



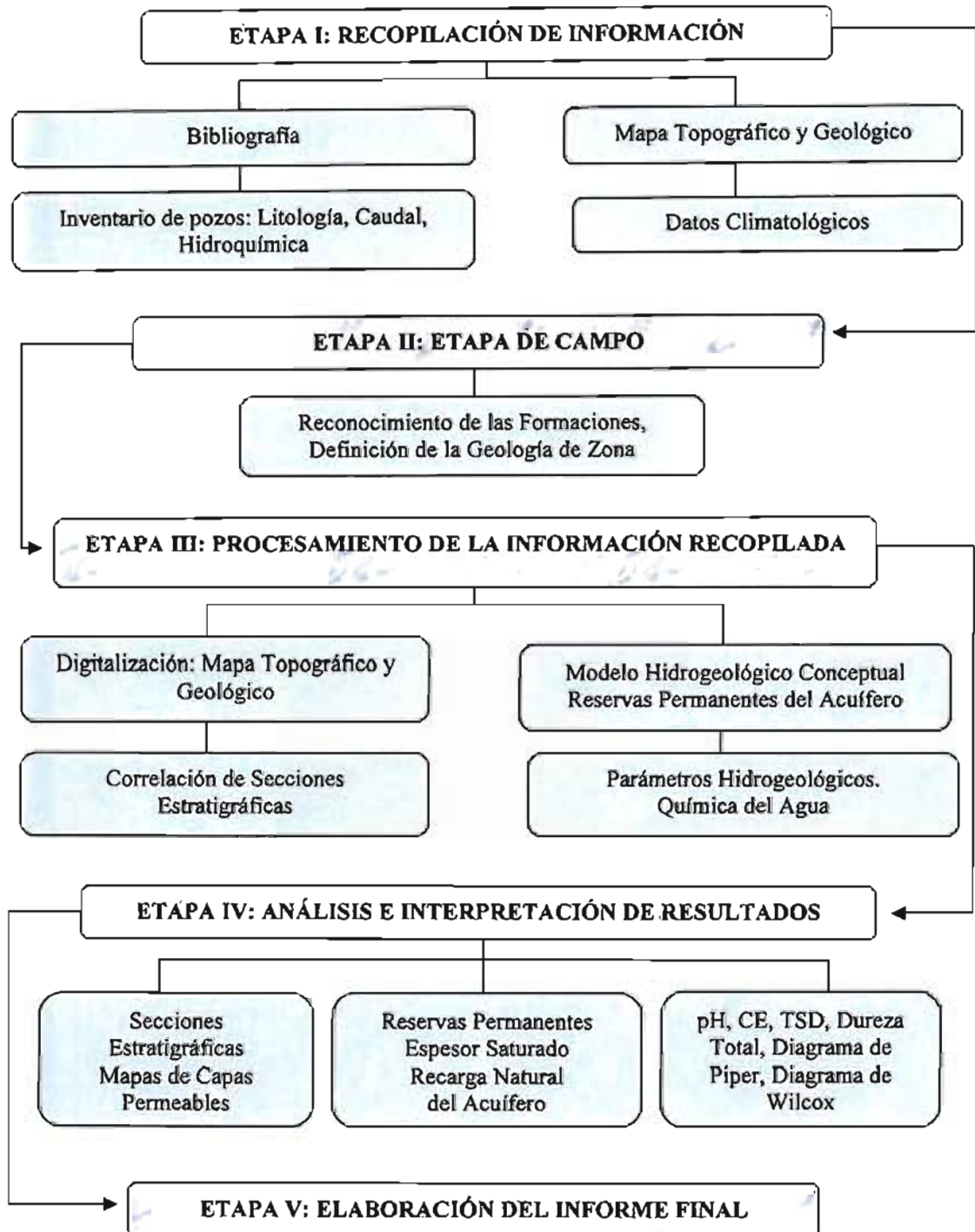
UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

Capítulo III

Marco Metodológico

3.1 Metodología Aplicada

Para la obtención de los objetivos previstos en el presente estudio hidrogeológico, se procedió de acuerdo con las siguientes etapas:



3.2 Etapas de la Investigación

3.2.1 Etapa I: Recopilación de la Información

3.2.1.1 Revisión de Estudios Previos

En esta etapa se procede a recopilar toda la información y datos existentes en el área de estudio, cuyo objetivo es el de conocer la disponibilidad de los mismos y comenzar la investigación. En primer orden se propone la búsqueda de información de trabajos previos relacionados con la zona en estudio y zonas adyacentes, tales como: trabajo de investigación, trabajos finales de pregrado y postgrado, congresos venezolanos de geología, mapas topográficos, geológicos e hidrogeológicos; consultando los archivos actuales en organismos tanto públicos como privados como el Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Instituto Nacional de Geología y Mina (INGEOMIN – Mérida), Escuela de Ingeniería Geológica (ULA), Corporación de los Andes (CORPOANDES).

Por último, se revisaron los documentos de la División de Malariología de la Ciudad de Barinas donde se conservan estudios técnicos previos, cuyas fuentes sirvieron para determinar y precisar la distribución lateral de todas aquellas facies sedimentológicas entendidas como rocas reservorios (acuíferos), describiendo de esta forma la geología local.

3.2.1.2 Recopilación y Validación de la Información

Se recopiló el siguiente material de interés para el estudio:

- Mapas Cartográficos a escala 1:100.000, correspondiente a las hojas de Cartografía Nacional: Boconó 6143; Guanare 6243; Barinitas 6142; Sabaneta 6242; Barinas 6141 y Mijagual 6241.
- Mapas Geológicos a escala 1:50.000, correspondientes a la División de Exploraciones Geológicas de la Dirección de Geología del Ministerio de Energía e Hidrocarburos de la Región Barinas - Estado Barinas y la Región de Guanare (Ospino II) - Estado Portuguesa.

- Inventario de pozos suministrado por el Prof. Hervé Jégat del CIDIAT en la base de datos SIGATLAS y la División de Malariología de la Ciudad de Barinas.
- Datos Climatológicos de precipitación, evaporación y escorrentía suministrados por el Prof. Luis Mora del CIDIAT.

3.2.2 Etapa II: Etapa de Campo

Tiene como propósito, reconocer las unidades geológicas, presentes en el área, aplicando los conocimientos y las herramientas ya aprendidos, sobre la geología de superficie, haciendo uso de GPS, mapas geológicos y topográficos para delimitar, identificar formaciones, reconocer las características de la roca, litología, estructuras, geomorfología, así como el clima, la hidrografía y otros factores naturales o artificiales que determinen las condiciones de formación, yacimiento, difusión, movimiento, alimentación y descarga de las aguas subterráneas.

3.2.3 Etapa III: Procesamiento de la Información Recopilada

3.2.3.1 Digitalización del Mapa Topográfico y Geológico

Para la realización de estos mapas se utilizó el programa AUTOCAD 2008. Se insertó la cuadrícula escaneada de los mapas topográficos de la Cartografía Nacional en donde se delimitó el área de estudio (Figura III-1). Se procedió a georeferenciar el mapa para luego crear como capas individuales las curvas de nivel, los ríos principales y secundarios, las vías y carreteras de comunicación y los centros poblados. Para el mapa Geológico, se utilizó la imagen suministrada por el CIDIAT (imagen nc_19_iii_lcc) y se corroboró con los mapas geológicos a escalas 1:50.000 de las regiones anteriormente nombradas. Se procedió a digitalizar las formaciones geológicas en capas separadas al igual que los elementos del mapa topográfico. Con la herramienta *Layouts*, se terminó de añadir características importantes como la escala gráfica, el norte, y luego, se añadió la leyenda y el nombre de los ríos.

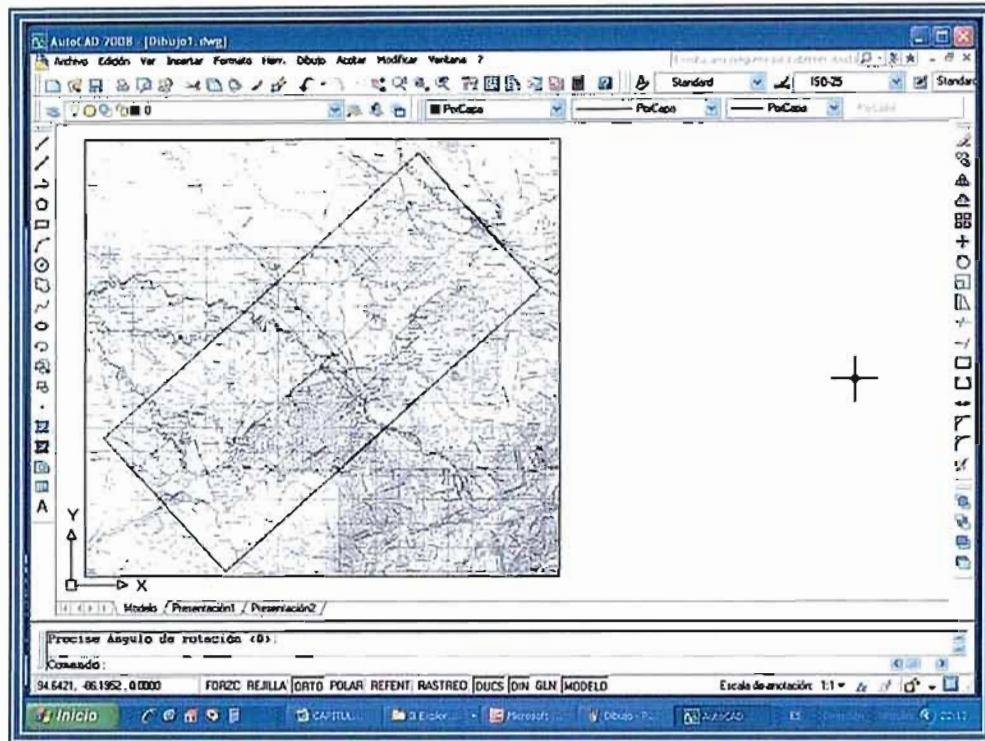


Figura III-1. Cuadrícula escaneada del área de estudio insertada en Autocad 2008.

3.2.3.2 Inventario de Pozos

De la base de datos SIGATLAS suministrada por el CIDIAT, se obtuvo la información necesaria de los pozos ubicados en la zona por lo que fue necesario observar la codificación de cada pozo los cuales están identificados con diez caracteres, de la siguiente manera: (PO5571007A; BA5273001A), de los cuales los dos primeros caracteres indican el estado (PO = Portuguesa y BA = Barinas), los siguientes cuatro dígitos (5571; 5273) representan la cuadrícula (o sección extensa) a la que pertenece el pozo, luego, tres dígitos (007; 001) que identifican el número del pozo dentro de la sección extensa; finalmente, una letra (A = Activo) que señala la condición de funcionamiento del pozo.

La base de datos SIGATLAS contiene un total de 836 pozos pertenecientes a los estados Barinas y Portuguesa, de los cuales solo 160 se encuentran dentro del área de estudio, logrando ser ubicados gracias a las coordenadas UTM suministradas. Se realizó una clasificación de los pozos, en hojas del programa Excel, dependiendo del tipo de información que contienen. Entre la información se tiene: inventario general de 160 pozos, 29 pozos con litología, 69 pozos con caudal, 98 pozos con nivel estático y 43 pozos con datos químicos (pH, conductividad eléctrica y Total de Sólidos Disueltos, etc.).

3.2.3.3 Ubicación de los pozos en el área de estudio.

Haciendo uso del programa SURFER 8.0, se superponen sobre el mapa topográfico, los pozos con información química y litológica correspondiente al área de estudio con su ubicación exacta en coordenadas UTM.

3.2.3.4 Secciones Estratigráficas

Para realizar una interpretación sedimentológica sobre el comportamiento lateral y vertical de la estratigrafía en el acuífero y debido a la variedad del material litológico existente en los pozos, hubo que clasificar las muestras en material permeable e impermeable, siguiendo las propiedades físicas de las rocas; asignándole un color marrón oscuro con un patrón de líneas de trazo al material impermeable y un marrón claro con un patrón de puntos al material permeable.

Los materiales permeables están conformados por grava, arena, capa vegetal, grava y arcilla, arena gruesa y fina, granzón, arena fina arcillosa y canto rodado. Los materiales impermeables están conformados por arcilla, limo arcilloso, polvillo y arcilla.

De los 29 pozos con información litológica, se utilizaron 19 con profundidades promedio entre 15 y 150 m. para elaborar las secciones litológicas, representándose

gráficamente, haciendo uso del programa AUTOCAD 2008, un total de 12 de estas secciones.

La distancia promedio entre los pozos es de 4 Km. el cual representa la distancia máxima de separación en el área de estudio. Motivado a la falta de información litológica se procedió a realizar algunas secciones con una distancia mayor a 4 Km.

3.2.3.5 Modelo 3D

El modelo tridimensional del terreno se realizó partiendo del mapa topográfico descrito anteriormente, con la ayuda de una herramienta de AUTOCAD denominada EZYSURF, que transforma los datos *.dwg para emplearlos en el programa Surfer 8.0. Se partió del menú **Grid**, comando **Data** y se seleccionó el archivo de interés, para el método de interpolación de la información se empleó el **Kriging** (Figura III-2) Posteriormente, se superpusieron a este modelo de 3D los Ríos y el inventario de pozos.

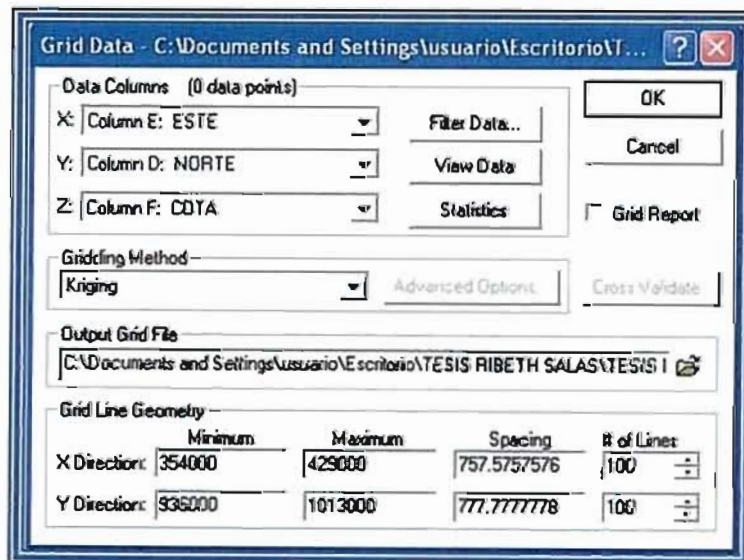


Figura III-2. Carga de la base de datos para la superficie del área en 3D.

3.2.3.6 Modelo Hidrogeológico Conceptual

La base de datos consistió en tomar como eje principal la sección estratigráfica con mayor número de capas, en este caso la sección B-B' (pozo N° 109, código BA5372016N) con 15 capas. Partiendo de este número de capas, se realizó una tabla de datos en Excel que contiene identificación del pozo, Coordenadas UTM Norte (Y), Coordenadas UTM Este (X), la elevación de la capa Z que se obtuvo restando a la cota del terreno, la profundidad a la que se hallaba cada capa, la cual fue punto de partida para seguir la secuencia de los topes y bases de las 15 capas de cada pozo siendo las capas permeables los números pares y las impermeables los números impares. Seguidamente, se restó la profundidad al tope de la capa 1 al tope de la capa 2; luego al tope de la capa 3 que viene siendo la base de la capa 2, se le restó la profundidad de la capa 2 y así sucesivamente hasta llegar a la última capa de cada pozo.

Partiendo de estos datos en conjunto con el mapa topográfico, base y tope y el modelo 3D del acuífero se empleó el programa **Surfer 8.0** obteniéndose el Modelo Hidrogeológico Conceptual, al cual se le designó una coloración ocre a las capas impermeables y una amarilla a las capas permeables usando 3D Surface Properties (Figura III-3).

