

# **ESTUDIO HIDROGEOLOGICO E HIDROQUIMICO DEL AGUA FREATICA EN EL AREA URBANA DE LOMA PLATA**

## **CHACO PARAGUAYO**

por

**FERNANDO A. LARROZA**

**GEÓLOGO**

**&**

**CARLOS CENTURIÓN**

**HIDROQUÍMICO**

**Dirección de Recursos Hídricos**

**Filadelfia- Chaco Paraguayo**

**c.c 984/273**

## **RESUMEN**

Desde fines de 1993 y hasta la fecha se viene realizando en la ciudad de Loma Plata un estudio hidrogeológico e hidroquímico orientado a entender el sistema hidrogeológico local y detectar el nivel y la distribución areal de contaminación, para ello se emplearon varios métodos para la recopilación de datos. En total se estudiaron 124 pozos, 116 análisis físico-químicos, 52 análisis del grupo coliformes y gérmenes totales y 9 determinaciones de oxígeno disuelto.

También se realizaron perforaciones adicionales, 29 con sistema Auger para estudios litológicos y 10 con sistema rotativo, de estos pozos 9 fueron entubados y están siendo monitoreados mensualmente la Conductividad Eléctrica Vertical y Nivel Estático.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente estudio describe preliminarmente las características hidrogeológicas e hidroquímicas del agua freática en el área urbana de Loma Plata. Esta ciudad fué tomada como modelo para estudios de aguas someras, por lo cuál este plan de trabajo puede servir de guía para la investigación hidrogeológica e hidroquímica en sedimentos no consolidados de Edad Terciario-Cuaternario en el Chaco, en donde debido a las altas temperaturas, precipitaciones bajas y no regulares el agua constituye un factor limitante para el asentamiento poblacional y el desarrollo agro-ganadero.

El otro objetivo que se persigue es orientar a la comunidad para una explotación adecuada y hacer una alerta para la preservación del vital recurso "agua".

## 2. AREAS DE INVESTIGACION Y SUS CARACTERISTICAS GENERALES

La ciudad de Loma Plata es el centro de la Colonia Menno está ubicada en el Departamento de Boquerón, Chaco Central Paraguayo (ver Fig. 1). El área de estudio tiene una extensión de 12 Km<sup>2</sup> y cubre el casco urbano de Loma Plata y sus alrededores.

Loma Plata es una ciudad en donde están asentadas varias industrias como ser la procesadora de algodón, refinería, aceite de maní, una fábrica de tanino y esencia de palo santo para cosméticos. La industria lechera que es una de las más productivas del país y la mayor consumidora de agua local, la cuál se surte a través de numerosas bacterias de pozos.

Tiene una topografía de planicie cuaternaria poco accidentada y se halla ubicada a 129 m.s.n.m.

El clima es semi-árido y subhúmedo. Las temperaturas medias anuales alcanzan los 14 °C (mínima) y una máxima de 36 °C. Tomando el período de 1982 a 1993 las lluvias fluctuaron entre 696,4 a 1382 mm/año. Datos del año 1994 hasta Mayo dieron una precipitación de 773 mm (ver Fig.2).

### 2.1. Metodos y trabajos realizados

Para la comprensión del sistema hidrogeológico se realizó un inventario de pozos existentes mediante un censo de 124 pozos de propietarios particulares e industriales (ver Fig. 3), con recolección de muestras de agua y la medición de pH, C.E., T° y TSD in situ.

Posteriormente se realizó un estudio detallado para conocer la litología, los límites del paleocauce y el comportamiento del acuífero, para ello se efectuaron 29 perforaciones con el sistema Auger (barreno

mecánizado) estimándose la C.E. del acuífero "exprimiendo" los sedimentos del acuífero; posteriormente se seleccionaron los lugares para la realización de 10 perforaciones rotativas a lo largo, ancho y a través del paleocauce hasta la base del acuífero freático, 9 de estos pozos fueron entubados y hasta hoy son monitorados todos los meses midiendo el N.E., temperatura y salinidad vertical (la cual determina la calidad, cambios de C.E. y estratificación del agua).

Se recolectaron 116 muestras de agua de pozos particulares, estudio y de monitoreo para análisis físico-químicos en el laboratorio, se determinó 20 parámetros dentro de las 24 horas de toma de muestra.

Para los análisis bacteriológico de germen totales y del grupo de coliformes se seleccionaron zonas de riesgo, a pesar de los inconvenientes, de no poder en ocasiones extraer agua directamente de los pozos o de no encontrarse los propietarios se tomaron 38 y 14 muestras de los pozos durante 1994 y 1995 respectivamente, el muestreo se realizó flameando el grifo y posteriormente dejando correr el agua por bombeo durante 5 minutos y así tomar la muestra a ser analizada con una botella esterizada.

También se analizaron 9 muestras de pozos para determinar el oxígeno disuelto (OD) por el método iodométrico o Winkler.

## 3. GEOLOGIA

La sección superior del área de Loma Plata corresponde a un ambiente deposicional de edad Cuaternaria, denominado Formación Chaco, caracterizado por el trenzado de corrientes, la deposición de corte y relleno, y la complejidades asociadas con la sedimentación regional reciente, en la que el río Pilcomayo es el principal curso superficial que ha influenciado en la forma y el modo de ocurrencia de las aguas subterráneas. A causa de los frecuentes desplazamientos de cauces de este río, causados por el arrastre de materiales y la reducida pendiente, dejó una abundante cantidad de paleocauces rellenos con arena los que son bien definidos en fotos

aéreas debido a que estos campos arenosos poseen una geomorfología definida y tonalidades claras a blancas producto de la reflectancia de las arenas.

El perfil litológico del paleocauce está representado por sedimentos de arena fina a muy fina con presencia de biotita, en cambio las zonas de monte están compuestas por arcilla rojiza las cuales se presentan ocasionalmente en niveles, concreciones de carbonatos (en ocasiones de 3 a 5 cm de diámetro), ferruginosas friables y yeso granular o como cristales de pocos centímetros de diámetro.

#### 4. HIDROGEOLOGIA LOCAL

La búsqueda de agua freática se centra en los paleocauces que en forma regional se presenta con agua salada, con eventual presencia de agua dulce en donde las condiciones del terreno permiten la acumulación por escorrentia superficial y si la permeabilidad del suelo es favorable infiltra el agua, recargando el acuífero freático.

