

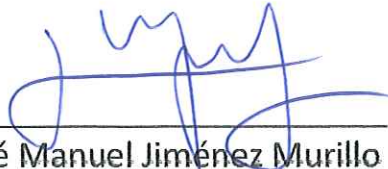
**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS  
UEN DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO  
ÁREA FUNCIONAL DE HIDROGEOLOGÍA**



**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO**

**CÁLCULO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN (OPERACIONAL-ABSOLUTA) BACTERIOLÓGICA  
DE LAS FUENTES SAN DIEGO Y SANTA ROSA, ASADA LLANO BONITO, LEÓN CORTÉS**

**Elaboró:**



Geól. José Manuel Jiménez Murillo  
Área Funcional de Hidrogeología

**Con la colaboración de campo:**

Geól. Carlos David Araya Quirós  
Geól. Jose Daniel Vargas Bolaños  
Área Funcional de Hidrogeología



Revisó y avaló: MSc. Viviana Ramos Sánchez  
Dirección del Área Funcional de Hidrogeología,  
Dirección al UEN Gestión Ambiental



**DICIEMBRE, 2017**



**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](mailto:centrodoc@aya.go.cr) **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette  
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por  
Annette Henchoz Castro  
Fecha: 2019.11.25 16:07:20  
-06'00'

**Firma:** \_\_\_\_\_

# Índice de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>1.1. Objetivo del informe</b> .....	4
<b>1.1.1. Objetivo General</b> .....	4
<b>1.1.2. Objetivos Específicos</b> .....	4
<b>1.2. Ubicación cartográfica y contextual</b> .....	5
<b>2. GEOLOGÍA EN LOS ALREDEDORES DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	7
<b>2.1. Complejo de Nicoya</b> .....	7
<b>2.2. Formación Parritilla</b> .....	9
<b>2.3. Formación Caraigres</b> .....	9
<b>2.4. Formación Pacacua</b> .....	10
<b>2.5. Depósitos Aluviales y Coluviales</b> .....	10
<b>2.6. Falla La Mesa y Las Delicias</b> .....	10
<b>2.7. Geología local</b> .....	10
<b>3. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	14
<b>3.1. Curvas equipotenciales y gradiente hidráulico</b> .....	16
<b>4. PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL ACUÍFERO</b> .....	22
<b>4.1. Conductividad hidráulica en la zona no saturada</b> .....	22
<b>4.2. Conductividad hidráulica en la zona saturada</b> .....	25
<b>5. TIEMPO DE TRANSITO DE CONTAMINANTES</b> .....	25
<b>5.1. Zona no saturada</b> .....	25
<b>5.2. Zona saturada</b> .....	26
<b>6. CALCULO DE LAS ZONAS DE CAPTURA</b> .....	26
<b>6.1. Zonas de captura</b> .....	26
<b>6.2. Radio fijo</b> .....	27
<b>6.3. Ecuación de Darcy</b> .....	28
<b>6.4. Zona de captura geomorfológica</b> .....	29
<b>6.5. Zona operacional</b> .....	29
<b>6.6. Zona de protección</b> .....	30
<b>7. VULNERABILIDAD EN LA ZONA DE PROTECCIÓN INMEDIATA</b> .....	30
<b>8. CALIDAD DE AGUAS</b> .....	34
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	34
<b>10. REFERENCIAS</b> .....	35

## Índice de figuras

Figura 1: Mapa de ubicación del área en estudio.....	6
Figura 2: Mapa geológico del área de estudio.....	8
Figura 3: Mapa de ubicación de nacientes cerca de las fuentes en estudio.....	15
Figura 4: Perfil hidrogeológico A-B.....	17
Figura 5: Perfil hidrogeológico C-D.....	18
Figura 6: Perfil hidrogeológico E-F.....	19
Figura 7: Curvas equipotenciales y ubicación del perfil hidrogeológico para la naciente San Diego.....	20
Figura 8: Curvas equipotenciales y ubicación del perfil hidrogeológico para las nacientes Santa Rosa.....	21
Figura 9: Mapa de ubicación de las pruebas de infiltración alrededor de la naciente San Diego.....	23
Figura 10: Mapa de ubicación de las pruebas de infiltración alrededor de la naciente San Diego.....	24
Figura 11: Zona de protección naciente San Diego.....	31
Figura 12: Zona de protección naciente Santa Rosa 1 y Santa Rosa 2.....	32
Figura 13: Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de las fuentes en estudio.....	33

## Índice de cuadro

Cuadro 1: Información general de las fuentes en estudio.....	5
Cuadro 2: Resultados de las pruebas de infiltración.....	22
Cuadro 3: Tiempo de tránsito de contaminantes en la zona no saturada para las fuentes analizadas.....	25
Cuadro 4: Distancia horizontal mínima para la protección de las fuentes.....	26
Cuadro 5: Ancho de la zona de captura de las fuentes analizadas.....	27
Cuadro 6: Punto de no retorno de las fuentes analizadas.....	27
Cuadro 7: Radio fijo de protección para las fuentes analizadas.....	28
Cuadro 8: Ancho de la zona de captura calculada a partir de la ecuación de Darcy.....	29
Cuadro 9: Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de las fuentes analizadas.....	30

## Índice de anexos

Anexo 1: Memorando UEN-GAR-2017-02172.....	38
Anexo 2: Nota de solicitud por parte de la ASADA de Llano Bonito.....	39
Anexo 3: Reporte de aforos fuentes ASADA Llano bonito.....	40
Anexo 4: Resultados pruebas de infiltración.....	41
Anexo 5: Análisis de calidad del agua realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA.....	46

# ***CÁLCULO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN (OPERACIONAL-ABSOLUTA) BACTERIOLÓGICA DE LAS FUENTES SAN DIEGO Y SANTA ROSA, ASADA LLANO BONITO, LEÓN CORTÉS***

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente estudio se realiza en atención a la solicitud por parte de la UEN Gestión Acueductos Rurales, mediante oficio UEN-GAR-2017-02172 del 4 de julio del 2017 (Anexo 1), en respuesta a la nota por parte de la ASADA de Llano Bonito (Anexo 2). Donde se solicita a la Dirección de Hidrogeología efectuar los estudios pertinentes, con el fin de determinar la zona de protección de las nacientes que abastecen el acueducto de la comunidad.

Así, la Dirección del Área Funcional de Hidrogeología, designa un grupo de trabajo encargado de realizar los estudios correspondientes a la ASADA de Llano Bonito. La visita al lugar y los ensayos de campo correspondientes se realizaron del 27 al 29 de setiembre del 2017.

Por parte de la UEN de Gestión Ambiental – Área Funcional de Hidrogeología asistieron:

- Geól. José Manuel Jiménez Murillo
- Geól. Carlos David Araya Quirós
- Geól. José Daniel Vargas Bolaños

### **1.1. Objetivo del informe**

#### **1.1.1. Objetivo General**

Delimitar la zona de protección absoluta (bacteriológica) de la naciente San Diego y Santa Rosa pertenecientes al acueducto rural de Llano Bonito de León Cortés.

#### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Efectuar un diagnóstico hidrogeológico del entorno en el que se ubican las nacientes en estudio.
- Realizar un cartografiado geológico del sitio.
- Realizar pruebas de infiltración alrededor de las nacientes en dirección aguas arriba, para determinar la conductividad hidráulica de la zona no saturada.
- Determinar el tiempo de tránsito de contaminantes patógenos en el medio acuífero que captan las nacientes.
- Definir geográficamente el área correspondiente a la zona de protección de las nacientes.

## 1.2. Ubicación cartográfica y contextual

Las nacientes en estudio se ubican en las coordenadas 450788 E / 401552 N Lambert Sur (Naciente San Diego) y 525369 E / 187659 N Lambert Norte (Naciente Santa Rosa), en la Hoja Cartográfica Dota y Caraigres respectivamente, escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional. La naciente San Diego se ubica a 5.5 km al oeste del centro urbano de San Isidro de León Cortés, mientras que la naciente Santa Rosa se encuentra a 5.7 km al noroeste del mismo poblado (Figura 1).

La naciente Santa Rosa se encuentra al costado del camino que comunica el poblado de San Francisco de Llano Bonito con el de Santa Rosa de San Isidro, este camino es de lastre y se encuentra en estado moderado. Mientras que el acceso para la naciente San Diego se da por un camino privado a 500 m al norte del pueblo de San Rafael Arriba, en un camino angosto de un carril en medio de plantaciones de café. Por sus condiciones, esta ruta es preferible vehículos de doble tracción.

En el sitio de la Naciente Santa Rosa, la ASADA de Llano Bonito cuenta con dos captaciones, Santa Rosa 1 y Santa Rosa 2 (Fotografía 1). En la Fotografía 2 se observa la captación de la naciente San Diego. En el Cuadro 1 se observa la información de ambas nacientes.

Cuadro 1: Información general de las fuentes en estudio.

Nombre	Lambert Norte		Q (l/s)*
	Latitud	Longitud	
San Diego	183153	523917	4.06
Santa Rosa 1	187659	525369	3.02
Santa Rosa 2	187631	525293	1.84

\*Caudales promedio obtenidos a partir de los aforos realizados por personeros de la ASADA (Anexo 3).



*Naciente Santa Rosa 1*



*Naciente Santa Rosa 2*

Fotografía 1: Captaciones nacientes Santa Rosa (187,615 Norte y 525,316 Este, foto derecha, y 187,640 Norte y 525,313 Este, foto izquierda, proyección Lambert Costa Rica Norte).

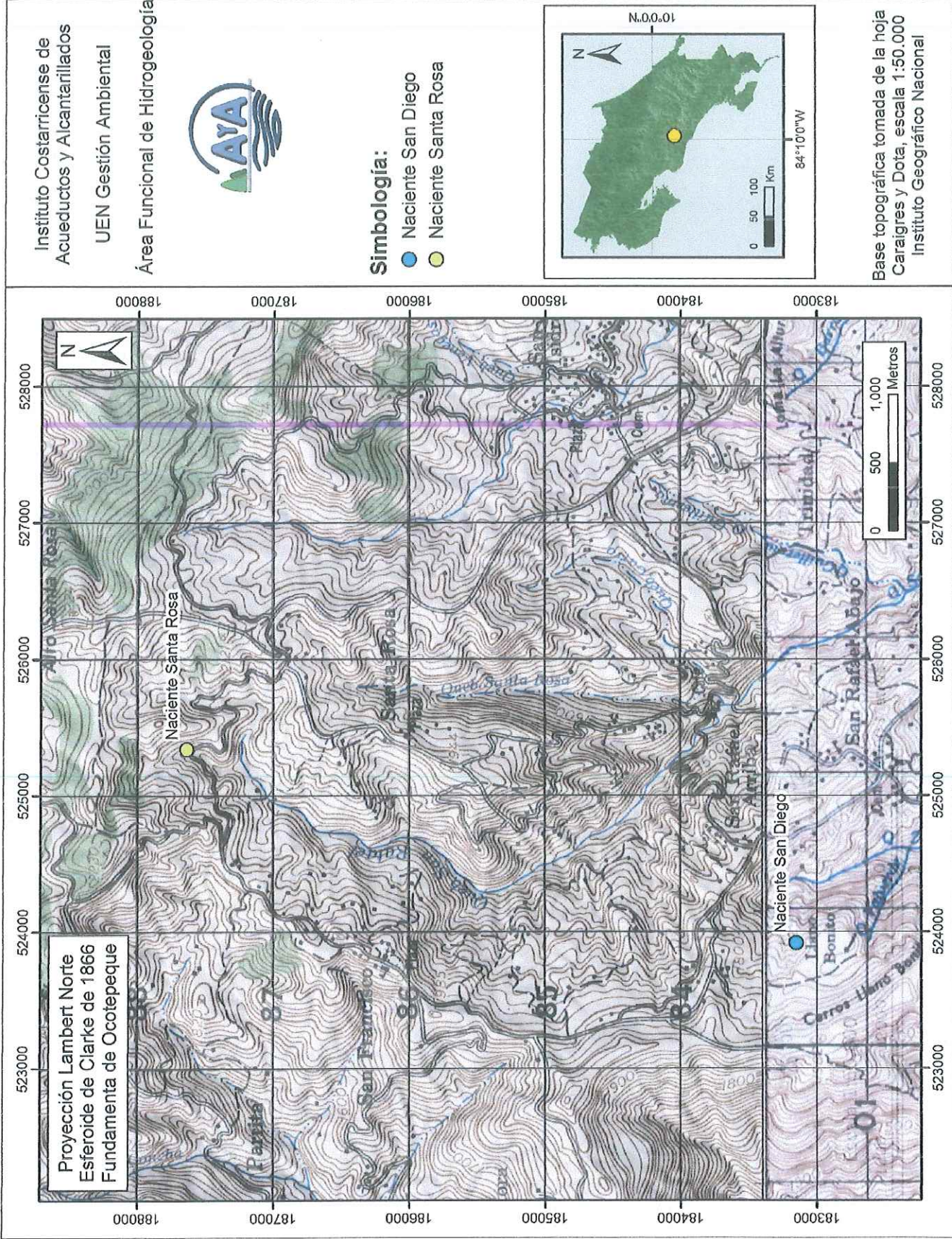


Figura 1: Mapa de ubicación del área en estudio.