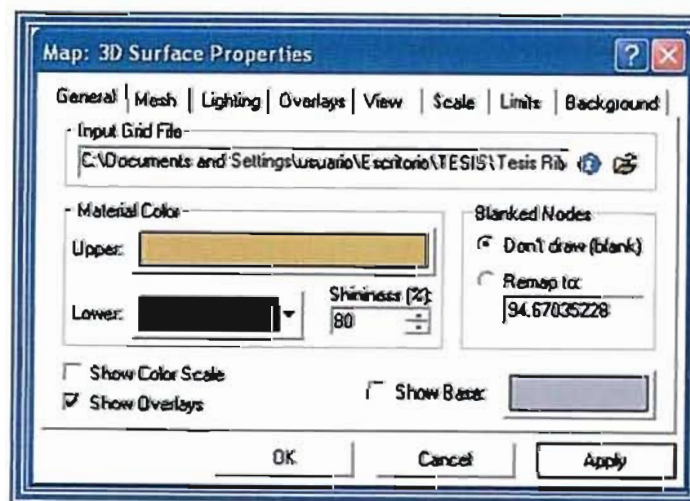


Figura III-3. Designación de colores en función de la permeabilidad de las capas

3.2.3.7 Cálculo de Reservas Permanentes Permeables

Las reservas permanentes se calculan una vez obtenido el modelo hidrogeológico conceptual, ya que a través de las capas permeables e impermeables que lo definen, es que se genera un aproximado del volumen total de la roca, para luego mediante una fórmula calcular dichas reservas de agua en el subsuelo.

Para determinar el volumen total de roca existente en el acuífero se usa el programa Surfer 8.0, por medio de la ventana **Grid**, comando **Volumen**, donde aparece una ventana de dialogo. Se selecciona la capa superior (elevación del terreno) y luego la capa inferior (capa correspondiente a una capa permeable) (Figura III-4).

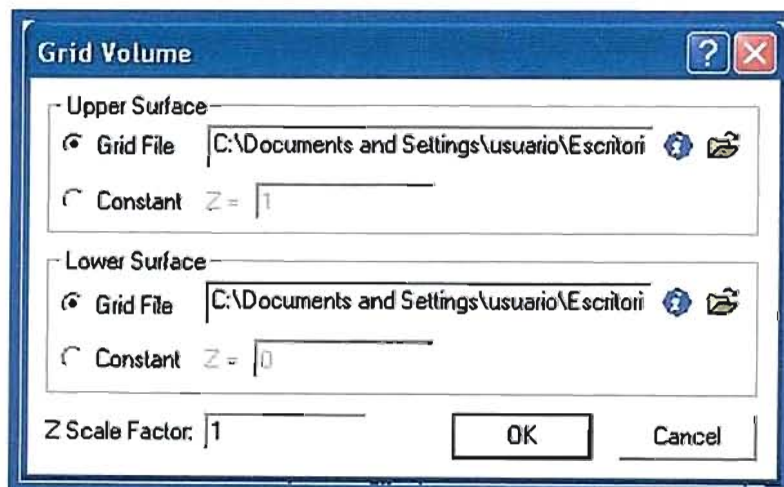


Figura III-4. Ventana para el cálculo del volumen total de roca

El programa arroja un reporte del cálculo para cada capa permeable. Luego de obtener todos los valores individuales se determinan el total del volumen de las capas en las que se encuentran las reservas de agua que determinan el acuífero (Figura III-5).

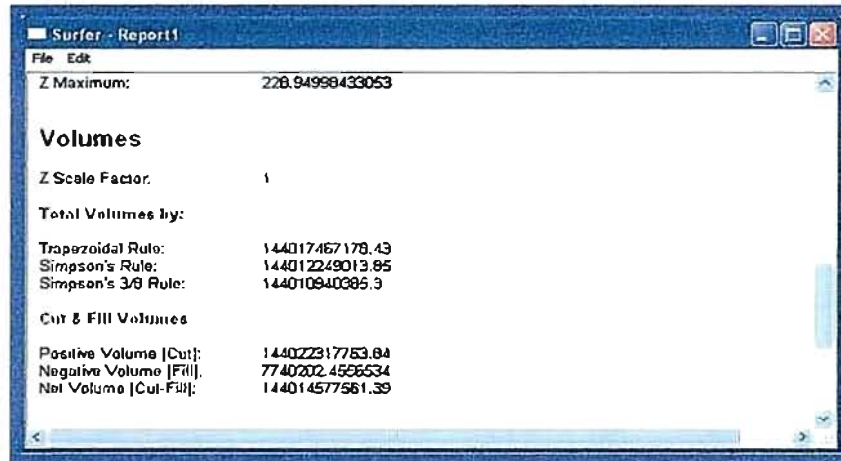


Figura III-5. Reporte de Golden Software Surfer 8.0 de cálculo de volúmenes.

Entre los datos entregados en el reporte de programa se encuentran diversos volúmenes calculados por métodos matemáticos diferentes, de ellos se toma el volumen neto (Net Volume [Cut-Fill]), resaltado en el fragmento del reporte mostrado en la figura III-4.

Para determinar el Volumen de Reservas Permanentes (VRP) se hace a través del Volumen Permeable Total Saturado (VPTS), multiplicado por la porosidad eficaz del material (ϕ_{ef}). Así se tiene:

$$VRP = VPTS * \phi_{ef} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

VRP = Volumen de reservas permanentes.

VPR = Volumen de reserva permeable.

VPTS = Volumen permeable total saturado.

ϕ_{ef} = Porosidad eficaz.

La porosidad eficaz media se expresa en porcentaje y el valor utilizado es 20%, tomando en cuenta que el material que constituye el acuífero, en este caso representa

a rocas sedimentarias sueltas - arenas, esto según la tabla de porosidades totales y eficaces de Johnson (1967), Davis (1969), Schoeller (1962) y Ward (1967).

3.2.3.8 Cálculo de la Recarga Natural del Acuífero

La determinación de la recarga natural, o infiltración, se hace a través de un balance hídrico, que consiste en la sumatoria algebraica de los aportes que pueden mantener el volumen de reservas. Los parámetros involucrados son: la precipitación, la evaporación y el escurrimiento, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Infiltración} = \text{Precipitación} - \text{Evaporación} - \text{Esgurrimiento}$$

Los valores de precipitación y evaporación se obtuvieron de la base de datos del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (M.A.R.N.R) - Dirección de Hidrología y Meteorología, División de Información Hidrológica, correspondientes a la Estación **La Quinta**, Serial: 3180, Estado Barinas, con Coordenadas UTM Norte: 974741,489 Este: 390021,511 y Altitud: 165 m.s.n.m. y la Estación **Mesa de Cavacas**, Serial: 2281, Estado Portuguesa, con Coordenadas UTM Norte: 1003559,198 Este: 412081,449 y Altitud: 255 m.s.n.m.; para un período de 12 años correspondientes a 1980 – 1991. Para obtener los valores medios de escurrimiento se utilizó un mapa de isolinéas de escurrimiento, desarrollado por el CIDIAT, en el que se muestra la zonificación a partir de los caudales de escurrimiento en diferentes intervalos (Figura III-6).

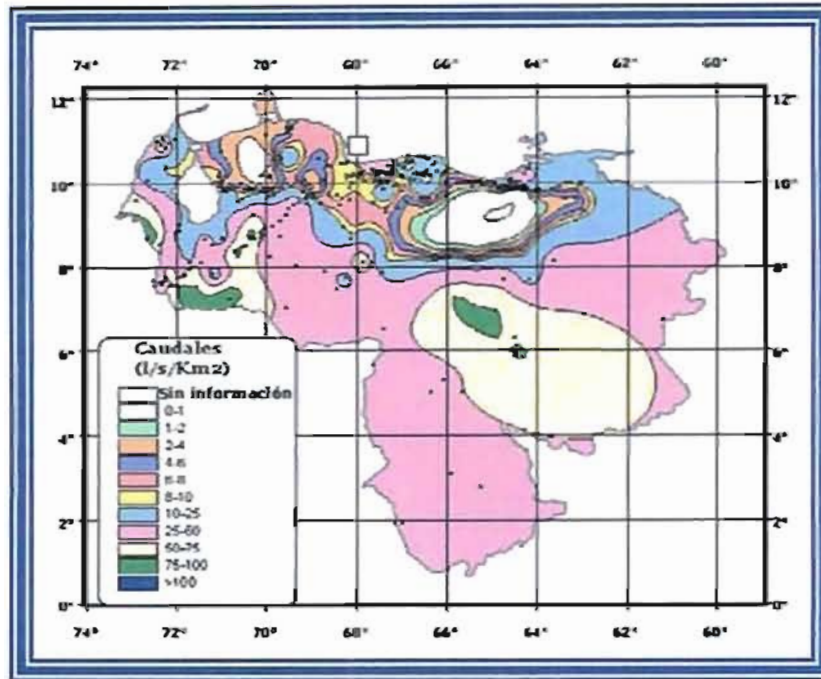


Figura III-6. Mapa de isocaudales de escurrimiento. CIDIAT (2004)

Para los datos de escurrimiento aportados por el mapa, fue necesario establecer los valores promedios asignados a la zona de estudio. El color rosado claro de 25-50 l/s/Km².

Luego de determinar el promedio, se deben transformar a unidades que estén en función de las unidades de precipitación y evaporación (mm/mes).

El cálculo de la infiltración se hace para cada año, de cada una de las dos estaciones (Tabla Los valores menores de cero, para la infiltración, se tomaron como nulos. Entonces el total anual se realizó con la sumatoria de los valores positivos.

Tabla III-1. Parámetros climatológicos con resultados de Infiltración. Estación La Quinta (1980)

CÁLCULOS DE INFILTRACIÓN ESTACIÓN LA QUINTA AÑO 1980												
PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PRECIPITACION(mm)	0,00	26,60	43,00	124,90	305,30	192,30	283,00	178,50	162,30	174,50	46,60	16,80
EVAPORACION(mm)	177,20	212,20	241,20	202,00	139,10	111,10	122,80	141,50	165,20	172,90	166,10	180,80
ESCORRENTIA (mm)	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44
INFILTRACIÓN)					65,76		59,76					

3.2.3.9 Mapas de Niveles Estáticos y Líneas de Flujo

Para la elaboración del mapa de niveles estáticos y de líneas de flujo, se utilizaron 98 pozos del inventario proporcionado por el CIDIAT los cuales cuentan con datos de nivel estático. Con estos pozos se realiza una tabla en Microsoft Excel que consta de siete columnas, correspondientes a N° de pozos, Identificación, Coordenadas Norte, Coordenadas Este, Cota, Profundidad del Agua y Niveles Piezométricos. El Nivel Piezométrico se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$N_p = CT - NE \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

N_p = Nivel Piezométrico

CT = Cota del terreno

NE = Nivel estático (Profundidad del Agua)

Posteriormente con la ayuda del programa Surfer 8.0, partiendo del menú **Grid**, comando **Data**, se selecciona el archivo, para crear un mallado, usando el método de interpolación **Kriging**. (Figura III-7).

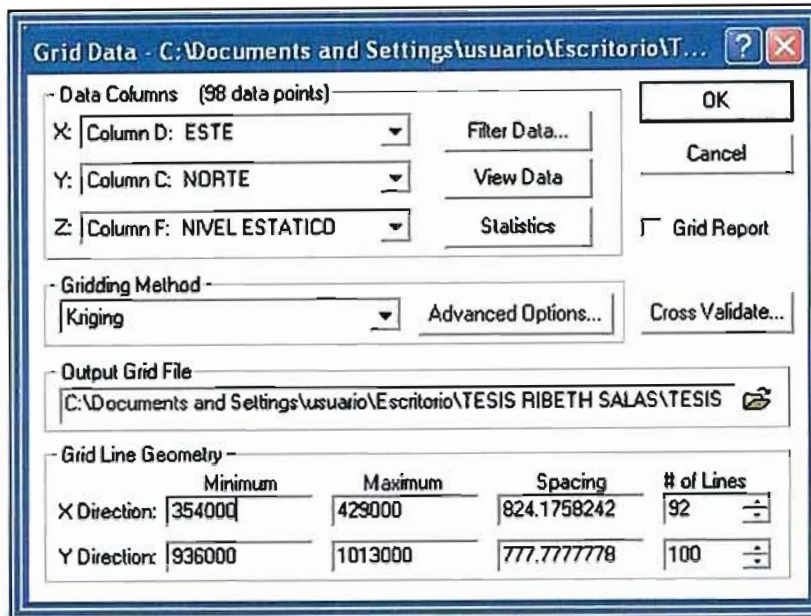


Figura III-7. Elaboración del mapa freático

Luego se crea el mapa piezométrico usando la herramienta **Map**, comando **Contour Map**, para así crear el mapa de contorno. A continuación se blanquea el mapa con el archivo creado anteriormente. Para crear el mapa de líneas de flujo se abre el menú **Map**, comando **Vector Map** y se carga el archivo grid creado anteriormente, y el programa Surfer 8.0 muestra el mapa de vectores.

Estos mapas nos permiten determinar a escala regional, la dirección del movimiento de las aguas subterráneas en el área de estudio, la cual viene dada por las líneas de máxima pendiente, representada por los vectores de líneas de flujo, entre las curvas piezométricas obtenidas.

3.2.3.10 Evaluación de la Calidad del Agua

Para la elaboración del mapa de pH se creó una base de datos en el programa Microsoft Excel 2007, para llevarlos al programa Surfer 8.0 donde se utilizaron las

opciones Grid/Data, donde muestra la venta que contiene en la columna E las coordenadas Este, en la columna D las coordenadas Norte y en la columna G los valores de pH (Figura III-8).

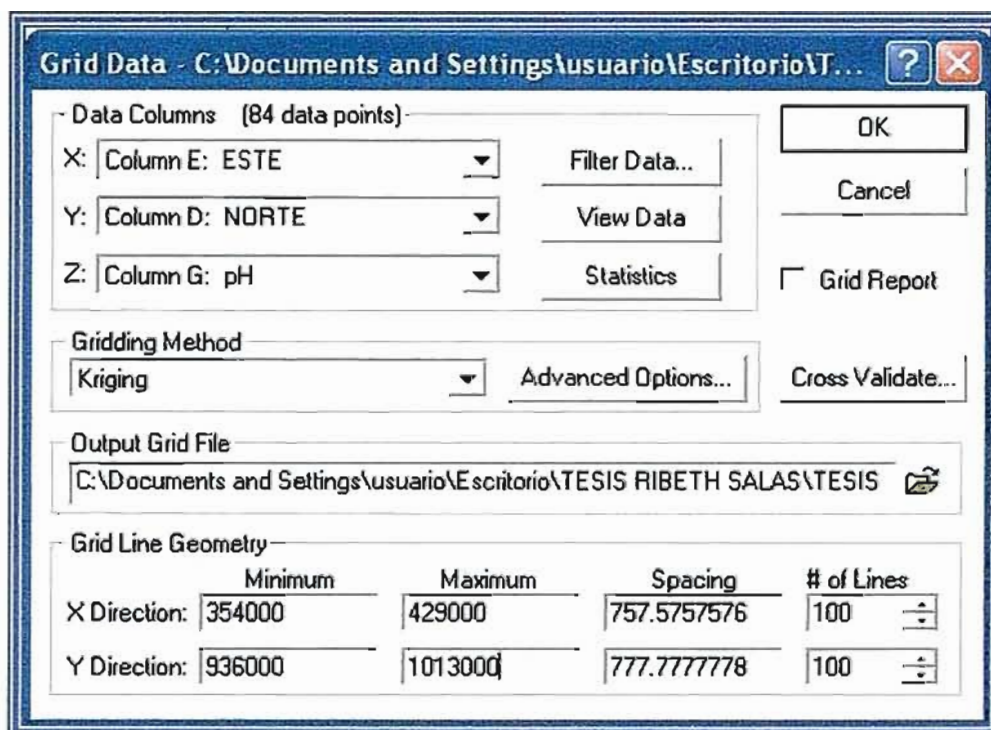


Figura III-8. Ventana para la creación de los datos de pH

Posteriormente se emplearon las opciones **Map/Contour Map/NewContour** para que se generara el mapa de pH. Se realizó el respectivo blanqueo en Surfer 8.0 mediante la opción **Grid/Blank**. Siguiendo este mismo procedimiento se obtienen los mapas de Conductividad Eléctrica, Total de Sólidos Disueltos, Caudal y Dureza Total, trabajándose todos en un mismo archivo (Figura III-9)

