

Universidad de Costa Rica  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

Taller de Diseño  
IC 0905

Informe Final

**Evaluación de las fuentes de agua potable  
de la ciudad de Grecia**

Henry Badilla Ramírez 900372  
Carmen Viquez Chávez 913882  
Edgar Zamora Murillo 913937

Asesora:  
Ing. Ana Garita I.

I semestre 1998

<b>1</b>	<b>Aspectos generales del proyecto</b>	
1.1	<i>Introducción</i>	3
1.2	<i>Objetivo general</i>	8
1.3	<i>Objetivos específicos</i>	8
1.4	<i>Alcances</i>	8
1.5	<i>Limitaciones</i>	9
<b>2</b>	<b>Metodología general</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Diagnóstico del estado actual de las fuentes</b>	<b>13</b>
3.1	<i>Descripción de los sitios de las fuentes de abastecimiento</i>	13
3.2	<i>Fuente Los Angeles</i>	14
3.3	<i>Fuente Amelia</i>	17
3.4	<i>Fuente Patal</i>	20
3.5	<i>Fuente San Roque</i>	23
<b>4</b>	<b>Calidad del agua</b>	<b>25</b>
4.1	<i>Diagnóstico de la calidad del agua</i>	26
<b>5</b>	<b>Capacidad de las fuentes</b>	<b>30</b>
5.1	<i>Evaluación de la relación de consumo de agua potable y la demanda.</i>	30
5.2	<i>Estimación de la población de Grecia.</i>	31
5.3	<i>Dotación per capita de agua potable</i>	34
5.4	<i>Análisis de caudales</i>	36
5.5	<i>Estimación de la demanda</i>	39
<b>6</b>	<b>Conceptualización hidrogeológica de la zona de las fuentes.</b>	<b>43</b>
6.1	<i>Resumen de la metodología de modelación</i>	43
6.2	<i>Consideraciones y limitaciones</i>	49
6.3	<i>Descripción hidrogeológica de la zona</i>	50
<b>7</b>	<b>Evaluación del riesgo de contaminación de las fuentes.</b>	<b>54</b>
7.1	<i>Aspectos Básicos de la contaminación de las aguas subterráneas.</i>	54

7.2	<i>Concepto de riesgo de contaminación.</i>	___
7.3	<i>Metodología de evaluación del riesgo de contaminación</i>	56
7.4	<i>Caracterización y determinación de las variables de vulnerabilidad a analizar.</i>	57
7.5	<i>Amenazas sobre las fuentes</i>	67
7.6	<i>Matriz vulnerabilidad – amenazas</i>	72
<b>8</b>	<b>Disposiciones legales</b>	<b>74</b>
8.1	<i>Generalidades</i>	74
8.2	<i>Síntesis de algunas disposiciones legales del agua potable</i>	75
8.3	<i>Las leyes y su aplicación en el caso de las fuentes de agua de Grecia.</i>	78
<b>9</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>80</b>
9.1	<i>Calidad del agua</i>	80
9.2	<i>Cantidad de agua</i>	81
9.3	<i>Fuentes de agua</i>	82
9.4	<i>Protección del acuífero en general</i>	83
9.5	<i>Resumen de medidas y recomendaciones.</i>	85
<b>10</b>	<b>Referencias</b>	<b>89</b>
<b>11</b>	<b>Anexos</b>	<b>91</b>
11.1	<i>Anexo 1. Legislación sobre agua potable y pruebas de calidad.</i>	92
11.2	<i>Anexo 2. Datos de aforos</i>	105
11.3	<i>Anexo 3. Pruebas de velocidad de infiltración</i>	109
11.4	<i>Anexo 4. Pruebas de granulometría</i>	111
11.5	<i>Anexo 4. Ejemplo de los perfiles litológicos utilizados</i>	116

# **1 Aspectos generales del proyecto**

## **1.1 Introducción**

La ciudad de Grecia, y en general las ciudades pertenecientes a la cuenca del río Grande de San Ramón, se encuentran en un momento muy importante en cuanto a la definición de los modelos de desarrollo que van a adoptar.

El agua es un recurso muy valioso y sensible ante las consecuencias de un desarrollo mal enfocado, por esto el crecimiento de los centros urbanos, la expansión agroindustrial y la demanda de más recursos por parte de sus habitantes implican el planeamiento de la correcta utilización y conservación de estos bienes comunes.

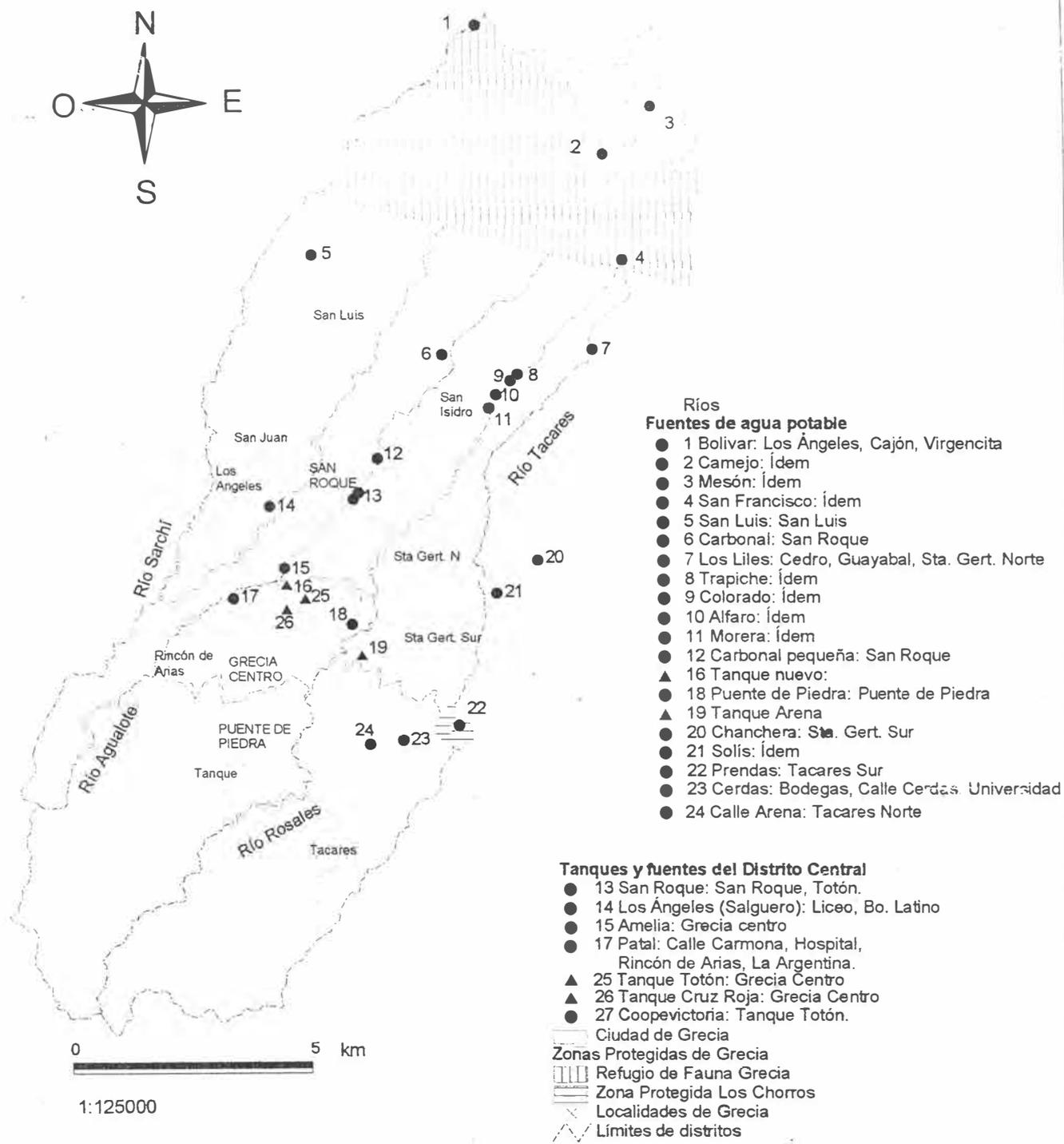
El cantón de Grecia cuenta con una gran cantidad del recurso hídrico, hecho que se refleja en los múltiples afloramientos que se han detectado en la zona, sin embargo, el 70% de las fuentes captadas se ubican en terrenos deforestados, rodeados por cafetales, potreros e incluso viviendas. A lo anterior se puede agregar el hecho de que la Municipalidad de Grecia no siempre es la propietaria de los terrenos donde se ubican las fuentes..

Actualmente, el centro de la ciudad de Grecia se abastece de cuatro fuentes de agua: Amelia, Patal, Los Angeles y San Roque, las cuales son administradas por la Municipalidad, mientras que el abastecimiento del resto de los distritos está bajo la administración de los Comités de Agua de las Asociaciones de Desarrollo. La localización de las nacientes se muestra en la Figura 1.1.

Los afloramientos de agua que abastecen el centro de la ciudad, en la mayor parte de los casos se encuentran amenazados por la contaminación de agroquímicos, materia fecal de los tanques sépticos, los ríos que transportan aguas de desecho de procesos agroindustriales y la tala de las zonas boscosas circundantes a la fuente.

# Figura 1.1

## Ubicación de las fuentes de agua de Grecia.



ProDUS, UCR  
 Mayo, 1997  
 Fuente: Mapas IGN 1:10000  
 Investigación de campo

A pesar de esta abundancia potencial de agua potable, Grecia no cuenta con los mecanismos técnicos y legales que aseguren la preservación de la misma. La legislación existente es incoherente o insuficiente al ser aplicada en estos casos, pues no contempla criterios técnicos que determinen una protección integral de las fuentes.

Gran parte del caudal que emana de los manantiales no está siendo aprovechado debido a deficiencias en las tomas de agua, lo cual provoca la falta del líquido en algunos sectores de la ciudad, además del desperdicio de agua y la posible contaminación de ésta al exponerse al medio.

Por otra parte, la situación de la red de cañerías es bastante crítica debido a la antigüedad de la misma, llegando en algunos puntos hasta creerse que la tubería ha desaparecido por completo. La Figura 1.2 muestra un esquema de la configuración del sistema de distribución de agua de la ciudad de Grecia.

En resumen, el problema del agua potable en la ciudad de Grecia se puede enfocar desde los siguientes aspectos:

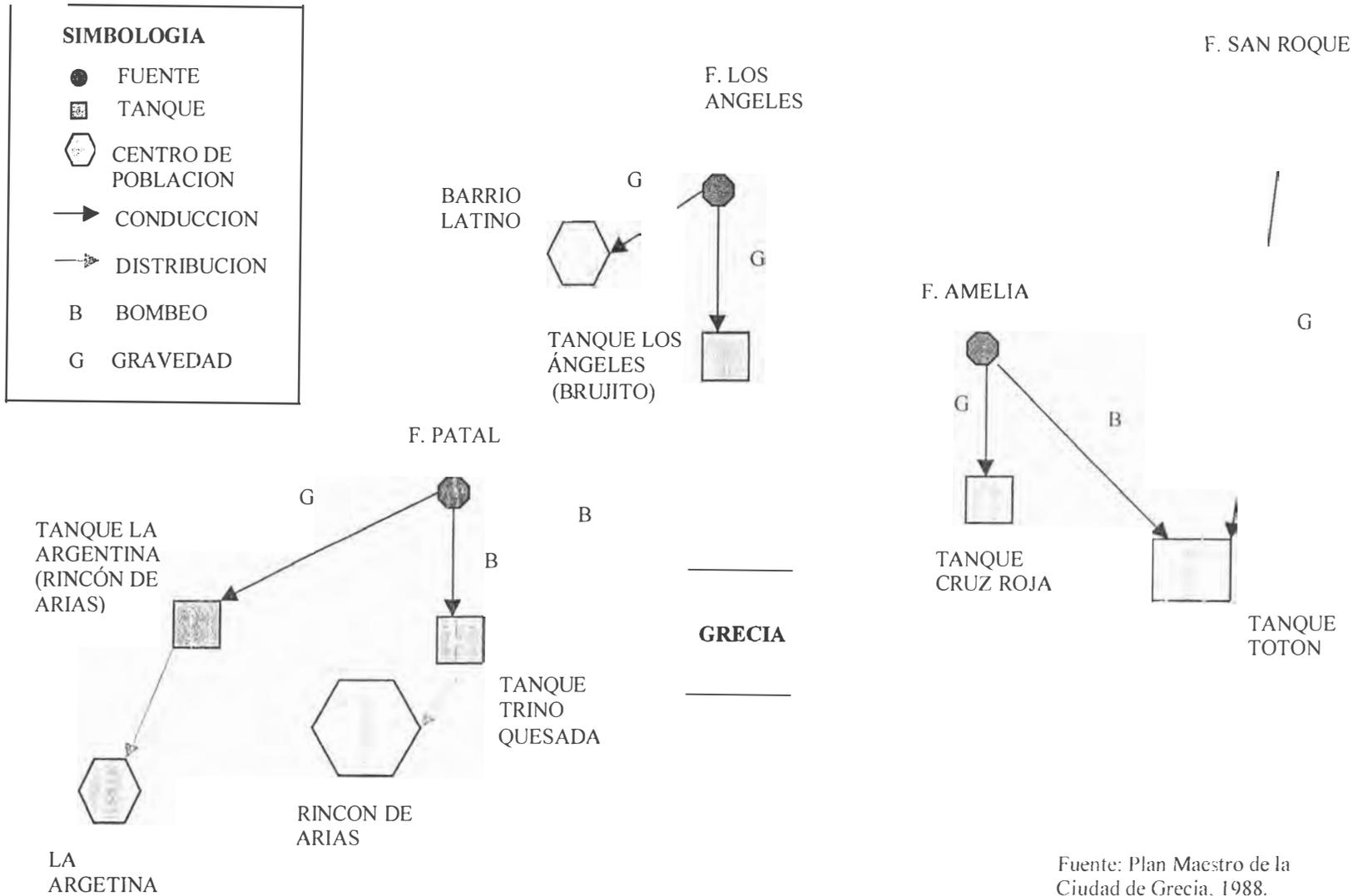
- La desprotección de las fuentes de abastecimiento de agua.
- El mal estado del acueducto y los sistemas de distribución.
- La contaminación del agua en algunos sectores.
- Falta de políticas con respecto a la conservación del acuífero del cual emanan las fuentes.

La Comisión Estratégica Territorial de Grecia (CET) y la Municipalidad son organizaciones comunales preocupadas por la conservación del agua. Sin embargo, la Municipalidad no está en condiciones de financiar el mantenimiento adecuado a las fuentes y sistemas de distribución, pues los montos de las tarifas son apenas suficientes para cubrir los costos de operación.

Por otro lado, las medidas concretas acerca del uso de los terrenos circundantes a las fuentes que se establecen en este proyecto, posteriormente, podrían ser utilizadas en la elaboración de un Plan Regulador a corto plazo que impulsa la C.ET, el cual debe incluir prioritariamente el tema del agua potable.

Por estas razones, este es un momento decisivo para que Grecia tome las acciones necesarias para la protección y correcta utilización del recurso hídrico.

**FIGURA 1.2**  
**FUNCIONAMIENTO ACTUAL ACUEDUCTO DE GRECIA**



Fuente: Plan Maestro de la Ciudad de Grecia, 1988.

## 1.2 Objetivo general

Evaluar la situación actual y establecer un plan de mejoras y conservación de las fuentes de agua potable de Grecia centro.

## 1.3 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual de las fuentes de agua potable.
- Determinar si la capacidad y calidad de las fuentes es suficiente para abastecer a la población futura de la ciudad de Grecia.
- Evaluar la vulnerabilidad y las amenazas de los manantiales.
- Proponer medidas concretas para la protección del recurso hídrico de la ciudad.
- Determinar de forma aproximada los costos que implican las mejoras propuestas.

## 1.4 Alcances

- El estudio contempla las fuentes de agua que abastecen el centro de la ciudad de Grecia: Los Ángeles, Patal, Amelia y San Roque.
- Se analiza la problemática de contaminación del agua potable producida en las fuentes y los sistemas de distribución.
- Se estudian las tomas de agua para determinar si son adecuadas, y de encontrarse alguna deficiencia en éstas se propondrán mejoras.
- Las medidas y recomendaciones que se proponen respecto al uso del suelo en las zonas aledañas a las fuentes, obras de protección necesarias y sistemas de tratamiento del agua, se estructurarán en un plan de mejoras y conservación.

- No se pretende realizar evaluaciones detalladas o diseños de mejoras de los sistemas de bombeo, captaciones, acueductos y tanques de almacenamiento.
- La vulnerabilidad de cada una de las fuentes se establece con base en tres parámetros, a saber: el tipo de acuífero, la clasificación del suelo y la profundidad del nivel freático.
- No se hacen mediciones de las cargas contaminantes cuando se evalúen las amenazas de los manantiales.
- Las amenazas que afectan a las fuentes de agua se determinan en forma cualitativa.

## 1.5 Limitaciones

- No se realizan pruebas de calidad del agua debido al costo y tiempo que éstas requieren. Se utilizan los datos que ya han sido generados por Acueductos y Alcantarillados (AyA).
- Los datos geológicos necesarios se basan en la información disponible:
  - ✓ Perforaciones de pozos realizadas por el Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA).
  - ✓ Mapa hidrogeológico de Costa Rica. No se ampliarán estos estudios.
- No se realizan censos de población, se utilizan los datos publicados en un informe realizado por la empresa Geotécnica para el AyA.
- No se puede estimar la población que es abastecida por cada una de las fuentes, debido a que los caudales se mezclan en los tanques de almacenamiento antes de ser distribuidos por la red. (Ver Figura 1.2)

- Se toma en cuenta la capacidad económica de la municipalidad para las medidas y recomendaciones que se propongan.
- La configuración del sistema de acueductos y zonas que abastece cada fuente se asumen tal y como se especifica en los planos existentes en el AyA y en las descripciones del fontanero municipal.
- La dotación per capita utilizada se considera constante, debido a que no se conoce la variación que pueda presentar en el tiempo.
- Se desconoce las variaciones de caudal que pueden experimentar las fuentes en el futuro, por lo cual se asumen los datos actuales como constantes en el tiempo.
- En las medidas intervienen variables subjetivas o difíciles de cuantificar, las cuales son simplificadas o estimadas con ayuda del criterio de profesionales.

## **2 Metodología general**

---

En esta sección se describe en forma general la metodología empleada en la evaluación de las fuentes de agua. Los detalles de cada uno de los pasos seguidos para este fin, se describen y detallan en su respectiva sección del informe.

En forma general el procedimiento comprende los siguientes puntos:

- A. Mediante visitas de campo y consultas a las personas relacionadas con la administración del agua de Grecia se realiza un diagnóstico de la situación general de las fuentes. Se hace un reconocimiento de las zonas donde se ubican éstas con el fin de localizar los posibles focos de contaminación que pudieran afectarlas; así mismo, se evalúan los elementos que pueden constituirse como la vulnerabilidad de las fuentes ante los eventos contaminantes. Se toman muestras del suelo para realizar pruebas de laboratorio que permitan caracterizarlos.
- B. La calidad del agua se determina mediante una serie de pruebas de laboratorio existentes, tanto para las fuentes como para distintos puntos de la red. Este es el único recurso con que se cuenta para evaluar la calidad del agua.
- C. Como un tercer paso se evalúa la capacidad actual de las fuentes con base en los reportes de aforos de AyA. Se analiza también la demanda de agua y la proyección a futuro de ésta, con el objetivo de hacer una comparación entre la disponibilidad del recurso y los requerimientos de éste y así determinar si es necesaria la explotación de otras fuentes de agua.
- D. También se da una idea a nivel macro de la dinámica del agua subterránea en la zona donde se ubican las fuentes.

Para esto se elabora un mapa de la topografía de la zona, un mapa que muestra las curvas de elevación del agua subterránea y finalmente el mapa que muestra la variación espacial de la profundidad del nivel freático. Se describen los perfiles litológicos en la zona, con especial énfasis en las capas que se ubican por encima del nivel freático. Con esta información es posible delimitar la zona en la cual los eventos de contaminación pueden afectar directamente la calidad del agua en las fuentes.

- E. Posteriormente se evalúa el riesgo de contaminación de las fuentes enfocado desde dos aspectos principales: las amenazas sobre éstas y la vulnerabilidad que pueda presentar cada una. El primer aspecto se evalúa en forma cualitativa con base en las observaciones realizadas en el punto A. El segundo aspecto se basa en la aplicación de la metodología de Ricardo Hirata y Stephen Foster, recomendada por la Organización Mundial de la Salud.

Con esta información se construye una matriz donde se relacionan la vulnerabilidad y las amenazas para evaluar el riesgo de contaminación.

- F. Se realiza una revisión de las principales disposiciones legales relacionadas con el tema del agua. En este punto se realiza una comparación entre lo que dictan las leyes y lo que se ha determinado como necesario a partir de los resultados del estudio.
- G. Finalmente, se realiza una serie de conclusiones y recomendaciones acerca de los aspectos principales como: calidad del agua, capacidad de las fuentes, medidas de protección de las fuentes y del acuífero en general y aspectos legales.

### **3 Diagnóstico del estado actual de las fuentes**

#### **3.1 Descripción de los sitios de las fuentes de abastecimiento**

Para valorar la situación actual de las fuentes es necesario establecer la vulnerabilidad que éstas presentan y las amenazas propias del lugar, para ello se llevaron a cabo visitas de campo y se describen a continuación los sitios donde se ubica cada una de ellas.

Los datos necesarios para evaluar los elementos anteriores se obtienen de características tales como:

- Topografía: ubicación geográfica, accesibilidad, existencia de ríos y quebradas, pendientes y área de la naciente.
- Uso y tipo de suelo: cultivos cercanos, ubicación de zonas urbanas y presencia de industrias.
- Opinión y sentimiento de las personas respecto al problema.



**Figura 3.1. Hueco para prueba de infiltración**

Las medidas de las diferencias de elevación entre distintos puntos se realizaron utilizando una estadia, un nivel de mano y un jalón.

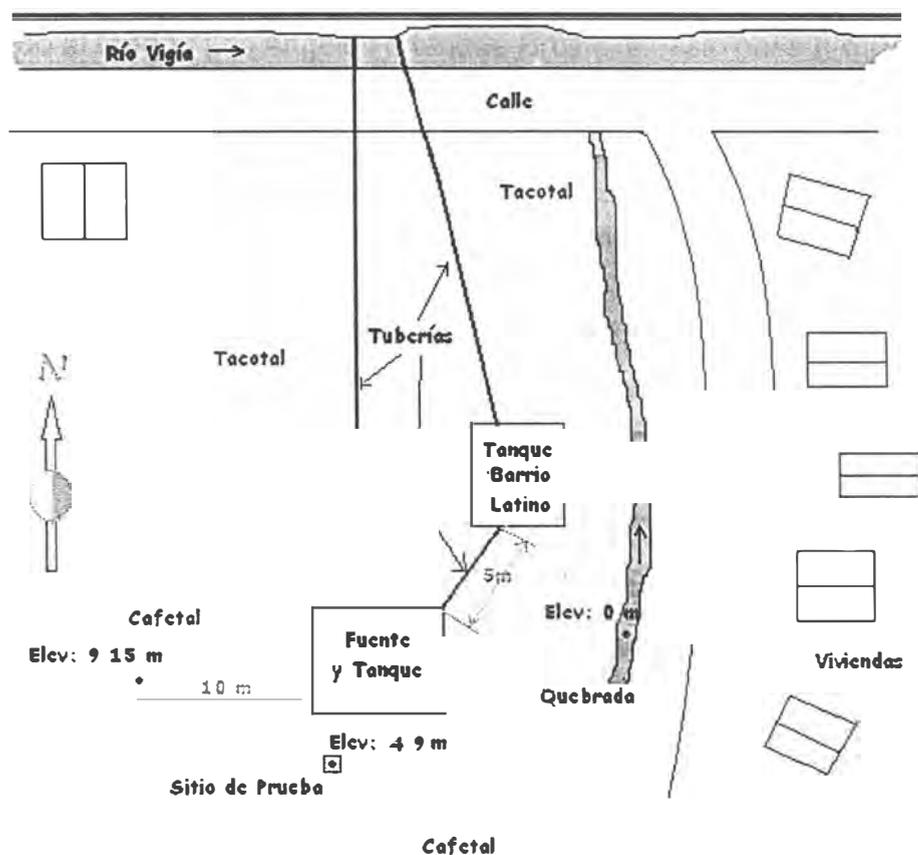
Para caracterizar la capa superficial de suelo en el sitio de toma, se realizaron pruebas de infiltración, basadas en la metodología de AyA.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Esta prueba consiste en excavar un hueco de 30x30cm de boca y 60cm de profundidad. Se llena de agua y se miden los descensos en intervalos de tiempo definidos. (Ver Figura 3.1 y Anexo 3)

### 3.2 Fuente Los Angeles

La fuente se encuentra localizada en las coordenadas 502.1 longitud este y 230.8 latitud norte de la Hoja Cartográfica Naranja, escala 1:50000, Mapa Básico de Costa Rica del Instituto Geográfico Nacional. Se ubica en una elevación de 1020 msnm aproximadamente.



*Figura 3.2. Croquis de la fuente Los Angeles. Sin escala*

El área es accesible desde Grecia por las calles San Roque y Los Angeles, las que son transitables todo el año. Al lugar se puede entrar fácilmente ya que el terreno no está cercado, además la captación se ubica a 50 m de la calle.