Fotografía 2: Captación nacimiento San Diego (183,164 Norte y 523,922 Este, proyección Lambert Costa Rica Norte).

## 2. GEOLOGÍA EN LOS ALREDEDORES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Dentro de la información de carácter regional sobre el tipo de materiales geológicos que se encuentran en la zona de estudio, se reconocen cinco unidades diferentes: Complejo de Nicoya, Formación Parritilla, Formación Caraigres, Formación Pacacua y Depósitos Aluviales y Coluviales. La distribución geográfica de estas unidades se puede observar en la Figura 2.

### 2.1. Complejo de Nicoya

Representan el basamento regional y bajo este mismo nombre se agrupan rocas de origen sedimentario (radiolaritas) y rocas de origen ígneo (basaltos), no obstante, dentro del área de estudio solo se encuentran las rocas de afín ígneo. Estas rocas se asocian al fondo oceánico y constituyen un fuerte evento magmático que abarcó la región del Caribe (Denyer *et al.*, 2014). Según estos autores, son característicos los afloramientos de basaltos en flujos masivos, cruzados por severas familias de fracturas y vetillas rellenas por zeolitas en su mayoría y algunas pocas por sílice y calcita, pudiendo observarse en estructuras de almohadilla y en ocasiones microalmohadilla.

Así mismo Denyer *et al.* (2014) mencionan la asociación que presentan estas rocas con brechas producto de la explosión de las almohadillas o como auto brecha.

Se destaca la presencia de mineralizaciones de jaspe dentro de los basaltos, que en forma meteorizada sobresalen como bloques, producto de la removilización termal de sílice y manganeso a partir de las mineralizaciones de manganeso en radiolaritas (Denyer *et al.*, 2014).

El espesor aflorante mínimo de esta unidad se estima en 1500 m (Denyer & Arias, 1991). Según estos autores, esta formación se encuentra regionalmente subyaciendo en contacto inconforme a las formaciones Punta Carballo, Caraigres, La Cruz, y Parritilla.



**Simbología:**

- Naciente San Diego
- Naciente Santa Rosa 1
- Naciente Santa Rosa 2

- Falla inversa
- Falla rumbo dextral
- Falla rumbo sinistral

**Geología**

- Depósitos Aluviales y Coluviales
- Formación Pacacua
- Formación Carraigres
- Formación Parrtilla
- Complejo de Nicoya

Fuente: Denyer & Arias 1991  
Obando 2011

Base topográfica tomada de la hoja  
Carraigres y Dota, escala 1:50,000  
Instituto Geográfico Nacional

Proyección Lambert Norte  
Esferoide de Clarke de 1866  
Fundamenta de Ocotepaque

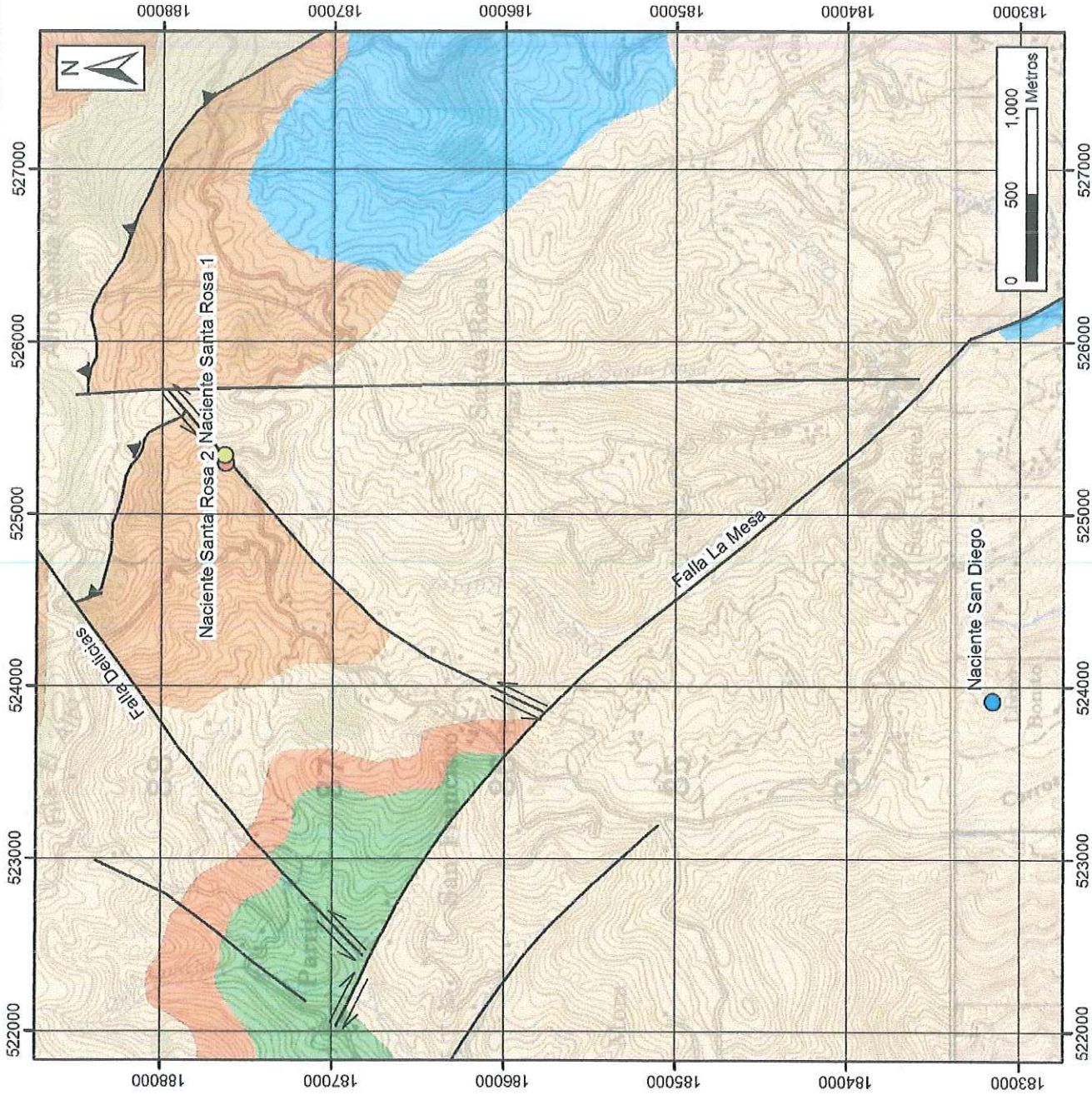


Figura 2: Mapa geológico del área de estudio.

Por medio de dataciones radiométricas de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  determina que esta unidad presenta un rango de edades que abarca desde mediados del Cretácico Inferior hasta inicios del Cretácico Superior, hace unos 133 a 90 millones de años (Hoernle et al., 2004).

## **2.2. Formación Parritilla**

La primera descripción formal de esta formación la realizan Rivier & Calvo (1988) y representa una discontinuidad litológica muy marcada.

Litológicamente según Denyer & Arias (1991), esta unidad está compuesta por calizas bioclásticas de color gris en estratos decimétricos, con intercalaciones métricas de areniscas y lutitas masivas de color también gris.

La formación se encuentra sobreyaciendo regionalmente al Complejo de Nicoya y es sobreyacida de manera concordante por la Formación Caraigres en contacto abrupto, y se extiende de forma tabular unos 15 km al suroeste de la hoja topográfica Caraigres, con un espesor que varía entre los 150 m y 200 m (Denyer & Arias, 1991).

La edad de la Formación se establece en Eoceno tardío (Rivier & Calvo, 1988).

Estos últimos autores describen el ambiente de formación de esta unidad correspondiente a lóbulos bioclásticos ubicados en una laguna con circulación abierta, entre los que destacan macroforaminíferos, equinoideos y esponjas.

## **2.3. Formación Caraigres**

Denyer & Arias (1991) la describen como estratificaciones de areniscas verdosas y/o grises de granulometría desde fina, media hasta gruesa y brechas de fragmentos angulares con diámetro promedio de 3 cm, con una composición predominantemente de basalto, estos clastos se encuentran flotando en una matriz arenosa.

Esta formación se extiende de este a oeste unos 30 km entre las hojas topográficas Caraigres y Candelaria, con una forma irregular en la base y plana en el techo, con espesores que varían entre 600 m y 1200 m (Denyer & Arias, 1991).

Esta unidad sobryace regionalmente al Complejo de Nicoya por medio de una inconformidad y de manera concordante sobre la Formación Parritilla. Así mismo la Formación Caraigres se encuentra subyaciendo concordantemente a la Formación Pacacua.

Con base en dataciones de C. Rodríguez (en: Castillo, M., 1988) y la posición estratigráfica se considera que estas rocas se depositaron en el Oligoceno-Mioceno inferior basal.

Según Castillo (1988) el ambiente que dio origen a esta formación fue un ambiente marino con gran variación energética, probablemente en la zona sublitoral, con la presencia de fósiles como bivalvos y gasterópodos.

## **2.4. Formación Pacacua**

Esta unidad es definida formalmente por Castillo (1969) como una secuencia de 1148 m compuesta de conglomerados brechosos y areniscas conglomeradas, areniscas y tobas. Posteriormente Denyer & Arias (1991) corroboran estas descripciones, atribuyendo a estos sedimentos un origen volcánico con colores muy llamativos con predominio del rojo y morado. También, estos autores añaden que se pueden encontrar diques y sills de diabasa con espesores aproximados de 1 m.

Estos últimos autores describen que dentro de la formación se encuentran troncos fósiles, bivalvos y gasterópodos principalmente en moldes, además dentro de las estructuras sedimentarias se reconocen laminación paralela y ondulada, gradación positiva e inversa y estratificación cruzada.

Según Denyer & Arias (1991) esta unidad sobreyace en contacto gradual a la Formación Carraigres, mientras que el contacto superior se presenta en dos estados: una zona de transición de 300 m con las Brechas Verdes Coyolar, o un contacto brusco con la Formación Peña Negra.

Denyer & Arias (1991) utilizaron criterios estratigráficos y determinaron que esta unidad se depositó durante el Mioceno inferior e indican que su ambiente de depositación fue marino somero (sublitoral) con fuerte influencia de un vulcanismo continental contemporáneo a la depositación de las rocas.

## **2.5. Depósitos Aluviales y Coluviales**

Se interpreta como depósitos de coluvio producto del levantamiento por falla que dieron origen a una serie de cerros ubicados al norte y este de San Isidro. El aporte de material aluvial acarreado por los ríos es moderado, ya que en este punto los ríos presentan un caudal base muy bajo, sin embargo, la energía de arrastre que presenta es alta dada las diferencias en la pendiente.

## **2.6. Falla La Mesa y Las Delicias**

Son consideradas por Denyer *et al* (2009) como fallas paleotectónicas (inactivas), lo que significa que vivieron su último periodo de actividad hace más de 1.6 ma. años. Puntualmente en la captación de la naciente Santa Rosa, existe un fallamiento con movimiento interpretado de tipo sinistral, con una longitud de 3.3 km causante de que aflore el nivel freático en este punto.

## **2.7. Geología local**

En las cercanías donde se ubica la naciente San Diego se encuentran afloramientos de areniscas en estado avanzado de meteorización (Fotografía 3), con colores desde gris muy oscuro hasta rojo y pardo. Estas rocas presentan una matriz muy arcillosa, y sus afloramientos se encuentran moderadamente fracturados, con un estado avanzado de desarrollo de suelo. Este desarrollo de suelo se observa en la parte superior de los afloramientos de rocas tanto de la Formación Carraigres como de la Formación Pacacua.



Fotografía 3: Areniscas muy meteorizadas de la Formación Caraigres (183,582 Norte y 523,585 Este, proyección Lambert Costa Rica Norte).

Específicamente en la captación de la naciente San Diego, se observa el nacimiento del agua a través de los espacios entre bloques de roca (Fotografía 4) deslizados por desprendimiento gravitacional (coluvio) provenientes de los cerros aguas arriba de la naciente, con una composición similar a los que se encuentra en los afloramientos camino a la naciente.



Fotografía 4: Naciente de agua en Captación San Diego (coordenadas de ambas fotos 183,160 Norte y 523,914 Este, proyección Lambert Costa Rica Norte).

En el punto de la captación se observan varias salidas de agua a través de este coluvio como se muestra en la Fotografía 5. Estos deslizamientos de rocas dan origen a los afloramientos de agua, ya que existe una diferencia litología entre las rocas deslizadas en la cual fluye el acuífero y la Formación Caraigres. Esta formación de coluvios se encuentra cubriendo los cerros que dan acceso a la naciente.