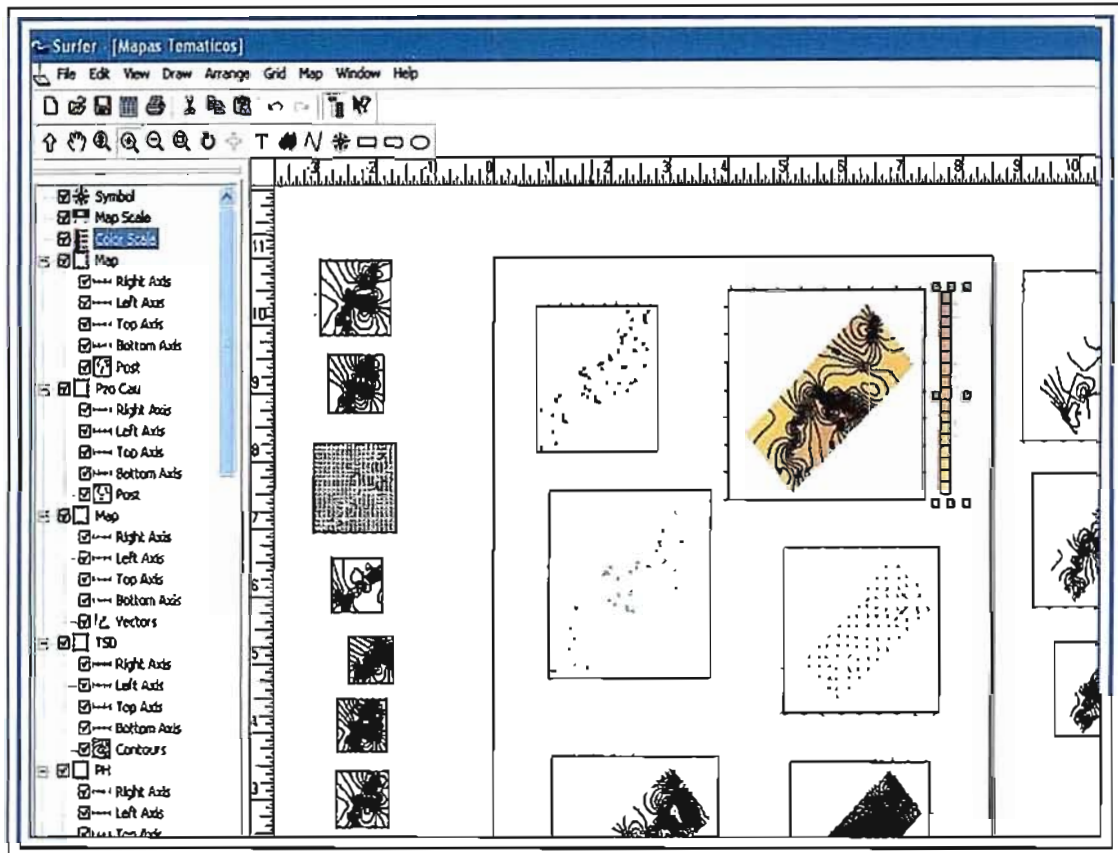


Figura III-9. Archivo de Surfer 8.0 para la elaboración de los mapas de Contorno

3.2.3.11 Clasificación química del agua.

Para procesar la información química perteneciente a los diferentes pozos se utilizó un programa llamado **EASY_QUIM.4** que corre bajo **Microsoft Excel 2007**, donde se introducen datos como: coordenadas UTM, fecha, los valores químicos, cantidad de aniones, cationes, pH, conductividad, total de sólidos disueltos, dureza total, etc., de los pozos en una serie de celdas y posteriormente se activa la opción de recalcular los gráficos (Figura III-10)

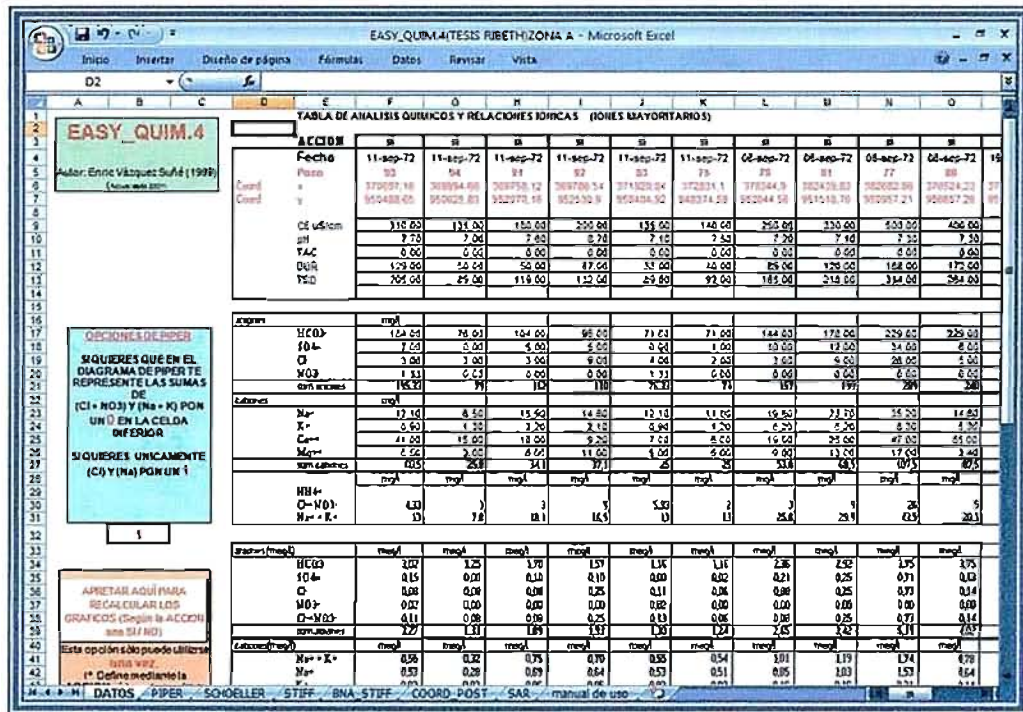


Figura III-10. Ventana del Programa Easy_Quim.4. (Campaña 1971)

Se cuenta con un total de 43 pozos divididos en 2 zonas (24 para la zona A y 19 para la zona B), ya que el programa genera los diagramas para un máximo de 24 pozos y así obtener una mejor clasificación química de las aguas en el área de estudio.

En el caso del diagrama triangular de Piper se determina desde el punto de vista químico y de acuerdo a los iones dominantes, si las aguas son aptas para el consumo humano y riego. Se trata de un diagrama triangular que toma en cuenta la cantidad de aniones, cationes, pH, conductividad, total de sólidos disueltos, dureza total, etc., el cual clasifica el agua según el anión o el catión que sobrepasa al 50% de sus sumas; si ninguno supera al 50% se nombra los dos más abundantes. Luego, si conviene se puede añadir el nombre de algún ión menor de interés y que esté en concentración anormalmente alta.



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

Capítulo IV
Presentación y Análisis de los Resultados

4.1 Mapa Topográfico y Geológico

4.1.1 Mapa Topográfico

Una vez finalizadas las etapas relacionadas con la búsqueda de información, depuración de datos, validación, interpretación de mapas y datos obtenidos en campo, se procedió a la digitalización para representar cartográficamente y analíticamente, los modelos geológicos e hidrogeológicos correspondientes al área de estudio entre el Río Santo Domingo y el Río Guanare.

El área de estudio presenta una amplia red hidrográfica, constituida principalmente por el Río Santo Domingo, Río La Yuca, Río Masparro, Río Boconó, Río Tucupido y Río Guanare siendo una fuente importante de recarga superficial a los acuíferos de la zona (Figura IV-1).

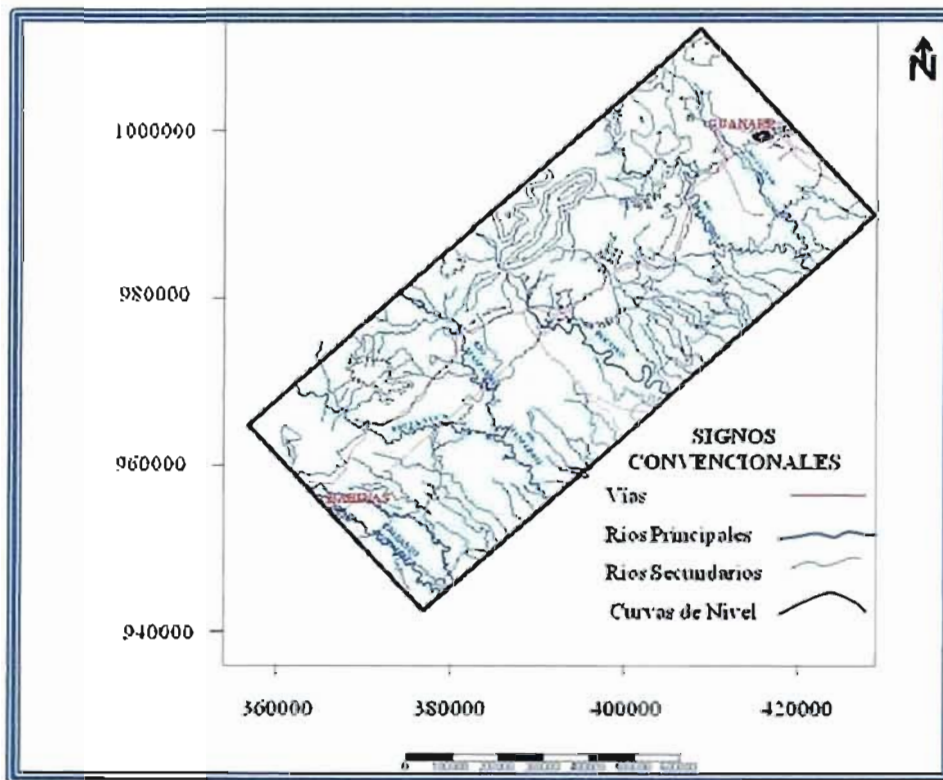


Figura IV-1. Mapa Topográfico en 2D del área de estudio.

4.1.2 Mapa Geológico

Desde el punto de vista geológico, se observan formaciones con edades comprendidas entre el Eoceno Medio, como la Formación Pagüey y depósitos recientes como aluviones. Así mismo se puede observar la discordancia existente entre la Formación Parángula y la Formación Pagüey como la existente entre La Formación Río Yuca y la Formación Guanapa.

Los depósitos aluvionales del cuaternario están constituidos por aluvión reciente, antiguo, terrazas y depósitos piedemontino, cuyos materiales son de limo y arcilla con intercalaciones de gravas, peñones y arenas no consolidadas. La capa superficial está integrada por materiales finos (limos y arcillas), creando una capa impermeable a nivel superficial dificultando el efecto de infiltración en los acuíferos. Las estructuras geológicas presentes en la zona son la Falla de Guanapa y la Fila de la Garza (Figura IV-2).

Los pozos con información litológica (Anexo I-B) tienen una separación comprendida entre 0,6 Km. y 7 Km. definidos por las secciones estratigráficas trazadas en el mapa. Estas secciones se han clasificado para determinar la continuidad de las capas en el subsuelo. Se establece que para menor porcentaje de error al momento de definir una sección estratigráfica, la separación entre los pozos no debe exceder de 4 Km. Debido a la falta de información litológica de pozos más cercanos entre sí, en la presente investigación se analizaron las secciones cuya separación se encuentra entre 0,6 Km. y 5 Km.

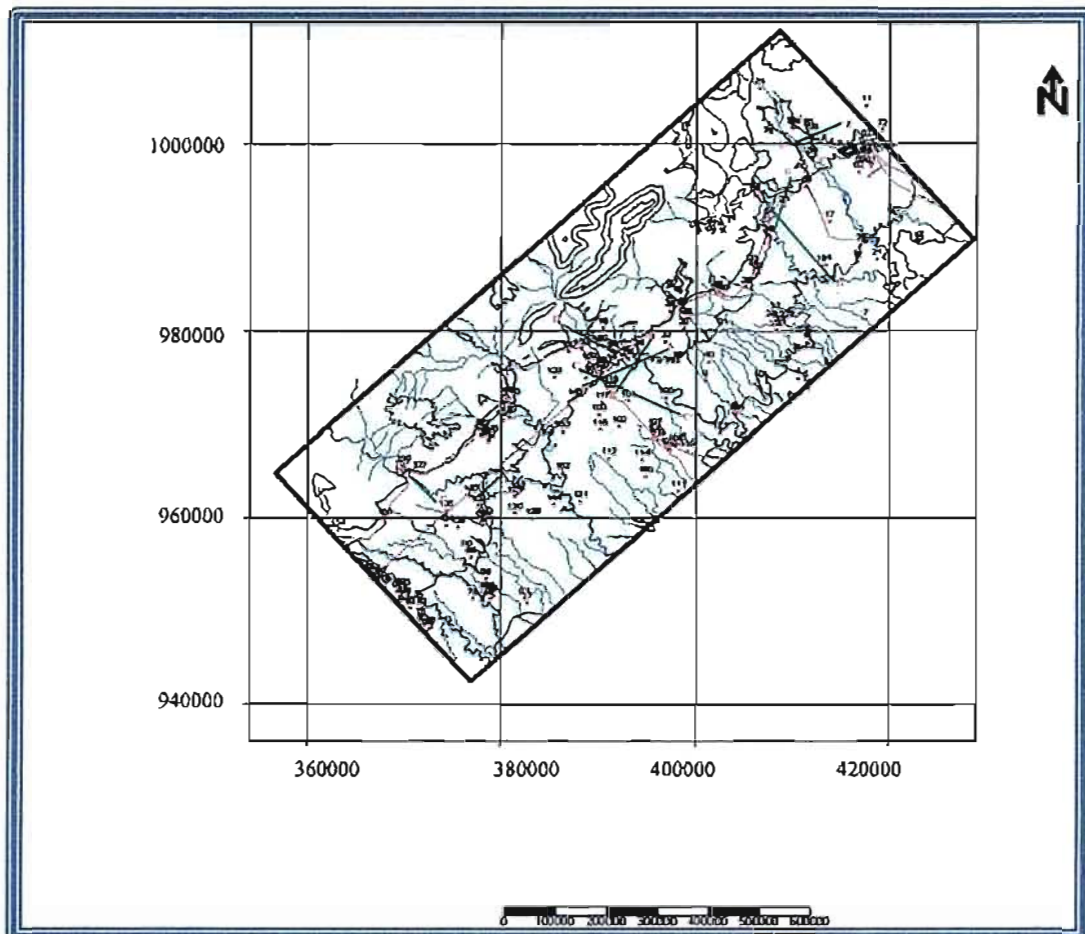


Figura IV-3. Mapa de ubicación de pozos y secciones estratigráficas del área de estudio

4.3 Análisis de las Secciones Estratigráficas

4.3.1 Sección Estratigráfica A-A'

Se localiza hacia la margen derecha del Río Boconó y está constituida por los pozos P115, P114 y P112 en dirección NE-SO (Figura IV-4). En esta sección se puede observar una capa impermeable superior que sirve de capa protectora impidiendo la infiltración y el paso de agentes que puedan contaminar las aguas subterráneas debido a que actúa como una capa sello. La separación entre los pozos P115 y P114 es de 4,3 Km. y los pozos P114 y P112 se hayan separados por una distancia de 3,5 Km.

El nivel freático se localiza a escasos 3 metros entre el pozo P114 y P112, por debajo de la capa impermeable siendo de esta manera un Acuífero Confinado. Se observan dos capas permeables de un espesor y continuidad lateral relevante a lo largo de la sección, separadas por una capa impermeable de pequeño espesor. Como base del acuífero, se tiene una capa impermeable de gran espesor lo que impide la fuga del agua, constituyendo una importante reserva.

