

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
UNIDAD DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO
ÁREA FUNCIONAL DE HIDROGEOLOGÍA**



**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE
PROTECCIÓN DE LA NACIENTE FELIX QUESADA (LA HILDA) Y LA
NACIENTE JAVIER PANIAGUA.**

SAN ROQUE, GRECIA, ALAJUELA



Naciente Félix Quesada (La Hilda)

Elaboró: Geól. Cristina Castanedo Sotela

**Asistencia en trabajo de campo:
Gestores Expertos: Sr. Marvin Gómez, Sr. Carlos Murillo
y Sr. Francisco Segura Á.F. Hidrogeología
Personal de la ASADA de San Roque
Presidente: Sr. Rulberth Hidalgo Quesada**

**Supervisión, revisión y VBº:
MSc. Viviana Ramos Sánchez, Hidrogeóloga
Dirección del Área Funcional de Hidrogeología
Julio, 2016**



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN
EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, Annette Henchoz Castro

N° Cédula: 1-0725-0409

Dependencia: Gerencia General

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: centrodoc@aya.go.cr **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por
Annette Henchoz Castro
Fecha: 2019.11.25 16:07:20
-05'00'

Firma: _____

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE LA NACIENTE FELIX QUESADA (LA HILDA) Y LA NACIENTE JAVIER PANIAGUA

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio fue realizado en atención a la solicitud de la Presidenta Ejecutiva del AyA Yamileth Astorga, dirigida a la Dirección de Hidrogeología de la UEN Gestión Ambiental, mediante correo electrónico, del día 14 de mayo de 2016, solicitando realizar el área de protección de las Nacientes de Félix Quesada (La Hilda) y Javier Paniagua, ambas pertenecientes a la ASADA de San Roque.

Con anterioridad, en el año 2011, el Área Funcional de Hidrogeología, revisó y emitió criterio técnico de las zonas de protección realizadas por la UCR por el Hidrog. Mario Arias.

Se realizó una inspección de campo los días 31 de mayo, 1 junio de 2016, donde las labores realizadas durante esos días fueron:

- Reconocimiento geológico-hidrogeológico del área.
- Visita a los pozos de la zona y levantamiento de niveles y coordenadas.
- Establecimiento de puntos para la realización de pruebas de infiltración.
- Realización de pruebas de infiltración.

Además del trabajo de campo se solicitó información de los pozos de la zona al SENARA y se consultó la base de datos del AyA; todo ello se utilizó para la elaboración del perfil y el modelo conceptual hidrogeológico.

1.1 Objetivo General

Determinar la zona de protección de la Naciente Felix Quesada (La Hilda) y la Naciente Javier Paniagua.

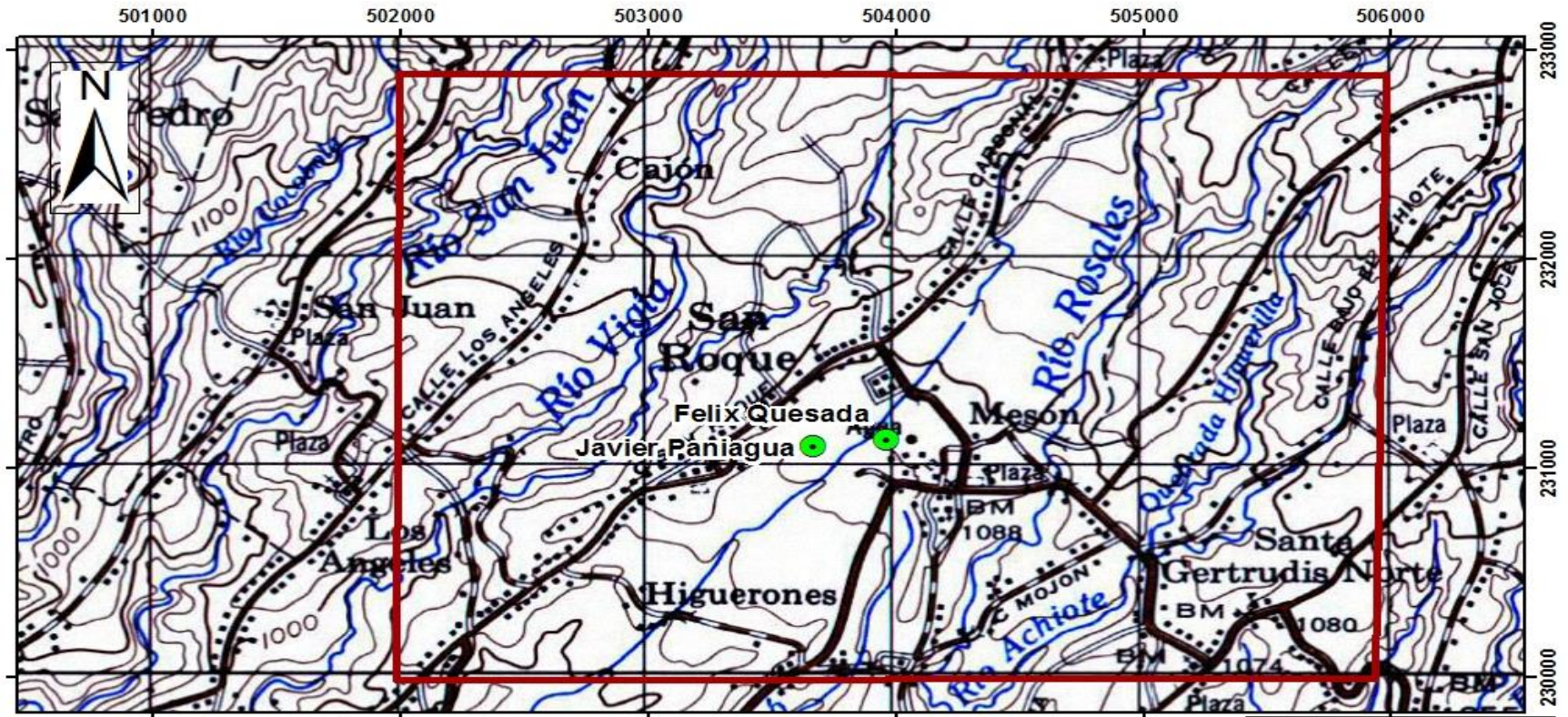
1.2 Objetivos Específicos

- Recopilar toda la información base pertinente.
- Hacer un levantamiento de campo de los pozos cercanos al pozo de interés y registrar los niveles dinámicos y estáticos.
- Analizar la geología local de la zona de estudio y realizar una valoración hidrogeológica de la zona.
- Plantear el modelo conceptual hidrogeológico de sitio.
- Analizar las pruebas de campo: infiltración y aforos.
- Conclusiones y recomendaciones del caso.

II. UBICACIÓN CARTOGRÁFICA

La zona de estudio se encuentra en San Roque, del Cantón de Grecia, en la Provincia de Alajuela. Específicamente, la naciente Felix Quesada (La Hilda) se ubica en las **coordenadas E 503940 m, N 231146 m**, elevación 1080 msnm, Costa Rica Lambert Norte. La naciente Javier Paniagua se ubica en las **coordenadas E 503639 m y N 231125 m**, elevación 1070 msnm, Costa Rica Lambert Norte, hoja topográfica de Naranjo (IGN), a escala 1:50000 (**Fig. 1**). Las coordenadas fueron tomadas en el campo con GPS marca Garmin Montana 650 (precisión del dato de ubicación: ± 3 m).

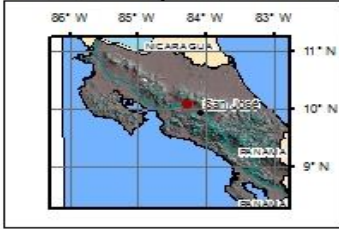
La **Figura 1**, es un **mapa que detalla la ubicación** de las nacientes y de la zona estudiada. Además se indican los ríos y quebradas aledañas, así como otros detalles de referencia de la base cartográfica.



Hoja Naranja I.G.N.C.R.
 Proyección Ocotepeque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866

Leyenda

- Naciente
- Zona de Estudio



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
 UEN Gestión Ambiental - Área Funcional de Hidrogeología

Figura 1: Mapa de ubicación

Elaboró: Geól. Cristina Castanedo. Junio, 2016

III. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Geología Regional

En la **Figura 2** se muestra un sector del **Mapa Geológico de la Hoja de Naranjo**, elaborado por Huapaya, S. & Rojas, V., 2012, donde se indica la geología superficial y la ubicación de la zona de estudio.

La geología del sitio de interés está compuesta por dos unidades litológicas.

- 1) Andesitas y basaltos de la Unidad Achioté con lahares y tobas subordinadas del Paleo Poás.

La unidad Achioté tiene un espesor de varios de cientos de metros, es concordante y puede sobreyacer en algunos sectores a las unidades La Paz y Tiribí; subyace de forma irregular las unidades Poasito y Sabana Redonda. Consiste en un conjunto de coladas de lava andesíticas y basálticas que se caracterizan por su fábrica masiva, con fracturación en lajas o bloques métricos, producto del enfriamiento. Son de color gris claro y presentan textura afanítica porfírica con fenocristales de plagioclasas centimétricas.

Según Ramírez 2007, los lahares se encuentran en los cauces de los ríos Rosales y Achioté, principalmente en la confluencia de ambos ríos. Están compuestos por clastos (60-70%) angulares, subangulares y redondeados, de tamaño métrico a centimétrico, soportados por matriz (30-40%) tobácea de color café, de grano medio a grueso, limo-arcillosa, con cristales de plagioclasa y fragmentos líticos milimétricos. Los bloques son de tobas, lavas vesiculares andesíticas y basálticas. La selección es pobre y los clastos no presentan ninguna orientación preferencial.

- 2) Ignimbrita gris con escórea, vidrio volcánico, líticos lávicos y pocas pómez de la Formación Tiribí.

