

## **Acueducto de la Comunidad de Banderillas de San Nicolás de Cartago: origen de la contaminación por nitratos y su posible impacto sobre la salud de los usuarios**

*Darner A. Mora Alvarado (1)*  
*Federico Arellano Hartig (2)*  
*Mauricio Vásquez Fernández(3)*  
*Edgar Serrano Gamboa (4)*

### **RESUMEN**

Los estudios de vigilancia de la calidad del agua suministrada por los acueductos municipales realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas, permitieron determinar que el acueducto de Banderillas de San Nicolás de Cartago, está contaminado con altas concentraciones de nitratos en las diferentes etapas del sistema. En razón de esto, este estudio tiene como objetivo determinar el origen de la contaminación por nitratos en las nacientes Calvo y Banderillas; además, investigar el posible impacto sobre la salud de los usuarios, mediante una encuesta a los habitantes de la zona en estudio y una comunidad control como Lomas de Quircot.

El origen de la contaminación (tanques sépticos y fertilizantes nitrogenados) se realizó con inspecciones y evaluaciones de riesgo sanitario en las nacientes, tanque y red de distribución. Además, se investigó el uso de plaguicidas y fertilizantes en la oficina del Ministerio de Agricultura en Llano Grande de Cartago. Por otro lado, se elaboraron análisis de plaguicidas en las dos nacientes y en una pequeña quebrada que atraviesa el terreno en donde se encuentran ambas fuentes de agua. Aunado a esto, se realizaron estudios de permeabilidad del suelo, con el propósito de medir la vulnerabilidad y la Conductividad hidráulica vertical y contaminación del acuífero.

Los resultados indican que las dos nacientes son de alto riesgo para la contaminación, lo cual se ratifica con la fuerte Conductividad hidráulica vertical de los suelos y la presencia de picos de plaguicidas no conocidos en los cromatogramas, pero sobre todo la presencia de nitratos en la quebrada Calvo; esto sugiere que la contaminación por nitratos se da por escorrentía. Las encuestas de salud realizadas en Banderillas y en la comunidad control, no demuestra que los altos contenidos de nitratos en las aguas para consumo humano de Banderillas estén causando Metahemoglobinemia. Sin embargo, sí se observa un incremento de intoxicaciones alimentarias, aunque estos resultados no son estadísticamente significativos debido a la pequeña población de ambas comunidades. Por último, se recomienda a la Municipalidad de Cartago buscar otras fuentes de agua, para eliminar las existentes y suministrar así agua de calidad potable.

*(1) Master en Salud Pública. Director Laboratorio Nacional de Aguas*  
*(2) Master en Ingeniería Sanitaria, Master en Hidrogeología. Operación de Sistemas AyA*  
*(3) Master en Hidrogeología. Operación de Sistemas AyA*  
*(4)Asistente. Laboratorio Nacional de Aguas*

## **Acueducto de la comunidad de Banderillas de San Nicolás de Cartago: origen de la contaminación por nitratos y su posible impacto sobre la salud de los usuarios**

### **1. INTRODUCCION**

La comunidad de Banderillas pertenece al distrito de San Nicolás de Cartago y se encuentra ubicada en las faldas del Volcán Irazú, a una altitud de 1850 msnm. En esta comunidad viven unas 400 personas dedicadas a la agricultura de legumbres, hortalizas, zanahorias, cebollas y papas. La población se abastece de agua para consumo humano (ACH) mediante un acueducto municipal. Dicho sistema consiste en dos nacientes (Banderillas y Calvo), un tanque de almacenamiento y una pequeña red de distribución abastecida por gravedad. El sistema es sometido a desinfección continua mediante cloro líquido. La tarifa domiciliar mensual es de  $\$525^{00}$ .

Los análisis de los programas municipales de vigilancia de la calidad del ACH <sup>(1y2)</sup>, reflejan que el acueducto suministra agua microbiológicamente potable, pero los altos contenidos de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) la califican como agua de calidad no potable. Los contenidos de nitratos, además de ser un riesgo para la salud de los usuarios <sup>(3, 4, 5, 6)</sup>, también son un excelente indicador del uso del suelo; su presencia en ACH podría indicar la existencia de otros compuestos químicos tóxicos como plaguicidas y compuestos orgánicos volátiles (VOC) <sup>(7, 8 y 9)</sup>. El origen de la contaminación por nitratos en las aguas subterráneas puede ser causado por lixiviación de materia fecal (humano o animal), y al uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura <sup>(10)</sup>. En este sentido, en algunas fuentes de agua del Valle Central de Costa Rica, diferentes estudios han demostrado una persistente contaminación por  $\text{NO}_3^-$  sin sobrepasar aun los promedios de valor máximo permisible de 50 mg/L <sup>(11, 12 y 13)</sup>. Sin embargo, la determinación de los orígenes de la contaminación de estos acuíferos (Barba, Colina Superior e Inferior) es confusa; algunos investigadores se la atribuyen al uso de tanques sépticos, la ausencia de tratamiento de los desechos líquidos domésticas, y el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de café y en las plantaciones de helechos <sup>(14)</sup>.

En razón de esto y debido a la importancia científica, la presente investigación tiene como propósito determinar los orígenes de la contaminación por  $\text{NO}_3^-$  en las fuentes de agua del acueducto de Banderillas, analizando el posible impacto sobre la salud de los usuarios del sistema.

### **2. OBJETIVOS**

#### **2.1 General**

Determinar el nivel y los orígenes de la contaminación por nitratos del acueducto de Banderillas y su posible impacto sobre la salud de los usuarios, mediante inspecciones sanitarias, estudio geológico e hidrogeológico de la zona de estudio, análisis de laboratorio de las aguas de las nacientes y encuestas sobre aspectos de salud a los usuarios de la comunidad y su comparación con una población control (Lomas de Quircot).

## 2.2 Específicos

- <sup>35</sup><sub>17</sub> Realizar inspecciones y evaluación de riesgo de las estructuras del acueducto de Banderillas.
- <sup>35</sup><sub>17</sub> Evaluar la calidad físico –química y microbiológica del acueducto de Banderillas y Lomas de Quircot (Control).
- <sup>35</sup><sub>17</sub> Realizar análisis de plaguicidas en las fuentes de agua del acueducto.
- <sup>35</sup><sub>17</sub> Efectuar un estudio geológico e hidrogeológico en la zona.
- <sup>35</sup><sub>17</sub> Realizar encuestas a la población de Banderillas sobre aspectos relacionados con salud (cáncer gástrico, diarreas, cianosis y problemas respiratorios), comparándolos con una comunidad cercana y semejante a Banderillas como Lomas de Quircot (control).

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos mencionados se aplicaron los siguientes pasos:

### 3.1 Evaluación del riesgo sanitario y diagrama de los acueductos

#### 3.1.1 Evaluación del riesgo sanitario

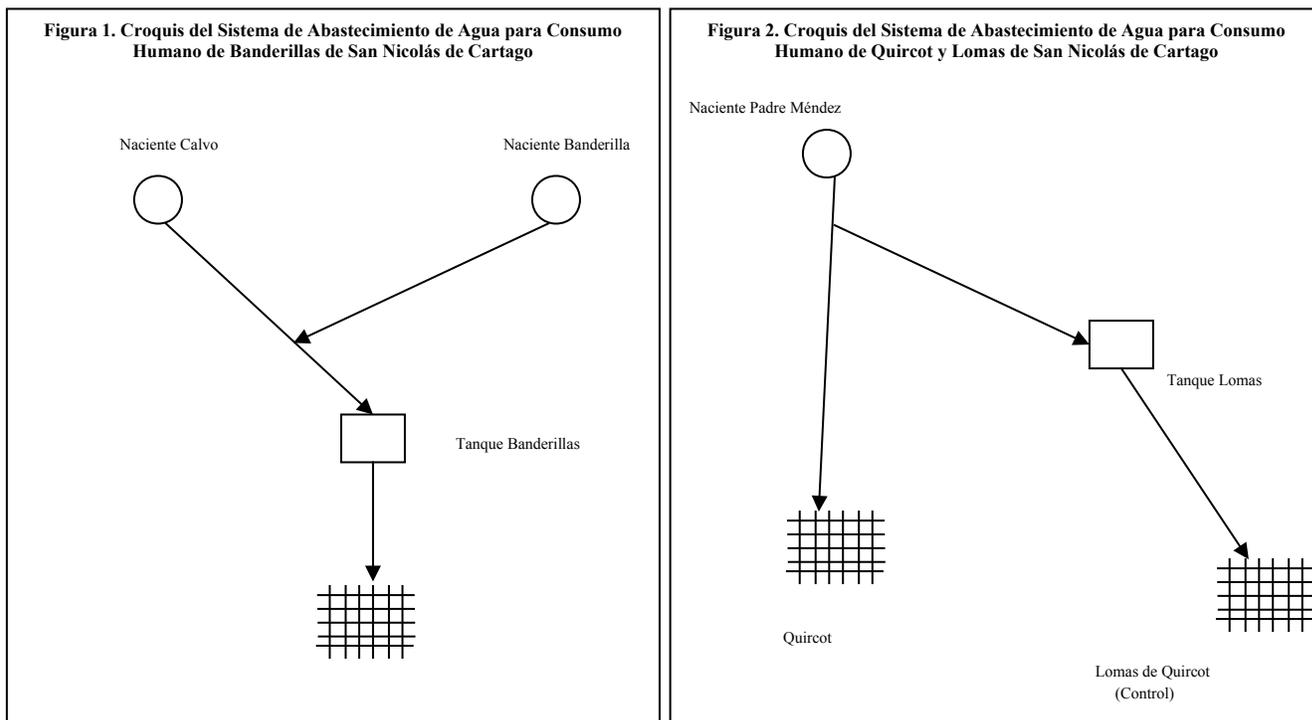
Para evaluar el riesgo sanitario de las estructuras de ambos acueductos (Banderillas y Lomas de Quircot), se utilizó la encuesta sanitaria y se modificó el sistema de evaluación de riesgo sanitario <sup>(15)</sup>, usando la concentración de nitratos en lugar del Número mas Probable de Coliformes Fecales/ 100 mL. Esta variación se fundamenta en que el mayor factor de riesgo es, precisamente, la contaminación química, en donde los nitratos son un magnifico indicador. En el ANEXO A se presenta la encuesta sanitaria usada en la inspección; en el siguiente cuadro 1 se presenta el sistema de evaluación de riesgo sanitario:

**Cuadro 1. Sistema de Evaluación de Riesgo Sanitario Modificado a Nitratos**

<b>ÁMBITO</b>	<b>NITRATOS mg/L</b>	<b>CLASIFICACION DEL RIESGO</b>	<b>CODIGO COLORES</b>
<b>A</b>	<b>0 - &lt;10</b>	<b>NULO</b>	<b>AZUL</b>
<b>B</b>	<b>10 - &lt;15</b>	<b>BAJO</b>	<b>TURQUESA</b>
<b>C</b>	<b>15 - &lt;25</b>	<b>INTERMEDIO</b>	<b>VERDE</b>
<b>D</b>	<b>25 - &lt;50</b>	<b>ALTO</b>	<b>AMARILLO</b>
<b>E</b>	<b>≥50</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>ROJO</b>

#### 3.1.2 Esquema de los acueductos

En las figuras 1 y 2 se presentan los esquemas de ambos acueductos (Banderillas y Lomas):



### 3.2 Calidad del agua

Los muestreos y los análisis físico-químicos y microbiológicos de las fuentes de agua, tanques y redes de distribución, se realizaron siguiendo las directrices de los Métodos Estándar <sup>(16)</sup>.

### 3.3 Análisis de plaguicidas y fertilizantes nitrogenados

Los plaguicidas y fertilizantes nitrogenados se realizaron mediante cromatografía líquida (HPLC), con detector de arreglo de diodos (PDA). Dichos análisis se hicieron en el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas de la Universidad Nacional <sup>(17)</sup>.

### 3.4 Estudio geológico e hidrogeológico en la zona

Se hizo una caracterización geológica de la zona mediante información geológica de una parte de la hoja Istarú <sup>(18)</sup>. Con el propósito de valorar el impacto de un contaminante a través del suelo sobre las nacientes se realizaron dos pruebas para determinar la conductividad hidráulica vertical en la zona de estudio utilizando el método de Porchet. Además se realizó un inventario de pozos existentes en la zona y se recopiló la información relativa a niveles freáticos, caudales, litología de los pozos según información disponible en los archivos del SENARA <sup>(19)</sup>. Con esa información se elaboró un mapa con las líneas isofreáticas y la dirección del flujo subterráneo, además se realizó un perfil estratigráfico de acuerdo a la información litológicas de los pozos.

### **3.5 Análisis de nitratos en aguas superficiales en los alrededores de las fuente de agua del acueducto de Banderillas**

Con el objetivo de evaluar el efecto de escorrentía y el arrastre de fertilizantes nitrogenados usados en la agricultura de la zona, se muestreó y evaluó los contenidos de nitratos en la Quebrada Calvo.

### **3.6 Encuestas para evaluar el impacto de salud en los usuarios del Acueducto Banderillas y Lomas de Quircot**

Para evaluar el posible impacto de los altos contenidos de nitratos en las ACH sobre la salud de los usuarios, se realizaron encuestas a las familias ubicadas en Banderillas (zona de estudio) y en Lomas de Quircot (control); en el ANEXO B se presenta la encuesta utilizada para realizar la mencionada evaluación.

## **4. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Los resultados y los análisis respectivos se presentan en orden concordante con los objetivos específicos y la metodología utilizados.

### **4.1 Evaluación de riesgo sanitario**

De conformidad con las modificaciones realizadas al Sistema de Evaluación de Riesgo Sanitario de los Acueductos, a continuación se presenta en el cuadro 2 con la evaluación de riesgo modificada para la contaminación con nitratos en las estructuras de los acueductos de Banderillas y Lomas de Quircot.

En este aspecto, es importante reiterar que el sistema de Lomas de Quircot se utilizó como control y el de Banderillas como estudio, para efecto de evaluar los contenidos de nitratos en el ACH sobre la salud de los usuarios.

**Cuadro 2. Evaluación de Riesgo Sanitario Modificado para Contaminación con Nitratos en Lomas de Quircot y Banderillas de Cartago, 2005**

Acueducto	Nombre de Estructura	Tipo de estructura	Nº de fallas	Ambito de nitratos	Valor nitrato (mg/L)	Calificación del riesgo	Color	Prioridad de acciones de corrección
Quircot Norte y Urb.Lomas	Padre Méndez	Naciente	4	A	4	Intermedio	VERDE	Mediana prioridad
Quircot Norte y Urb.Lomas	Lomas Metálico	Tanque	2	A	4	Intermedio	VERDE	Mediana prioridad
Quircot Norte y Urb.Lomas	Línea de tubería	Línea de tubería	1	A	4	Intermedio	VERDE	Mediana prioridad
Banderilla	Calvo	Naciente	9	E	73		MUY ALTO	Inmediatas y urgentes
Banderilla	Barbilla	Naciente	9	E	70		MUY ALTO	Inmediatas y urgentes
Banderilla	Almacenamiento	Tanque	2	E	67		MUY ALTO	Inmediatas y urgentes
Banderilla	Línea de tubería	Línea de tubería	3	E	67		MUY ALTO	Inmediatas y urgentes

Los resultados de la ERS indican que el acueducto de Banderillas es de alto riesgo sanitario y es urgente tomar medidas correctivas inmediatas. En el caso de Lomas de Quircot, el sistema es de riesgo intermedio.

#### 4.2 Calidad físico-química y microbiológica de los acueductos

En el cuadro 3 se resume los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del acueducto de Banderillas respectivamente.

**Cuadro 3. Resultados del Control Físico-Químicos y Microbiológicos de Banderillas de San Nicolás de Cartago, 2000-2005**

Estructura del acueducto	Color Verdadero UPT/Co	Turbiedad UNT	Dureza total	Sulfatos mg/L	Cloruros mg/L	Fluoruros mg/L	Nitratos mg/L	Conduc. uS	Colif. Fecales/ 100 mL
Nac. Calvo	0	0.4	181	117	38	--	73	479	Neg
Nac. Baderillas	0	0.30	198	57	16	0.47	72	460	Neg
Red de distribución	0	0.32	178	--	--	--	70	462	Neg

**INTERPRETACIÓN:** la calidad del agua es no potable, debido a los contenidos de nitratos.

**FUENTE:** Laboratorio Nacional de Aguas.

En el cuadro 4 se resumen los resultados físico-químicos y microbiológicos del acueducto de Lomas de Quircot.