En la actualidad la recarga al acuífero freático se realiza mediante reservorios (Tajamares) que permiten la captación y almacenamiento de agua de lluvia. Estos se construyen en zonas arenosas (paleocauces) hasta el horizonte permeable de manera que el agua pueda infiltrar directamente y tener un proceso natural de autodepuración a medida que percola hacia el acuífero.

El nivel freático oscila de 2,4 a 6,2 mts. La conductividad eléctrica va de 500 a 10000 micromhos/cm, si se perfora hasta 6 mt, a mayor profundidad se va salinizando hasta llegar a valores exorbitantes, pero normales para el Chaco es decir 50000 micromhos/cm a más detectados en los pozos adicionales de estudio realizados, gracias a los cuales se pudo constatar que el acuífero freático se presenta hasta los 17 mt. El segundo acuífero (confinado por arcilla) empieza a los 23 mts y va hasta los 54 mts, o sea que su espesor es de aprox. 21 mts y

esta constituido por arena fina con intercalaciones de arcilla con carbonato (Fig.4), este acuífero es salado, con Conductividad Eléctrica de 50000 o más micromhos/cm, inadecuado para cualquier uso.

#### 4.1. Análisis de la vulnerabilidad del Acuífero freático de Loma Plata de con respecto a la contaminación difusa de origen fecal

En base a los parámetros hidrogeológicos obtenidos se pudo determinar el grado de vulnerabilidad del acuífero freático de Loma Plata, la cuál se encuentra en una zona rural.

Para este análisis se adoptó los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), tres puntos son básicos para evaluar el riesgo de contaminación.

- Profundidad de nivel estático (NE) del acuífero.
- Tipo de acuífero estudiado.
- Características litológicas y grado de consolidación del material constituyente de la zona no saturada.

Según Foster(1991) los componentes de vulnerabilidad presentan los siguientes índices para la clasificación del parámetro:

vulnerabilidad natural del acuífero.

Después del análisis de los datos y la verificación de los índices de vulnerabilidad de cada parámetro dio lo siguiente:

a)- Debido a que el nivel estático va de 2.4 a 6.2 metros el índice esta entre 0.7 a 0.9.

b)- Por tratarse de un acuífero no confinado el índice 1.0.

c)- El suelo de Loma Plata es bastante permeable por ser arenoso y en menor proporción areno-limoso en la superficie y debido a ello la capacidad de retención de sustancias contaminantes es baja, este tipo de sedimentos no consolidados recibe el índice de vulneabilidad de 1.0.

Multiplicando los tres índices entre sí da un valor que oscila entre 0.7 a 0.9, lo cual indica una extrema vulnerabilidad de contaminación del acuífero en estudio.

## 5. HIDROQUIMICA

La calidad del Agua Subterránea es fundamental para su utilización en consumo humano, agricultura, ganadería e industria. Generalmente en gran parte del Chaco, se nota la presencia, de aguas con elevados contenidos de sales y esto se debe a que entre los sedimentos se encuentran sales evaporíticas y carbonatos, dada su elevada solubilidad, estos pasan rápidamente a la fase acuosa dando de esa manera aguas salobres y saladas.

## 6. COMPOSICION QUIMICA Y BACTERIOLOGICA DEL AGUA SUBTERRANEA

Calidad de las muestras de agua analizadas

Para la mayoría de los análisis el equilibrio iónico tiene un error de 3% o menos. En vista del elevado porcentaje de salinidad de las muestras se consideró como aceptable un error máximo de 5%.

### 6.1. Tipos de agua subterránea

En el área de estudio observamos tres tipos de agua subterránea: dulce, salobre y salada (ver Fig. 6).

La clasificación adoptada por la Dirección de Recursos Hídricos para el territorio chaqueño es basada en DAVIS & WIEST (1967) (ver Fig. 7).

Respecto a la clasificación química de los tipos de agua subterránea está basada en la nomenclatura del diagrama PIPER, en donde se aplica la clasificación de LANGLIER & LUDWIG (1942).

### 6.2. Agua Subterránea Dulce

El agua subterránea dulce que tiene contenido de sal < 1000 mg/l es en principio Agua Bicarbonatada Cálcica y Magnésica y en algunos casos Bicarbonatada Sódica.

### 6.3. Agua Subterránea salobre

Dentro del rango de salinidad entre 1000 y 10000 mg/l predominan Aguas Cloruradas y Sulfadas Sódicas y aguas no bien definidas que aparentemente constituyen una mezcla en Cloruradas Sódicas y Bicarbonatadas Cálcicas y Magnésicas (ver Fig).

### 6.3. Agua Subterránea Salada

El agua subterránea en donde el contenido de sal supera a los 10000 mg/l es del tipo Aguas Cloruradas y Sulfadas Sódicas. El catión dominante es el Sodio; la abundancia de sodio se puede atribuir al lavado de sedimentos de origen marino. También en todos los casos observamos un contenido muy bajo de bicarbonato.

#### Oxígeno Disuelto (OD)

La determinación del contenido del oxígeno disuelto es importante, porque es un elemento indispensable en la vida de los animales y las plantas, tanto terrestres como acuáticas. Actúa como intermediario entre el mundo mineral y el orgánico, es necesario en la oxidación energética de la carboxihemoglobina y se produce

generalmente por acumulación de materia orgánica y como desecho de la fotosíntesis.

Los muestras analizadas dieron valores que oscilan de 0.26 a 4.59 mg/l siendo estos normales para este tipo de agua.

#### 6.4. Contaminación del Agua Subterránea

La contaminación del agua subterránea se origina más comúnmente por la percolación de aguas contaminadas desde la superficie y a consecuencia de varias interacciones subterráneas que llevan a la remoción de sustancias disueltas a un cambio en su composición.

El nitrógeno es uno de los constituyentes de la materia orgánica, por lo tanto en la química del agua los compuestos del nitrógeno juegan un papel importante, ya que contribuyen al desarrollo de la vida animal y vegetal en el seno del agua. Compuestos de nitrógeno se encuentran en altas concentraciones en la heces humanas y animales.