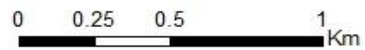
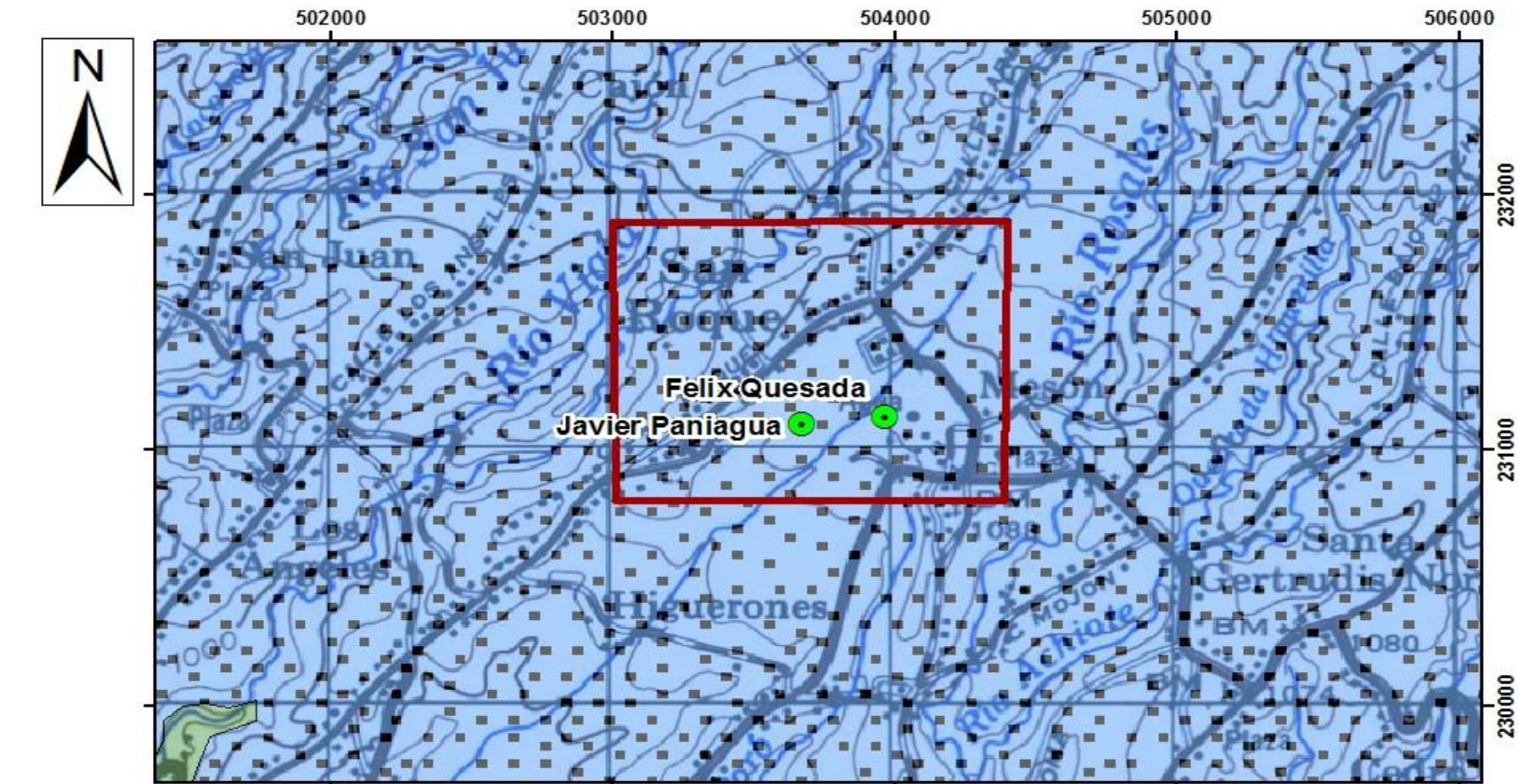
La Formación Tiribí fue definida por Fernández (1969) y posteriormente Ehandi (1981) utiliza esta misma definición pero la divide en 3 miembros los cuales son, desde el más antiguo al más reciente:

- Miembro Nuestro Amo que consisten en depósitos caóticos de matriz tobácea, con pómez y con fragmentos líticos heterogéneos de tamaño variable y de gran dureza.
- Miembro Electriona que está formado por ignimbritas grises medianamente soldadas, con bandeo horizontal de vidrio negro y fiammes de obsidiana y pómez, comúnmente se presentan en forma de columnas de hasta 1,30 m de diámetro.
- Miembro La Caja constituido por depósitos de tobas poco soldadas constituidas por cenizas finas a gruesas, que en ocasiones pueden contener fragmentos lapilíticos y lávicos escoriáceos.

Denyer & Arias (1991) proponen, que su origen se encontraría en varios centros de emisión o calderas localizadas en una franja de dirección NW-SE, desde San Gabriel, Cerro Minas hasta Atenas. Pérez (2000) sugiere que las ignimbritas fueron expulsadas de la caldera Barva del volcán Barva.

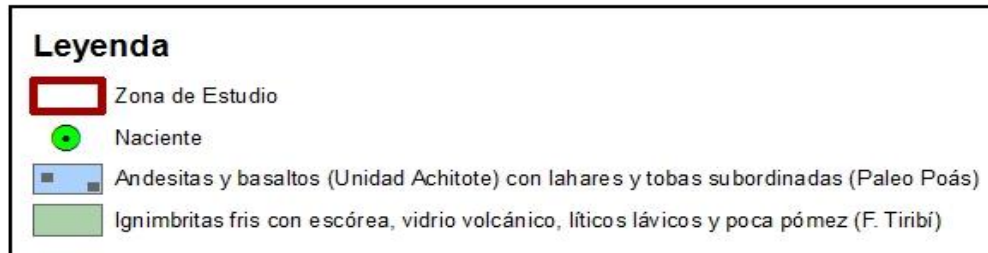
La Formación Tiribí aflora al norte y noroeste del Valle Central; presenta un espesor máximo de 150 m (Denyer & Arias, 1991). Kussmaul (2000) estima un volumen total de 25 km³. De acuerdo con Pérez (2000) se extiende aproximadamente unos 820 km² con un espesor promedio de 35 m.

Esta formación sobreyace en discontinuidad litológica a las formaciones Colima, Pacacua, Peña Negra, Grifo Alto y La Cruz y es sobreyacida por lahares y cenizas de la Cordillera Central y por material aluvional reciente.



Hoja Naranjo I.G.N.C.R.
 Proyección Ocotepeque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866

Tomado del Mapa Geológico de Naranjo.
 Huapaya & Rojas 2012



3.2. Geología Local

Respecto a la geología local (**Figura 3**), en las inmediaciones de las nacientes afloran tobas de color café, areno arcillosas, con fragmentos de líticos, de tamaño centimétricos, de composición y forma heterogénea, que varían entre lavas, escorias, pómez, y de forma subredondeados a subangulares. (**Fotografías 1 y 2**).

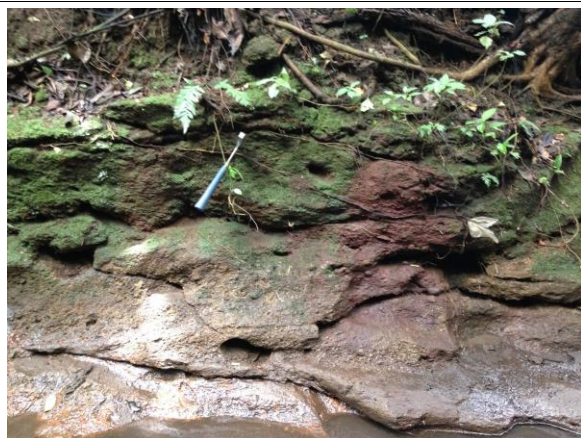
Estos materiales se relacionan con la Unidad Achioté, que está formada por andesitas y basaltos con lahares y tobas subordinadas de Paleo Poás.

La naciente Javier Paniagua, se ubica en una geomorfología de depresión circular, la captación está constituida por un canal longitudinal donde ingresan las aguas que se captaron del paredón N, así como los aportes de las aguas que afloran en los laterales del canal. El caudal concesionado (MINAE, 2008) es de 4,52 l/s. (**Fotografías 3 y 4**).

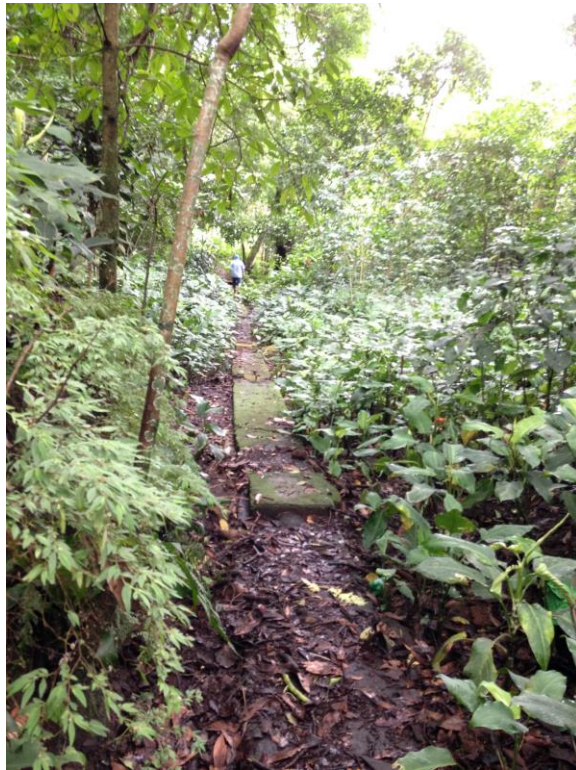
La naciente Félix Quesada, también conocida como La Hilda, esta ubicada en la margen derecha de la Quebrada Agualote, tiene una captación en la parte central de la quebrada la cual se descarga a un primer tanque, posteriormente existen dos tanques más que recolectan las aguas que afloran en esos puntos así como el rebalse del primer tanque. El caudal concesionado (MINAE, 2008) es de 3,06 l/s. (**Fotografías 5, 6 y 7**).



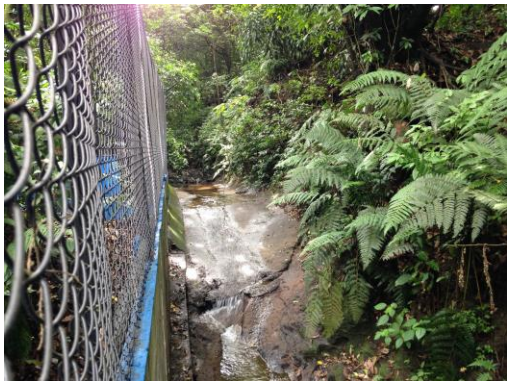
Fotografía 1. Tobas en las cercanías de la naciente Javier Paniagua. Coordenadas E 503672 m y N 231125 m, Costa Rica Lambert Norte.



Fotografía 2. Quebrada Agualote, en las cercanías de la naciente Félix Quesada. Coordenadas E 503663 m y N 231081 m, Costa Rica Lambert Norte.



