

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

SUBDIRECCION DE RECURSOS NATURALES

DIVISION DE AGUAS

EVALUACION DE LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA
ZONA DE PANCE (MUNICIPIO DE CALI) POR AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

SECCION AGUAS SUBTERRANEAS

Preparó : Ing. Omar Azcúntar R.

Informe CVC No. 92-49

Cali, Octubre de 1991.

EVALUACION DE LA CONTAMINACION DEL ACUIFERO DE PANCE

El uso generalizado de los sistemas de disposición local de las aguas residuales domésticas en el suelo puede ocasionar una contaminación seria del nivel freático y por tanto de las aguas subterráneas con:

1. Microorganismos patógenos.
2. Productos de la biodegradación de excretas humanas, como son los nitratos.

Ante la ausencia de acueducto y alcantarillado, las aguas subterráneas (acuífero del cono aluvial del río Pance) son la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la zona de Pance ubicada en el corregimiento La Vega, municipio de Cali y el saneamiento básico se realiza principalmente mediante sistemas sanitarios de disposición local en el suelo.

Por lo tanto es de fundamental prioridad investigar la relación existente entre la calidad del agua subterránea en la zona y dichos sistemas locales para comprobar de que el mejoramiento sanitario no acabe por provocar una excesiva contaminación del suelo y del nivel freático.*

Por este motivo la CVC decidió acometer un estudio de investigación en dicha zona y el presente informe es el resultado del mismo, el cual estuvo a cargo de la Sección de Aguas Subterráneas con la colaboración de la Sección de Control Contaminación, adscritas a la División de Aguas, Subdirección de Recursos Naturales.

INTRODUCCION

El acelerado desarrollo urbanístico en la zona suburbana de Pance ubicada en el corregimiento La Viga, al sur de la ciudad de Cali y ante la ausencia de servicios públicos como acueducto y alcantarillado, ha suscitado un incremento en el aprovechamiento de las aguas subterráneas de la zona como fuente de abastecimiento de agua potable. La disposición de las aguas residuales domésticas se realiza en el suelo mediante tanques sépticos y el efluente líquido se infiltra en el suelo por medio de campos de infiltración, pozos de absorción, zanjas filtrantes etc y en algunos sitios con pozos negros.*

A raíz de este rápido crecimiento urbano en forma incontrolada en cuanto a servicios públicos y luego de decidir en forma conjunta con Emcali y Planeación Municipal, la CVC comenzó a emitir a partir de junio de 1985 conceptos de factibilidad de aguas, disposición de aguas residuales y protección de recursos forestales para cada nueva construcción ya sea residencial, educativa, de servicios o industrial y así controlar de una manera racional el aprovechamiento de las aguas (subterráneas y superficiales), evitar su contaminación por agentes biológicos (organismos patógenos) y/o sustancias químicas y proteger las áreas forestales protectoras e incrementar la reforestación.

En vista del peligro potencial de la contaminación del acuífero superficial del cono aluvial del río Pance por la posible llegada de iones contaminantes al nivel freático procedentes de los sistemas de saneamiento básico cuya disposición se efectúa en el suelo, la CVC decidió acometer un estudio de investigación en dicha zona con los siguientes objetivos:

1. Evaluación del potencial acuífero disponible y su situación actual de aprovechamiento.
2. Evaluación de la contaminación existente en el agua subterránea.

3. Soluciones prácticas y viables para un control efectivo de la contaminación del acuífero.

Para una mejor comprensión de los alcances de la contaminación de aguas subterráneas que se produce al evacuar excretas humanas y aguas residuales en el suelo se siguió la metodología desarrollada por el CENTRO INTERNACIONAL DE REFERENCIA PARA DISPOSICION DE DESECHOS (IRCND) de Suiza en su publicación "Análisis de Contaminación de las Aguas Subterráneas por sistemas de Saneamiento básico", revisión editada en español por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS. en 1988.

Esta publicación incluye la revisión y análisis del material escrito hasta la fecha sobre este tema.

En el presente informe se consigna en forma resumida los principios del transporte de los contaminantes en el subsuelo, los factores que afectan la supervivencia de los organismos patógenos en el mismo y las enfermedades relacionadas con el uso de aguas contaminadas, para una mejor comprensión de los resultados obtenidos en la investigación de campo y de las posibles soluciones para detener o controlar dicha contaminación.

1. RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA OCASIONADOS POR EL CONSUMO DE AGUAS SUBTERRANEAS CONTAMINADAS.

Las enfermedades relacionadas con el uso de agua contaminada son producidas por:

- 1.1 Organismos patógenos
- 1.2 Sustancias químicas

1.1 Por organismos patógenos.

Las excretas humanas contienen hasta 4 tipos de organismos patógenos: huevos de helmintos, protozoarios, bacterias y virus. Su concentración depende del estado de salud de cada individuo. En promedio la materia fecal contiene 10^9 bacterias por gramo que no necesariamente son patógenas. Un individuo infectado puede producir hasta 10^6 virus por gramo. A diferencia de las bacterias, los virus no se reproducen fuera de su ambiente vivo que los contiene. Hasta la fecha se ha aislado alrededor de 100 tipos diferentes de virus de la materia fecal y se denominan entéricos, su resistencia varía considerablemente de un tipo a otro.

Las bacterias y los virus son transportados por medio del efluente que se infiltra en el suelo, procedentes de tanques sépticos, a las aguas subterráneas que al ser ingeridas pueden causar infecciones que dependerán de la concentración y persistencia del organismo patógeno y de la dosis infecciosa necesaria para dar inicio a una enfermedad.

Las enfermedades que pueden transmitirse por ingestión de aguas subterráneas contaminadas son las siguientes:

a) Por bacterias.

<u>Enfermedad</u>	<u>Agente trasmisor</u>
Cólera	Vibrio Cholerae
Fiebre tifoidea	Salmonella Typhi
Fiebre paratifoidea	Salmonella Paratyphi
Disenteria bacilar	Shigella Spp.
Diarreas	E. Coli enterotoxigénica
	E. Coli enteropatógena
	Salmonella Spp y otros

b) Por virus.

<u>Enfermedad</u>	<u>Agente trasmisor</u>
Hepatitis infecciosa	Virus de hepatitis A.
Poliomelitis	Poliovirus
Diarreas	Rotavirus agente Norwalk
Diversos síntomas	Echovirus, Coxsackievirus y otros

1.2 Por sustancias químicas (Nitratos).

El uso intensivo de saneamiento básico en el suelo puede conducir a elevadas concentraciones de nitratos en el nivel freático. Los nitratos presentes tanto en el suelo como en las aguas subterráneas son el resultado de la degradación microbiana de sustancias orgánicas nitrogenadas (como proteínas) en iones amónicos (NH_4^+) que luego son biológicamente oxidados hasta convertirse en nitritos y nitratos.

Las enfermedades asociadas con el consumo de agua que contienen altas concentraciones de nitratos son los siguientes:

a) Metahemoglobinemia (Cianosis infantil).

Enfermedad que afecta principalmente a los niños pequeños. La Organización Mundial de la Salud propuso en 1977, como máxima concentración de nitrato máximo aceptable para niños 11,3 mg de $\text{NO}_3 - \text{N}$ /litro y 22,6 mg de $\text{NO}_3 - \text{N}$ /litro para la población en general.

La toxicidad del nitrato proviene de su reducción a nitrito, proceso que puede ocurrir bajo condiciones específicas en el estómago y en la saliva. El ión nitrito que se forma oxida el hierro en las moléculas de la hemoglobina transformándolo de ferroso (Fe^{2+}) en férrico (Fe^{3+}). La metahemoglobina

así producida vuelve a la sangre incapaz de fijar de manera reversible el oxígeno dando como resultado una anoxia y aún la muerte sino se trata a tiempo.

b) Carcinogénesis.

Los nitritos e indirectamente los nitratos pueden reaccionar con aminos y amidas para formar nitrosaminas y nitrosamidas, compuestos estos, que se ha comprobado, son carcinogénicos en especies animales y muchos han sido considerados mutagénicos, pero en realidad se dispone de muy poca información sobre esto para afirmar específicamente que existe una relación entre la elevada ingestión de nitratos y algún tipo de cáncer humano (Froser et al, 1980).

2. BACTERIAS INDICADORAS DE LA CONTAMINACION FÉCAL.

Las características de un organismo indicador ideal (Geldreich, 1978) limita su selección a los coliformes fecales (CF) y estreptococos fecales (EF) que son bacterias aeróbicas y a las bacterias anaeróbicas *Clostridium perfringens*, bacteroides y lactobacilos. Comprobándose que el grupo de bacterias coliformes era el indicador más adecuado.

Estos organismos indicadores solo deben utilizarse para indicar contaminación fecal y no debe tomarse como índice del grado de contaminación fecal o de presencia de microorganismos patógenos. Entonces, si se comprueba que existe contaminación fecal en el agua se puede deducir la existencia de organismos patógenos.

La OMS recomienda que una fuente de abastecimiento de agua potable es satisfactoria cuando no existe ninguna bacteria indicadora de coliformes fecales en cualquier muestra de 100 ml y

que son admisibles la presencia de coliformes totales a niveles superiores de UCF/100 ml.

El recuento de coliformes totales ha sido cuestionado debido a la dispersión de los coliformes no fecales en las aguas subterráneas tropicales. El indicador de estreptococos fecales (EF) es por lo general la prueba de la existencia de coliformes fecales, por lo tanto para esta investigación se ha seleccionado como indicador de contaminación biológica las bacterias indicadoras de coliformes fecales.

3. PRINCIPIOS DE TRANSPORTE DE LOS CONTAMINANTES EN EL SUBSUELO.

El empleo del perfil natural del suelo como un sistema efectivo para la purificación de excretas humanas es mundialmente reconocida. Proceso en el cual se obtiene la eliminación de microorganismos fecales y la atenuación de diversos compuestos químicos. Pero una inadecuada purificación de estos efluentes, que puede ocurrir bajo ciertas condiciones hidrogeológicas, puede originar una grave contaminación del nivel freático afectando negativamente las fuentes de abastecimiento de agua potable. (Figura No.1)

En este sentido el problema fundamental es la contaminación de los acuíferos libres o no confinados (como es el caso del acuífero de Pance) en cuyos casos la efectividad de los sistemas sanitarios de disposición local depende, fundamentalmente, de las características del suelo y de la zona no saturada para aceptar y purificar los efluentes. Estas funciones dependen o son controladas en gran parte por las características hidráulicas del suelo.

3.1 Transporte en la zona no saturada.

La zona no saturada esta formada por una disposición compleja de partículas sólidas y poros con cantidades variables de agua

y aire. El flujo de agua en esta zona es generalmente vertical y existen dentro de ella el potencial gravitacional y el potencial de humedad o potencial matriz también llamado tensión del suelo. Este potencial matriz es el resultado de la afinidad del agua con las superficies sólidas debido a fuerzas moleculares de cohesión y de adhesión además de los de adsorción en el caso de suelos arcillosos.

El potencial de humedad en el nivel freático es igual a cero y va aumentando a medida que el suelo se vaya drenando o vaciando, es decir, que a medida que vaya disminuyendo el contenido de humedad la tensión aumenta y esta relación está regulada por la distribución del tamaño de los poros. En la práctica es muy difícil determinar dicha distribución y su clasificación se basa en el tamaño de los granos.

La permeabilidad vertical en la zona no saturada es una función del tamaño, sinuosidad y continuidad de los poros y fisuras; está estrechamente relacionada con la tensión del suelo, es decir que a una mayor tensión del suelo la conductividad hidráulica o permeabilidad se hace menor, pero esto depende del tamaño de los poros principalmente. En suelos donde los poros son grandes (gravas) la permeabilidad saturada es alta pero se reduce rápidamente al aumentar la tensión del suelo; en cambio en suelos de poros pequeños (arcillas, limos, arenas finas) la permeabilidad saturada es menor pero se reduce muy lentamente al aumentar la tensión.

En el caso de rocas fisuradas, estas pueden conducir agua a bajas tensiones elevando bastante la conductividad hidráulica, lo que produce altas tasas de flujo con el consiguiente aumento del riesgo de contaminación del agua subterránea.

ESQUEMA DE LA CONTAMINACION DE ACUIFEROS

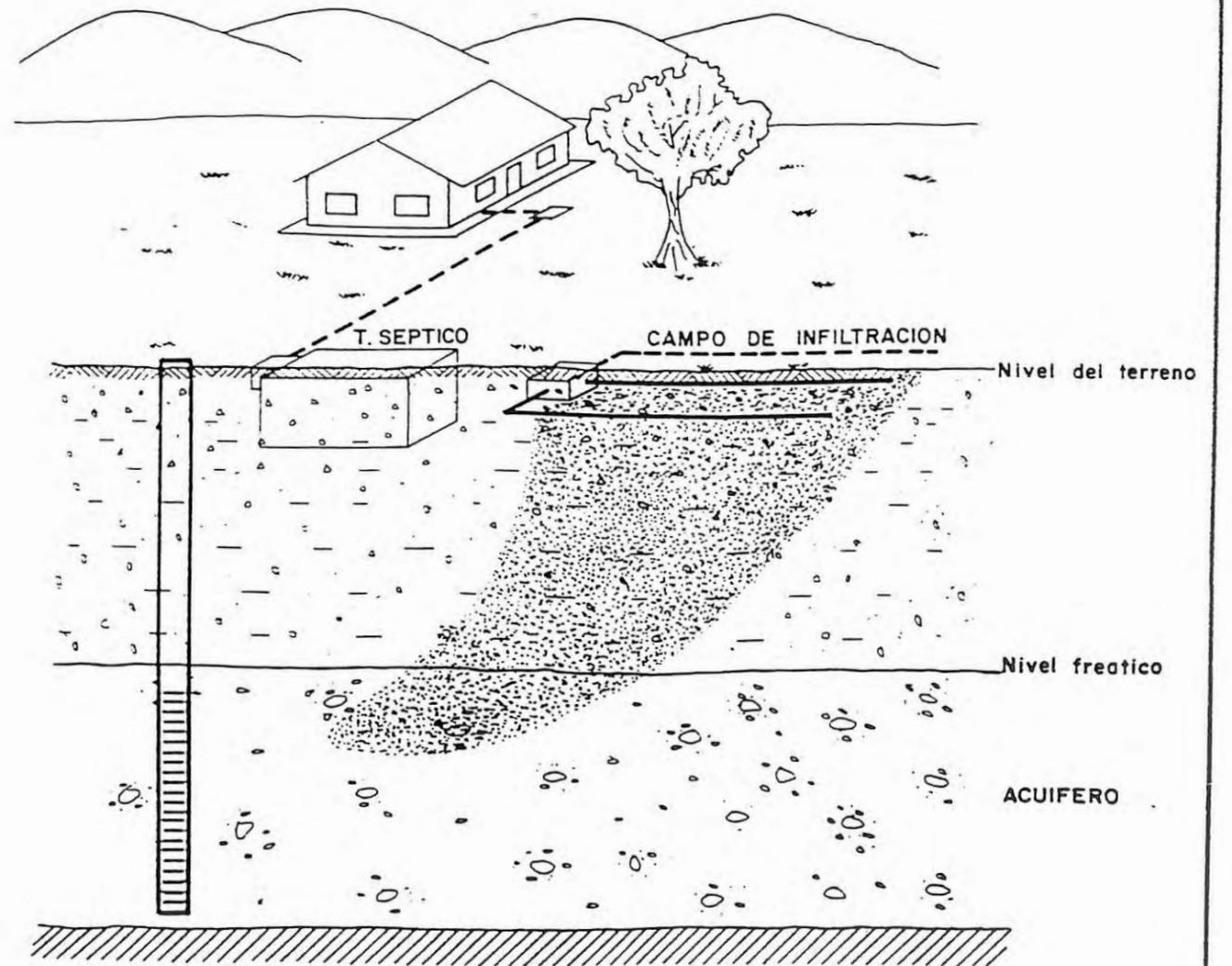


Figura No. 1

3.2 Carga hidráulica de los sistemas sanitarios de saneamiento.

La determinación de la carga hidráulica efectiva que recibe la zona no saturada procedente de los sistemas de disposición local es bastante difícil porque no existe seguridad del número de personas que utilizan una sola unidad originando distintos volúmenes diarios de aguas residuales.

En este trabajo el cálculo de la carga hidráulica se hizo dividiendo el volumen diario de efluente producido por el área transversal de excavación del sistema previamente seleccionado.

$$\text{Carga hidráulica} = \frac{\text{Volumen del efluente / día}}{\text{Área de excavación}}$$

Este parámetro es de suma importancia en el diseño del sistema sanitario para evitar una posible contaminación del nivel freático ya que determinando la carga hidráulica acorde a la conductividad o permeabilidad vertical de la zona no saturada se garantiza con un buen margen de seguridad la purificación microbiológica de los efluentes.

3.3 Obstrucción de los poros del suelo.

Cuando el efluente penetra en la zona no saturada puede obstruir los poros del suelo en la zona de infiltración, reduciendo el flujo y estancándolo sobre el lecho. Algunas causas pueden ser:

- a) Taponamiento de los poros con sólidos que pueda traer el efluente.
- b) Acumulación de biomasa por el crecimiento de microorganismos.
- c) Excreción de sustancias viscosas de ciertas bacterias.

d) Destrucción y aglutinación de la estructura del suelo por intercambio catiónico.

e) Precipitación de sulfatos metálicos insolubles bajo condiciones anaeróbicas provocan la sedimentación de una capa negra muy densa.

f) Compactación del suelo al construir la zona de infiltración.

Debajo de la superficie obstruída el suelo permanece no saturado favoreciendo la purificación del efluente puesto que el flujo de líquidos en la zona no saturada se desplaza a una velocidad menor que en suelo saturado.

El efluente de un tanque séptico se purifica por filtración, reacciones biológicas y procesos de adsorción los cuales son más efectivos en los suelos no saturados pues el contacto entre el líquido y la superficie sólida es mas estrecho y prolongado.