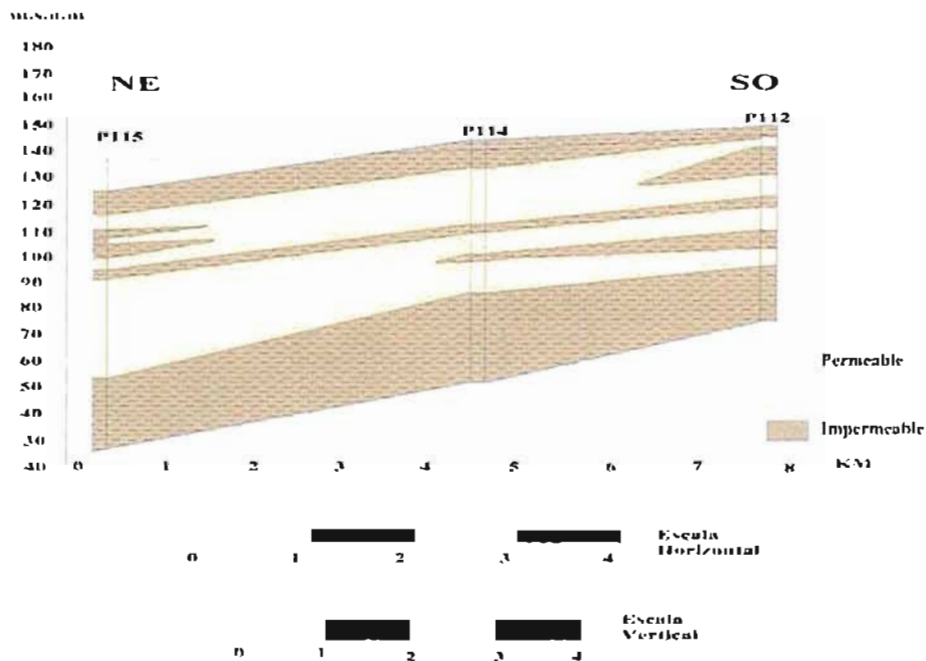


Figura IV-4. Sección Estratigráfica A-A' del área de estudio

4.3.2 Sección Estratigráfica B-B'

Se encuentra ubicada hacia la margen derecha del Río Boconó, constituida por los pozos P113 y P109 con una separación entre ellos de 3,5 Km y otro tramo por los pozos P109 y P115 cuya distancia es de 1,3 Km. Esta sección presenta una mayor cantidad de capas impermeables en relación a las capas permeables, observándose un Acuífero Confinado entre los pozos P113 y P109 con un nivel estático a escasos 3 metros de profundidad en la capa impermeable, garantizándose con esto, la acumulación de agua.

El tramo comprendido entre los pozos P109 y P115, cuya distancia de separación es de 1,3 Km., presenta características de Acuífero libre, con un nivel estático a 3,5 metros de profundidad (Figura IV-5). En este tramo de la sección las aguas están sujetas a contaminación debido a la exposición al aire libre. Sin embargo, aproximadamente, a 50 metros de profundidad, el acuífero es de tipo confinado, donde los espesores de arena son notables, lo que indica buena fuente del recurso hídrico.

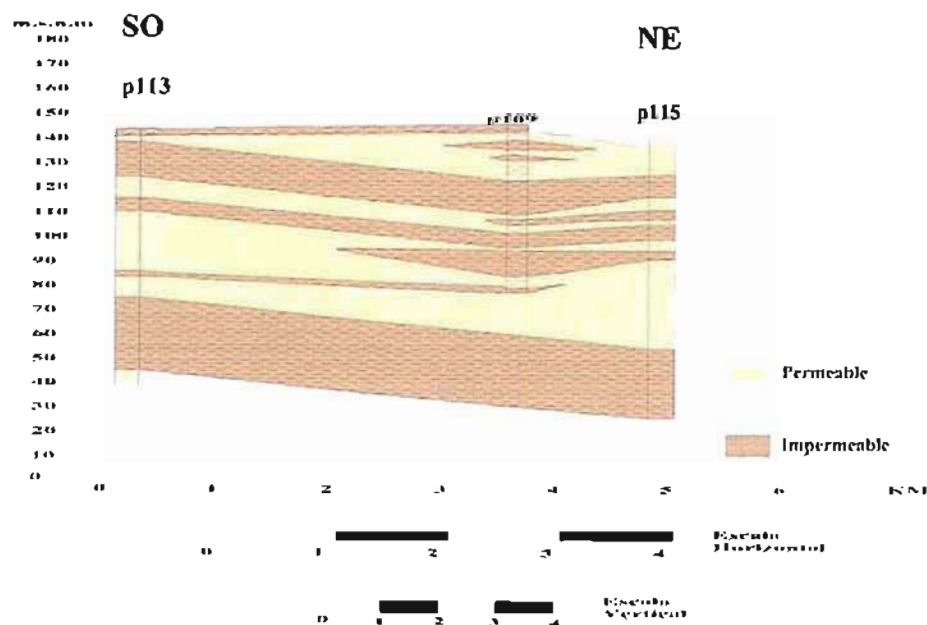


Figura IV-5. Sección Estratigráfica B-B' del área de estudio

4.3.3 Sección Estratigráfica C-C'

Esta sección se encuentra entre los Ríos Masparro y Boconó en dirección Noroeste-Sureste, equidistante y paralelo a dichos ríos. Los pozos que conforman la sección estratigráfica C-C' son P112, P113 y P111 cuyas separaciones son de 4 Km. entre los pozos P112 y P113 y de 3,8 Km. entre el P113 y P111. Es importante señalar que el tramo P112 y P113 presenta una distribución de capas impermeables intercaladas con las capas permeables. A una profundidad de 40 metros, se observa una capa permeable que aumenta de espesor en dirección NO-SE, siendo la capa más representativa del acuífero. La presencia de una capa impermeable suprayacente a una capa permeable, permite inferir que se trata de un Acuífero Confinado lo cual es corroborado puesto que a lo largo de la sección el nivel estático se encuentra superior a la capa permeable y dentro de la capa impermeable a causa de la sobresaturación de las aguas subterráneas en los espacios porales del material permeable. Aunque el tramo comprendido entre los pozos P113 y P111 presenta continuidad lateral con las capas del tramo anterior, no es representativo desde el punto de vista de reserva por carecer de información litológica (Figura IV-6)

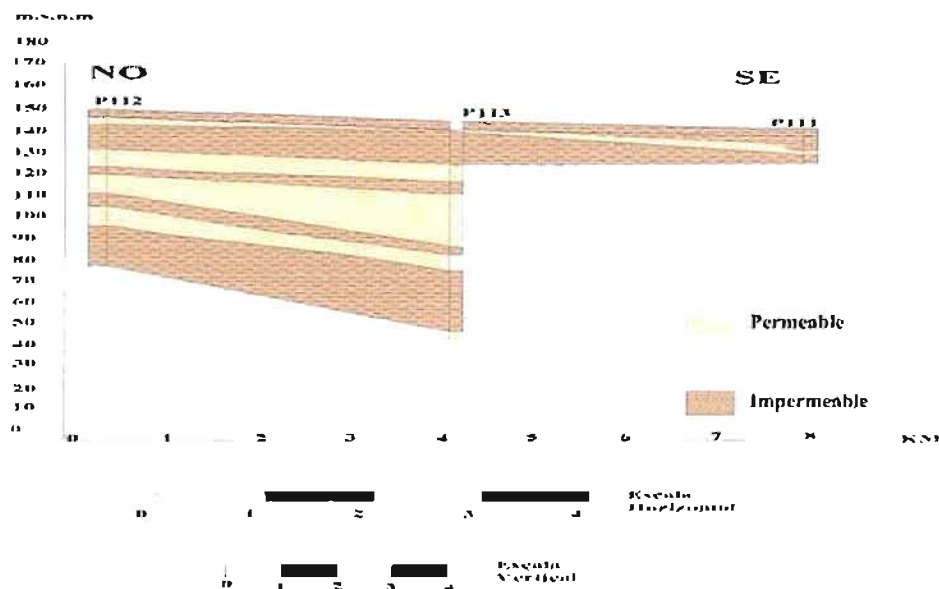


Figura IV-6. Sección Estratigráfica C-C' del área de estudio

4.3.4 Sección Estratigráfica D-D'

Está conformada por los pozos P146, P103 y P102 y se ubica paralelamente a la sección C-C'. La distancia entre los pozos P146 y P103 es de 3 Km., observándose un Acuífero Confinado con un buen espesor de capa permeable, lo que es favorable para la acumulación de agua ya que el nivel estático se encuentra a 3 metros de profundidad, dentro de la capa impermeable como consecuencia de la sobresaturación de aguas subterráneas de la capa permeable (Figura IV-7).

La zona comprendida entre los pozos P103 y P102 carece de capa impermeable por lo que se puede inferir que se trata de un Acuífero Libre cuyo nivel estático se encuentra a 2 metros de profundidad de la capa permeable. Es importante destacar que por ser este un Acuífero Libre y tomando en cuenta el incremento de las actividades económicas del área y de crecimiento poblacional, es susceptible de contaminación

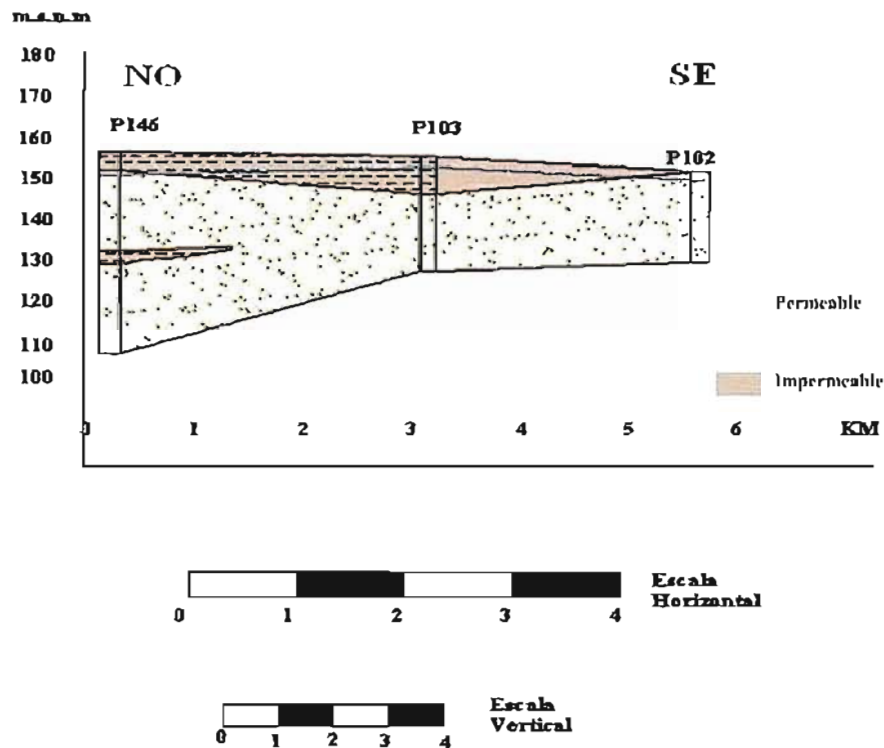


Figura IV-7. Sección Estratigráfica D-D' del área de estudio

4.3.5 Sección Estratigráfica E-E'

Se encuentra ubicada hacia la margen izquierda del Río Guanare, cercana a la ciudad de Guanare en dirección NE-SO, constituida por los pozos P78 y P73. A una profundidad aproximada de 8 metros se ubica el nivel estático el cual desciende unos 10 metros en dirección SO. Por contener una capa superficial impermeable y un nivel estático ubicado dentro de ella, se puede inferir que se trata de un Acuífero Confinado aunque no se muestre una capa base impermeable (Figura IV-8).

Este acuífero presenta una importante reserva debido al espesor de la capa permeable que es superior a unos 45 metros.

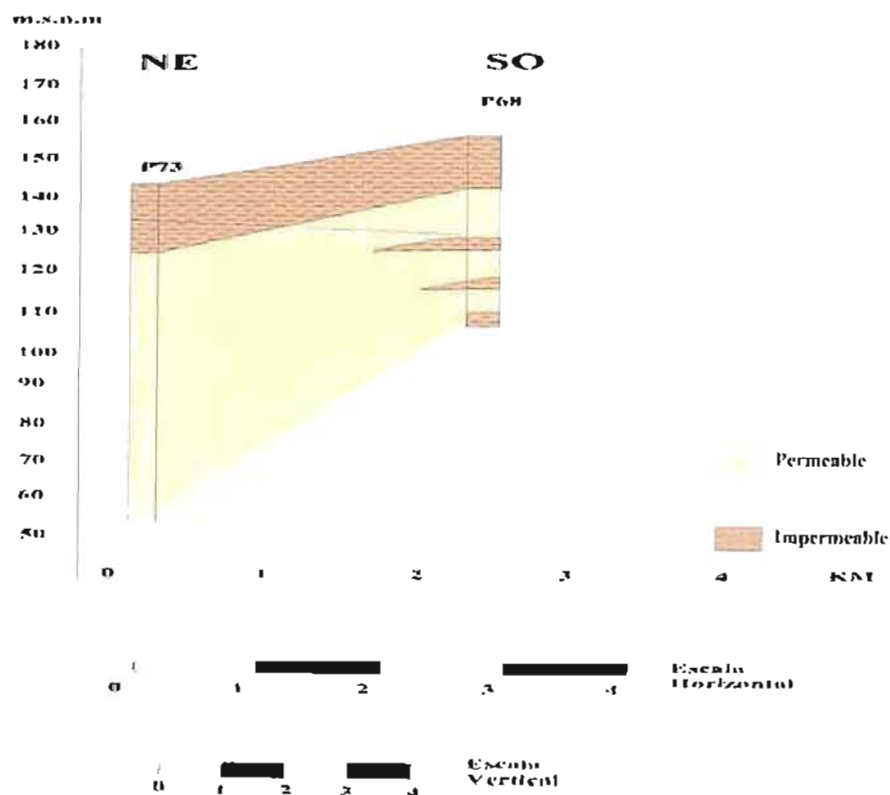


Figura IV-8. Sección Estratigráfica E-E' del área de estudio

En los Anexos II, se muestran 10 secciones estratigráficas: la 5 últimas se localizan en la zona Noreste del área de estudio, de las cuales la sección F-F' se encuentra ubicada cerca de la ciudad de Guanare, la sección G-G' se encuentra ubicada entre el Río Guanare y el Río Tucupido y la sección H-H', se ubica haciendo corte al Río Tucupido. Hacia la zona Suroeste del área de estudio se realizaron 2 secciones, la sección I-I' localizada perpendicular al Río Caipe y la sección J-J' paralela al Río Santo Domingo.

Estas secciones fueron realizadas con la finalidad de contar información más detallada acerca de la geología del subsuelo, útil para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual.

4.4 Modelo 3D

La evolución de la cuenca sedimentaria del área de estudio, después de una sucesión de periodos de levantamientos y hundimientos, como lo evidencia las discordancias existentes entre las formaciones Pagüey y Parángula (ausencia casi total del Oligoceno) y la discordancia entre la formaciones Río Yuca y Guanapa (ausencia del tope del Pleistoceno-Plioceno), dio paso a la deposición de un ambiente continental Piemontino en partes y de Planicie de inundación en otras, de unos 250 m. de aluviones recientes, compuestos por arcilla, limo, arenas y gravas como corresponde a este ambiente deposicional.