**Cuadro 4. Resultados del Control Físico-Químicos y Microbiológicos de Lomas de Quircot de Cartago, 2000-2005**

Estructura del acueducto	Color Verdadero UPT/Co	Turbiedad UNT	Dureza total	Sulfatos mg/L	Cloruros mg/L	Fluoruros mg/L	Nitratos mg/L	Conduc. uS	Colif. Fecales/ 100 mL
Nac. Padre Méndez	0	0.35	132	58	4	0.50	4	303	Neg
Tanque Lomas	0	0.52	130	58	4	0.47	4	284	Neg
Red de distribución	0	0.62	131	59	4	--	4	280	Neg

**INTERPRETACIÓN:** agua de calidad potable.

**FUENTE:** Laboratorio Nacional de Aguas.

### 4.3 Análisis de fertilizantes nitrogenados y plaguicidas

Para efectos de estudiar cuáles eran los fertilizantes nitrogenados utilizados por los campesinos en los cultivos de papa, zanahoria, cebolla y otras legumbres, se visitó las oficinas del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), con el objetivo de investigar cuales son y como se utilizan estos fertilizantes en la zona de Banderillas.

#### 4.3.1 Fertilizantes nitrogenados usados

Fertilizantes utilizados en la siembra: 10-30-10, 12-24-12.

Fertilizantes utilizados en aparca: 18-5-16-6-0, 2, 19-4-19-3-01 (b)-1, 8 (5)-0.1 (2N)

Fertilizantes usados foleares: 12-60-0.

Además se usa nitrato de potasio, aluminio de potasio y otros.

La dosis recomendada en siembras: de 8 a 14 sacos por 10.000 m<sup>2</sup>.

En la época es de 8 a 12 sacos por 10.000 m<sup>2</sup>.

La época de siembra y aparca es durante todo el año.

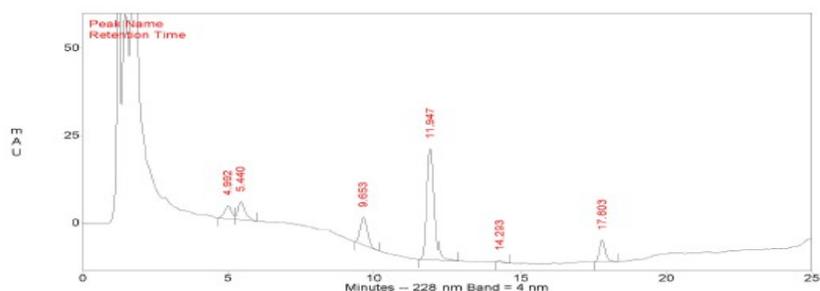
El promedio de las fincas es de 2 manzanas, pero existen hasta de 40 manzanas. Los datos fueron suministrados por el Sr. Iván Serrano, de la oficina del MAG en Llanos Grande de Cartago (Telefax 530-12-65).

#### 4.3.2 Análisis de plaguicidas

En el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas de la Universidad Nacional (UNA), se realizaron análisis de 22 plaguicidas en la naciente Calvo, quebrada Calvo y naciente Banderillas, en donde los contenidos de nitratos sobrepasaron los 70 mg/L. Los resultados indican que todos están bajo el límite de detección del método; sin embargo, se

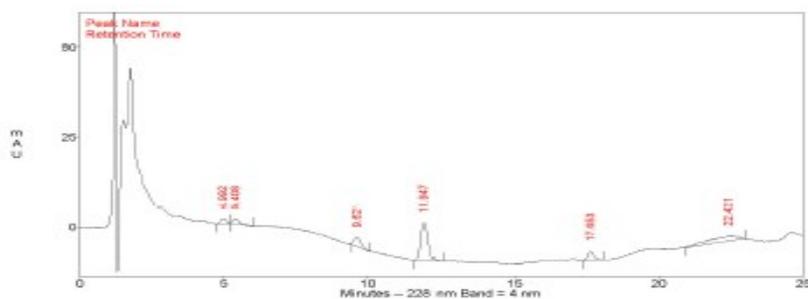
detectaron algunos picos no identificados en las tres muestras. En la figura 3 se presentan los cromatogramas en donde se observan los mismos. Esto quiere decir que sí existe contaminación por plaguicidas, para los cuales no hay patrones de laboratorio definidos.

**Figura 3. Cromatogramas de Plaguicidas Realizados en la Naciente Banderillas, Naciente Calvo y la Quebrada Calvo**



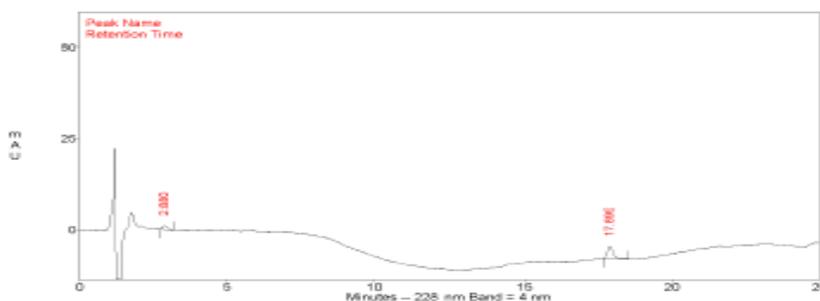
Channel 2 Results -- FDA Channel 2, 228 nm, 4 nm Band

Sustancia	Tr	Area	Altura	Ancho 50%	Cn ug/mL
Atrazina Deset	4.10	0	0	0.000	0.00
Bromacil	7.60	0	0	0.000	0.00
Hexazinona	8.90	0	0	0.000	0.00
Carbaryl	9.90	0	0	0.000	0.00
Atrazina	12.60	0	0	0.000	0.00
Diuron	13.70	0	0	0.000	0.00
Ametrina	14.90	0	0	0.000	0.00
Terbutilazina	17.50	0	0	0.000	0.00
Diazinon	23.50	0	0	0.000	0.00



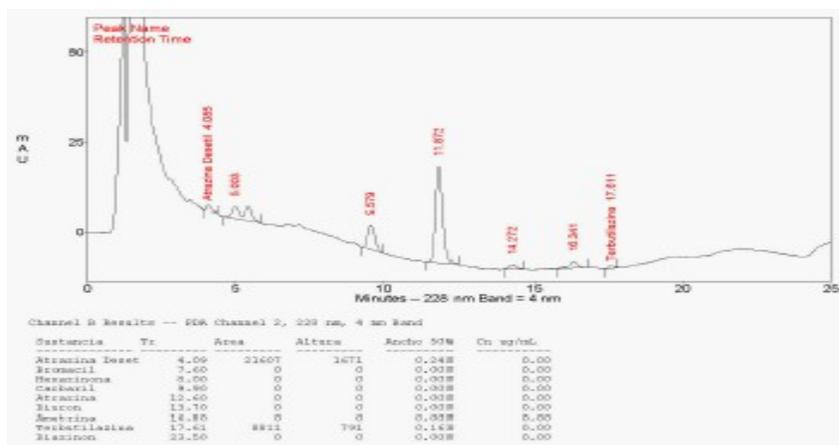
Channel 2 Results -- FDA Channel 2, 228 nm, 4 nm Band

Sustancia	Tr	Area	Altura	Ancho 50%	Cn ug/mL
Atrazina Deset	4.10	0	0	0.000	0.00
Bromacil	7.60	0	0	0.000	0.00
Hexazinona	8.90	0	0	0.000	0.00
Carbaryl	9.90	0	0	0.000	0.00
Atrazina	12.60	0	0	0.000	0.00
Diuron	13.70	0	0	0.000	0.00
Ametrina	14.85	0	0	0.000	0.00
Terbutilazina	17.50	0	0	0.000	0.00
Diazinon	23.50	0	0	0.000	0.00



Channel 2 Results -- FDA Channel 2, 228 nm, 4 nm Band

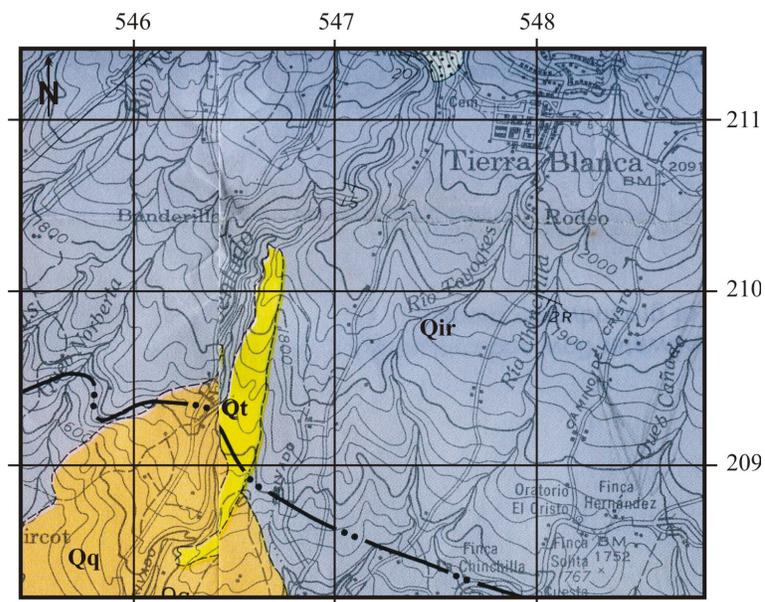
Sustancia	Tr	Area	Altura	Ancho 50%	Cn ug/mL
Atrazina Deset	4.10	0	0	0.000	0.00
Bromacil	7.60	0	0	0.000	0.00
Hexazinona	8.90	0	0	0.000	0.00
Carbaryl	9.90	0	0	0.000	0.00
Atrazina	12.60	0	0	0.000	0.00
Diuron	13.70	0	0	0.000	0.00
Ametrina	14.85	0	0	0.000	0.00
Terbutilazina	17.50	0	0	0.000	0.00
Diazinon	23.50	0	0	0.000	0.00