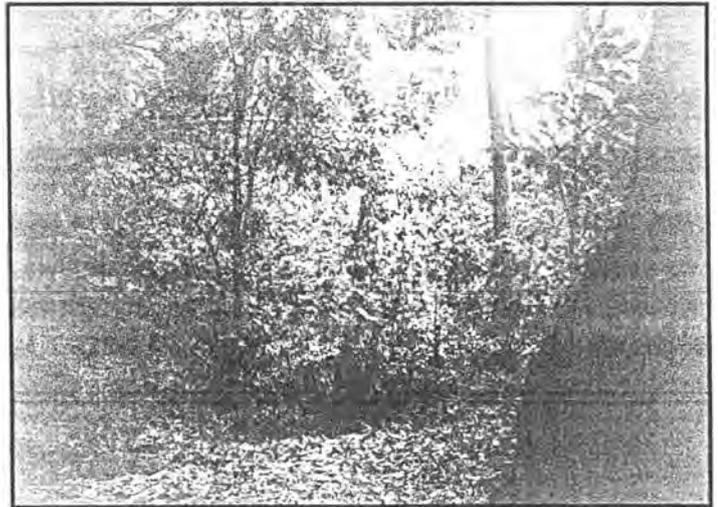
Es importante aclarar que la Municipalidad no es la propietaria del terreno donde se ubica esta fuente.

Como se puede observar en la Figura 3.2, donde se muestran las diferencias de elevación entre algunos puntos de interés, la topografía del lugar es muy quebrada, lo cual da origen a la naciente en uno de los taludes del terreno.

El agua entra al tanque de captación desde el cual se conduce parte del caudal distribuido al tanque Los Angeles o tanque Brujito, el resto pasa a otro tanque para posteriormente, dirigirse a Barrio Latino. No se observaron pérdidas de agua en la captación.

Esta fuente funciona por gravedad y para la conducción del agua se utilizan dos tuberías, una de 250 mm de diámetro de hierro fundido y otra de 200 mm de PVC. Por otra parte, las tapas de los tanques se encontraban cerradas con candado.

Al oeste y al sur del manantial se observan plantaciones de café en terrenos con pendientes bastante fuertes; al norte hay tacotales y al este de la fuente existe una quebrada que desagua en el río Vigía. Al otro lado de la quebrada existen unas seis viviendas donde habitan alrededor de 16 personas, cada una de las casas posee tanque séptico. Esta información fue recolectada mediante entrevistas a los vecinos.



**Figura 3.3. Sitio de toma, fuente Los Angeles**

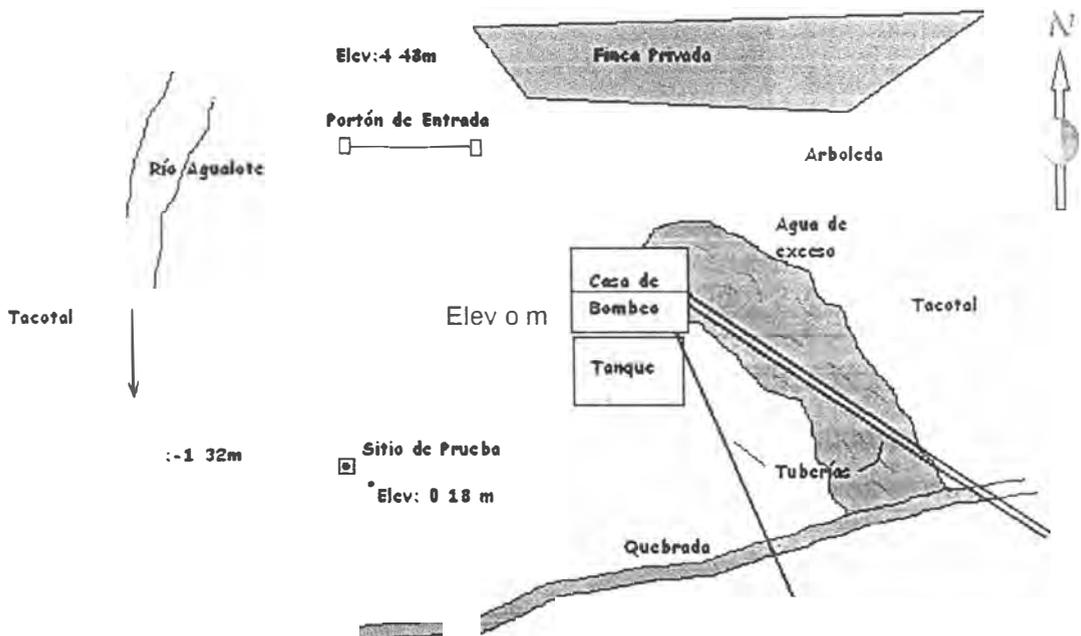
La pendiente fuerte del lugar en combinación con las plantaciones de café representan un peligro para la contaminación del agua, debido a los agroquímicos que se le aplican a este tipo de cultivo y a que la plantación se inicia muy cerca, a un par de metros del tanque de captación.

La topografía del terreno favorece a que no se presenten problemas desde el punto de vista de la descarga de las aguas residuales de las viviendas ya que se ubican contra la pendiente del terreno.

### 3.3 Fuente Amelia

Esta fuente está ubicada entre las siguientes coordenadas: longitud 502.4 este y latitud 228.7 norte. Hoja Cartográfica Naranja. Tiene una elevación aproximada de 977 msnm.

Hacia el norte la fuente limita con los poblados de Higuerones y Los Angeles, al oeste con el río Agualote, al sur con el Colegio de Grecia y la respectiva ciudad y al oeste con el poblado de Agualote y el río Vigía.



**Figura 3.4. Croquis de la fuente Amelia. Sin escala**

Para llegar a la fuente se utiliza una calle pavimentada y otra de lastre. La parte del terreno donde se encuentra la naciente que pertenece a la Municipalidad es de aproximadamente una manzana, siendo el resto propiedad privada.

La topografía del terreno es bastante plana en el sitio de la toma.

En esta fuente la conducción del agua se efectúa por bombeo directo hasta los tanques Totón y al tanque Cruz Roja.



*Figura 3.5. Sitio de captación, fuente Amelia*

La naciente es un ojo de agua, la captación utilizada consiste en dos tanques; el tanque de captación ubicado sobre la fuente y el cisterna donde se encuentran las bombas, desde éste último se realiza la conducción del agua hacia el tanque de almacenamiento.

Se usan tres tuberías de conducción de hierro fundido, 2 con diámetros de 100 mm y una de 200 mm.

Al norte de la fuente hay una propiedad privada. Entre la finca y la naciente se encuentran una arboleda y un tacotal. Por el lado oeste se ubica el río Agualote a una distancia aproximada de 30 m. Al sur de la naciente, a unos 15 m, existe una quebrada hacia la cual desagua el excedente no captado en la fuente, posteriormente, esta quebrada se une al Agualote.

Cerca del lugar de toma sólo existe una única vivienda que está ubicada en la finca a una distancia aproximada de 150 m. Debido a la distancia que existe entre la fuente y la casa y a la baja probabilidad de que se realice un desarrollo urbano en la propiedad, no se considera un peligro para la fuente el desecho de las aguas residuales provenientes de ésta.

El sitio de la prueba para estimar la velocidad de infiltración del agua en el suelo, se ubica entre la captación y el río Agualote. Se pudo observar en el transcurso de ésta, que el nivel de agua se encontraba a una profundidad aproximada de 50 cm. Las diferencias de elevación medidas entre el río, el sitio de prueba y la fuente inducen a creer que el líquido podría fluir desde el Agualote hacia la captación, lo cual implicaría una amenaza para la fuente, debido a la gran contaminación que posee el agua de este río.

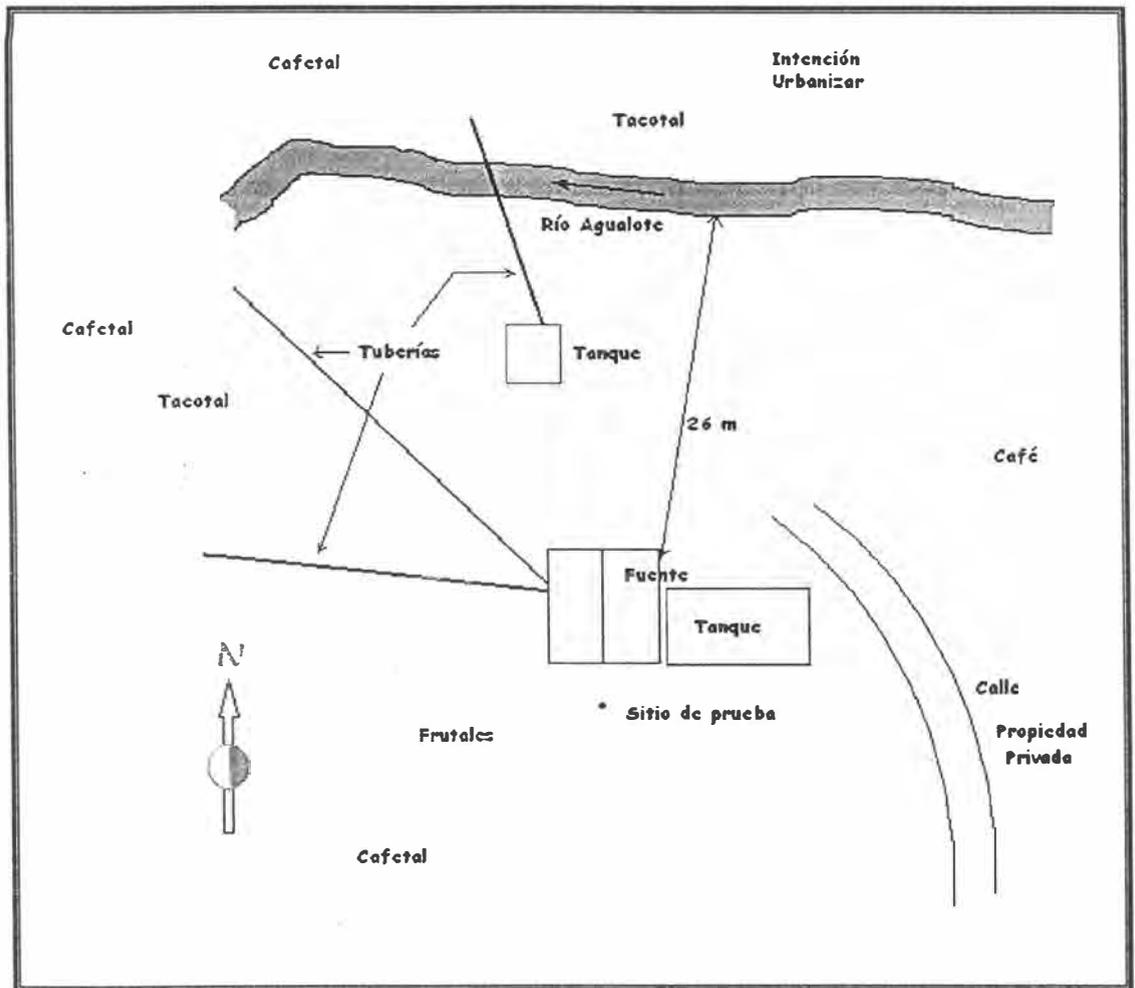
La plantación de café se considera un posible peligro para la calidad del agua, por la posibilidad de que los agroquímicos provenientes de la atomización de este cultivo se infiltren en el suelo.

El exceso de agua en la fuente está expuesto al ambiente y por ende, a la contaminación que podrían causar animales muertos o cualquier tipo de desechos depositados en la zona.

### 3.4 Fuente Patal

Esta fuente se localiza en las coordenadas 501.3 longitud este y 230.95 latitud norte, de la hoja Cartográfica Naranja. Tiene una elevación aproximada de 1070 msnm.

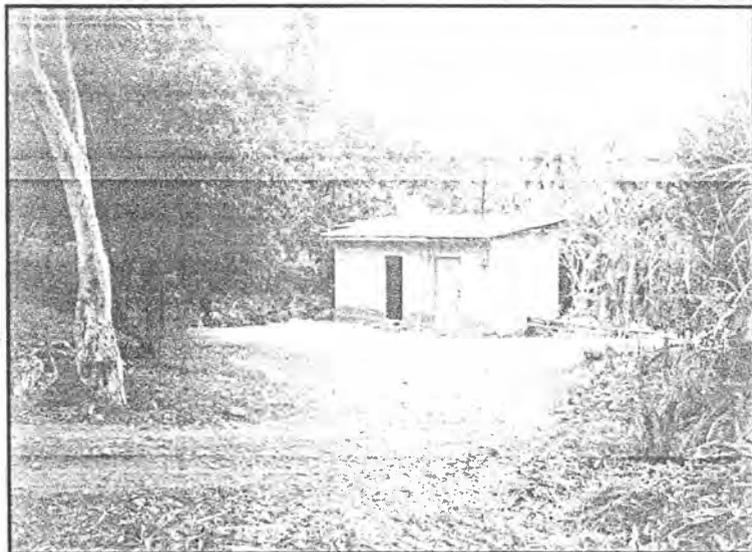
La delimitación es la siguiente: al norte limita con el río Agualote y el poblado del mismo nombre, al este con la ciudad de Grecia, al sur con la calle Carmona y al oeste con el río Agualote.



*Figura 3.6. Croquis de la fuente Patal. Sin escala*

El terreno donde se ubica la fuente es propiedad privada dedicada al cultivo del café y está cercada, por lo cual se dificulta el acceso a particulares. La topografía es plana en el sitio donde se encuentra la naciente pero en sus alrededores es quebrada.

La naciente es un ojo de agua, sobre la cual se encuentra un tanque de captación;



a un lado de éste se sitúa el tanque cisterna, donde se realiza el bombeo hacia el centro de Grecia y al tanque Trino Quesada. La conducción restante es por gravedad y se dirige al tanque La Argentina, también llamado Rincón de Arias.

*Figura 3.7. Caseta de bombeo, fuente Patal*

**0135412**

El caudal bombeado hasta el tanque Trino Quesada pasa a través de una tubería de 150 mm de diámetro. La tubería que se dirige hacia la ciudad de Grecia tiene un diámetro de 100 mm y de 75 mm la conducción desde Patal al tanque La Argentina. Todas las tuberías son de PVC.

La distancia entre el río Agualote y la fuente es de 26 m, lo cual representa un riesgo para ésta debido a la alta contaminación que posee el río.

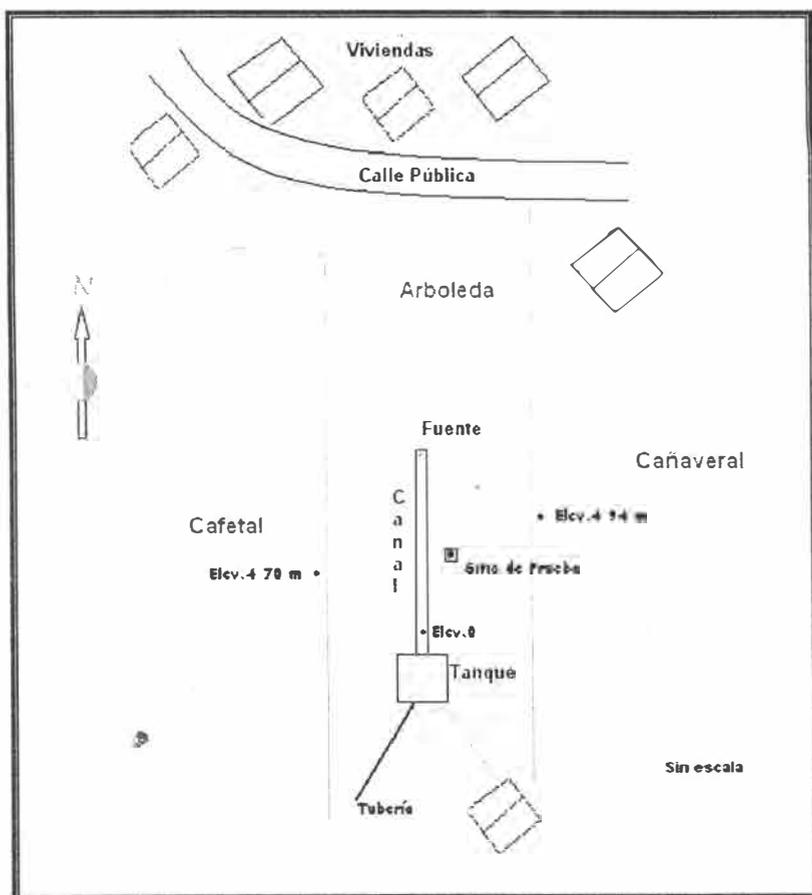
Alrededor de la naciente y pendiente arriba de ésta se ubican grandes plantaciones de café, las cuales amenazan la calidad del agua de la fuente por el tipo de agroquímicos que se le atomizan a este cultivo.

Se tiene intención de urbanizar en un futuro la parte norte de la fuente, donde actualmente existen cultivos de café, este hecho podría significar un peligro tanto para la contaminación de las aguas subterráneas como para la zona de recarga del acuífero.

### 3.5 Fuente San Roque

Se localiza en las coordenadas 503.85 longitud este y 230.95 latitud norte, en la Hoja Cartográfica Naranja. Tiene una elevación de 1070 msnm aproximadamente.

El lugar donde se ubica la fuente es de fácil acceso y se encuentra en un terreno que no posee cerca, por lo tanto, el ingreso no es restringido. La naciente se sitúa a unos 80 m de la calle de una urbanización. Las tapas del canal y del tanque no tienen candado por lo que pueden ser abiertas por cualquier persona.



*Figura 3.8. Croquis de la fuente San Roque. Sin escala*

La topografía que presenta el lugar es en general bastante plana, excepto en el sitio de la urbanización donde la pendiente es muy pronunciada, esto es al norte de la fuente.

La fuente San Roque posee un canal como captación, a lo largo del cual convergen venas de agua que se unen para formar el caudal del manantial. El agua es transportada por gravedad al tanque Totón por una tubería de hierro galvanizado de 125 mm de diámetro.



***Figura 3.9. Tanque de almacenamiento, fuente San Roque***

La naciente está rodeada por unos pocos árboles, la mayor parte de su alrededor lo constituye un cafetal y en la parte este existe una gran extensión de cultivo de caña, representando ambos una amenaza para la calidad el agua de la fuente.

La urbanización situada a una elevación mayor a la fuente es otro riesgo de contaminación del agua producto de las aguas negras de las viviendas.

## **4 Calidad del agua**

---

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha definido normas para la calidad del agua potable, las cuales aseguran que su abastecimiento sea seguro para el consumo humano. Existen tres categorías en las cuales la OMS establece límites de calidad de agua, específicamente los que se refieren a su apariencia, olor y sabor, los que definen los límites bacteriológicos y los que determinan los contenidos máximos de contaminantes físicos y químicos.

Teniendo en cuenta que el control de la calidad del agua es la clave para reducir los riesgos de enfermedades transmitidas por ese medio, las instituciones de salud y de abastecimiento de agua han asumido la responsabilidad de establecer normas de calidad apropiadas.

Un valor guía representa el nivel (concentración o cantidad) de un componente que garantiza que el agua será agradable para los sentidos y no causará riesgo para la salud del consumidor. La calidad del agua definida para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluyendo la higiene personal. Cuando se sobrepasa un valor guía, debe investigarse la causa con vistas a tomar medidas correctivas. La cantidad en que se sobrepase un valor guía y el período durante el cual se prolongue esta situación, sin que resulte afectada la salud pública, dependerá de la sustancia o característica específica en cuestión (OMS, 1988)<sup>2</sup>.

En el Anexo 1.a, se detallan las normas para Costa Rica establecidas por el Ministerio de Salud y AyA.

Para el acueducto de Grecia sólo se cuenta con una fecha de muestreo. Para este día se realizaron pruebas en los tanques, las nacientes y dentro de la red.

---

<sup>2</sup> Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable*. Volumen 3. Washington, EUA, 1988.

Los resultados se detallan en el Anexo 1.b. Nótese la presencia de coliformes fecales en los tanques y algunos puntos de la red.

## 4.1 Diagnóstico de la calidad del agua

El problema de la calidad del agua se analizó desde dos puntos de vista, los tanques y algunos puntos de la red, y las fuentes.

Es importante tener en cuenta que es preciso realizar muestreos periódicos tanto para establecer un diagnóstico de la calidad del agua como para tener un control adecuado de ésta.

### 4.1.1 Fuentes

Los resultados de las pruebas de control para la calidad del agua potable, se presentan en la Tabla 4.1 donde se contempla únicamente la prueba puntual realizada en las fuentes.

*Tabla 4.1. Resumen de calidad del agua de las nacientes*

Fuente	Diagnóstico		Resultado de la prueba
	Microbiológico	Físico-químico	
Los Ángeles	Cumple	Cumple	Agua de calidad potable
Amelia	Cumple	Cumple	Agua de calidad potable
Patal	No cumple	Cumple	Agua de calidad no potable
San Roque	No cumple	Cumple	Agua de calidad no potable

*Fuente: AyA*

Se puede observar que para las fuentes Patal y San Roque se encontró contaminación por coliformes fecales; sin embargo, los muestreos disponibles pertenecen a una única fecha para el caso de Patal y a dos fechas para el resto de las fuentes.

Estos resultados se pueden considerar no representativos debido a que como se dijo anteriormente, para poder establecer un diagnóstico de calidad del agua, es

necesario que se realicen muestreos periódicos a las fuentes, a fin de determinar si éstas presentan realmente contaminación, o simplemente reflejan una situación aislada, la cual pudo producirse por gran cantidad de factores tales como, la manipulación de las muestras y eventos temporales de contaminación.

Es importante aclarar que el agua suministrada no recibe ningún tipo de tratamiento antes de ser distribuida a la población.

En cuanto a las variables físico – químicas, las cuatro fuentes estudiadas cumplen con las normas establecidas por AyA y el Ministerio de Salud, esto respecto al valor máximo admisible.

Por otro lado, todas las nacientes cumplen con el valor recomendado para los nitratos excepto San Roque que se encuentra una unidad por encima de este valor. Aún así, la diferencia es tan pequeña que no se puede asegurar que la calidad del agua de la fuente San Roque presente contaminación por nitratos. El nitrato es afín al oxígeno y es peligroso porque tiende a reducir la concentración de oxígeno en el cuerpo.

#### **4.1.2 Tanques y algunos puntos de la red**

En este caso, las pruebas realizadas por el AyA fueron únicamente de carácter microbiológico dejando de lado las variables físico-químicas.

En cuanto a las pruebas realizadas en los tanques de almacenamiento se obtuvo la información que se presenta en la Tabla 4.2.

Nótese como los tanques Cruz Roja y Rincón de Arias no presentan contaminación fecal, caso contrario a lo ocurrido en Totón y Trino Quesada donde se obtuvo resultados positivos. La situación en el tanque Brujito no da una visión clara de la calidad del agua, pues las dos pruebas realizadas dan resultados diferentes, confirmándose la necesidad de llevar a cabo una mayor cantidad de muestreos.

**Tabla 4.2. Presencia de coliformes fecales**

Tanque	Fecha	
	4/9/97	14/11/97
Brujito	negativo	positivo
Totón	positivo	positivo
Cruz Roja	negativo	negativo
Trino Quesada	-----	positivo
Rincón de Arias	negativo	negativo

Fuente: AyA

Como se observa en el Anexo 1.b , en algunos puntos de la red se presenta contaminación por coliformes fecales, específicamente en la fuente Amelia, los cinco puntos de muestreo resultaron positivos, de los cuales tres de ellos presentan escherichia coli. Siendo éste el indicador más preciso de contaminación fecal.

Para las fuentes Patal, Los Angeles y San Roque, los resultados no siguieron un patrón definido sino más bien variaron en algunos puntos de la red.

En síntesis, los resultados obtenidos en las pruebas de calidad del agua no pueden ser considerados como definitivos, debido a que solamente existen dos fechas de muestreo, realizadas con dos meses de diferencia.

#### **4.1.3 Normas del Ministerio de Salud Pública**

En la Tablas 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 se listan las normas con las que se realizó el análisis comparativo.

Es importante asegurarse que el agua potable satisfaga estas normas, ya que éstas garantizan un abastecimiento de agua seguro tanto en aspectos microbiológicos como físico-químicos.

Tabla N° 4.3. Parámetros bacteriológicos

Origen	Parámetro	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Todo tipo de agua de bebida, así como la que use para la preparación del hielo.	Coliforme fecal	Negativo	Negativo
Agua que entra al sistema de distribución.	Coliforme fecal	Negativo	Negativo
Agua en el sistema de distribución	Coliforme fecal	Negativo	Negativo

Fuente: La Gaceta N° 100 (1997)

Tabla N° 4.4. Parámetros organolépticos

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Color verdadero	mg/l (Pt-Co)	1	15
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	Factor dilución	0	2, a 12°C

Fuente: La Gaceta N° 100 (1997)

Tabla N° 4.5. Parámetros físico-químicos

Parametro	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Concentración de iones hidrógeno	Valor pH	6.5 a 8.5	
Cloruros	mg/l	25	250
Conductividad	µs/cm	400	
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	400	
Sulfatos	mg/l	25	250

Fuente: La Gaceta N° 100 (1997)

Tabla N° 4.6. Parámetros para sustancias no deseadas

Parámetro	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Nitratos-NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	25	50
Hierro		0.3

Fuente: La Gaceta N° 100 (1997)

## **5 Capacidad de las fuentes**

### **5.1 Evaluación de la relación de consumo de agua potable y la demanda.**

Al ser Grecia un cantón en constante crecimiento, tanto urbano como industrial, es de primera importancia determinar si la actual explotación de los recursos hídricos, es suficiente para abastecer la demanda presente de agua potable y las expectativas de requerimientos futuros del líquido.

La decisión de explotar y captar nuevos manantiales, debe estar basada en una necesidad auténtica de abastecer del recurso hídrico a los nuevos sectores de la ciudad.

Para la evaluación de la disponibilidad del agua potable a futuro se requiere de tres elementos principales:

- El caudal producido por las fuentes.
- La tasa de crecimiento de la población.
- La dotación de agua que se le asigna a cada habitante.

Primeramente se analizará la capacidad de abastecimiento del sistema en las condiciones hidráulicas en que se encuentra actualmente, con el objetivo de determinar el plazo en que deben iniciarse las posibles ampliaciones al sistema. Posteriormente, se analizará la disponibilidad de agua suponiendo que se realizarán las obras de ampliación y mejora para captar la totalidad del caudal que es producido por las fuentes en estudio.

Para realizar el análisis de la capacidad de abastecimiento a futuro de las fuentes se han aplicado algunas consideraciones y simplificaciones respecto a la realidad.

Lo anterior se debe a que algunos elementos del análisis no son directamente medibles como las variaciones del caudal a futuro y los índices de crecimiento poblacional.