3.4 Velocidad de flujo en la zona no saturada.

Se puede calcular conociendo la proporción de poros conteniendo líquidos a diferentes tensiones del suelo.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Conductividad hidráulica a la tensión de humedad del suelo}}{\text{Porcentaje de poros conteniendo líquidos a igual tensión.}}$$

Con esta relación se puede calcular el tiempo que tarda el efluente en desplazarse un metro, tomando como base un gradiente hidráulico unitario. En condiciones de saturación se obtien la máxima velocidad ya que la tensión de humedad del suelo es cero y la conductividad hidráulica es alta, es decir, que entre mayor

sea la tensión de humedad del suelo menor será la velocidad de flujo del efluente constituyendo la situación más favorable para su purificación.

3.5 Transporte en la zona saturada.

Cuando un líquido ya sea agua o contaminante llega al nivel freático, éste se desplaza en el sentido del flujo subterráneo y su velocidad depende de la permeabilidad horizontal y del gradiente hidráulico, y en general es mucho mayor que la velocidad de flujo vertical en la zona no saturada.

Al alcanzar el contaminante el nivel freático, bajo ciertas condiciones hidrogeológicas, el método usado actualmente de protección contra dicha contaminación es la separación horizontal entre las fuentes de agua potable y las unidades sanitarias. Pero la efectividad de esta separación o distancia está afectada por los siguientes factores:

- a) En la zona saturada, la inmovilización de los organismos es bastante reducida excepto cuando la granulometría del acuífero es muy fina y no consolidada.
- b) Generalmente los acuíferos son bastante heterogéneos, de granulometría variable y estratificados para las secuencias aluviales, con velocidades de flujo hasta de 10 m/día, en acuíferos con fisuras se alcanzan velocidades hasta de 100 m/día y en acuíferos cársticos hasta de 1 km/día.
- c) La dilución de los contaminantes en las aguas subterráneas se debe a la dispersión hidráulica y su cuantificación solo es posible mediante el empleo de trazadores.

El método más práctico para proteger los pozos contra la contaminación es instalar los filtros de admisión de agua al pozo por debajo del nivel freático puesto que cualquier contaminante que tenga el acuífero deberá desplazarse primero verticalmente antes de entrar al pozo. La permeabilidad vertical en la zona saturada es mucho menor que la permeabilidad horizontal en una relación aproximada de 1 a 20, por lo tanto el flujo vertical inducido es bajo, aumentando el tiempo de residencia del contaminante en el subsuelo y su efectividad será mayor cuando existan capas arcillosas semiconfinantes por encima del acuífero que se esté aprovechando. Esta acción es aún más efectiva, cuando se construya el sello sanitario adecuado alrededor del revestimiento del pozo.

3.6 Factores que afectan el transporte de los organismos patógenos.

El factor más importante en la atenuación y eliminación de bacterias y virus es el tiempo de residencia del efluente en la zona no saturada, la cual es la defensa más importante contra la contaminación fecal de los acuíferos. Es decir que entre mayor sea el tiempo de permanencia del efluente en dicha zona, mayor será la garantía de su purificación.

Los factores más importantes que afectan el transporte de contaminantes biológicos en el subsuelo son:

a) Filtración.

Las experiencias de laboratorio realizadas hasta la fecha han demostrado que la filtración no constituye un importante mecanismo para la eliminación de bacterias en la zona saturada a excepción de las capas de granulometría fina cuyos poros tienen un diámetro inferior al de los microorganismos.

La filtración de las bacterias en las zonas de infiltración es el principal mecanismo para limitar su desplazamiento a través del suelo y se ha demostrado que la filtración es más efectiva en la superficie de la película orgánica de la zona obstruida. Ziebell et al (1975) constataron que las bacterias que estaban en la parte inferior y lateral del campo infiltración de un tanque séptico eran bastante escasas a nivel de población en una muestra de control tomada del suelo. Esta reducción se produjo en los primeros 30 cm de la zona de obstrucción.

b) Adsorción.

La eliminación de los virus depende casi que exclusivamente del proceso de adsorción, dado su pequeño tamaño.

La retención de los virus en el suelo está afectada por el grado de saturación de sus poros, a mayor saturación es menor la oportunidad de contacto con las superficies sólidas, de tal manera que para favorecer la eliminación de los virus deben evitarse las grandes cargas hidráulicas así como una distribución irregular del efluente. La capacidad de adsorción de un suelo generalmente aumenta cuando contiene arcilla, aumentando al mismo tiempo su capacidad para filtrar bacterias. Los microorganismos adsorbidos por las partículas de suelo no permanecen inmovilizados totalmente, la adsorción es un fenómeno reversible y los microorganismos pueden desprenderse y penetrar más profundamente en el suelo especialmente después de fuertes precipitaciones.

Los factores que influyen en el transporte de las bacterias y virus a través del suelo según Gerba et al, 1975 son :

- a) La composición del suelo. Las bacterias y los virus son fácilmente adsorbidos por la arcilla bajo condiciones apropiadas, cuanto mayor sea su contenido más intenso será el proceso de atenuación. Suelos con bastante materia orgánica también favorecen la atenuación.
- b) Ph. Un ph bajo favorece la adsorción de virus, los ph elevados producen la desorción de los virus adsorbidos.
- c) Materia orgánica soluble. La materia orgánica soluble compete con los organismos para ocupar los lugares de adsorción en las partículas del suelo, reduciendo su capacidad de adsorción e incluso favoreciendo la desorción de los virus ya adsorbidos.
- d) Cationes. Los cationes, especialmente los bivalentes, pueden favorecer la neutralización o reducir las fuerzas repulsivas entre los microorganismos y las partículas del suelo cargadas negativamente, permitiendo que la adsorción continúe.
- e) Carga hidráulica. Los microorganismos penetran más profundamente al aumentar la velocidad del flujo a alta carga hidráulica, la cual se eleva durante los períodos de recarga natural del agua subterránea por la infiltración de aguas lluvias.
- f) Precipitación. Los microorganismos que quedan retenidos próximos a la superficie del suelo se pueden desprender después de una fuerte lluvia debido al establecimiento de gradientes iónicos dentro de la columna de suelo.

Es posible eliminar el mayor número de bacterias y virus por adsorción aumentando al máximo el tiempo de residencia del efluente en la zona no saturada y esto puede lograrse aplicando una baja tasa de carga hidráulica o limitando la infiltración, que naturalmente ocurre una vez obstruida la superficie de infiltración.

3.7 Factores que afectan la supervivencia de los organismos patógenos.

3.7.1 En los suelos (Gerba, 1979)

- a) Grado de humedad. Mayor supervivencia en suelos húmedos y durante períodos de alta precipitación pluvial.
- b) Capacidad de retención. El período de supervivencia es menor en suelos arenosos que en suelos de mayor capacidad para retener la humedad como los arcillosos.
- c) Temperatura. Mayor supervivencia a temperaturas más bajas.
- d) Adsorción. Al adsorberse los virus en el suelo se prolonga su supervivencia.
- e) PH. El período de supervivencia de las bacterias es menor en suelos ácidos (ph: 3-5) que en los alcalinos.
- f) Luz solar. Menor período de supervivencia en la superficie del suelo debido a los efectos dañinos de los microorganismos aeróbicos, a la evaporación y a las elevadas temperaturas en las zonas próximas a la superficie.
- g) Materia orgánica. Mayor período de supervivencia de las bacterias y posibilidad de reproducción en presencia de cantidades suficientes de materia orgánica.

h) Antagonismo de la microflora del suelo. Mayor supervivencia en el suelo estéril. La microflora del suelo y las bacterias compiten por los nutrientes, los microorganismos aeróbicos del suelo afectan negativamente la supervivencia de los virus, mientras que los organismos anaeróbicos no la afectan.

3.7.2 En las aguas subterráneas.

La información sobre la supervivencia de los virus y las bacterias en las aguas subterráneas es relativamente limitada y de algunas experiencias realizadas se puede decir que la temperatura es el factor más importante para el exterminio de los virus, pudiéndose esperar un 99,9% de reducción a una temperatura de 20°C en 10 días, aunque algunos virus pueden sobrevivir varios meses. En cuanto a las bacterias se ha aceptado la tesis de que su período de supervivencia suele ser mayor en las aguas subterráneas que en las superficiales, debido a la ausencia de luz solar y a la poca competencia por los nutrientes disponibles. Las bacterias sobreviven mayor tiempo cuando las temperaturas son bajas y la naturaleza química del agua subterránea afecta así mismo la capacidad de supervivencia de cualquier bacteria presente que en general soportan mal las condiciones ácidas.

El recorrido de contaminantes depende principalmente de la velocidad del flujo del agua subterránea y de la mortalidad de los microorganismos, además de su concentración inicial, su dispersión en el flujo del acuífero, del volumen de la muestra probada y de la sensibilidad del método utilizado para detectarlos.

La determinación de la distancia segura de separación entre una fuente de agua subterránea y un sistema de disposición de excretas es bastante difícil debido a la heterogeneidad del medio subterráneo, siendo muy raro encontrar un acuífero de material uniforme con una permeabilidad constante; por lo tanto es muy arriesgado predecir o establecer distancias seguras para la protección de un pozo de agua potable contra la contaminación fecal.

3. CONTAMINACION POR NITRATOS.

Los nitratos presentes en el suelo y/o en las aguas subterráneas son el resultado de la degradación microbiana de sustancias orgánicas nitrogenadas en iones amónicos (NH_4^+), que luego son oxidados biológicamente hasta convertirse en nitritos y nitratos.

La cantidad de nitrógeno (en forma de amoniaco) en los desechos humanos se calcula en unos 5 kg por persona al año. El uso cada vez más generalizado de fertilizantes en las actividades agrícolas, indirectamente ha contribuido a elevar las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas situadas debajo de zonas de intensos cultivos agrícola (Nightingale, 1972; Foster, 1976; Foster y Young 1980).

La contaminación de las aguas subterráneas con nitratos representa un serio problema, especialmente en zonas densamente pobladas, puesto que el único mecanismo activo para reducir su concentración es diluyéndolo en el flujo regional de aguas subterráneas. El nitrógeno que permanece en el suelo con el tiempo llegará hasta las aguas subterráneas ya sea como nitrato o como ión amónico, dependiendo de la cantidad de oxígeno disponible.

Una vez que los nitratos penetren en el medio subterráneo, permanecen allí por un largo período casi que indefinido.

Los desechos humanos contienen aproximadamente 5 kg de N por persona al año, en forma de amoníaco y de compuestos orgánicos complejos los que rápidamente pueden convertirse en nitratos bajo condiciones aeróbicas. Aunque todo este nitrógeno no alcanzará el nivel freático ya que podría ocurrir una desnitrificación.

La relación teórica del insumo nitrógeno (estimando que solo un 10% sería lixiviado a las aguas subterráneas) y la probable concentración de nitrógeno en el agua que se infiltra en los acuíferos se ilustran en la figura No. 1a.

Los factores que controlan el grado de contaminación por nitratos son :

- a) La eficiencia de los procesos de eliminación de nitrógeno dentro y debajo de la zona de infiltración de los efluentes, la cual dependerá de la conductividad hidráulica del suelo, la carga hidráulica del efluente y de si existen condiciones anaeróbicas favorables para la desnitrificación.
- b) La población que utiliza el sistema de disposición local en el suelo y la densidad de dichos sistemas sanitarios.
- c) La dilución por recarga hidráulica natural y por flujo en el sistema acuífero de la zona.
- d) El tipo de desnitrificación en la zona saturada; aunque, los factores que conducen a ella pueden estar relacionados con el alto contenido de hierro, manganeso y otros metales en las aguas subterráneas.

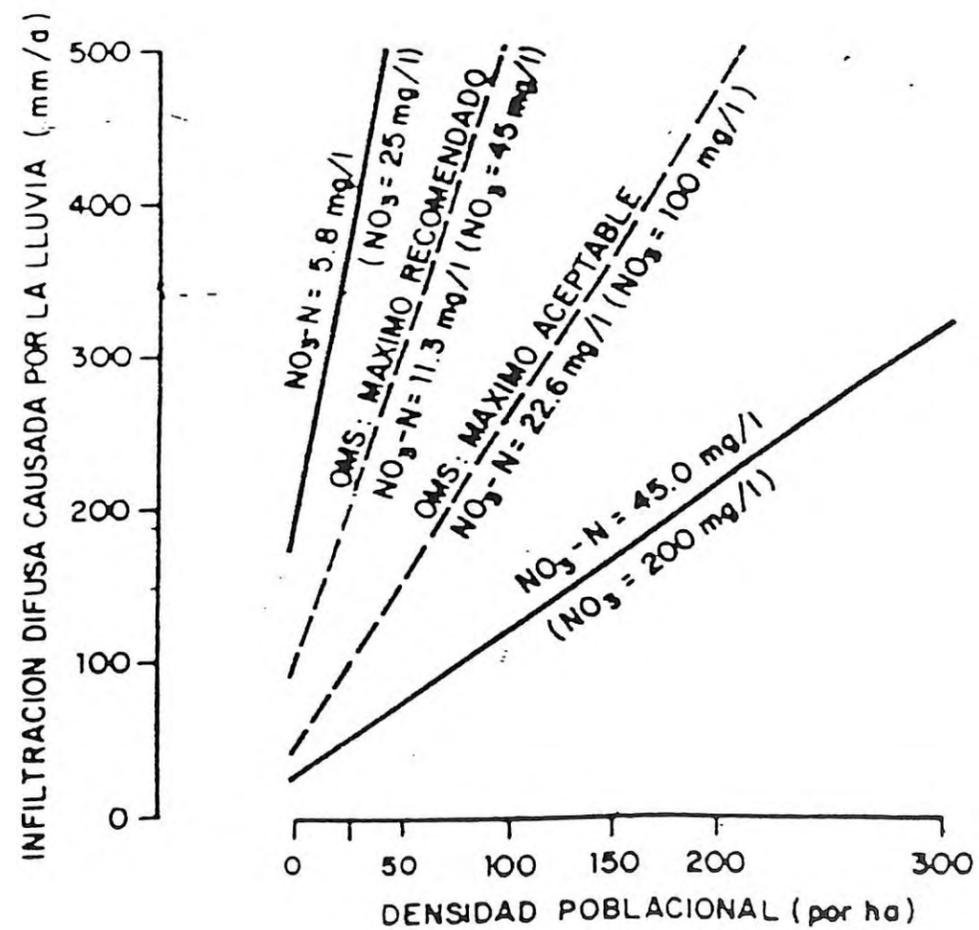


Figura No.1a

Concentración estimada de nitratos en las aguas subterráneas.

- Supuestos:
- Generación de 5 Kg-N/persona-año
 - Solo 10% de N lixiviado a las aguas subterráneas
 - Dilución solo por infiltración difusa y efluente líquido.

e) Bajo condiciones hidrogeológicas anaeróbicas, los amoniacos, y no los nitratos, serían las formas de nitrógeno de mayor desplazamiento en el medio subterráneo. En este caso la contaminación del nivel freático con amoniacos puede ocurrir largo tiempo después de construídos los sistemas sanitarios de disposición local puesto que es un ion poco móvil.

INVESTIGACION DE CAMPO

1. ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio está localizada al sur de la ciudad de Cali, zona suburbana de Pance, corregimiento de La Viga, municipio de Cali, departamento del Valle con un área total de 1700 más (Figura No.5). Por el norte limita con el Callejón de las Chuchas entre la carretera Panamericana y el río Pance, por el este con la carretera Panamericana entre el Callejón de las Chuchas y el puente sobre el río Jamundí y por el oeste y sur con el río Pance hasta su desembocadura en el río Jamundí.

La precipitación media anual es de 1600 mm, su evaporación de 1700 mm y la temperatura de 24°C.

La zona de Pance es de topografía plana con una suave inclinación oeste - este de pendiente media del 3%. La principal corriente superficial es el río Pance que pasa por la parte alta de la zona con dirección oeste-sur y del cual se derivan 3 acequias importantes (No. 6,7 y 8) en diferentes sitios, que atraviesan totalmente la zona de oeste a este, las cuales a su vez se subdividen en varias ramificaciones, constituyendo la principal fuente de abastecimiento de agua superficial cuyo uso principal es el riego de jardines y ornamental.

La población actual aproximada es de 20.000 habitantes que viven principalmente en residencias unifamiliares, condominios y parcelaciones; además existen universidades, clubes de recreación, deportivos, clínicas y algunos centros comerciales y restaurantes con una alta población flotante durante el día.