#### 4.4 Geología de la zona de Banderillas

Krushensky (1972) definió la geología de la hoja Istarú. Esta influenciada directamente por la actividad del volcán Irazú que se localiza al noreste de la zona de estudio. En su mayoría existen depósitos de flujos de lava, lahares, brechas conglomerádicas y depósitos de ceniza, incluidos dentro del Grupo Irazú específicamente en las formaciones Reventado, Sapper, Birris y Cervantes, de edad Pleistoceno tardío – Holoceno (menores a 1 millón de años).

**Figura 4. Mapa geológico de una parte de la Hoja Istarú, tomado de Krushensky (1972).**



La zona de estudio se localiza dentro del Miembro Superior de la Formación Reventado ( $Q_{ir}$  de la Figura 4) (Krushensky, 1972). Está bien expuesto a lo largo de los ríos Reventado, Tiribí, Birris y otros, en afloramientos de unos 3 a 4 km de largo. Este miembro tiene unos 600 m de espesor, hay por lo menos 4 flujos de lava extensos y numerosos flujos de

menor extensión, en general son lavas de color gris oscuro a claro de composición basáltico andesítico. Los afloramientos de las partes superiores de este miembro consisten principalmente de lahares, son fácilmente erosionados e inestables, hay abundantes fragmentos de roca con tamaños desde arena hasta bloques de 5 m, angulares y subredondeados, englobados en una matriz color café oscuro a claro, de granulometrías finas como arenas finas y limos, con poco contenido de arcilla. Las unidades  $Q_q$  y  $Q_t$  (Figura 4) corresponden a depósitos de lahares recientes y aluviones del río Reventado.

## 4.5 HIDROGEOLOGÍA

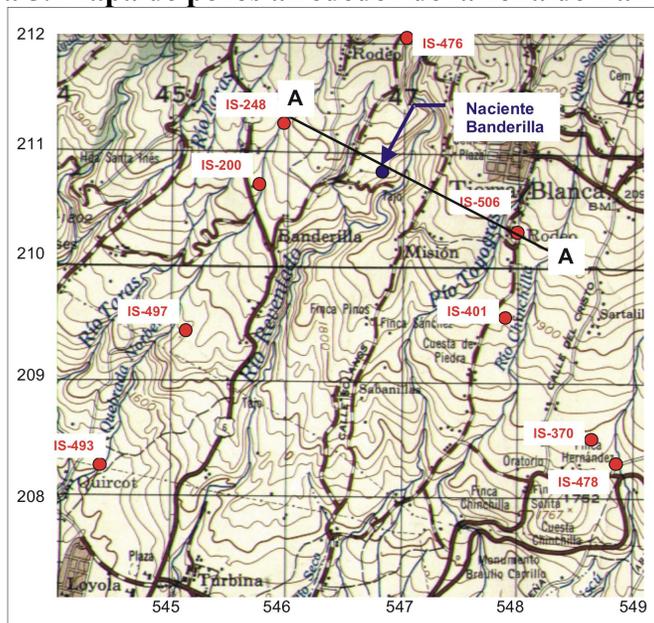
### 4.5.1 Características y producción de los pozos

Esta zona ha sido relativamente explotada desde el punto de vista del recurso hídrico subterráneo, se tienen registros de perforaciones realizadas desde 1969 siendo el pozo IS-156 propiedad de la compañía Linda Vista S.A el que ostenta el registro más antiguo. A partir de entonces se han construido 36 pozos privados para usos principalmente de riego. El detalle de la información técnica de la construcción de los pozos y la litología de las perforaciones se obtuvieron del archivo del SENARA.

En general los pozos construidos se perforaron en diámetros de 10" y en su mayoría se armaron en 6" en PVC con empaque de grava, se utilizaron rejillas del mismo material y del mismo diámetro. El principal método de perforación utilizado es el de percusión con cable, la profundidad promedio de los mismos es de 67 m, siendo el de menor profundidad el IS-247 de 21 m y el de mayor profundidad el IS-497 con 178 m. La producción de los pozos es variable, los caudales de prueba oscilan entre 0,31 hasta 4 l/s.

Adicionalmente a los pozos profundos mencionados, existe una serie de manantiales, 36 en total, registrados en SENARA cuyos caudales son generalmente inferiores a 1 l/s y cuyo aprovechamiento es para riego principalmente.

**Figura 5. Mapa de pozos alrededor de la zona de Banderillas**



**Cuadro 5. Inventario de pozos.**

Archivo de datos del SENARA. Pozos entre coordenadas latitud 208 – 215 y longitud 544 – 549