Fotografía 5: Coluvio y nacimientos de agua en la captación San Diego (183,168 Norte y 523,924 Este, proyección Lambert Costa Rica Norte).

Mientras que en el punto de la naciente Santa Rosa, como se observa en la Fotografía 6, el agua aflora en cortes de roca fracturada. Esas rocas se agrupan dentro de la Formación Pacacua y se componen de areniscas vulcanoclasticas de granulometría media, con cristales de cuarzo, plagioclasa y fragmentos de roca, con coloraciones que van desde gris hasta morado. Los afloramientos de estas rocas se encuentran masivos, con un alto grado de fracturamiento (Fotografía 7), con un espesor de zona no saturada observado en el campo de 4 m.



Fotografía 6: Cortes de ladera donde afloran nacientes Santa Rosa (187,617 Norte y 525,323 Este, foto derecha, y 187,635 Norte y 525,327 Este, foto izquierda, proyección Lambert Costa Rica Norte).

Estas rocas son muy densas ya que se encuentran alteradas hidrotermalmente con sílice y otros elementos precipitados, producto del ascenso de fluidos hidrotermales debido al fallamiento que cruza el punto de las nacientes.



Fotografía 7: Afloramientos de Formación Pacacua (187,626 Norte y 525,330 Este, proyección Lambert Costa Rica Norte).

Evidencia de esta fallamiento se observa en la Fotografía 8, donde afloran las rocas de la Formación Pacacua. Entre las características que evidencian el trazo de la falla se reconoce: arcilla de falla sobre la superficie de la roca, molienda de la roca, marcas de tracción sobre la roca y mucha alteración hidrotermal generando precipitados de sílice y de manganeso. El trazo de la zona de falla presenta una dirección N40°E y responde a un estilo estructural regional de carácter compresivo que pone en contacto unidad geológica recientes con formaciones antiguas.



Fotografía 8 Trazo de falla cortando las rocas de la Formación Pacacua (187,456 Norte y 525,096 Este, proyección Lambert Costa Rica Norte).

### 3. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Según la Base de Datos del SENARA (2017) en un radio de 2 km de las nacientes Santa Rosa no se tiene registro de ningún pozo, mientras que en las cercanías de la naciente San Diego se encuentra un pozo a 770 m, sin embargo, este no cuenta con ningún reporte litológico por lo cual no es utilizado como insumo para realizar el modelo hidrogeológico.

De acuerdo con el Registro Nacional de Concesiones del MINAE (2017) cerca de la captación San Diego se ubican 5 nacientes, mientras que en las cercanías de la captación Santa Rosa existe registro de 9 nacientes (Figura 3).

Según se observó durante la visita de campo ambas nacientes se desarrollan en rocas sedimentaras porosas, en el caso de la naciente San Diego aflora por una diferencia litológica entre la capa inferior (Formación Carraigres) y la capa superior (coluvio) y en el caso de la naciente Santa Rosa por un cambio topográfico generado por el fallamiento, además del fracturamiento entre las rocas pertenecientes a la Formación Pacacua. Por lo tanto, estos acuíferos se clasifican de tipo libre.

Estas características se pueden observar en el sitio de la captación de la naciente Santa Rosa (Fotografía 9), donde se da un afloramiento de agua en la pared de las rocas de la Formación Pacacua en las partes donde se observa roca sana, mientras que en los sectores donde se da el afloramiento de agua la roca presenta un estado de fracturamiento.



Fotografía 9: Afloramiento de agua naciente Santa Rosa, en zonas porosas en rocas de la Formación Pacacua (187,626 Norte y 525,353 Este, proyección Lambert Costa Rica Norte).

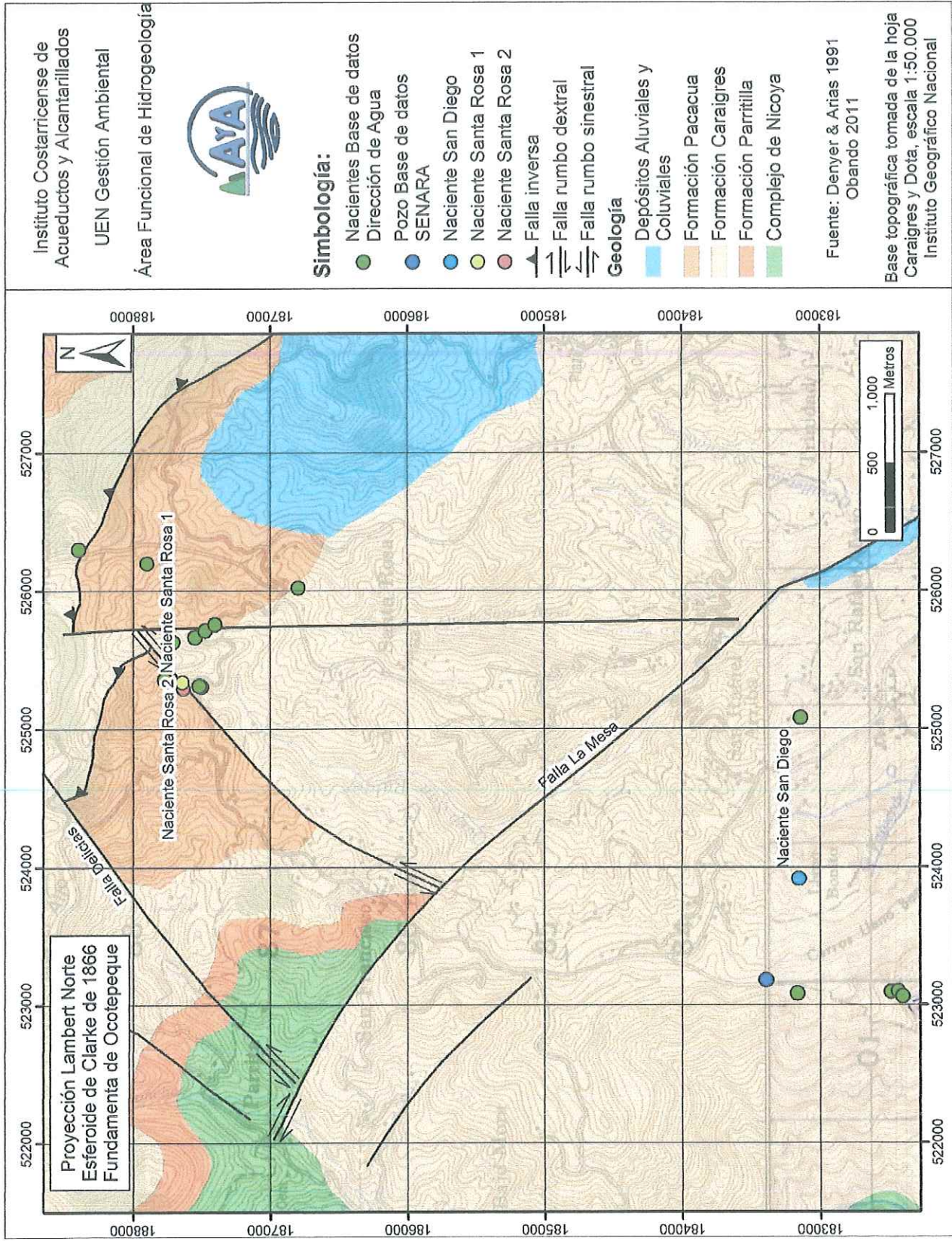


Figura 3: Mapa de ubicación de nacientes cerca de las fuentes en estudio.

Con el fin de caracterizar hidrogeológicamente el área de estudio, se elaboró el perfil hidrogeológico A-B (dirección sureste, Figura 4), el perfil hidrogeológico C-D (dirección suroeste, Figura 5) y el perfil hidrogeológico E-F (dirección sureste, Figura 6), cuya ubicación se muestra en la Figura 7 y la Figura 8.

Según se observa en estos perfiles, bajo el área de estudio se da un predominio de rocas sedimentarias de origen marino, conformado por areniscas pertenecientes a la Formación Carraigres. Como se observa en el perfil hidrogeológico A-B (Figura 4), en la naciente San Diego se encuentra un depósito de coluvio sobreyaciendo a las rocas de la Formación Carraigres. Para definir el nivel freático en la naciente Santa Rosa se tomó como referencia la posición de la naciente San Gerardo registrada en la base de datos de la Dirección de Agua.

### 3.1. Curvas equipotenciales y gradiente hidráulico

Para definir las direcciones del flujo subterráneo se elaboró el mapa de líneas isofreáticas de la Figura 7 y la Figura 8. Para su construcción se tuvo como referencia el nivel freático planteado en los perfiles hidrogeológicos de la Figura 4, Figura 5 y la Figura 6, a partir de los cuales, se elaboraron las curvas equipotenciales.

Como se observa en el mapa de la Figura 7, la dirección de flujo del agua subterránea en la naciente San Diego tiene una dirección predominante hacia el este, mientras que en la naciente Santa Rosa 1 el agua subterránea tiene una dirección de flujo hacia el suroeste y para la naciente Santa Rosa 2 hacia el sureste, como se muestra en la Figura 8.

El gradiente hidráulico del acuífero fue obtenido a partir de las curvas equipotenciales, midiendo la diferencia de carga hidráulica entre dos líneas equipotenciales y la distancia entre ambas. Por lo tanto, para las nacientes se tiene que:

Naciente San Diego:

$$\begin{aligned}\Delta h &= h_2 - h_1 = 1713.96 - 1705.82 = 8.14 \text{ m} \\ L &= 50 \text{ m} \\ i &= 0,1628\end{aligned}$$

Se toma como referencia la elevación de la naciente (1705.82 m.s.n.m.) y la elevación del nivel freático 50 m aguas arriba de la captación (1713.96 m.s.n.m.).

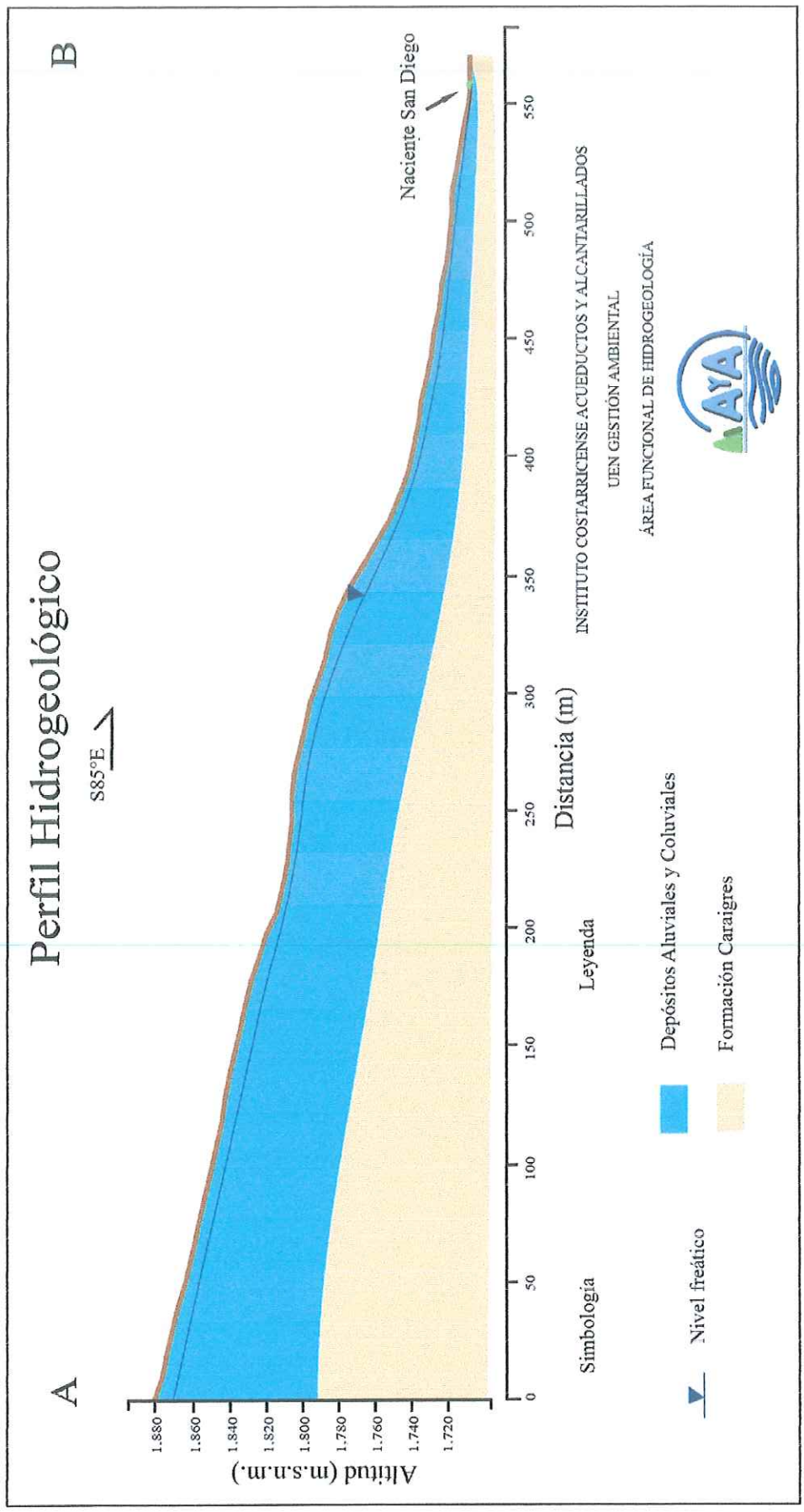


Figura 4: Perfil hidrogeológico A-B.