## 5.2 Estimación de la población de Grecia.

### 5.2.1 Algunas metodologías que fueron probadas.

Como una primera estimación del crecimiento poblacional se intentó obtener mediante los registros de la Municipalidad de Grecia, el número de abonados abastecidos por cada fuente. Este es un dato deseable, pues se había planteado originalmente analizar cada naciente por separado e incluir la demanda que tenga cada una de ellas como un parámetro de priorización de las medidas.

La obtención de estos datos no fue posible pues la Municipalidad no cuenta con registros clasificados de esta forma, solamente se conocen los datos de los totales de abonados, clasificados por el tipo de tarifa y en la mayoría de los casos (98%) se cobran tarifas fijas.

Posteriormente, se realizó un análisis del cambio demográfico con una metodología simplificada. Se obtuvo los datos de población del cantón de Grecia por distrito, tomados de los censos oficiales de la Dirección General de Estadística y Censos y de las proyecciones que realiza esa misma dependencia. Luego, mediante la aplicación del modelo de interés compuesto se obtuvo las correspondientes tasas de crecimiento de la población para los distintos períodos de los que se disponía información.

Los valores obtenidos presentaron una gran variación, desde 0.3% hasta un máximo de 2.4%. Se decidió no utilizar los resultados de este análisis debido principalmente a que las estimaciones de las tasas de crecimiento se hicieron únicamente a partir de datos provenientes de proyecciones de población, las cuales ya arrastran un sesgo.

Además, no se observó una relación o tendencia definida entre los datos obtenidos, por lo cual no fue posible definir una tasa única de crecimiento de la población.

### **5.2.2 Metodología empleada**

La determinación del comportamiento demográfico de la ciudad de Grecia se basó en los datos de la población y las tasas de crecimiento, obtenidos en una investigación reciente realizada por la empresa Geotécnica para Acueductos y Alcantarillados<sup>3</sup>.

El estudio prestó especial interés a la estimación de la población de la ciudad, así como a la evaluación de los componentes del cambio demográfico, a saber: fecundidad, mortalidad y migración neta en la década previa. Para el diagnóstico de la situación demográfica de la ciudad se tomó como punto de partida para la proyección el año 1995.

Esta proyección cubre en detalle el periodo de 1995 al 2025, e incluye una extensión de la proyección hasta el 2065, la cual es muy conjetural.

El método utilizado para la proyección es el de los componentes del cambio demográfico por cohortes y sexo, utilizado por las Naciones Unidas, la CEPAL y la Dirección General de Estadística y Censos (DGEC).

La ciudad fue definida en términos de los segmentos censales (áreas definidas en los mapas con propósitos de enumeración censal) de la DGEC, considerando así, los segmentos de 1973, 1984 y los planeados para 1997.

---

<sup>3</sup> Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. *Estudio de Alcantarillado Sanitario en Ciudades Intermedias. Etapa 1. Borrador de Informe consultora Geotécnica. 1998.*

Para proyectar la población hasta el año 2025, se utilizó el método de los componentes del cambio demográfico por cohorte, trabajando separadamente por sexo, con grupos de cohortes de 10 años y para intervalos de 10 años calendario.

Los nacimientos del período se estimaron con las tasas proyectadas de fecundidad por edad de la mujer. Estos nacimientos se proyectaron con la relación de supervivencia y migración correspondientes, para obtener la población menor de 10 años de edad a fin de cada período.

El número de viviendas se estimó aplicándole a la población proyectada en cada edad y sexo, una tasa de jefatura de hogar, donde a cada jefe de hogar le corresponde una vivienda.

Los valores proyectados de población total y viviendas a intervalos de 10 años fueron interpolados para cada año calendario con polinomios de cuarto grado.

El punto de partida de la proyección fue la población por edad y sexo a enero de 1985, estimada con base en el censo de mayo de 1984.

Para la fecundidad se supuso que la ciudad convergía hacia el nivel de reemplazo (2.1 hijos por mujer) hacia el año 2020.

Se identificó la mortalidad mínima con la tasa más baja observada en varias ciudades y los valores para 1994-2020 se interpolaron linealmente.

Para la evolución futura de la migración se hicieron supuestos que se asemejaran a lo observado en 1985-94, siempre que fuese razonable.

La proyección no incluye la posibilidad de que en la ciudad tenga lugar una inusitada afluencia de inmigrantes o una extraordinaria expulsión de emigrantes.

En la Tabla 5.1 se resumen los resultados de la proyección:

**Tabla 5.1. Población , viviendas proyectadas y tasa de crecimiento, 1985-2025**

	Total						Tasa Crecimiento Anual %			
	1985	1995	1997	2005	2015	2025	1985-95	1995-05	2005-15	2015-25
Población	9646	12099	12642	14600	17139	19544	2.3	1.9	1.6	1.3
Viviendas	2209	3154	3347	4148	5259	6513	3.6	2.7	2.4	2.1

Fuente: Estudio de Geotécnica para el AyA

Para la proyección de la población en el período 2025 – 2065 se utilizó también el método de los componentes del cambio demográfico por cohortes. Tomando como hipótesis que la fecundidad y la mortalidad se mantendrán constantes y que no habrá migraciones desde o hacia la ciudad, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 5.2. Población, viviendas proyectadas y tasa de crecimiento, 2025-2065**

	Total					Tasa Crecimiento Anual %			
	2025	2035	2045	2055	2065	2025-35	2035-45	2045-55	2055-65
Población	19539	21002	22287	23218	23865	0.7	0.6	0.4	0.3
Viviendas	6513	7345	8055	8562	8949	1.2	0.9	0.6	0.4

Fuente: Estudio de Geotécnica para el AyA

### 5.3 Dotación per capita de agua potable

La contribución de agua asignada a cada persona es otro de los parámetros necesarios para la estimación de la disponibilidad del recurso hídrico.

Para la estimación de la demanda de agua se utilizarán dos estimaciones distintas para la dotación, con el motivo de evaluar la sensibilidad de los cálculos ante la variación de este factor.

Primeramente se utilizará la norma de AyA para la dotación de agua, establecida en 300 l/hab/día.

El segundo criterio proviene del informe de Geotécnica<sup>4</sup>, quienes realizaron un estudio que contempla una serie de factores que influyen en la dotación de agua potable. Debido a que Grecia no cuenta con un sistema de medición de aguas eficiente ya que solamente un 2% del agua total es contabilizada, se hace necesario tomar en cuenta algunos componentes que aumentan la demanda, a saber (Geotécnica<sup>3</sup>,1998):

- Dotación Domiciliar Medida (DDM): éste se realizó con base en los registros de consumo, en la cantidad de servicios con medidor y en el porcentaje de hacinamiento característico de la ciudad.
- Dotación No Domiciliar Medida (DNDM): se obtiene a partir de la tasa de consumo no domiciliar aplicada a la dotación domiciliar medida.
- Incremento por Servicios Fijos (ISF): considera el incremento en la dotación resultado del exceso de consumo que se presenta en los servicios sin medición, tanto del tipo domiciliar como no domiciliar.
- Incremento por Agua No Controlada (IANC): se refiere al incremento en la dotación que considera las pérdidas ocurridas en el sistema, así como el exceso de consumo por parte de los servicios fijos conectados al sistema en forma ilícita.

Una vez realizados los cálculos de los componentes se procede a determinar la dotación per cápita, la cual quedará definida por la suma de los componentes anteriores. De esta forma, la dotación de agua potable para Grecia se estimó en 368 l/hab/día.

<sup>4</sup> Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Op cit

## 5.4 Análisis de caudales

### 5.4.1 Caudales producidos en las fuentes

Con el fin de conocer los caudales de los manantiales, se obtuvo datos de aforos para cada una de las fuentes (ver Anexo 2), los cuales se realizaron en diversos períodos y fueron suministrados por AyA.

*Tabla 5.3. Resumen de los aforos*

Fuente	Promedio	Caudal (l/s)	
		Máximo	Mínimo
Los Ángeles	32.07	46	25
Amelia	122.46	261	43
Patal	290.3	396	143
San Roque	16.91	196	3

*Fuente: AyA*

Para obtener el caudal producido por las cuatro fuentes se establecieron tres criterios, a saber:

- Caudal mínimo: se toma este valor porque es el que representa la condición crítica, que podría darse en la época seca donde la recarga del acuífero disminuye.
- Caudal promedio: se utiliza este valor para no incurrir en sobreestimaciones o subestimaciones del caudal producido.
- Caudal percentil 15: muchas veces el valor mínimo podría ser un valor aislado en una serie de datos y estar muy distante de la realidad. Por esta razón, se utiliza el percentil 15 que representa un valor sobre el que están el 85% de los datos.

La tabla 5.4 presenta los valores mínimo, promedio y percentil 15 de caudal producido en las fuentes.

Tabla 5.4. Caudales producidos en las fuentes

Fuente	Caudales (l/s)		
	Promedio	Mínimo	Percentil 15
Los Angeles	32.0	25.0	28.6
Amelia	122.5	43.0	68.0
Patal	281.5	143.0	243.8
San Roque	8.4	3.0	6.0
<b>Total</b>	<b>444.4</b>	<b>214.0</b>	<b>346.4</b>

Fuente: los autores basados en datos de AyA.

#### 5.4.2 Caudales captados

El caudal captado en las fuentes se divide en: bombeado y el transportado por gravedad.

En las fuentes Amelia y Patal es necesario utilizar bombas debido a que éstas se encuentran a una elevación inferior a la de los tanques a los cuales llegan. Los valores correspondientes a estos caudales son 86 y 43 l/s, respectivamente y fueron suministrados por el estudiante de la Universidad de Costa Rica Tomás Arias quien trabaja en su proyecto de graduación.

Para Los Angeles, San Roque y parte del caudal captado en Patal se distribuye por gravedad (ver Figura 1.2). Los valores de estos caudales son calculados por medio de la ecuación de Hazen-Williams:

$$hf = CH^{1.852} * D^{4.87} * L * Q^{1.852}$$

Donde:

$h_f$  : pérdidas de carga que se toma como la diferencia de elevación entre los puntos de análisis (m).

$L$  : longitud de tubería entre los puntos analizados (m).

$Q$  : caudal a través de la tubería ( $m^3/s$ ).

$CH$  : coeficiente de Hazen-Williams, depende del material del que esté hecha la tubería (adimensional).

$D$  : diámetro de la tubería (m).

Utilizando esta ecuación y con los datos obtenidos del estudio de Geotécnica<sup>5</sup> se generan los siguientes valores:

***Tabla 5.5. Caudales captados por gravedad***

Conducción	Dif. elev (m)	Long. aprox. (m)	Diám. (mm)	Coefficiente de Hazen Williams	Caudal por gravedad (l/s)	Vel. (m/s)
Patal-Tanque La Argentina	20	3000	75	130	3	0.60
San Roque-Tanque Totón	32	2585	125	110	12	0.98
Los Ángeles-Tanque Brujito	14	1800	250	110	58	1.18
Los Ángeles-Barrio Latino	5	874	200	130	32	1.03

*Fuente: estudio de Geotécnica para AyA y datos suministrados por Tomás Arias (tesionario)*

<sup>5</sup> Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Op cit

La suma de los caudales bombeados y por gravedad se presentan en la tabla 5.6

*Tabla 5.6. Caudales captados*

Fuente	Caudal (l/s)
Los Ángeles	90.42
Amelia	86.00
Patal	45.66
San Roque	12.06

*Fuente: los autores basados en las tablas 5.4 y 5.5.*

## 5.5 Estimación de la demanda

El cálculo de la población que puede ser abastecida por las fuentes, dado un caudal, es un parámetro de suma importancia para proyectar el tiempo en que se alcanzará la capacidad máxima de las nacientes.

Como el caudal máximo reportado para la fuente Los Angeles es de 46 l/s (Tabla 5.3) y el caudal calculado como captado es de 90 l/s (Tabla 5.6), existe una incoherencia ya que no se puede captar más de lo que se produce, por tal motivo, se va a considerar como caudal captado para esta fuente el máximo medido en los aforos, es decir, 46 l/s.

La decisión anterior se basa en la confiabilidad que puedan tener los datos de los aforos realizados por AyA, los cuales se realizan periódicamente y a manera de no generar una contradicción. No obstante, es evidente la necesidad de realizar un estudio específico para aclarar tal situación.

En la Tabla 5.7 se resumen los datos de caudal tanto para los caudales producidos como los captados en las fuentes.

**Tabla 5.7. Caudal totales producidos y captados en las fuentes**

Fuente	Caudales (l/s)			Captados
	Promedio	Mínimo	Percentil 15	
Los Angeles	32.0	25.0	28.6	46.0
Amelia	122.5	43.0	68.0	86.0
Patal	281.5	143.0	243.8	45.7
San Roque	8.4	3.0	6.0	12.1
<b>Total</b>	<b>444.0</b>	<b>214.0</b>	<b>346.0</b>	<b>234.0</b>

Con los valores totales de caudal en la Tabla 5.7 se obtienen las poblaciones futuras que pueden ser abastecidas, utilizando la fórmula:

$$P = \frac{D * 86400}{d * f_{mh}}$$

Donde:

P : Población abastecida. (habitantes)

D : Demanda de agua o caudal (l/s)

d : Dotación (l/hab/día)

$f_{mh}$  : Factor máximo horario, para Grecia es de 2 (Fuente: Plan Maestro de Grecia)

**Tabla 5.8. Población futura que puede ser abastecida**

Q (l/s)		Dotación (l/hab/día)	
		368	300
		Poblac.Fut.	Poblac.Fut.
Minimo	214.0	25122	30816
Percentil 15	346.4	40664	49882
Promedio	444.4	52169	63994
Captado	189.7	22271	27320

Del cuadro anterior se puede observar que para una dotación de 300 l/hab/día la menor población calculada para la ciudad de Grecia es de 27320 personas

(valor que corresponde al caudal captado en las fuentes); por otro lado, en la Tabla 5.2 se presenta el resultado de la proyección de población para el año 2065 el cual es de 23865 habitantes, esto hecho implica que el caudal que se capta en la actualidad es suficientemente grande como para abastecer a la ciudad hasta el 2065 sin que se logre todavía alcanzar la capacidad máxima del sistema.

Cuando se utiliza una dotación de 368 l/hab/día (tomado del estudio realizado por Geotécnica) la mínima población estimada es de 22271 habitantes. De la Tabla 5.2 para el año 2035 se obtiene una población de 21002 personas y una tasa de crecimiento anual para el período 2035-45 de 0.6%; por lo tanto, el tiempo en que se alcanza la capacidad del sistema se calcula como:

$$P_f = P_i * (1 + i)^n$$

Donde:

$P_f$  : Población futura.

$P_i$  : Población inicial.

$i$  : Tasa de crecimiento anual (decimal).

$n$  : Número de años.

*Tabla 5.9. Tiempo para alcanzar una capacidad de 189.7 l/s*

	<b>Pi</b>	<b>i</b>	<b>Pf</b>	
Caudal: 189.7 l/s	21002	0.006	22271	10

De acuerdo a lo anterior, en el año 2045 la ciudad Grecia demandará un caudal igual a la capacidad máxima del sistema actual, es decir, para los años siguientes se deben implementar mejoras al sistema.

Para las restantes poblaciones futuras no se realizó la proyección debido a que estos valores son tan grandes que sobrepasan la población del año 2065, indicando que como mínimo el caudal es suficiente en un período de 67 años.

Es importante hacer notar que cuanto más se extiendan las proyecciones de la población, mayor es la incertidumbre, pues muchos cambios pueden ocurrir en períodos muy largos.

## **6 Conceptualización hidrogeológica de la zona de las fuentes.**

“La hidrogeología estudia el almacenamiento, la circulación y la distribución de las aguas terrestres ubicadas en las formaciones geológicas, tomando en cuenta las propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre.”<sup>6</sup>

Para entender en una forma básica el funcionamiento del acuífero<sup>7</sup> de donde emanan los manantiales, es necesario relacionar entre sí una serie de elementos geológicos y topográficos que interactúan para determinar la dinámica de las aguas subterráneas.

Un elemento mínimo con el que se debería contar para evaluar la vulnerabilidad de las fuentes es una idea general de la dinámica del acuífero y de la interacción hidrogeológica de los elementos. Para este efecto se hace una conceptualización simplificada de las características topográficas y de la forma de la superficie freática (agua subterránea) de la zona.

### **6.1 Resumen de la metodología de modelación**

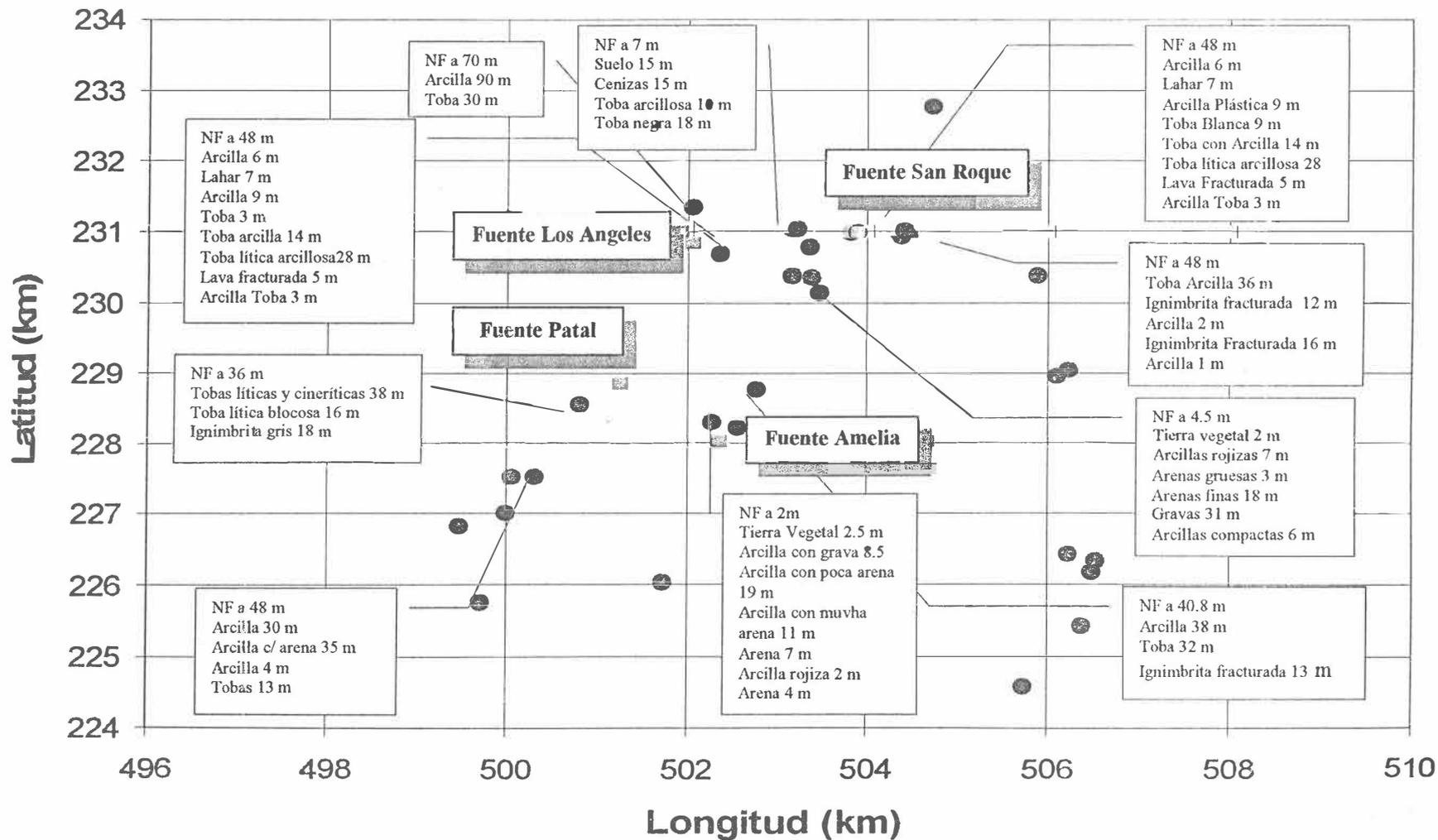
Debido a que no se contaba con la información de las curvas de nivel a una escala apropiada en formato digital, se procedió a construir una interpolación de la superficie del terreno con la información geográfica de los 33 pozos que definen la litología (ver Figura 6.1), las 4 fuentes de estudio, además de los valores de

<sup>6</sup> Custodio, E. y Llamas M.R. *Hidrología Subterránea*. Editorial Omega, 2ª edición, Barcelona, España, 1983.

<sup>7</sup> Acuífero: estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros y grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir sus necesidades. (Custodio & Llamas, 1983)

# Figura 6.1

## Descripción de la litología de la zona



elevación de 110 puntos de coordenadas conocidas, obtenidos de las hojas cartográficas 1:10000 dentro de una cuadrícula que encierra la zona de estudio.

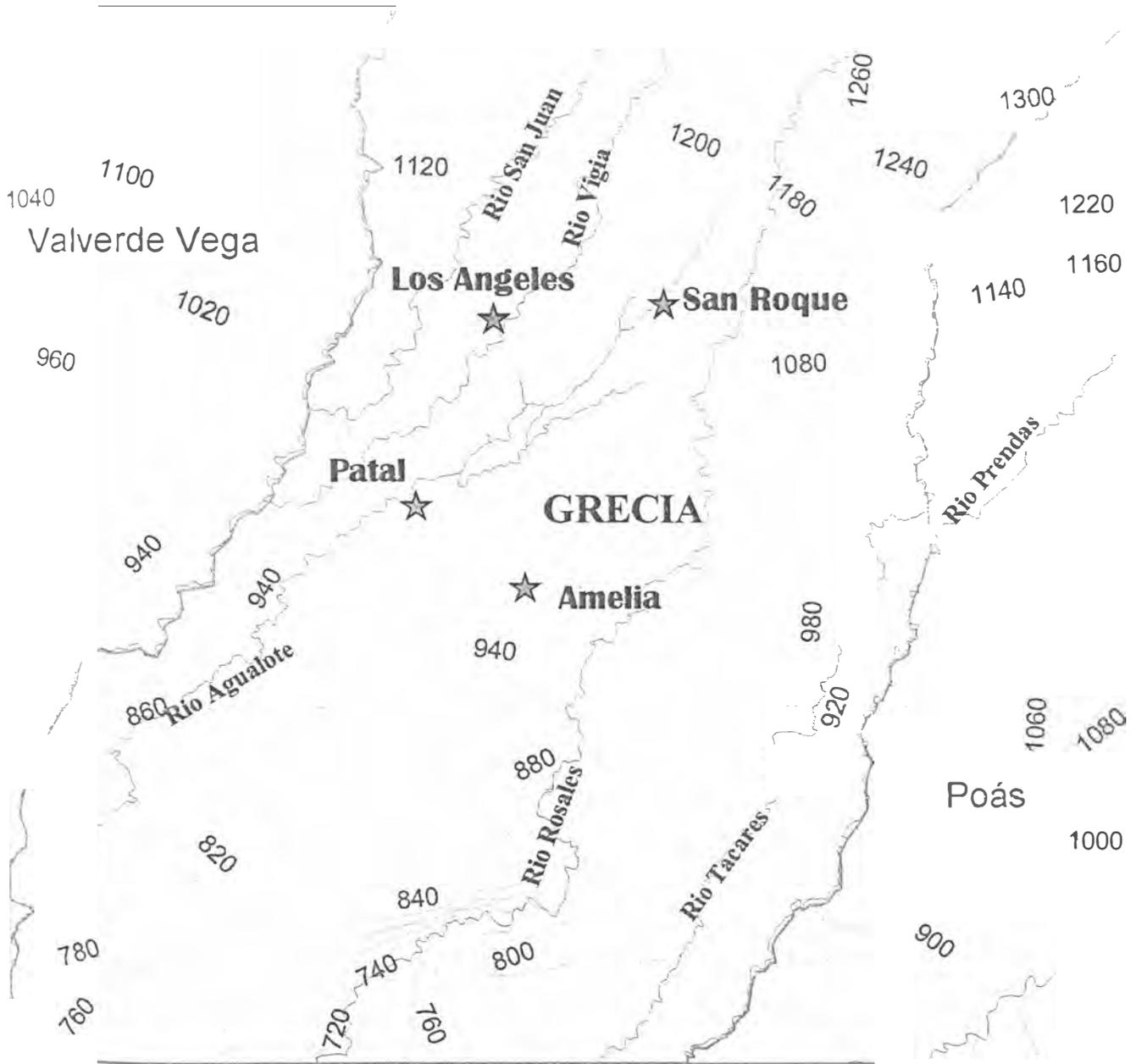
Mediante el programa ArcInfo, se integró el mapa de ríos de Grecia con el mapa de puntos de elevación conocida, para lograr una representación más fiel de la realidad, que tomara en cuenta la influencia del cañón de los ríos sobre el terreno.

Posteriormente, con el módulo Spatial Analyst del programa ArcView se logró una interpolación de la superficie del terreno y del contorno de las curvas de nivel. En la Figura 6.2 se muestra la interpretación de la topografía lograda con el procedimiento anterior.

La superficie freática, mostrada en la Figura 6.3, que define la elevación de la tabla de agua respecto al nivel del mar fue modelada mediante la utilización de los datos suministrados en los reportes de excavación de los pozos. En forma similar, se utiliza el programa de computadora para generar la superficie y sus contornos.

Finalmente, aprovechando las opciones del programa, se hace la diferencia o resta de las curvas de nivel y la elevación del nivel freático para aproximar lo que se puede considerar como el grosor de la capa no saturada o la profundidad del agua desde la superficie del terreno. Esto se muestra en la Figura 6.4.

Figura No. 6.2  
 Topografía del terreno y  
 ubicación de las fuentes.



Elevación respecto al nivel del mar.

