, H. Groundwater Hidrology. (1978) New York, Consulting Editors, U.S.A.
- Cardona Antonio, Carrillo J. Joel, (1991) Estimación de la profundidad mínima de circulación para sistemas de flujo regionales en cuencas volcánicas terciarias, 1er Congreso Nacional de Geoquímica, Actas, Linares Nuevo León.
- 
- Canales Elorduy Armando, (1989) Hidrología Subterránea, Instituto Tecnológico de Sonora, Obregón Sonora.
- Campos Coy Guillermo, Ortega G. Adrián, Medina B. Rodrigo, (1984) Ampliación al estudio Geofísico del Valle de Guaymas Sonora, Universidad Autónoma de México, Secretaria de Recursos Hidráulicos.
- CIDESON, Internet <http://www.cideson.mx/index.html/>
- Clarke, F. E., (1980) Corrosión and Encrustation in Water Wells. FAO Irrigation and Drainage paper No. 34, Rome Italy.
- Córdoba Murrieta Alfonso, Salmón Vega Manuel Armando, (1997) Evolución de la Piezometría del Acuífero del Valle de Guaymas, desde 1967 a 1995, Tesis, Universidad de Sonora.
- Correu Toledo Guillermo, Andrade Vargas Javier, (1974) Manual Para el Alumbramiento de Aguas Subterráneas, Banco de México, S.A. FIRA.

Custodio Emilio, Ramón Iltamas Manuel, (1976) Hidrología Subterránea, Universidad politécnica de Barcelona, Comisaría de aguas del Pirineo Oriental, Centrp de estudios, Investigación y Aplicaciones del Agua, Servicio Geológico de Obras Públicas, Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental, , Barcelona España Omega.

Chavez Guillen Ruben, (1979) Geohidrología, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo estado de México.

De Oca Montes, (1988) Detección de la presencia de bario en el agua subterránea en la franja costera del Valle de Guaymas, Tesis

Gibson Ulric P., (1974) Manual de los pozos pequeños, México Limusa.

Herrera Revilla Ismael Rodríguez Castillo Ramiro. plol Rosa Maria,. Durazo Jaime, Flores M Leticia, (1985) Estudio Tectónico Geoquímico y Geotérmico del Acuífero del Valle de Guaymas Sonora. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ing. Civiles y Geólogos asociados, S.A. Secretaria de Recursos Hidráulicas, (1975) Elaboración y calibración del modelo matemático de intrusión salina en el Valle de Guaymas Sonora, México.

López Ramos Ernesto, (1993) Geología General y de México, México Trillas.

López Ramos Ernesto, (1980) Geología de México Tomo II, México Trillas.

México, Comisión Federal de la Electricidad CFE, (1983) Manual de Diseño de Obras Civiles, Tomo A.1.12 Geohidrología.

México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y el Gobierno del Estado de Sonora, (1993) Estudio Hidrológico del Estado de Sonora.

México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, (1983) Cartas de Hidrología superficial, escala 1:250000, H12-11 Sierra Libre, G12-2 Guaymas.

México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, (1983) Cartas de Hidrología Subterránea, escala 1:250000, H12-11 Sierra Libre, G12-2 Guaymas.

México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, (1983) Cartas de Geología, escala 1: 250000, H12-11 Sierra Libre, G12-2 Guaymas.

México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática- Gobierno del Estado de Sonora, (1998) Anuario Estadístico del Estado de Sonora, Impreso en los Talleres del INEGI.

México, Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Normas Climatológicas (1941-1970), Impreso en los Talleres de la Dirección General de Estudios, Información y Estadística Social, 2ª. Edición 1998.

Mijailov L., (1989)Hidrogeología, Moscú URSS, Mir.

Peña Hernandez David, Luna Salazar Gonzalo, Reyes Juárez Martín, Arias Rojo Hector M., (1995) Segundo seminario internacional de manejo de cuencas Hidrológicas, Bosquejo morfoedafológico de la cuenca del Río Matape, Universidad de Sonora-The University of Arizona, Hermosillo.

Radelli Luigi, (1997) Invitación a la Geoquímica, Universidad de Sonora.

Restrepo, Ivan (coordinador), (1995) Agua Salud y derechos Humanos, Comisión Nacional de los Derechos Humanos.

Vega Granillo Eva Lourdes, (1992) Estudio Hidrogeoquímico de la cuenca del Río Matape, Sonora con énfasis en la presencia de Bario, Tesis, Instituto Tecnológico de Sonora,, Obregón Sonora.

Werner, Jeorg, (1996) Introducción a la Hidrogeología, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares Nuevo León, México.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## **RESUMEN AUTOBIOGRAFICO**

**Heriberto Cota Vásquez**

**Candidato para el Grado de**

**Maestro en Ciencias con Especialidad en Hidrología Subterránea**

**Tesis: ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA  
EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE GUAYMAS, SONORA**

**Campo de Estudio: Hidrogeología**

**Biografía:**

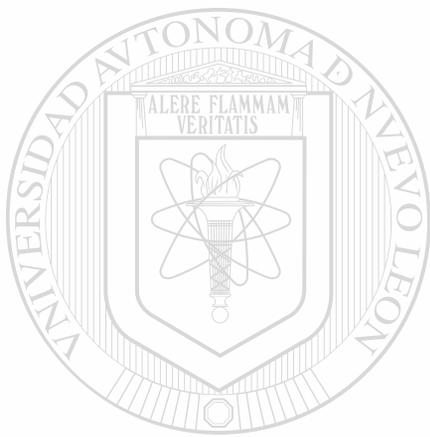
**Datos Personales: Nacido en Hermosillo, Sonora el 16 de Marzo de 1968, hijo de Hilario Cota Esquer y Ma Lorenza Vásquez Velarde.**

**Educación: Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido Ingeniero Mecánico Eléctrico en 1992.**

**Experiencia Profesional: Especialista en Hidráulica de la Comisión Nacional del Agua del 2000 a la fecha.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