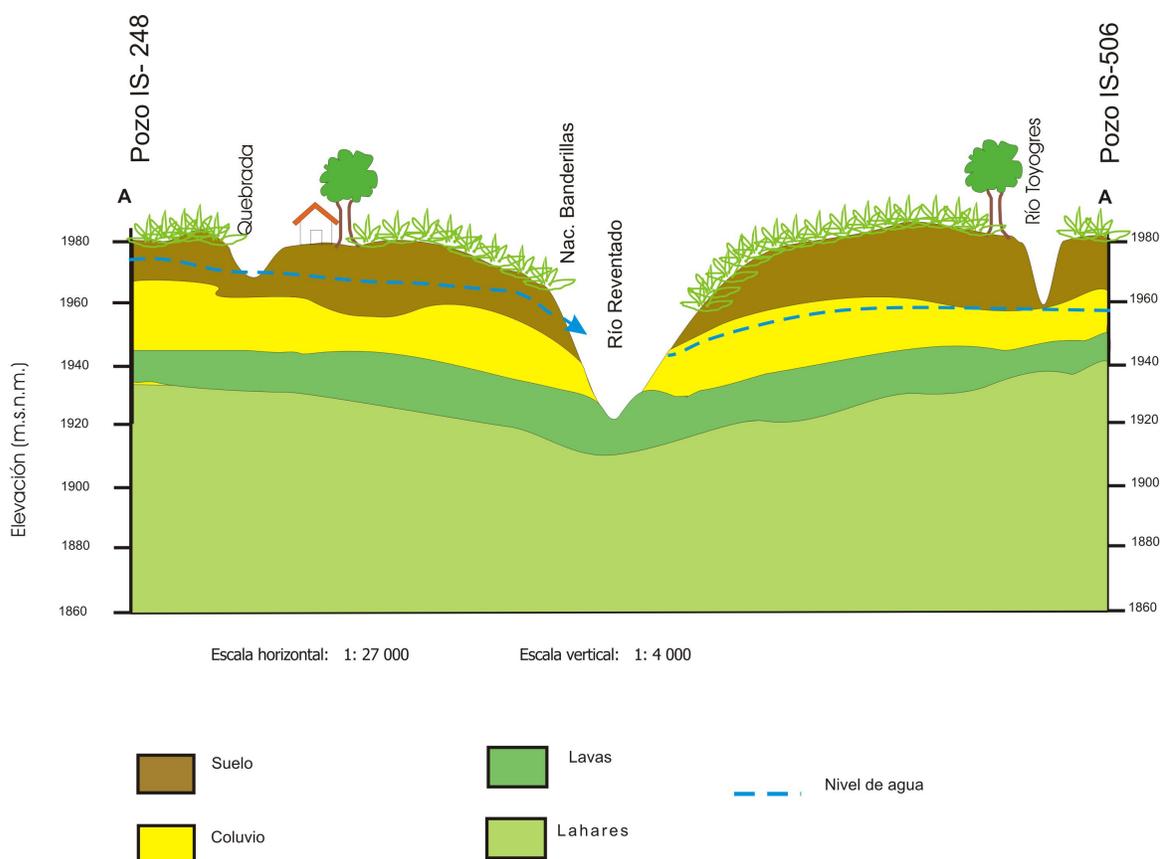
Identificación	Propietario	Coordenadas		Usos	Prof. (m)	NE (m)	Caudal prueba (l/s)	Litología
		Latitud	Longitud					
ILG-22	American Flower Co.	212,300	546,400	Riego			1,4	No
ILG-264	American Flower Co.	212,200	546,400	Riego			1,4	No
ILG-308	Cooperativa de floríc.	212,500	545,900	Riego			1,4	No
IS-156	Linda Vista S.A	214,570	544,800	Riego	57,50	24	2,0	Sí
IS-171	Brumas Bajas S.A	214,750	544,250	Doméstico	73,50	46	3,0	Sí
IS-175	Roberto Solórzano	211,600	544,700	Riego	120		4,0	No
IS-181	Ganadería El Caracol	212,650	545,150	Agroindust.	34	2,50	1,26	Sí
IS-183	Vivero El Zamorano	211,530	544,250	Riego	60			No
IS-186	Piedra y Navarro, S.A	210,050	545,600	Doméstico	40			No
IS-187	American Flower Co.	212,250	545,850	Riego	25	3	0,38	Sí
IS-200	Coopeprimavera	210,700	545,700	Riego	40	2,0	2,0	Sí
IS-247	J. Gerardo Rojas B.	212,300	545,700	Riego	21	7,0	0,50	Sí
IS-248	GTR, S.A	211,200	545,980	Riego	60	1,49		Sí
IS-249	GTR, S.A	211,250	546,000	Industrial				No
IS-370	Caminos del Sol, S.A	208,450	548,700	Industrial	60		5,0	Sí
IS-401	Carl Jensen	209,600	547,880	Doméstico	30			Sí
IS-403	Visaflor Costa Rica	214,500	545,000	Riego	55	30	0,33	Sí
IS-444	Piedra y Navarro	210,000	545,800	Doméstico				No
IS-450	Piedra y Navarro	210,200	545,750	Urbanístico				No
IS-456	Servicentro El Molino	209,620	545,225	Industrial	154	122		No
IS-464	Piedra y Navarro	210,125	545,675	Doméstico				No
IS-476	Florexpo, S.A	212,150	546,985	Riego	40	16,40	0,46	Sí
IS-478	Ind. Cons. de refre.	208,350	548,570	Riego	56	20,35	2,0	Sí
IS-493	Conservas del valle	208,200	544,350	Industrial	120			Sí
IS-497	Servic. B. El Molino	209,450	545,150	Abrevadero	178	122		Sí
IS-501	Prod. Fresas del LL.	213,850	547,00	Riego	60	6,0		Sí
IS-506	Geovani Castillo V.	210,375	548,015	Doméstico	40	24,0	0,55	Sí
IS-525	Invers. Casiverde, S.A	208,450	548,500	Riego	90	75	2,0	Sí
IS-526	Inv. Internacional Port.	209,650	547,950	Riego	60			No
IS-531	Finca del Valle Verde	212,450	546,600	Riego	50	40	1,5	No
IS-538	Ganadera EGC	208,000	548,420	Agroindust.	70	32	1,0	Sí
IS-544	Ind. Láctea Tecnif.	208,117	548,407	Industrial	81	36	4,0	Sí

#### 4.5.2 Hidroestratigrafía

De acuerdo con la información de los pozos perforados en la zona se puede determinar que existe una relación estratigráfica en las diferentes descripciones litológicas para cada uno de los pozos estudiados.

Se puede concluir que la zona presenta materiales consolidados como depósitos de cenizas volcánicas recientes que constituyen la capa más superficial cuya descripción litológica se menciona como material arcilloso, luego se describe una capa compuesta por coluvio compuesto por arenas principalmente, subyace una capa de lavas y posteriormente se mencionan lahares con presencia de bloques de lavas. La sección A-A (Figura 5) muestra un perfil transversal entre el pozo IS-248 y el pozo IS-506 pasando por la naciente de Banderillas. El nivel freático se encuentra cercano a la superficie, en el pozo IS-248 está a 1,5 m bajo la superficie y en el pozo IS-506 se encuentra a 24 m. La naciente de Banderillas se encuentra a unos 20 m por debajo de la parte alta del terreno, en promedio el espesor no saturado es de 15 m.

Figura 6. Perfil hidrogeológico A-A'



### 4.5.3 Líneas isofreáticas y dirección del flujo subterráneo

Con base en la información recopilada de los niveles piezométricos en los pozos, se elaboró un mapa de las líneas isofreáticas.

Los niveles de las isofreáticas muestran valores que van desde los 2040 a 1720 m.s.n.m. y la dirección del flujo muestra una tendencia general del noroeste hacia el sureste, tal como se aprecia de las figura 7 éstas siguen la dirección del drenaje natural de los ríos de la zona.

Como puede notarse algunas de las líneas de flujo se bifurcan en dirección al río Reventado, de modo que en tales casos el acuífero recarga al río; la naciente de Banderillas es el resultado de una de las descargas del acuífero.

El gradiente hidráulico del acuífero se puede determinar midiendo la diferencia de carga entre dos líneas equipotenciales y la distancia entre ambas; de modo que:

$$i = \Delta h/L \quad (\text{ec.1})$$

$i$  = gradiente hidráulico

$\Delta h$  = Diferencia de carga hidráulica entre dos líneas equipotenciales

$L$  = Distancia entre las dos líneas equipotenciales

En este caso el gradiente hidráulico se calculó en el tramo superior izquierdo de la zona de estudio entre las equipotenciales 1960 y 1940 m.s.n.m. con una distancia entre ambas de 260 m.

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 1960 - 1940$$

$$\Delta h = 20 \text{ m}$$

$$L = 260 \text{ m}$$

$$i = 0,077$$

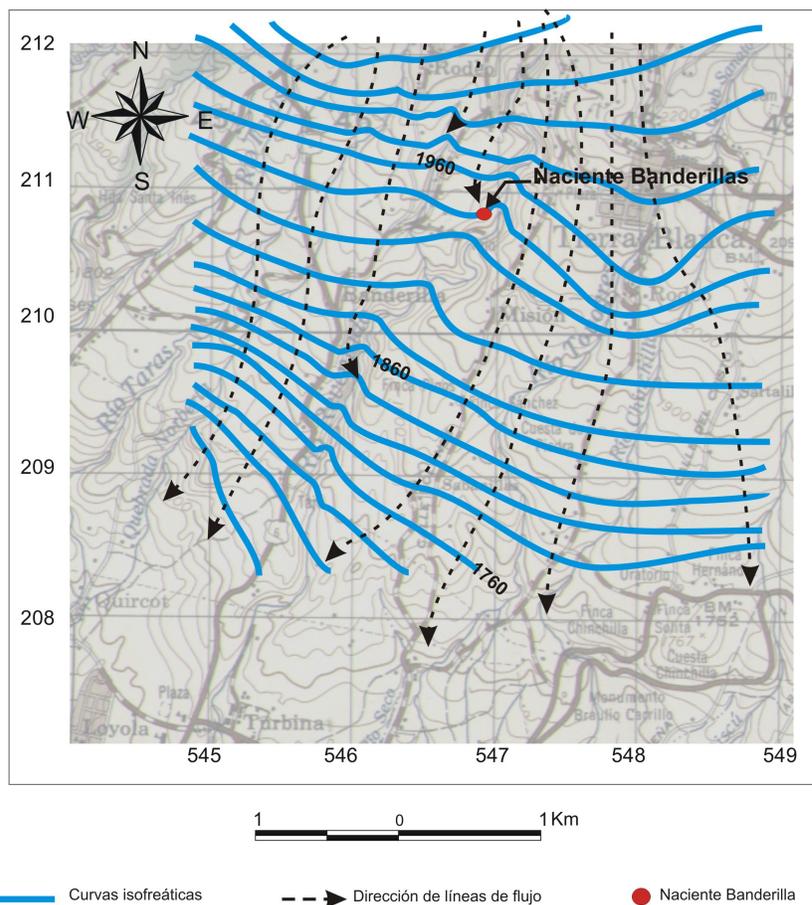
### 4.6 Conductividad hidráulica vertical en la zona no saturada

La conductividad hidráulica vertical en la zona no saturada es uno de los parámetros más importantes a determinar cuando se pretende estudiar el comportamiento de un contaminante que se infiltra en el terreno. Cuando el suelo se encuentra totalmente saturado todos los poros presentes pueden conducir el líquido, pero si el suelo no está saturado, entra a jugar un papel importante la tensión de humedad del suelo. Una característica básica de los suelos es la relación entre la conductividad hidráulica y la tensión; así pues, en suelos donde predominan los poros grandes éstos presentan una conductividad hidráulica saturada relativamente elevada, la cual se reduce rápidamente al aumentar la tensión del suelo.