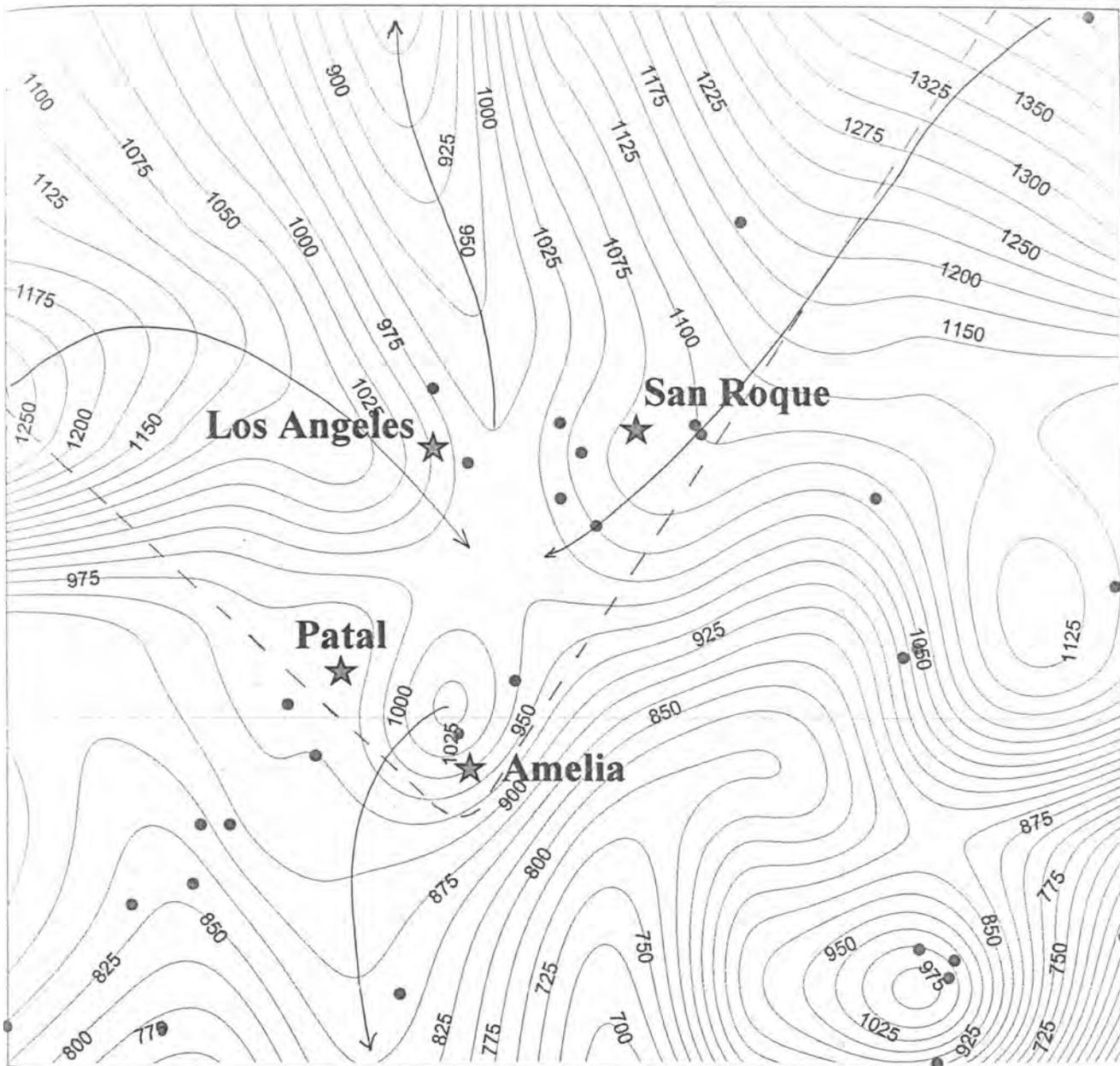


- Límite Cantonal
- Ríos
- Curvas de Nivel
- Fuentes de agua

Fuente: Pozos SENARA e interpolación ArcView.

# Figura No. 6.3

## Contornos de Nivel Freático



● Pozos de referencia

★ Fuentes de agua

— Contornos de Nivel Freático

- - Zona de Protección

→ Flujo del Agua Subterránea.

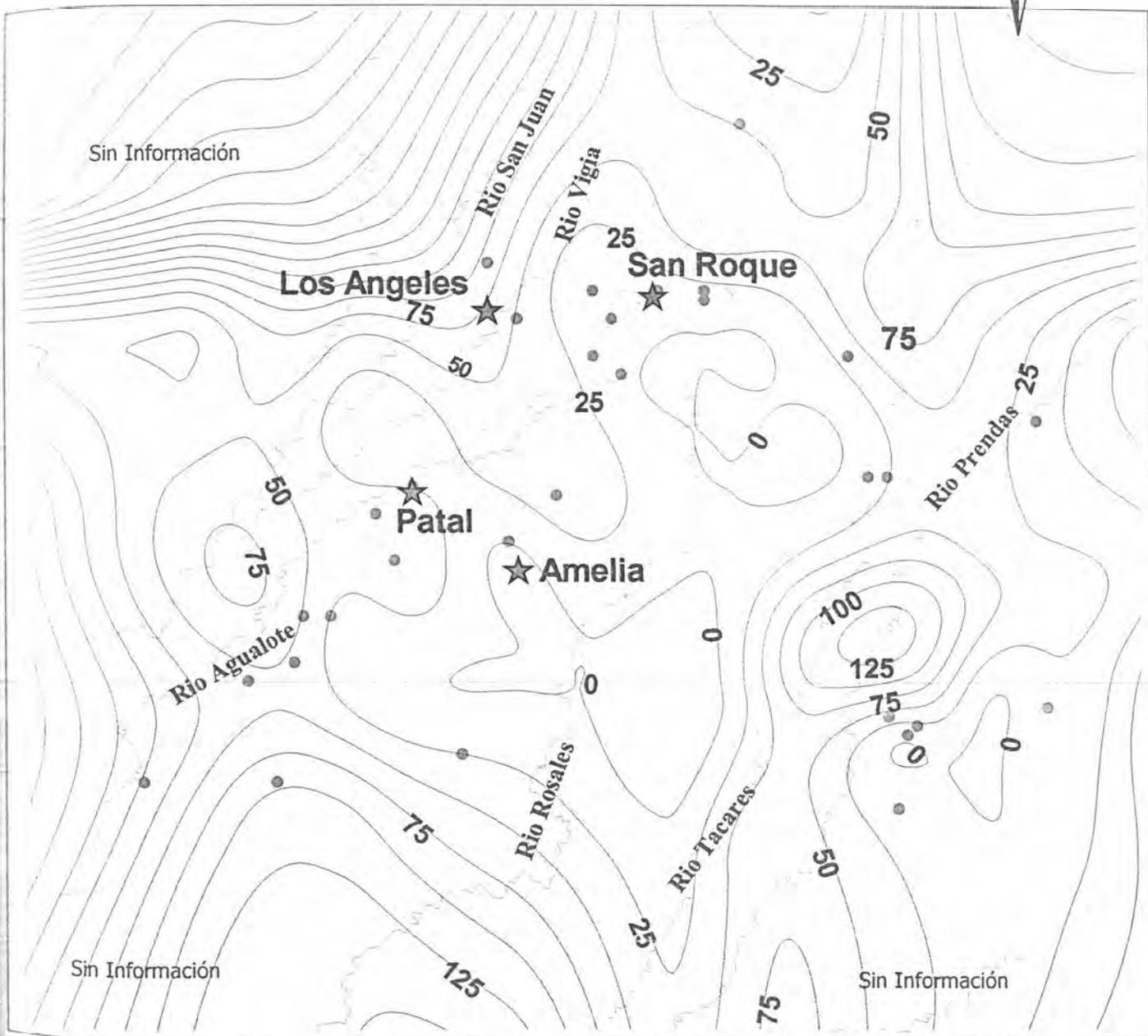
Elevación respecto al nivel del mar.

1 0 1 2 3 Kilómetros



# Figura 6.4

## Curvas de profundidad del nivel freático.



2 0 2 4 Kilómetros

- Profundidad del Nivel Freático
- Ríos
- Fuentes de agua potable
- Pozos de referencia

Fuente: los autores  
 Profundidad respecto al nivel del terreno.

## 6.2 Consideraciones y limitaciones

Para lograr una conceptualización básica de las características hidrogeológicas de la zona donde se ubican las fuentes, se recurrió a la información de 33 pozos de exploración que ha realizado desde hace varios años el SENARA, ubicados entre las coordenadas (498, 226) y (508,233). Se utilizaron solamente aquellos pozos que reportaran el dato de nivel estático del agua (profundidad del nivel freático) o aquellos pozos que contaban con una descripción del perfil litológico en el sitio de la excavación. (ver Figura 6.1)

A pesar de la que la zona delimitada para el estudio es relativamente pequeña en relación a las dimensiones de la zona del acuífero total, la caracterización hidrogeológica que se pueda lograr con la información existente es limitada y puede tener interpretaciones variables de acuerdo a la visión del profesional que las evalúe.

Dentro de las restricciones y alcances de esta sección del estudio, se pueden mencionar los siguientes aspectos que son necesarios de considerar en todo momento que se pretenda entender la dinámica de las aguas:

- Los pozos representan muestras puntuales de las estructuras geológicas de carácter continuo. Por tanto, se hace necesario recurrir a interpolaciones o simplificaciones de la realidad para determinar la situación geológica en los sitios de las fuentes.
- La información disponible es escasa para determinar el sistema de diaclasas, buzamientos, afloramientos de estratos, discontinuidad de las capas y fallas o eventos geológicos de la zona. Estos factores tienen una gran influencia en el flujo del agua. Para salvar esta dificultad, se asume una situación simplificada de los estratos, donde se considera que las capas se superponen unas sobre otras omitiendo la posibilidad que los buzamientos hagan que estas se intersequen o interactúen.

- Existe una deficiencia de información geológica y de niveles de agua hacia el noroeste de la zona de estudio, debido a la ausencia de pozos de exploración. Esto influye en los resultados de la interpolación de las superficies isopiezométricas y por tanto, la determinación de las direcciones del flujo de agua en los estratos y las profundidades de los niveles freáticos. Se utilizará un modelo de interpolación por computadora para generar esas curvas.
- Las perforaciones de referencia son relativamente superficiales, lo que limita la determinación de la existencia de capas con características diferentes, la existencia de tablas de agua (niveles freáticos), acuíferos más profundos o la interconexión hidráulica entre los acuíferos superiores y éstos, si los hubiera.
- Los datos de profundidad del nivel freático con que se cuenta, fueron obtenidos en muestreos dispersos en el tiempo, tanto en la época lluviosa como en la seca. Los niveles freáticos pueden variar considerablemente de acuerdo a la época del año. A manera de simplificación se asume que los datos con que se cuenta son representativos de una "condición promedio" del agua subterránea.

### 6.3 Descripción hidrogeológica de la zona

Como se observa en la Figura 6.1, la zona donde se ubican los manantiales está caracterizada por un dominio de depósitos de origen volcánico en los estratos más profundos, los cuales están generalmente cubiertos de materiales volcanosedimentarios como arenas y arcillas, provenientes posiblemente de la degradación y el arrastre de las capas de materiales más antiguos.

En la mayor parte de los pozos se encontró en las capas superiores un manto de arcillas y suelos orgánicos de espesores muy heterogéneos, con variaciones

entre los 6 y los 90 metros y en distancias horizontales relativamente cortas, como se observa por ejemplo en las perforaciones cercanas a la fuente Los Ángeles.

En la parte norte de la región se encuentran paleosuelos y paleoaluviones que sirven de acuitardo<sup>8</sup> y hacen aflorar la tabla de agua como acuíferos en las tobas porosas. (Alpizar, 1995)<sup>9</sup>

Se observa también una franja de ignimbritas, (rocas volcánicas ricas en sílice, con fragmentos aplanados de vidrio) en dirección noreste – suroeste que atraviesa por la zona de ubicación de las fuentes.

Los ríos, que son abundantes en la zona, tienen una tendencia de flujo en la dirección suroeste, la que coincide con la pendiente del terreno.

En la Figura 6.3 se puede observar una modelación general de la curvas piezométricas. La superficie piezométrica es el lugar geométrico de las zonas donde el agua subterránea tiene igual carga de elevación (zonas de igual energía).

Debido a la limitación de datos disponibles para la interpolación, la curva trazada no es precisa pero representa en forma general el régimen de flujo del agua.

Como se observa, las curvas de elevación de agua tienen una tendencia a disminuir en dos direcciones principales que son noreste y noroeste, lo que hace suponer que hay una convergencia de agua subterránea en una región delimitada aproximadamente por el polígono donde se ubican los manantiales.

La densidad de las curvas piezométricas está asociada con el gradiente hidráulico (pérdida de carga por unidad de longitud). A medida que las curvas se acercan

<sup>8</sup> Acuitardo: formación geológica que contiene agua en su interior pero la transmite lentamente. Bajo condiciones especiales permite la recarga vertical a los acuíferos. (Denyer, 1994)

<sup>9</sup> Alpizar, Randall. *Estudio geológico integral del distrito de San Roque y alrededores*, Canton de Grecia, Provincia de Alajuela. Escuela centroamericana de Geología, 1995.

hacia el punto de convergencia se van espaciando más y por tanto puede suponerse una reducción en la velocidad del flujo. Esto puede deberse a la existencia en esa zona de arcillas que pueden funcionar como una cubierta del acuífero, lo que representa una protección ante las cargas contaminantes.

Se ha supuesto que en esta zona el acuífero no presenta una condición de confinamiento que le proporcione presión al agua. Este supuesto se basa en la información de los pozos de referencia donde sólo en 2 de ellos se reportó que al perforar el agua ascendiera por presión, sin llegar a emerger. Sin embargo se considerará que se comporta como un acuífero libre (sin presión) cubierto. Este caso es más crítico para efectos de evaluación de la vulnerabilidad que si se asumiera una condición de confinamiento.

Con los datos obtenidos se dificulta definir las zonas donde el acuífero interacciona con los ríos. En general, existe la posibilidad de que un río o cuerpo de agua aporte caudal al acuífero (condición influente) o que más bien el caudal de los ríos se abastezca en parte de las aguas subterráneas (río efluente).

La dirección de las aguas, que como se mencionó se supone que se da en dos direcciones principales, una paralela a la dirección de los ríos y otra perpendicular a ésta. En la Figura 6.4 se puede apreciar que las zonas que la interpolación determinó como las de profundidad mínima de la tabla de agua coinciden con la zona de las fuentes, estos valores pueden llegar hasta los 25 metros pero se requiere más datos para sustentar esta conclusión.

La posibilidad de que los ríos interaccionen con el acuífero es más alta en las cercanías de la fuente Amelia por donde pasa una curva de escasa profundidad.

A nivel macro es de suma importancia la determinación de la zona de recarga de las fuentes. Se puede definir la zona de recarga como el territorio donde la infiltración del agua en el suelo alimenta al manto de agua subterránea. Es importante aclarar que la zona de recarga no necesariamente coincide con la zona

del acuífero. Depende de si el estrato superior al acuífero es permeable o impermeable.

La recarga es un proceso lento (de años) y se produce debido a la gravedad. En la zona no saturada se dan otras fuerzas importantes (de tensión superficial, de cohesión) que hacen que la permeabilidad sea variable con el tipo de suelo y con el grado de humedad. En la zona saturada, la permeabilidad si es constante para cada tipo de material.

Debido a la tendencia del flujo del agua es de suponer que las fuentes se abastezcan de las zonas altas de Grecia, ubicadas al norte de la ciudad. Es necesario hacer una investigación más profunda y que integre más elementos de análisis si se quisiera delimitar más detalladamente la zona de recarga de los acuíferos.

Para efectos de este estudio se considera que esta zona está definida por una figura de forma aproximadamente parabólica con el vértice ubicado en las cercanías de la fuente Amelia y que se extiende hacia el norte.

Es importante diferenciar la zona de recarga de la zona de influencia de la fuente. Esta última es aquella zona donde el agua que allí se encuentra será expulsada por la fuente.

Es evidente que la zona de influencia es una parte, generalmente de tamaño mucho menor, de la zona de recarga. En cuanto a la importancia de cada una de estas zonas se puede decir que la zona de recarga es determinante en la capacidad de la fuente mientras que la zona de influencia es de importancia en cuanto a la contaminación.

## **7 Evaluación del riesgo de contaminación de las fuentes.**

### **7.1 Aspectos Básicos de la contaminación de las aguas subterráneas.**

La descarga de materia contaminante en las zonas circundantes a las fuentes de agua es un aspecto de especial interés en la evaluación de la situación de éstas.

El suelo es un medio de defensa natural de los acuíferos contra la contaminación. Por esto se ha utilizado como receptor de las descargas de efluentes y excrementos.

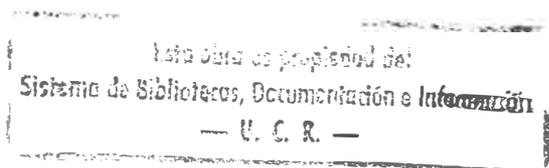
La vida de los microorganismos fuera de su ambiente es limitada. El tiempo de permanencia de éstos en los estratos de suelo, antes de llegar al agua subterránea, es determinante en los procesos de protección de este recurso.

Es necesario considerar por separadas dos zonas del suelo, definidas estas por la presencia del nivel freático: la zona no saturada y la zona saturada; debido a la gran diferencia en la potencialidad de atenuación de la contaminación que presentan.

En la Figura 7.1 se resumen los procesos de atenuación de contaminantes que pueden llevarse a cabo en estas dos zonas.

Como se observa en la figura los procesos que contribuyen en la atenuación de los contaminantes son especialmente importantes y efectivos en la capa superficial de suelo que se ubica sobre la línea del nivel freático.

El grosor de la línea indica la importancia del proceso, además se señala la reducción del oxígeno respecto a la profundidad.



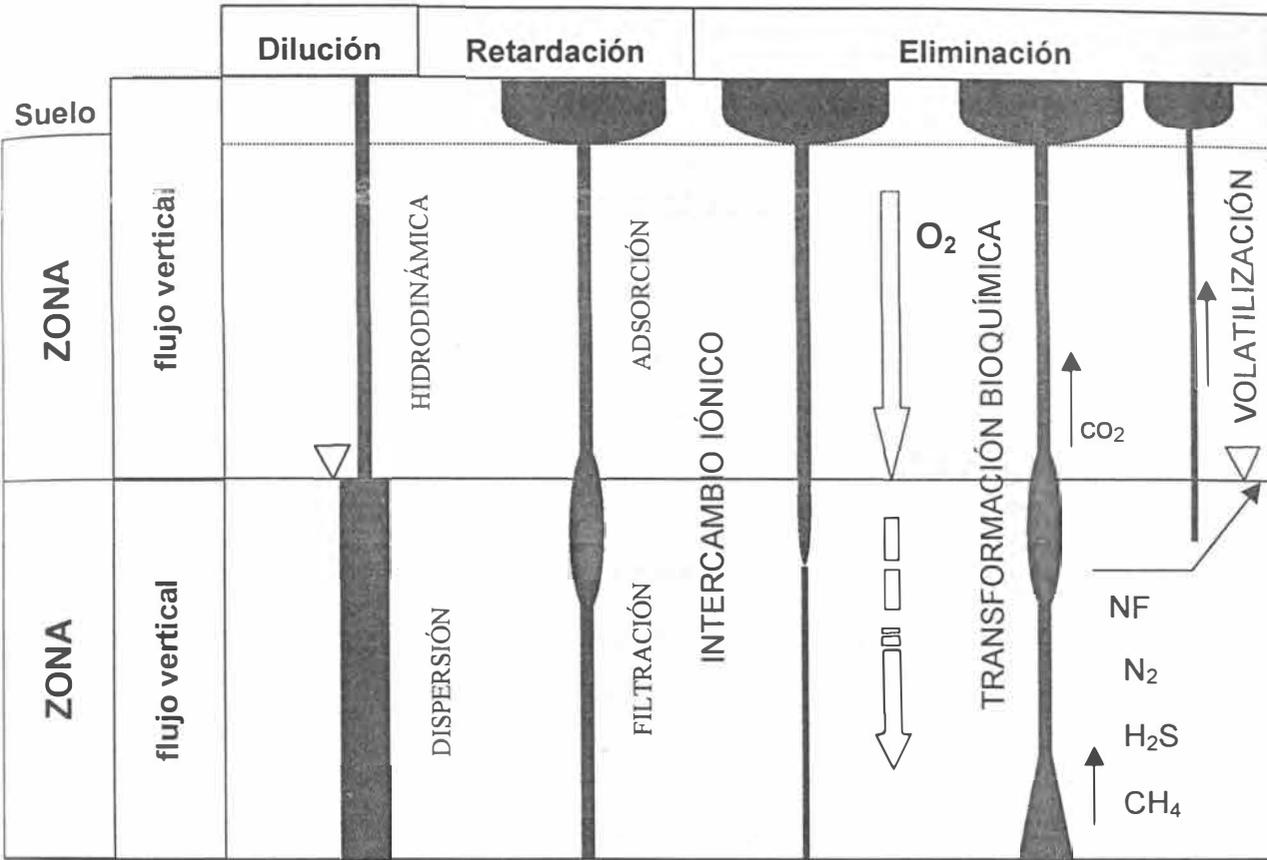


Figura 7.1. Resumen de los procesos de atenuación de contaminantes en las aguas subterráneas. (Lewis et al, 1988)

## 7.2 Concepto de riesgo de contaminación.

El riesgo de que suceda un evento de contaminación puede definirse como la probabilidad de que ese evento ocurra.

La manera más fácil de conceptualizar el riesgo de contaminación de las fuentes de agua es mediante la interacción de dos elementos principales (Foster, 1991)<sup>10</sup>:

- Las amenazas a que se someta la fuente de agua, principalmente debido a las actividades humanas. Esto es la carga contaminante u

<sup>10</sup> Foster, Stephen e Hirata, Ricardo. *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas*. OMS y OPS, 2ª edición, Lima Perú, 1991.

otras acciones que directa o indirectamente puedan producir un evento de contaminación en la fuente.

- La vulnerabilidad de la fuente, que es una medida inversa del grado de defensa natural o capacidad de aceptar contaminación que posea la fuente de agua.

Es posible entonces que existan una serie de situaciones, como por ejemplo, tener una fuente altamente amenazada pero con una vulnerabilidad muy baja y viceversa.

### **7.3 Metodología de evaluación del riesgo de contaminación**

En esta parte del estudio se propone una metodología para evaluar la condición actual de las fuentes de agua potable de Grecia en lo referente al peligro de contaminación.

Dado que las fuentes de información son limitadas, las consideraciones que se hagan para este fin deberán basarse en la posibilidad de obtenerla o generarla.

El esquema de análisis que se sigue está fundamentado en la metodología propuesta por la OPS y la OMS, por medio de las publicaciones de los señores Stephen Foster y Ricardo Hirata<sup>11</sup> (ver referencias).

La metodología original fue concebida para evaluar el riesgo de contaminación de aguas subterráneas mediante la caracterización, mayormente cualitativa, de un conjunto de variables o datos. Como lo expresan los autores: “se necesitará una adaptación de la metodología de acuerdo a los objetivos de estudio, y a la escala de disponibilidad de datos locales.”

<sup>11</sup> Foster, Stephen e Hirata, Ricardo. Op cit

“La metodología desarrollada se considera como un primer paso en la evaluación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Debería ser aplicada para establecer prioridades, pero no para sustituir la inspección y el monitoreo sistemático de campo” (Foster, 1991)<sup>10</sup>

## **7.4 Caracterización y determinación de las variables de vulnerabilidad a analizar.**

### **7.4.1 Conceptualización de la vulnerabilidad**

La vulnerabilidad es implícita o natural de cada fuente o acuífero y está relacionada con una serie muy compleja de factores individuales que determinan la migración de los contaminantes hacia los lechos de agua.

Las características naturales de las fuentes de agua, en la gran mayoría de los casos, son difíciles de mejorar por la intervención del hombre y se mantendrán constantes a menos que cambios naturales de enormes proporciones sucedan. No obstante, la afirmación de que un grado de vulnerabilidad ante determinado tipo de contaminante sea constante puede resultar falsa. A la larga todos los acuíferos son vulnerables a contaminantes móviles y persistentes (Foster, Hirata, 1991)<sup>10</sup>.

Los acuíferos menos vulnerables no son fácilmente contaminables, pero una vez que se han contaminado pueden resultar los más difíciles de restaurar, en este sentido se podría hablar de una alta vulnerabilidad potencial, debida a la irreversibilidad del proceso.

### **7.4.2 Componentes de la vulnerabilidad a ser considerados**

El objetivo de esta sección es definir los componentes o elementos que se utilizarán para la evaluación de la situación de las fuentes de agua potable de Grecia. La escogencia de estos, como se explicó al inicio, debe adaptarse a la

disposición de fuentes de información y a la posibilidad de generar los datos con los recursos existentes.

Según Foster<sup>12</sup> (1991), los componentes mínimos de la vulnerabilidad del acuífero a ser considerados son:

- Tipo de acuífero: se refiere al tipo de acuífero del cual emanan las fuentes. Siendo los más vulnerables los de tipo no confinado o libres, donde la tabla de agua puede ser alcanzada en una forma relativamente fácil por un evento contaminante. Este tipo de acuífero contrasta con los confinados, que están protegidos por capas impermeables de suelo, las que funcionan como barreras que impiden el flujo del contaminante hacia el acuífero.
- Caracterización de los estratos encima de la zona saturada del acuífero: toma en cuenta el carácter litológico, e, indirectamente de esta forma, la porosidad relativa, permeabilidad y contenido de humedad de la zona no saturada.
- Profundidad del nivel freático para acuíferos no confinados, o la profundidad del techo de acuíferos confinados.

Según Foster e Hirata, la metodología consiste en la obtención de un *índice de vulnerabilidad* mediante la utilización del diagrama DIOS, conocido así por las siglas de las variables de entrada que requiere. Este diagrama es mostrado en la Figura 7.2.

Para cada entrada del diagrama se obtiene un coeficiente entre 0 y 1, así, la productoria de los coeficientes a lo sumo puede ser 1, lo que define la condición más crítica de la vulnerabilidad. Nótese como en cada entrada del diagrama se

<sup>12</sup> Foster, Stephen e Hirata, Ricardo. Op cit

tienen las condiciones que afectan negativamente a la vulnerabilidad hacia el lado derecho, es decir acercándose al valor máximo de 1.