En el agua se encuentra en la forma de nitrito, nitrato y como amonio normalmente en bajas concentraciones. Cuando aumentan las concentraciones de los parámetros nitrogenados generalmente indica contaminación de origen fecal, por ende este tipo de contaminación representa un riesgo para la salud, es sabido que a concentraciones superior a 50mg/l pueden causar metahemoglobinemia en niños, más conocido por el nombre de "enfermedad de los niños azules", además la presencia de nitrato, nitrito y amoníaco favorece la multiplicación de los microbios (en forma de amonio es un alimento muy nutritivo), por lo cual aumenta considerablemente la existencia de bacterias y virus perjudiciales a la salud. El principal problema que puede ocasionar la contaminación microbiológica de las aguas subterráneas, está atribuida en la posible propagación de enfermedades producidas por bacterias y virus.

Se observó en varios pozos de Loma Plata un alto contenido de Nitrato, y también

un alto contenido de Coliformes y Germenes Totales.

### 7. EVALUACIÓN DE LOS DATOS

La calidad del agua es muy variable tanto horizontal como verticalmente, aguas saladas se encuentran originalmente en todo el área, encontrándose agua dulce en depresiones naturales y en zonas de recarga. Actualmente con la mayor implementación de reservorios de captación (tajamares), almacenamiento e infiltración de agua pluvial y además canalizando para desviar el flujo superficial (escorrentia) hacia los tajamares mediante la recarga se incrementarán las zonas con agua dulce de tipo bicarbonatada, actualmente hay 4 zonas que cubren un área de aprox. 1,2 km<sup>2</sup> (ver Fig.9). Verticalmente solo en las zonas cerca de los tajamares hay agua dulce hasta casi la base del acuífero, en la mayoría de los casos la columna de agua de buena calidad posee una columna de agua de 2 mt y posteriormente va en profundidad se va incrementandose la salinidad.

El agua bicarbonatada de baja salinidad es el agua subterránea de las lentes de agua dulce que se encuentra en las áreas de recarga.

El contenido de Bicarbonato en el Acuífero Freático, es debido al Anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>) en el agua de infiltración y la presencia de Carbonatos en los sedimentos.

La alta salinidad es a consecuencia de las sales evaporíticas dispersa en los sedimentos arcillo-arenosos y arenas finas. Igualmente, la disolución de minerales principalmente evaporíticas, es otro origen de los cloruros, de allí el alto contenido del mismo.

Las aguas Bicarbonatadas Sódicas, no son recomendables para riego salvo que tenga muy baja salinidad, debido a la fijación de sodio en el suelo y creación de un medio alcalino.

En base a todos los datos obtenidos de conductividad y el de sólidos disueltos

totales (TSD) muestra la relación casi lineal, que nos puede dar una determinación rápida del TSD (ver Fig. 8) y de sulfato cuando se conoce la conductividad eléctrica.

En base a los valores de TSD en mg/l se puede observar en la Fig. 10 los límites para agua de consumo y en la Fig. 9 los valores de concentración máxima recomendados (1000 mg/l) y la concentración máxima permitida para agua potable (2000 mg/l).

Los resultados del oxígeno disuelto dieron tenores muy bajos (0,26 a 4,59 mg/l, lo que se esperaba, teniendo en cuenta que en

a mayor profundidad en esta zona, mientras que la base del acuífero se encuentra en la media (ver fig. 11 surface y Fig. 12 contornos).

El acuífero freático de Loma Plata presenta un grado de vulnerabilidad extremo por las características hidrogeológicas que presenta al ser no confinado, compuesto por material inconsolidado y su proximidad a la superficie, lo cuál se comprobó por los altos valores en nitrato (ver Fig. 13) que fueron encontrados en áreas en donde existieron corrales de animales (vacas y chanchos mayormente), lo que conjuntamente con una gran cantidad de letrinas y pozos negros cerca de los pozos en explotación muestran altos contenidos de coliformes (Fig. 14), lo que se traduce en una extensa contaminación

lo que respecta a aguas subterráneas estas son muy pobres en oxígeno, como consecuencia de haber sido consumida por la oxidación de la materia orgánica del suelo y no haber tenido oportunidad de reoxigenarse por estar fuera del contacto con el aire, en el sistema acuífero.

La Parte central-este y sur-este de la ciudad se halla más favorecida por encontrarse la superficie a cotas más bajas debido a las depresiones naturales y por a poseer varios grandes tajamares de recarga por eso en esta zona la calidad de agua va de hasta 2000 mg/l de TSD, es interesante notar que los niveles estaticos están fecal reciente del acuífero, deducido debido al limitado período de vida de las baterias en el agua subterránea.

Por lo anteriormente mencionado se va a realizar un estudio bacteriológico más detallado para saber existen otros tipos de bacterias y dar recomendaciones (en el informe final a presentarse a fines de 1995) para una planificación de tratamiento y evacuación final de basuras sólidas y efluentes, porque en muchos casos la contaminación del agua subterránea es un proceso difícilmente reversible, debido a la dificultad de regeneración del acuífero, por lo tanto es necesario impedir la entrada de sustancias contaminantes a los acuíferos

## BIBLIOGRAFIAS

- ANÓNIMO.* (1985). **Calidad y Contaminación de las Aguas Subterráneas en España.** Tomo I. Instituto Geológico y Minero de España (Madrid).
- ANÓNIMO.* (1976). **Sistema Mundial de Monitoreo del Ambiente GEMS/AGUA. Guía Operacional.** Publicado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OMS
- ANÓNIMO.* (1992). **Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales.** American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). Ed. Díaz de Santos S.A. Madrid - España.
- CATALÁN, J.G.* (1981). **Química del Agua.** Talleres Gráficos Alonso. Madrid - España.
- CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M.R.* (1975). **Hidrología Subterránea.** Ed. Omega S.A. Barcelona - España.
- CENTURIÓN, C & LARROZA, F.A.* (1995). **Hidroquímica del agua freática en el área urbana de Loma Plata.** Semana del Agua (inedito).
- FOSTER, S. S.D., HIRATA, R.C. Y ROCHA G.A.* (1988). **Riscos de poluição de águas subterráneas: uma proposta metodológica de avaliação regional.** 5º Congresso Brasileiro de Aguas Subterráneas, Anais, SP.
- GODOY E, LARROZA F. Y PAREDES J..* (1993). **Investigación Hidrogeológica del Area Urbana de Filadelfia - Chaco, para Detectar Contaminación del Agua Subterránea (Colección de Datos).** DRH / BGR.
- LARROZA F.A.* (1995) **Metología de la DRH para la investigación hidrogeológica en el Chaco Paraguayo.** Semana del Agua (inedito)
- KEITH T., D.* (1960). **Hidrología de Aguas Subterráneas.** Ed. Edgard Blucher Ltda.
- VON HOYER, M.* (1993). **Hidroquímica del Agua Subterránea en el Area Urbana de Filadelfia. Chaco Boreal / Paraguay.** DRH / BGR.