Figura No.2

MUNICIPIO DE CALI

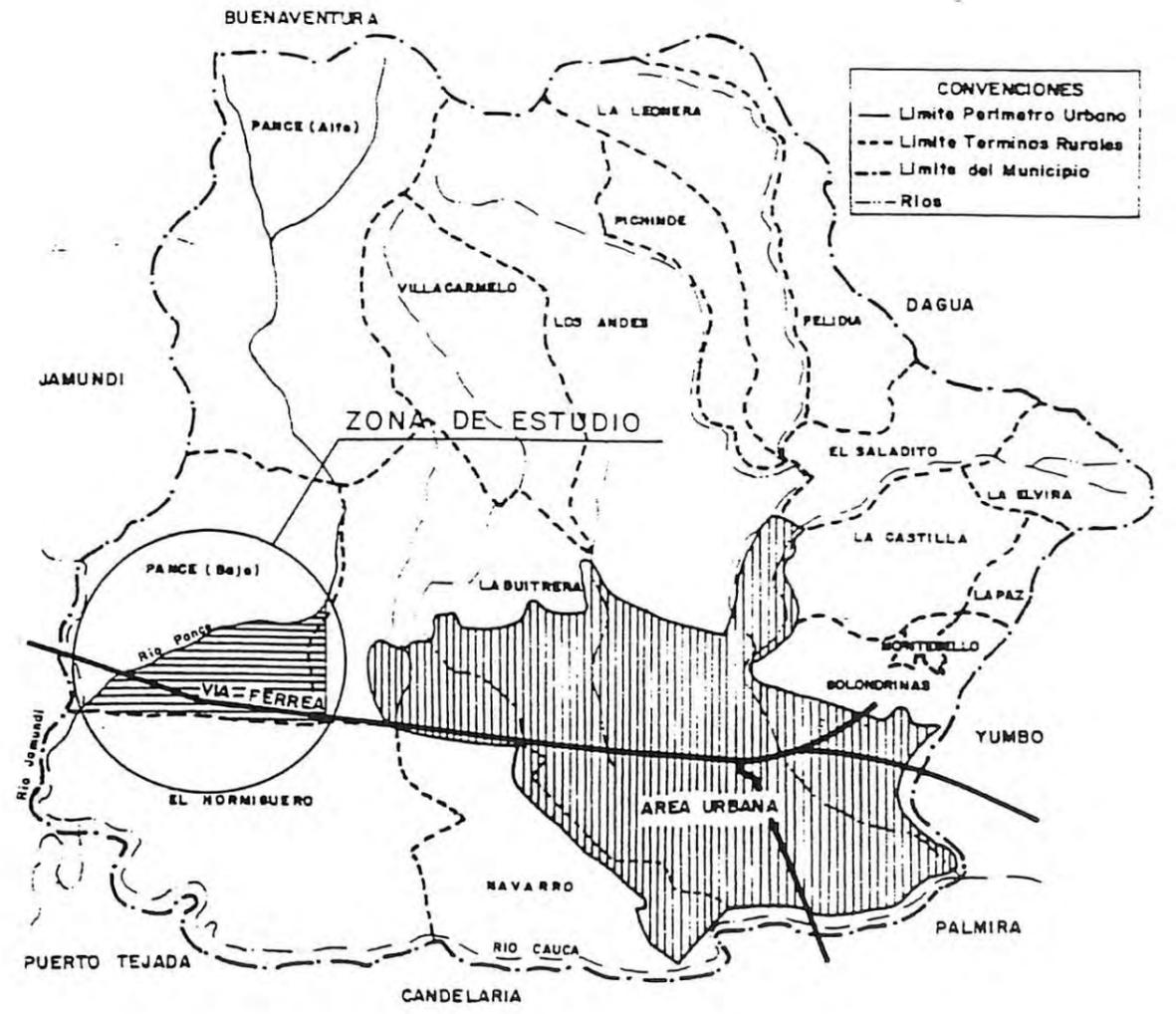


Figura No. 4

ZONA DE ESTUDIO SECTOR PANCE

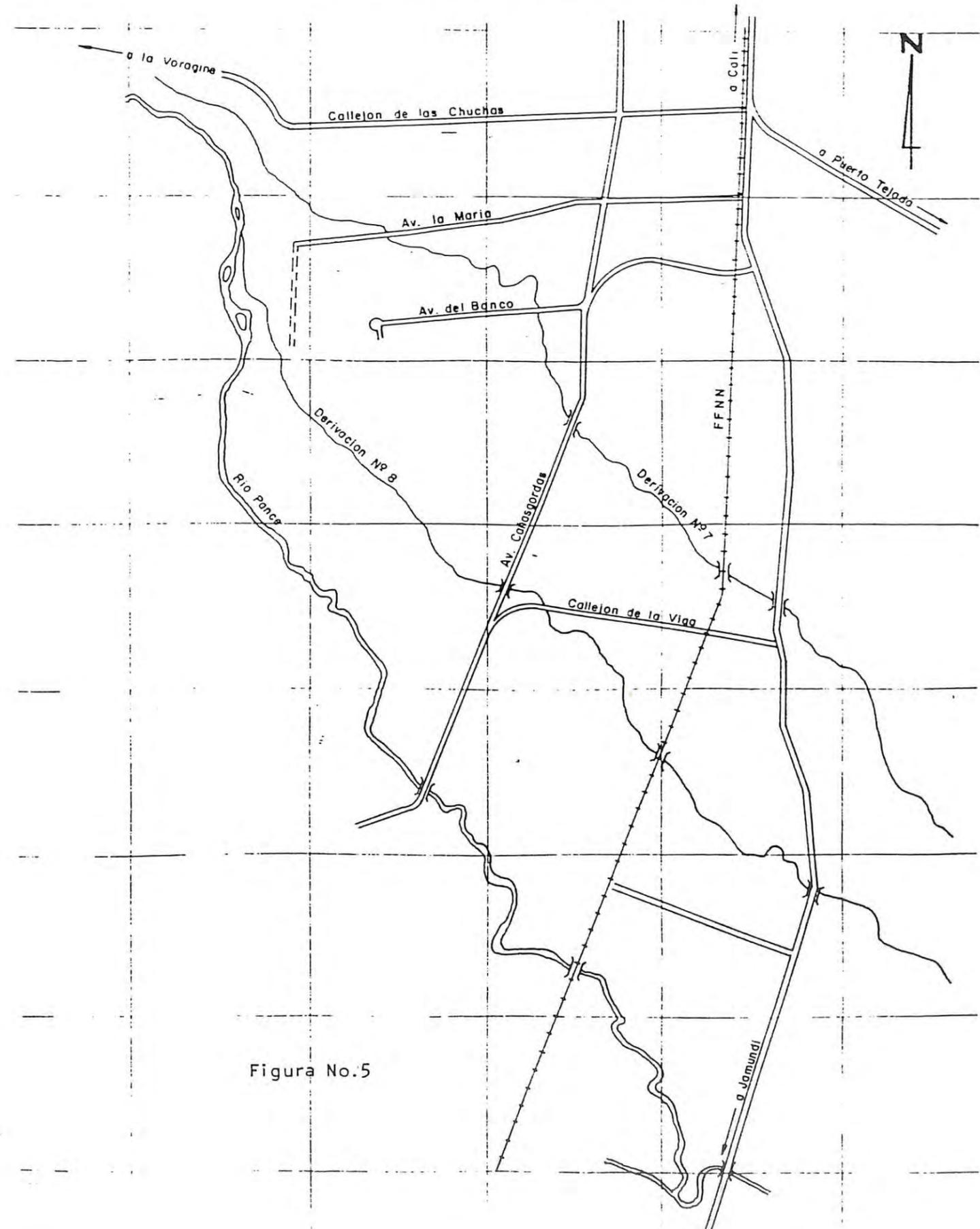


Figura No.5

A partir del Callejón de las Chuchas hacia el sur no existe red de acueducto ni de alcantarillado de aguas residuales domésticas y pluviales, razón por la cual el abastecimiento de agua se deriva principalmente de aguas subterráneas mediante pozos pequeños y en menor grado de fuentes superficiales.

La disposición de aguas residuales domésticas se efectúa en el suelo mediante diversos sistemas.

La población residente en esta zona es por lo general de altos recursos económicos y el crecimiento urbano de la ciudad de Cali está proyectado hacia este sector.

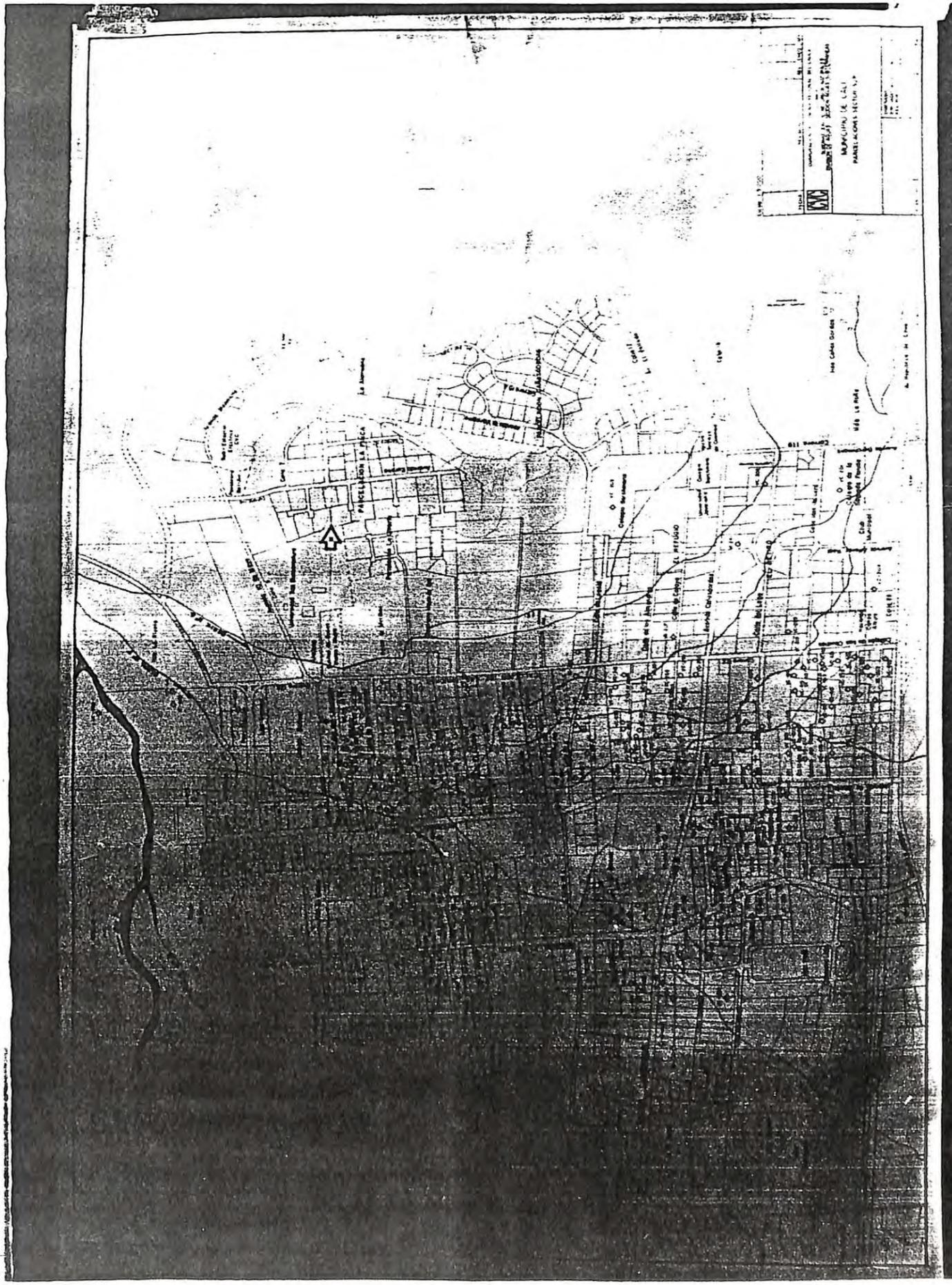
2. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.

Se realizó un inventario detallado predio por predio de las fuentes de abastecimiento de agua, entre el 18 de abril de 1989 y el 20 de abril de 1990, ubicándose 283 pozos pequeños (plano No.1), que han sido excavados manualmente debido a la dureza del subsuelo. Existen además 4 pozos profundos con profundidades entre 30 y 60 m perforados con equipos de rotación. Se localiza en la zona un lago natural alimentado por aguas freáticas el cual se estableció como un punto de descarga localizado del acuífero superficial de Pance.

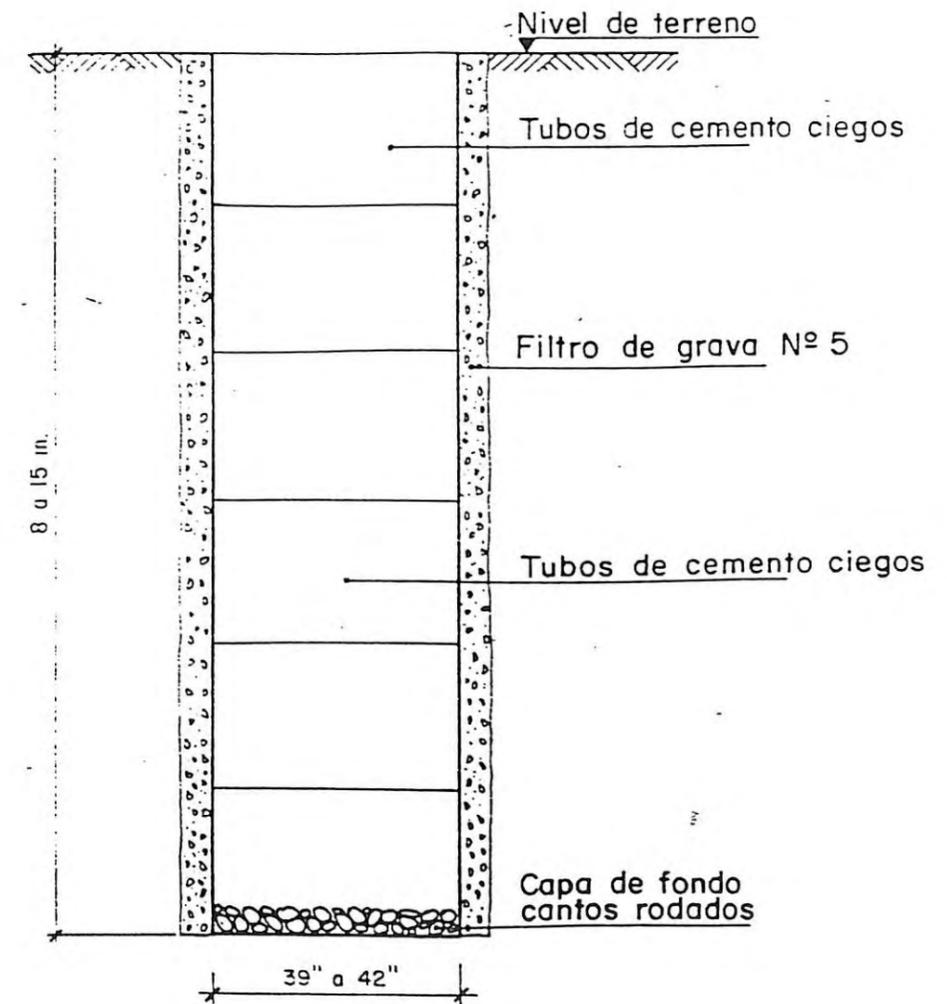
Las características de los pozos existentes en la zona son los siguientes:

2.1 Pozos excavados manualmente (Aljibes).

Los pozos que actualmente abastecen de agua a la zona de Pance tienen profundidades entre 8 y 20 m, revestidos con tubos de cemento de gran diámetro (39" a 42"). (Figura No. 6).



POZO EXCAVADO MANUALMENTE
(tipo de pozo en operación)



Etapas que no se cumplen:

1. No desarrollo
2. No hacen prueba de bombeo
3. No desinfectan el pozo

Figura No.6

La zona de admisión de agua es por las juntas o uniones entre tubo y tubo los cuales son de 1,0 m de longitud, por lo tanto, su área de entrada es muy baja, tendiendo a ser nula en sentido horizontal. Su principal entrada es por el fondo el cual se deja abierto con una capa permeable de cantos rodados.

Los diámetros de perforación son de 60" (1,50 m) en toda su profundidad y en el espacio anular entre la tubería de revestimiento y el hueco excavado se instala un filtro de grava estabilizador. La gran mayoría de estos pozos no tienen sello sanitario y tampoco han sido desinfectados después de su construcción.

El caudal medio de explotación por pozo es de 1,0 LPS y el tipo de bombas utilizada es centrífuga tipo Jet con inyector, el cual se instala generalmente entre 0,5 y 1,0m por encima del fondo del pozo.

Las profundidades de estos pozos dependen básicamente de la experiencia de los constructores para este tipo de obra excavada manualmente y de los equipos disponibles tanto para la excavación como para evacuar el agua que se vaya encontrando, siendo este el principal limitante que define la profundidad final del pozo.

Todos estos pozos captan las aguas freáticas del acuífero de Pance.

2.2 Pozos profundos.

Se localizan 4 pozos profundos revestidos en acero entre 6" y 8" de diámetro y profundidades entre 30 y 60 m. Tienen sellos sanitarios entre 20 y 30 m de longitud y se han construido con todas las especificaciones recomendadas por la CVC. Producen caudales de 2 a 3 LPS y captan acuíferos localizados entre 25

y 60 m de profundidad. Han sido desinfectados de acuerdo a las normas establecidas y actualmente funcionan adecuadamente. —

2.3 Uso de los pozos.

La totalidad de los pozos de la zona son utilizados para uso doméstico y riego de jardines. Un 20% de la población bebe el agua sin ningún tratamiento, otro 20% hierve el agua y/o la tratan y un 60% solo la usan para servicios y riego, el agua de beber la compran embotellada pero la de cocinar, duchas y lavamanos son del pozo.

3. INVENTARIO DE SISTEMAS DE SANEMANIENTO BASICO.

La casi totalidad de las aguas residuales domésticas de toda la zona se descargan en tanques sépticos y el efluente se infiltra en el suelo por medio de campos de infiltración y pozos de absorción. Hay otros sistemas en que el efluente va a zanjas filtrantes o filtros anaeróbicos, luego se clora y posteriormente va a un cauce superficial.

Existen algunas casas antiguas que tienen "pozos negros" donde descargan directamente las aguas residuales, con profundidades entre 4 y 6 m y que practicamente descargan en las aguas subterráneas.

Según el inventario realizado en la zona hay 30 condominios, 16 colegios, 6 jardines infantiles, 15 clubes recreacionales, 6 restaurantes, 2 servitecas, 3 universidades y 216 residencias unifamiliares. La población aproximada es de 20.000 habitantes de los cuales 10.000 son la población flotante diaria correspondiente a colegios y universidades. El 90% de esta población depende de 280 tanques sépticos que descargan sus efluentes en un 50% en el suelo para infiltración un 20% en pozos de adsorción y el 30% restante descarga el efluente tratado y clorado a cauces superficiales.