El índice de vulnerabilidad obtenido mediante este proceso es una caracterización cualitativa de la vulnerabilidad, definida en un rango de 6 intensidades.

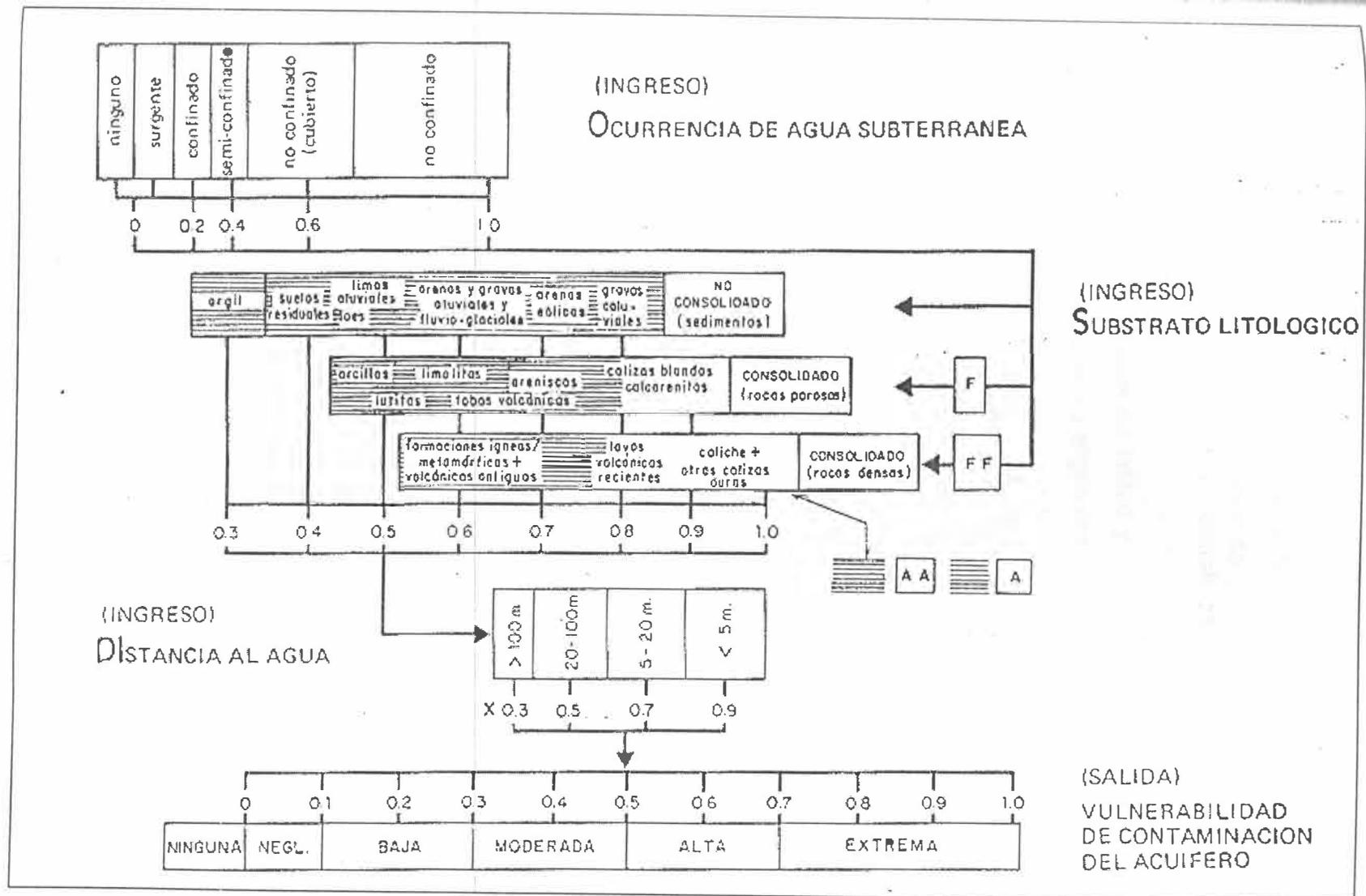


Figura 7.2  
 Diagrama DIOS para la determinación de la Vulnerabilidad de las Fuentes.  
 Tomado de Foster & Hirata.

### **7.4.3 Evaluación de las variables de vulnerabilidad**

Para utilizar la metodología explicada anteriormente es necesario construir un perfil litológico, basado en la información de pozos disponibles en SENARA y con la siguiente metodología:

Empleando las coordenadas de latitud y longitud se localizan las fuentes y los pozos sobre una cuadrícula, se eligen dos pozos cercanos a la fuente analizada y se procede a realizar una comparación de sus perfiles litológicos para obtener mediante una interpolación el perfil litológico bajo la fuente. Este procedimiento se realiza en dos direcciones, es decir, para cada fuente existen dos "cortes" con los cuales se obtienen finalmente los perfiles litológicos de las fuentes.

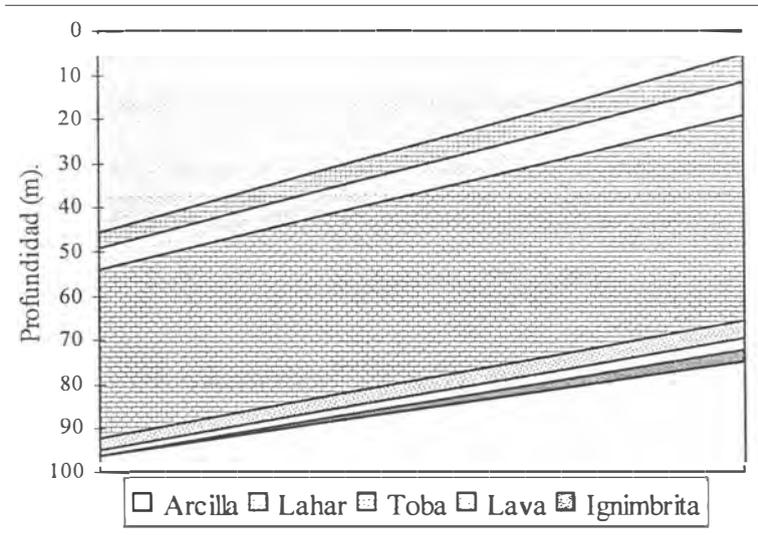
Las pruebas realizadas en cada una de las fuentes (recomendadas por AyA) para darse una idea de la velocidad de infiltración del agua en la capa superior de suelo, indican en todos los casos una velocidad de infiltración muy alta (ver Anexo 3), lo cual muestra que la capa más superficial de suelo favorece la infiltración de las aguas. Este hecho podría aumentar la vulnerabilidad de las fuentes dependiendo de la litología que éstas presenten.

También se tomaron muestras de suelo de la capa superficial y se efectuó la prueba granulométrica, dando como resultado arenas mal graduadas excepto en la fuente San Roque (ver Anexo 4).

Las evaluaciones de vulnerabilidad para las nacientes se presentan a continuación:

## Fuente Los Angeles

En la Figura 7.3 se puede observar que el espesor de arcilla de la capa superior varía entre 5 y 45 m, el lahar de 4 a 6 m, la arcilla de la tercer capa tiene una variación de 5 a 8 m, la toba está entre 38 y 46 m, la lava entre 3 y 4 m, la arcilla de la capa inferior varía de 2 a 3 m y el nivel freático se localiza entre 46 y 58 m.



**Figura 7.3. Perfil litológico de fuente Los Angeles**

Obsérvese también como los espesores de los estratos son aproximadamente constantes excepto para el caso de la arcilla de la capa superior que presenta una variación muy grande, además, existe una continuidad de materiales, es decir, que estos se presentan en los dos cortes utilizados.

Se piensa que los materiales que están sobre la toba son partes de este mismo material pero meteorizado.

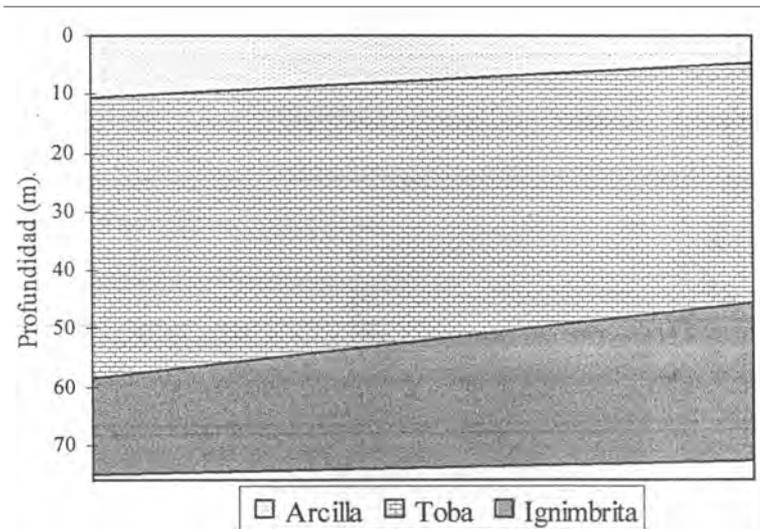
Con estos datos y utilizando el diagrama DIOS se obtiene el índice de vulnerabilidad para esta fuente:

**Tabla 7.1. Índice de vulnerabilidad**

	Tipo de acuífero	Tipo de suelo	Prof. Nivel freático	Vulnerabilidad
	No confinado cubierto	Arcilla	46-58 m	
Índice	0.6	0.5	0.5	<b>0.15</b>

### Fuente Patal

Para este caso el espesor de los estratos varía de la siguiente manera: la arcilla de 4 a 10 m, la toba de 41 a 48 m y la ignimbrita de 17 a 27 m. El nivel freático está entre 26 y 37 m.



**Figura 7.4. Perfil litológico de fuente Patal**

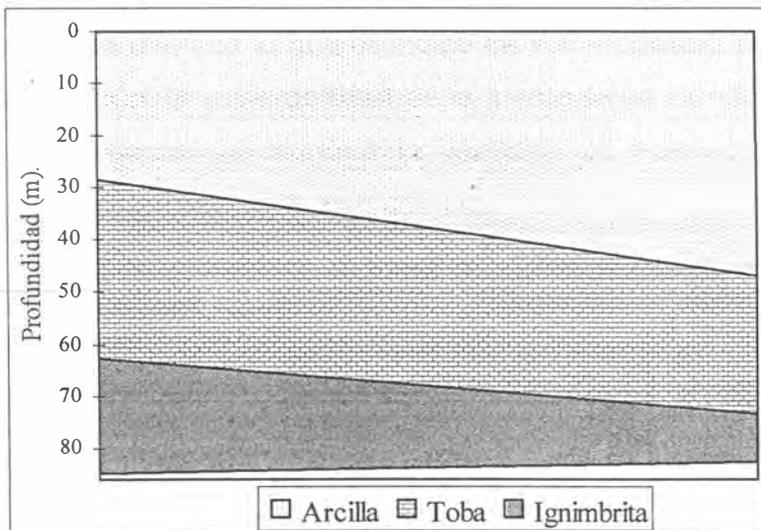
Obsérvese como se da la continuidad de estratos, además su variación es sumamente pequeña, presentándose la mayor variación en la arcillas (aproximadamente 133%).

**Tabla 7.2. Índice de vulnerabilidad**

	Tipo de acuífero	Tipo de suelo	Prof. Nivel freático	Vulnerabilidad
	No confinado cubierto	Toba	26-37 m	
Indice	0.6	0.7	0.5	<b>0.21</b>

### Fuente Amelia

Del gráfico anterior se tiene que el espesor de arcilla varía de 28 a 47 m, mientras que el de la toba cambia de 27 a 34 m y la ignimbrita de 9 a 22 m. El nivel freático se localiza entre 36 y 43 m.



**Figura 7.5. Perfil litológico de fuente Amelia**

Obsérvese como nuevamente se presenta una continuidad de estratos.

Ingresando al diagrama DIOS se obtiene:

Tabla 7.3. Índice de vulnerabilidad

	Tipo de acuífero	Tipo de suelo	Prof. Nivel freático	Vulnerabilidad
	No confinado cubierto	arcilla	36-43 m	
Índice	0.6	0.5	0.5	<b>0.15</b>

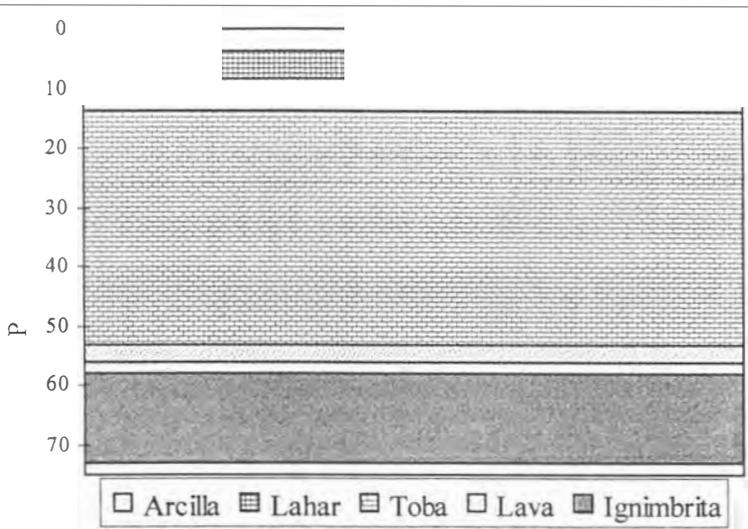
**Nota:** Al evaluar el índice de vulnerabilidad de esta fuente se utilizó el valor para la capa no saturada que se muestra en la Tabla 7.3.

Sin embargo, según la Figura 6.4, la interpolación realizada mediante el programa ArcView con los datos existentes ubica a esta fuente en una curva de profundidad aproximadamente cero. Esta aparente incoherencia se puede deber a la falta de más información que requiere el programa para los cálculos.

Al realizar nuevamente el cálculo del índice de vulnerabilidad <sup>del ARCView</sup> entrando al diagrama DIOS con un rango de distancia al agua menor a 5 m, se obtiene un coeficiente para esta variable de 0.9, con lo que el índice de vulnerabilidad sería de 0.27. A pesar de esta variación, la vulnerabilidad de la fuente sigue siendo baja (rango de 0.2 a 0.3). Es evidente que aunque la variación es bastante significativa la metodología es poco sensible ante este cambio.

### Fuente San Roque

De las cuatro perforaciones con las que se cuenta para la construcción del perfil litológico de la fuente, solamente dos de ellas presentan estratos de suelo comunes, por lo tanto, se cuenta con un único corte resultado de la interpolación entre estos dos pozos.



**Figura 7.6. Perfil litológico de fuente San Roque**

Este hecho se explica por la lejanía que presentan las perforaciones con la fuente.

Se tomará como perfil de la fuente el obtenido para el corte realizado.

El perfil litológico está constituido por estratos de los siguientes espesores: arcillas de 4m, lahar 4 m, arcilla de 6m, toba de 39 m, lava de 3 m, arcilla 2 m e ignimbrita de 15 m. En esta naciente el nivel freático está localizado a los 35 m de profundidad.

**Tabla 7.4. Índice de vulnerabilidad**

	Tipo de acuífero	Tipo de suelo	Prof. Nivel freático	Vulnerabilidad
	No confinado cubierto	Toba	35 m	
Índice	0.6	0.7	0.5	<b>0.21</b>

En la tabla 7.5 se resumen los resultados de la vulnerabilidad de las fuentes.

Tabla 7.5. Resumen de vulnerabilidades

Fuente	Indice de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de contaminación
Los Angeles	0.15	Baja
Patal	0.21	Baja
Amelia	0.15	Baja
San Roque	0.21	Baja

Nótese como todas las fuentes tienen una baja vulnerabilidad, siendo Los Angeles y Amelia las menos vulnerables a la contaminación ya que presentan el índice de vulnerabilidad más bajo (0.15).

de las más

Amelia

## 7.5 Amenazas sobre las fuentes

“Se puede definir una amenaza en términos de la carga contaminante transmitida al subsuelo, generada por actividades humanas en la superficie que potencialmente podrían contaminar el agua subterránea y consecuentemente, perjudicar la calidad del agua de las fuentes.” (Foster, 1991)<sup>13</sup>

Aunque hay un amplio rango de actividades humanas que generan cierta carga contaminante, a menudo se encuentra que sólo unas pocas son responsables por el máximo riesgo de contaminación de aguas subterráneas en un área dada. Para efectos de este estudio se han considerado tres tipos de amenazas según su origen, a saber:

<sup>13</sup> Foster, Stephen e Hirata, Ricardo. Op cit

### **7.5.1 Áreas residenciales**

Se debe reconocer que los procesos de urbanización ejercen una gran influencia en el área de recarga del acuífero, lo cual puede provocar contaminación en las fuentes debido a la infiltración de aguas residuales.

Este tipo de amenazas generalmente consiste en una combinación de residuos domésticos mezclados con cantidades variables de efluentes industriales provenientes de pequeñas industrias y comercios.

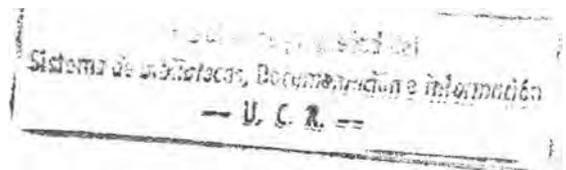
Aunque la ciudad de Grecia cuenta con una cobertura casi total de abastecimiento de agua potable, no posee un sistema de alcantarillado sanitario por lo que se da la existencia de fosas, tanques sépticos y letrinas.

Las aguas residuales clasificadas como domésticas o municipales son llamadas también aguas negras, y son generadas por servicios sanitarios, cocinas, áreas de lavado y otras que están relacionadas con materia orgánica.

### **7.5.2 Uso agrícola del suelo**

El cultivo y manejo agrícola del suelo ejerce una gran influencia en la calidad de las aguas subterráneas y tienen un control muy importante en las tasas de recarga del acuífero.

Algunas prácticas de uso del suelo son capaces de causar una seria contaminación de las aguas subterráneas por nutrientes, pesticidas, especialmente en áreas con suelos de poco espesor, de buen drenado y textura arenosa. (Foster, 1991)<sup>14</sup>



<sup>14</sup> Foster, Stephen e Hirata, Ricardo. Op cit

En las zonas donde se ubican los manantiales se encontraron cultivos de café y caña de azúcar en grandes extensiones de terreno. Esto representa una amenaza para la calidad del agua de las fuentes y el grado de amenaza dependerá del tipo de agroquímicos utilizados.

### **7.5.3 Influentes contaminados**

Se define este tipo de amenaza como todos aquellos ríos que transportan agua producto de procesos industriales, aguas negras y todo tipo de contaminación causada por actividades humanas.

- **Fuente Amelia**

Se puede considerar que la mayor amenaza de contaminación que se puede dar en la fuente Amelia es debido al vertido de las aguas residuales en el río Agualote, producto de la fabricación de azúcar en la compañía CoopeVictoria.

Este río generalmente presenta un olor desagradable y la presencia visible de materia orgánica en descomposición. En caso de un evento de desbordamiento del río, el agua contaminada podría llegar muy cerca del sitio de captación.

Debido a la cercanía del río a la fuente (aproximadamente 30 metros) y a que la característica topográfica determina una mayor elevación en el nivel del río, existe la posibilidad que las aguas contaminadas del río se infiltren hacia la fuente por lo que se considera una amenaza alta sobre el manantial.

Lo anterior se pudo observar cuando se realizó la prueba de velocidad de infiltración en el suelo, ya que al final de la excavación (a unos 50 cm) surgió de una de las paredes en dirección al Agualote un flujo constante de agua con olor desagradable.

Por otro lado, la presencia de un cafetal cerca de la fuente puede representar una amenaza por el uso de agroquímicos que se pueden infiltrar hacia las aguas subterráneas, por esta razón se califica como una amenaza media.

También se determinó que la existencia de una sola vivienda de uso recreacional en las cercanías de la fuente, ubicada a unos 150 m en dirección norte y de elevación superior a la del manantial que hace que se presente una pendiente que favorece la contaminación del agua subterránea, pero por el hecho de ser una sola vivienda representa una baja amenaza, ya que la contaminación producida por las aguas residuales no es significativa, además, esta vivienda se encuentra deshabitada la mayor parte del tiempo.

- **Fuente Patal**

Actualmente la amenaza por urbanización es baja debido a la inexistencia de viviendas en los alrededores de la naciente, pero existe un proyecto de construcción de una urbanización al norte de esta fuente que podría representar una amenaza futura.

En esta fuente la amenaza por efluentes está presente ya que ésta se ubica a unos 26 m del río Agualote, además la diferencia de elevación entre el río y la fuente no es significativa. Con base en lo anterior se ha clasificado el peligro de contaminación debido al río como alto.

La amenaza por actividad agrícola se considera alta debido a la existencia de cultivos de café en los alrededores de la fuente con una pendiente pronunciada que podría provocar el desplazamiento de agroquímicos hacia la fuente.

- **Fuente San Roque**

Esta es una de las fuentes más amenazadas por centros urbanos ya que al norte de la naciente existe una gran urbanización cuya elevación es superior a la del manantial por lo que la amenaza sobre éste se considera alta.

En lo que respecta a la amenaza por cultivos se considera que esta es alta debido a la existencia de un cañaveral en la parte este y de un cafetal en la parte oeste de la fuente, además, ambos cultivos tienen una elevación mayor que la de la fuente, por lo que se puede decir que éstos drenan hacia el manantial.



*Figura 7.7 Cultivo de caña cerca de la fuente San Roque*

- **Fuente Los Angeles**

Aunque esta fuente está rodeada por viviendas, éstas representan una baja amenaza ya que existe una quebrada entre ellas y el manantial, además presenta una topografía muy quebrada que impide que las aguas residuales de las casas lleguen a la fuente.

Por otro lado, tanto al sur como al oeste la fuente se encuentra rodeada por cafetales en los cuales existe una pendiente muy alta lo que hace que la fuente se vea altamente amenazada por agroquímicos provenientes de este cultivo.

En la tabla 7.6 se resumen los resultados de las amenazas para las cuatro fuentes.

*Tabla 7.6. Resumen de amenazas*

<b>Fuente</b>	<b>Urbanismo</b>	<b>Tipo de amenaza</b>	
		<b>Agricultura</b>	<b>Influentes</b>
Amelia	Baja	media	alta
Patal	-----	alta	alta
San Roque	Alta	alta	-----
Los Angeles	Baja	alta	-----

Las fuentes Patal y San Roque son las que presentan peligro de contaminación de mayor magnitud, aunque esto no significa que éstas sean las más amenazadas.

La amenaza por influentes se considera muy importante debido a que es relativamente más fácil controlar las actividades agrícolas que se desarrollan alrededor de las nacientes, mientras que las medidas que se puedan aplicar para mejorar la calidad de los efluentes son soluciones a mediano o largo plazo.

## **7.6 Matriz vulnerabilidad - amenazas**

La matriz de vulnerabilidad – amenazas representa la síntesis de la interacción de todos los parámetros evaluados para las amenazas que presenta cada una de las fuentes con las correspondientes vulnerabilidades obtenidas del diagrama DIOS.

De las tablas 7.5 y 7.6 donde se resumen los resultados obtenidos para las vulnerabilidades y amenazas de las nacientes, se genera la matriz:

**Tabla 7.7 Matriz vulnerabilidad - amenazas**

Fuente	Vulnerabilidad	Urbanismo	Amenazas	
			Agricultura	Influentes
Amelia	baja (0.15)	baja-baja	baja-media	baja-alta
Patal	baja (0.21)	-----	baja-alta	baja-alta
San Roque	baja (0.21)	baja-alta	baja-alta	-----
Los Angeles	baja (0.15)	baja-baja	baja-alta	-----

Como se puede observar en la matriz se establecen las magnitudes en una escala cualitativa de las posibles combinaciones que se originan. La importancia de este resultado o combinación de elementos es que muestra cuales fuentes podrían representar alguna prioridad en comparación con el resto de las nacientes, además, permite visualizar en cierta forma el tipo de medida que se puede proponer.

Como se observa en la Tabla 7.7, la amenaza por agricultura cercana a las fuentes está presente en todos los casos con un valor entre medio y alto. Esta condición de amenaza sugiere que las medidas que se tomen deben enfocarse en el sentido de la regulación de las actividades agrícolas potencialmente peligrosas para las fuentes.

Los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad están seriamente limitados debido a la escasa sensibilidad que posee el método. Como se observa en la Figura 7.2, los rangos de entrada de los datos en la variable de espesor de la capa no saturada, son lo bastante amplios como para que no se obtengan diferencias en el índice de vulnerabilidad aunque las fuentes presenten capas de espesor relativamente diferentes.

Se necesita de más datos y del establecimiento de criterios más complejos para poder hacer una diferenciación más detallada de las condiciones de vulnerabilidad de las fuentes. En este aspecto el método es limitado.

## **8 Disposiciones legales<sup>15</sup>**

### **8.1 Generalidades**

El marco legal para la protección de fuentes de agua potable y de zonas de recarga acuífera y el manejo del agua lo conforman la siguientes leyes y decretos:

- 1- Ley Orgánica del Ambiente (nº7554, 1995).
- 2- Ley de Aguas (nº276, 1942, reformada en 1959, 1972 y 1974).
- 3- Ley General de la Salud (nº5395 de 1973, reformada en 1975, 1780, 1982 y 1988).
- 4- Ley Forestal (nº7575 de 1996).
- 5- Ley de Conservación de la Vida Silvestre (nº7317 de 1992).
- 6- Ley General de Agua Potable (nº5915 de 1976).
- 7- Ley de Planificación Urbana (nº4240 de 1968, reformada en 1981 y 1985).
- 8- Ley de Construcciones (decreto de Ley nº883 de 1949).
- 9- Reglamento de Control, Fraccionamiento y Urbanizaciones (INVU, 1982).
- 10-Código Municipal (nº4574 de 1970).
- 11-Plan Regional Metropolitano (INVU, 1983), el cual rige únicamente para la Gran Area Metropolitana.
- 12-Decreto de Normas de Ubicación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (nº211518-S de 1992).
- 13-Reglamento de Vertido de Aguas Residuales (decreto nº26042-S de 1997).