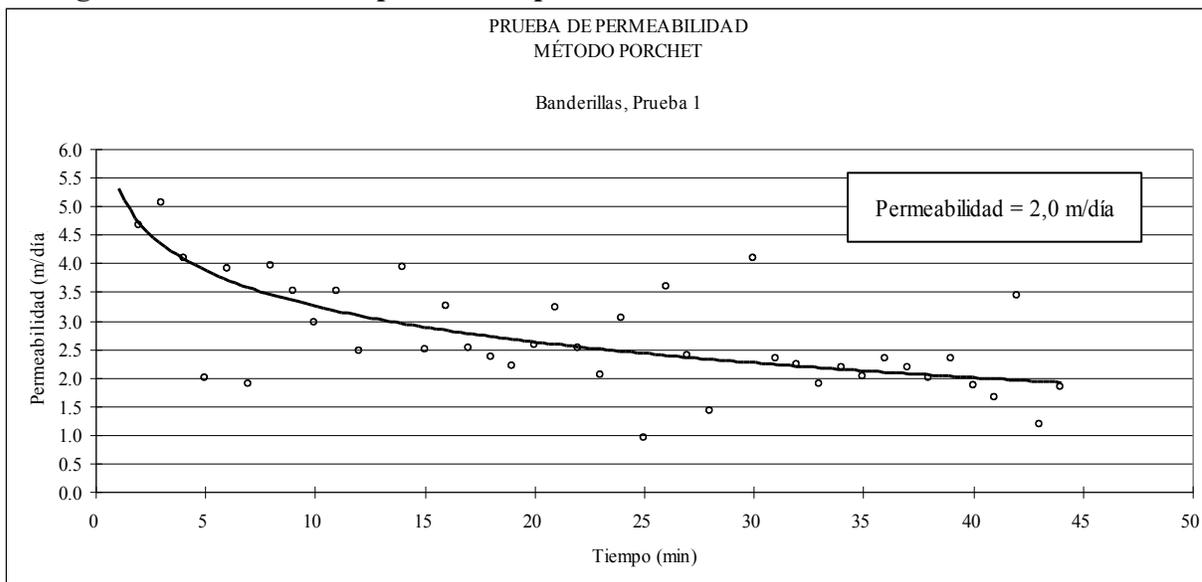
En contraparte, los suelos finos en los que predominan los poros pequeños, tienen una conductividad hidráulica saturada más bien baja, la cual se reduce más lentamente al aumentar la tensión<sup>(20)</sup>.

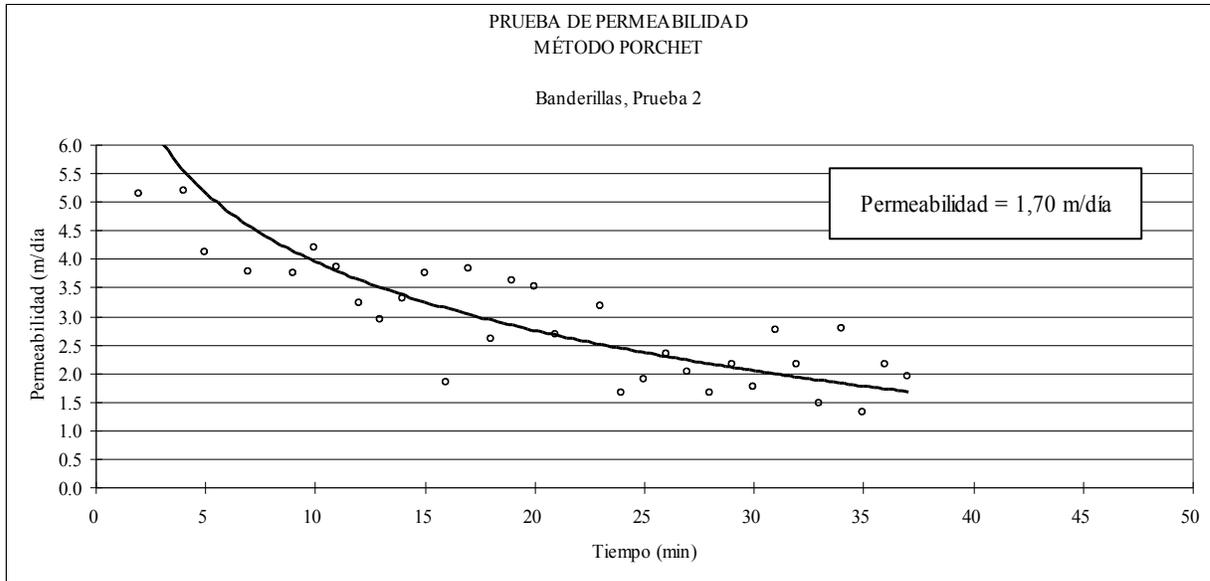
Tomando en cuenta lo anterior se realizaron dos ensayos de campo para determinar la conductividad hidráulica vertical en diferentes puntos de la zona de estudio.

**Figura 7. Líneas de flujo del agua subterránea en la zona de Banderillas**



**Figura 8. Gráfico de las pruebas de permeabilidad utilizando el Método de Porchet**





## 4.7 Contaminación de las aguas subterráneas

### 4.7.1 Determinación de los tiempos de tránsito por organismos patógenos

La velocidad a la que viaja una pluma de contaminación, en este caso, los lixiviados de un sistema de riego con aplicación de fertilizantes nitrogenados o bien de un sistema de disposición de excretas como puede ser a través de las zanjas de infiltración de un sistema de tanques sépticos, puede ser determinada por la ecuación de Darcy la cual se define de la siguiente manera<sup>(20)</sup>:

$$v_x = \frac{K}{n_e} \cdot \frac{dh}{dl} \quad (\text{ec. 2})$$

donde:

$v_x$  = Promedio de la velocidad lineal  
 $K$  = Conductividad hidráulica vertical  
 $n_e$  = Porosidad efectiva  
 $\frac{dh}{dl}$  = Gradiente hidráulico

El contenido de humedad y la conductividad hidráulica vertical no saturada son funciones del potencial hídrico del suelo. Considerando que en la zona de estudio la época de lluvias es bastante prolongada, es válido asumir que los suelos estarán bajo condiciones de saturación la mayor parte del tiempo, por lo que los tiempos de tránsito en la zona no saturada será una función de la porosidad efectiva y de la conductividad hidráulica vertical saturada.

$$v_x = \text{distancia} / \text{tiempo} \quad (\text{ec. 3})$$

Siendo la distancia (m) el espesor de la zona no saturada entre la base del sistema de drenaje y el nivel freático del agua subterránea o al techo del acuífero en caso de acuíferos confinados o semiconfinados. Tomando en cuenta que la porosidad efectiva varía según el tipo de roca entre 0,5 a 35 % <sup>(21)</sup> se toma la máxima porosidad efectiva (35%). Esto por cuanto se pretende estimar los tiempos de tránsito con los valores más conservadores, de modo de estar del lado de la seguridad.

El parámetro de conductividad hidráulica vertical se obtuvo mediante el procedimiento de campo utilizando el método Porchet, el valor obtenido fue 1,85 m/día. El espesor de la zona no saturada se determina como la distancia vertical entre la superficie del terreno y el nivel freático que en promedio es de 15 m en la zona de estudio. El tiempo de tránsito de contaminantes en la zona no saturada será obtenido de la ecuación 4:

$$t = \frac{m * n_e}{K} \quad (\text{ec.4})$$

Donde:

t : tiempo de tránsito en días

m: espesor de la zona no saturada en metros (distancia vertical entre la base del sistema de drenaje y el nivel freático)

K: Conductividad hidráulica vertical en m/d (obtenida mediante ensayos de campo con el método de Porchet)

$n_e$  = porosidad efectiva

Con el propósito de prevenir la ingestión de agua subterránea contaminada con bacterias, virus y parásitos patógenos, provenientes de sistemas de drenajes de tanques sépticos, se recomienda que el tiempo de tránsito de éstos contaminantes por la zona no saturada no sea inferior a los 70 días<sup>(22)</sup>.

El tiempo de tránsito por la zona no saturada es alrededor de 3 días, este valor es inferior a los 70 días por lo que existe un alto riesgo de contaminación de la naciente de Banderillas. De acuerdo con los análisis realizados se evidencia que tal situación está ocurriendo de manera que se hace necesario determinar el área de protección de la naciente.