Según lo anterior para la zona de estudio el grado de vulnerabilidad de contaminación de las aguas subterráneas es alto en los sitios donde se han construido y proyectado campos de infiltración y/o pozos de absorción debido a lo pequeño de las áreas de los lotes (1500 m^2 /vivienda área mínima permitida por el Departamento de Planeación Municipal); Puesto que los pozos de abastecimiento quedan muy cercanos a las áreas de infiltración y estas a su vez entre sí.

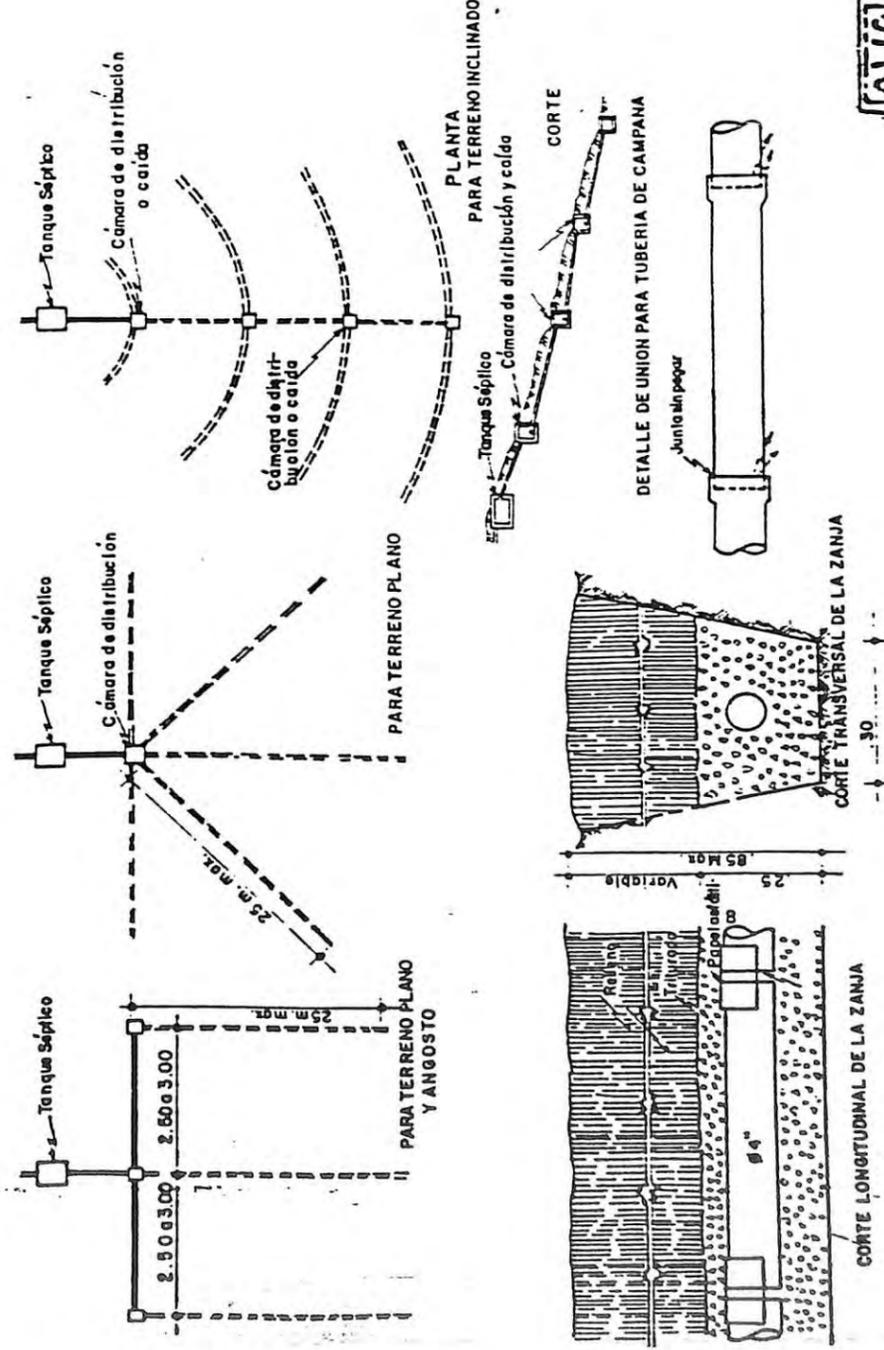
Generalmente los campos de infiltración se diseñan con tuberías de gres de 4" de diámetro con perforaciones de 1/2" de diámetro en su parte inferior para la salida del efluente. Estas tuberías van enterradas en suelo a una profundidad que oscila entre 0,6 y 1,5 m con un promedio de 1,0 m. (Figura No.7)

Los pozos de absorción tienen profundidades entre 1,70 y 3,0 m son revestidos en ladrillo o piedra dejando aberturas intercaladas en las paredes para la salida del efluente. El fondo de estos pozos se recubre en algunos con una lechada de cemento o mortero y otros se dejan en tierra o suelo. (Figura No.8)

4. CONTROLES ACTUALES.

La CVC controla la construcción de los sistemas de disposición local y de los pozos de abastecimiento a partir de junio de 1985 mediante la emisión de un concepto de factibilidad con destino al Departamento Administrativo de Planeación Municipal, en el cual se autoriza y localiza la construcción de dichas obras.

Las normas actuales, que son empíricas, de separación entre un pozo de abastecimiento y un campo de infiltración y/o pozo de absorción es de 50 m y entre pozos vecinos de 100 m. Normas que en algunas situaciones no se cumplen por lo pequeño e irregular de los lotes donde se proyecta construir, especialmente en residencias unifamiliares puesto que cada usuario requiere o solicita un pozo y su sistema de disposición individual.



LONGITUD CAMPO INFILTRACION			
Terreno arenoso	Terreno medio	Terreno arcilloso	Ø
60 m	100 m	170 m	4"
90 m	170 m	260 m	4"
120 m	240 m	365 m	4"

10 Personas por familia

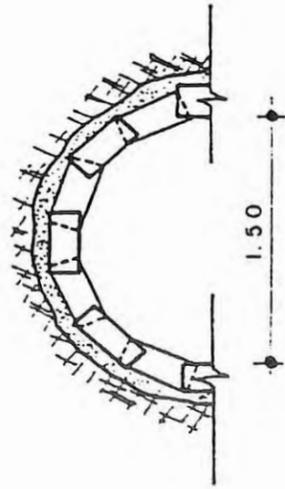
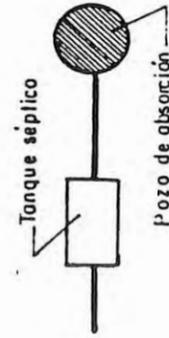
CVC CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
 DIVISION DE AGUAS
 SECCION CONTROL DE CONTAMINACION

DIFERENTES DISPOSICIONES PARA LOS CAMPOS DE INFILTRACION

FECHA: Sept./78 PRESENTADO: APROB: CVC FIG: 7

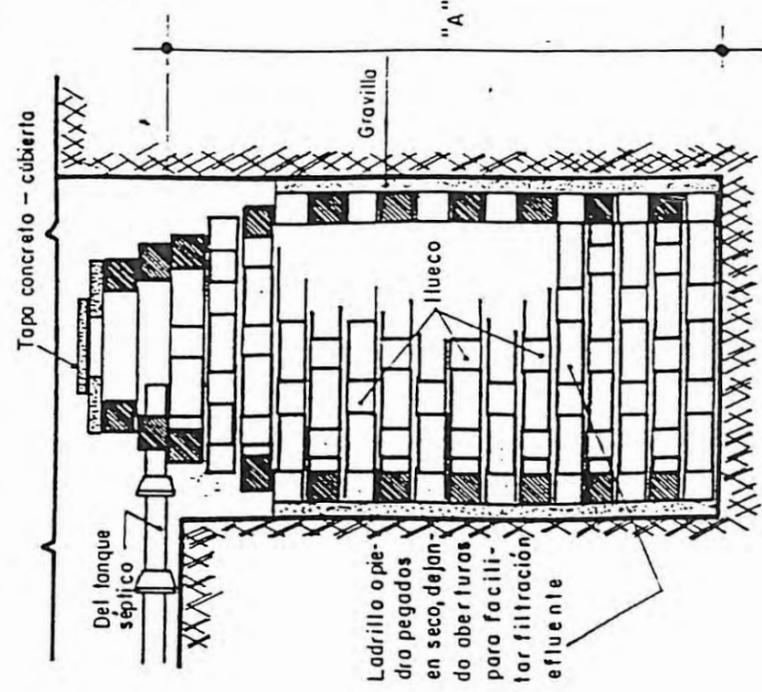
DETALLES DEL CAMPO DE ABSORCION

Figura No.7



PLANTA

Resultado Prueba de Percolación en minutos	Pozos de diámetro \varnothing 1.50m.	No. de Pozos	Profundidad "A"
2	1	1	1.70
3	1	1	2.00
4	1	1	2.30
5	1	1	2.67
10	2	2	1.60
15	2	2	1.90
30	3	3	2.00



CORTE

CVC CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
DIVISION DE AGUAS
SECCION CONTROL DE LA CONTAMINACION

POZO DE ABSORCION

FECHA: Noviembre - 83
DISEÑADO: [Signature]
APROBADO: [Signature]
FIG. 8

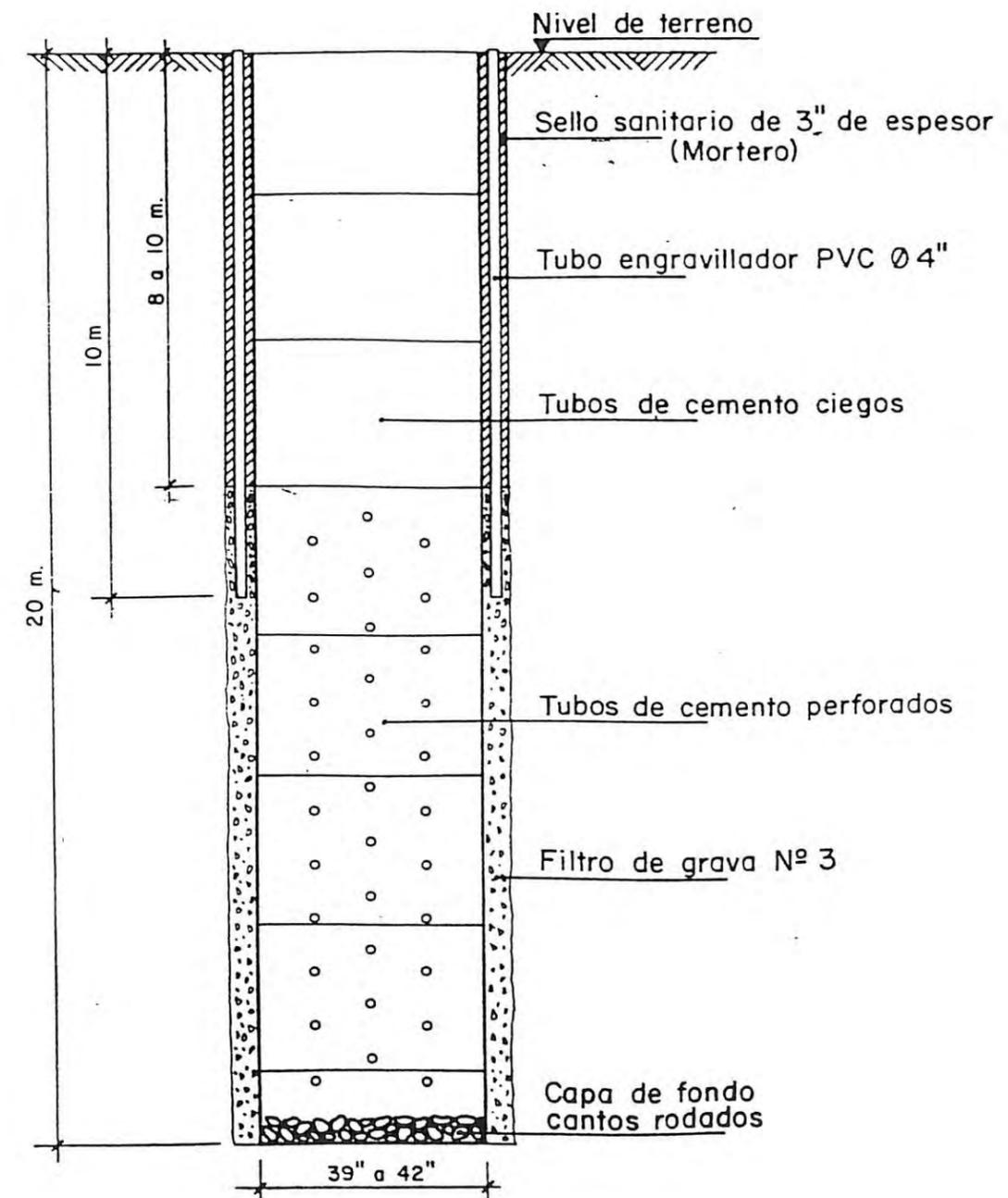
Figura No.8

La distancia vertical mínima entre el nivel freático (en invierno) y el fondo de un pozo de absorción y/o el lecho de la tubería de un campo de infiltración es de 1,50 m, norma también empírica que se considera válida para todas las situaciones.

Para evaluar si las características del suelo permiten la infiltración o no de las aguas residuales se requiere de uno o varios ensayos de percolación (según el área del lote) con base en el cual se determina el área necesaria para dicha infiltración. Este ensayo consiste en excavar un hueco de base de 0.30 x 0.30 x 0.8 m de profundidad el cual se llena de agua hasta saturarlo, operación que se realiza durante 1 hora y en forma repetitiva. Luego de que el agua se haya drenado totalmente, se llena nuevamente el hueco con agua hasta una altura de 15 cm (6") y se toma el tiempo promedio en que tarda en bajar el agua 1 pulgada, tiempo con el cual se determina el área de infiltración. Cuando el tiempo en bajar una pulgada es mayor de 60 minutos se considera que el suelo es de muy baja permeabilidad y no se permite infiltrar, adoptándose otras alternativas de tratamiento como zanjas filtrantes y filtros anaeróbicos cuyo efluente se clora y luego va a un cauce superficial, teniendo en cuenta siempre el uso de la corriente receptora para no afectarla negativamente.

En cuanto a los pozos de abastecimiento se tiene una norma de distanciamiento de 100 m, se están autorizando con profundidades mínimas de 20 m y un sello sanitario obligatorio de alrededor de 10m (Figura No.9) lo mismo que una desinfección total del pozo una vez construido, puesto que es muy probable su contaminación durante la excavación que normalmente tiene un período de duración de 1 a 2 meses por pozo. Cuando la cercanía entre pozos y sistemas de deposición de aguas residuales es alta se exige la construcción de pozos profundos entre 40 y 60 m de profundidad. (Figura No.10)

POZO EXCAVADO MANUALMENTE
(recomendado por CVC)



Recomendaciones para puesta en operación

1. Desarrollo y limpieza.
2. Prueba de bombeo.
3. Desinfección total (pozo y bomba)
4. Toma muestra de agua. (Análisis Físico-Químico y Bacteriológico)
5. Cloración del agua en caso de ser necesaria.

POZO PERFORADO CON EQUIPO DE ROTACION O PERCUSION
DISEÑO RECOMENDADO POR LA CVC

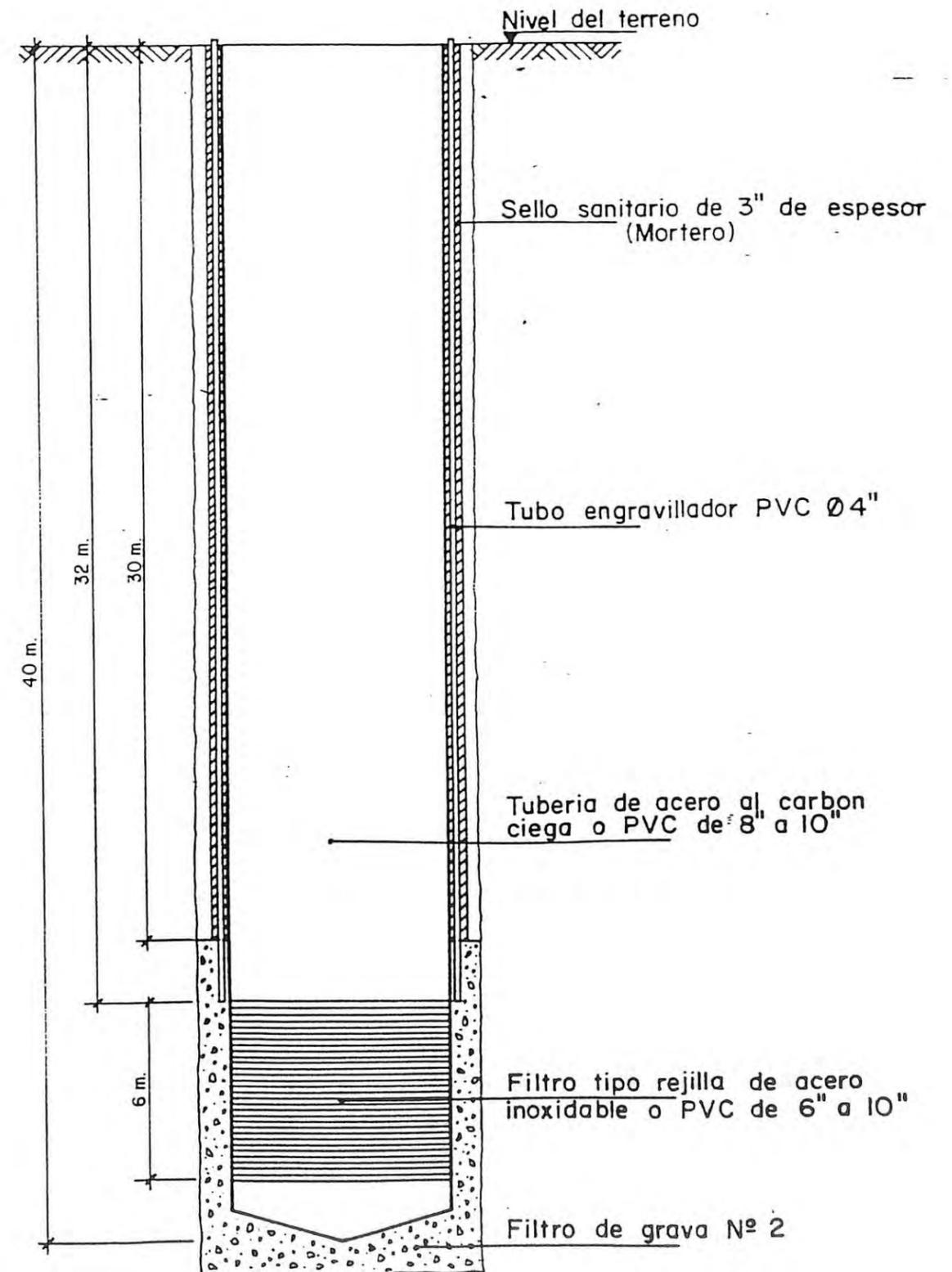


Figura No. 10

A pesar de estas normas, algunos constructores no cumplen con las especificaciones de las obras o proyectos aprobados en cuanto a los sistemas de disposición de aguas residuales, lo mismo ocurre con los pozos excavados manualmente que por lo general ni hacen su sello sanitario ni los desinfectan.