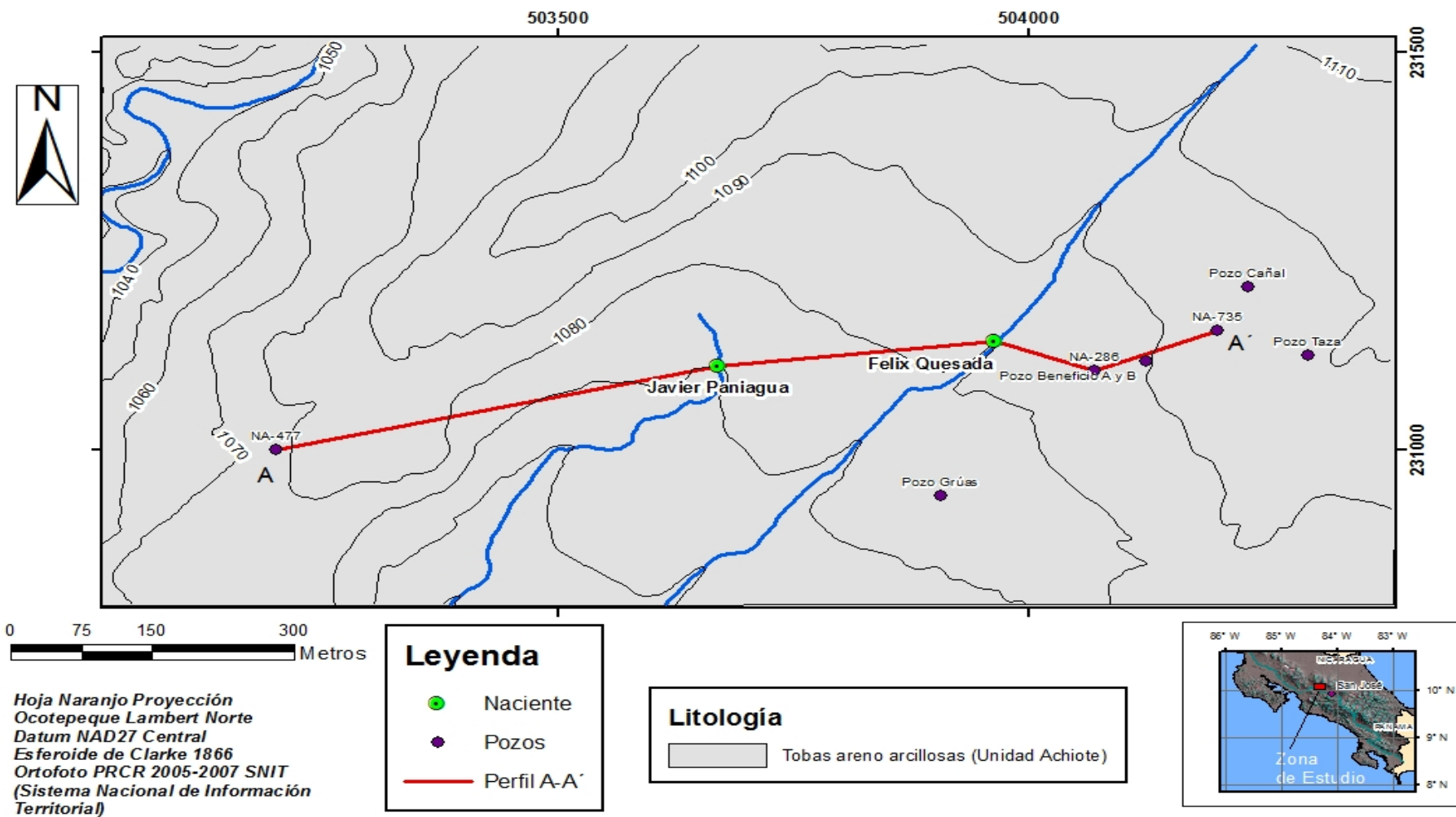
Fotografía 3 y 4. Naciente Javier Paniagua. Coordenadas E 503639 m y N 231125 m, Costa Rica Lambert Nort



Fotografía 5 y 6. Naciente Félix Quesada. Coordenadas E 503940 m y N 231146 m, Costa Rica Lambert Norte.



Fotografía 7. Naciente Félix Quesada. Coordenadas E 503940 m y N 231146 m, Costa Rica Lambert Norte.



Hoja Naranja Proyección
 Ocotepeque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866
 Ortofoto PRCR 2005-2007 SNIT
 (Sistema Nacional de Información
 Territorial)

Leyenda

- Naciente
- Pozos
- Perfil A-A'

Litología

- Tobas areno arcillosas (Unidad Achiote)



IV. HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Parámetros hidráulicos

La **Figura 4** corresponde al perfil hidrogeológico A-A', señalado en planta en la figura 3. En el perfil hidrogeológico se puede observar la ubicación de los pozos, la litología, y el nivel del agua de la zona.

La zona en estudio está compuesta por dos niveles. Uno superficial libre, en las tobas areno arcillosas, que rige el comportamiento hidrogeológico de las quebradas y nacientes. Y un segundo nivel, más profundo, que se encuentra confinado por un pequeño paquete de arcillas.

La dirección de flujo es en dirección es NE-SW, para la naciente de Félix Quesada, con un gradiente de 0,055 m/m. Y la dirección es N-S con aportes del NW-SE para la naciente de Javier Paniagua, con un gradiente de 0,089 m/m. (**Fig. 5**)

Las características del acuífero para naciente se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Características del acuífero

Parámetros Hidráulicos del Acuífero		
Naciente	T(m²/día)	Método
Félix Quesada (La Hilda)	5,15	Galofré
Javier Paniagua	7,49	Galofré

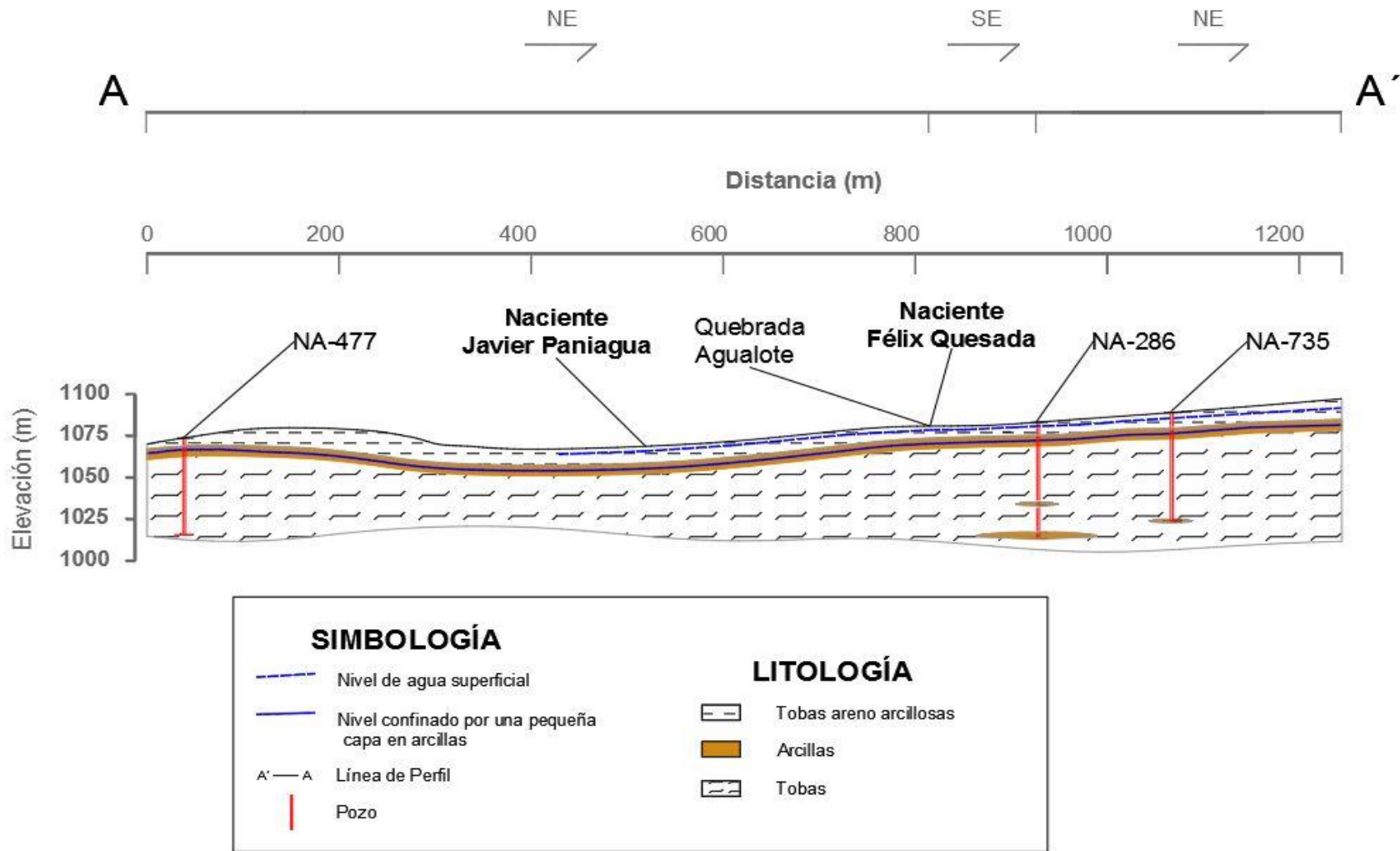


Figura 4. Perfil Hidrogeológico

4.2 Resultados de pruebas infiltración

Entre los días 31 de mayo y 1 de junio de 2016, se realizaron en total 3 pruebas de infiltración, por medio de la metodología del doble anillo (Kostiakov). Las pruebas se realizaron en materiales representativos de la zona. Se ubicaron una en cada nacimiento (Félix Quesada y Javier Paniagua) y una aguas arriba, en la dirección del flujo de las aguas subterráneas.

En la **Figura 6** se detalla la ubicación de estas pruebas con respecto a las nacientes.

A través de las pruebas de infiltración se determinó que los materiales evaluados presentan una conductividad hidráulica moderada, en la tabla 2, se resumen los resultados obtenidos.

A continuación se muestran las fotografías de la 8 a la 10 de cada prueba.