# Perfil Hidrogeológico

C

D

S40°W

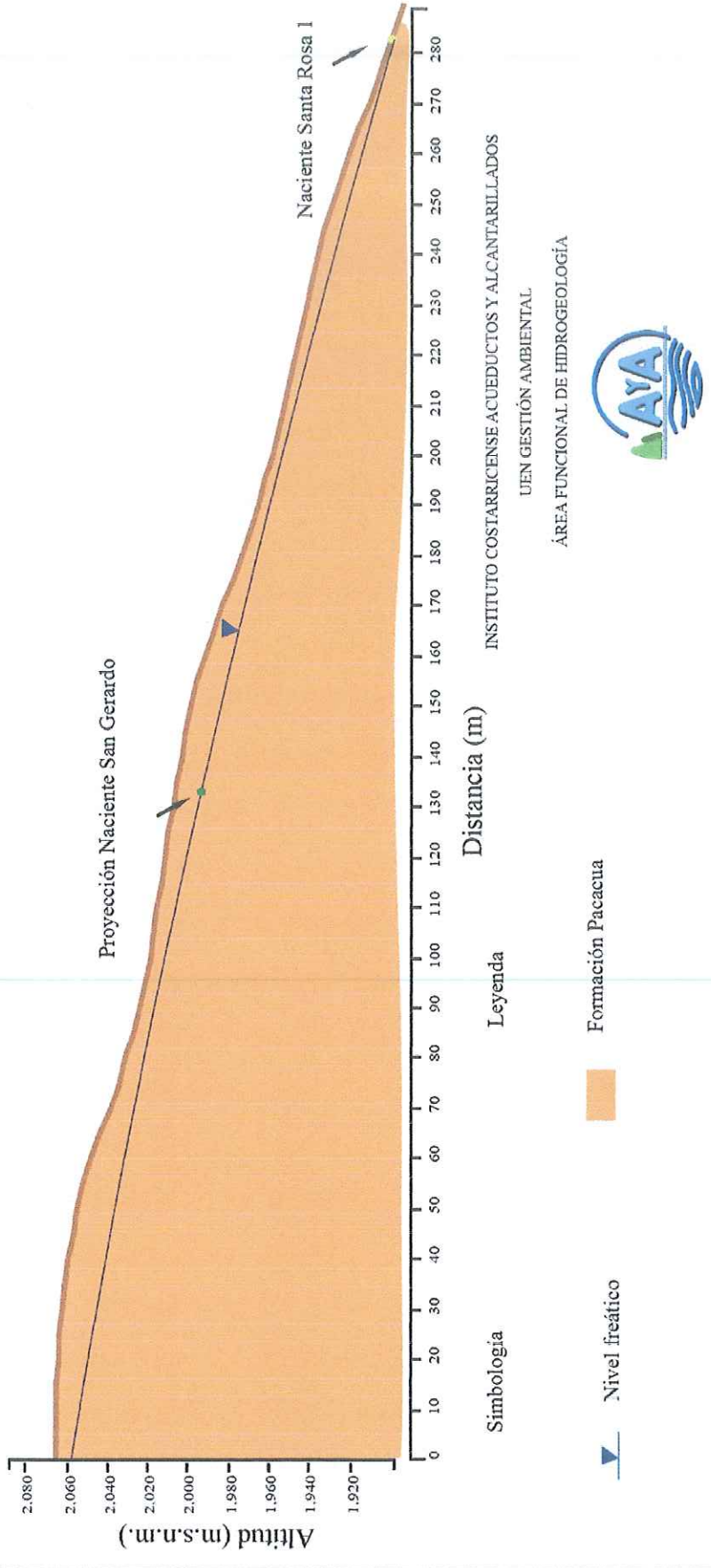


Figura 5: Perfil hidrogeológico C-D.

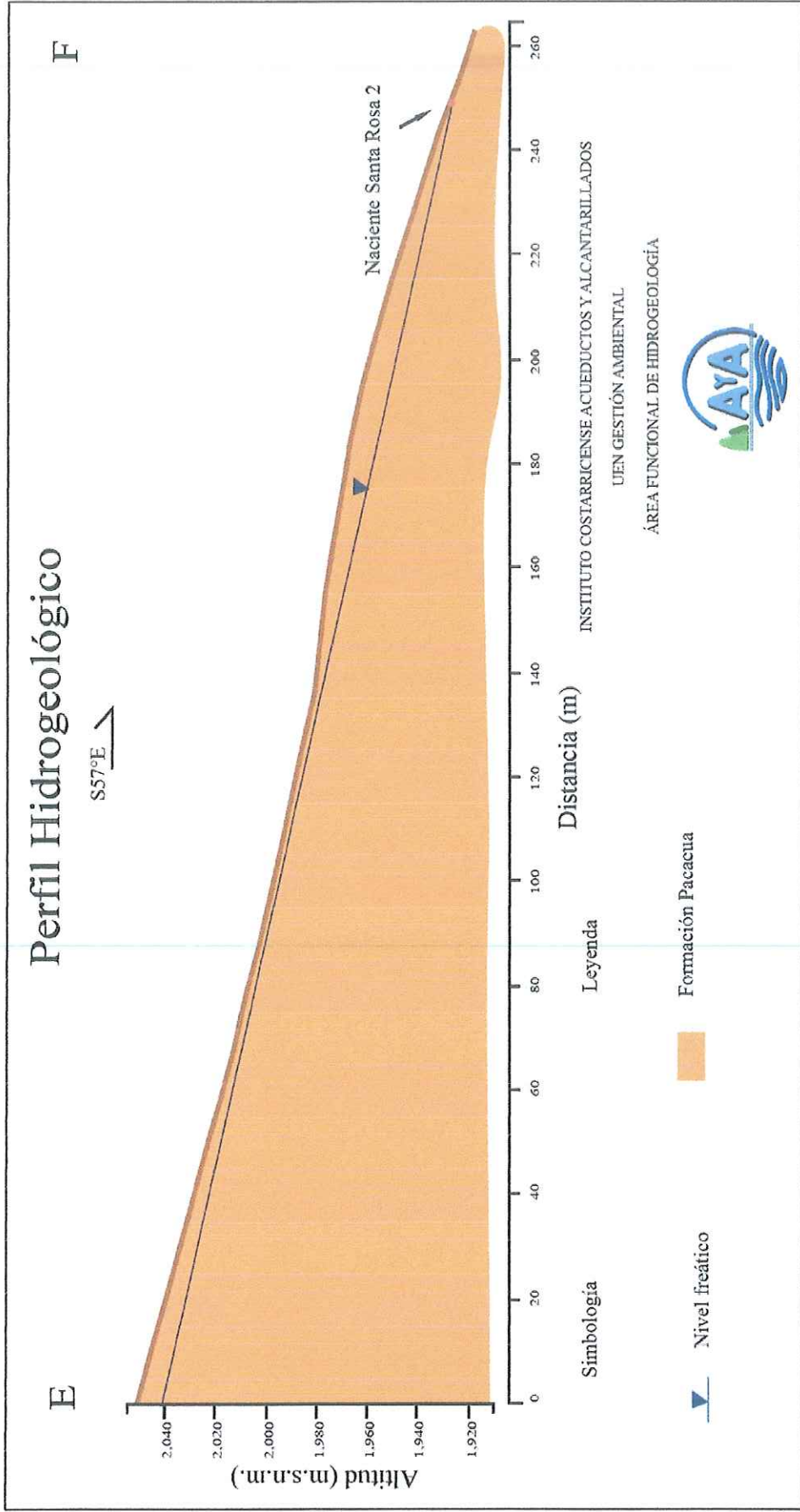


Figura 6: Perfil hidrogeológico E-F.

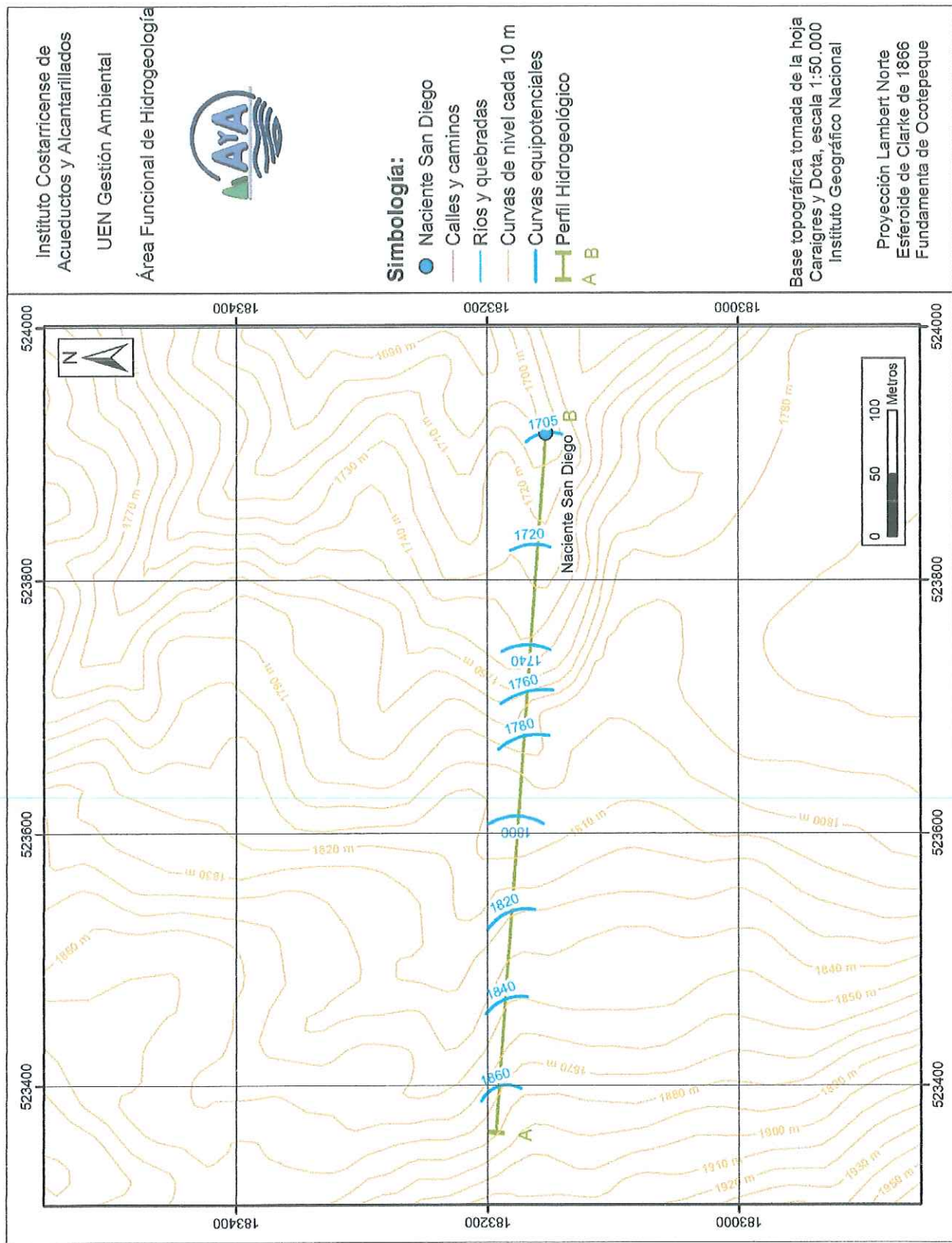


Figura 7: Curvas equipotenciales y ubicación del perfil hidrogeológico para la naciente San Diego.