En el modelo tridimensional obtenido mediante digitalización (Figura IV-9), se puede observar el Piedemonte y la Planicie Aluvial. Las elevaciones montañosas están conformadas principalmente, por las formaciones geológicas descritas anteriormente con edades comprendidas entre el Eoceno Medio Superior hasta el Pleistoceno; y la zona de planicie donde se encuentran localizados los pozos, corresponden a depósitos recientes. Esta Planicie aluvial de Piedemonte ha sido originada por los Ríos

localizados en toda la zona de estudio como ambiente fundamental de sedimentación, lo que ha ocasionado la presencia en el subsuelo, no de cursos fósiles como podría imaginarse, sino de mantos clásticos relativamente continuos, extendidos a todo lo largo y ancho de la planicie, sin que se haya notado algún cambio sustancial con la profundidad.

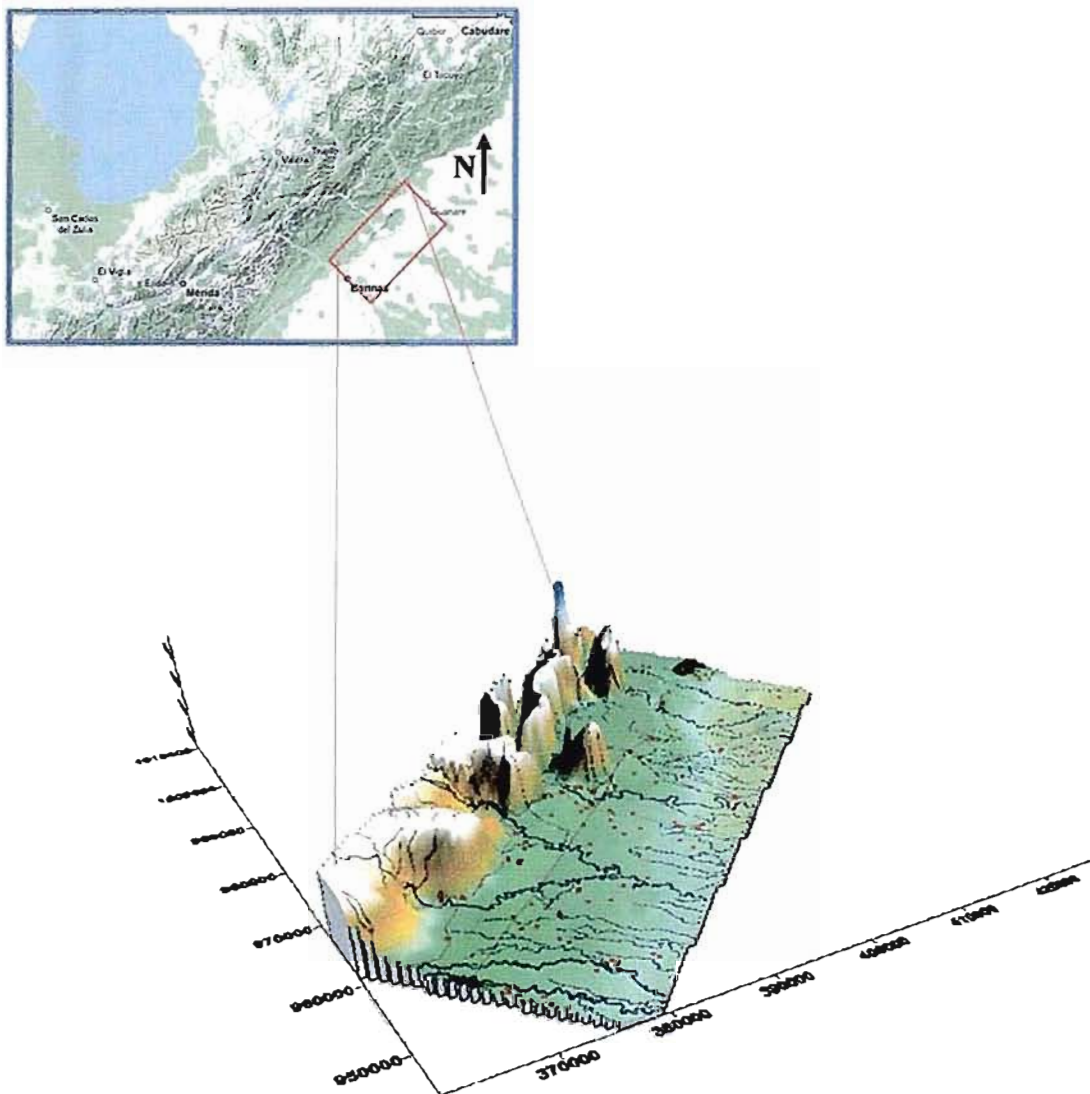


Figura IV-9. Modelo 3D del área de estudio

4.5 Modelo Hidrogeológico Conceptual

La utilidad del Modelo Hidrogeológico Conceptual obtenido (Figura IV-10), se restringe a las aproximaciones de la geoestadística y las herramientas informáticas. Las variables empleadas y los resultados interpretados deben enmarcarse dentro de un contexto de idealización virtual de un escenario real, teniendo presente los márgenes de errores que de ello se derivan, con el fin de obtener una información lo más acertada posible.

Vale destacar, que en un modelo tridimensional virtual no se producen acñamientos entre capas, es decir, en el modelo hidrogeológico conceptual, las capas impermeables como las permeables se extienden en toda la superficie de forma intercalada, esto es debido a que el programa utilizado (Surfer 8.0), exige un espesor mínimo para las capas que siempre debe ser mayor a cero, lo cual constituye una desventaja porque los límites inferiores de las capas no corresponden a los límites verdaderos.

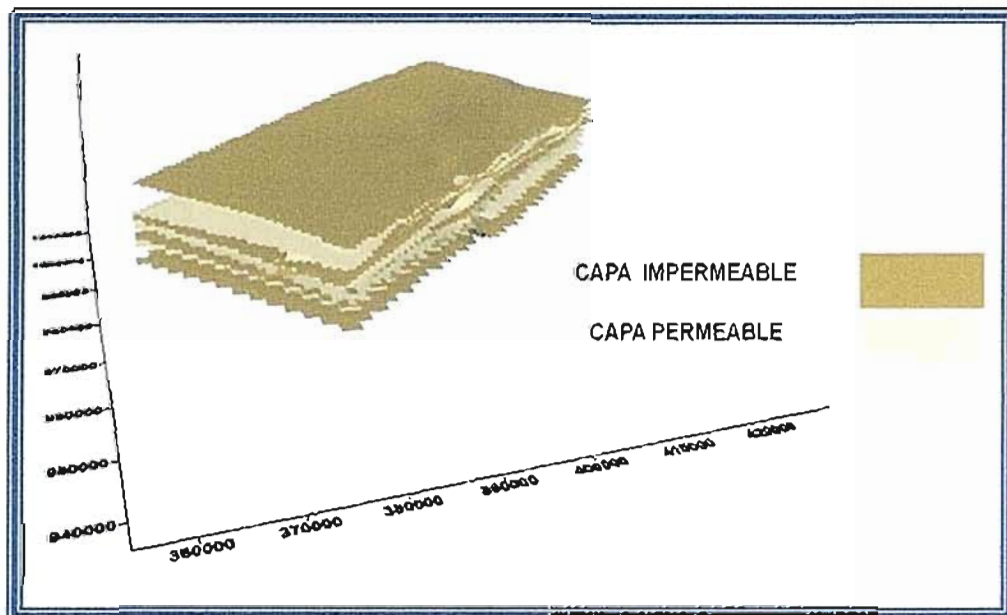


Figura IV-10. Modelo Hidrogeológico Conceptual del área de estudio

Con las secciones estratigráficas se obtuvo los espesores de las capas permeables y las profundidades de los niveles estáticos. En el modelo de relieve en 3D (Figura IV-11), se puede observar la dirección preferencial al aporte de sedimentos en sentido NO-SE. Los espesores de las capas permeables son mayores en la zona Noroeste y va disminuyendo hacia el Sureste.

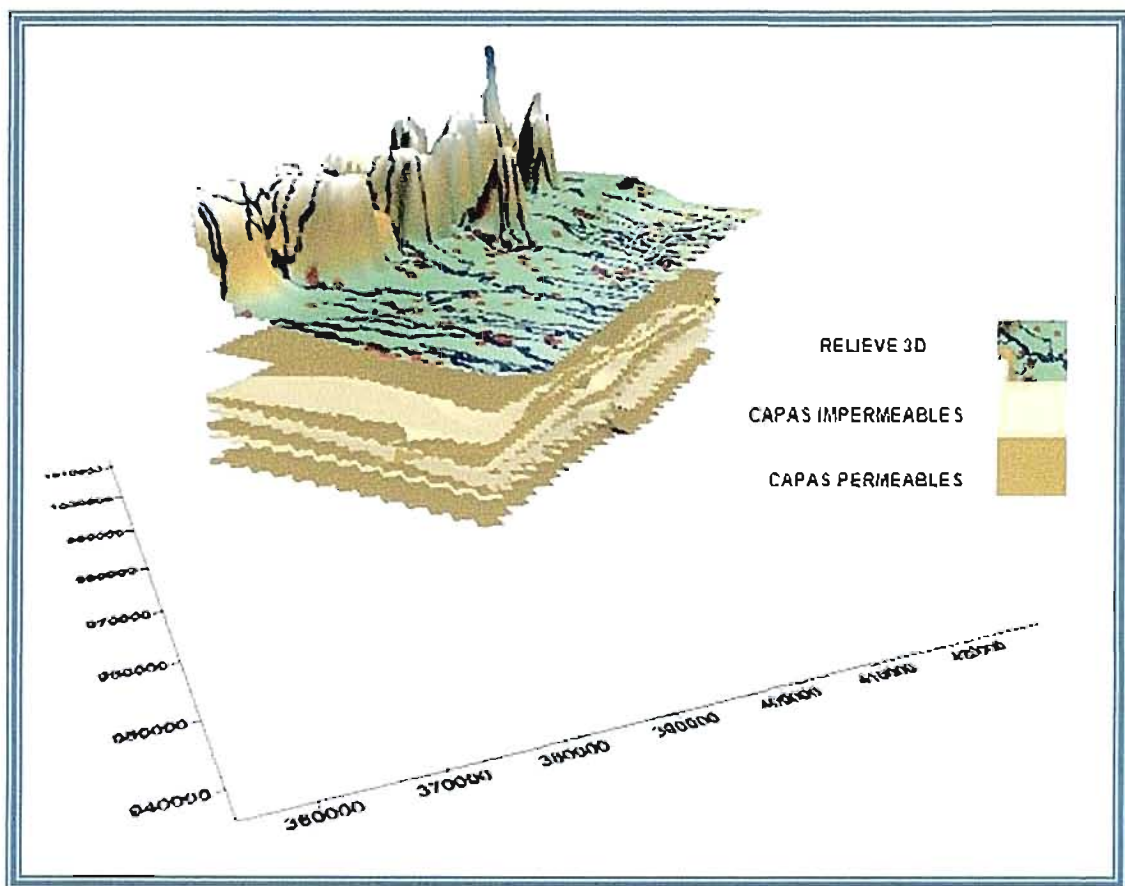


Figura IV-11. Modelo Hidrogeológico Conceptual y relieve del área de estudio

4.6 Cálculo de Reservas Permanentes Permeables

El modelo hidrogeológico conceptual tiene por objetivo la determinación del volumen de las reservas permanentes permeables que podría manejarse en el caso de que todas estas capas estuviesen saturadas. Se efectuó el cálculo a través del programa Surfer 8.0 a las 5 capas de espesores más representativos, obteniendo los siguientes resultados (Tabla IV-1):

Tabla IV-1. Volumen de las capas permeables.

CAPA	VOLUMEN PERMEABLE(m ³)
1	144014577561,390
2	13661873874,262
3	360856750801,860
4	122522275336,890
5	135990970230,870
Volumen Total (m³)	777046447803,272 m³

El volumen total calculado corresponde al volumen total del material de las capas permeables (granos, cemento y matriz), como del espacio poral. Para determinar el Volumen de Reservas Permanentes Permeables se multiplica el volumen total calculado por una porosidad eficaz media, la cual es tomada de la Tabla III-1 que muestra las porosidades totales y eficaces de diversos materiales. Para materiales descritos en las secciones estratigráficas utilizados para construcción del modelo hidrogeológico conceptual, esta porosidad eficaz es de un 20%, con lo cual se obtiene la siguiente expresión:

$$VRPP = \frac{VT \times \phi_{ef}}{A} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

VRPP = Volumen de Reserva Permanente Permeable

VT = Volumen Total

A = Área del acuífero

ϕ_{ef} = Porosidad eficaz

Para el área del acuífero se tomó el área de la zona de estudio que es aproximadamente 2100 Km² por lo que el **VRPP** es el siguiente:

$$VRPP = \frac{777046447803,272 \text{ m}^3 \times 0,2}{2100 \text{ Km}^2} = 7,40 \times 10^{10} \text{ m}^3 / \text{Km}^2$$

Este volumen de reservas permanentes permeables es considerado alto, sin embargo puede ser justificado por la magnitud del área de estudio (2100 Km²) y por la existencia de cinco capas permeables con espesores relativamente gruesos y variables.

Los niveles estáticos se encuentran por encima de la superficie que delimita en su parte superior la capa de material permeable que conforma el acuífero; esto significa que estas capas se encuentran completamente saturadas representando esto, el volumen total de reservas explotables del acuífero.

4.7 Cálculo de Recarga Natural

La renovación del agua en el subsuelo se produce lentamente en comparación con las aguas superficiales como ríos, lagos, etc. El tiempo necesario para renovar por completo un depósito a su tasa de renovación normal es muy largo. En algunos casos

la renovación está interrumpida por la impermeabilidad de las formaciones geológicas superiores o por circunstancias climáticas sobrevenidas de aridez.

Las precipitaciones aportan las aguas que pueden tomar dos caminos: infiltrarse, alimentando las reservas, o escurrirse, en cuyo caso no hay ningún aporte. De igual modo, no existe aporte alguno cuando el agua acumulada en la superficie, es evaporada por efectos de temperatura. La determinación de la recarga natural o infiltración se hace a través de un balance hídrico, que no es otra cosa que una sustracción sencilla entre los valores de precipitación, escorrentía y evaporación, donde al valor de precipitación se le resta a su vez los valores de escorrentía y evaporación respectivamente, obteniendo de esta manera, el valor de infiltración.

Sabiendo que el área de estudio es recorrida por siete canales fluviales importantes, es necesario tomar en cuenta el aporte que eventualmente pueden dar a la recarga natural, en el caso del área de estudio, hacia la zona de Piedemonte, esta recarga natural tiene mayor importancia ya que está constituida por capas permeables de sedimentos gruesos.