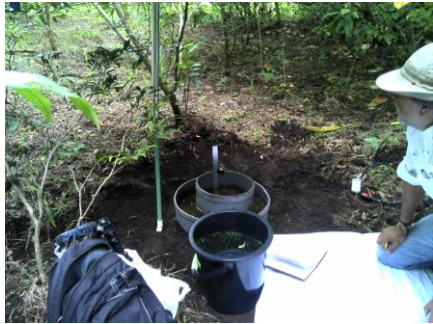

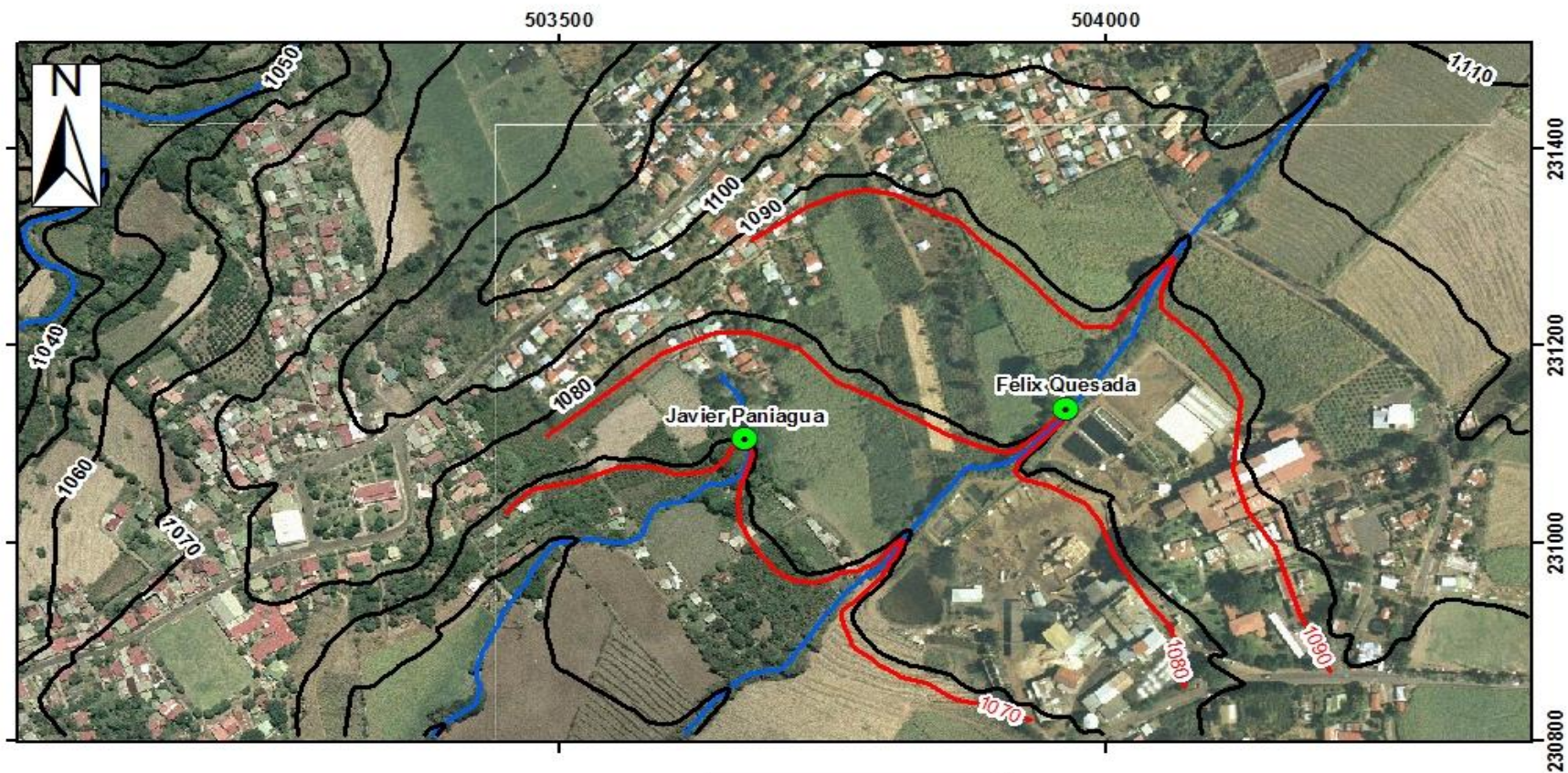
		
<p>Fotografía 8. Prueba n°1. Coordenadas E 503688 m y N 231123 m, Costa Rica Lambert Norte.</p>	<p>Fotografía 9. Prueba n°2. Coordenadas E 503940 m y N 231207 m, Costa Rica Lambert Norte.</p>	<p>Fotografía 10. Prueba n°3. Coordenadas E 504065 m y N 231287 m, Costa Rica Lambert Norte.</p>

Tabla 2. Datos prueba de infiltración.

Prueba de infiltración	K (conductividad hidráulica m/día)	Rango
1	1,20	Moderado
2	0,82	Moderado
3	1,08	Moderado
Promedio	1,03	Moderado



0 25 50 100 150 200
Metros

Hoja Naranja Norte Proyección Ocotepeque Lambert Norte
Datum NAD27 Central
Esferoide de Clarke 1866
Ortofoto PRCR 2005-2007 SNIT
(Sistema Nacional de Información Territorial)

Legenda

- Naciente
- Isofreáticas
- Ríos y quebradas
- Curvas de nivel



Figura 5: Isofreáticas

4.3. Pozos en la zona

Para realizar el estudio hidrogeológico de la zona se consultó las bases de datos de los pozos registrados del AyA y del SENARA ubicados en la zona (Anexo 1). Con la finalidad de identificar la presencia y características de las capas litológicas perforadas en el área de estudio.

Para cada uno se le analizaron las principales características como coordenadas, profundidad del pozo, niveles de agua, condiciones litológicas.

En la tabla 3 se adjuntan los datos de los niveles estáticos o dinámicos de los pozos perforados medidos en las cercanías durante la inspección de campo, (Fotografías 11, 12, 13, 14 y 15) sin embargo estos niveles corresponden al acuífero confinado. (Fig. 3)

Tabla 3. Niveles estáticos y dinámicos de los pozos cercanos

Pozo Perforado	Coordenadas Este (m)	Coordenadas Norte (m)	Nivel Dinámico (m)	Nivel Estático (m)
Pozo Grúas	503890	230971	-	13,37
Pozo Beneficio A	504124	231112	10,82	-
Pozo Beneficio B	504124	231112	11,05	-
Pozo Taza	504297	231120	-	26,8
Pozo Cañal	504189	231228	-	12,03

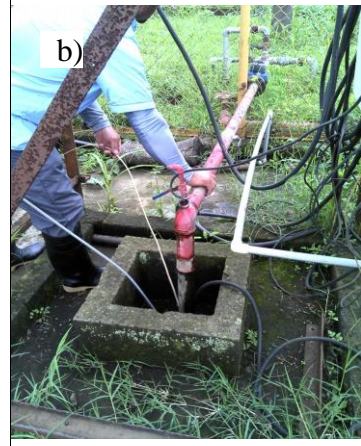
Además los datos de los niveles estáticos o dinámicos de los pozos reportados en el SENARA que se emplearon para realizar el modelo conceptual de la zona de estudio se adjuntan en la tabla 4.

Tabla 4. Niveles estáticos y dinámicos de los pozos de SENARA

Pozo	Coordenadas Este (m)	Coordenadas Norte (m)	Nivel Dinámico (m)	Nivel Estático (m)
NA-477	503200	231000	14	7
NA-286	504070	231100	-	17
NA-735	504200	231150	44	27



Fotografías 11. Pozo Grúas. Coordenadas E 503883 m y N 230974 m, Costa Rica Lambert Norte.



Fotografías 12 y 13 Pozo Beneficio a y b. Coordenadas E 504124 m y N 231111 m, Costa Rica Lambert Norte.

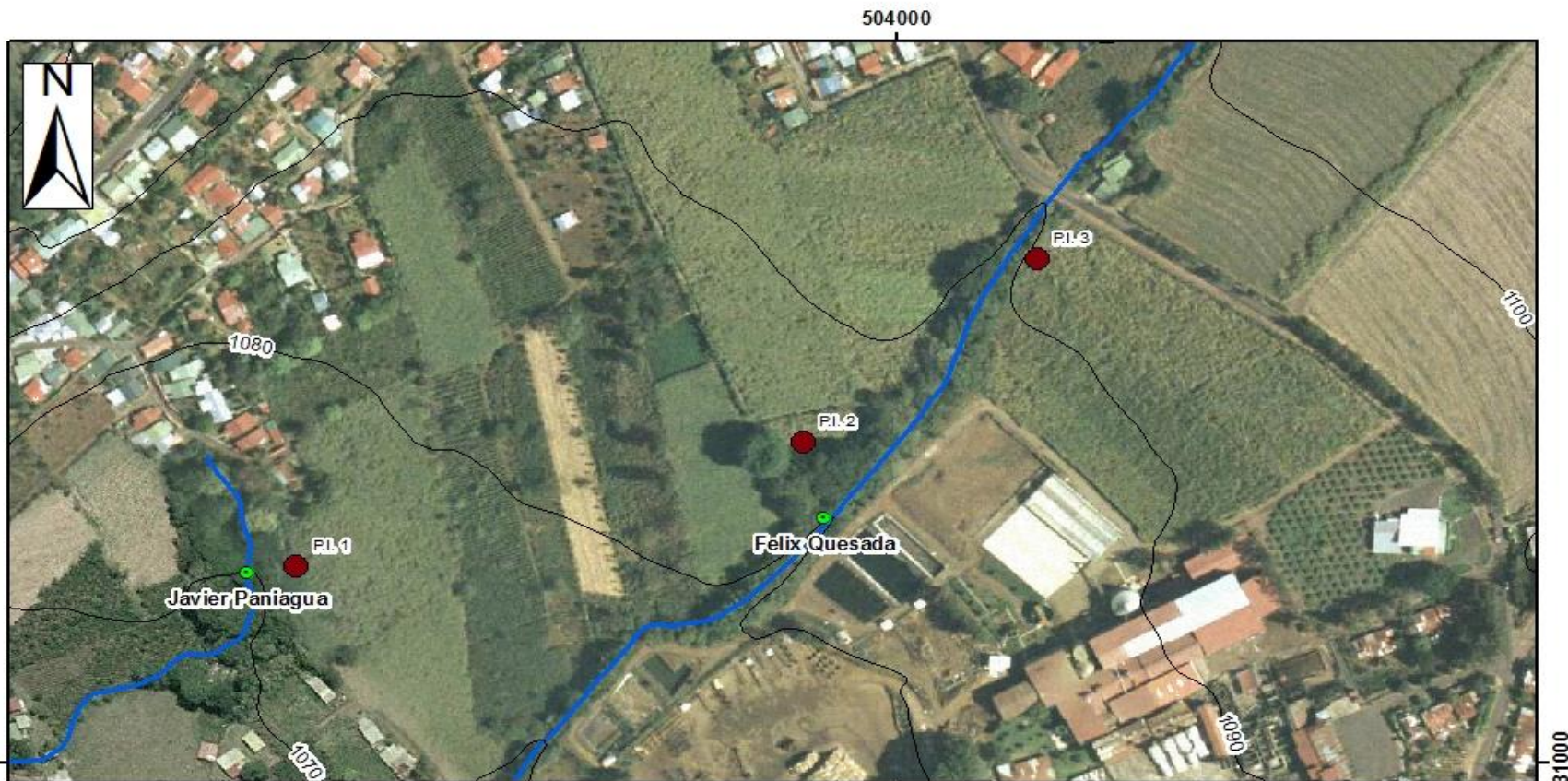


Fotografías 14. Pozo Taza. Coordenadas E 504276 m y N 231155 m, Costa Rica Lambert Norte.



Fotografías 15. Pozo Cañal. Coordenadas E 504200 m y N 231228 m, Costa Rica Lambert Norte.

Con los datos analizados se elaboraron las líneas isofreáticas para la zona de las nacientes, las cuales se muestran en la **Figura 5**.