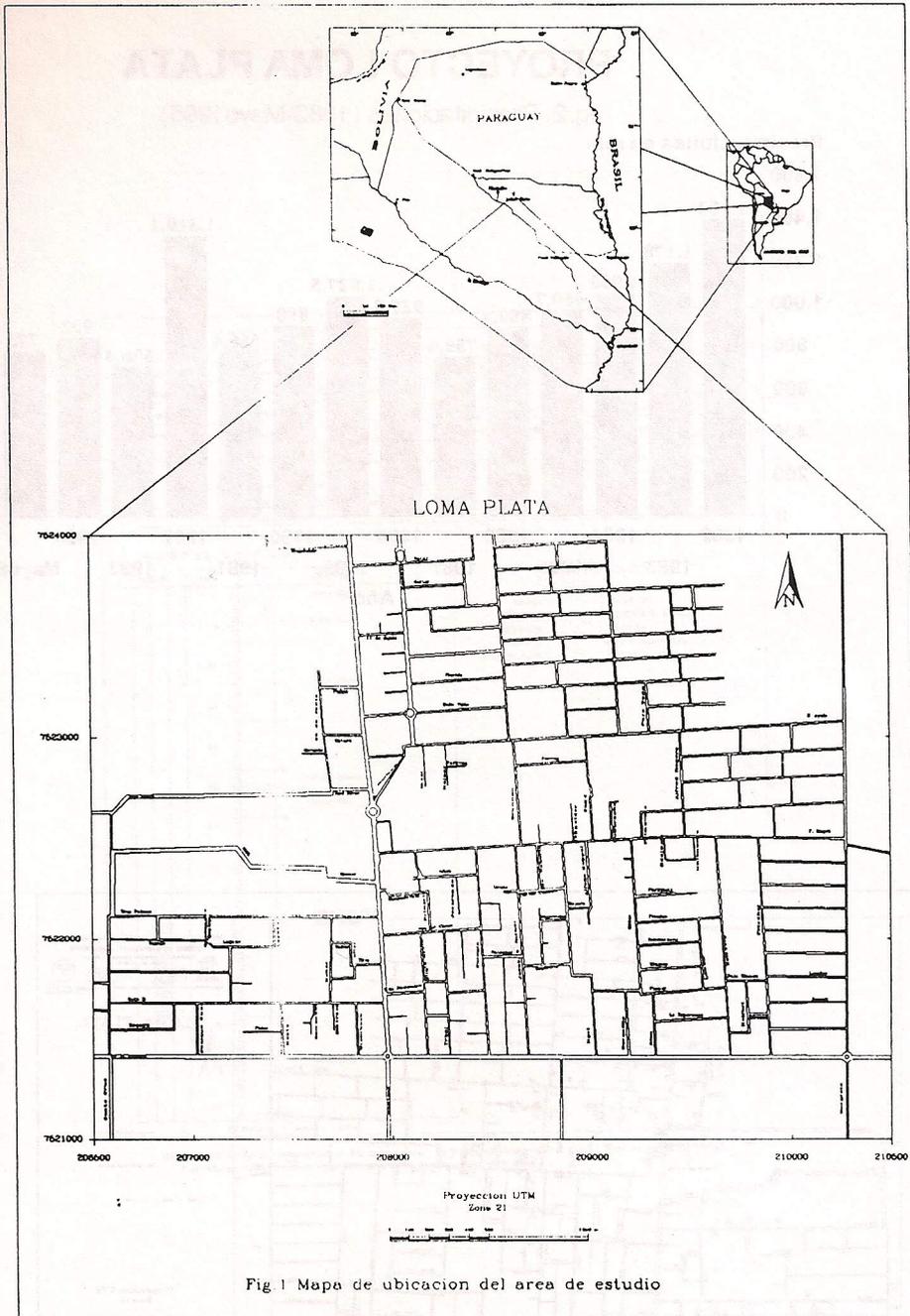


Fig. 1 Mapa de ubicacion del area de estudio

# PROYECTO LOMA PLATA

Fig.2: Precipitaciones (1982-Mayo1995)

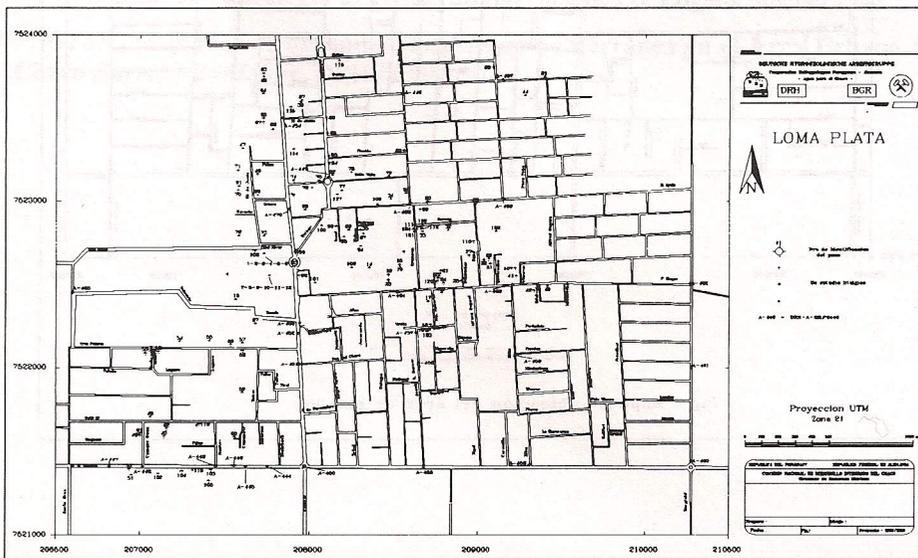
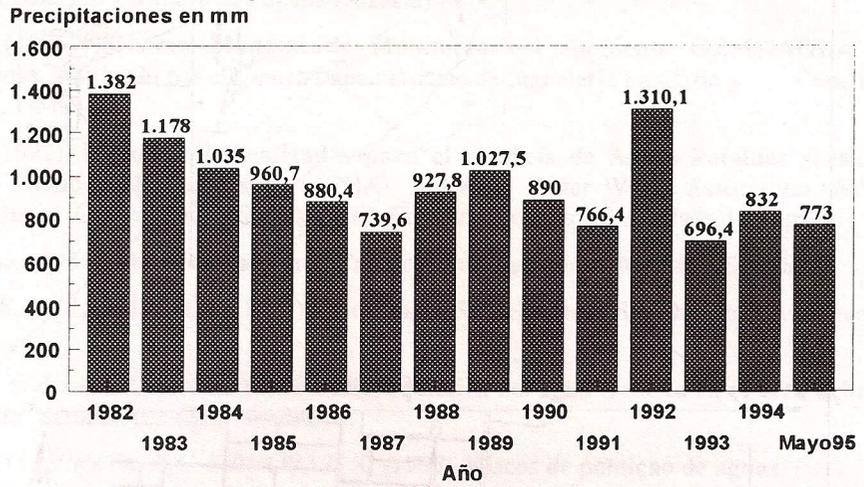