La información obtenida del mapa de isolíneas de escurrimiento (Figura IV-12), se obtuvo delimitando el área de estudio, la cual se ubica en la zona de color rosa que corresponde a los intervalos 25 – 50 l/s/Km². El promedio utilizado para este intervalo es de 37,5 l/s/Km². Para determinar el escurrimiento de la zona de estudio, se realizó una transformación de unidades, arrojando el siguiente resultado:

$$\begin{aligned}
 37.5 \text{ (l/s)/Km}^2 &= 37.5 \text{ (l/s)/Km}^2 \times \frac{1 \text{ Km}^2}{1.000.000 \text{ m}^2} \times \frac{2.678.400\text{s}}{1 \text{ mes}} \\
 &= 100.44 \text{ l/m}^2/\text{mes}
 \end{aligned}$$

$$\text{Escurrecimiento} = 100.44 \text{ mm/mes}$$

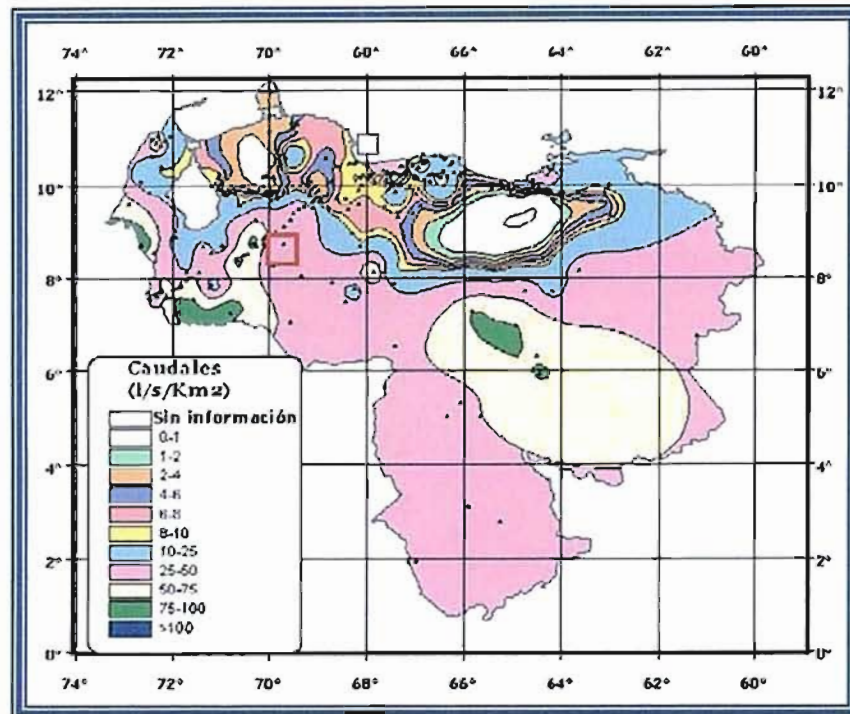


Figura IV-12. Mapa de Isolíneas de Escurrimiento

El cálculo de Infiltración se realizó empleando dos estaciones que aportaron información de precipitación y evaporación por un periodo de 12 años (1980 -1991). Estas estaciones son **La Quinta**, Serial: 3180, Estado Barinas, con Coordenadas UTM Norte: 974741,489 Este: 390021,511 y Altitud: 165 m.s.n.m. y la Estación **Mesa de Cavacas**, Serial: 2281, Estado Portuguesa, con Coordenadas UTM Norte: 1003559,198 Este: 412081,449 y Altitud: 255 m.s.n.m.; para un período de 12 años correspondientes a 1980 – 1991.

La expresión utilizada para calcular la infiltración es:

$$I = P - E - Esc$$

Donde:

I = Infiltración

P = Precipitación

E = Evaporación

Esc = Escurrimiento

El cálculo de infiltración por año y por estación está representado en diversas tablas que se muestran en los Anexos I-C, I-D, I-E y I-F. Como ejemplo, a continuación se muestran los resultados de los cálculos de infiltración de la Estación La Quinta para el año 1980 (Tabla IV-2)

Tabla IV-2. Cálculos de infiltración de la Estación La Quinta para el año 1980

CÁLCULOS DE INFILTRACIÓN ESTACIÓN LA QUINTA AÑO 1980												
PARÁMETROS	ENE	FEB.	MAR	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NO.	DIC.
PRECIPITACIÓN(mm)	0,0	26,6	43,0	124,9	305,3	192,3	283,0	178,5	162,3	174,5	46,6	16,8
EVAPORACIÓN(mm)	177,2	212,2	241,2	202,0	139,1	111,1	122,8	141,5	165,2	172,9	166,1	180,8
ESCORRENTÍA (mm)	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44
INFILTRACIÓN)					65,76		59,76					

Con los valores promedio de la infiltración para la estaciones antes mencionadas, se calculó la tasa de recarga natural cuyo valor equivale a la infiltración media (IM) por año en el periodo de 1980 y 1991. Las tablas IV-3 y IV-4 muestran la infiltración de las dos estaciones, calculada en milímetros por un periodo de 12 años.

Tabla IV-3. Cálculos de infiltración de la Estación La Quinta para el periodo 1980-1991

INFILTRACIÓN CALCULADA EN MILÍMETROS (mm) POR AÑO. ESTACIÓN LA QUINTA													
AÑO / MES	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1980	-	-	-	-	65,76	-	59,76	-	-	-	-	-	125,52
1981	-	-	-	34,26	204,26	220,76	-	-	-	-	-	-	459,28
1982	-	-	-	151,86	101,76	48,66	52,36	-	-	-	-	-	354,64
1983	-	-	-	-	153,56	119,36	-	-	-	-	-	-	272,92
1984	-	-	-	-	-	49,86	-	-	-	-	-	-	49,86
1985	-	-	-	-	-	12,36	-	-	-	-	-	-	12,36
1986	-	-	-	-	-	32,06	-	72,26	-	-	-	-	104,32
1987	-	-	-	-	-	-	20,16	-	-	122,76	-	-	142,92
1988	-	-	-	-	-	137,06	-	-	-	-	-	-	137,06
1989	-	-	-	-	25,86	-	-	-	16,66	-	-	-	42,52
1990	-	-	-	-	17,16	90,26	7,86	-	-	138,86	-	-	254,14
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	28,36	-	-	-	28,36
TOTAL	-	-	-	186,12	568,36	710,38	140,14	72,26	45,02	261,62	-	-	1983,90 mm

Tabla IV-4. Cálculos de infiltración de la Estación Mesa de Cavacas para el periodo 1980-1991

INFILTRACIÓN CALCULADA EN MILÍMETROS (mm) POR AÑO. ESTACIÓN MESA DE CAVACAS													
AÑO / MES	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1980	-	-	-	-	92,66	106,56	178,46	-	-	-	-	-	377,68
1981	-	-	-	147,76	232,36	276,36	-	58,86	246,96	-	-	-	962,3
1982	-	-	-	132,96	230,86	10,26	125,46	-	-	-	-	-	499,54
1983	-	-	-	-	90,96	200,46	94,36	21,16	15,06	0,06	-	-	422,06
1984	-	-	-	-	-	64,06	-	-	36,96	-	-	-	101,02
1985	-	-	-	-	-	-	-	115,16	36,96	5,46	-	-	157,58
1986	-	-	-	-	-	87,46	18,06	109,26	21,46	156,46	-	-	392,7
1987	-	-	-	-	-	-	43,96	-	9,26	-	-	-	53,22
1988	-	-	-	-	-	86,56	-	83,36	-	15,36	-	-	185,28
1989	-	-	-	-	38,36	-	-	-	-	-	-	-	38,36
1990	-	-	-	-	119,86	23,66	45,86	-	-	186,36	-	-	375,74
1991	-	-	-	-	-	-	38,96	-	189,56	27,56	-	-	256,08
TOTAL	-	-	-	280,72	805,06	855,38	545,12	387,8	556,22	391,26	-	-	3821,56 mm

$$IM = \frac{(1983,90 + 3821,56)\text{mm}}{2 \times 12 \text{ años}} = 241,894 \text{ l/m}^2/\text{año}$$

$$IM = 241894 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{año}$$

$$I = IM \times A$$

Donde A = área de estudio = 2100 Km²

$$I = 241894 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{año} \times 2100 \text{ Km}^2 = 5,08 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{año}$$

Para obtener un cálculo más preciso sobre la recarga natural del acuífero, se deben tomar en cuenta la influencia que ejercen los ríos principales como los Ríos Santo Domingo, Caípe, Masparro, Boconó, Tucupido y Guanare, y sus respectivos afluentes, pero motivado a que existen pocas mediciones registradas de la acción de estos sobre el acuífero, sólo se tomó los valores pluviométricos de las estaciones La Quinta y Mesa de Cavacas.

4.8 Mapa de Niveles estáticos y líneas de flujos

El mapa de niveles estáticos permite conocer a escala regional la dirección del movimiento de las aguas subterráneas en el área de estudio, la cual viene dada por las líneas de máxima pendiente (Figura IV-13). Para mejor interpretación, se superpone los mapas de nivel estático y de líneas de flujo obtenido con el mapa de nivel freático.

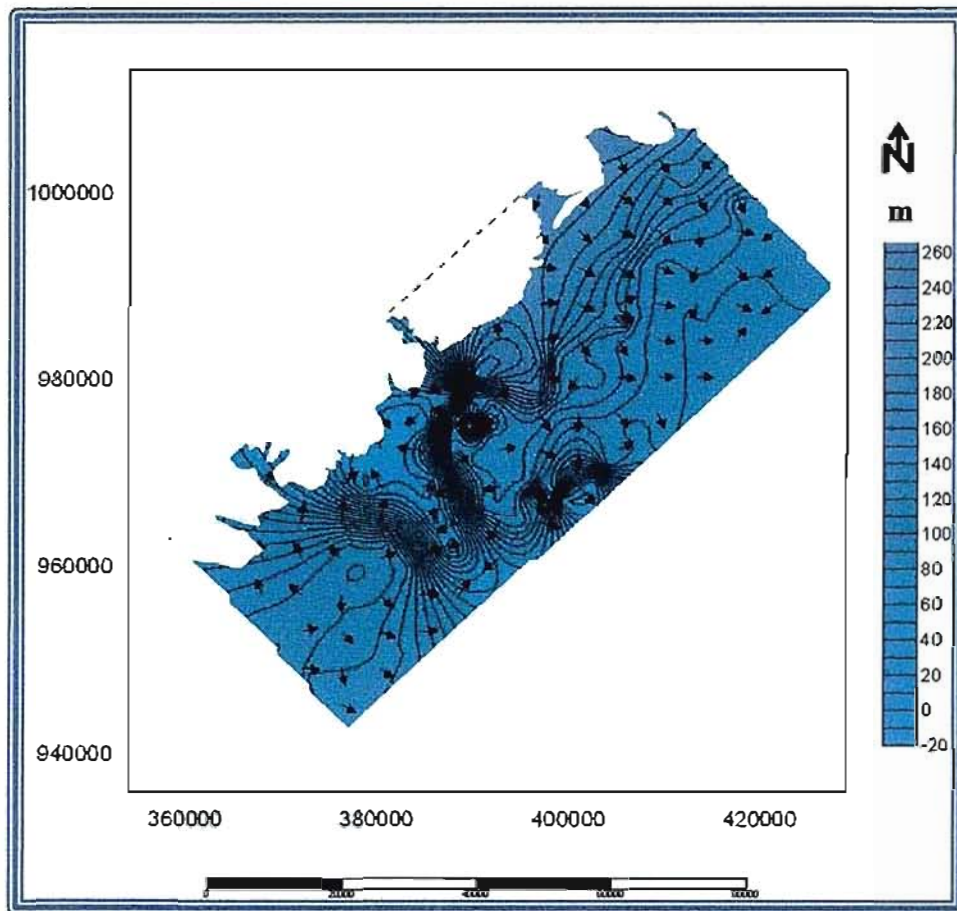


Figura IV-13. Mapa de Niveles Estáticos y Líneas de Flujo. Campaña 1972.

Se puede apreciar la variabilidad de niveles a lo largo del área de estudio, en donde predominan niveles altos en la zona comprendida entre el Río Boconó y el Río Guanare en dirección NO-SE de los niveles más altos a los más bajos. Se evidencia entonces que las líneas tienen un movimiento cuya tendencia general se da de zonas de mayor pendiente a zonas de menor pendiente. La importancia de la determinación de la dirección de estas líneas dentro del acuífero radica en el conocimiento de la propagación de cualquier sustancia que sea introducida en el sistema o tener una idea de su procedencia y poder abordar una posible contaminación del acuífero en un momento determinado.

En la zona comprendida entre el Río Santo Domingo y el Río Masparro se nota una modificación del desplazamiento de las líneas de flujo; unas, van en dirección NO-SE y otras, en dirección SE-NO. Esta desviación de las líneas de flujo puede ser consecuencia de la recarga de los ríos Santo Domingo, Caipe y Masparro al acuífero lo que provoca una variación en los niveles estáticos. En líneas generales, se observa la influencia que ejercen los Ríos sobre el Acuífero en la recarga del mismo, haciendo que los niveles estáticos varíen en el área de estudio.

4.9 Mapa de Caudal

El mapa de caudal representa la cantidad o volumen de agua que se logró extraer por medio de las pruebas de bombeo y está expresado en litros por segundo (l/s). Es de hacer notar que la variación del caudal va desde 1 l/s hasta 112 l/s (Figura IV-14). Los caudales más altos del área de estudio se ubican en la parte NE en las cercanías del Río Guanare y hacia la zona SO en las cercanías del Río Santo Domingo. En la parte central entre los Ríos Masparro y Tucupido los caudales descienden a valores medios entre 16 y 24 l/s.

Si se comparan los niveles estáticos con los valores de caudal se debe expresar que en la zona NE, donde los caudales son relativamente altos, los niveles estáticos se ubican a poca profundidad. En general, los caudales son bajos en la mayor parte del área de estudio, esto puede deberse a la falta de datos de caudal de una mayor cantidad de pozos que aporten una mejor información en el mapa.

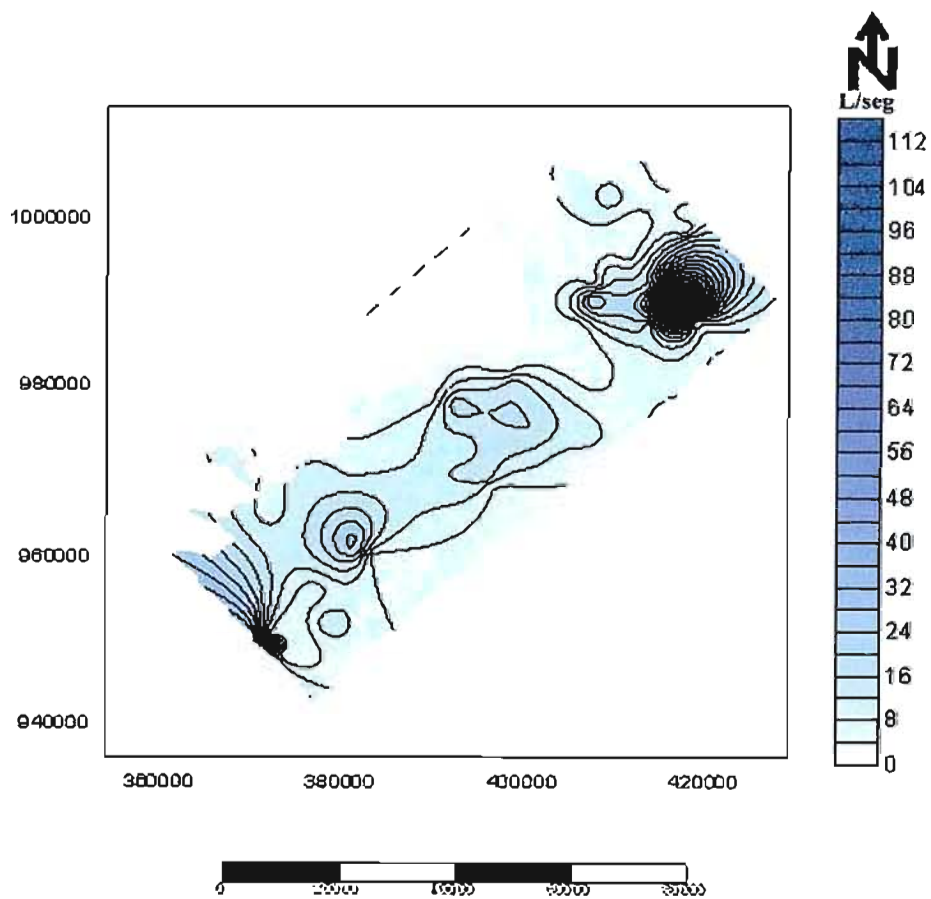


Figura IV-14. Mapa de Caudal. Campaña 1972

4.10 Ubicación de los pozos con información Química

El estudio de pH, TSD, Conductividad Eléctrica, Dureza Total y de calidad química del agua partió de la ubicación de 43 pozos a lo largo y ancho del área de estudio. Para el análisis químico, el área de estudio se dividió en dos zonas (A y B) debido a la limitante del programa utilizado para tal fin. La zona A está comprendida entre el Río Santo Domingo y el Río Boconó y la zona B está comprendida entre el Río Boconó y el Río Guanare (Figura IV-15).