### **Zonas de protección de las fuentes de agua potable**

La proximidad a las fuentes de abastecimiento de agua subterránea de ciertas actividades sobre el terreno es un factor clave que influye en el peligro de contaminación de las aguas<sup>(24)</sup>. La zona de protección se determina en función de la distancia equivalente a un tiempo de flujo horizontal promedio en la zona saturada del acuífero. La distancia de viaje horizontal de los patógenos en la zona saturada está gobernada principalmente por la velocidad de escurrimiento del agua subterránea<sup>(24)</sup>. Casos de contaminación registrados que resultaron en epidemias de enfermedades de transmisión hídrica, la separación horizontal entre la fuente de abastecimiento de agua subterránea y la fuente de contaminación patogénica fue como máximo la distancia recorrida por el agua subterránea en 20 días<sup>(24)</sup>. La curva isócrona correspondiente a los 50 días es una base razonable para definir la zona de protección coincidiendo con la práctica usual en muchos países<sup>(24)</sup>.

Aplicando lo anterior, se tiene que la velocidad del agua subterránea en esa zona es:

$$v_h = \frac{K * i}{n_e} \quad (\text{ec. 7.5})$$

Donde:

$v_h$  : velocidad del agua subterránea en el sentido horizontal

K: conductividad hidráulica del acuífero

$K = T/b$  (1,26 m/d)

T: Transmisividad del acuífero (6,3 m<sup>2</sup>/d (de pruebas de bombeo pozos IS-187; IS-476; IS-538)

b: Espesor del acuífero en la zona de estudio (5 m)

i : gradiente hidráulico (0,077)

$n_e$  : Porosidad efectiva del acuífero (0,35)

$v_h = 0,28$  m/d ; por tanto la distancia de protección del pozo en cuestión será de 14 m en dirección contraria a las líneas de flujo, es decir, en dirección noroeste.

#### 4.5 Análisis de nitratos en la quebrada Calvo

Con el objetivo de determinar si las aguas superficiales están siendo afectadas por la escorrentía y arrastre fertilizantes nitrogenados, se procedió a recolectar una muestra en la quebrada Calvo, ubicada cerca de las nacientes que abastecen el acueducto de Banderillas. Los resultados de nitratos señalan un 79 mg/L de nitratos, lo cual evidencia el origen de la contaminación de nitratos por el uso persistente de fertilizantes nitrogenados.

#### 4.6 Impacto de la contaminación por nitratos sobre la salud humana

Diferentes autores ha vinculado al consumo de agua con altos contenidos de nitratos como causalidad en la enfermedad de los lactantes llamada Metahemoglobinemia, cuyo principal síntoma es la cianosis (bebe azul) por falta de hemoglobina suficiente para captar el oxígeno. Además, otros investigadores han relacionado a los altos contenidos de nitratos en el ACH con cáncer gástrico (CG). En este sentido, se realizó una encuesta para determinar el impacto sobre la salud de los usuarios del acueducto de Banderillas y se compara con una comunidad control abastecida por el acueducto del mismo nombre y con contenidos de nitratos bajos. Los resultados de estas encuestas se presentan en los cuadros 7, 8 y 9.

**Cuadro 7. Número de Encuestas de Salud y Personas Estudiadas – Agosto y Septiembre 2005**

Comunidad	Número de encuestas	Número de personas
Banderillas	37	183
Lomas de Quircot	37	202

FUENTE: elaboración propia.

**Cuadro 8. Resultados de Enfermedades Encuestadas en Banderillas y Lomas de Quircot**

Comunidad	Intoxicaciones	CG	Diarrea	Cianosis	Asma	Otras	Nitratos (promedio en mg/L)
Banderillas	4	1	32	0	7	Gastritis 2 Bronquitis 1 Náuseas 1 Alergias 1	70
Lomas de Quircot	1	0	27	0	19	Gastritis 3 Presión alta 1	4

**Cuadro 9. Población Entrevistada y Tasas de Enfermedades en Banderillas y Lomas de Quircot**

Comunidad	Intox. Tasa 1000	CG Tasa 1000	Diarrea Tasa 1000	Cianosis Tasa 1000	Asma Tasa 1000	Gastritis Tasa 1000	Población entrevistada
Banderillas	4 57	5.5	175	0	38	11	183
Lomas	1 5	0	134	0	94	15	202

FUENTE: elaboración propia.

Los resultados del cuadro 9 indican que:

- ↪ Las tasas de intoxicaciones es de  $57/1000$  en Banderillas y  $5/1000$  en Lomas de Quircot.
- ↪ En el caso del CG, la morbilidad en Banderillas es de  $5.5/1000$  y en Lomas de Quircot de 0.
- ↪ Las diarreas en Banderillas tienen una tasa de  $175/1000$  y Lomas  $134/1000$ .
- ↪ La cianosis o metahemoglobinemia es 0 en ambas comunidades.
- ↪ El asma se presenta en Banderillas en una tasa de  $38/1000$  y en Lomas de  $94/1000$ .
- ↪ La gastritis es de  $11/1000$  en Banderillas y de  $15/1000$  en Lomas de Quircot.

Por otro lado, es importante aclarar que dichos datos no tienen significancia estadística, debido a la poca población de ambas comunidades. Sin embargo, se puede concluir que los altos contenidos de nitratos en las ACH de Banderillas no están causando Metahemoglobinemia en los usuarios. Además, es conveniente realizar estudios epidemiológicos más profundos con respecto a los niveles de intoxicaciones alimentarias de Banderillas y la alta tasa de asma de Lomas de Quircot.

#### 4.7 Conclusiones

El análisis de los resultados de la presente investigación permite concluir:

- ↪ La contaminación por nitratos del acueducto de Banderillas de San Nicolás de Cartago es causada por el uso persistente de fertilizantes nitrogenados en la agricultura de la zona.
- ↪ Dicha contaminación por nitratos es favorecida por la Conductividad hidráulica vertical de los suelos en los alrededores de las nacientes Calvo y Banderillas; cuyo tiempo de tránsito promedio por la zona no saturada es de 3 días.
- ↪ La velocidad del agua subterránea se calculó en 0,28 m/d lo cual es relativamente lento y explica el porqué las nacientes Calvo y Banderillas no presentan contaminación fecal, ya que sería necesario una fuente de contaminación a menos de 14 metros de distancia de las fuentes. De modo que se establece esa distancia mínima como zona de protección de contaminación de tipo bacteriológica.
- ↪ No se observa que los contenidos de nitratos en el ACH estén causando directamente Metahemoglobinemia en los niños lactantes.
- ↪ Sin embargo, llama la atención la alta tasa de intoxicaciones alimentarias sufridas por la población de Banderillas.
- ↪ Existe una leve diferencia en la tasa de incidencia de CG en Banderillas (5.5/1000) y 0 en Lomas de Quircot; sin embargo, estudios exploratorios-ecológicos indican que no hay relación entre los contenidos de nitratos en al ACH y CG en Costa Rica <sup>(25)</sup>.

#### 4.8 Recomendaciones

- ↪ El estudio de riesgo sanitario de las estructuras del acueducto de Banderillas obliga a cambiar las fuentes de agua o bien, regular el uso de fertilizantes nitrogenados en la zona de influencia de las captaciones de los manantiales.
- ↪ Es necesario optimizar o minimizar el uso de plaguicidas y fertilizantes nitrogenados en la agricultura de la zona.
- ↪ Le corresponde al Ministerio de Agricultura capacitar a los agricultores en las buenas prácticas de uso de plaguicidas y fertilizantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mata, Ana; Sequeira, Marco; Serrano, Edgar. **Vigilancia de la calidad del agua suministrada por acueductos municipales, 2003.** Tres Ríos, La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2004.
2. Mata, Ana; Sequeira, Marco; Serrano, Edgar. **Informe sobre la vigilancia de la calidad del agua suministrada por los acueductos municipales, 2004.** Tres Ríos, La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2005.
3. OMS. **Guías para la calidad del agua potable.** Primera Edición, Ginebra, Suiza. Volumen 1; 1984.
4. OMS. **Guías para la calidad del agua potable.** Segunda Edición, Ginebra, Suiza. Addendum al volumen 1. Recomendaciones; 1995.
5. World Health Organization. **Guidelines for drinking water quality.** Third edition. Geneve. Volume 1. Recommendations; 2004.
6. Albert, Lilia. **Introducción a la toxicología ambiental.** México. Centro Panamericano de Ecología humana y Salud. División de Salud Ambiental: OMS/OPS; 1997.
7. Rapaprt, Samuel. **Introducción a la hematología.** Primera edición. Barcelona, España; 1997.
8. Coss, Angela. Et al. **Pancreatic cancer and drinking water and dietary sources of nitrate and nitrite.** American Journal of Epidemiology. Vol 159, N 248 7. 2004; 693-701.
9. Bruniny-Fann CS; Kaneene, J. **The effect of nitrate, nitrite and N-nitroso compounds on human health: a review.** Vet Hun Toxicol; 1993: 3: 521-38.
10. UNA. Proyecto acuífero Barba. **Laboratorio de Hidrogeología Ambiental.** Universidad Nacional. Contacto Jenny Reynolds Vargas. ([jreynolds@una.ac.cr](mailto:jreynolds@una.ac.cr)) S.A.
11. SENARA BGS. **Continuación de la investigación hidrogeológica de la zona norte y este del Valle Central de Costa Rica.** San José. Informe final (1984-1987); 1988.
12. Arellano, Federico. Et al. **Estudio sobre la contaminación por nitratos en los principales acuíferos del Valle Central de Costa Rica.** San José, AyA; 2005.
13. Arredondo, Sandra. **Delimitación de las zonas de protección de los acuíferos en el área de influencia de Belén, Heredia.** San José. SENARA (Informe interno); 1995.