<sup>15</sup> Tomado de "El agua potable en la GAM" II borrador. Investigación de Ing. Ana Garita I para ProDUS. Material Inédito. 1998.

## 8.2 Síntesis de algunas disposiciones legales del agua potable

A continuación, con el fin de formar una idea general, se sintetizan algunas de las principales disposiciones definidas por algunas de las leyes anteriores, con respecto a zonas de protección a nacientes y acuíferos:

### 8.2.1 Sobre protección de recursos hídricos en general

- El artículo 2 de la Ley Forestal 7575, establece que cuando un terreno es imprescindible para la conservación de recursos hídricos, y se justifica este aspecto científica y técnicamente, se constituye una limitación a la propiedad, que prohíbe cortar árboles y cambiar el uso del suelo. Esta restricción se inscribe en el Registro Público. En dichos casos, el MINAE está facultado a establecer Áreas Protegidas en terrenos privados, los cuales quedan sometidos al Régimen Forestal. Los terrenos pueden ser integrados voluntariamente al área protegida, comprada al propietario o expropiada según la Ley de Expropiaciones N° 7495.
- La ley de Conservación de Vida Silvestre N°7317 en su artículo 132 establece que “se prohíbe arrojar aguas servidas negras, desechos o cualquier sustancia contaminante a manantiales, ríos, quebradas, arroyos permanentes o no permanentes, lagos, marismas y embalses naturales o artificiales, esteros, pantanos, aguas dulces, salobres o saladas.—Las instalaciones agroindustriales e industriales y las demás instalaciones deberán estar previstas de sistemas de tratamiento para impedir que los desechos sólidos o aguas contaminadas de cualquier tipo, destruyan la vida silvestre...”
- La ley Orgánica del Ambiente n°7554 en el artículo 50 establece que todas las aguas son de dominio público y que su protección es de interés social. Así mismo, en los artículos 51 a 52 se definen criterios que deben regir la elaboración de cualquier ordenamiento del recurso hídrico, el otorgamiento de concesiones y desviaciones de cauces y la operación de sistemas de

البحر  
نرس  
نرس

agua potable y de disposición de aguas negras. Estos criterios pueden resumirse en proteger, conservar y recuperar ecosistemas acuáticos y elementos que intervienen en el ciclo hidrológico y que permiten regular el régimen hídrico y las cuencas hidrográficas. Finalmente, en su artículo 64 faculta a la autoridad competente a regular y controlar que el manejo y el aprovechamiento del agua no alteren la cantidad y calidad de este recurso, según los límites fijados en las normas correspondientes. También, obliga a las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas adoptar medidas adecuadas para impedir o minimizar la contaminación o el deterioro de las cuencas hidrográficas, según la clasificación del uso actual y potencial de las aguas.

### **8.2.2 Sobre protección de nacientes y de los acuíferos y su uso para abastecimiento.**

- La Ley Forestal 7575 en su artículo 33 declara como áreas de protección:
  - a) las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de 100 metros medidos de modo horizontal,
  - b) una franja de 15 metros en zona rural y de 10 metros en zona urbana, medida horizontalmente a ambos lados de las riberas de los ríos, quebradas o arroyos si el terreno es plano, y de 50 metros horizontales si el terreno es quebrado, (...)
  - c) las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el reglamento de esta ley. Así mismo, prohíbe la corta o eliminación de árboles en dichas zonas de protección, excepto en proyectos declarados por el Poder Ejecutivo con de conveniencia nacional. La declaración de una zona de recarga acuífera debe ser definida con base en estudios técnicos y los propietarios deberán someterse a Régimen Forestal o ser

expropiados (artículo 94 del Reglamento de la Ley Forestal).

d) La utilización del agua para consumo humano tiene prioridad sobre cualquier otro uso (Ley General de la Salud, Art. 264).

- Por su parte, la Ley de Aguas en su artículo 31 declara como “reserva de dominio a favor de la nación:
  - a) las tierras que circunden los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable, en un perímetro no menor de 200 metros de radio,
  - b) la zona forestal que protege o deber proteger el conjunto de terrenos en que se produce la infiltración de aguas potables, así como el de los que dan asiento a cuencas hidrográficas, y márgenes de depósito, fuentes surtidoras o curso permanente de las mismas aguas.

Aclara sin embargo en el artículo siguiente que cuando en un área mayor a la anteriormente señalada exista peligro de contaminación, ya sea de las aguas subterráneas o superficiales, el Poder Ejecutivo dispondrá de las medidas que juzgue oportunas para evitar dicho peligro.

Finalmente, en su artículo 149, prohíbe destruir los árboles situados a menos de 60 metros de los manantiales que nazcan en los cerros o a menos de 50 metros de los que nazcan en terrenos planos.

- Según la ley General de Agua Potable (artículo 16) “se prohíben instalaciones, edificaciones o labores comprendidas en las zonas cercanas a fuentes de abastecimiento, plantas purificadoras o cualquiera otra parte del sistema, que perjudique en forma alguna los trabajos de operación o distribución, o bien las condiciones físicas, químicas o bacteriológicas del agua (...)”.
- Es obligación de los propietarios de terrenos atravesados por ríos sembrar árboles en las márgenes de los ríos, arroyos y manantiales a una distancia no mayor de 5 m (Ley del Agua, artículo 148).

### 8.3 Las leyes y su aplicación en el caso de las fuentes de agua de Grecia.

Haciendo referencia a lo que dictan las leyes respecto a la protección de las fuentes de agua, se puede decir que la definición acerca de la delimitación de las zonas de protección no corresponde a un criterio unificado; mientras la Ley Forestal establece un área delimitada por un círculo de 100 metros, la Ley de Aguas establece el rango de protección en 200 metros a la redonda de las nacientes.

Si se asume que las áreas de protección de las fuentes son únicamente los sitios de captación, entonces es evidente que no se está cumpliendo en ninguna de éstas con la protección que la ley determina.

Como se puede ver en la figura 6.2, de acuerdo a la dirección del flujo del agua subterránea en la zona de las fuentes (flechas), la región a proteger debería ser una zona de forma "parabólica" que se extiende hacia el norte y tiene su vértice

Lo anterior revela la necesidad de adaptar la ley y considerar aspectos más técnicos en la definición de las zonas de protección que incluyan estudios de carácter hidrogeológico en la determinación de la protección de los acuíferos.

La insuficiencia de los criterios generales que establece la ley, sugiere la necesidad de la creación de una regulación específica para cada caso de protección. Esta es una labor que deben emprender las comunidades a partir de un interés genuino y de una preocupación acerca de la protección real de sus recursos hídricos.

"Los Planes Reguladores son uno de los instrumentos más útiles para restringir la propiedad privada en beneficio de los intereses colectivos y de largo plazo." <sup>16</sup>

<sup>16</sup> Garita, Ana. Op. Cit.

La regulación necesaria puede ser lograda mediante la implementación de un Plan Regulador que delimite las zonas de protección de las fuentes y que al mismo tiempo clasifique los posibles usos de la tierra en términos de la protección de éstas.

Es importante que se verifique el cumplimiento de la ley que establece la calidad de los vertidos de aguas residuales en los ríos y quebradas, ya que en este caso el río Agualote contaminado por este tipo de desechos representa un peligro en algunas de las fuentes.

## **9 Conclusiones y recomendaciones**

Dada la diversidad de factores que se deben tomar en cuenta para la evaluación de las fuentes se hace necesario separar las conclusiones y recomendaciones en unidades temáticas.

### **9.1 Calidad del agua**

Las pruebas realizadas al agua determinaron la presencia de contaminación por coliformes en diferentes puntos de la red de distribución pero las muestras tomadas en las fuentes no reportan este tipo de problema excepto en la fuente San Roque.

Los resultados de una única prueba no son suficientes para determinar que existe un problema de contaminación en las fuentes. No se cuenta con datos de muestreos periódicos lo que no permite determinar si se trata de un evento aislado o de una condición permanente.

Se recomienda establecer un plan de muestreos periódicos y sistemáticos, tanto en puntos de la red como directamente en las captaciones y tanques. Según el Reglamento para la calidad de agua potable, de acuerdo a la población de Grecia se requieren al menos 4 muestreos al año, donde se analicen tanto la calidad microbiológica, como la calidad físico-química del agua. Sin embargo, ante la duda acerca de la calidad del agua que se está consumiendo actualmente, se recomienda aumentar la frecuencia de los muestreos al doble, al menos durante el primer año o hasta que los datos permitan tener un diagnóstico más concluyente respecto a la calidad del líquido.

Como una medida temporal se recomienda la cloración del agua, esto pueden hacerlo los usuarios en forma individual o bien puede pensarse en sistemas de cloración en las fuentes mismas.

Después de realizada la campaña de muestreo que se propone, y en caso de reafirmarse o encontrarse nuevos puntos de contaminación en la red, es importante que se divulgue a la comunidad, en forma clara, los sectores de la ciudad que son afectados por estos focos de contaminación. Esto con el objetivo de concientizar a las personas sobre la necesidad de tomar medidas sanitarias mínimas (cloración y hervido) que aseguren la calidad del agua que consumen.

Es importante recalcar que de nada sirve preocuparse por la conservación de la calidad del agua en las fuentes si se cuenta con un sistema de distribución dañado como el que tiene el centro de la ciudad. Es muy posible que la contaminación fecal registrada en las muestras tomadas en los puntos de la red, se deba a que existen sectores del sistema donde se sospecha que la tubería es casi inexistente por lo que se pueden estar dando contactos entre el agua y los efluentes domésticos. Esta probabilidad es alta debido a la densidad de población de la ciudad, lo que genera una descarga contaminante significativa al suelo.

## 9.2 Cantidad de agua

No es necesario explotar otras fuentes, lo que se necesita es una revisión del sistema actual de distribución de las aguas.

Se determinó que los caudales que son extraídos de las fuentes, tomados como un todo, son suficientes para abastecer a la población de la ciudad de Grecia con una dotación per cápita de 368 l/día hasta aproximadamente el año 2045.

Con mucho más razón la producción de las fuentes es suficiente, aún sin tomar los datos máximos de los aforos.

De darse situaciones de faltantes de agua en algunos sectores se debe a que el almacenamiento no es el correcto aunque sea el suficiente. Es decir, podría estarse supliendo de agua a la ciudad en una forma no proporcional a la población de los diferentes sectores que se abastece.

Sería recomendable la realización de un estudio de la población en función de la fuente de agua de que dependen para determinar la distribución correcta del líquido.

Lo ideal sería la instalación de una nueva red de distribución. Ante el costo económico tan alto que eso representa se debería hacer una determinación de los tramos más dañados e iniciar un programa de mantenimiento con énfasis en esos sectores del sistema.

### 9.3 Fuentes de agua

Se deben colocar candados a las tapas de los tanques de captación para proteger la calidad del agua ante algún tipo de desecho que se deposite en el tanque.

En el caso de las fuentes Amelia, Los Angeles y San Roque deben construirse cercas para impedir el libre acceso de las personas a las fuentes, para evitar que causen algún daño.

Al comparar las leyes que establecen el área de protección de las fuentes se observa que ninguna de ellas cumple con las zonas de protección recomendadas en la Ley de Aguas (200 m) y en la Ley Forestal (100 m), por lo tanto como mínimo se recomienda tomar las medidas pertinentes para que se cumplan éstas.

El tipo de captación existente para todas las fuentes cumple con lo recomendado por AyA, además se consultó al fontanero Sr. Elmer Quesada para saber si las captaciones presentan algún problema, el cual expresó no tener ninguna queja al respecto ya que el sistema de captación tiene un buen funcionamiento.

Se debe realizar un estudio detallado para conocer porque se presentó contradicción en el caudal producido en la fuente Los Angeles y el captado por el sistema (caudal captado mayor al producido por la naciente) ya que no es posible que se presente esta situación.

El tipo de suelo superficial es muy importante en cuanto a vulnerabilidad se refiere debido a que en éste se da la mayor eliminación de contaminantes que ingresan a los estratos de suelo. En las fuentes a pesar de que se obtuvo en la capa superior arena, la calidad del agua de los manantiales podría no verse afectada debido a que debajo de ésta se encuentran arcillas las cuales son poco permeables.

Debido a la imposibilidad de contar con las áreas mínimas que se requieren para la protección de las fuentes, se propone reforestar la zona donde se ubica la fuente.

Negociar con los dueños de las propiedades donde se ubican las nacientes o los sembradíos aledaños que destinen el terreno hacia la protección de la fuente, lo anterior puede ser compensado con una disminución en los impuestos sobre la propiedad.

#### **9.4 Protección del acuífero en general**

La cantidad de información con que se cuenta para la caracterización del acuífero es escasa.

Aunque se haya determinado que por una serie de condiciones especiales las fuentes se encuentran en una zona de baja vulnerabilidad, eso no significa que no deben tomarse medidas para la conservación de éste.

Son necesarias las medidas de prevención y regulación sobre el uso de la tierra especialmente en el área norte de Grecia. Debe regularse la densidad de población y asegurarse en todo momento un mínimo de cobertura vegetal del terreno para conservar el aporte de escorrentía que puede captar el acuífero.

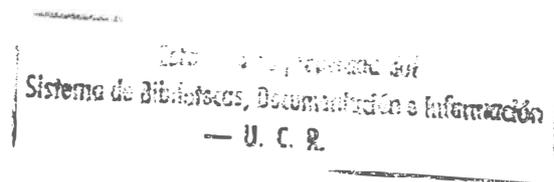
Debe hacerse un mapeo de las posibles fuentes de contaminación al acuífero que incluya la presencia de las actividades agrícolas predominantes, focos puntuales de contaminación como porquerizas y puntos de descarga de efluentes.

Para evitar la impermeabilización del suelo se propone dejar calles de lastre para que permitan la infiltración del agua y afectar así en menor proporción la zona de recarga del acuífero.

Las personas deben asumir la responsabilidad de disponer correctamente de los desechos que produzcan las actividades que realizan.

Debe establecerse un porcentaje de área mínima sin construir en los proyectos de urbanización que se desarrollen.

Clasificar el valor de la tierra de acuerdo a su valor agrícola, forestal o de carácter urbano para identificar y evitar incompatibilidades en el uso de la tierra que puedan.



## 9.5 Resumen de medidas y recomendaciones.

Es importante aclarar que el acueducto constituye el principal problema de contaminación del agua de Grecia centro. La solución de la problemática del acueducto debe ser prioritaria dentro de la jerarquía de medidas que se tomen.

Las medidas y recomendaciones propuestas para cada fuente se basarán en los criterios de conservación y protección de las mismas.

### 9.5.1 Fuente Amelia

Problema	Medida
Presencia del río Agualote	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vigilar constantemente la calidad de las aguas del río (ver recomendaciones generales).</li><li>• Realizar alguna obra de protección en el sector donde colinda la fuente con el río. Se recomienda hacer una trinchera de protección con paredes recubiertas de geomembrana, paralela al río.</li><li>• Puede recurrirse a una solución alternativa mediante la sustitución del material de la trinchera por arcilla (material de baja permeabilidad), esto con el fin de disminuir la posible infiltración de agua del río hacia la toma.</li></ul>
Urbanismo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dado que la zona que circunda a la fuente no se encuentra tan urbanizada, es recomendable conservar esta condición ventajosa mediante la regulación del uso del suelo. Los medios legales para realizar esto pueden estar sustentados en un Plan Regulador.</li></ul>
Calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cercar la propiedad para evitar el ingreso de personas o animales.</li><li>• Proteger las casetas de bombeo con candados, para evitar hurtos y daños en el sistema de bombeo y la contaminación directa en el sitio de la toma.</li></ul>

### 9.5.2 Fuente Los Angeles

Problema	Medida
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proponer al propietario del terreno aledaño a la fuente, una negociación de una parte de la finca para que se reduzca al mínimo el uso de productos químicos en la agricultura que se practica al menos a 200 metros para cumplir el artículo 31 de la Ley de Aguas o como mínimo se cumpla la Ley Forestal, que establece un radio de 100 m como área de protección a las nacientes.</li></ul>
Cultivos de café	<ul style="list-style-type: none"><li>• De no aceptarse dicha negociación, es necesario establecer mediante una consultoría legal la posibilidad de la aplicación de las leyes referentes a la protección de las zonas que rodean a las fuentes (se puede recurrir al MINAE quien está facultado para establecer áreas de protección en terrenos privados), con el fin de determinar la posibilidad de exigir un uso de la tierra favorable a la fuente o en su defecto lograr la expropiación de estos terrenos según la Ley de Expropiaciones N° 7495.</li></ul>
Calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cercar el terreno donde se encuentra ubicada la captación para evitar el acceso de personas o animales.</li></ul>

### 9.5.3 Fuente Patal

Problema	Medida
Uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Debido a que la Municipalidad de Grecia no es la propietaria del terreno donde se ubica la fuente, se recomienda negociar el uso del suelo, con el dueño del terreno y en caso extremo recurrir a la expropiación.</li></ul>
Presencia del río Agualote	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se recomienda construir una trinchera con paredes impermeabilizadas mediante geomembrana o arcilla. Esta trinchera debe ser paralela al río.</li></ul>

#### **9.5.4 Fuente San Roque**

<b>Problema</b>	<b>Medida</b>
Calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cercar la propiedad donde se ubica la naciente y colocar candados en las tapas que están a lo largo del canal y en el tanque de almacenamiento para evitar que personas y animales se contaminen el agua.</li></ul>
Uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Negociar la compra u obtención del terreno circundante a la fuente. En caso de no llegar a una solución satisfactoria se recomienda aplicar lo que establece la ley, es decir, expropiar.</li><li>• Evitar que se continúe urbanizando esta zona, incluyendo medidas al respecto en un Plan Regulador.</li></ul>

#### **9.5.5 Recomendaciones generales**

- Concientizar e involucrar a la comunidad en el proceso de protección de las fuentes, mediante Comités de Vigilancia formados por vecinos.
- En la medida de lo posible procurar la compra de los terrenos aledaños al sitio de toma con el fin de lograr un uso adecuado del suelo evitando que se urbanice o se cultive la zona que rodea a la fuente.
- De ser posible, deben instalarse macro medidores en las fuentes para tener datos más precisos de los caudales captados y por ende más información para el diseño de un futuro sistema de distribución.
- Es aconsejable realizar la medición individual para cada abonado, con el fin de disminuir el desperdicio de agua. Esta medida es dependiente de la mejora al acueducto y es recomendable implementarla una vez que se ha resuelto el problema de la red de distribución.
- Realizar muestreos periódicos de calidad del agua en distintos puntos de la red para determinar los focos de contaminación.

- Comunicar a la población que hierva o clore el agua si el resultado de las pruebas de calidad del agua indican que ésta no es potable.
- Dar seguimiento al plan de tratamiento de los efluentes de CoopeVictoria, haciendo muestreos periódicos de la calidad de éstos.
- Realizar mediciones periódicas de calidad del agua en puntos representativos a lo largo del río, se recomienda que estos puntos se localicen cercanos y aguas abajo de los puntos donde descargan las quebradas en el río.
- Determinar con base en la información obtenida en los dos puntos anteriores, si existen otras fuentes de contaminación. Se debe hacer un inventario de la posible naturaleza de las mismas, clasificándolas de acuerdo al tipo de actividad contaminante. Esta clasificación podría ser: domésticas, industriales (talleres, industria textil, procesadoras de alimentos), agroindustriales (las que producen y/o procesan un producto agrícola) y agrícolas (desechos provenientes de las actividades agrícolas)
- Debe realizarse una investigación individual para determinar si las fuentes de contaminación que se localicen mediante la recomendación anterior cumplen con lo que la ley dictamina respecto a la disposición de los efluentes para este tipo de actividad. En el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales<sup>17</sup> se especifican las pruebas mínimas requeridas para la evaluación de la calidad de los efluentes, de acuerdo a la clasificación CIU<sup>18</sup> que cada actividad tenga.
- En la zona norte de Grecia que forma parte de la zona de recarga del acuífero, se recomienda dejar algunas carreteras de lastre (las menos transitadas) para evitar una impermeabilización del suelo.

<sup>17</sup> Publicado en el Diario Oficial La Gaceta, No. 117 del 19 de junio de 1997.

<sup>18</sup> Código Internacional Industrial Unificado.

## **10 Referencias**

- Alpizar, Randall. *Estudio geológico integral del distrito de San Roque y alrededores*, Canton de Grecia, Provincia de Alajuela. Escuela centroamericana de Geología, 1995.
- Araya, German. *Informe final del estudio de optimización del sistema del acueducto de Grecia*. Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica, 1988.
- Custodio, E. y Llamas M.R. *Hidrología Subterránea*. Editorial Omega, 2ª edición, Barcelona, España, 1983.
- Danger, Percy. *Atlas geológico (GAM)*. Editorial tecnológica de Costa Rica, 1994.
- Foster, Stephen e Hirata, Ricardo. *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas*. OMS y OPS, 2ª edición, Lima Perú, 1991.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. *Estudio de Alcantarillado Sanitario en Ciudades Intermedias. Etapa 1*. Borrador de Informe consultora Geotécnica. 1998.
- Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable*. Volumen 3. Washington, EUA, 1988.
- Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible. *Plan Estratégico Territorial de Grecia*. San José, Costa Rica, 1997.

## **Entrevistas**

- Ing. Federico Arellano, hidrogeólogo de A y A.
- Tomás Arias, estudiante tesiaro.
- Sr. Jimmy Bolaños, Ejecutivo Municipal 1994-1998.
- Ing. Napoleón Cruz, A y A.
- Ing. Ana Garita, Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS).
- Ing. Alvaro Gutiérrez, A y A.
- Ing. Gastón Laporte, INSUMA S.A.
- Sr. Elmer Quesada, fontanero de la Municipalidad de Grecia.
- Sra. Lucila Ramírez, miembro de la Comisión Estratégica Territorial.
- Osvaldo Soto, estudiante de Grecia.
- Ronald Umaña, estudiante de Grecia.

# **11 Anexos**

---

## 11.1 Anexo 1. Legislación sobre agua potable y pruebas de calidad.

### *11.1.1 Reglamento para la calidad del agua potable.*

# LA GACETA

## Diario Oficial

Precio e 55.00

Nº CXIX

La Uruca, San José, Costa Rica, martes 27 de mayo de 1997

Nº 100

32 Páginas

### CONTENIDO

	Pág	Nº
<b>PODER EJECUTIVO</b>		
<b>DECRETOS</b>		
Decretos	1	
Acuerdos	6	
<b>DOCUMENTOS VARIOS</b>		
<b>TRIBUNAL SUPREMO DE ELECCIONES</b>		
Edictos	20	
<b>CONVOCACIONES</b>		
<b>JUDICACIONES</b>		
<b>INSTITUCIONES DESCENTRALIZADAS</b>		
<b>REGIMEN MUNICIPAL</b>		
<b>AVISOS</b>		
<b>LISTA DE ERRATAS</b>		

recomendables o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos emitidos mediante el presente reglamento.

**Agua Tratada:** corresponde al agua subterránea o superficial cuya calidad ha sido modificada por medio de procesos de tratamiento que incluyen como mínimo a la desinfección. Su calidad debe ajustarse a lo establecido en el presente reglamento.

**CAPRE:** Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.

**Coliforme Fecal:** microorganismos que tienen las mismas propiedades de los Coliformes Totales pero a temperatura de 44 ó 44,5 °C. También se les designa como Coliformes Termotolerantes o Termotolerantes.

**Coliforme Total:** bacilo gramnegativo no esporulado, que puede desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con similares propiedades de inhibición de crecimiento, no tienen citocromo oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a 35 ó 37 °C, en un periodo de 24 a 48 horas.

**Control de Calidad del Agua:** actividad sistemática y continua de supervisión de las diferentes fases de la producción y distribución de agua, según programas específicos, que deben ejecutar los organismos operadores.

**Control de Procesos:** es el conjunto de procedimientos que se emplean para determinar las características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas del agua en un sistema de potabilización. De esta manera se pueden estudiar las magnitudes de las transformaciones que sufre la calidad del agua durante los procesos de tratamiento.

**Escherichia Coli:** son presuntos Escherichia Coli las bacterias Coliformes Fecales que fermentan la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44 ó 44,5 °C con producción de gas, y que también producen indol a partir del triptófano. La confirmación de que en verdad se trata de Escherichia Coli se logra mediante el resultado positivo en la prueba con el indicador rojo de metilo, la comprobación de la ausencia de síntesis de acetilmetilcarbinol y de que no se utiliza el citrato como única fuente de carbón. La Escherichia Coli es el indicador más preciso de contaminación fecal.

°C: grados Celsius

**Hielo (para consumo humano):** es el producto obtenido por congelación de agua potable, por lo que deberá cumplir con los requisitos que se establecen para ésta en el presente reglamento.

µg/l: microgramos por litro.

µg/cm: microsiemens por centímetro.

**Muestra de Agua:** es una porción de agua que se recolecta de tal modo que reculte estadísticamente representativa de un volumen mayor de líquido.

**Organismos Operadores:** instituciones, empresas o entidades en general directamente encargadas de la operación, mantenimiento y administración de sistemas de suministro de agua para consumo humano.

**OPS/OMS:** Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.

plf: concentración de iones de hidrógeno.

Pt-Co: platino-cobalto, unidades de color verdadero.

UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

**Valor Máximo Admisibles:** corresponde a aquella concentración de sustancia o densidad de bacterias a partir de la cual existe rechazo del agua por parte de los consumidores o surge un riesgo inaceptable para la salud. El sobrepasamiento de estos valores implica la toma de acciones correctivas inmediatas.

**Valor Recomendado:** corresponde a aquella concentración de sustancia o densidad de bacterias que implica un riesgo virtualmente nulo o aceptable para la salud de los consumidores del agua.

### PODER EJECUTIVO

#### DECRETOS

Nº 25991-S

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA  
Y EL MINISTRO DE SALUD

En uso de las facultades que les confieren los artículos 140 incisos 5 y 18) de la Constitución Política; 28 de la Ley General de Administración Pública; 1, 2, 4, 7, 264, 265, 266, 267 y siguientes y 28 de la Ley General de Salud.