Instituto Costarricense de  
Acueductos y Alcantarillados

UEN Gestión Ambiental

Área Funcional de Hidrogeología



**Simbología:**

- Nacientes base de datos
- Dirección de Aguas
- Naciente Santa Rosa 1
- Naciente Santa Rosa 2
- Calles y caminos
- Ríos y quebradas
- Curvas de nivel cada 10 m
- Curvas equipotenciales
- Perfil Hidrogeológico C D

Base topográfica tomada de la hoja  
Carraigres y Dota, escala 1:50,000  
Instituto Geográfico Nacional

Proyección Lambert Norte  
Esferoide de Clarke de 1866  
Fundamenta de Ocotepaque

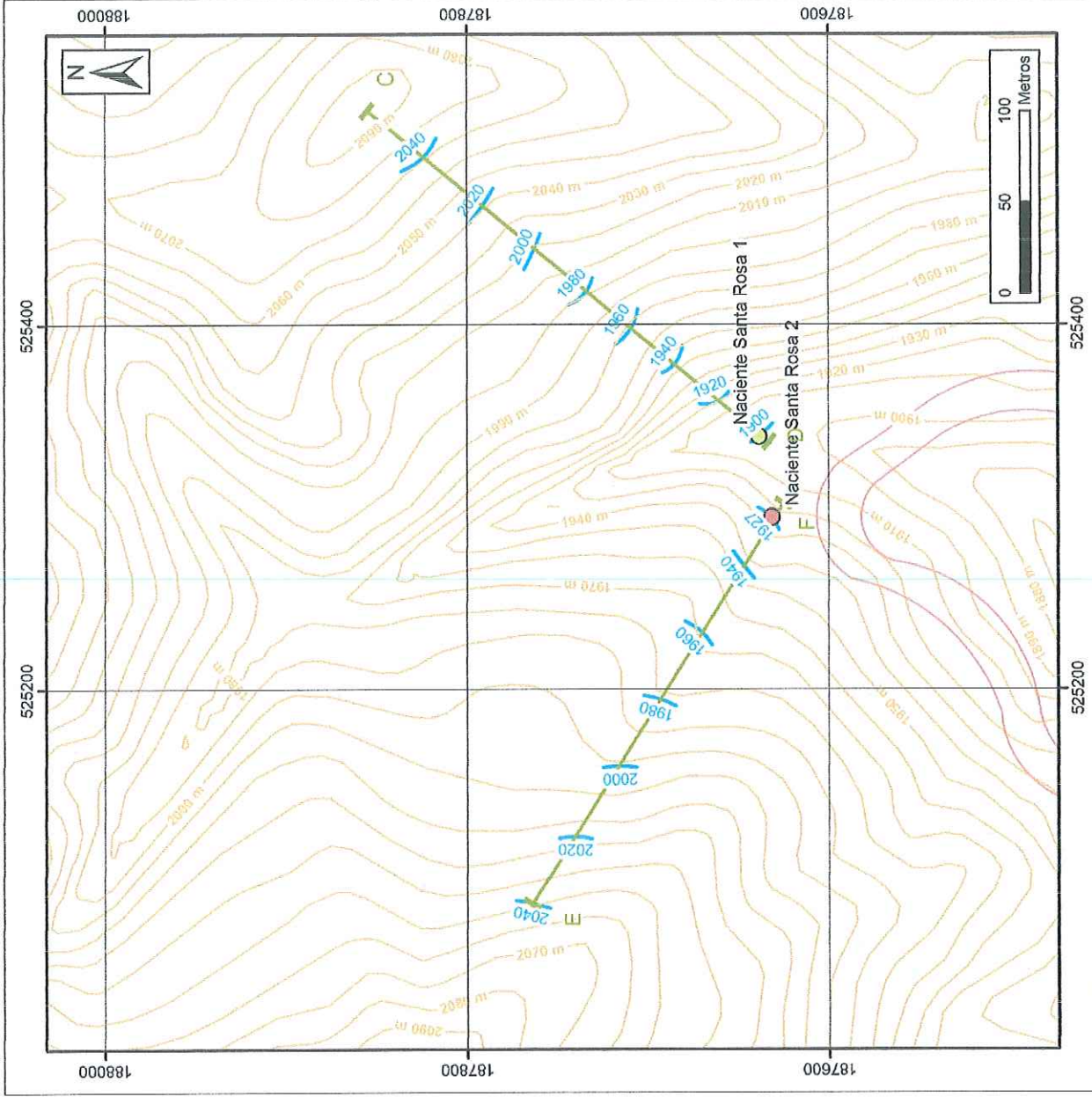


Figura 8: Curvas equipotenciales y ubicación del perfil hidrogeológico para las nacientes Santa Rosa.

Naciente Santa Rosa 1

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 1932.83 - 1900.5 = 32.33 \text{ m}$$

$$L = 50 \text{ m}$$

$$i = 0,646$$

Se toma como referencia la elevación de la naciente Santa Rosa 1 (1900.5 m.s.n.m.) y la elevación del nivel freático 50 m aguas arriba de la captación (1932.83 m.s.n.m.).

Naciente Santa Rosa 2

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 1948.85 - 1926.85 = 22 \text{ m}$$

$$L = 50 \text{ m}$$

$$i = 0,44$$

Se toma como referencia la elevación de la naciente Santa Rosa 2 (1926.85 m.s.n.m.) y la elevación del nivel freático 50 m aguas arriba de la captación (1948.85 m.s.n.m.).

Donde:

i: gradiente hidráulico.

h: elevación de las líneas isofreáticas.

L: distancia entre líneas isofreáticas.

## 4. PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL ACUÍFERO

### 4.1. Conductividad hidráulica en la zona no saturada

Para conocer las características de los materiales que cubren al acuífero se hicieron 7 pruebas de infiltración directamente sobre el terreno en los alrededores tanto de la naciente San Diego como la naciente Santa Rosa, cuya ubicación se observa en la Figura 9 y en la Figura 10. En el Cuadro 2 y en el Anexo 4 se observan los resultados obtenidos con estos ensayos.

Cuadro 2: Resultados de las pruebas de infiltración.

Naciente	Código	Lambert Norte		Infil (cm/min)	Infil (m/día)	Tipo de suelo
		Latitud	Longitud			
San Diego	LB-1	183152	523914	0.4241	3.89808	Limo-Arenoso
	LB-3	183094	523727	0.6132	8.83008	Limo-Arenoso
	LB-9	183211	523592	0.367	5.2848	Arenoso
	LB-10	183302	523757	0.3197	4.60368	Arenoso
Santa Rosa	LB-4	187634	525321	0.0141	8.928	Limo-Arenoso
	LB-5	187805	525363	0.6438	2.3616	Areno-Limoso
	LB-7	187702	525248	0.1654	2.38176	Areno-Arcilloso

Instituto Costarricense de  
Acueductos y Alcantarillados

UEN Gestión Ambiental

Área Funcional de Hidrogeología



**Simbología:**

- Naciente San Diego
- Pruebas de infiltración
- Curvas de nivel
- Ríos y quebradas

Base topográfica tomada de la hoja  
Caraigres y Dota, escala 1:50.000  
Instituto Geográfico Nacional

Proyección Lambert Norte  
Esferoide de Clarke de 1866  
Fundamenta de Ocotepeque

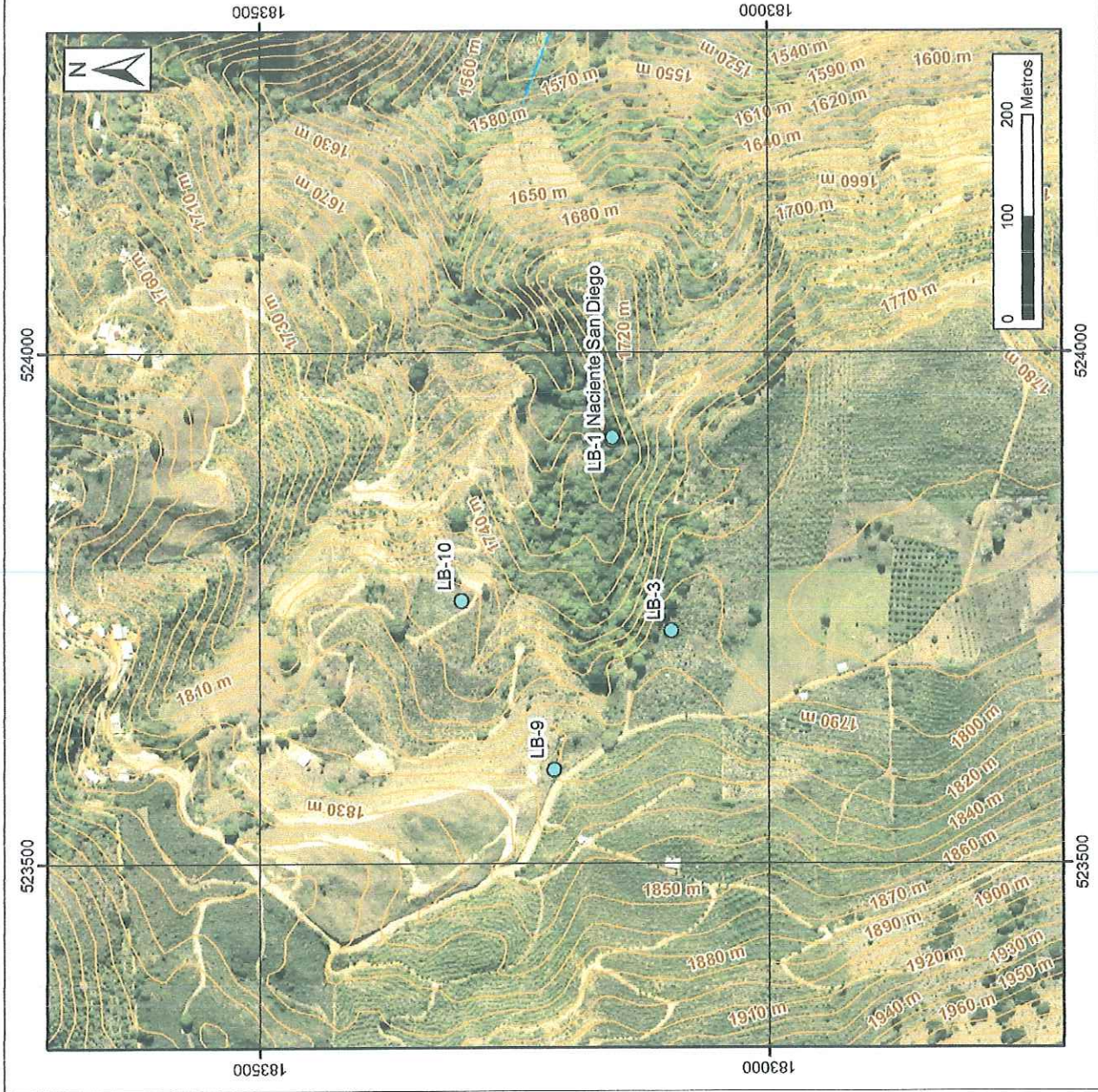


Figura 9: Mapa de ubicación de las pruebas de infiltración alrededor de la naciente San Diego.

Instituto Costarricense de  
Acueductos y Alcantarillados

UEN Gestión Ambiental

Área Funcional de Hidrogeología



**Simbología:**

- Naciente Santa Rosa 1
- Naciente Santa Rosa 2
- Pruebas de infiltración
- Curvas de nivel
- Ríos y quebradas

Base topográfica tomada de la hoja  
Caraigres y Dota, escala 1:50.000  
Instituto Geográfico Nacional

Proyección Lambert Norte  
Esferoide de Clarke de 1866  
Fundamenta de Ocolepeque

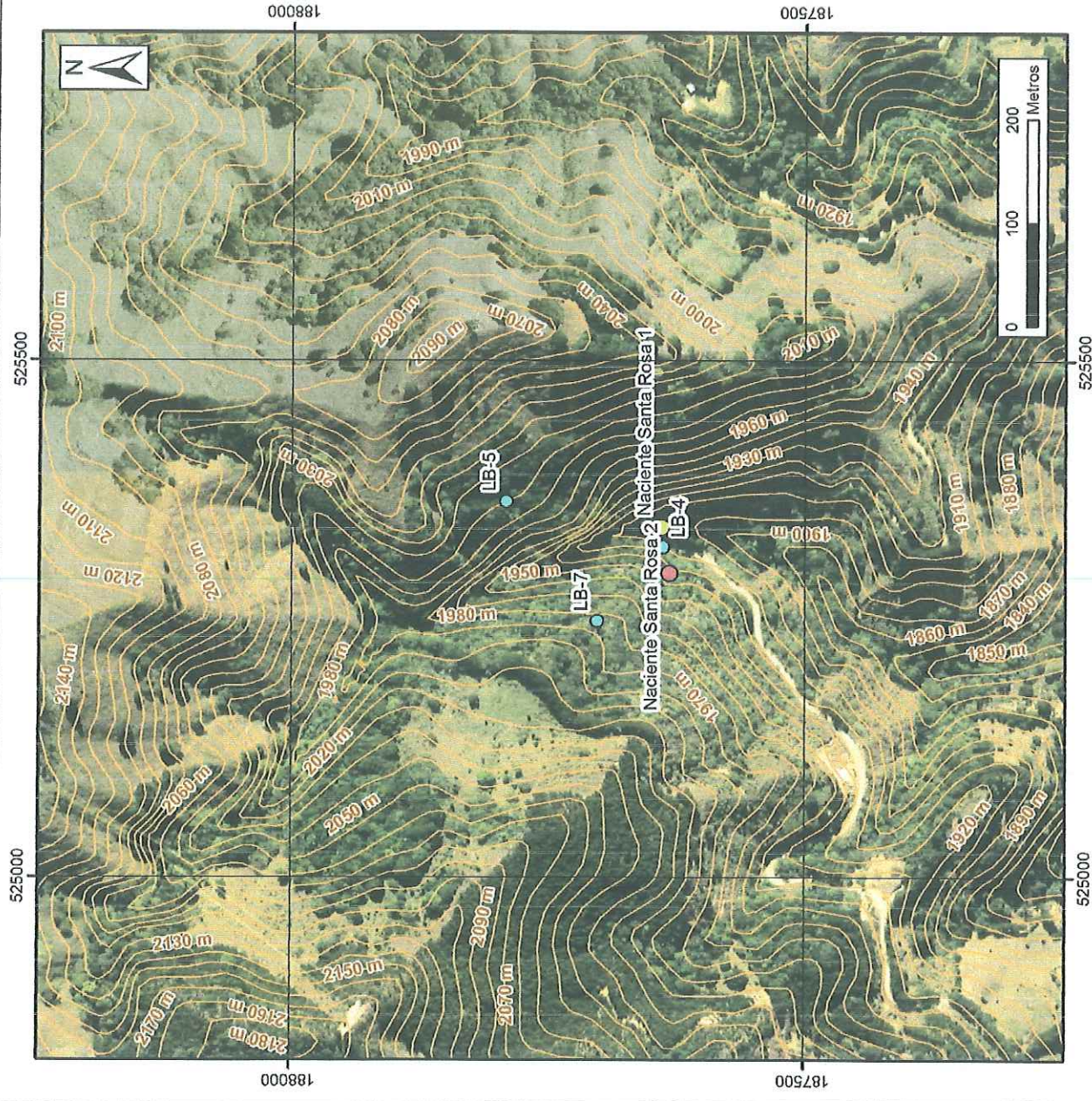


Figura 10: Mapa de ubicación de las pruebas de infiltración alrededor de la naciente San Diego.