En algunos sitios se ha podido constatar de que se han aprobado pozos de absorción de 1,50 m de profundidad y los construyen por lo general de 3,0 m aumentando el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Es muy difícil en la actualidad hacer un control de obras en el campo porque los constructores en su mayoría no avisan el inicio de las obras o tardan mucho tiempo en realizarlas. Por lo tanto es recomendable que el Departamento de Planeación Municipal solicite la aprobación de obras para verificar que los proyectos aprobados por la CVC se cumplan cabalmente en la realidad.

5. CARGA HIDRAULICA ACTUAL.

La carga hidráulica de efluentes que se infiltran en el suelo de la zona de Pance, que autoriza actualmente la CVC oscila entre 40 y 80 mm/día debido a lo permeable de dichos suelos. La rata de percolación o infiltración de dichos suelos según ensayos realizados por los usuarios en diferentes lotes de la zona arrojan valores que oscilan entre 6 y 50 minutos/pulg. con un promedio entre 20 y 25 minutos/ pulgada para una velocidad vertical entre 1,5 y 1,8 m/día. Con esta velocidad de infiltración y para un nivel freático del orden de 5,0 m el tiempo de residencia del efluente es del orden de 3 días en caso de que la zona no saturada tenga la misma permeabilidad vertical en todos sus estratos.

Esta alta velocidad de infiltración sumada a los altas cargas hidráulicas aplicadas en el suelo posiblemente son la principal causa de la contaminación del nivel freático. Medidas realizadas en el campo

indican un caudal promedio de aguas residuales domésticas infiltradas del orden de 400 lts/habitantes-día. El número total de personas que infiltran en la zona de Pance es de aproximadamente 10.000 para un caudal total de aguas residuales de $4000 \text{ m}^3/\text{día}$ (46 LPS). Considerando una carga de 5 kg de N/habitante -año, la carga total infiltrada es del orden de 50 ton/año.

La norma actual recomendable de carga hidráulica máxima es de 50 mm/día con una ideal de 30 mm/día. Para llegar a esta meta los lotes donde se piense infiltrar deben tener áreas de absorción del orden de 600 m^2 por vivienda de 6 personas; como el pozo de abastecimiento de agua (en caso de utilizar agua subterránea) debe quedar a una distancia horizontal mínima de 50 m, el área total de cada lote por vivienda debe ser de alrededor de 5.000 m^2 .

6. HIDROGEOLOGIA.

6.1 SISTEMA DE FLUJO SUBTERRANEO (PIEZOMETRIA).

Durante el inventario que se realizó en toda la zona se midieron los niveles estáticos de todos los pozos. Se sacó la elevación topográfica de cada una de estas captaciones con base en la aerofotogrametría realizada por EMCALI en el área en 1982. Se calculó el nivel del agua en cada pozo referenciándolo al nivel del mar obteniéndose así su nivel piezométrico.

Se trazó la superficie piezométrica del acuífero superficial de Pance con los niveles piezométricos de 50 pozos medidos entre el 18 de abril y el 3 de mayo de 1989 que se puede considerar como de invierno, puesto que durante el mes de abril la precipitación en la zona fue de 155 mm y en el mes de mayo de 202 mm (estación Univalle). La máxima precipitación en la zona en el año 1989, fue durante el mes de octubre con 216 mm. No se incluyeron los niveles medidos de junio en adelante porque el cambio climático fue bastante drástico ya que en este mes la precipitación se redujo a 80 mm.

La piezometría así trazada (plano No.2) nos da una idea clara del sistema de flujo del acuífero superficial. La equidistancia entre curvas es de 5 m y se trabajó sobre un plano de la zona a escala 1:5000.

La piezometría según su morfología presenta un tipo de superficie radialconvergente y divergente. La dirección general del sentido del flujo subterráneo es de oeste a este hacia el río Cauca, se ve claramente que la principal zona de recarga del acuífero superficial es el río Pance y así lo demuestra el nivel piezométrico (Fig. No.11). Las curvas van aumentando su



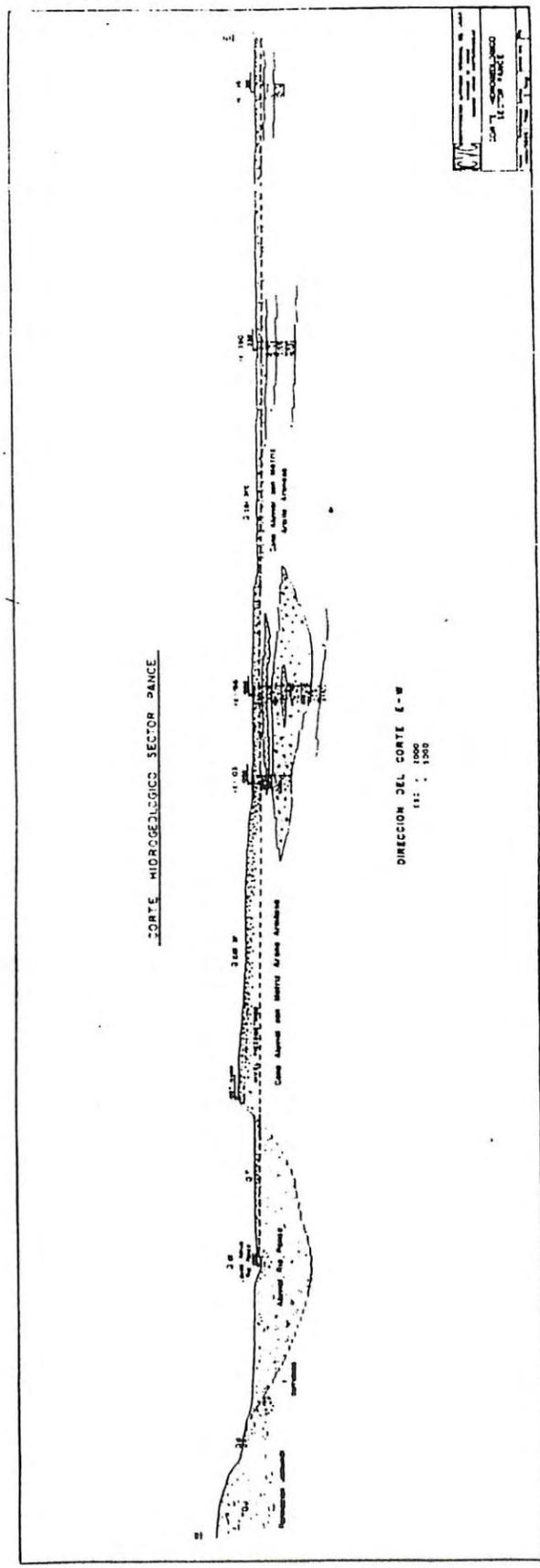


Figura No. 11

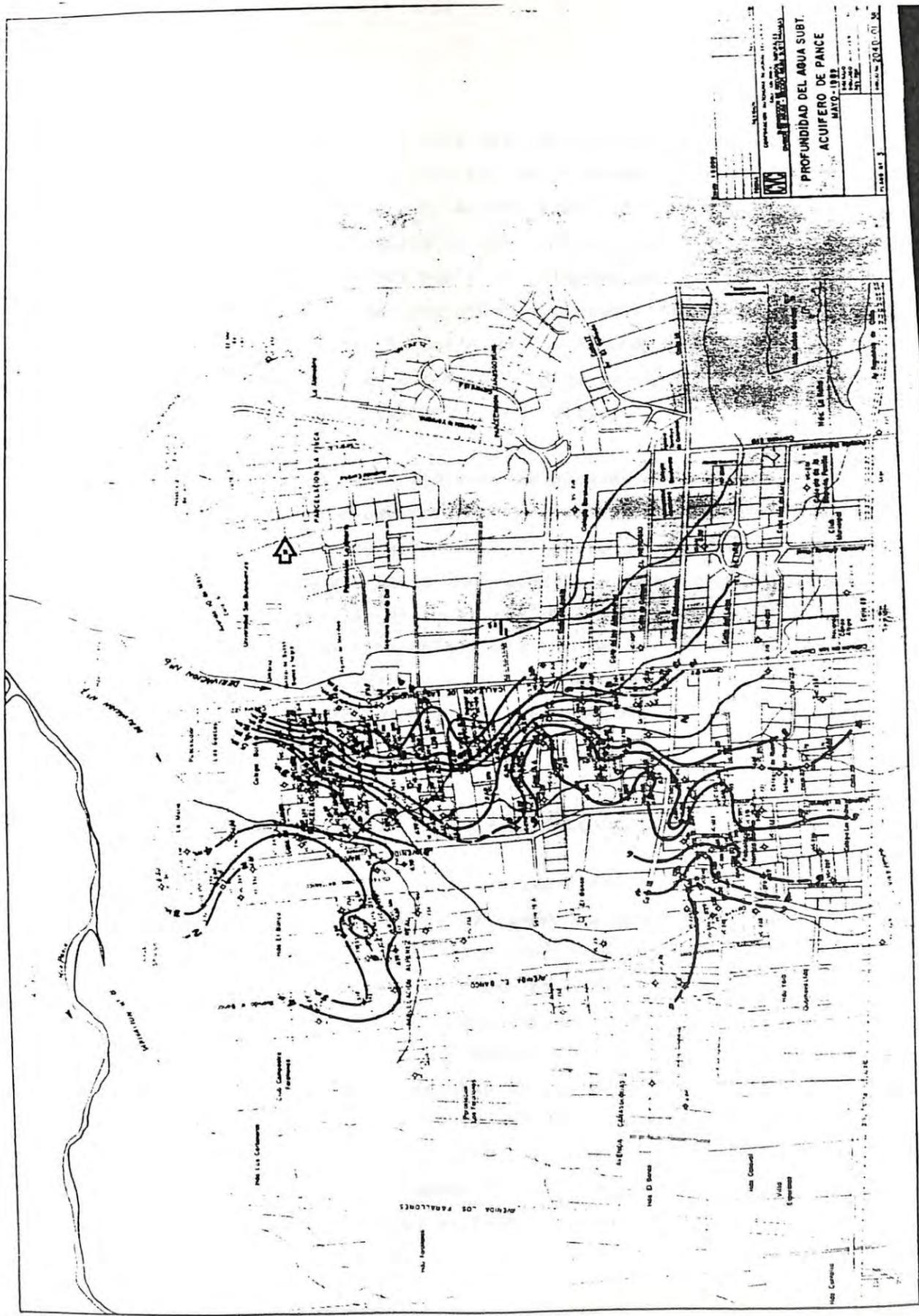
espaciado de oeste a este indicando un aumento de permeabilidad en este sentido. También se puede apreciar una amplia zona de líneas de flujo divergentes que indica no una zona de recarga sino más bien una divisoria de aguas subterráneas que coincide con un domo por donde esta trazada la vía del Callejón de Las Chuchas. Hacia el noreste de la zona se ve como las líneas de flujo se dirigen al lago del Lili el cual es natural alimentado por las aguas freáticas del acuífero de Pance constituyendo un punto de descarga del mismo.

- El gradiente hidráulico natural va desde 4% en la parte alta de la avenida La María pasando al 2,4% por la parte central de la misma hacia aguas abajo hasta alcanzar un valor de 1,6% en la parte baja de la avenida del Banco indicando una velocidad menor del flujo subterráneo en el sentido en que decrece el gradiente hidráulico y por lo tanto un aumento de permeabilidad y transmisividad del acuífero.

Por el Callejón de las Chuchas de oeste a este el gradiente hidráulico varía en la parte alta del 4% al 5% en la parte media sobre la avenida Cañasgordas, es decir que aumenta debido al fuerte cambio de pendiente topográfico que hay en este sitio, para luego disminuir progresivamente aguas abajo hasta un valor del 2,6% al llegar al lago del Lili. El alto gradiente hidráulico demuestra una alta circulación del agua en el acuífero la cual está limitada por su permeabilidad y porosidad eficaz.

6.2 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO.

En el plano No.3 se puede apreciar las curvas de nivel freático de la zona, trazadas con base en la medición realizada entre junio y septiembre de 1989 que se considera representativo de época de verano.



PROFUNDIDAD DEL AGUA SUBT.
ACUIFERO DE PANCE
MAYO-1988

FECHA	1988
ESCALA	1:500
PROYECTADO POR	...
REVISADO POR	...
APROBADO POR	...
ELABORADO POR	...
PROYECTO	...
HOJA	...
TOTAL	...

El nivel freático de la zona oscila entre 2 y 7 m siendo el rango más común entre 2 y 5 m. Los meses durante los cuales se realizó esta medición se han caracterizado por ser bastante secos, por lo tanto es de esperarse que en épocas de invierno acentuado estos niveles pueden subir en algunas partes hasta menos de 1,0 m. Los niveles más profundos se encuentran sobre el Callejón de las Chuchas entre la Calle de los Almendros y la avenida Cañasgordas con valores entre 10 y 13 m, asociados al cambio brusco dependiente del terreno en este sitio.

- Se realizará una nueva medición de niveles en época de lluvias o invierno para ubicar los niveles freáticos altos en la zona que son los que interesan desde el punto de vista de protección de las aguas subterráneas con respecto a la contaminación posible por infiltración de aguas residuales domésticas. Niveles que se consideran como críticos y uno de los principales parámetros para determinar la viabilidad de construir sistemas de disposición de excretas humanas cuyo efluente se infiltre en el suelo.

6.3 CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL ACUIFERO.

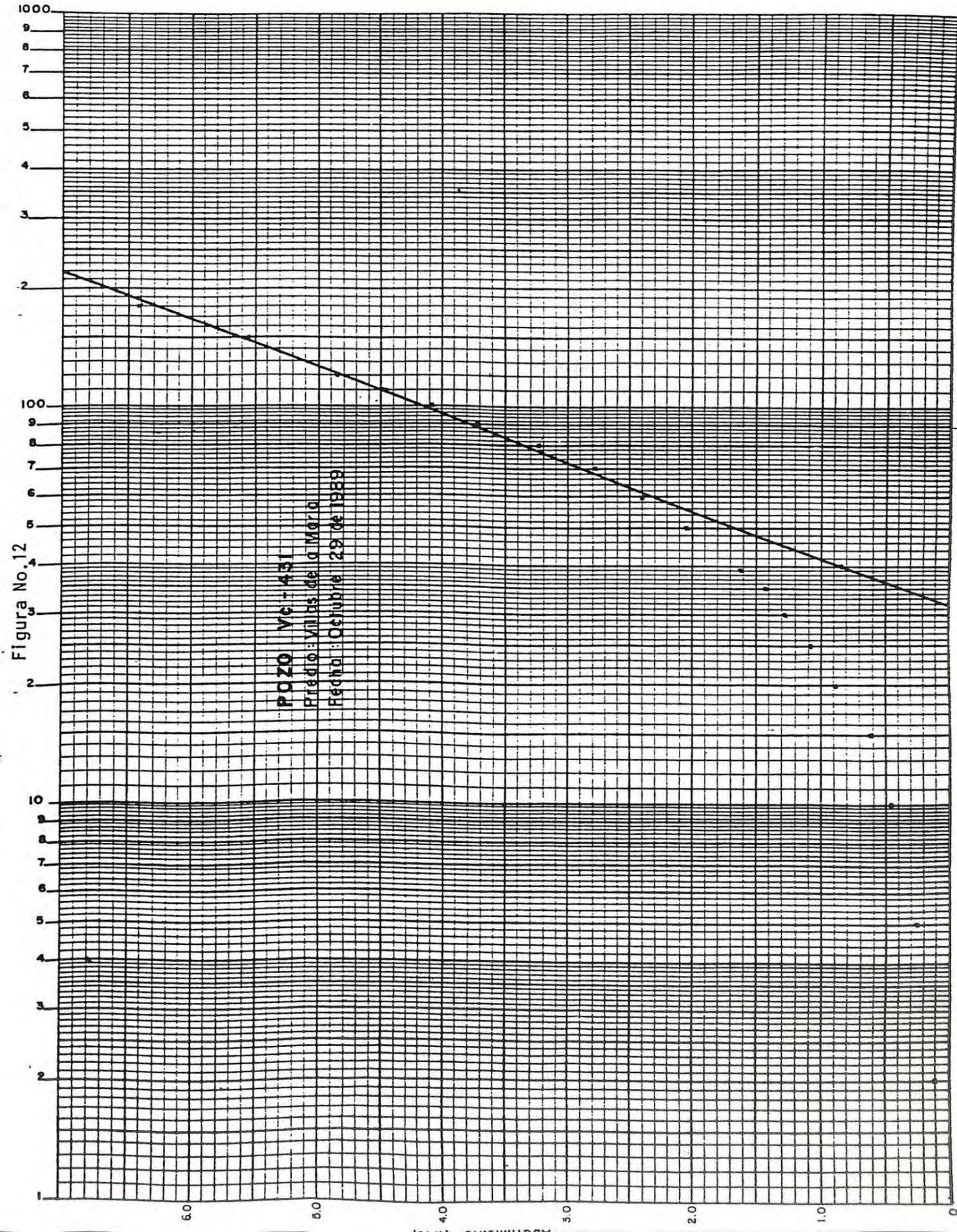
Para determinar las características hidráulicas del acuífero superficial de Pance se han realizado 4 pruebas de bombeos en 5 pozos de 1,0 m de diámetro con profundidades entre 10 y 17 m y ubicados en diferentes sitios. En 2 de estas pruebas se hicieron medidas simultáneas en pozos de observación ubicados a 16 y 33 m de distancia de los de bombeo sin que se pudiera lograr abatir el nivel en los de observación debido a que son pozos de gran diámetro y gran parte del agua bombeada procede del almacenamiento del propio pozo, es decir, el pozo de observación no se entera del bombeo del pozo vecino hasta que el acuífero esté aportando agua al mismo.