DECRETAN:

El siguiente

**Reglamento para la calidad del agua potable**

#### CAPITULO I

##### De las disposiciones generales

**Artículo 1º**—El objetivo de este reglamento es establecer los niveles máximos o mínimos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de suministro de agua.

**Artículo 2º**—Para efectos de este reglamento se utilizarán las definiciones que se dan a continuación:

**Aguas Curativas:** son las reconocidas como tales por el Ministerio de Salud.

**Agua Mineral Natural:** es la reconocida o definida como tal por el Ministerio de Salud.

**Agua Potable:** es toda agua que, empleada para la ingesta humana, no causa daño a la salud y cumple con las disposiciones de valores

**DIVISION TERRITORIAL  
ADMINISTRATIVA**

**750**



IMPRENTA NACIONAL  
TELÉFONO: 231 522

Vigilancia de la calidad del agua suministrada por la acción designada por ley como responsable de garantizar la calidad del agua (Ministerio de Salud), se define como el seguimiento permanente de una cuidadosa supervisión, desde el punto de vista de la salud pública, sobre los organismos operadores, a fin de garantizar a seguridad, inocuidad y aceptabilidad del suministro de agua potable.

Artículo 3°.—Para efectos de la aplicación de este reglamento se precisan como niveles de administración, control y ejecución al Ministerio de Salud, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y Municipalidades.

Artículo 4°.—Este reglamento establece los requisitos básicos a los que debe responder la calidad del agua suministrada en los servicios de consumo humano y para uso doméstico, independientemente de estado, origen o grado de tratamiento.

**CAPITULO I**

**Del ámbito de aplicación**

Artículo 5°.—De las regulaciones físico-químicas, pero no microbiológicas, de este reglamento se exceptúan el agua mineral natural y aguas curativas.

Artículo 6°.—Para todos los efectos de regulaciones en la calidad del agua abastecida, los organismos operadores se sujetarán a este reglamento y control en los valores para los parámetros físicos, químicos, biológicos microbiológicos en sus aspectos estéticos, organolépticos y dignificados para la salud establecidos en los cuadros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 del Anexo I, sin perjuicio de lo determinado en los artículos 12 y 13.

Artículo 7°.—Este reglamento establece cuatro niveles de Control de Calidad del Agua (ver Anexo 2 cuadro A):

- 7.1 Nivel Primero (N1): corresponde al programa de control operativo para los acueductos rurales que sirvan a una población menor que 10.000 habitantes y cuyo sistema de abastecimiento cuenta con el proceso de desinfección. Las mediciones y controles son: olor, sabor y cloro residual. Se harán anotaciones de presencia de color y turbiedad en el agua. El valor recomendado de cloro residual se indica en el Anexo I.
- 7.2 Nivel Segundo (N2): corresponde al programa de análisis básico, fácilmente ejecutable por cada laboratorio de control de calidad del agua autorizado. Los parámetros en esta etapa de control son los de N1 más coliforme fecal, turbiedad, color, conductividad, concentración de iones hidrógeno y temperatura. Los valores recomendados y máximos admisibles se indican en el Anexo I.
- 7.3 Nivel Tercero (N3): corresponde al programa de análisis normal y comprende la ejecución de los parámetros de N2 ampliados con: cloruros, dureza, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, zinc, aluminio, cobre, nitratos, nitritos, amonio, hierro, manganeso, flúoruro, sulfuro de hidrógeno, arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, plomo, antimonio, selenio. Los valores recomendados y máximos admisibles se indican en el Anexo I.
- 7.4 Nivel Cuarto (N4): corresponde a un programa de análisis avanzado del agua potable. Comprende la ejecución de los parámetros de N3, ampliados con sólidos totales disueltos, desinfectantes, sustancias orgánicas (plaguicidas) con significado para la salud, y subproductos de la desinfección. Los valores recomendados y máximos admisibles se indican en el Anexo I.

De ocurrir eventuales situaciones temporales debidas a casos especiales o de emergencia, el Ministerio de Salud determinará los parámetros de control y vigilancia requeridos para tales situaciones.

Artículo 8°.—El Ministerio de Salud tomará las acciones requeridas para que se ejecute el programa de control de calidad del agua del Primer Nivel en todos los acueductos del país, a partir de la vigencia de este reglamento.

Los análisis para el programa de control del Segundo Nivel deben ser iniciados dos años después, y los del Tercer y Cuarto Nivel entre cuatro y cinco años después, de la fecha de vigencia del presente reglamento.

- 8.1 Los puntos de recolección de muestras para control serán fijados por los organismos operadores. El Ministerio de Salud hará supervisión y asesoría en el contexto de su programa de vigilancia de la calidad del agua.
- 8.2 Para la ejecución del control los organismos operadores se registrarán por las frecuencias mínimas de muestreo contenidas en el Anexo 2, cuadro B.
- 8.3 Los métodos de referencia para análisis son los indicados en el Decreto N° 25018-MEIC, publicado en La Gaceta N° 59, del 25 de marzo de 1996.
- 8.4 Los laboratorios quedan facultados para utilizar otros métodos siempre y cuando tales métodos sean debidamente validados y generen resultados equivalentes o comparables a los resultados que se obtengan con los métodos de referencia.
- 8.5 Los laboratorios que realicen análisis de agua deberán estar acreditados según el artículo 8 de la Ley N° 7472 y el Decreto N° 25662-MEIC-S-MAG-MIRENEM-MOPT-PLAN del 27 de setiembre de 1995

Artículo 9°.—Cuando uno o varios parámetros superen los valores máximos admisibles establecidos por este reglamento se deberá informar al Ministerio de Salud, para que se ejecute el estudio del caso y se emita y ordenen las medidas correctivas necesarias en coordinación con el organismo operador correspondiente.

Artículo 10.—Cuando se sobrepase un valor máximo admisible esto es indicativo de que es necesario:

- a) Intensificar a vigilancia sanitaria y ejecutar acciones correctivas.
- b) Consultar a las autoridades nacionales responsables de los programas de vigilancia y control de la calidad del agua para que proporcionen asesoramiento sobre el nivel de riesgo y acciones correctivas.

**CAPITULO II**

**De las disposiciones finales**

Artículo 11.—Cuando algún acueducto se viera enfrentado a graves problemas de calidad del agua el organismo operador respectivo queda facultado para aplicar unilateralmente las disposiciones previstas en el artículo 12 de este reglamento, lo cual deberá ser reportado a la División de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Salud.

Artículo 12.—En caso de emergencia, calificada como tal por las autoridades respectivas y conforme a la legislación vigente, y si no existe otra forma de asegurar el suministro de agua, el Ministerio de Salud podrá limitar, por un periodo no mayor que quince días, el uso ajustándose estrictamente a los valores máximos admisibles establecidos en las disposiciones contenidas en el Anexo I, siempre y cuando la salud pública no se ponga en peligro.

Artículo 13.—Los organismos operadores tomarán las medidas necesarias para que se cumplan las disposiciones pertinentes previstas en el Artículo 8, y en particular: los plazos máximos para la puesta en marcha de los programas de control correspondientes a los varios niveles.

Artículo 14.—Este reglamento será revisado por el Ministerio de Salud cada dos años, o por solicitud de un organismo operador. Toda solicitud de revisión será acompañada de la justificación o razón técnica científica de la petición. Al estudiar las modificaciones que eventualmente sean propuestas al presente reglamento, el Ministerio de Salud podrá hacerse asesorar por un comité técnico que estaría conformado por representantes de: Ministerio de Salud, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Organización Panamericana de la Salud, Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana, Asociación Costarricense de Recursos Hídricos, y Saneamiento Ambiental, Organismos operadores de sistemas y Especialistas invitados.

Artículo 15.—Los Anexos 1 y 2 a que se hace alusión en artículos anteriores forman parte integral del presente reglamento.

Artículo 16.—Este reglamento entrará en vigencia ocho días después de la fecha de su publicación en La Gaceta.

**ANEXO I**

**PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA**

**CUADRO 1. Parámetros bacteriológicos<sup>1</sup>**

Origen	Parámetro	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
A. Todo tipo de agua de bebida, así como la que se use para la preparación de hielo	Cultiforme fecal	negativo	negativo
B. Agua que entra al sistema de distribución	Cultiforme fecal	negativo	negativo
C. Agua en el sistema de distribución	Cultiforme fecal	negativo	negativo

**CUADRO 2. Parámetros organolépticos**

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color verdadero	mg/l (Pt-Co)		15
Turbiedad	UNT		5
Olor	Factor dilución	0	2, a 12 °C 3, a 25 °C
Sabor	Factor dilución	0	2, a 12 °C 3, a 25 °C

**CUADRO 3. Parámetros físico químicos**

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Temperatura	°C	18 a 30	
Concentración de iones hidrógeno	valor pH	6,5 a 8,5 <sup>b</sup>	
Cloro residual libre	mg/l	0,2 a 1,0 <sup>c</sup>	b

<sup>1</sup> NMP/100 ml, en caso de análisis por tubos múltiples, o UFC (unidades formadoras de colonias) /100 ml en el caso de análisis por el método de membranas filtrantes. El indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal es la Escherichia Coli, definida en el artículo 2. La bacteria Coliforme total no es un indicador aceptable de la calidad sanitaria del agua.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Cloruros	mg/l	25	250
Conductividad	µs/cm	400	
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	400	
Sulfatos	mg/l	25	250
Aluminio	mg/l	0,2	
Calcio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100	
Cobre	mg/l	1,0	2,0
Magnesio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	30	50
Sodio	mg/l	25	200
Potasio	mg/l		10
Sólidos totales disueltos	mg/l		1000
Zinc	mg/l		30

a/ Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos ni incrustantes en los acueductos.

b/ Para evitar problemas de sabores y olores en los consumidores, y por aspectos económicos: 1,0 mg/l como cloro residual libre, después de haber satisfecho la demanda de cloro.

c/ En situaciones de emergencia el Ministerio de Salud podrá recomendar mayores concentraciones de cloro residual libre.

CUADRO 4. Parámetros para sustancias no descadas

Parámetro	Valor recomendado mg/l	Valor Máximo Admisible
Nitratos-NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	25	50
Nitritos-NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>		0,5
Amonio	0,05	0,5
Hierro		0,3
Manganeso	0,1	0,5
Fluoruro		0,7 a 1,5 <sup>b</sup>
Sulfuro de hidrógeno		0,05

a Nitritos: Valor máximo admisible 0,1 ó 3,0.

Si se escoge el valor de 3,0 debe relacionarse el nitrato y nitrito por la fórmula

$$\frac{[NO_3^-]}{V.R. NO_3} + \frac{[NO_2^-]}{V.R. NO_2} < 1$$

Nota V. R. = valor recomendado

b 1,5 mg/l para temperaturas de 8 a 12 °C  
0,7 mg/l para temperaturas de 23 a 30 °C

CUADRO 5. Parámetros para sustancias inorgánicas con significado para la salud

Parámetro	Valor Máximo Admisible, m
Arsénico	0,01
Cadmio	0,05
Cianuro	0,05
Cromo	0,05
Mercurio	0,01
Níquel	0,05
Plomo	0,01
Antimonio	0,05
Selenio	0,01

CUADRO 6. Parámetros para sustancias orgánicas de significado para la salud, excepto plaguicidas

Parámetro	Valor Máximo Admisible, µg/l
<b>Alcanos Clorados</b>	
Tetracloruro de carbono	2
Diclorometano	20
1,2-dicloroetano	30
1,1,1-tricloroetano	2000
<b>Etenos Clorados</b>	
Cloruro de Vinilo	5
1,1-dicloroetano	30
1,2-dicloroetano	50
Tricloroetano	70
Tetracloroetano	40 <sup>a</sup>
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>	
Tolueno	700
Xilenos	500
Etilbenceno	300
Estireno	20
Benzo-alfa-pireno	0,7
<b>Bencenos Clorados</b>	
Monoclorobenceno	300
1,2-diclorobenceno	1000
1,4-diclorobenceno	300
Triclorobencenos	20

Otros Compuestos Orgánicos

Parámetro	Valor Máximo Admisible, µg/l
Di (2-etilhexil) adipato	80
di (2-etilhexil) ftalato	8
Acilamida	0,5
Epiclorohidrina	0,4
Hexaclorobutadieno	0,5
EDTA	200
Acido nitroacético	200
Oxido de tributilestano	2
Hidrocarburos policíclicos aromáticos totales	0,2
Bifenilos policlorados totales	0,5

CUADRO 7. Parámetros para pesticidas

Parámetro	Valor Máximo Admisible,
Alacloro	20
Aldicarb	10
Aldrin/Dieldrin	0,03
Atracina	2
Bentazona	10
Carbofurano	5
Clordano	0,2
DDT	2
1,2-dibromo-3,3-cloropropano	1
2,4-D	30
1,2-dicloropropano	20
1,3-dicloropropano	0,03
Heptacloro y Heptaclorocóxido	9
Isoproturón	2
Lindano	20
MCPA	10
Metoxicloro	6
Metolacloro	20
Molinat	9
Pendimetalina	20
Pentaclorofenol	20
Permetrina	100
Propanil	2
Pyridad	20
Simazín	100
Triflurazilo	100
Dicloroprop	9
2,4-DB	9
2,4,5-T	10
Silvex	
Mecroprop	

CUADRO 8. Parámetros para desinfectantes y subproductos de la desinfección

Parámetro	Valor Máximo Admisible, µg/l
<b>a Desinfectantes</b>	
monocloramina	4000
<b>b Subproductos de la desinfección</b>	
Bromato	25
Clorito	200
Clorofenoles	200 <sup>a</sup>
2,4,6-triclorofenol	900
<b>Formaldehído</b>	
Trihalometanos	100
bromoformo	100
dibromoclorometano	60
bromodichlorometano	200
cloroformo	
<b>Ácidos Acético Clorados</b>	
ác. dicloroacético	50
ác. tricloroacético	100
tricloroacetaldehído/cloral hidrato	90
	100 <sup>b</sup>
<b>Haloacetoniitrilos</b>	
dicloroacetoniitrilo	1
dibromoacetoniitrilo	
tricloroacetoniitrilo	70
<b>Cloruro de cianógeno (como CN-)</b>	

ANEXO 2  
NIVELES DE CONTROL, FRECUENCIA Y NUMERO DE MUESTRAS

CUADRO A. Niveles de control y parámetros <sup>1</sup>

	Nivel Primero (N1)	Nivel Segundo (N2)	Nivel Tercero (N3)	Nivel Cuarto (N4)
Parámetros orgánicos	Olor <sup>2</sup> Sabor <sup>2</sup>	Análisis (N1) <sup>3</sup> Turbiedad Color	Análisis (N2) <sup>4</sup> Olor Sabor	Análisis (N3)
Parámetros fisico-químicos	Cloro residual <sup>3</sup>	Conductividad pH Temperatura <sup>4</sup>	Cloruros Dureza Sulfatos Calcio Magnesio Sodio <sup>5</sup> Potasio Zinc Aluminio Cobre	Sólidos totales disueltos
Parámetros no deseados			Nitratos Nitritos Amonio Hierro Manganeso Fluoruro Sulfuro de hidrógeno	
Parámetros tóxicos (orgánicos e inorgánicos)			Arsénico Cadmio Cianuro Cromo Mercurio Níquel Plomo	Desinfectantes Orgánicos con significado para la salud
(plaguicidas)			Antimonio Selenio	Subproductos de la desinfección
Parámetros microbiológicos		Coliforme fecal		

**Recomendación:** Se recomienda añadir un análisis (llamado primer análisis), que sobre todo ha de llevarse a cabo antes de la puesta en marcha del sitio de muestreo. Los parámetros a tomar en cuenta serían los del análisis de control normal, a los cuales podrían agregarse, entre otros, con base en suposiciones, diferentes sustancias tóxicas no deseadas. La lista será definida por el Ministerio de Salud, en consulta con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

**NOTAS:**

El Ministerio de Salud y el AyA podrán utilizar otros parámetros diferentes a los mencionados en el Anexo 1 si es que surgen situaciones especiales o de emergencia, o debido a factores que incidan negativamente sobre la calidad del agua potable suministrada.

<sup>2</sup> Valoración cualitativa.

U otras sustancias, sólo en caso de tratamiento.

Excepto para agua en depósitos cerrados.

**CUADRO B. Frecuencia mínima de análisis y número de muestras**

Población afectada (base del cálculo: 200 litros por habitante y por día)	Análisis N1	Análisis N2 <sup>a</sup>	Análisis N3	Análisis N4
	Cantidad de muestreos por año	Cantidad de muestras por año	Cantidad de muestreos por año	Cantidad de muestras por año
500	6			
2 000	12	4	2	
5 000	24	4		
10 000	32	12		
50 000		36	4	
100 000		60		
150 000		72	4	
300 000		90	6 <sup>b</sup>	2
500 000		120	6 <sup>b</sup>	2
1 000 000		240 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	
5 000 000		500 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	

Para el N2 se deberá medir el valor de cloro residual cada vez que se recolecte una muestra para análisis bacteriológico, en los acueductos clorados.

<sup>b</sup> Para los casos de frecuencias altas se recomienda:

a) Recolectar las muestras en intervalos regulares durante los 12 meses.

b) Reducir la frecuencia mínima de análisis, si los valores de los muestreos de años anteriores fueran constantes y mucho mejores que los límites previstos en el Anexo 1, y no se determinaran factores que pudieran tener efectos negativos sobre la calidad del agua.

Dado en la Presidencia de la República.— San José, a los catorce días del mes de abril de mil novecientos noventa y siete.

JOSE MARÍA FIGUEROA (P. SEN.—El Ministro de Salud, Dr. Herman Weinstok Wolfowicz—1 vez.—N° 52771—(28588).

N° 26032-MINAE

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA  
Y EL MINISTRO DEL AMBIENTE Y ENERGIA

En uso de las facultades conferidas en los incisos 3 y 18 del artículo 140 de la Constitución Política y el artículo 28 de la Ley General de la Administración Pública.

Considerando:

1°—Que los funcionarios del Ministerio del Ambiente y Energía para el mejor cumplimiento de sus funciones deben desplazarse a zonas alejadas de su residencia renunciando a las comodidades y facilidades que esta le ofrece, por lo que merecen el estímulo constante de la sociedad y el gobierno.

2°—Que es necesario dotar a los funcionarios del Ministerio del Ambiente y Energía de las máximas facilidades y comodidades posibles para que puedan cumplir y rendir adecuadamente en sus labores.

3°—Que con el fin de concretar algunos de esos propósitos entre ellos el estímulo e incentivo a quienes renuncian a las comodidades, al tener que desplazarse y sacrificar las ventajas propias o familiares.

4°—Que como el costo de vida, la facilidad de servicio, el clima, la salubridad, los medios y riesgos de transporte, las condiciones locales de vida, la posibilidad de educación y atención médica para el servidor y sus familiares, lo mismo que otros factores que inciden en la vida diaria, son diferentes en cada sitio del país, por lo que el pago de un zonaje debe ser fijado considerando cada uno de los aspectos citados anteriormente. Por tanto,

DECRETAN:

Reglamento de Zonaje para Funcionarios del Ministerio del Ambiente y Energía

Artículo 1°—Para los efectos del presente Reglamento se entenderá por:

a) Zonaje: Compensación adicional que reciban los servidores del Ministerio, que tengan que prestar sus servicios permanentemente en lugar distinto al de su domicilio legal, o que eventualmente permanezca fuera de la circunscripción territorial de este por más de un mes, en forma continua, siempre que la zona en donde realicen sus trabajos justifique tal compensación.

Artículo 2°—El pago de zonaje será porcentual, tomando en consideración medios y riesgos de transporte, clima, salubridad, condiciones, facilidad y costo local de vida, posibilidades de educación y atención médica para el servidor y su familia, de manera que el ciento por ciento corresponde a la suma máxima que la Contraloría General de la República fije para el pago de zonaje a los servidores públicos.

Artículo 3°—El cálculo porcentual se fija por cantones y distritos, con gobierno municipal propio según la tabla contemplada en el artículo 10 del presente reglamento. El monto correspondiente a cada porcentaje será variado de oficio por el Departamento Recursos Humanos, luego de que la Contraloría General de la República haga cualquier variación en el monto total y empezará a regir cuando exista el contenido presupuestario correspondiente.

Artículo 4°—El reconocimiento de pago de zonaje se hará mediante acción de personal (P.21) por el Departamento de Recursos Humanos del Ministerio del Ambiente y Energía.

Artículo 5°—El servidor no perderá el derecho a devengar la suma fijada por concepto de zonaje en los siguientes casos:

- a) Cuando se separe hasta por un mes de un puesto por motivo de incapacidad.
- b) Cuando, para cumplir funciones propias de su cargo, asista a cursos de capacitación con licencia con goce de salario y debe trasladarse por un período que no exceda de un mes.
- c) Cuando tenga que trasladarse por un periodo que no exceda de un mes a una zona en que no se pague zonaje.

Artículo 6°—El servidor que por razones de capacitación u otro motivo se vea obligado a permanecer más de un mes fuera de su lugar de trabajo y que en ese tiempo tuviera congelado su beneficio a su regreso, previa comunicación al Departamento de Recursos Humanos por escrito de su reintegro a labores recobrará el derecho del mismo.

Artículo 7°—Los gastos de viaje y de transporte seguirán regulándose de manera independiente al zonaje de acuerdo con las disposiciones contenidas en el reglamento correspondiente, promulgado por la Contraloría General de la República

Artículo 8°—Con el fin de resolver casos no previstos en este reglamento y los casos de solicitud de zonaje en el Area Metropolitana se nombrará la comisión de zonaje integrada por el Director General Administrativo, el Jefe del Departamento de Recursos Humanos, el Oficial Presupuestal y dos (2) representantes de los trabajadores escogidos en asamblea de los mismos.

11.1.2 Pruebas de calidad del agua

Fuente Los Ángeles:

INFORME DE CALIDAD DE AGUA POTABLE AYA  
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Fecha de recolección	Punto de muestreo	Hora muestreo	Coliformes / 100 mL		Presencia E. coli 44.5°C
			Totales	Fecales	
04/09/1997	Naciente Salguero	10:25	Negativo	Negativo	
	Tanque Brujito	10:45	Negativo	Negativo	
	Red:				
	Sector Liceo Soda El Estudiante	10:56	Negativo	Negativo	
	Sector Estadio Heladería Condorito	11:06	>=2400	23	
	Barrio Jiménez Pulpería La Criollita	11:16	Negativo	Negativo	
14/11/1997	Naciente Salguero	10:40	43	Negativo	
	Tanque Brujito	10:50	15	9.1	
	Red:				
	Sector Liceo Sr. Luis Barrantes	11:11	3.6	Negativo	
	Sector Estadio Soda El Estadio	11:04	240	Negativo	
	Barrio Jiménez Sra. Vilma Román	10:57	43	3.6	

VARIABLES FISICOQUIMICAS	
Localización: Naciente San Roque	
Color Verdadero	0 Pt/Co
Turbiedad	0.12 UNT
Sólidos Susp.Sed	0 ml/L/hr
Conductividad	148 uS
Olor	Negativo
pH	7.74
pH de Saturación	8.54
Índice de Saturación	-0.80
Alcalinidad a la Fenolf	0 mg/L
Acidez	
Alcalinidad Total	40.00
Dureza Total	58.00
Dureza de Calcio	34.00
Dureza de Magnesio	
Hierro Total	0.02
Sulfatos	26.00
Cloruros	10.00
Fluoruros	0.28
Nitratos	4.20
Aluminio	
Zinc	
Cobre	
Manganeso	
Plomo	
Cadmio	
Selenio	

**Fuente Amelia:**

**INFORME DE CALIDAD DE AGUA POTABLE AyA  
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

Fecha de recolección	Punto de muestreo	Hora muestreo	Coliformes / 100 mL		Presencia E. coli 44.5°C
			Totales	Fecales	
04/09/1997	Naciente Amelia	07:00	Negativo	Negativo	
	Tanque Totón Metálico	07:15	23	23	
	Tanque Cruz Roja	07:30	9.1	Negativo	
	<b>Red:</b>				
	<i>Centro 1</i> Cruz Roja	07:40	75	43	
	<i>Centro 2</i> Estación Cruz S.A.	07:50	9.1	9.1	
	<i>Centro 3</i> Plantel Municipal	08:00	75	75	
	<i>Barrio Cementerio</i> Tienda Yered	08:11	93	43	
	<i>Barrio El Poró</i> Restaurante El Puente Azul	08:20	75	9.1	
	Naciente Amelia	11:22	Negativo	Negativo	
14/11/1997	Tanque Totón Metálico	11:40	210	23	
	Tanque Cruz Roja	11:50	93	Negativo	
	<b>Red:</b>				
	<i>Centro 1</i> Plantel Municipal	12:14	240	3.6	Positivo
	<i>Centro 2</i> Familia Murillo Rodríguez	12:21	43	3.6	Positivo
	<i>Centro 3</i> Pulpería Las Américas	12:30	240	23	
	<i>Barrio Cementerio</i> Super El Barrio	12:06	43	3.6	Positivo
	<i>Barrio El Poró</i> Servicio SAM	11:58	43	Negativo	

VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS	
Localización: Naciente Amelia	
Color Verdadero	0 Pt/Co
Turbiedad	0.18 UNT
Sólidos Susp. Sed	0 ml/L/hr
Conductividad	140 uS
Olor	Negativo
pH	7.85
pH de Saturación	8.92
Índice de Saturación	-1.07
Alcalinidad a la Fenol	0 mg/L
Acidez	
Alcalinidad Total	44.00
Dureza Total	58.00
Dureza de Calcio	32.00
Dureza de Magnesio	
Hierro Total	0.02
Sulfatos	19.00
Cloruros	9.00
Fluoruros	0.26
Nitratos	2.70
Aluminio	
Zinc	
Cobre	
Manganeso	
Plomo	
Cadmio	
Selenio	