A partir de estos resultados se tiene una infiltración promedio en los alrededores de la fuente San Diego de 5.65 m/día, mientras que para la naciente Santa Rosa la velocidad de infiltración es de 4.55 m/día. El valor de porosidad para los suelos se tomará según la clasificación de Sander (1998), siendo de 0,35.

#### 4.2. Conductividad hidráulica en la zona saturada

Debido a que en la zona de estudio no hay pozos cercanos registrados captando alguna de las formaciones en las que se encuentran las nacientes, se tomará la conductividad hidráulica de los acuíferos como el valor promedio obtenido en las pruebas de infiltración, ya que fueron realizadas directamente sobre la roca meteorizada.

Por lo tanto, se tiene un valor de k de 5.65 m/día para la naciente San Diego y de 4.55 m/día para la naciente Santa Rosa. Estos valores se utilizarán para cálculos posteriores.

### 5. TIEMPO DE TRANSITO DE CONTAMINANTES

#### 5.1. Zona no saturada

El tiempo de tránsito para un flujo vertical de contaminantes patógenos en la zona no saturada ( $t_1$ ), se determina con la fórmula:

$$t_1 = \frac{b * ne}{k_v * i}$$

Donde

t = tiempo de tránsito vertical.

b = espesor de la zona no saturada.

ne = Porosidad efectiva = 35% (Sander, 1998).

Kv = Conductividad hidráulica vertical (m/día).

i = Gradiente hidráulico = 1 (flujo vertical).

Sustituyendo estos parámetros por sus respectivos valores, se tienen los resultados consignados en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Tiempo de transito de contaminantes en la zona no saturada para las fuentes analizadas.

Fuente	Permeabilidad (m/día)	Porosidad	Espesor*	t <sub>1</sub> (días)
San Diego	5.65	0,35	4	0.25
Santa Rosa 1	4.55	0,35	7	0.54
Santa Rosa 2	4.55	0,35	11	0.85

\* Según los perfiles hidrogeológicos y observaciones en el campo

## 5.2. Zona saturada

El tiempo de tránsito para un flujo de contaminantes patógenos que se mueve en la tabla de agua subterránea ( $t_2$ ), se determina con la fórmula:

$$t_2 = \frac{d * n_e}{k * i}$$

Donde:

d: distancia recorrida por un contaminante en un tiempo  $t_2$

$n_e$ : porosidad del medio en la zona saturada = 35% (Sander, 1998).

k: permeabilidad promedio del acuífero = 5.65 m/día naciente San Diego y 4.55 m/día naciente Santa Rosa

i: gradiente hidráulico = según se calculó en el apartado 3

La norma dada por el Departamento de Recursos Hídricos del AyA, para la eliminación de bacterias en la zona saturada establece y acepta la fórmula descrita anteriormente. Además, considérese que la componente horizontal del movimiento del flujo en la zona saturada ( $t_2$ ), puede determinarse restando el tiempo total de vida de las bacterias (70 días), según el medio, menos el tiempo en el tránsito vertical (según Rodríguez, 2013).

Para la porosidad del medio en la zona saturada se utiliza el valor de Sanders (1983) para los materiales que conforman el acuífero.

Por tanto, la distancia mínima requerida para la protección de las fuentes será (Cuadro 5):

Cuadro 4: Distancia horizontal mínima para la protección de las fuentes.

Fuente	K (m/día)	i	$t_2$ (días)	Porosidad	D (m)
San Diego	5.65	0.1628	69.75	0,35	183
Santa Rosa 1	4.55	0.646	69.46	0,35	583
Santa Rosa 2	4.55	0.44	69.15	0,35	396

## 6. CALCULO DE LAS ZONAS DE CAPTURA

### 6.1. Zonas de captura

Para delimitar la zona de protección de la naciente en estudio, Grubb (1993) propone una serie ecuaciones con las que se calcula el ancho máximo de la zona de captura (tubo de flujo) en el sentido perpendicular a la dirección del flujo, así como el punto de no retorno de aguas abajo del manantial en sentido de la dirección de flujo.

Así, este método incluye las siguientes expresiones matemáticas:

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

$$x_0 = \frac{\pm Q * L}{\pi * k * (h_1^2 - h_2^2)}$$

Donde:

y: ancho de la zona de captura en el eje "y".

x<sub>0</sub>: punto de no retorno en el eje "x".

Q: caudal (m<sup>3</sup> / día).

k: conductividad hidráulica (m / día)

L: distancia entre dos puntos de observación.

h<sub>1</sub>: altitud de la tabla de agua en un punto de observación aguas arriba de la naciente.

h<sub>2</sub>: altitud de la tabla de agua en un punto de observación aguas abajo de la naciente.

Al sustituir estos parámetros por sus respectivos valores, se tienen los resultados expuestos en Cuadro 5 y Cuadro 6.

Cuadro 5: Ancho de la zona de captura de las fuentes analizadas.

Fuente	Q (L/s)	Q (m <sup>3</sup> /d)	k (m/d)	h1 (m)*	h2 (m)**	L	y (m)
San Diego	4.06	350.78	5.65	1713.96	1708.42	35	0.229
Santa Rosa 1	3.02	260.93	4.55	1933.00	1911.59	35	0.049
Santa Rosa 2	1.84	158.98	4.55	1948.85	1933.74	35	0.042

\*: Altura de la tabla de agua en un punto ubicado a 50 metros horizontales en dirección aguas arriba de cada fuente.

\*\* : Altura de la tabla de agua en un punto ubicado a 15 metros horizontales en dirección aguas arriba de cada fuente.

Cuadro 6: Punto de no retorno de las fuentes analizadas.

Fuente	Q (L/s)	Q (m <sup>3</sup> /d)	k (m/d)	h1 (m)*	h2 (m)**	L	± X <sub>0</sub> (m)
San Diego	4.06	350.78	5.65	1713.96	1708.42	35	0.036
Santa Rosa 1	3.02	260.93	4.55	1933.00	1911.59	35	0.008
Santa Rosa 2	1.84	158.98	4.55	1948.85	1933.74	35	0.007

\*: Altura de la tabla de agua en un punto ubicado a 50 metros horizontales en dirección aguas arriba de cada fuente.

\*\* : Altura de la tabla de agua en un punto ubicado a 15 metros horizontales en dirección aguas arriba de cada fuente.

Se indica que, mediante criterio de experto, se dejará 15 m aguas abajo de cada fuente como parte de la zona operacional y de protección absoluta.

## 6.2. Radio fijo

Para realizar el cálculo de la zona de protección a partir de un círculo de radio "R", se emplea la siguiente ecuación del radio fijo:

$$R = \sqrt{\frac{Q * t}{\pi * n * b}}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/día) de la naciente.

t: tiempo de tránsito del flujo horizontal en el acuífero.

n: porosidad del acuífero.

b: espesor del acuífero.

R: radio fijo en metros.

Al sustituir cada uno de estos parámetros con los valores correspondientes, se tienen los resultados del Cuadro 7.

Cuadro 7: Radio fijo de protección para las fuentes analizadas.

Fuente	Q (L/s)	Q (m3/d)	t (días)	Porosidad	b (m)	R (m)
San Diego	4.06	350.78	69.75	0.35	9.55	48.27
Santa Rosa 1	3.02	260.93	69.46	0.35	38.20	20.77
Santa Rosa 2	1.84	158.98	69.15	0.35	42.62	15.32

\*: Espesor del acuífero obtenido a partir del perfil hidrogeológico, a una distancia horizontal de 50 metros en dirección aguas arriba de cada fuente.

### 6.3. Ecuación de Darcy

Para establecer el ancho de la zona de protección, una de las metodologías a emplear se basa en la aplicación de la Ley de Darcy, la cual establece que:

$$Q = T * i * L$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/día) de la naciente.

T: transmisibilidad promedio del acuífero.

L: ancho de la sección transversal a través de la cual se da el flujo de agua.

i: gradiente hidráulico = según se calculó en el apartado 3

Despejando "L" de la ecuación anterior, se tiene:

$$L = \frac{Q}{T * i}$$

Para el cálculo de transmisividad se utiliza la siguiente relación:

$$T = ki$$

Al sustituir cada uno de estos parámetros con los valores correspondientes, se tienen los resultados expuestos del Cuadro 8.

Cuadro 8: Ancho de la zona de captura calculada a partir de la ecuación de Darcy.

Fuente	Q (L/s)	Q (m <sup>3</sup> /d)	T (m <sup>2</sup> /día)	i	L (m)
San Diego	4.06	350.78	0.920	0.16280	2342.516
Santa Rosa 1	3.02	260.93	2.9393	0.64600	137.418
Santa Rosa 2	1.84	158.98	2.002	0.44000	180.474

#### 6.4. Zona de captura geomorfológica

Como se mencionó en párrafos anteriores, el afloramiento de la naciente San Diego se da en un coluvio sin cobertura, por lo que para la protección es relevante su identificación y delimitación. Se ha identificado claramente este coluvio (Figura 11), el cual tiene una dirección suroeste – noreste, desde el punto de afloramiento de la fuente hasta una altitud de 1900 m.s.n.m., donde se observa el inicio de esta morfología.

Mientras que la naciente Santa Rosa tiene su afloramiento a través de rocas sedimentarias porosas y su recarga se da en los cerros al este de la Fila el Alto, que se extiende desde la captación de las nacientes hacia el norte hasta una altitud de 2200 m.s.n.m. (Figura 12) por lo cual es importante la delimitación y protección de esta zona de recarga.

#### 6.5. Zona operacional

Según Foster et al (2002), la zona operacional de un pozo se define como el perímetro de protección más interior dentro de una zona de resguardo o protección, la cual comprende una pequeña área de terreno alrededor de la propia fuente de abastecimiento. Análogamente, se puede utilizar esta misma premisa para efectos de protección de nacientes. Es deseable que esta área sea propiedad y esté bajo el control del ente administrador que realizará la explotación, siendo delimitada por un área de 15 metros de radio alrededor de la fuente.

Es un área de reserva absoluta y no se deberán permitir actividades que no estén relacionadas con la extracción misma del agua y aun así estas actividades necesitan ser evaluadas y controladas cuidadosamente para evitar la posibilidad de que contaminantes alcancen la fuente ya sea de forma directa o a través de alteraciones del terreno en las adyacencias (Foster et al, 2002).

Todas las partes de esta zona que sean usadas para actividades de mantenimiento de la naciente (o su captación), deberían tener un piso de concreto para prevenir la infiltración de sustancias químicas u otras (aceites, etc), que sean utilizadas en el mantenimiento (en este caso de las captaciones, de los cloradores u otros). Para prevenir la invasión de animales y vandalismo, la colocación de una cerca perimetral en esta zona es una práctica usual y muy recomendable (Foster et al, 2002).

La especificación de la dimensión de esta área es siempre algo arbitraria y depende en cierto modo de la naturaleza de las formaciones geológicas locales, aunque es altamente recomendable que posea un radio de por lo menos 15 metros (Foster et al, 2002), tal como se observa en la Figura 11 y la Figura 12.