Analizando las curvas de s vs $\log t$, s vs t y $\log s$ vs $\log t$, de cada uno de los pozos bombeados se puede observar que de los 4 pozos, 3 (Vc-408, Vc-360 y Vc-431) solo funcionaron como almacenamientos, es decir, que su área de entrada de agua es nula y el acuífero no aporta agua durante el bombeo. (Figuras No. 12 y 13). En las curvas de los pozos Vc-381 y Vc-528 (Figura No. 14) si se ve el efecto del aporte de agua del acuífero durante el bombeo, su forma es distinta ya que sus niveles tienden a estabilizarse hacia el final del bombeo, en cambio en los otros 3 pozos el nivel siempre tiende a bajar hasta secar el pozo. De lo anterior se comprueba la mala construcción de la gran mayoría de los pozos de la zona los cuales prácticamente están sirviendo de almacenamiento y no como productores; no hay circulación del agua, haciendo el medio aún más propenso para la contaminación o reproducción de bacterias.

Los parámetros hidráulicos del acuífero superficial de Pance se calcularon con base en la prueba de bombeo del pozo Vc-381, (profundidad = 9,50 m), utilizando las curvas tipo elaboradas por Papadópulos y Cooper (1967) por el método de coincidencia con la curva de $\log s$ vs $\log t$ del pozo de bombeo (Figura No. 14). Este método solo es aplicable para el pozo de bombeo y para calcular con bastante exactitud el valor de la Transmisividad.

SER WITH
3 Cycles x 10 DIVISIONS

793



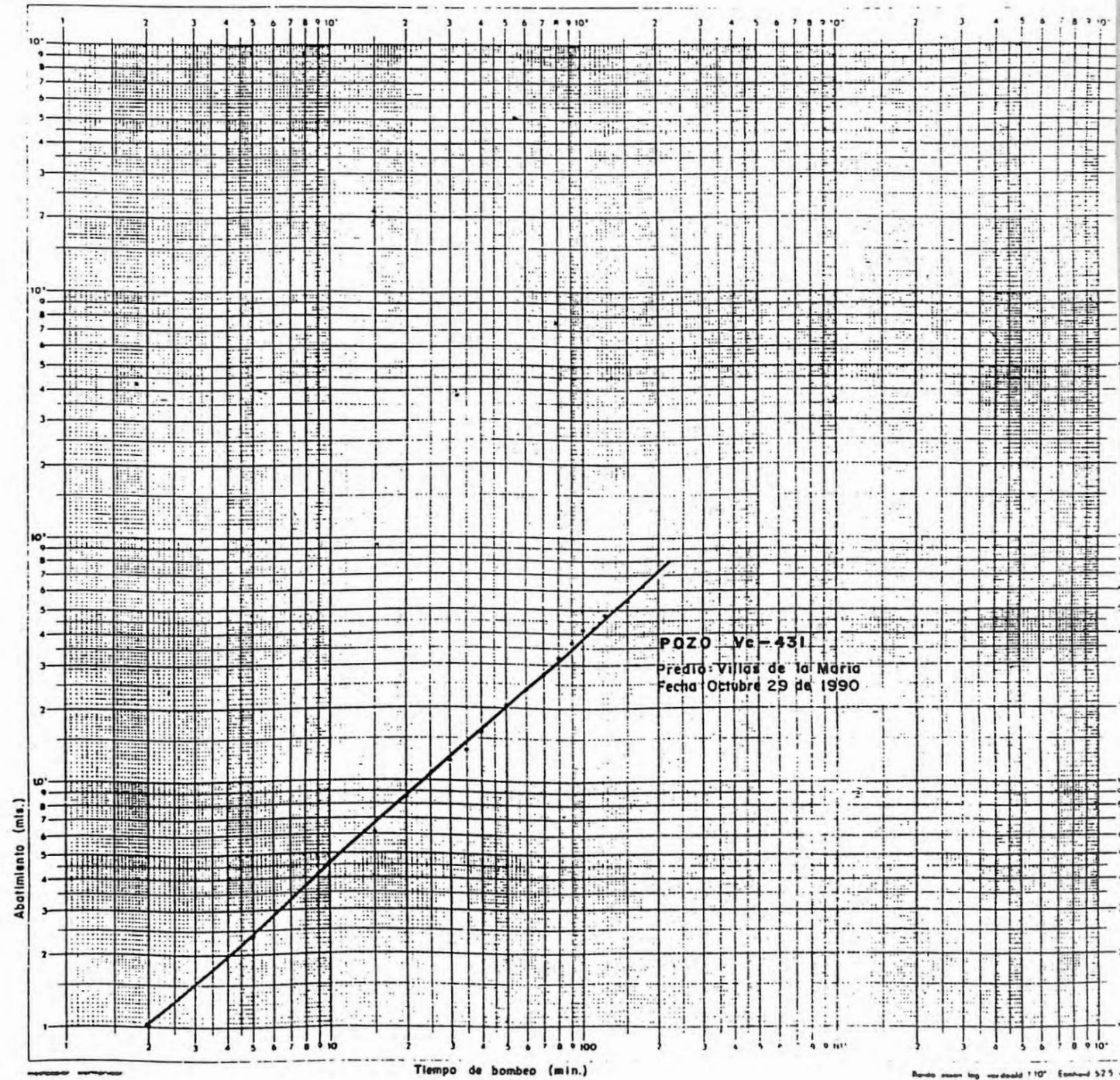


Figura No. 13

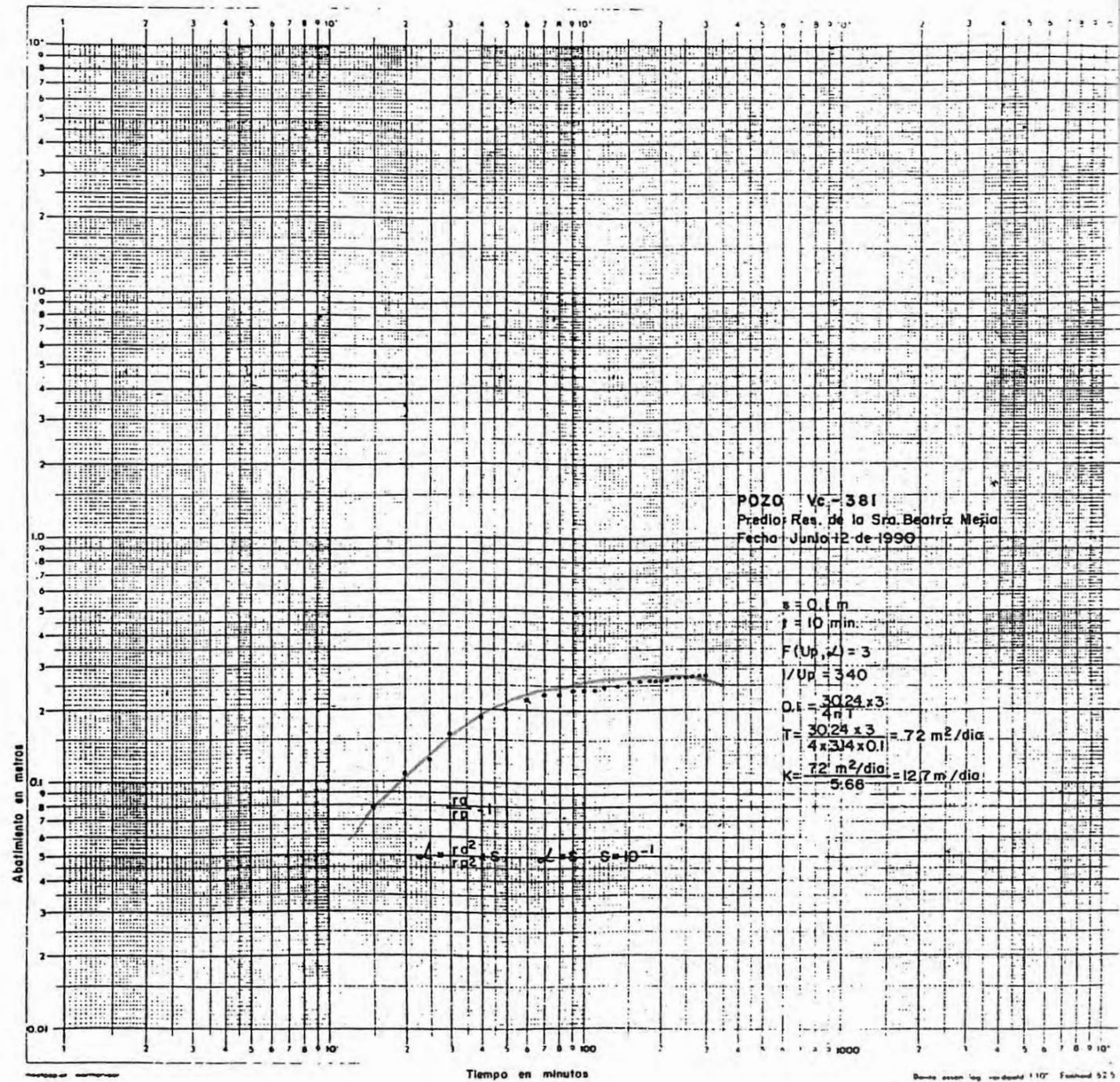


Figura No. 14

Los parámetros hidráulicos calculados son los siguientes:

Transmisividad (T) : $72 \text{ m}^2/\text{día}$

Permeabilidad (K) : $12,7 \text{ m/día}$

Coefficiente de almacenamiento o Porosidad eficaz (S) : 0,1

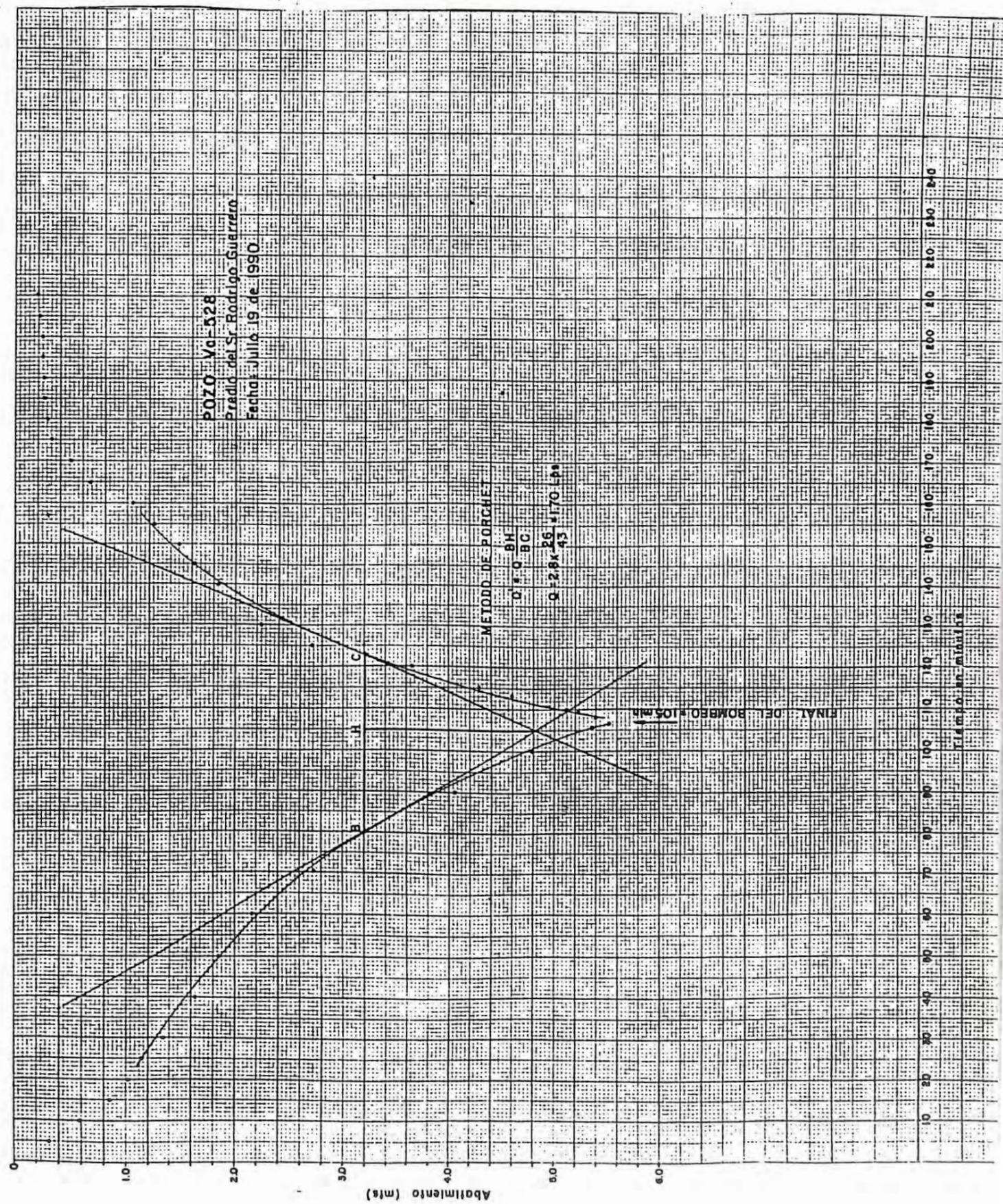
Caudal específico (Q/s) : $0,5 - 1,0 \text{ LPS/m.}$

La prueba de bombeo de este pozo se hizo a un caudal constante de 2,8 LPS, de los cuales 1,70 LPS es el aportado por el acuífero realmente, valor calculado por el método de Porchet el cual permite resolver gráficamente un ensayo de bombeo en un pozo de gran diámetro utilizando simultáneamente la curva de bombeo y la curva de recuperación. (Figura No. 15).

El valor de la porosidad eficaz (S) se calculó por el método de superposición de curvas con las curvas tipo de Papadópulos y la parte final del bombeo del pozo Vc-381, donde es válida. (Figura No. 14).

En el futuro es recomendable hacer ensayos de bombeo con pozos de observación perfectamente contruidos para determinar un valor de la porosidad eficaz mucho más preciso.

Figura no. 15



Los parámetros hidráulicos de los acuíferos que se encuentran entre 20 y 60 m de profundidad se calcularon con base en pruebas de bombeo de 24 horas de duración en los pozos Vc-377, Vc-390 y Vc-196, pero sin pozos de observación. Los resultados fueron los siguientes: (Figura No.16).

Transmisividad (T) : 4 a 10 m²/día

Permeabilidad media (K) : 0,3 a 0,7 m/día

Caudal específico (Q/s) : 0,02 a 0,2 LPS/m

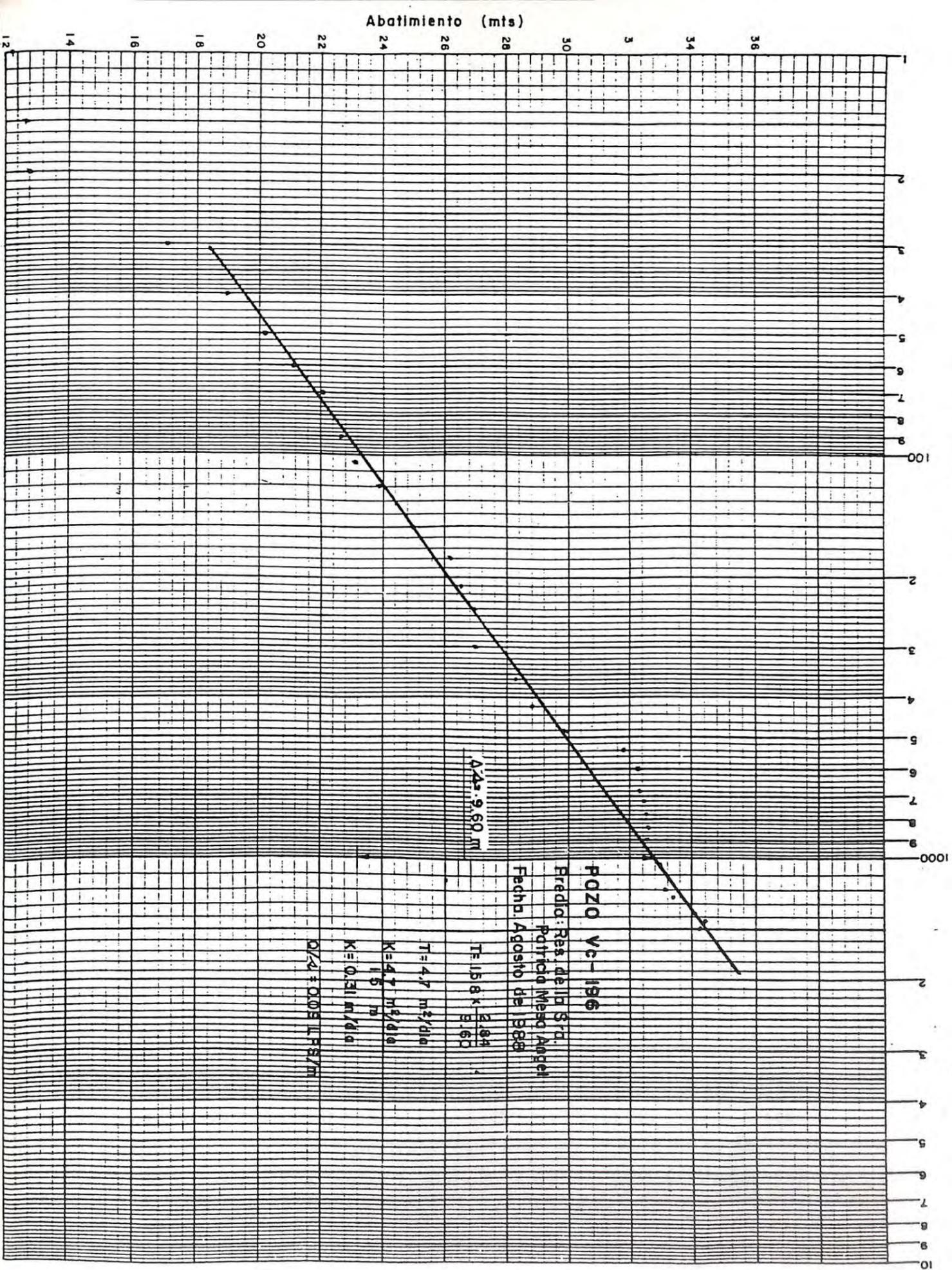
Según lo anterior el acuífero superficial presenta mejores condiciones hidrogeológicas que el más profundo debido posiblemente a que recibe más recarga pues además de la del río Pance, recibe la de las acequias que atraviesan toda la zona y la infiltración directa de la precipitación, no así los acuíferos más profundos cuya principal fuente de recarga es el río Pance.