Fig.3 : Ubicación de los pozos en Loma Plata

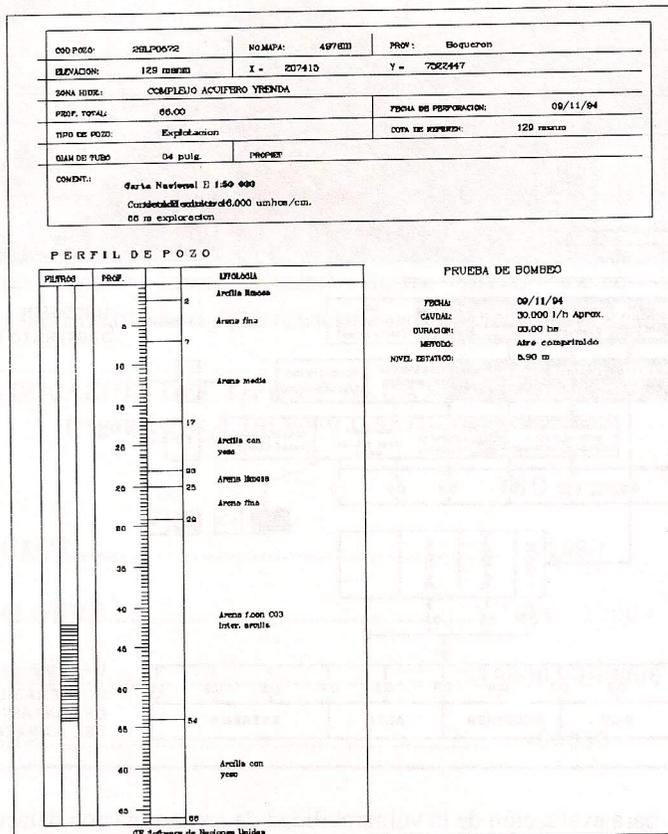


Fig.4: Perfil litológico representativo del paleocauce. Se puede observar que el ser acuífero va hasta los 17 mt y el 2do acuífero confinado que contiene agua salada va de 53 a 64 m.

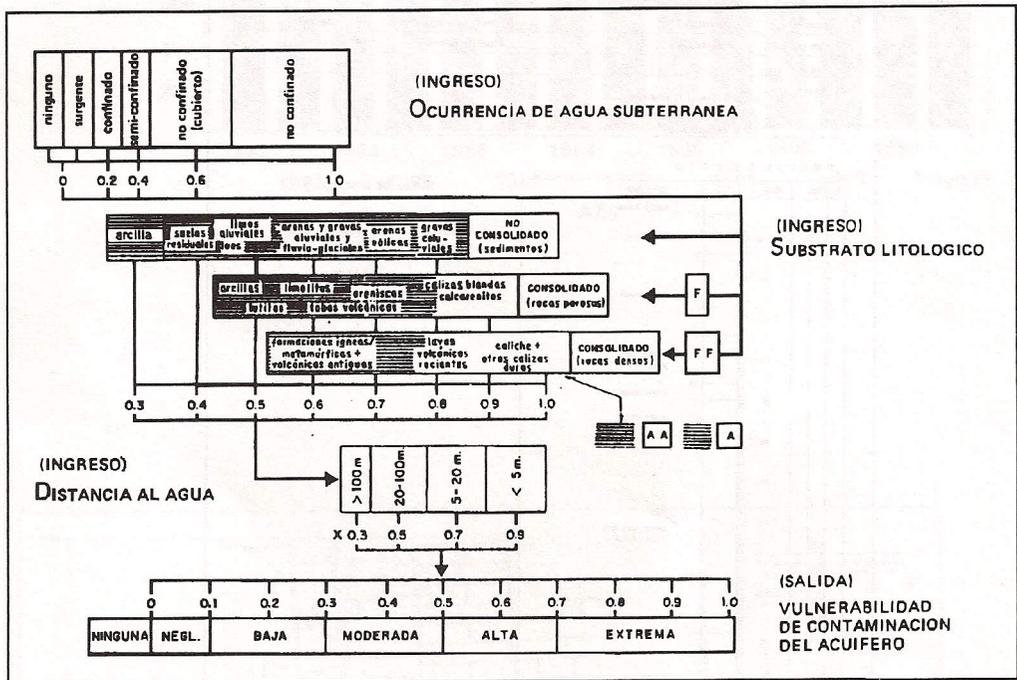


Fig. 5. Esquema para evaluación de la vulnerabilidad de contaminación del acuífero