0 25 50 100 150 200 Metros

Hoja Naranja Norte Proyección Ocotepeque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866
 Ortofoto PRCR 2005-2007 SNIT
 (Sistema Nacional de Información Territorial)

Leyenda

- Pruebas de Infiltración
- Naciente
- Ríos y quebradas



4.4 Zona de protección de la naciente Félix Quesada (La Hilda)

A partir de la información hidrogeológica disponible, se procede a plantear el área efectiva para la protección del acuífero de la naciente Félix Quesada, mediante la determinación de la zona de protección bacteriológica respectiva, conforme a los cálculos de tiempos de tránsito de contaminantes patógenos advectivos, según la metodología de Rodríguez (1994).

4.4.1. Cálculo de tiempos de tránsito

Para determinar los tiempos de tránsito de contaminantes patógenos en el medio hidrogeológico, se consideran los siguientes supuestos:

- El tiempo de residencia máxima de las bacterias en el subsuelo es de 70 días (Lewis, Foster y Drassar, 1982 en Rodríguez, 1994).
- Si en la zona saturada el flujo es predominantemente fisural, el tiempo total mínimo requerido para el análisis es de 100 días y no de 70 días (Rodríguez, 1994).

De esto se desprende que el tiempo total que dura en degradarse un contaminante advectivo de tipo patógeno (ejemplo: bacterias y virus), considerando la componente vertical en la zona no saturada y la componente horizontal en la zona saturada, es de *70 días para medios porosos* y de *100 para medios fracturados*. Por lo tanto, los tiempos de tránsito efectivos para la eliminación de contaminantes de tipo patógeno, ya sea solo en la zona no saturada o inclusive en la zona saturada, dependen de las características hidrogeológicas del medio, tales como: espesor y tipología de los mantos rocosos o depósitos de materiales litológicos o edafológicos, sus características hidráulicas y otros aspectos ligados a la litología.

4.4.1.1. Zona no saturada

El tiempo de tránsito para un flujo vertical de contaminantes patógenos en la zona no saturada (t_1), bajo condiciones de carga hidráulica se determina con la fórmula (Ec. 1):

$$t_1 = \frac{b \cdot \alpha}{k \cdot i}$$

Donde:

b: espesor de la zona no saturada, en este caso, corresponde al espesor de suelo existente por encima de la naciente, el cual tiene un espesor de **b = 5 m**.

α : porosidad efectiva de los materiales de la zona no saturada. Acordes con los datos de Rodríguez, se considera un valor de $\alpha = 0,4$.

k: conductividad hidráulica de la zona no saturada. Valor promedio calculado con los datos de las pruebas de infiltración realizadas en la zona. Se empleó un valor de **k = 1,03 m/día**.

i: gradiente, en este caso es vertical, por lo que **i = 1**.

t_1 : tiempo de tránsito del flujo vertical en la zona no saturada.

Por tanto, para el caso de estudio:

$$t_1 = 1,94 \text{ días}$$

Siendo, 70 días el tiempo total que dura en degradarse un contaminante advectivo de tipo patógeno en la zona no saturada para medios porosos, se concluye que $t = 70 - t_1$

Obteniéndose:

$$t = 68,1 \text{ días}$$

En conclusión se determina un tiempo de tránsito de contaminantes patógenos advectivos, no mayor *que la norma de los 70 días para medios porosos (Rodríguez, 1994)*; para la zona evaluada. Esto indica que el contaminante advectivo de tipo patógeno, no se degradaría antes de llegar a la tabla de agua captada por el pozo en estudio.

4.4.1.2. Zona saturada

Si calculamos el área de protección con la zona saturada, empleando la siguiente ecuación (Ec. 2)

$$T = \frac{d \cdot \square}{k \cdot i}$$

y despejando la incognita d, obtenemos la siguiente formula (Ec. 3)

$$d = \frac{T \cdot k \cdot i}{\square}$$

Donde:

T: es el tiempo de tránsito en zona saturada, $T = 68,1 \text{ días}$

k: conductividad hidráulica promedio de la zona saturada, considero la zona no saturada, ya que el nivel es libre y oscila entre la capa superior de tobas. $K = 1,03 \text{ m/día}$.

i: gradiente, calculado para la naciente Félix Quesada según isofreáticas de 1080 m y 1070 m, $i = 0,055$

\square : porosidad efectiva de los materiales de la zona saturada. Acordes con datos bibliográficos para materiales análogos, según Custodio & Llamas (1983) y Sanders (1998), se considera un valor de $\square = 0,3$

d: distancia en metros.

Obteniéndose:

$$d = 12,85 \text{ m}$$

4.4.1.3. Zona saturada con Radio fijo

Para realizar el cálculo de la zona de protección se emplea la ecuación del radio fijo (Ec. 4):

$$r = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot b}}$$

Donde,

Q: caudal en m³/día de la naciente, correspondiente a **Q = 390 m³/día**. (MINAE, 2008)

t: tiempo de tránsito del flujo, **t = 68,1 días**

□: porosidad efectiva de los materiales de la zona saturada. Acordes con datos bibliográficos para materiales análogos, según Custodio & Llamas (1983) y Sanders (1998), se considera un valor de □ = **0,3**.

Π: número pi, **Π = 3,14**

b: espesor de tobas en la zona saturada, **b = 5 m**.

r: es el radio fijo en metros

Con lo que se obtiene, un radio de:

$$r = 75,07 \text{ m}$$

En La Gaceta 137, del 16 de julio de 2015, se indica que: « *La metodología a aplicar para la determinación de zonas de protección y captura corresponde al método analítico de flujo subterráneo en combinación con el método de radio fijo EPA (2001)... La metodología propuesta para el cálculo de las zonas de protección de pozos y manantiales se puede consultar en el Alcance 105 de La Gaceta 147, del 12 de julio de 2012* ».

4.4.1.4. Zona con Darcy

Empleando la ley de Darcy, para el calculo de la longitud a proteger (**Ec. 5**):

$$Q = T \cdot i \cdot L$$

Donde,

Q: caudal en m³/día de la naciente, correspondiente a **Q = 390 m³/día**. (MINAE, 2008)

T: es la transmisividad del acuífero, siendo T = k*b, T=1,03*5, **T = 5,15 m²/día**.

i: gradiente, i = **0,055**

L: Longitud en m a proteger desde el pozo

Con lo que se obtiene, un valor de:

$$L = 1376,88 \text{ m}$$

4.4.1.5. Zona con ancho de captura

Empleando la ecuación de Grubb, 1993, (**Ec. 6**), se calcula el ancho de captura, donde:

$$a = \frac{2 \cdot Q \cdot L}{k \cdot (h_1^2 - h_2^2)}$$

Donde,

Q: caudal en m³/día de la naciente, correspondiente a **Q = 390 m³/día.** (MINAE, 2008)

L = distancia entre los dos puntos de observación del espesor acuífero, **L = 100 m.**

k: conductividad hidráulica del acuífero, **k = 1,03 m/día.**

h₁ = espesor saturado en un punto aguas arriba medido en el perfil; **h₁ = 11,82 m.**

h₂ = espesor acuífero en la naciente, medido en el perfil **h₂ = 5,44 m.**

a = ancho de la zona de captura

Por tanto, se obtiene un valor de:

$$a = 687,70 \text{ m}$$

4.4.1.6. Zona con punto de no retorno

El punto de no retorno, de la ecuación de Grubb, 1993, (**Ec. 7**), se define como la distancia aguas abajo del pozo a estudiar hasta donde se puede extender el contaminante.

$$X_0 = \frac{Q \cdot L}{\pi \cdot k \cdot (h_1^2 - h_2^2)}$$

Donde,

Q: caudal en m³/día de la naciente, correspondiente a **Q = 390 m³/día.** (MINAE, 2008)

L = distancia entre los dos puntos de observación del espesor acuífero, **L = 100 m.**

Π: número pi, **Π=3,14**

k = conductividad hidráulica del acuífero, **k=0,775 m/día**

h₁ = espesor saturado en un punto aguas arriba medido en el perfil; **h₁ = 11,82 m.**

h₂ = espesor acuífero en la naciente, medido en el perfil; **h₂ = 5,44 m.**

X₀ = es la distancia aguas abajo.

Obteniéndose:

$$X_0 = 109,51 \text{ m}$$

A continuación se muestra un resumen, **Tabla 5**, de los resultados obtenidos según cada metodología para la naciente de Félix Quesada, (La Hilda).

Tabla 5. Zona de protección según metodología para la naciente Félix Quesada

Metodología	Zona de protección (m)
-------------	------------------------

Tiempos de tránsito	12,85
Radio Fijo	75,07
Darcy	1376,88
Grubb (ancho de captura)	687,70
Grubb (punto de no retorno)	109,51

En la **figura 7**, se muestra la zona operacional, de protección absoluta, así como la zona de protección regulada para la naciente de Félix Quesada (La Hilda), cuyas dimensiones son:

- Zona operacional – Zona de Protección Absoluta: cuadrado de 15 m desde la naciente, hacia todos los lados. Señalada con achurado de cuadrícula rayado, color amarillo.
- Zona de protección absoluta: polígono de 75 m de largo desde la naciente, de ancho: en la margen derecha es de 75 m y en la margen izquierda es de 50 m, según criterio de experto en base a la geomorfología, aguas abajo corresponde a un arco de 15 m de radio. Señalada en color rojo con un achurado de rayas diagonales.
- Zona protección regulada: corresponde a una longitud de 200 m, con el ancho descrito anteriormente. Señalado en color magenta.

4.4.2. Cálculo de la Vulnerabilidad

La vulnerabilidad en la zona de protección operacional y zona de protección absoluta de la naciente Félix Quesada, se determinará según el método GOD (Foster et al, 2002). Los parámetros que se consideran, corresponden a:

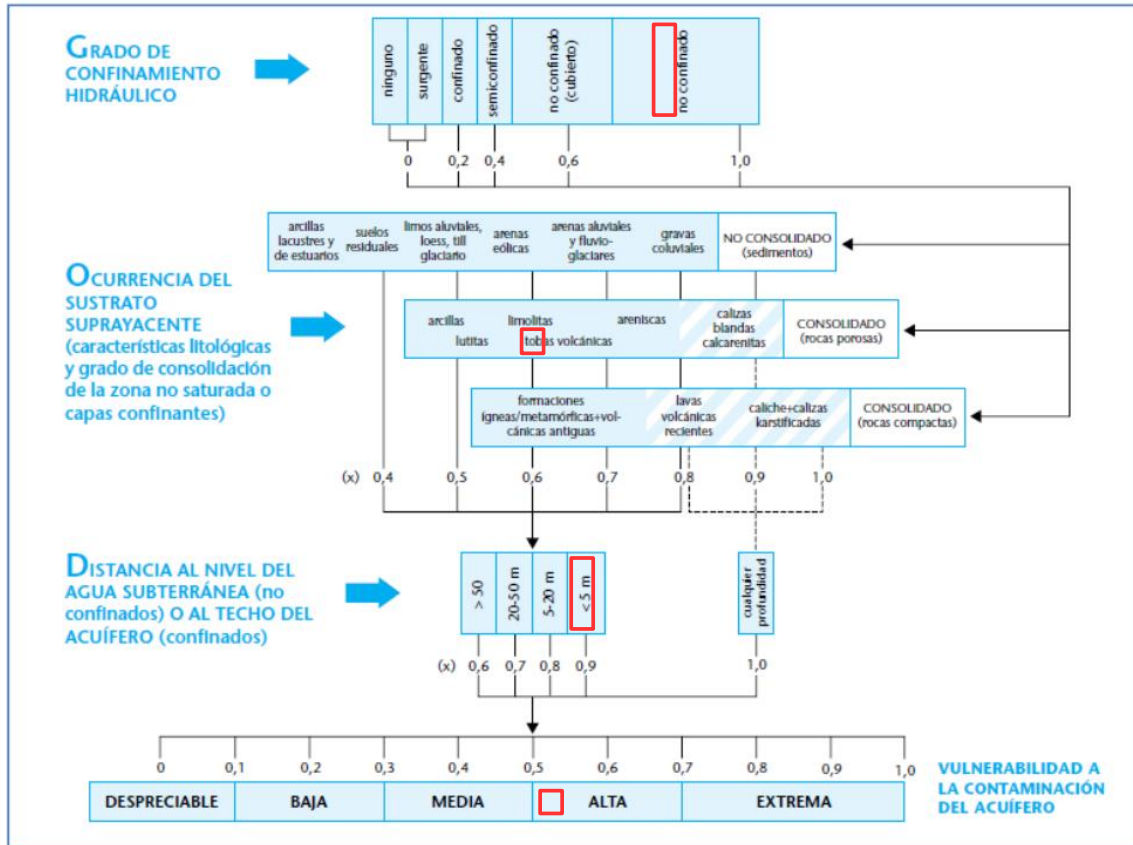
- Grado de confinamiento
- Ocurrencia del sustrato
- Profundidad del nivel freático

Para el caso de estudio, se obtienen los siguientes valores, que se resaltan en la **tabla 6**.

- Grado de confinamiento, **G=1,0**
- Ocurrencia del sustrato, **O= 0,6**
- Profundidad del nivel freático, **D= 0,9**

Obteniéndose, $GOD = 1 \times 0,6 \times 0,9 = 0,54$ que corresponde a un grado de vulnerabilidad alta.

Tabla 6. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.





Hoja Naranja Norte Proyección
 Ocotepeque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866
 Ortofoto PRCR 2005-2007 SNIT
 (Sistema Nacional de Información
 Territorial)

Leyenda

- Naciente
- Ríos y Quebradas
- Curvas de nivel
- Alcantarillado (levantamiento estimado)
- Zona Operacional - Z. P. Absoluta / Vulnerabilidad alta
- Z. P. Absoluta / Vulnerabilidad Alta
- Z. Regulada



**Figura 7: Zona de Protección
 Naciente Félix Quesada (La Hilda)**

Elaboró: Geól. Cristina Castanedo

Agosto, 2016



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
 UEN Gestión Ambiental - Área Funcional de Hidrogeología

4.5 Zona de protección de la naciente Javier Paniagua

A la luz de la actual información hidrogeológica disponible, se procede a plantear el área efectiva para la protección del acuífero de la naciente Javier Paniagua, mediante la determinación de la zona de protección bacteriológica respectiva, conforme a los cálculos de tiempos de tránsito de contaminantes patógenos advectivos, según la metodología de Rodríguez (1994).

4.5.1. Cálculo de tiempos de tránsito

Para determinar los tiempos de tránsito de contaminantes patógenos en el medio hidrogeológico, se consideran los siguientes supuestos:

- El tiempo de residencia máxima de las bacterias en el subsuelo es de 70 días (Lewis, Foster y Drassar, 1982 en Rodríguez, 1994).
- Si en la zona saturada el flujo es predominantemente fisural, el tiempo total mínimo requerido para el análisis es de 100 días y no de 70 días (Rodríguez, 1994).

De esto se desprende que el tiempo total que dura en degradarse un contaminante advectivo de tipo patógeno (ejemplo: bacterias y virus), considerando la componente vertical en la zona no saturada y la componente horizontal en la zona saturada, es de *70 días para medios porosos* y de *100 para medios fracturados*. Por lo tanto, los tiempos de tránsito efectivos para la eliminación de contaminantes de tipo patógeno, ya sea solo en la zona no saturada o inclusive en la zona saturada, dependen de las características hidrogeológicas del medio, tales como: espesor y tipología de los mantos rocosos o depósitos de materiales litológicos o edafológicos, sus características hidráulicas y otros aspectos ligados a la litología.

4.5.1.1. Zona no saturada

El tiempo de tránsito para un flujo vertical de contaminantes patógenos en la zona no saturada (t_1), bajo condiciones de carga hidráulica se determina con la fórmula (**Ec. 1**):

$$t_1 = \frac{b \cdot \phi}{k \cdot i}$$

Donde:

b: espesor de la zona no saturada, en este caso, corresponde al espesor de suelo existente por encima de la naciente, el cual tiene un espesor de **b = 15 m**.

ϕ : porosidad efectiva de los materiales de la zona no saturada. Acordes con los datos de Rodríguez, se considera un valor de $\phi = 0,4$.

k: conductividad hidráulica de la zona no saturada. Valor promedio calculado con los datos de las pruebas de infiltración realizadas en la zona. Se empleó un valor de **k = 1,03 m/día**.

i: gradiente, en este caso es vertical, por lo que **i = 1**.

t_1 : tiempo de tránsito del flujo vertical en la zona no saturada.

Por tanto, para el caso de estudio:

$$t_1 = 5,83 \text{ días}$$

Siendo, 70 días el tiempo total que dura en degradarse un contaminante advectivo de tipo patógeno en la zona no saturada para medios porosos, se concluye que $t = 70 - t_1$

Obteniéndose:

$$t = 64,2 \text{ días}$$

En conclusión se determina un tiempo de tránsito de contaminantes patógenos advectivos, no mayor que la norma de los 70 días para medios porosos (Rodríguez, 1994); para la zona evaluada. Esto indica que el contaminante advectivo de tipo patógeno, no se degradaría antes de llegar a la tabla de agua captada por el pozo en estudio.

4.5.1.2. Zona saturada

Si calculamos el área de protección con la zona saturada, empleando la siguiente ecuación (Ec. 2)

$$T = \frac{d \cdot \square}{k \cdot i}$$

y despejando la incognita d, obtenemos la siguiente formula (Ec. 3)

$$d = \frac{T \cdot k \cdot i}{\square}$$

Donde:

T: es el tiempo de tránsito en zona saturada, $T = 64,2 \text{ días}$

k: conductividad hidráulica promedio de la zona saturada, considero la zona no saturada, ya que el nivel es libre y oscila entre la capa superior de tobas. $K = 1,03 \text{ m/día}$.

i: gradiente, calculado para la naciente Javier Paniagua según isofreáticas de 1090 m y 1080 m, $i = 0,089$.

\square : porosidad efectiva de los materiales de la zona saturada. Acordes con datos bibliográficos para materiales análogos, según Custodio & Llamas (1983) y Sanders (1998), se considera un valor de $\square = 0,3$

d: distancia en metros.

Obteniéndose:

$$d = 19,61 \text{ m}$$

4.5.1.3. Zona saturada con Radio fijo

Para realizar el cálculo de la zona de protección se emplea la ecuación del radio fijo (Ec. 4):

$$r = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot b}}$$

Donde,

Q: caudal en m³/día de la naciente, correspondiente a **Q = 264,38 m³/día.** (MINAE, 2008)

t: tiempo de tránsito del flujo, **t = 64,2 días**

□: porosidad efectiva de los materiales de la zona saturada. Acordes con datos bibliográficos para materiales análogos, según Custodio & Llamas (1983) y Sanders (1998), se considera un valor de □ = **0,3.**

Π: número pi, **Π=3,14**

b: espesor de tobas **b =7,27 m.**

r: es el radio fijo en metros

Con lo que se obtiene, un radio de:

$$r = 49,77 \text{ m}$$

En La Gaceta 137, del 16 de julio de 2015, se indica que: « *La metodología a aplicar para la determinación de zonas de protección y captura corresponde al método analítico de flujo subterráneo en combinación con el método de radio fijo EPA (2001)... La metodología propuesta para el cálculo de las zonas de protección de pozos y manantiales se puede consultar en el Alcance 105 de La Gaceta 147, del 12 de julio de 2012* ».

4.5.1.4. Zona con Darcy

Empleando la ley de Darcy, para el calculo de la longitud a proteger (**Ec. 5**):

$$Q = T \cdot i \cdot L$$

Donde,

Q: caudal en m³/día de la naciente, correspondiente a **Q = 264,38 m³/día.** (MINAE, 2008)

T: es la transmisividad del acuífero, siendo T = k*b, T=1,03*7,27, **T = 7,49 m²/día.**

i: gradiente, **i = 0,089**

L: Longitud en m a proteger desde el pozo

Con lo que se obtiene, un valor de:

$$L = 396,70 \text{ m}$$

4.5.1.5. Zona con ancho de captura

Empleando la ecuación de Grubb, 1993, (**Ec. 6**), se calcula el ancho de captura, donde:

$$a = \frac{2 \cdot Q \cdot L}{k \cdot (h_1^2 - h_2^2)}$$

Donde,

Q: caudal en m³/día de la naciente, correspondiente a **Q = 264,38 m³/día**. (MINAE, 2008)

L = distancia entre los dos puntos de observación del espesor acuífero, **L = 100 m**.

k = conductividad hidráulica, **k=1,03 m/día**

h₁ = espesor saturado en un punto aguas arriba medido en el perfil; **h₁ = 11,82 m**.

h₂ = espesor acuífero, **h₂ = 5,44 m**.

a = ancho de la zona de captura

Por tanto, se obtiene un valor de:

$$a = 466,19 \text{ m}$$

4.4.1.6. Zona con punto de no retorno

El punto de no retorno, de la ecuación de Grubb, 1993, (Ec. 7), se define como la distancia aguas abajo del pozo a estudiar hasta donde se puede extender el contaminante.

$$X_0 = \frac{Q \cdot L}{\pi \cdot k \cdot (h_1^2 - h_2^2)}$$

Donde,

Q: caudal en m³/día de la naciente, correspondiente a **Q = 264,38 m³/día**. (MINAE, 2008)

L = distancia entre los dos puntos de observación del espesor acuífero, **L = 100 m**.

Π: número pi, **Π=3,14**

k = conductividad hidráulica, **k=1,03 m/día**

h₁ = espesor saturado en un punto aguas arriba medido en el perfil; **h₁ = 11,82 m**.

h₂ = espesor acuífero, **h₂ = 15 m**.

X₀ = es la distancia aguas abajo.

Obteniéndose:

$$X_0 = 98,66 \text{ m}$$

A continuación se muestra un resumen, **Tabla 6**, de los resultados obtenidos según cada metodología para la naciente de Javier Paniagua.