El caudal de explotación de los pozos hasta 20 m oscila entre 0,4 y 1,0 LPS para caudales mayores estos se abaten totalmente hasta quedar secos, pero debido a su mala construcción puesto que el área de entrada del agua es mínima por no decir que nula. Un pozo de 20 m construido adecuadamente con filtros o buena área de entrada lateral puede producir entre 2 y 3 LPS.

En cuanto a los pozos profundos hasta 60 m estas producen 3,0 LPS pero con abatimientos grandes del orden de 30 m.

6.4 VELOCIDAD DEL FLUJO SUBTERRANEO.

La velocidad del flujo subterráneo depende de la permeabilidad horizontal del acuífero y del gradiente hidráulico de la superficie piezométrica en el sitio considerado.



El valor de la velocidad a la altura del cruce de la Avenida La María con la Avenida Cañasgordas es el siguiente: (pozo Vc-500) aplicando la fórmula de Darcy.

$$V = \frac{K \times i}{m}$$

$$V = \text{m/día}$$

$$K = \text{m/día (permeabilidad horizontal)}$$

$$i : \text{gradiente hidráulico (adimensional)}$$

$$m : \text{porosidad eficaz}$$

$$V = \frac{12,7 \text{ m/día} \times 0,0326}{0,1}$$

$$V = 4,14 \text{ m/día}$$

Según estudios de monitoreo en el campo (Foster et al 1988), señalan que la distancia horizontal segura entre un campo de infiltración y una fuente de captación de agua subterránea debe ser como mínimo la distancia que recorrería el flujo subterráneo en 10 días.

Según esto depende de su velocidad.

$$D = V \times t$$

$$D = 4,14 \text{ m/día} \times 10 \text{ días}$$

$$D = 42 \text{ m}$$

Que se puede considerar como la distancia o separación mínima que debe existir entre una unidad sanitaria y el pozo de abastecimiento de agua para la zona de Pance en estudio.

6.5 CAUDAL DE FLUJO SUBTERRANEO.

El caudal de flujo subterráneo (Q_w) que circula por la zona de estudio, equivalente a la infiltración eficaz (I_w) que recibe el acuífero superficial de Pance, en régimen no influenciado, se puede calcular tomando como base el mapa de piezometría y los parámetros hidráulicos del acuífero.

Aplicando la Ley de Darcy
para la zona entre el Callejón de las Chuchas y el río Pance

$$L = 3.800 \text{ m}$$

$$Q_w = T \times L \times i$$

$$Q_w = 72 \text{ m}^2/\text{día} \times 3.800 \text{ m} \times 0,0326$$

$$Q_w = 8920 \text{ m}^3/\text{día} = 103 \text{ LPS}$$

7.6 BALANCE HIDRICO

El balance hídrico se realizó para toda la zona de estudio (1.700 Has).

Los límites hidrogeológicos son los siguientes: por el norte la línea divisoria de aguas subterráneas que se localiza sobre el Callejón de las Chuchas, por el este con la línea imaginaria que une el Callejón de las Chuchas con el puente sobre el río Jamundí por la Carretera Panamericana y por el oeste y sur con el río Pance.

El estudio hidrogeológico de esta zona ha permitido trazar un balance anual promedio para el año hidrológico que comienza en agosto y termina en julio (meses más secos en la zona) y considerando que la reserva de agua del suelo es nula. La unidad de los términos del balance es el m^3 .

La expresión del balance anual es :

$$\text{Entradas} = \text{salidas} + \Delta W$$

$$I_w + I_{ar} + I_r = Q_{ex} + Q_w + \Delta W$$

I_w = infiltración eficaz ($I_w = P - ETR$). Calculada mediante el balance medio mensual en el suelo para un período de 11 años (1978 - 1988) (Figura No.17) con la información meteorológica de la Estación de Univalle.

I_{ar} = infiltración de aguas residuales en el suelo (9861 habit. x 400 lts/habit-día).

I_r = infiltración de aguas superficiales (río Pance y derivaciones No. 7 y 8).

Q_{ex} : Volumen anual bombeado de los pozos (8841 habit x 480 lt/habit.-día).

Q_w : Flujo de aguas subterráneas hacia otros acuíferos ($Q = T \times L \times i$).

ΔW : Variación en el almacenamiento. Se considera una variación anual máxima del nivel del agua de 1,50 m. $w = 17 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 1,5 \times 0,1 = 2,55 \times 10^6 \text{ m}^3$

$$(3,3 + 1,45 + I_r) \times 10^6 = (1,55 + 3,25 + 2,55) \times 10^6$$

$$4,75 \times 10^6 I_r = 7,35 \times 10^6$$

$$I_r = 2,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año} \text{ (81 LPS)}$$

En términos de LPS (litros/segundo)

$$105 + I_r + 46 = 103 + 49 + 80$$

$$I_r = 81 \text{ LPS}$$

La infiltración total o recarga anual que recibe el acuífero superficial de Pance es de $7,3 \times 10^6 \text{ m}^3$. De este volumen $1,45 \times 10^6 \text{ m}^3$ son la recarga artificial inducida por efluentes de tanques sépticos, por lo tanto la recarga natural anual es del orden de $5,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (184 LPS).

BALANCE HIDRICO MENSUAL MULTIANUAL (ZONA DE PANCE)
(Período 1978 - 1988)

Estación: Univalle

Capacidad máxima de retención del suelo : 60 mm

Tipo de cultivos : pastos

Area : 1700 Hás

	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	TOTAL
P	55	105	196	158	116	91	102	119	213	143	95	39	1.432
ETp	130	123	112	94	103	116	113	128	110	108	97	121	1.693
Almacenamiento	0	0	60	60	60	35	24	15	60	60	58	0	.
ETR	55	105	112	94	103	116	113	128	110	108	97	97	1.238
Exceso	0	0	24	64	13	0	0	0	58	35	0	0	194
Deficit	75	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	147

Infiltración total anual = 194 mm = 1940 m³/Ha x 1700 Hás = 3,3 x 10⁶ m³/año = 105 Lts/seg

Estimando un aprovechamiento del 50% del volumen anual de recarga, para proteger al acuífero de sobreexplotación, el caudal máximo disponible sería de 116 LPS.

Tomando como base una demanda media por habitante-día de 480 litros, existe un volumen de agua disponible para suplir las necesidades de 20.000 personas. En la actualidad, según el inventario realizado, una población aproximada de 9000 personas se abastece de aguas subterráneas, existiendo aún un potencial disponible para 11.000 personas más en toda la zona.

8. HIDROQUIMICA.

CALIDAD DEL AGUA.

Durante el inventario realizado se tomaron 149 muestras de agua de fuentes superficiales y pozos de abastecimiento para determinar la calidad físico-química y bacteriológica actual de ambas fuentes. Se hizo énfasis en la determinación de parámetros como coliformes totales, coliformes fecales, amoniaco, nitritos, nitratos, cloruros y dureza. Las técnicas de análisis utilizadas fueron las normalizadas, establecidas para análisis de aguas (Stándar Methods Awwa, Edi. 17, 1989).

8.1 Muestreo de Aguas Superficiales.

Se colectaron 36 muestras de aguas superficiales de la siguiente forma:

El 2 de mayo de 1989 se tomaron 9 muestras entre las 10:00 a.m. y las 12 M. Las 3 primeras se tomaron en el río Pance, derivación No. 7 y derivación No. 6 alineadas sobre una misma línea horizontal, luego se colectaron 3 más en la zona media del área de estudio entre la avenida El Banco y el Callejón de Las Chuchas, en la derivaciones 6 y 7 y las 3 últimas se tomaron en ramales de las mismas derivaciones sobre la carretera Panamericana.

Además de estas muestras se colectaron 3 más en el Lago de las Garzas, Colegio Cedros del Líbano y Restaurante 7 a 11.

Durante el muestreo realizado el 2 de mayo de 1989 el río Pance presentaba un caudal bastante alto, muy por encima de su promedio histórico (2,6 m³/seg).

El 16 y 22 de octubre de 1990 se tomaron 24 muestras en las derivaciones Nos. 4, 6, 7 y 8 del río Pance, de aguas arriba hacia aguas abajo. El 16 de octubre se colectaron 12 muestras y el 24 de octubre las otras 12 en los mismos sitios para verificar su estado real de calidad actual.

8.2 Muestreo de Aguas Subterráneas.

Entre el 18 de abril y el 1º de agosto de 1989 se tomaron 79 muestras de agua en pozos pequeños, distribuidos en toda la zona de estudio. De estos 79 pozos se seleccionaron 12 para un monitoreo continuo y así evaluar la evolución de la calidad del agua en el tiempo.

Las muestras se colectaron en un 60% en grifos conectados en la descarga de los equipos de bombeo y el 40% restante se colectó dentro del mismo pozo con balde desinfectado.

Las segundas muestras colectadas para el monitoreo se tomaron el 18 de mayo de 1990 y las terceras el 27 de agosto de 1990. Después de esta fecha se han seguido colectando muestras a pozos nuevos inventariados.

8.3 Calidad Físico Química.

Para el manejo y estudio de los análisis químicos se utilizaron los diagramas de columnas verticales logarítmicas de Schoeller-Berkaloff que permiten clasificar los tipos de aguas y establecer comparaciones entre varios análisis de un mismo lugar en épocas diferentes o de diferentes lugares.

Según la Figura No. 18 , se puede hacer la siguiente clasificación :

CVC
SUBDIRECCIÓN DE RECURSOS NATURALES
DIVISION DE AGUAS
SECCION AGUAS SUBTERRANEAS

Diagrama logaritmico de:
SCHOELLER - BERKALOFF
Lugar: PANCE Fecha:
Observaciones:
ANALISIS FISICO - QUIMICO

LEYENDA

Descripción	R _s ppm	C μS/cm	Dt	pH
Vc - 247	151	180,3	83,6	6,2
Vc - 245	143	151,2	74,8	6,1
Lago de las Garzas	74	62,8	26,4	6,6
Vc - 237	117	141,9	66,0	6,0
Vc - 432	103	129,0	63,8	6,0
Vc - 252	75	100,1	44,0	5,8
Vc - 326	163	216,8	92,4	6,0
Vc - 203	128	221,0	77,0	6,7
Lago Valle del Lily	142	160,1	77,0	7,0
Vc - 213	95	132,6	61,6	6,0
Derivacion N°6	49	71,2	35,2	6,5
Vc - 214	104	146,8	61,6	6,3
Vc - 347	94	186,6	60,6	6,5
Vc - 231	106	135,7	41,8	5,9
Vc - 270	135	184,5	89,7	6,4
Vc - 273	107	120,7	57,5	6,2
Vc - 390	230	296,0	142,7	7,7
Vc - 377	183	242,8	123,6	6,9
Vc - 196	288	266,0	99,8	8,2

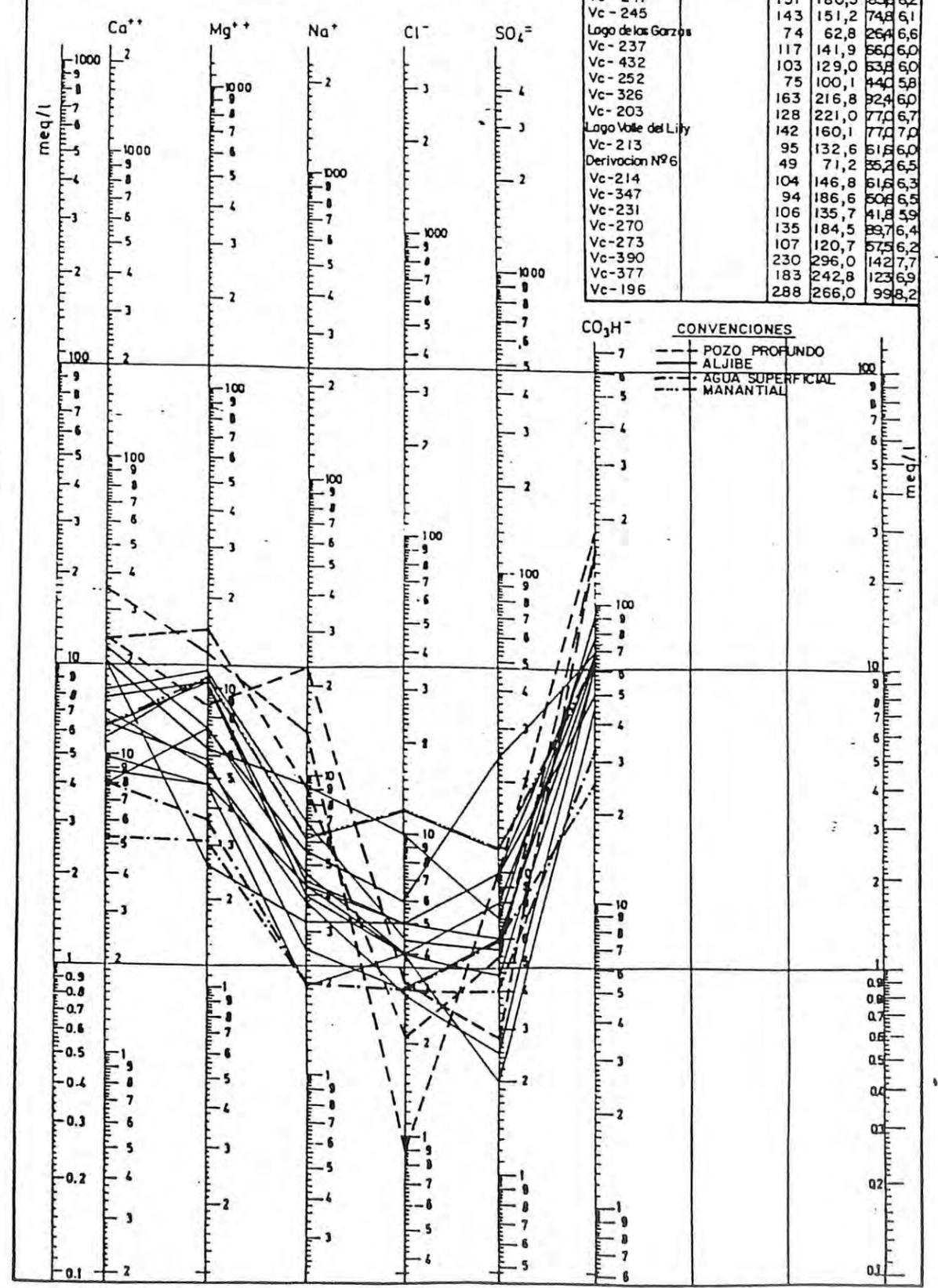


Figura No. 18

8.3.1 Aguas Superficiales.

El agua superficial del río Pance y sus derivaciones se clasifica como Bicarbonatada, cálcica-magnésica, de buena calidad química mineral. En general son aguas con muy poca mineralización, blandas y pobres en nitratos (concentración máxima: 0,058 mg/l N). Las concentraciones de hierro oscilan entre 0,4 y 0,7 mg/l con un máximo puntual de 1,27 mg/l y las de manganeso están por debajo de 0,02 mg/l. La dureza total está por debajo de 40 mg/l de CaCO₃ y su conductividad entre 60 y 80 μ S/cm.

Desde el punto de vista de agua para consumo humano y doméstico estas aguas son de buena calidad química y ninguno de sus parámetros determinados supera los límites convenientes establecidos por el Ministerio de Salud (Decreto No. 1594 de junio 26 de 1984) a excepción del hierro que necesita ser removido pero básicamente para evitar la incrustación de tuberías de conducción, distribución y accesorios con precipitados del mismo, aunque su presencia no se considera nociva para el consumo humano puesto que, los límites establecidos (0,3 mg/l Fe) son basados más en criterios estéticos que de verdadera potabilidad.

8.3.2 Aguas Subterráneas.

El agua subterránea que circula por el acuífero superficial de Pance (hasta 20 m de profundidad) se clasifica como Bicarbonatada cálcico-magnésica y/o Bicarbonatada magnesico-cálcico, ligeramente dura con muy poca mineralización y pobres en nitratos.