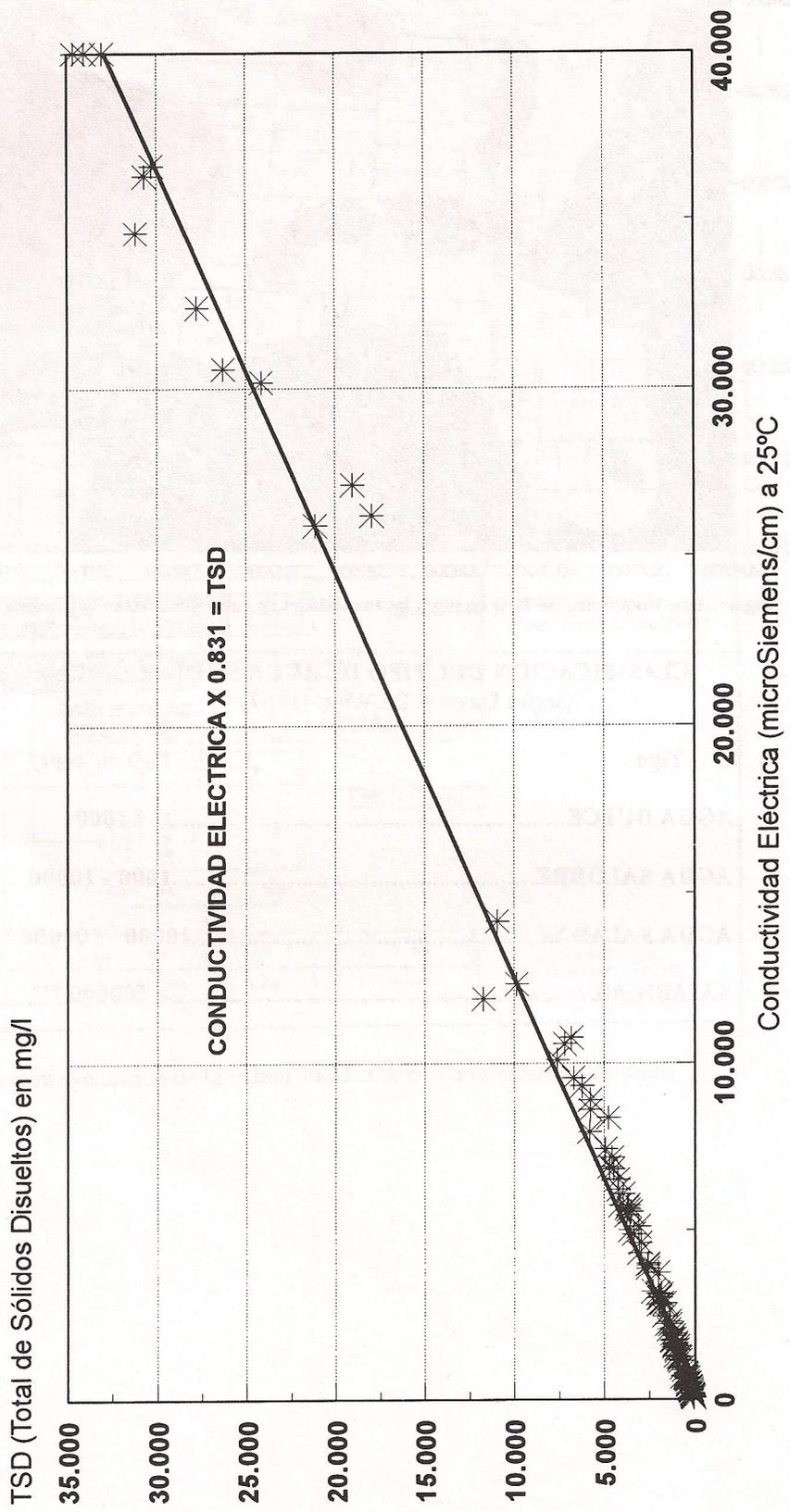
Fig.6: Mapa isoquímico de TSD en mg/l, las tonalidades en colores muestran la clasificación de las aguas.

**CLASIFICACION DEL TIPO DE AGUA SUBTERRANEA  
(según Davis & De Wiest (1967))**

Tipo	TSD en mg/l
AGUA DULCE.....	< 1000
AGUA SALOBRE.....	1000 - 10000
AGUA SALADA.....	10000 - 100000
SALMUERA.....	> 100000

Fig.7

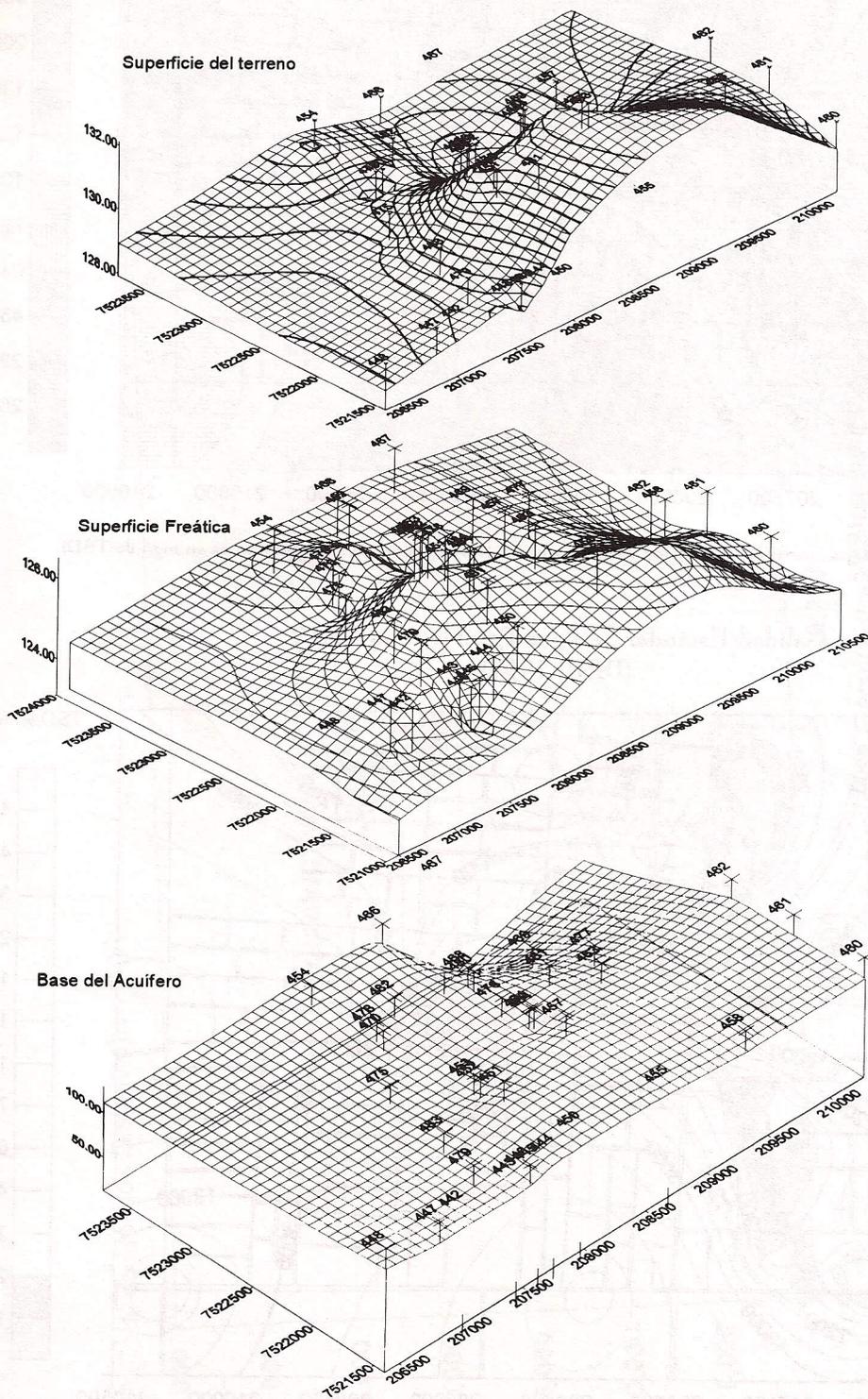
**Fig.8: RELACION CONDUCTIVIDAD - TSD  
DE AGUA SUBTERRANEA EN LOMA PLATA - CHACO**