**Fuente Patal:**

**INFORME DE CALIDAD DE AGUA POTABLE Aya  
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

Fecha de recolección	Punto de muestreo	Hora muestreo	Coliformes / 100 mL		Presencia E. coli 44.5°C
			Totales	Fecales	
04/09/1997	Naciente Patal	11:40	9.1		
	Tanque Trino Quesada	11:49	240		
	Tanque Rincón de Arias	11:59	Negativo	Negativo	
	Red:				
	Invu				
	Sr. Gehovany Castro	12:06	93	43	
	Barrio Peralta Abastecedor La Parada	12:14	43	7.3	
14/11/1997	Plaza Pinos Pulperia La Navideña	12:21	Negativo	Negativo	
	Sector Hospital Soda El Seguro	12:31	93	9.1	
	Naciente Patal	09:20	460	23	
	Tanque Trino Quesada	09:40	1100	43	
	Tanque Rincón de Arias	09:30	93	Negativo	
	Red:				
	Invu				
Sr. Marvin Castro	10:08	>=2400	23		
Alto Rincón Arias Taller R y V	09:57	>=2400	23		
Barrio Peralta Pulperia El Rinconcito	09:50	1100	43		
Plaza Pinos Sr. Julio Ulate	10:16	>=2400	23		
Sector Hospital Soda El Seguro	10:22	460	43		

VARIABLES FISICOQUIMICAS	
Localización: Naciente San Roque	
Color Verdadero	0 Pt/Co
Turbiedad	0.12 UNT
Sólidos Susp. Sed	0 ml/L/hr
Conductividad	148 uS
Olor	Negativo
pH	7.74
pH de Saturación	8.54
Índice de Saturación	-0.80
Alcalinidad a la Fenolif	0 mg/L
Acidez	
Alcalinidad Total	40.00
Dureza Total	58.00
Dureza de Calcio	34.00
Dureza de Magnesio	
Hierro Total	0.02
Sulfatos	26.00
Cloruros	10.00
Fluoruros	0.28
Nitratos	4.20
Aluminio	
Zinc	
Cobre	
Manganeso	
Plomo	
Cadmio	
Selenio	

**Fuente San Roque:**

**INFORME DE CALIDAD DE AGUA POTABLE AYA  
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

Fecha de recolección	Punto de muestreo	Hora muestreo	Coliformes / 100 mL		Presencia E. coli 44.5°C
			Totales	Fecales	
04/09/1997	Naciente La Cooperativa	09:00	23	9.1	
	Red:				
	Primavera 1 Sr. Hernán Araya	09:20	>=2400	150	
	Primavera 2 Sr. Alfonso Fonseca	09:28	Negativo	Negativo	
	Higuerones Fábrica de Helados Sensación	09:36	>=2400	75	
14/11/1997	Naciente La Cooperativa	12:50	150	23	
	Red:				
	Primavera 1 Sr. Alfonso Fonseca	13:00	Negativo	Negativo	
	Primavera 2 Sr. Gerberth Soto	13:09	1100	23	
	Higuerones Fábrica de Helados Estación	13:18	1100	23	

<b>VARIABLES FISICOQUIMICAS</b>	
Localización: Naciente La Cooperativa	
Color Verdadero	0 Pt/Co
Turbiedad	0.24 UNT
Sólidos Susp.Sed	0 ml/L/hr
Conductividad	204 uS
Clor	Negativo
pH	7.19
pH de Saturación	7.46
Índice de Saturación	-0.27
Alcalinidad a la Fenolf	0 mg/L
Acidez	
Alcalinidad Total	69.00
Dureza Total	84.00
Dureza de Calcio	46.00
Dureza de Magnesio	
Hierro Total	0.02
Sulfatos	2.00
Cloruros	10.00
Fluoruros	menor de 0.10
Nitratos	26.00
Aluminio	
Zinc	
Cobre	
Manganeso	
Plomo	
Cadmio	
Selenio	

## 11.2 Anexo 2. Datos de aforos

### Fuente Amelia

Latitud: 229,700  
 Longitud: 502,400  
 Elevación: 980,00

Fecha de aforo	Caudal (l/s)	Fecha de aforo	Caudal (l/s)
23-01-79	183,00	09-06-88	146,49
20-02-79	232,00	24-02-94	121,00
22-03-79	221,00	13-04-94	146,00
08-02-80	186,00	08-06-94	76,00
27-02-80	167,00	06-07-94	84,00
22-04-80	173,00	18-08-94	43,00
22-01-82	183,00	06-10-94	51,00
17-02-82	209,00	23-02-95	48,00
22-04-82	174,00	24-03-95	47,00
02-02-83	261,00	03-05-95	50,00
12-03-83	84,00	06-02-96	61,00
27-04-83	119,00	26-03-96	86,00
22-02-85	138,50	20-05-96	68,00
10-04-85	167,00	05-06-96	76,00
15-05-85	109,00	06-08-96	96,00
19-02-86	154,00	27-11-96	71,00
29-04-86	111,00	08-01-97	63,00
23-06-86	150,00	06-02-97	127,00
27-01-87	166,30	05-03-97	74,00
17-02-87	117,00	08-04-97	68,00
17-03-87	172,22	05-06-97	94,00
06-05-87	174,48	22-07-97	95,00
18-11-87	150,42	23-10-97	94,00
21-01-88	144,20	13-01-98	91,00
		27-02-98	78,00

### Fuente Los Angeles

Latitud: 230,900  
Longitud: 502,100  
Elevación: 1020,00

Fecha de aforo	Caudal (l/s)
23-01-79	34,50
20-02-79	32,50
22-03-79	29,00
02-05-79	30,00
31-01-80	45,00
28-02-80	30,00
22-04-80	25,00
21-05-80	27,00
25-03-81	34,90
09-04-81	30,50
17-02-82	32,00
19-02-86	34,50
02-04-91	31,00
17-02-82	32,00
19-02-86	34,50
02-04-91	31,00

**Fuente Patal**

**Latitud:** 228,850  
**Longitud:** 501,300  
**Elevación:** 940,00

Fecha de aforo	Caudal (l/s)	Fecha de aforo	Caudal (l/s)
17-01-79	8,00	18-11-87	227,44
20-02-79	7,00	21-01-88	289,90
22-03-79	7,00	09-06-88	256,18
02-05-79	7,00	24-02-94	294,00
31-01-80	313,00	13-04-94	243,00
28-02-80	299,00	08-06-94	218,00
22-04-80	314,70	06-07-94	277,00
21-05-80	310,00	18-08-94	247,00
17-03-81	318,00	06-10-94	278,00
08-04-81	276,00	23-02-95	332,00
22-01-82	309,00	24-03-95	279,00
17-02-82	210,00	03-05-95	256,00
22-04-82	328,00	06-02-96	326,00
02-02-83	143,00	23-06-96	294,00
27-04-83	330,00	20-05-96	300,00
22-02-85	227,90	05-06-96	302,00
10-04-85	271,00	09-08-96	269,00
15-05-85	281,00	27-11-96	274,00
19-02-86	219,00	08-01-97	309,00
29-04-86	257,00	06-02-97	319,00
23-06-86	275,00	05-03-97	314,00
21-02-87	269,20	08-04-97	318,00
17-02-87	278,00	05-06-97	351,00
17-03-87	251,24	22-07-97	292,00
06-05-87	288,73	23-10-97	306,00
01-06-87	224,59	15-01-98	314,00
		27-02-98	312,00

### Fuente San Roque

Latitud: 230,900  
Longitud: 503,600  
Elevación: 1060,00

Fecha de aforo	Caudal (l/s)	Fecha de aforo	Caudal (l/s)
24-02-94	8,00	06-08-96	3,00
13-04-94	7,00	27-11-96	9,00
07-06-94	7,00	08-01-97	11,00
06-07-94	7,00	06-02-97	10,00
20-01-95	11,00	04-03-97	196,00
23-02-95	10,00	08-04-97	8,00
03-05-95	5,00	05-06-97	8,00
06-02-96	9,00	22-07-97	6,00
26-03-96	8,00	24-10-97	14,00
20-05-96	6,00	13-01-98	12,00
05-06-96	8,00	27-02-98	9,00

### 11.3 Anexo 3. Pruebas de velocidad de infiltración

#### Fuente Amelia

Volumen de infiltración (cm <sup>3</sup> )	Area de Infiltración (cm <sup>2</sup> )	Tiempo acum. (s)	Tiempo entre lecturas (s)	Tasa de infiltración (m/d)
0.00	3696	30	30	0.0
7200.00	2736	60	30	74.2
4050.00	2196	90	30	52.0
2340.00	1884	120	30	35.0
1170.00	1728	150	30	19.1
630.00	1644	180	30	10.8
720.00	1548	210	30	13.1
360.00	1500	240	30	6.8
270.00	1464	270	30	5.2
360.00	1416	300	30	7.2
1530.00	1212	420	120	8.9
Promedio =				23.2
Desv est. =				22.1

#### Fuente Patal

Volumen de infiltración (cm <sup>3</sup> )	Area de Infiltración (cm <sup>2</sup> )	Tiempo acum. (s)	Tiempo entre lecturas (s)	Tasa de infiltración (m/d)
0.00	5520	0	30	0.00
2250.00	5220	30	30	12.16
2250.00	4920	60	30	12.90
3150.00	4500	120	60	9.87
2700.00	4140	180	60	9.20
3150.00	3720	300	120	5.97
4050.00	3180	420	120	8.98
1800.00	2940	540	120	4.32
2700.00	2580	660	120	7.38
1800.00	2340	780	120	5.42
1350.00	2160	900	120	4.41
1800.00	1920	1020	120	6.61
Promedio =				7.93
Desv. Est.				2.81

## Fuente Los Angeles

Volumen de infiltración (cm3)	Area de Infiltración (cm2)	Tiempo acum. (s)	Tiempo entre lecturas (s)	Tasa de infiltración (m/d)
0.00	4500	0	30	0.00
2700.00	4140	30	30	18.39
1800.00	3900	60	30	13.02
3600.00	3420	120	60	14.84
2700.00	3060	180	60	12.44
900.00	2940	300	120	2.16
900.00	2820	420	120	2.25
900.00	2700	540	120	2.35
0.00	2700	660	120	0.00
900.00	2580	780	120	2.46
900.00	2460	900	120	2.58
450.00	2400	1020	120	1.32
Promedio =				6.53
Desv. Est.				6.35

## Fuente San Roque

Volumen de infiltración (cm3)	Area de Infiltración (cm2)	Tiempo acum. (s)	Tiempo entre lecturas (s)	Tasa de infiltración (m/d)
0.00	6780	0	30	0.00
1890.00	6528	30	30	8.16
1170.00	6372	60	30	5.18
2340.00	6060	120	60	5.44
2430.00	5736	180	60	5.97
3690.00	5244	300	120	4.96
2700.00	4884	420	120	3.90
1620.00	4668	540	120	2.45
1800.00	4428	660	120	2.87
810.00	4320	780	120	1.32
1170.00	4164	900	120	1.98
540.00	4092	1020	120	0.93
Promedio =				3.92
Desv. Est.				2.13

### 11.4 Anexo 4. Pruebas de granulometría

#### Fuente Patal

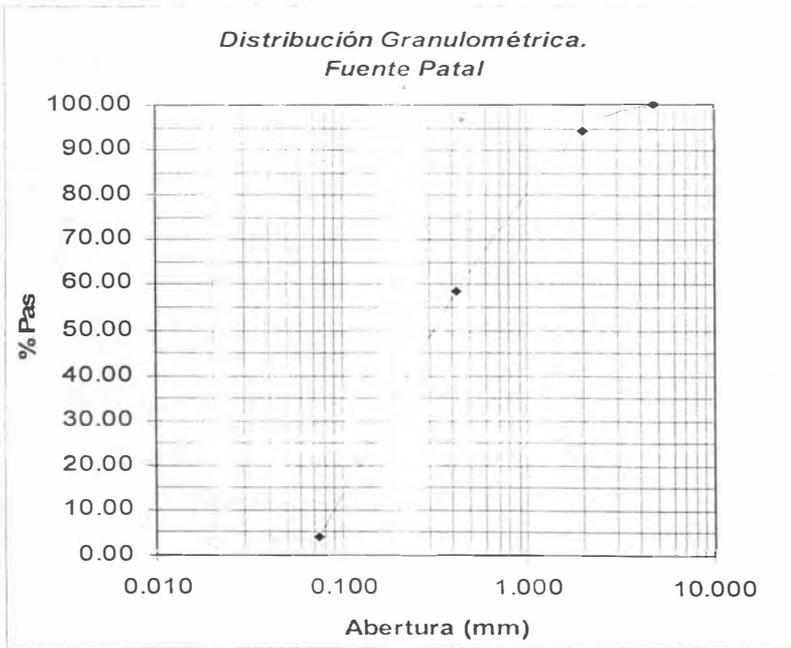
Malla	Abertura (mm)	Wcap (g)	Wsuel+cap (g)	Wret (g)	W ret.acum (g)	% Ret	% Pas
4	4.760	0	0	0	0	0.00	100.00
10	2.000	103	107.8	4.8	4.8	5.45	94.55
40	0.420	121.6	153.2	31.6	36.4	41.36	58.64
200	0.074	103.6	151.8	48.2	84.6	96.14	3.86
Charola		103.2	106.6	3.4	88	100.00	0.00
Total:				88			

d10	0.09
d30	0.16
d60	0.42

Cu	4.67
Cc	0.68

Clasificación:	
SP	Arena mal graduada

$k = 100 \cdot d_{10}^2$	k	7.0	m/día
--------------------------	---	-----	-------



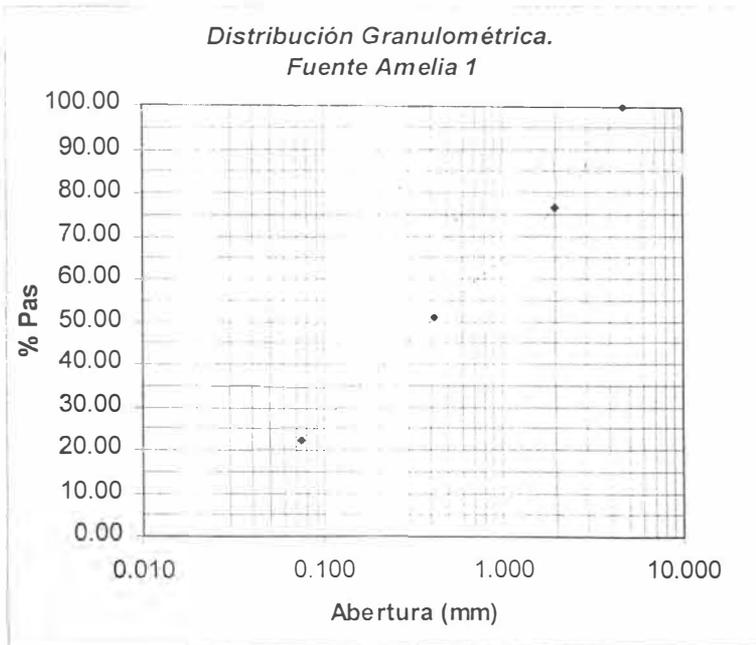
**Fuente Amelia 1**

Malla	Abertura (mm)	Wcap (g)	Wsuel+cap (g)	Wret (g)	W ret.acum (g)	% Ret	% Pas
4	4.760	0	0	0	0	0.00	100.00
10	2.000	126.2	143.2	128.6	128.6	23.52	76.48
40	0.420	124.6	174.4	138.6	267.2	48.87	51.13
200	0.074	102.2	146.4	157.8	425	77.72	22.28
Charola		120.4	122.4	121.8	546.8	100.00	0.00
Total:				546.8			

d10	0.035
d30	0.12
d60	0.65

Cu	18.57
Cc	0.63

Clasificación:	
SP	Arena mal graduada



**Fuente Amelia 2**

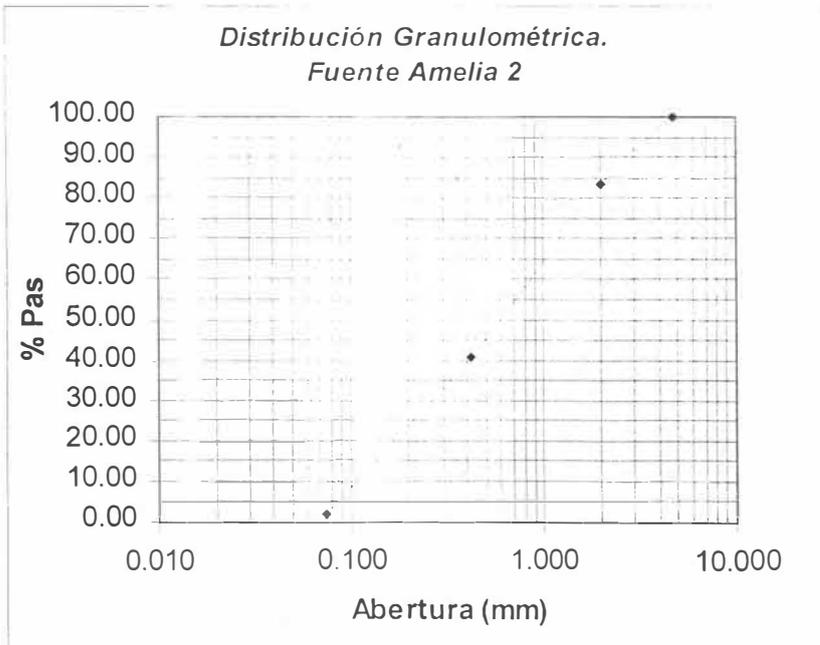
Malla	Abertura (mm)	Wcap (g)	Wsuel+cap (g)	Wret (g)	W ret.acum (g)	% Ret	% Pas
4	4.760	0	0	0	0	0.00	100.00
10	2.000	126.2	143.2	18.6	18.6	16.46	83.54
40	0.420	124.6	174.4	48.2	66.8	59.12	40.88
200	0.074	102.2	146.4	44.2	111	98.23	1.77
Charola		120.4	122.4	2	113	100.00	0.00
Total:				113			

d10	0.12
d30	0.25
d60	0.82

Cu	6.83
Cc	0.64

Clasificación:	
SP	Arena mal graduada

k	12.4	m/día
---	------	-------



**Fuente Los Angeles**

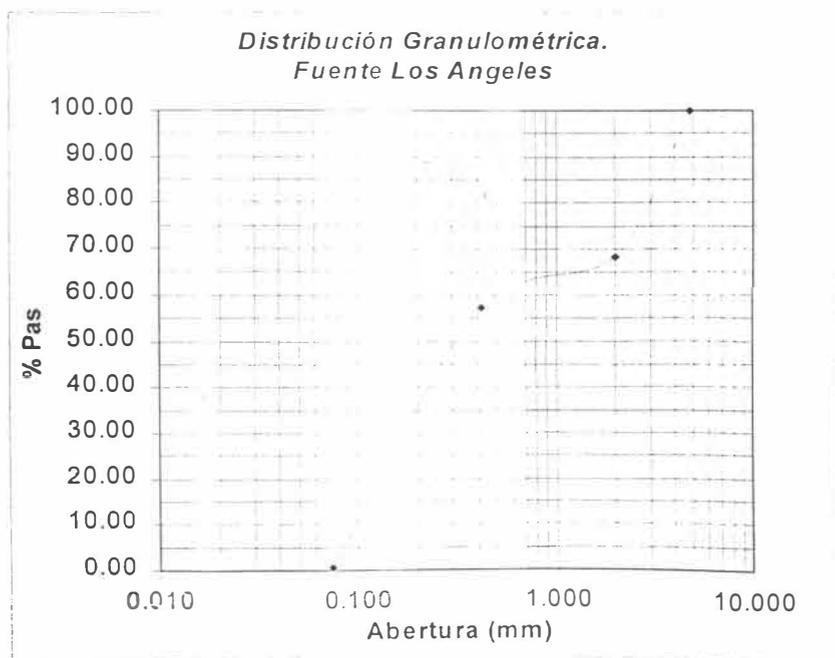
Malla	Abertura (mm)	Wcap (g)	Wsuel+cap (g)	Wret (g)	W ret.acum (g)	% Ret	% Pas
4	4.760	0	0	0	0	0.00	100.00
10	2.000	121.6	123.4	20.4	20.4	31.48	68.52
40	0.420	103	128.8	7.2	27.6	42.59	57.41
200	0.074	105.4	142.2	36.8	64.4	99.38	0.62
Charola		103.2	103.6	0.4	64.8	100.00	0.00
Total:				64.8			

d10	0.097
d30	0.17
d60	0.5

Cu	5.15
Cc	0.60

Clasificación:	
SP	Arena mal graduada

k	8.1	m/día
---	-----	-------



**Fuente San Roque**

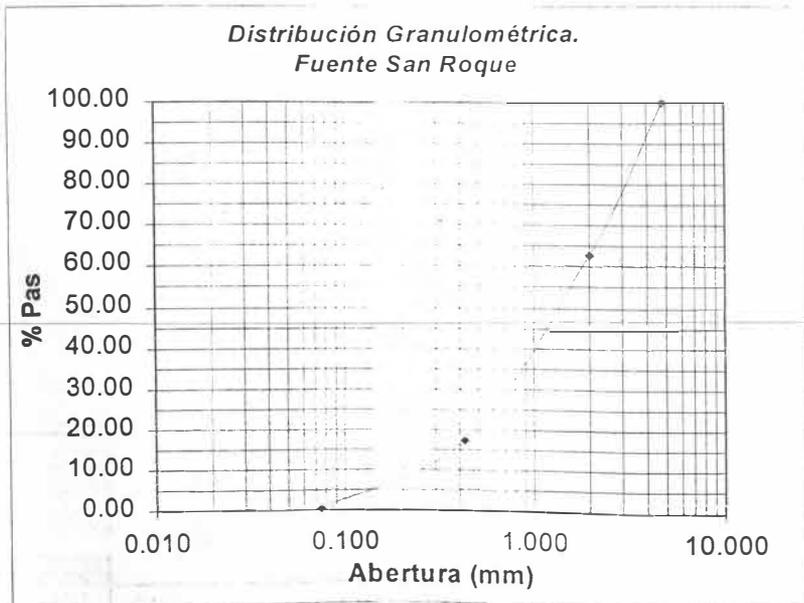
Malla	Abertura (mm)	Wcap (g)	Wsuel+cap (g)	Wret (g)	W ret.acum (g)	% Ret	% Pas
4	4.760	0	0	0	0	0.00	100.00
10	2.000	122.8	182.65	59.85	59.85	37.01	62.99
40	0.420	122.8	196.66	73.86	133.71	82.69	17.31
200	0.074	104	131.4	27.4	161.11	99.63	0.37
Charola		104	104.6	0.6	161.71	100.00	0.00
Total:				161.71			

d10	0.22
d30	0.7
d60	1.8

Cu	8.18
Cc	1.24

Clasificación:	
SP	Arena Bien Graduada

k	41.8	m/día
---	------	-------



## 11.5 Anexo 4. Ejemplo de los perfiles litológicos utilizados

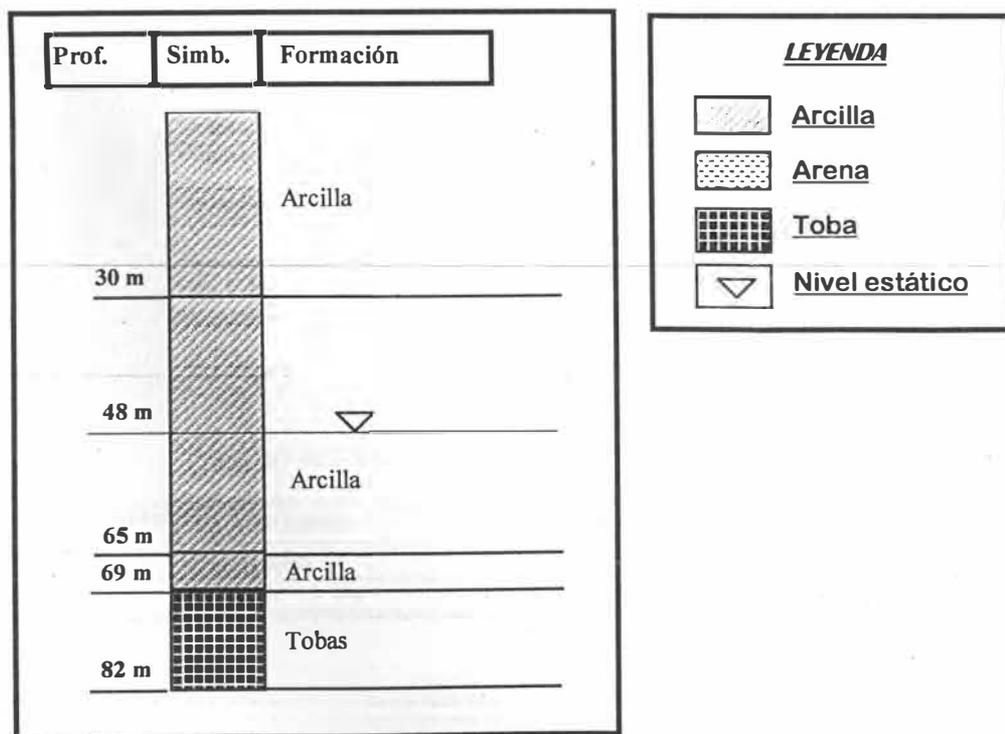
### **Pozo Número 141**

**Ubicación:** este pozo está localizado en Rincón de Arias-Grecia. Ubicado aproximadamente en las coordenadas 227.50 de latitud norte y 500.10 de longitud este en la hoja cartográfica Naranja del Instituto Geográfico Nacional, escala 1:50000.

**Elevación:** 916 m.s.n.m.

**Nivel estático:** 48 m de profundidad.

**Aspectos litológicos:** con base en la observación de los cortados y en datos aportados por el perforador, se determinó que la litología está compuesta de la siguiente manera.



### Pozo Número 195

**Ubicación:** este pozo está ubicado aproximadamente en las coordenadas 230.40 de latitud norte y 502.50 de longitud este en la hoja cartográfica Naranja del Instituto Geográfico Nacional, escala 1:50000.

**Elevación:** 1036 m.s.n.m.

**Nivel estático:** 48 m de profundidad.

**Aspectos litológicos:** con base en la observación de los cortados y en datos aportados por el perforador, se determinó que la litología está compuesta de la siguiente manera.