Como puede verse en la Figura No.18 el agua captada del acuífero superficial es de la misma familia que el agua del río Pance, un poco más mineralizada y con una mayor

concentración de sustancias disueltas debido al tiempo de contacto con las rocas por donde circula.

Puede observarse que la composición química en cuanto a iones predominantes de las aguas subterráneas es muy parecida a la de las aguas superficiales y que por lo tanto, la interconexión entre éstas es muy grande y se realiza rápidamente. De todo ello puede deducirse, tan solo desde el punto de vista hidroquímico, que la vulnerabilidad del acuífero superficial frente a cualquier contaminante que aparezca en las aguas superficiales es elevada.

Según la misma figura No.18 el agua captada de los acuíferos más profundos (entre 25 y 60 m) es un poco más mineralizada que la del acuífero superficial pero de la misma familia que las anteriores y se clasifica como Bicarbonatada, cálcica-magnésica y/o magnésica-cálcica, más dura y bajas en nitratos.

El residuo seco oscila entre 180 y 300 mg/l y la conductividad entre 260 y 300 μ S/cm, lo que indica un período de contacto mayor con la roca almacén, pero que se considera apta para consumo humano y doméstico desde el punto de vista químico y condicionada por hierro y manganeso ya que supera los límites establecidos (Fe entre 0,3 y 1,3 mg/l y Mn entre 0,13 y 0,32 mg/l) pero que pueden ser fácilmente removidos, dadas sus bajas concentraciones, para evitar la incrustación de tuberías con óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso así como el manchado de ropas y porcelanas..

También se puede establecer según los resultados del análisis químico del agua del Lago del Lily, de que éste efectivamente es una zona de descarga del acuífero superficial ya

que su composición química es similar a la de los aljibes que se encuentran cercanos a él, además es más mineralizada que las aguas superficiales del lugar y de la de los pozos que se encuentran del lago hacia la parte alta.

En los planos No.9 y 10 se pueden ver el mapa de dureza total y cloruros de los cuales se puede deducir la buena calidad del agua subterránea en cuanto a estos parámetros. No se localizan pozos con durezas totales mayores de 100 mg/l de CaCO_3 ni concentraciones de cloruros mayores de 12 mg/l.

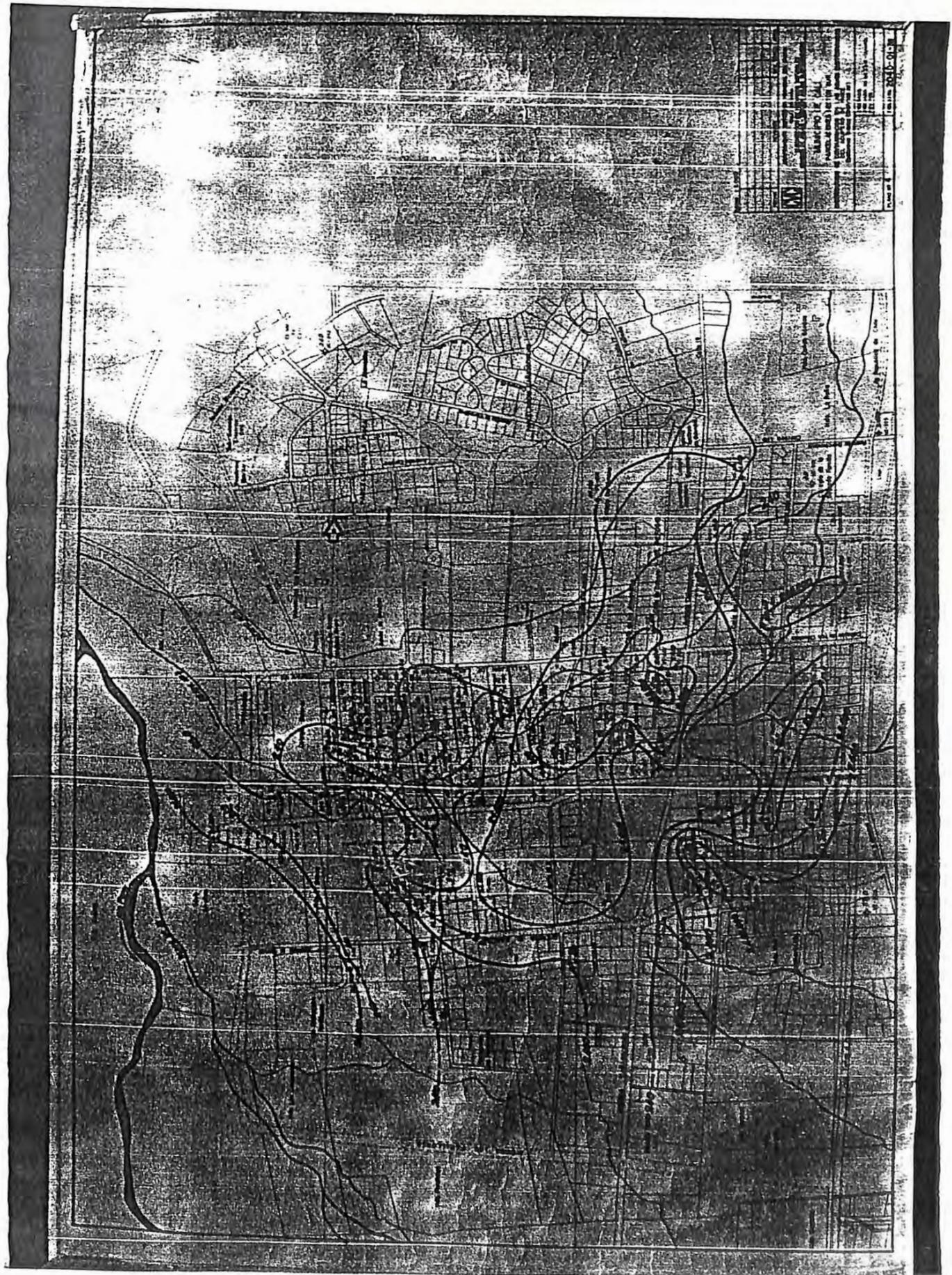
8.4 Calidad Bacteriológica.

El número de bacterias que son patógenas para el hombre o para los animales en un agua está frecuentemente limitada y su puesta en evidencia es difícil. Estas bacterias viven en los intestinos del hombre y de los animales de sangre caliente, por lo tanto la presencia de una contaminación fecal en un agua constituye un excelente señal para la posible presencia de gérmenes patógenos. Los coliformes fecales se consideran como gérmenes de origen exclusivamente fecal y por ello, se usan para determinar tal contaminación.

Para tener la certeza de la permanencia de una buena calidad bacteriológica de un agua, es preciso asegurarse de que ésta protegida eventualmente contra toda contaminación fecal.

8.4.1 Aguas Superficiales.

Durante el período de abril 1989 - octubre 1990 se realizaron un total de 36 análisis bacteriológicos de aguas superficiales; controlando los parámetros coliformes totales y coliformes fecales.





	<u>1989</u>	<u>1990</u>	<u>Total</u>
No. muestras	10	26	36
Con coliformes/100 ml	10(100%)	26(100%)	36(100%)
≤ 20.000	0	6	6
> 20.000	10	20	30
Con colifecales/100 ml	10	26	36(100%)

Lo anterior refleja una alta concentración de coliformes fecales en el agua superficial bastante por encima de los límites máximos permisibles, lo que indica un alto grado de vertimiento de aguas residuales domésticas al río Pance y sus derivaciones. Concentraciones que van aumentando de aguas arriba hacia aguas abajo, producto del vertimiento de efluentes procedentes de tratamientos secundarios (filtros anaeróbicos, zanjas filtrantes, filtros de arena etc) que se descargan en corrientes superficiales.

8.4.2 Aguas Subterráneas.

Los análisis bacteriológicos de las 130 muestras analizadas de pozos que aprovechan el acuífero superficial, hasta la fecha, (abril de 1991), arrojan los siguientes resultados: (Planos 4 y 5)

	Tabla No. 1				
	<u>1989</u>	<u>1990</u>	<u>1991</u>	<u>Total</u>	<u>(%)</u>
No. muestras	78	35	17	130	100
Sin coliformes/100 ml	2	0	0	2	1,5
Con coliformes/100 ml	76	35	17	128	98,5

	<u>1989</u>	<u>1990</u>	<u>1991</u>	<u>total</u>	<u>(%)</u>
Con coliformes/100 ml					
" \leq 1.000	39	9	10	58	44,6
" \leq 20.000	59	22	14	95	73,0
" $>$ 20.000	17	13	3	33	25,4
Sin coliformes fecales/100 ml	13	12	1	26	20
Con coliformes fecales/100 ml	65	23	16	104	80
" \leq 23	29	16	15	50	38,5
" $>$ 23	36	7	11	54	41,5
" \leq 2.400	71	26	23	120	92,3

De todas las muestras analizadas puede observarse (tabla No. 1) que el 80% presenta contaminación con coliformes fecales y un 20% esta libre de ella, lo que indica un grado avanzado de contaminación fecal del acuífero superficial de Pance, pero la existencia de un 20% de pozos que no presentan este tipo de contaminación y que se encuentran distribuidos espacialmente en toda la zona permite establecer la hipótesis de que la contaminación del acuífero no es regional o total, indicando que los focos contaminantes están localizados en diferentes sitios y que probablemente los puntos donde no está contaminada, la purificación de los efluentes de las aguas residuales domésticas es efectiva y el sistema de tratamiento utilizado es perfectamente válido.

Según las normas establecidas por el Ministerio de Salud de Colombia (Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984) y los resultados obtenidos en el muestreo se puede establecer que el 40% de los pozos muestreados pueden ser utilizados como fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano y doméstico, requiriendo únicamente para su potabilización, desinfección con cloro. Un 50% pueden ser utilizada

con un tratamiento convencional del agua (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección) y el 10% restante deben ser abandonados por excesiva contaminación ya que su tratamiento es muy sofisticado y costoso.

Pero dadas las buenas características físicas (aguas claras sin turbidez y color) y químicas se puede deducir que con una buena filtración y/o desinfección se puede obtener una calidad de agua aceptable para consumo humano de los pozos que tengan una concentración de coliformes totales $\leq 20.000/100$ ml y de coliformes fecales $\leq 2.400/100$ ml.

8.5 Parámetros Indicadores de Contaminación Bacteriológica.

Se han tomado como parámetros químicos complementarios a las determinaciones bacteriológicas efectuadas, el amoníaco, nitritos y nitratos que se consideran como indicadores de contaminación producto de la degradación microbiana de sustancias orgánicas nitrogenadas.

8.5.1 Amoniaco (NH_4^+)

Es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas e inorgánicas nitrogenadas, que provienen de las proteínas animales y vegetales por putrefacción mediante acción bacteriana o por la reducción de los nitritos. Su presencia favorece la multiplicación de los microbios.

Los resultados obtenidos con respecto a este catión son los siguientes: (Plano No.6)

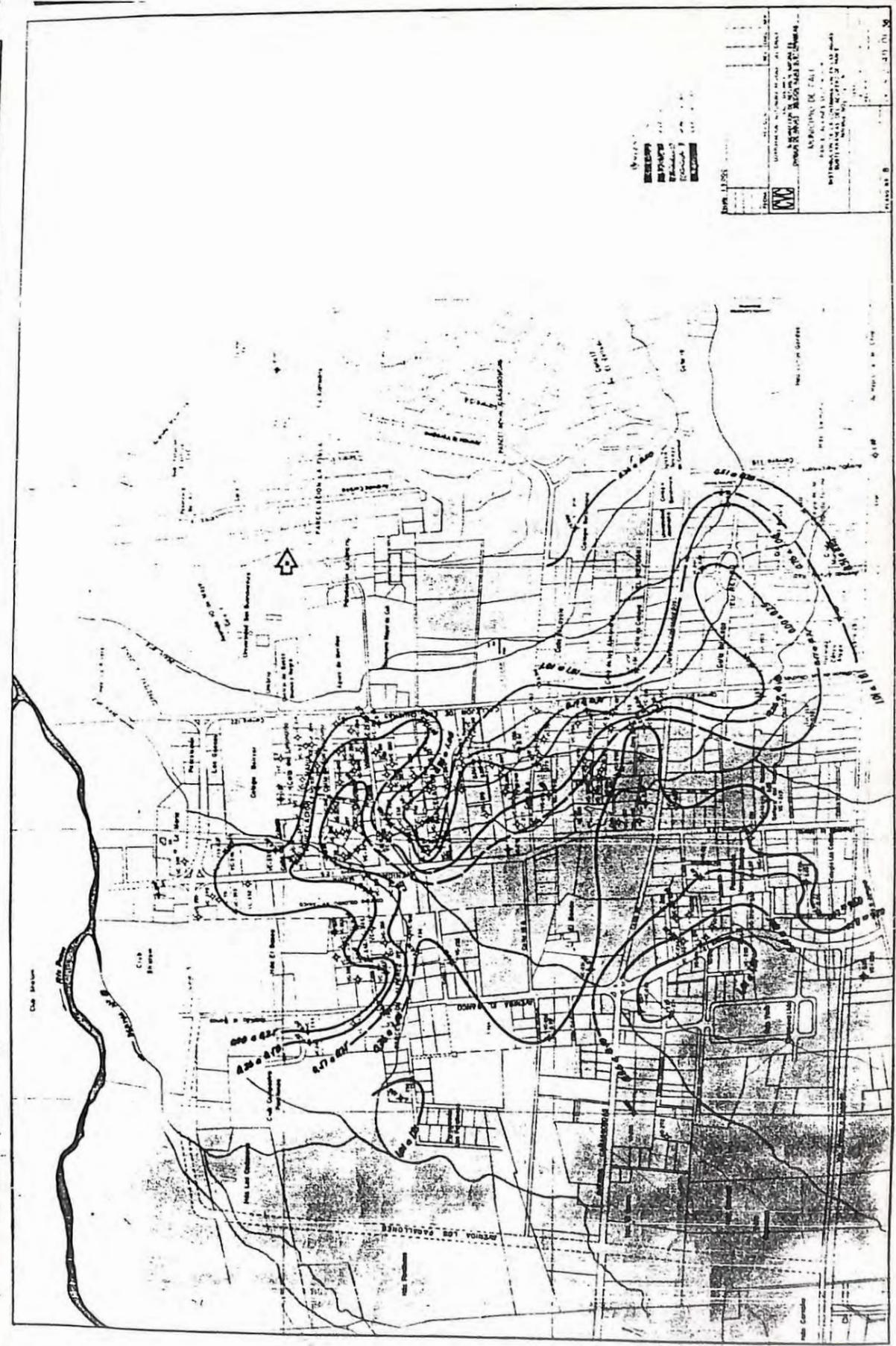
No. de muestras	Concentración (mg/l N)	%
37	0,0	29
82	0,0 - 0,30	63
11	0,30-0,50	8

El 90% de las muestras analizadas presentan concentraciones por debajo de 0,30 mg/l N. Aunque esta concentración es baja con respecto al límite establecido por el Ministerio de Salud (1,0 mg/l N), su presencia en las aguas subterráneas indica posible contaminación inducida por degradación microbiana de excretas humanas. Debido a la condición reductora del acuífero debería de haber altas concentraciones de amoníaco pero no se presentan debido a que la arcilla y la materia orgánica que hay en la zona no saturada los absorben, además estos amoníacos son iones poco móviles pero estables por esto su llegada al nivel freático puede demorar bastante tiempo pero es seguro que llegará, aumentando su concentración en las aguas freáticas.

8.5.2 Nitritos (NO_2^-) .-

Los nitritos pueden proceder de la oxidación del amoníaco o por la reducción bacteriana o no de los nitratos. Presenta cierta toxicidad como consecuencia de su acción metahemoglobizante e hipotensiva. En presencia de amoníaco pueden formarse nitrosaminas cancerígenas (Bustos y otros, 1980).

Las concentraciones encontradas son las siguientes:
(Plano No.7).



No. Muestras	Concentración (mg/l-N)	%
38	0,0	29
75	0,0 - 0,005	58
7	0,005 - 0,01	5
<u>10</u>	0,01 - 0,04	8
130		

Casi el 90% de las muestras presenta valores por debajo de 0,005 mg/l de NO_2^- lo que indica un bajo grado de contaminación. Puesto que los nitritos tienen un efecto tóxico superior a los nitratos, el contenido no debe ser superior a 1,0 mg/l valor que se considera tolerable para consumo humano. Como toda agua para consumo debe ser como mínima desinfectada la oxidación con cloro convierte los nitritos en nitratos solucionando prácticamente el problema de contaminación por nitritos.

8.5.3 Nitratos (NO_3^-).

Los nitratos una vez que penetren en el medio subterráneo, permanecen allí por un período largo o indefinido. además de ser muy móviles. Las concentraciones medidas son las siguientes: (Plano No.8).

No. Muestras	Concentración (mg/l N)	%
4	0,0	2,8
82	0,0 - 0,5	57
46	0,5 - 1,0	32
<u>12</u>	1,0 - 1,5	8,2
144		

El 90% de los pozos muestreados presentan una concentración menor de 1,0 mg/l-N, valor bastante por debajo de la concentración máxima permisible con respecto a este ión que es de 10 mg/l-N, aunque su presencia indica contaminación procedente de excretas humanas.

De acuerdo con la Figura No. 1 con un promedio anual de precipitación de 1.400 mm y una infiltración eficaz que llega al nivel freático del orden de 194 mm (13,5% de la precipitación), las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas de la zona deberían ser del orden de 11 mg/l-N, lo que no se presenta en la realidad debido probablemente a la condición reductora del acuífero. Condición en la cual los amoníacos (ión estable) no son convertidos a nitritos y nitratos por falta de oxígeno.

La alta concentración de coliformes fecales en la mayoría de los pozos, es consecuencia de la no formación de nitratos.