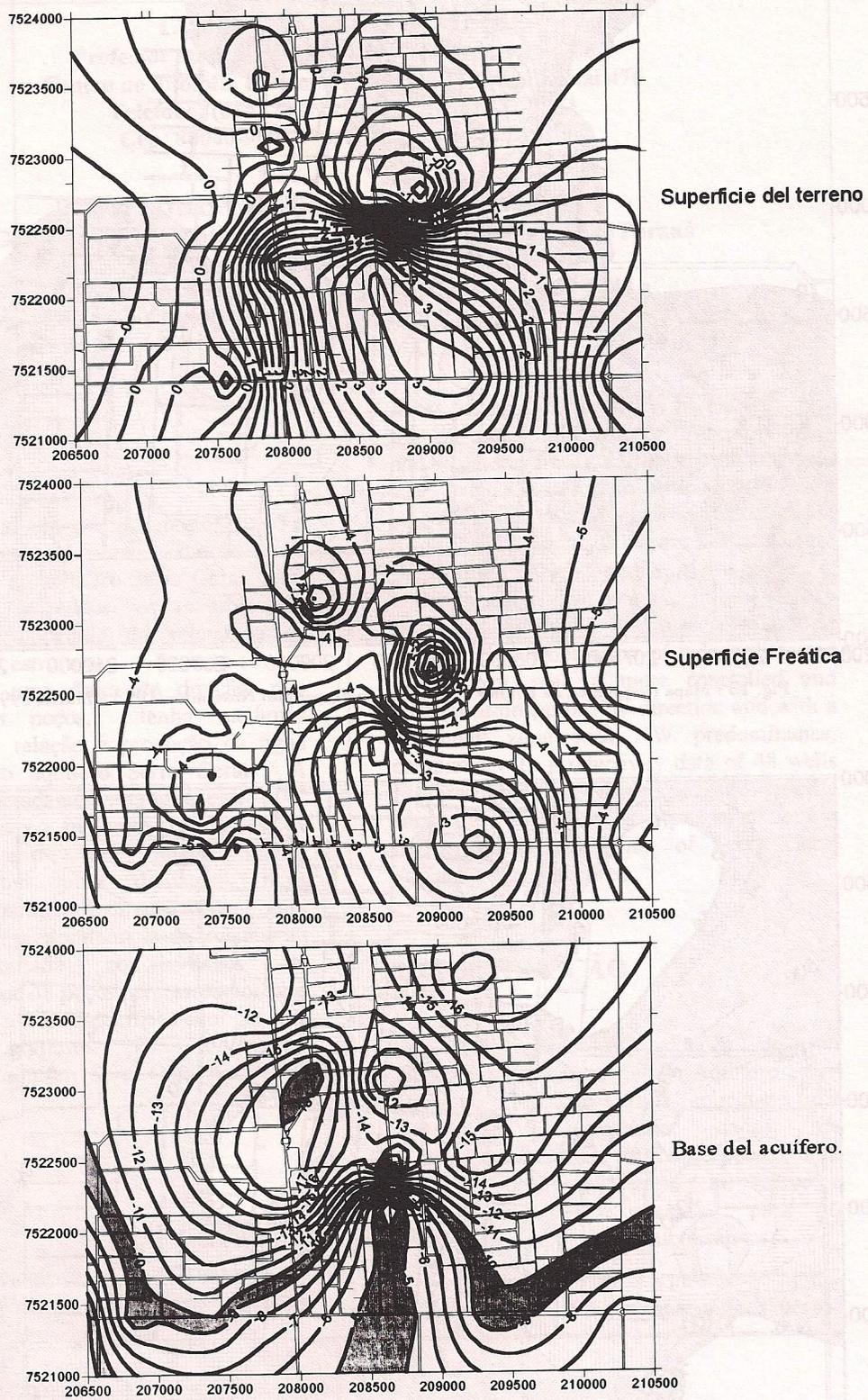
# LOMA PLATA - CHACO CENTRAL

Fig.11: Líneas de isoprofundidad de la Superficie del Terreno, Freática y Base del Acuífero Año 1994



LOMA PLATA - CHACO CENTRAL

Fig.12 :Lineas de isoprofundidad de la superficie del terreno, freática y base del acuífero  
Año 1994