## 6.6. Zona de protección

Se ha definido la zona de protección de las nacientes San Diego y Santa Rosa (Figura 11 y Figura 12) cuyas dimensiones son las siguientes para cada una:

- La zona operacional y protección absoluta tendrá un ancho de 30 m, definido como un radio de 15 m alrededor de la fuente. En ella no se podrán desarrollar actividades ajenas a la captación, mantenimiento y protección de las fuentes. Esta delimitación se aplica para todas las nacientes.

La zona de protección absoluta, según los resultados obtenidos con la metodología de tránsito de contaminantes y la delimitación por geomorfología será la siguiente:

- San Diego: tendrá una longitud máxima de 183 m y un ancho máximo de 85 m (Figura 11).
- Santa Rosa 1: tendrá una longitud máxima de 287 m y un ancho máximo de 61 m (Figura 12).
- Santa Rosa 2: tendrá una longitud máxima de 367 m y un ancho máximo de 47 (Figura 12).

## 7. VULNERABILIDAD EN LA ZONA DE PROTECCIÓN INMEDIATA

La vulnerabilidad de la zona operacional y de protección inmediata es determinada mediante la aplicación del método G.O.D. (Foster et al, 2002), el cual toma en cuenta tres factores y aplica un índice a cada uno de ellos (Figura 13). Los tres factores analizados son los siguientes:

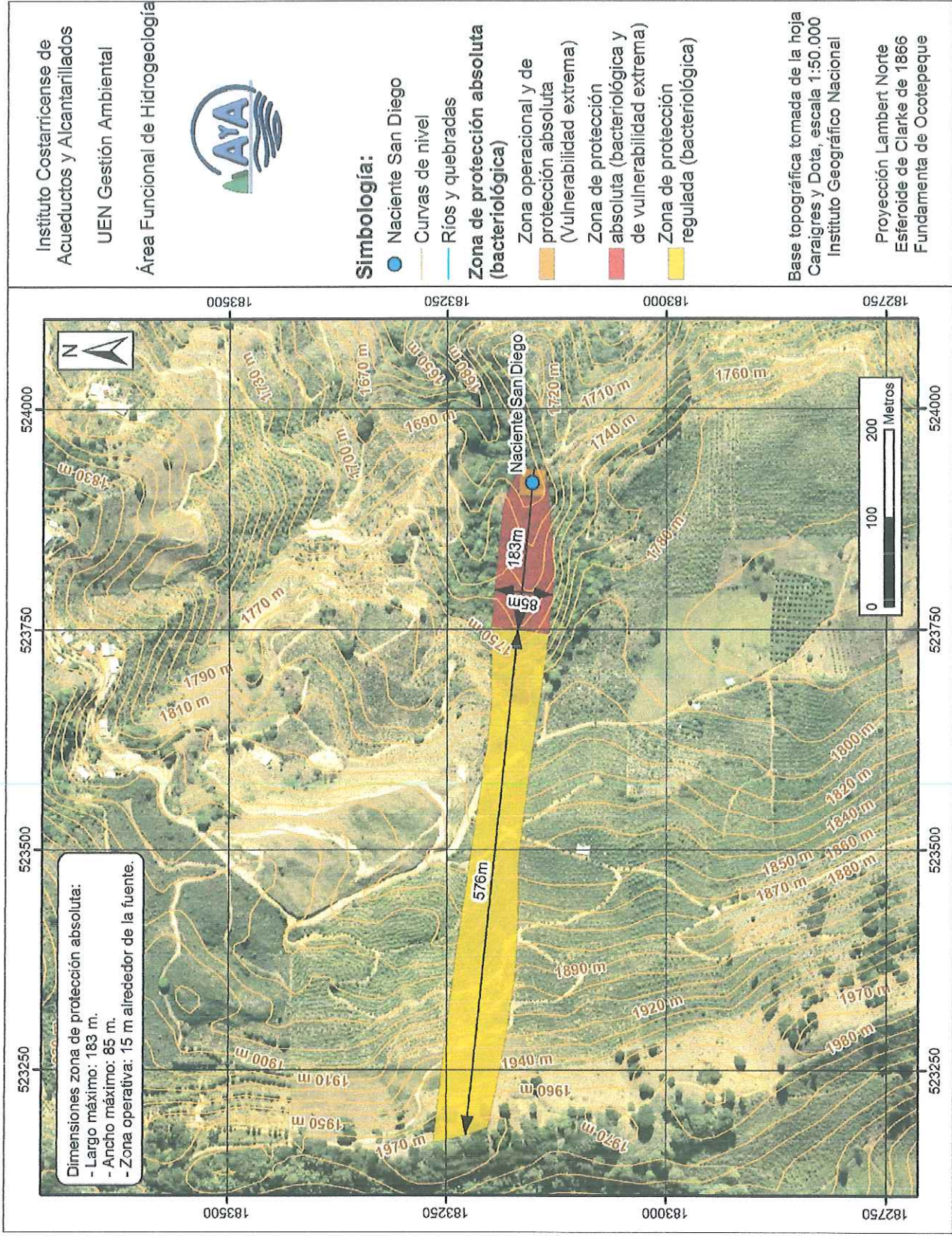
- Grado de confinamiento (G)
- Estrato sobreyacente (O)
- Profundidad al nivel freático (D)

Para las fuentes analizadas, su vulnerabilidad intrínseca a la contaminación es la siguiente (Cuadro 9):

Cuadro 9: Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de las fuentes analizadas.

Fuente	G	O	D*	Vulnerabilidad	
San Diego	1 (Acuífero libre)	0,8 (Gravas coluviales)	0,9 (<5 m)	0.72	Extrema
Santa Rosa 1	1 (Acuífero libre)	0,8 (Areniscas)	0,9 (<5 m)	0.72	Extrema
Santa Rosa 2	1 (Acuífero libre)	0,8 (Areniscas)	0,9 (<5 m)	0.72	Extrema

\*: Espesor de la zona no saturada, medido en el campo



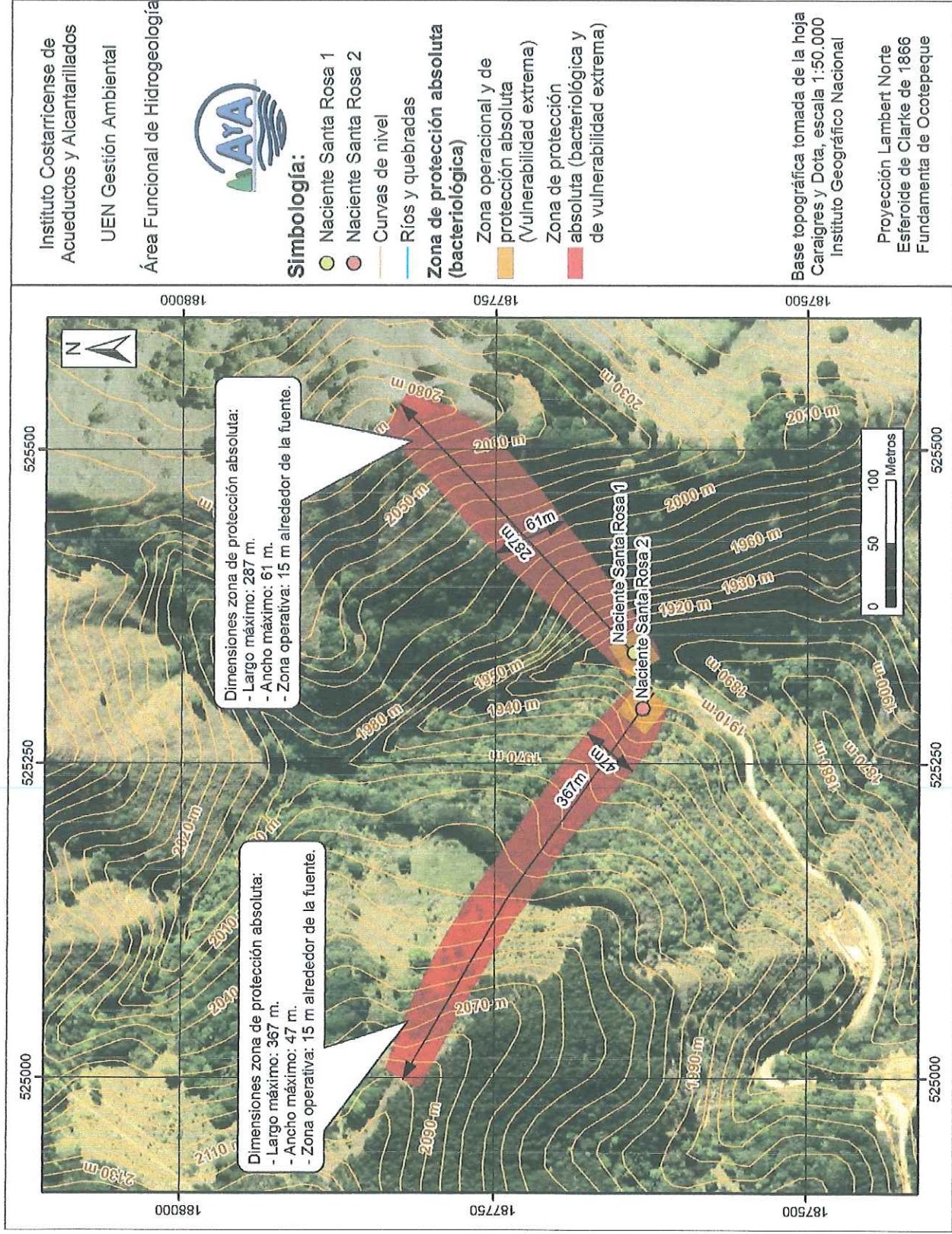


Figura 12: Zona de protección naciente Santa Rosa 1 y Santa Rosa 2.

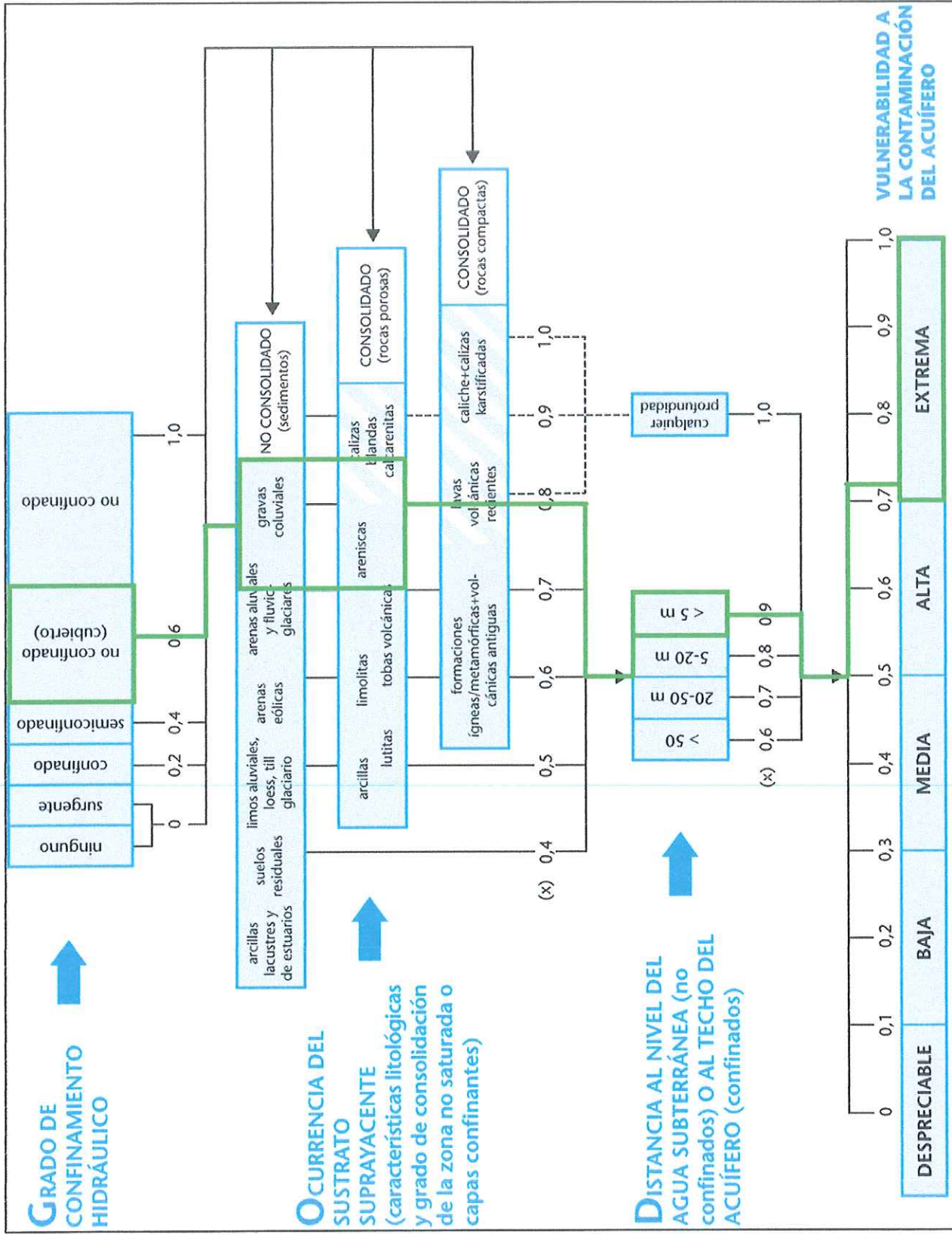


Figura 13: Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de las fuentes en estudio.