14. UNA. **Contaminación de aguas subterráneas: nitratos**. Laboratorio de Hidrogeología Ambiental. Universidad Nacional. Contacto Jenny Reynolds Vargas ([jreynolds@una.ac.cr](mailto:jreynolds@una.ac.cr)).
15. Valiente, Carmen. **Sistema de inspección sanitaria en acueductos municipales de Costa Rica**. Tres Ríos, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2001.
16. Clesceri, Lenore; Greenberg, Arnold; Gaton, Andrew. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 20th edition. Washington D.C. APHA, AWWA, WEF; 1998.
17. Ruepert, Clemens. **Informe de análisis de pesticidas en las nacientes Calvo y Banderillas 2005**. Heredia, UNA. Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas; 2005.
18. Krushensky, R.D. **Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica**. U.S. Geological Survey Bulletin 1358: 46 pp. 1972
19. SENARA. **Archivo de información de pozos de la Hoja Istarú del IGN, coordenadas latitud 208 – 215 y longitud 544 – 549**.
20. Foster, S; Hirata, R. **Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas. Una metodología basada en datos existentes**. Centro Panamericano de Ingeniería del Ambiente (CEPIS); Lima, Perú. 76 págs; 1991
21. Custodio, E y Llamas, R. **Hidrología Subterránea**. Segunda Edición, tomo I y II. Ediciones Omega, S.A. Barcelona España. 2100 p; 1983
22. Losilla, M & Rodríguez, H. **Normas para el Cálculo de Tiempo de Tránsito entre los Drenajes de Tanques Sépticos y las Fuentes de Agua Subterráneas**. DEP-RH-94-049, del 2 de marzo de 1994; San José, Costa Rica. 1994. (Informe interno)
23. Presidencia de la República de Costa Rica. **Reglamento para la calidad del agua potable**. Periódico oficial La Gaceta N°84 del 3 de mayo 2005.
24. Foster, S; Hirata, H; Gomes, D; D'Elia, M; Paris, M. **Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales**. Banco Mundial; Washington, D.C. Editorial Mudi-Prensa Libros, S.A. 115 págs. 2003.
25. Mora, Darner; Chamizo, Horacio; Mata, Ana. **Estudio exploratorio sobre la incidencia de cáncer gástrico y los contenidos de nitratos en el agua potable de Costa Rica**. Tres Ríos, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas AyA. Informe; 2005.

# **ANEXO C**

## PRUEBA DE PERMEABILIDAD MÉTODO DE PORCHET

Lugar: Banderillas, Llano Grande de Cartago  
 Ubicación: 546854 / 211058  
 Material: Suelo areno limoso, color café oscuro  
 Prueba: 1  
 Prof. agujero : 33 cm  
 Diám. agujero: 17 cm  
 Radio agujero: 8,5 cm

Tiempo (min)	Prof.agua (cm)	h (cm)	f(cm/min)	f(m/día)
0	7,0	26,0		
1	10,0	23,0	0,4439	6,392
2	12,0	21,0	0,3240	4,665
3	14,0	19,0	0,3507	5,050
4	15,5	17,5	0,2834	4,082
5	16,2	16,8	0,1390	2,002
6	17,5	15,5	0,2709	3,901
7	18,1	14,9	0,1311	1,888
8	19,3	13,7	0,2750	3,960
9	20,3	12,7	0,2436	3,508
10	21,1	11,9	0,2055	2,959
11	22,0	11,0	0,2437	3,509
12	22,6	10,4	0,1706	2,457
13	5,1	27,9		
14	7,1	25,9	0,2730	3,931
15	8,3	24,7	0,1726	2,486
16	9,8	23,2	0,2261	3,256
17	10,9	22,1	0,1738	2,503
18	11,9	21,1	0,1644	2,368
19	12,8	20,2	0,1536	2,212
20	13,8	19,2	0,1775	2,556
21	15,0	18,0	0,2232	3,215
22	15,9	17,1	0,1755	2,527
23	16,6	16,4	0,1417	2,040
24	17,6	15,4	0,2110	3,038
25	17,9	15,1	0,0654	0,942
26	19,0	14,0	0,2487	3,582

27	19,7	13,3	0,1662	2,394
28	20,1	12,9	0,0980	1,411
29	3,1	29,9		
30	5,3	27,7	0,2830	4,075
31	6,5	26,5	0,1627	2,343
32	7,6	25,4	0,1548	2,229
33	8,5	24,5	0,1310	1,886
34	9,5	23,5	0,1505	2,167
35	10,4	22,6	0,1401	2,018
36	11,4	21,6	0,1613	2,323
37	12,3	20,7	0,1506	2,169
38	13,1	19,9	0,1385	1,994
39	14,0	19,0	0,1614	2,324
40	14,7	18,3	0,1299	1,871
41	15,3	17,7	0,1146	1,650
42	16,5	16,5	0,2389	3,441
43	16,9	16,1	0,0827	1,191
44	17,5	15,5	0,1272	1,832
			<b>Promedio</b>	<b>2,770</b>

---

Notas:            h = carga hidráulica

f = capacidad de  
infiltración

Hoja electrónica realizada por Hugo V. Rodríguez E.

## PRUEBA DE PERMEABILIDAD MÉTODO DE PORCHET

Lugar: Banderillas, Llano Grande de Cartago

Ubicación: 546748 / 211090

Material: Suelo areno limoso, color café oscuro

Prueba: 2

Prof. agujero : 37 cm

Diám. agujero: 17,5 cm

Radio agujero: 8,75 cm

Tiempo (min)	Prof.agua (cm)	h (cm)	f(cm/min)	f(m/día)
0	7,4	29,6		
1	12,0	25,0	0,6365	9,165
2	14,3	22,7	0,3567	5,137
3	17,3	19,7	0,5138	7,399
4	19,2	17,8	0,3597	5,179
5	20,6	16,4	0,2853	4,109
6	22,5	14,5	0,4196	6,042
7	23,6	13,4	0,2627	3,783
8	5,0	32,0		
9	7,1	29,9	0,2602	3,746
10	9,3	27,7	0,2902	4,179
11	11,2	25,8	0,2672	3,847
12	12,7	24,3	0,2231	3,212
13	14,0	23,0	0,2030	2,923
14	15,4	21,6	0,2297	3,307
15	16,9	20,1	0,2602	3,747
16	17,6	19,4	0,1270	1,828
17	19,0	18,0	0,2655	3,823
18	19,9	17,1	0,1796	2,586
19	21,1	15,9	0,2516	3,623
20	22,2	14,8	0,2440	3,514
21	23,0	14,0	0,1864	2,685
22	4,7	32,3		
23	6,5	30,5	0,2202	3,170
24	7,4	29,6	0,1144	1,647
25	8,4	28,6	0,1307	1,882
26	9,6	27,4	0,1622	2,335

27	10,6	26,4	0,1399	2,015
28	11,4	25,6	0,1152	1,659
29	12,4	24,6	0,1484	2,138
30	13,2	23,8	0,1225	1,764
31	14,4	22,6	0,1904	2,742
32	15,3	21,7	0,1485	2,138
33	15,9	21,1	0,1018	1,467
34	17,0	20,0	0,1931	2,781
35	17,5	19,5	0,0907	1,306
36	18,3	18,7	0,1491	2,147
37	19,0	18,0	0,1348	1,941
			<b>Promedio</b>	<b>3,285</b>

---

Notas: h = carga hidráulica

f = capacidad de infiltración

Hoja electrónica realizada por Hugo V. Rodríguez E.