Tabla 5. Zona de protección según metodología para la naciente Javier Paniagua

Metodología	Zona de protección (m)
Tiempos de tránsito	19,61

Radio Fijo	49,77
Darcy	369,70
Grubb (ancho de captura)	466,19
Grubb (punto de no retorno)	98,66

En la **figura 8**, se muestra la zona operacional, de protección absoluta, así como la zona de protección regulada para la naciente de Javier Paniagua, cuyas dimensiones son:

- Zona operacional – Zona de Protección Absoluta: cuadrado de 15 m desde la naciente, hacia todos los lados. Señalada con color amarillo.
- Zona de protección absoluta: polígono de 50 m de largo desde la naciente, de ancho en ambas margenes de la quebrada 50m, aguas abajo corresponde a un arco de 15 m de radio. Señalada en color rojo con un achurado de rayas diagonales.
- Zona protección regulada: corresponde a una longitud de 200 m por ley. Señalada en beige con un achurado de rayas diagonales.

4.4.2. Cálculo de la Vulnerabilidad

La vulnerabilidad en la zona de protección operacional y zona de protección absoluta de la naciente Javier Paniagua, se determinará según el método GOD (Foster et al, 2002). Los parámetros que se consideran, corresponden a:

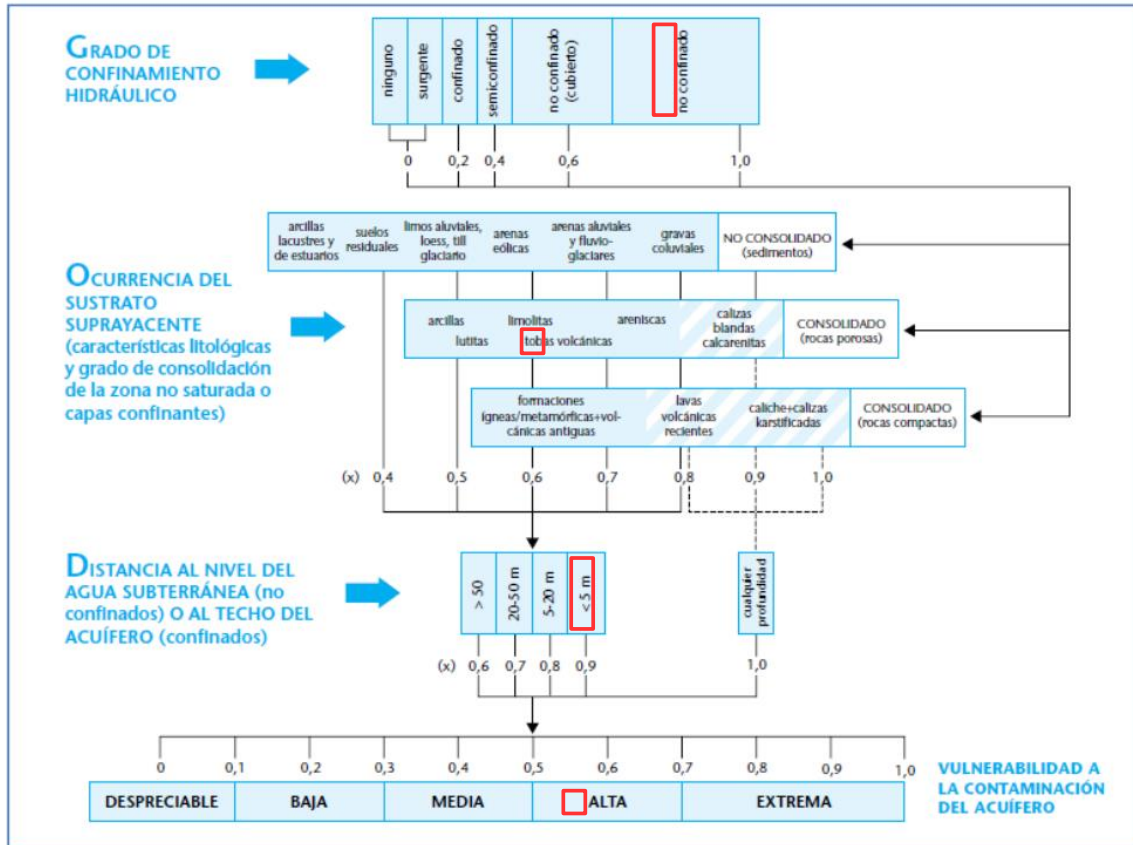
- Grado de confinamiento
- Ocurrencia del sustrato
- Profundidad del nivel freático

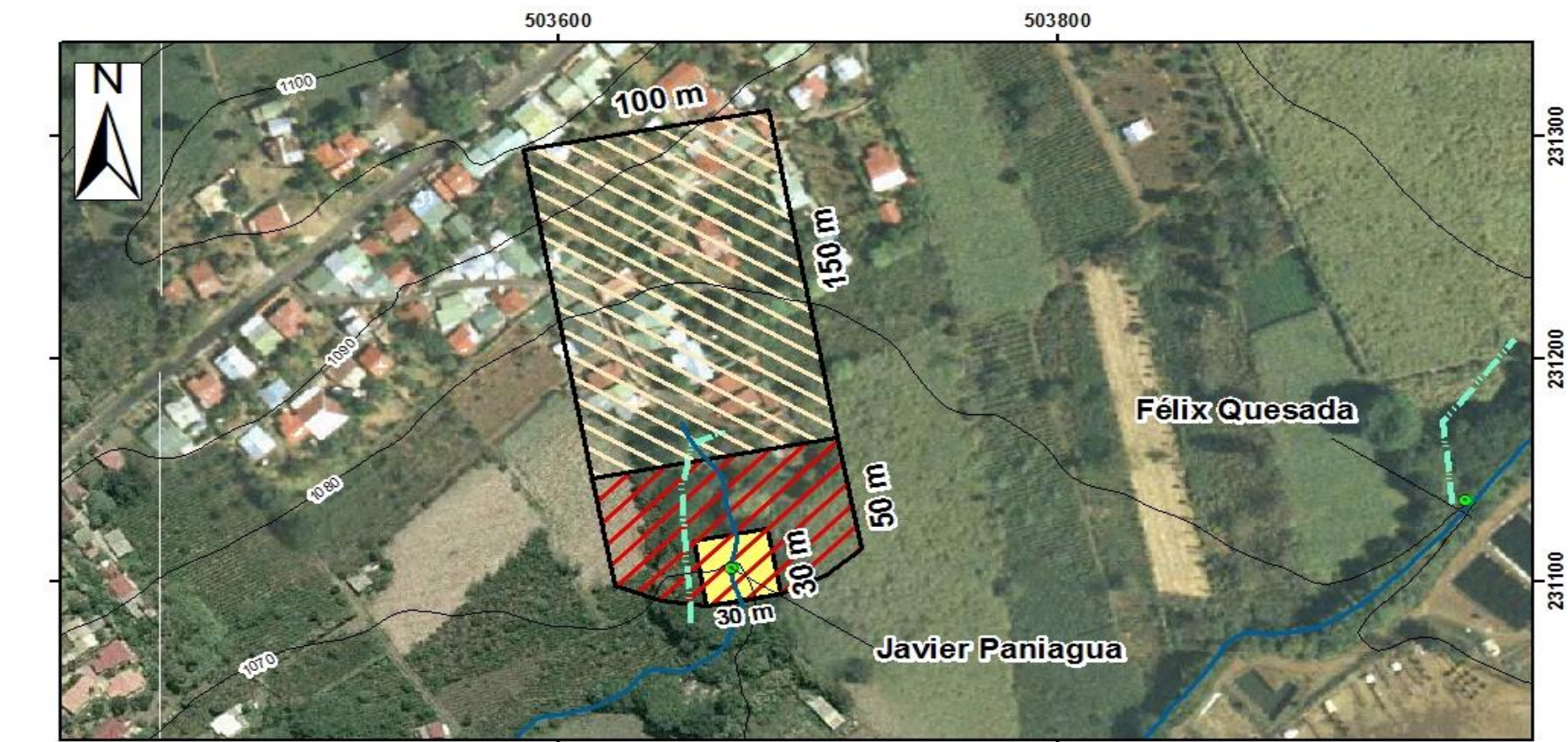
Para el caso de estudio, se obtienen los siguientes valores, que se resaltan en la **tabla 7**.

- Grado de confinamiento, acuífero libre: **G=1,0**
- Ocurrencia del sustrato, tobas: **O= 0,6**
- Profundidad del nivel freático, inferior a 5 m: **D= 0,9**

Obteniéndose, $GOD = 1 \times 0,6 \times 0,9 = 0,54$ que corresponde a un grado de vulnerabilidad alta.

Tabla 7. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.





0 25 50 100 Metros

Hoja Naranja Norte Proyección
 Ocotepeque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866
 Ortofoto PRCR 2005-2007 SNIT
 (Sistema Nacional de Información
 Territorial)

Legenda

- Naciente
- Ríos y Quebradas
- Curvas de nivel
- - - Alcantarillado (levantamiento estimado)
- Zona Operacional - Z. P. Absoluta / Vulnerabilidad alta
- Z. P. Absoluta / Vulnerabilidad Alta
- Z. Regulada



Figura 8: Zona de Protección Naciente Javier Paniagua

Elaboró: Geól. Cristina Castanedo Agosto, 2016

V. ESTADO DE LAS CAPTACIONES

En la zona de las nacientes, hay descargas de aguas residuales y las nacientes se encuentran muy próximas a las viviendas, en especial en el caso de la naciente Javier Paniagua. (**Fig. 7 y 8**)

En la naciente de Félix Quesada la descarga de aguas servidas se realiza aguas abajo de las mismas naciente, y se encuentra en tubo de concreto o rip loc.

Para el caso de la naciente de Javier Paniagua, la cual no está siendo usada actualmente, las descargas se producen en una pequeña loma en la parte superior a las captaciones de la toma, donde se canalizan por medio una zanja en la tierra hasta descargar en la quebrada aguas abajo del tanque de la naciente. No obstante, esta zanja corta la dirección de flujo de las aguas subterráneas, por lo que se recomienda eliminar estos vertidos para asegurar la calidad del recurso.

Con fines ilustrativos se adjunta en la **Figura 7 y 8** la ubicación estimada con GPS marca Garmin Montana 650, de las alcantarillas y las aguas servidas respecto a las nacientes.

Además en el caso de ambas nacientes se observaron numerosas raíces en las tomas las cuales sería conveniente retirar y limpiar en especial para el caso de la naciente Félix Quesada que es la se está empleando actualmente para abastecer a la población. (**Fotografías 16 y 17**).



Fotografías 16. Raíces en tubo captación naciente Félix Quesada. Coordenadas E 503964 m y N 231136 m, Costa Rica Lambert Norte.



Fotografías 17. Raíces en captación naciente Javier Paniagua. Coordenadas E 503629 m y N 231159 m, Costa Rica Lambert Norte.