# LOMA PLATA - CHACO CENTRAL

## Distribución de los contaminantes del acuífero Muestreo en época de lluvias

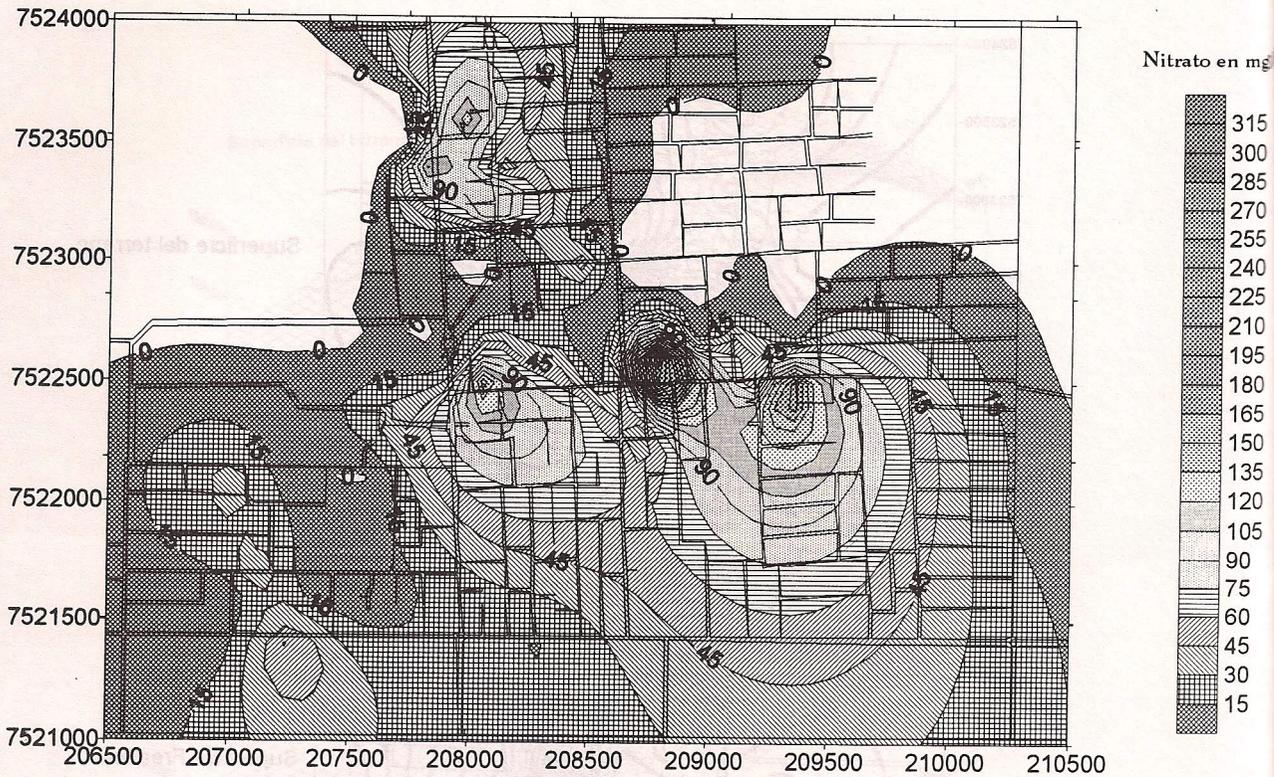


Fig. 13 : Mapa isoquímico de tenores en  $\text{NO}_3$  en  $\text{mg/l}$ , período Noviembre/1993 a Marzo/1994

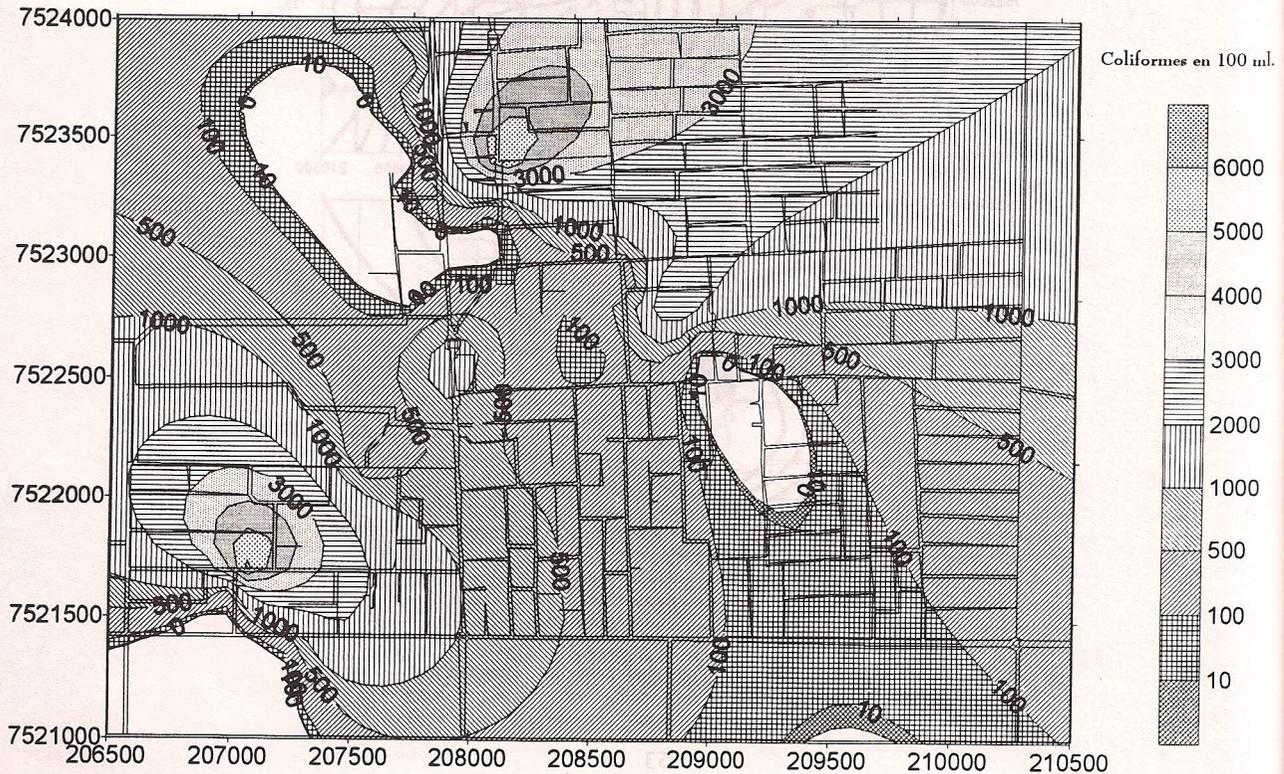


Fig. 14: Mapa isoquímico mostrando los valores de coliformes en 100 ml, muestras coleccionadas el 20/02/1993 y el 01/12/94.