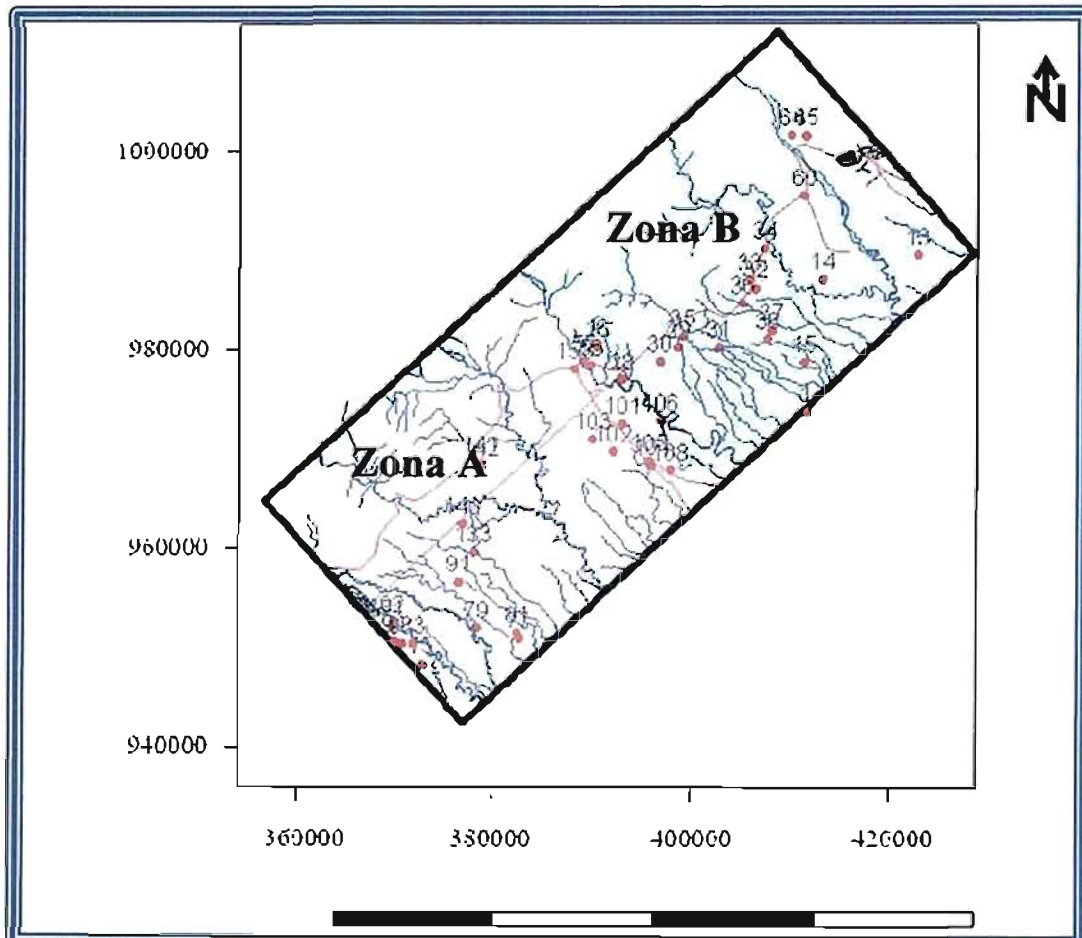


Figura IV-15. Mapa de ubicación de pozos con información química en las zonas A y B

4.10.1 Mapa de pH

El pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una determinada sustancia. El valor de pH se puede encontrar dentro de un rango de 0 a 14, donde 7 corresponde al valor neutro. Cuando el pH se encuentra por encima de 7 se está en presencia de una sustancia básica, y por debajo de 7 es una sustancia ácida. La norma COVENIN 2187-84 para el agua potable, indica que la determinación de acidez en el agua debe estar entre los 6.5 – 8.5 pH. Sin embargo el valor normal de pH para el agua de consumo humano es 7.6.

Según la norma COVENIN, el agua contenida en el área de estudio en general, se encuentra dentro del rango permitido como agua potable. Sin embargo puede notarse un valor de pH menor a 6.2 hacia la zona NE cercana a la ciudad de Guanare, indicando un agua ácida y fuera de los rangos permitidos para agua potable. Estos valores pueden ser consecuencia de las actividades económicas (ganadería, agricultura) desarrollada en estas poblaciones, lo que ha afectado el pH del agua, haciéndola cada vez más ácida, desmejorando su calidad para el consumo humano.

La zona comprendida entre el Río Boconó y El Río Tucupido y la zona comprendida entre el Río Caipe y el Río Masparro, presentan valores de pH 6.5 a 7 estando estos dentro del rango permitido como agua potable. Esto puede significar que los acuíferos no han sido contaminados para la fecha de la toma de muestra, posiblemente por la presencia de capas impermeables que no permiten la infiltración de agentes contaminantes a las aguas subterráneas (Figura IV-16)

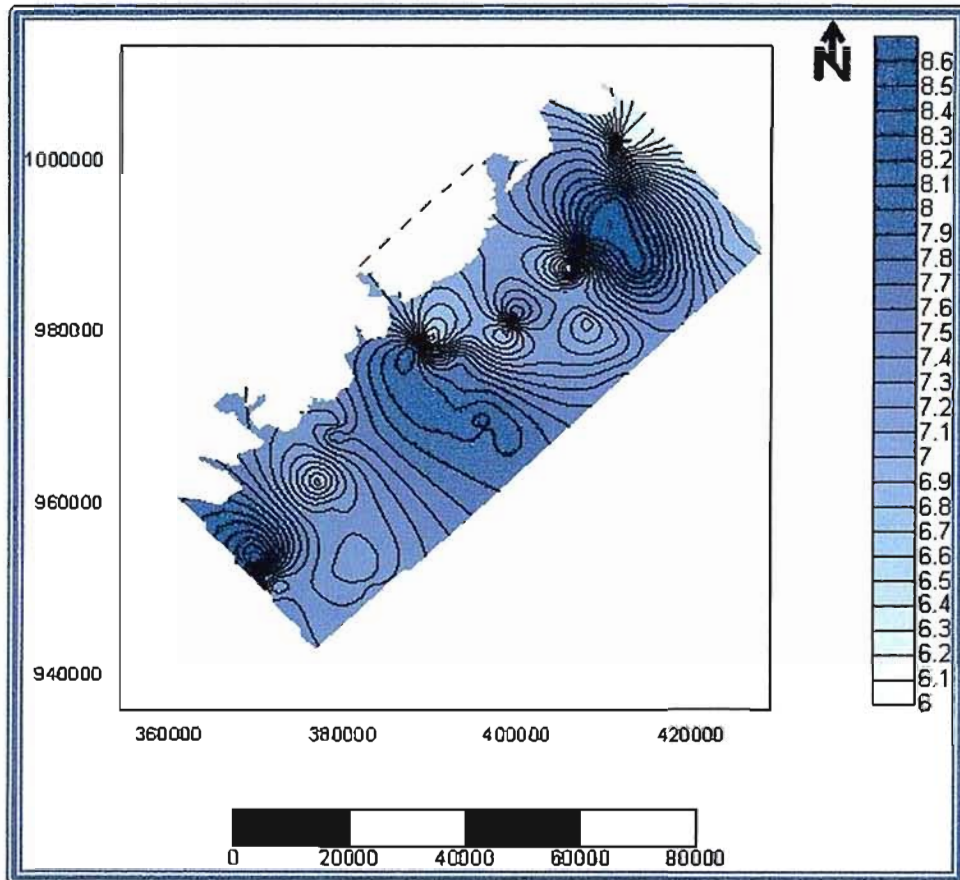


Figura IV-16. Mapa de pH. Campaña 1972

4.10.2 Mapa de Conductividad Eléctrica

La conductividad permite tener una idea del comportamiento general de la capacidad que tiene el agua de transmitir electricidad, analizando la cantidad de sales que se encuentra en dichas aguas.

Los valores de conductividad de 43 pozos distribuidos en toda la zona de estudio van desde 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura IV-17). Hacia la parte central del área de estudio, específicamente hacia la margen derecha del Río Boconó los valores oscilan entre 500 a 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en la zona NE entre el Río Tucupido y el Río Guanare los valores de conductividad van desde 400 a 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores altos de

conductividad pueden deberse al proceso de descarga que efectúan los ríos antes mencionados al acuífero, quienes traen consigo una serie de minerales en suspensión, proporcionando mayor conductividad al agua subterránea.

Los valores normales de conductividad en aguas dulces oscilan entre los 100 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la zona de estudio en general los valores de conductividad eléctrica oscilan entre 100 y 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica que se está en presencia de agua dulce.

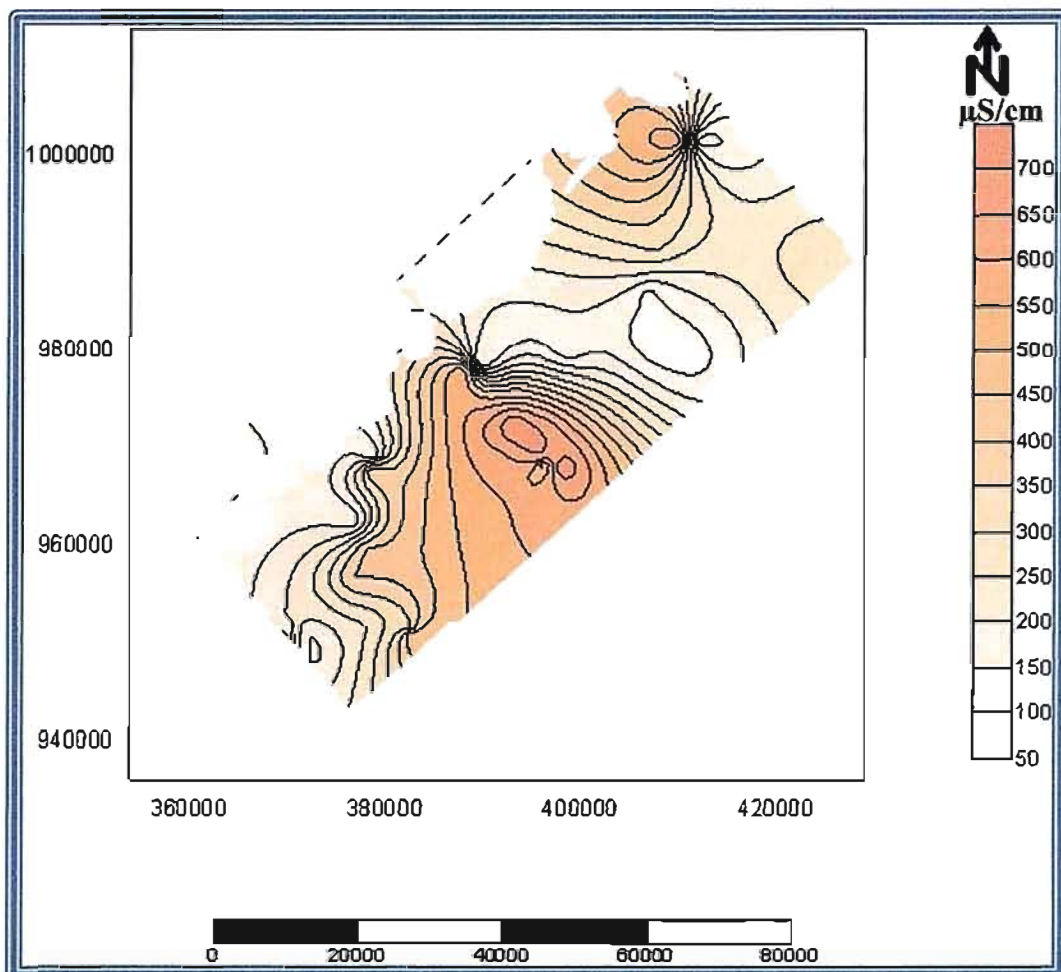


Figura IV-17. Mapa de Conductividad eléctrica. Campaña 1972

4.10.3 Mapa de Total de Sólidos Disueltos (TSD)

El mapa de TSD se emplea como un indicador del nivel total de compuestos inorgánicos presentes en el agua, permitiendo además conocer la cantidad de partículas orgánicas y de arenas y arcillas presentes en ella.

Según Gaceta Oficial 36.395, año 1998 (ver tabla II-3) los estándares para el agua potable en cuanto al contenido de TSD es de 600 mg/l como valor deseable y 1000 mg/l como valor máximo aceptable. Por otra parte, según las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) el agua contenida en el área de estudio se consideran de buena calidad ya que el TSD es inferior a 500 mg/l.

Es importante señalar que la conductividad eléctrica y el TSD del agua poseen una relación directamente proporcional ya que cuanto mayor es la cantidad de iones disueltos (TSD) en el agua, mayor es la conductividad de la misma. En este sentido se puede notar que las zonas que presentan mayores valores de conductividad (Figura IV-17), contienen mayor TSD (Figura IV-18).

En este sentido, la parte central del área de estudio, específicamente hacia la margen derecha del Río Boconó, los valores de conductividad oscilan entre 500 a 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los de TSD se ubican entre 345 a 445 mg/l. De igual forma, en la zona NE entre el Río Tucupido y el Río Guanare, los valores de conductividad van desde 400 a 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los de TSD de 320 a 420 mg/l. Este comportamiento similar de valores altos de conductividad y de TSD en una misma zona pueden deberse al proceso de descarga que efectúan los ríos antes mencionados al acuífero, quienes traen consigo una serie de minerales en suspensión que al ser disueltos en el agua le proporciona un alto contenido de TSD y por ende una mayor conductividad al agua subterránea.

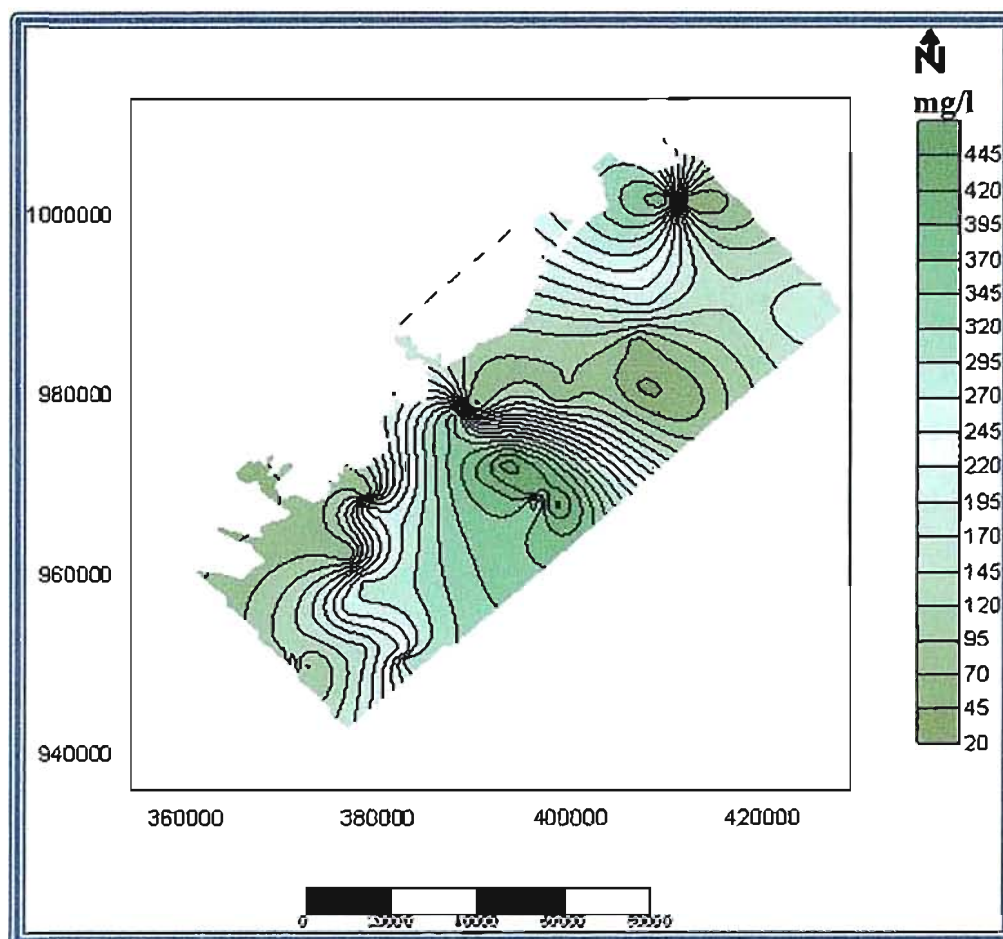


Figura IV-18. Mapa de TSD. Campaña 1972

4.10.4 Mapa de Dureza Total

La dureza del agua describe la concentración de algunos iones definidos en ella, su determinación permite una clasificación simple en tipos de agua y también indica algo sobre su calidad. Se conoce la dureza de carbonatos, la dureza de no-carbonatos o dureza permanente y la dureza total.