VI. CALIDAD DE AGUA

A la fecha de elaboración del presente informe, la documentación facilitada por parte de la ASADA (Anexo 2) referente a los análisis de calidad de aguas de las nacientes es la siguiente:

- Análisis del Laboratorio Nacional de Aguas, del 24 de mayo de 2016, donde se realizaron dos muestras:
 1. **AYA-ID-04869-2016:** en la fuente pública centro. Donde se concluye que: “Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable n°38924-S.”
 2. **AYA-ID-04868-2016:** en la casa de Lidieth Ortega Amador en la Urbanización la Hilda. Donde se concluye que: “Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable n°38924-S.”
- Análisis Microbiológico, del Laboratorio Nacional de Aguas, del 24 de mayo de 2016, con número de reporte **131082**, donde se muestrearon varios puntos (Mezcla de nacientes San Isidro, Tanque nuevo IMAS, Tanque de almacenamiento 2, Tanque de almacenamiento 3, Red 1: Sr. Walter Bolaños, Tanque de almacenamiento 4, Red 2: Fuente pública centro, Red 3: Escuela Alice Moya Rodríguez, Red 4: Sr. Edwin Rodríguez) y se concluye que: “En este análisis puntual el agua cumple con los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano.”

VII. CONCLUSIONES

1. La zona de estudio se ubica en San Roque, del Cantón de Grecia, en la Provincia de Alajuela. Específicamente, la naciente Felix Quesada (La Hilda) se ubica en las **coordenadas E 503940 m, N 231146 m**, elevación 1080 msnm. Y la naciente Javier Paniagua en las **coordenadas E 503639 m y N 231125 m**, elevación 1070 msnm, Costa Rica Lambert Norte, hoja topográfica de Naranjo (IGN).
2. La litología presente en las nacientes está constituida por tobas areno arcillosas con líticos.
3. Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona estudio está compuesta por dos niveles. Uno superficial libre en tobas areno arcillosas, que rige el comportamiento hidrogeológico de las quebradas y nacientes. Y un segundo nivel, más profundo, que se encuentra confinado entre un pequeño paquete de arcillas. Para el estudio realizado, se emplearon los datos del acuífero superior, donde está presente las nacientes y además de ser el más vulnerable.
4. La dirección de flujo del agua subterránea es en sentido NE-SW con un gradiente de 0,055 m/m, para la naciente de Félix Quesada. Y para la naciente de Javier Paniagua, la dirección es N-S con aportes del NW-SE, con un gradiente de 0,089 m/m.
5. Para la naciente de Félix Quesada, (**fig. 7**) la zona operacional y de protección absoluta corresponde a un cuadrado de 30 m de lado, con centro en la naciente. La zona de protección absoluta es un polígono de 75 m de largo desde la naciente y de ancho: en la margen derecha es de 75 m y en la margen izquierda es de 50 m, según criterio de experto en base a la geomorfología, aguas abajo corresponde a un arco de 15 m de radio. La zona de protección regulada corresponde a una longitud de 125 m, con el ancho descrito anteriormente.
6. Respecto a la vulnerabilidad, según el método GOD, en la zona de protección operacional y zona de protección absoluta de la naciente Félix Quesada, se obtiene un grado de vulnerabilidad alta.
7. Para la naciente de Javier Paniagua, (**fig. 8**) la zona operacional y de protección absoluta es de 15 m desde la naciente, hacia todos los lados, formando un cuadrado con centro en el pozo. La zona de protección absoluta es un polígono de 50 m de largo desde la naciente y de ancho en ambas margenes es de 50 m, aguas abajo corresponde a un arco de 15 m de radio. La zona de protección regulada corresponde a una longitud de 150 m, con el ancho descrito anteriormente.
8. Respecto a la vulnerabilidad, según el método GOD, en la zona de protección operacional y zona de protección absoluta de la naciente Javier Paniagua, se obtiene un grado de vulnerabilidad alta.
9. Las descargas de aguas residuales en la zona de las nacientes pone en riesgo la calidad de las aguas de las mismas, en especial en el caso de la naciente Javier Paniagua,

donde se canalizan por medio una zanja en la tierra hasta descargar en la quebrada aguas abajo del tanque de la naciente. Por lo tanto, se recomienda a la ASADA de San Roque reubicar la zanja o realizar una estructura que no ponga en riesgo la calidad del agua de la naciente. Y que ambos permanentemente se les esten realizando un mantenimiento preventivo.

10. Respecto a la calidad de agua, en base a la información recopilada, el análisis microbiológico realizado el 24 de mayo de 2016, donde se maestean 9 puntos, se concluye que: “En este análisis puntal el agua cumple con los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano.”

Respecto al análisis físico-químico, del 24 de mayo de 2016, donde se realizaron dos muestras, se concluye en ambas que: “Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable n°38924-S.”

VIII. RECOMENDACIONES

1. Canalizar y aislar las aguas servidas en la Naciente Javier Paniagua.
2. Limpiar de raíces y dar mantenimiento a las captaciones de las nacientes.
3. Se recomienda delimitar con malla permitral el área de la Naciente Javier Paniagua, con el fin de restringir el acceso a la naciente.

IX. REFERENCIAS

A. S. RAMIREZ V. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO INTEGRAL Y PROPUESTA DE ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL CANTON OCCIDENTAL DE GRECIA, ALAJUELA, COSTA RICA. 2007.

FOSTER S, HIRATA R, GOMES D, D'ELIA M, PARÍS M. 2002. PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA. BANCO MUNDIAL. WASHINGTON.

P. RUIZ, E. GAZEL, G. ALVARADO, M. CARR, G. SOTO. REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL, 43, 2010. GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LA HOJA DE BARRANCA, COSTA RICA.

M. E. ARIAS, DELIMITACIÓN DEL TUBO DE FLUJO DE LAS NACIENTES: LA HILDA Y JAVIER PANIAGUA, SAN ROQUE DE GRECIA, UCR, 2009.

ANEXO I: POZOS SENARA

ANEXO II: ANÁLISIS DE AGUAS



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
San José, Costa Rica
Apartado 1097-1200. Teléfono 2242-6516. vramos@aya.go.cr

MEMORANDO

PARA: Yamileth Astorga Espeleta
Presidencia Ejecutiva

FECHA: 26 de agosto del 2016

DE: Viviana Ramos Sánchez
UEN Gestión Ambiental

No. UEN-GA-2016-01056



ASUNTO: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE LA NACIENTE FELIX QUESADA (LA HILDA) Y LA NACIENTE JAVIER PANIAGUA

En atención a su solicitud, se adjunta la entrega el Estudio Hidrogeológico denominado: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE LA NACIENTE FELIX QUESADA (LA HILDA) Y LA NACIENTE JAVIER PANIAGUA. SAN ROQUE, GRECIA, ALAJUEA", elaborado por la Geóloga Cristina Castanedo y avalado por la Dirección Funcional de Hidrogeología.


Donde las conclusiones de este estudio son las siguientes:

1. La zona de estudio se ubica en San Roque, del Cantón de Grecia, en la Provincia de Alajuela. Específicamente, la naciente Felix Quesada (La Hilda) se ubica en las coordenadas E 503940 m, N 231146 m, elevación 1080 msnm. Y la naciente Javier Paniagua en las coordenadas E 503639 m y N 231125 m, elevación 1070 msnm, Costa Rica Lambert Norte, hoja topográfica de Naranja (IGN).
2. La litología presente en las nacientes está constituida por tobas areno arcillosas con líticas.
3. Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona estudio está compuesta por dos niveles. Uno superficial libre en tobas areno arcillosas, que rige el comportamiento hidrogeológico de las quebradas y nacientes. Y un segundo nivel, más profundo, que se encuentra confinado entre un pequeño paquete de arcillas. Para el estudio realizado, se emplearon los datos del acuífero superior, donde está presente las nacientes y además de ser el más vulnerable.
4. La dirección de flujo del agua subterránea es en sentido NE-SW con un gradiente de 0,055 m/m, para la naciente de Félix Quesada. Y para la naciente de Javier Paniagua, la dirección es N-S con aportes del NW-SE, con un gradiente de 0,089 m/m.
5. Para la naciente de Félix Quesada, (fig. 7) la zona operacional y de protección absoluta corresponde a un cuadrado de 30 m de lado, con centro en la naciente. La zona de protección absoluta es un polígono de 75 m de largo desde la naciente y de ancho: en la margen derecha es de 75 m y en la margen izquierda es de 50 m, según criterio de experto en base a la geomorfología, aguas abajo corresponde a un arco de 15 m de radio. La zona de protección regulada corresponde a una longitud de 125 m, con el ancho descrito anteriormente.
6. Respecto a la vulnerabilidad, según el método GOD, en la zona de protección operacional y zona de protección absoluta de la naciente Félix Quesada, se obtiene un grado de vulnerabilidad alta.

7. Para la naciente de Javier Paniagua, (**fig. 8**) la zona operacional y de protección absoluta es de 15 m desde la naciente, hacia todos los lados, formando un cuadrado con centro en el pozo. La zona de protección absoluta es un polígono de 50 m de largo desde la naciente y de ancho en ambas margenes es de 50 m, aguas abajo corresponde a un arco de 15 m de radio. La zona de protección regulada corresponde a una longitud de 150 m, con el ancho descrito anteriormente.
8. Respecto a la vulnerabilidad, según el método GOD, en la zona de protección operacional y zona de protección absoluta de la naciente Javier Paniagua, se obtiene un grado de vulnerabilidad alta.
9. Las descargas de aguas residuales en la zona de las nacientes pone en riesgo la calidad de las aguas de las mismas, en especial en el caso de la naciente Javier Paniagua, donde se canalizan por medio una zanja en la tierra hasta descargar en la quebrada aguas abajo del tanque de la naciente. Por lo tanto, se recomienda a la ASADA de San Roque reubicar la zanja o realizar una estructura que no ponga en riesgo la calidad del agua de la naciente. Y que a ambas estructuras permanentemente se les estén realizando un mantenimiento preventivo.
10. Respecto a la calidad de agua, en base a la información recopilada, el análisis microbiológico realizado el 24 de mayo de 2016, donde se maestran 9 puntos, se concluye que: "En este análisis puntal el agua cumple con los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano."
Respecto al análisis físico-químico, del 24 de mayo de 2016, donde se realizaron dos muestras, se concluye en ambas que: "Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable n°38924-S."

Además, las recomendaciones sugeridas a considerar para dicho estudio se indican a continuación:

1. Canalizar y aislar las aguas servidas en la Naciente Javier Paniagua.
2. Limpiar de raíces y dar mantenimiento a las captaciones de las nacientes.
3. Se recomienda delimitar con malla permitral el área de la Naciente Javier Paniagua, con el fin de restringir el acceso a la naciente.


VB° Geóg. Gerardo Ramírez Villegas
Director
UEN de Gestión Ambiental



C: Andres Saenz Vega, Subgerencia Ambiental, Investigación y Desarrollo
Cecilia Martinez Artavia, Subgerencia Gestión de Sistemas Delegados
Archivo interno n° 411