La mayor parte del área de estudio presenta valores bajos de dureza los cuales oscilan entre 0 a 200 mg/l. (Figura IV-19). Sin embargo el resto del área de estudio presenta valores entre 250 y 360 los cuales están dentro de los valores deseables y máximo

aceptables recomendados por la Gaceta Oficial N° 36.395 (tabla II-3) para el suministro para agua potable.

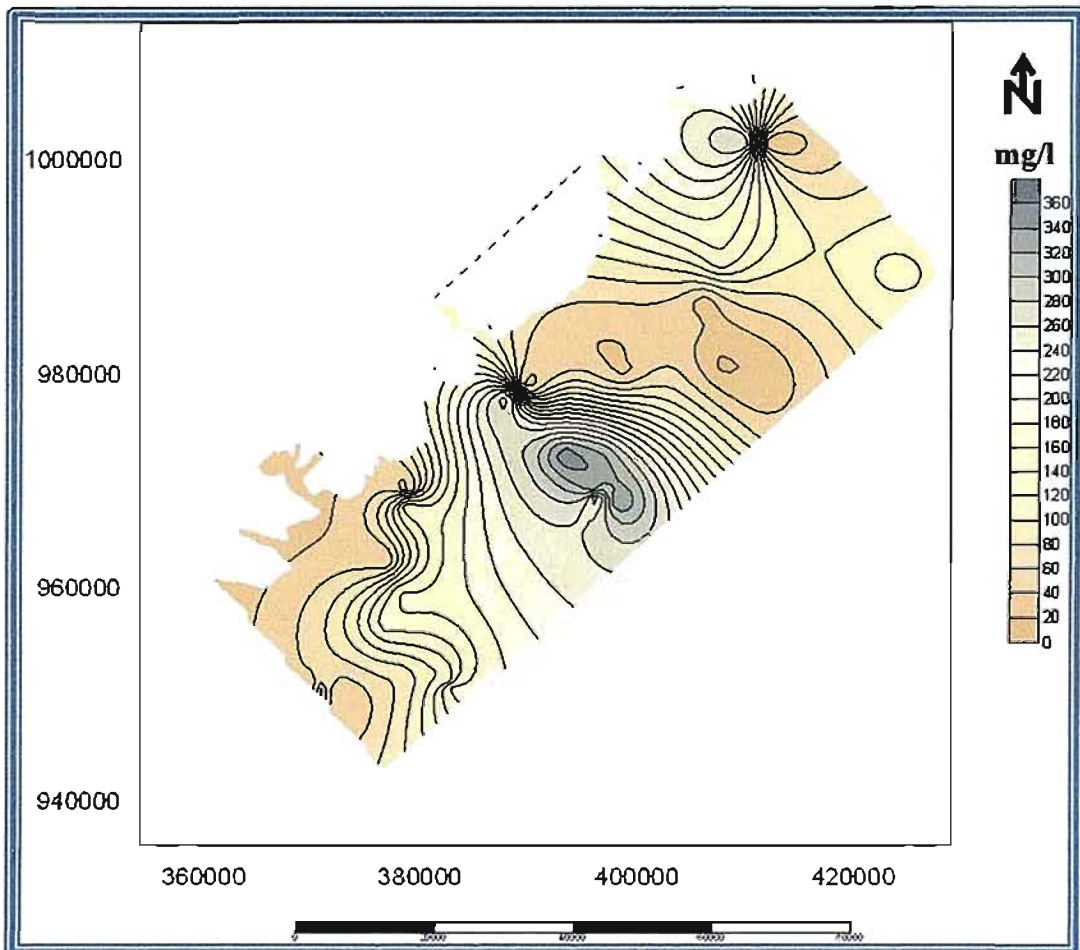


Figura IV-19. Mapa de Dureza Total. Campaña 1972.

4.11 Clasificación Química del agua

4.11.1 Diagrama de Piper

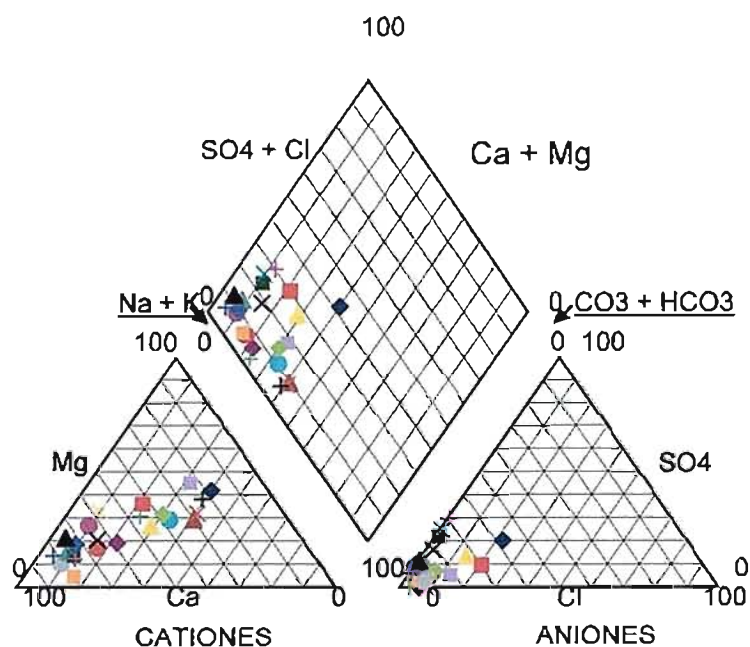
Los diagramas hidroquímicos son representaciones gráficas que facilitan la clasificación química del agua conforme a su relación iónica, la cual permite la identificación de las posibles fuentes acuíferas, así como para delimitar zonas según la calidad de agua. La cantidad de elementos disueltos en el agua será mayor cuanto más permanezca y avance su recorrido, ya que tendrá más tiempo de contacto con los minerales solubles de las rocas por las cuales circula; es decir, la calidad y tipo de compuestos en solución va a depender tanto de la composición química de las rocas como de algunas propiedades físicas del acuífero.

Para llevar a cabo la clasificación química del agua subterránea, el área de estudio fue dividida en dos zonas: A y B.

Las aguas subterráneas del área de estudio muestran una composición similar en cuanto a su relación iónica, tanto en la zona A como en la zona B (Figura IV-20 y IV-21), permitiendo clasificarlas como **aguas bicarbonatadas cálcicas y magnésicas** pudiendo ser producto de la disolución de algunos minerales presentes en las rocas que se encuentran a su paso. Estas aguas son consideradas jóvenes puesto que fluyen a poca profundidad (Infiltración Reciente).

DIAGRAMA DE PIPER

ZONA A(1972)



● 93	◆ 94	▲ 91	■ 92	× 83	+ 75	● 79	◆ 81
▲ 77	■ 80	× 133	+ 140	● 142	◆ 141	▲ 103	■ 102
× 105	+ 104	● 108	◆ 101	▲ 158	■ 57	× 56	+ 106

Figura IV-20 Calidad química del agua de la zona A del área de estudio según Diagrama de Piper. Campaña 1972

4.11.2 Diagrama de Wilcox

A través de esta herramienta se clasificó la calidad de agua según la aptitud de uso, tomando como base la conductividad eléctrica del agua y la relación de absorción de sodio. La clasificación de las aguas de riego con respecto a la RAS, se basa primordialmente en el efecto que tiene el sodio intercambiable sobre la condición física del suelo.

Mediante la interpretación del Diagrama de Wilcox, las aguas subterráneas que se encuentran tanto en la zona A como en la zona B del área de estudio corresponden a los tipos C_1-S_1 y C_2-S_1 (Figura IV-22 y IV-23), las cuales poseen una conductividad cuyos valores oscilan entre 50 y 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$; presentan bajo peligro de alcalinización y de bajo a medio peligro de salinización del suelo.

El tipo C_1-S_1 , corresponde a aguas de baja salinidad y baja sodicidad. Puede usarse para riego en la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad y de que alcance niveles de sodio intercambiable. Se necesita algún lavado, pero este se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

El tipo C_2-S_1 , presenta salinidad media y baja sodicidad. Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles de sodio intercambiable. Sin embargo, en algunos casos puede requerir un grado moderado de lavado cuando se trate de cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, los cuales pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO
ZONA A(1972)

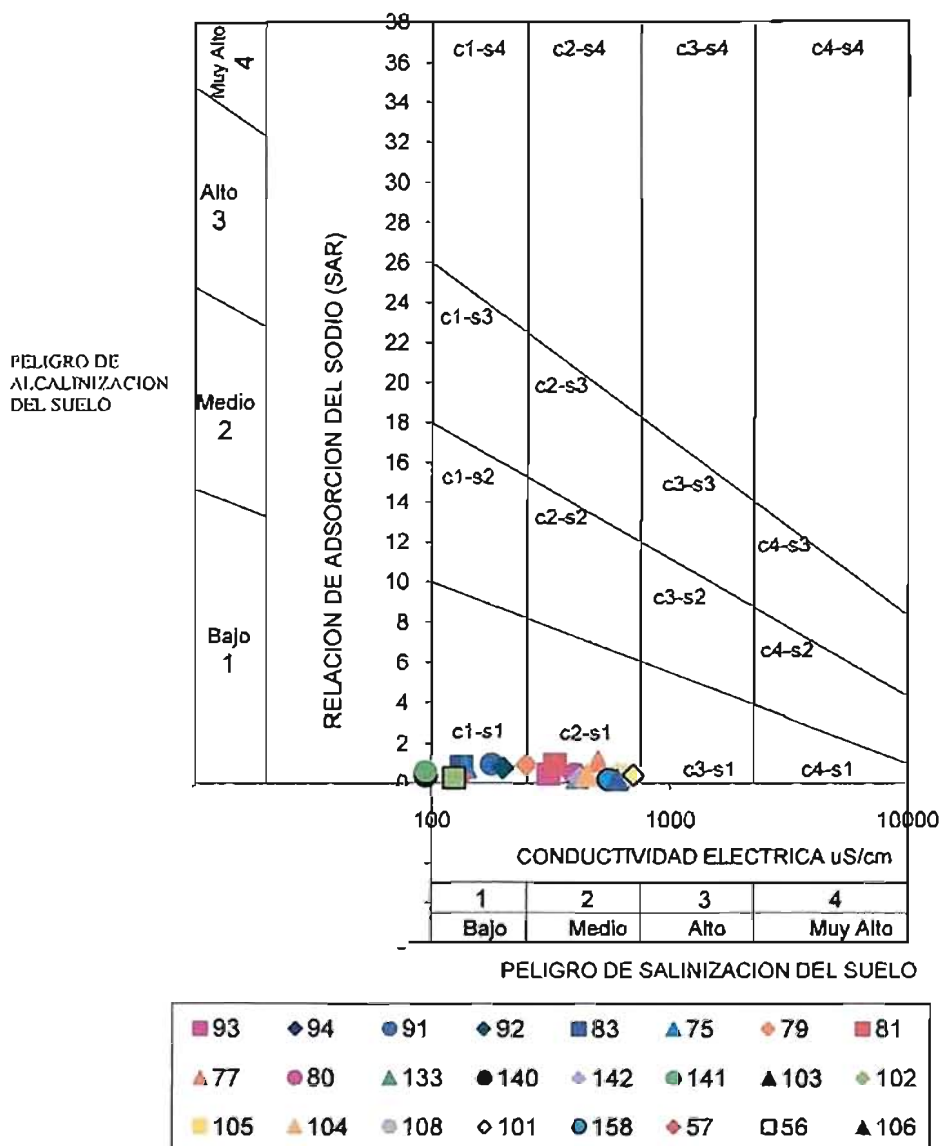


Figura IV-22. Calidad química del agua de la zona A del área de estudio según Diagrama de Wilcox. Campaña 1972

CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO
ZONA B (1972)

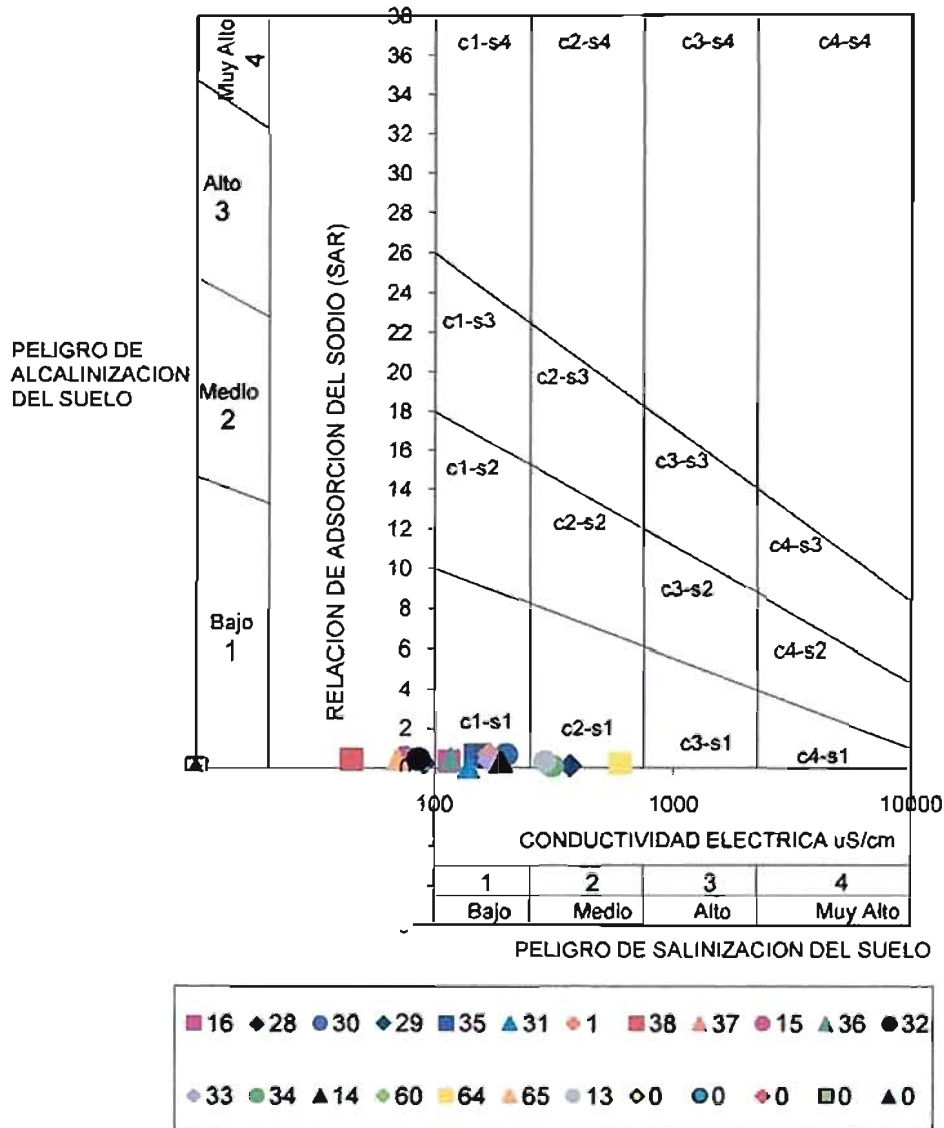


Figura IV-23. Calidad química del agua de la zona B del área de estudio según Diagrama de Wilcox. Campaña 1972