## 8. CALIDAD DE AGUAS

Mediante correo electrónico con fecha 30 de octubre del 2017 se aportó por parte del Área de Química de Agua Potable & Unidad de Investigación en Agua, Ambiente y Salud del Laboratorio Nacional de aguas los siguientes análisis (Anexo 5):

- AYA – ID – 03199 – 2015 (nacientes Santa Rosa) del 07 de mayo del 2015: “Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 32327-S”.
- AYA – ID – 03201 – 2015 (naciente San Diego) del 07 de mayo del 2015: “Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 32327-S”.

Mediante correo electrónico con fecha 30 de octubre del 2017 se aportó por parte Área de Microbiología & Unidad de Investigación en Agua, Ambiente y Salud del Laboratorio Nacional de aguas los siguientes análisis (Anexo 5):

- reporte 134039 (nacientes Santa Rosa) del 31 de octubre del 2016: 4- “En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano excepto en mezcla de nacientes Santa Rosa 1, 2 y 3”
- reporte 137203 (nacientes San Diego) del 10 de mayo del 2017: 4- “En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano únicamente en la naciente San Diego”.

## 9. CONCLUSIONES

1. El área de estudio se encuentra en un medio geológico de depósitos de origen marino con influencia volcánica, conformado por paquetes de areniscas de granulometría variada. En el caso de la naciente San Diego, el agua se encuentra almacenada en un coluvio que recubren los cerros de la zona, generado por la caída de bloques englobados en una matriz arenosa, por estas características se clasifica al acuífero como libre no cubierto. En la naciente Santa Rosa, el agua se almacena en las areniscas de la Formación Pacacua y el agua fluye a través de los espacios vacíos en la roca (porosidad primaria) y el fracturamiento de la roca (porosidad secundaria), por lo cual se considera como un acuífero libre no cubierto.
2. En lo que respecta a la zona de protección (Figura 11 y Figura 12) de las nacientes, sus dimensiones quedan establecidas de la siguiente forma:

Fuente	Zona operacional y de protección absoluta	Zona de protección absoluta (Bacteriológica)
San Diego	30 metros de ancho, definido como un radio de 15 m alrededor de cada fuente.	Ancho de 85 m Largo de 183 m
Santa Rosa 1	30 metros de ancho, definido como un radio de 15 m alrededor de cada fuente.	Ancho de 61 m Largo de 287 m

Santa Rosa 2	30 metros de ancho, definido como un radio de 15 m alrededor de cada fuente.	Ancho de 47 m Largo de 367 m
--------------	--	---------------------------------

3. En la zona operacional y zona de protección absoluta se deberá cumplir lo siguiente:
  - La superficie de la captación del pozo debe contar con las dimensiones mínimas de 15 metros de radio alrededor de este.
  - El área de reserva absoluta, solamente deberá ser utilizada para actividades relacionadas con la extracción misma del agua.
  - Las partes usadas para actividades de mantenimiento del pozo, deben estar debidamente selladas (sin fugas), para prevenir la infiltración de sustancias químicas u otras (aceites, etc).
  - Mantener una cerca perimetral alrededor del campo de pozos.
  - La zona de protección absoluta debe dedicarse a la conservación y protección forestal.
  
4. Se determina a partir de los análisis del Laboratorio Nacional de Aguas, con los cuales se contó a la fecha de elaboración de este informe, en los reportes físico –químicos para las nacientes San Diego y Santa Rosa, estos cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 32327-S, según los parámetros físicos-químicos evaluados, y los criterios de Calidad para Potabilización en Aguas de Pozos y Nacientes LNA 2012”. Según el reporte Bacteriológico 134039 para las nacientes Santa Rosa, se determina que “Las nacientes Santa Rosa no cumplen con los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano”, mientras que según el reporte Bacteriológico 137203 para la naciente San Diego se determina que: “La naciente San Diego cumple con los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano”.
  
5. La zona donde se localizan los pozos se clasifica como de vulnerabilidad extrema, según la metodología de GOD para la clasificación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos.
  
6. Se recomienda mantener un monitoreo constante de análisis físico-químico y bacteriológicos para las Nacientes y también en los sistemas de distribución y tanques de almacenamiento, cada tres meses.

## 10.REFERENCIAS

- ALAVARADO, G. & GANS, P., 2012: Síntesis cronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogénia de Costa Rica, América Central. – Rev. Geológica de América Central (46): 7-122. San José, Costa Rica.
- CASTILLO, M., 1969: Geología de los mapas básicos Abra y partes de Río Grande, Costa Rica. – inf. MEIC, 40 págs. + mapa 1:50 000.
- CASTILLO, M., 1988: Estudio geológico del área comprendido entre quebrada Grande y quebrada Achote, cantón de Acosta, provincia de San José. – Inf. Camp. Geol. ECG-UCR., 27 págs.

DENYER, P. & ARIAS, O., 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica. - Rev. Geológica de América Central (12): 1-59. San José, Costa Rica.

DENYER, P., MONTERO, W & ALVARADO, G., 2009: Atlas tectónico de Costa Rica. – 2 ed. – San José, Costa Rica.

DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W., 2014: Cartografía geológica de la península de Nicoya, Costa Rica: estratigrafía y tectónica. - 1. ed. - [San José], C.R.: Edit. UCR.

FOSTER, S. HIRATA, R. GOMES, D. D'ELIA, M. & PARÍS, M., 2002: "Protección de la calidad del agua subterránea". Banco Mundial. Washington.

GRUBB, S., 1993: "Analytical model for estimation of steady-state capture zones of pumping wells in confined an unconfined aquifer". Ground Water 31, No. 1:21-32.

HOERNLE, K., HAUFF, F. & VAN DEN BOOGARD, P., 2004: 70 m.y. History (139-69 Ma) for the Caribbean Large igneous province. - Geology, 32:697-700.

RIVIER, S. & CALVO, V., 1988: Terciario del S del valle Central: sección estratigráfica del cerro Caraigres, prov. San José, Costa Rica. – Rev. Geológica de América Central (9): 61-74. San José, Costa Rica.

SANDERS, L., 1998: A manual of field Hydrogeology. Prentice Hall. 381 pp.

Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica: Hoja Topográfica Caraigres N° 3345 II, escala 1: 50000, edición 3-IGCR, San José, 1989.

Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica: Hoja Topográfica Caraigres N° 3344 I, escala 1: 50000, edición 2-IGCR, San José, 1994.

<http://base-digh.senara.or.cr/index.php> (Base de datos de SENARA consultada el 18 de octubre del 2017).

<http://www.da.go.cr/rp/login.action?userName=publico&password=publico> (Base de datos de la Dirección de Agua consultada el 18 de octubre del 2017).

# ANEXOS

---

Anexo 1: Memorando UEN-GAR-2017-02172




**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**  
Cartago, Costa Rica  
Apartado 1097-1200. Teléfono 2591-7760. [trobles@aya.go.cr](mailto:trobles@aya.go.cr)

**MEMORANDO**

**PARA:** Gerardo Ramírez Villegas  
UEN Gestión Ambiental

**FECHA:** 4 de julio del 2017



  
**DE:** Thelma Robles Valverde  
Jefatura ORAC Central Este  
UEN Gestión Acueductos Rurales

**No. UEN-GAR-2017-02172**

**ASUNTO:** Solicitud estudio de zona de protección

---

Adjunto encontrará nota por parte del señor Juan Diego Araya Bonilla, Administrador de la ASADA de Llano Bonito de León Cortés, donde solicita el estudio para delimitar la zona de protección de las nacientes que abastecen al acueducto de la comunidad.

C: Archivo

*H-116.  
Recibido  
29/6/2017  
Dorlene Rojas*



## Anexo 2: Nota de solicitud por parte de la ASADA de Llano Bonito

**ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL  
LLANO BONITO LEON CORTES  
CÉDULA JURÍDICA 3-002-219696  
TEL: 2546 39 04 6 84 37 98 93 asadallanobonitolc@gmail.com**

3 de julio de 2017

Señora  
Thelma Robles Valverde  
Dirección Regional de Cartago  
Acueductos y Alcantarillados

Estimada señora:

Para la Asociación Administradora del Acueducto Rural de Llano Bonito, es una labor muy importante proteger y mantener los mantos acuíferos de nuestra zona y que abastecen de agua potable a todas las familias de nuestra comunidad.

Como es de su conocimiento, vivimos en una zona de cañicultura extensiva, en la que, con el pasar de los años, las áreas de recarga acuífera se ven atacadas por la frontera agrícola.

Por tal motivo, hago de su conocimiento que tenemos problemas con dos nacientes de nuestros sistemas. Una la naciente que llamamos de Santa Rosa Arriba, que en la actualidad es una de las fuentes principales para Llano Bonito Centro y barrios aledaños y la que llamamos Naciente San Diego que suministra agua a San Gabriel, San Juan y San Luis de León Cortés. Estas dos naciente están debidamente inscritas en la Dirección de Aguas del MINAET.

El problema que tenemos es que hay agricultores que están cultivando los terrenos en el área de recarga acuífera y muy cerca de donde están las captaciones. Aplicando fertilizantes químicos y herbicidas tales como Glifosato, el cual se ha comprobado es cancerígeno.

Por tanto le solicitamos respetuosamente, por acuerdo de la Junta Administrativa de la ASADA Llano Bonito, una visita para realizar la correspondiente delimitación de protección que nos confiere la ley.

Deseando éxito en sus labores,

Atentamente,

*Juan Diego Oraya*  
Juan Diego Oraya Bonilla  
Administrador  
ASADA Llano Bonito

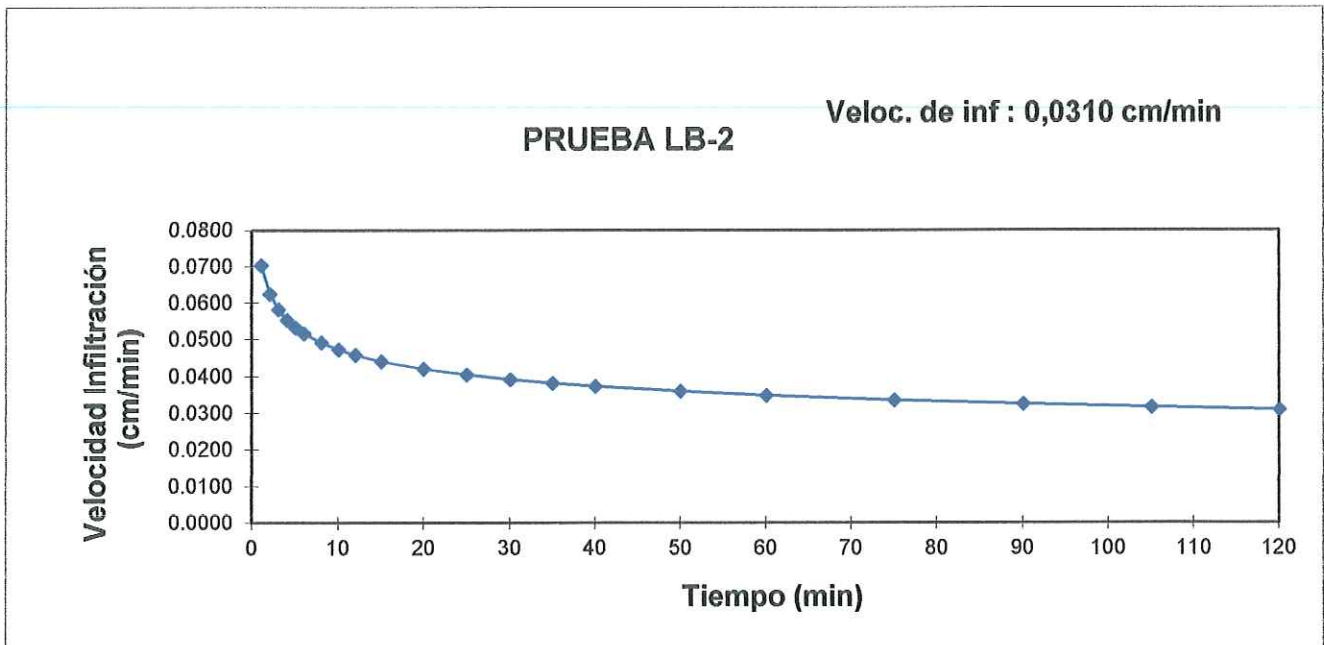
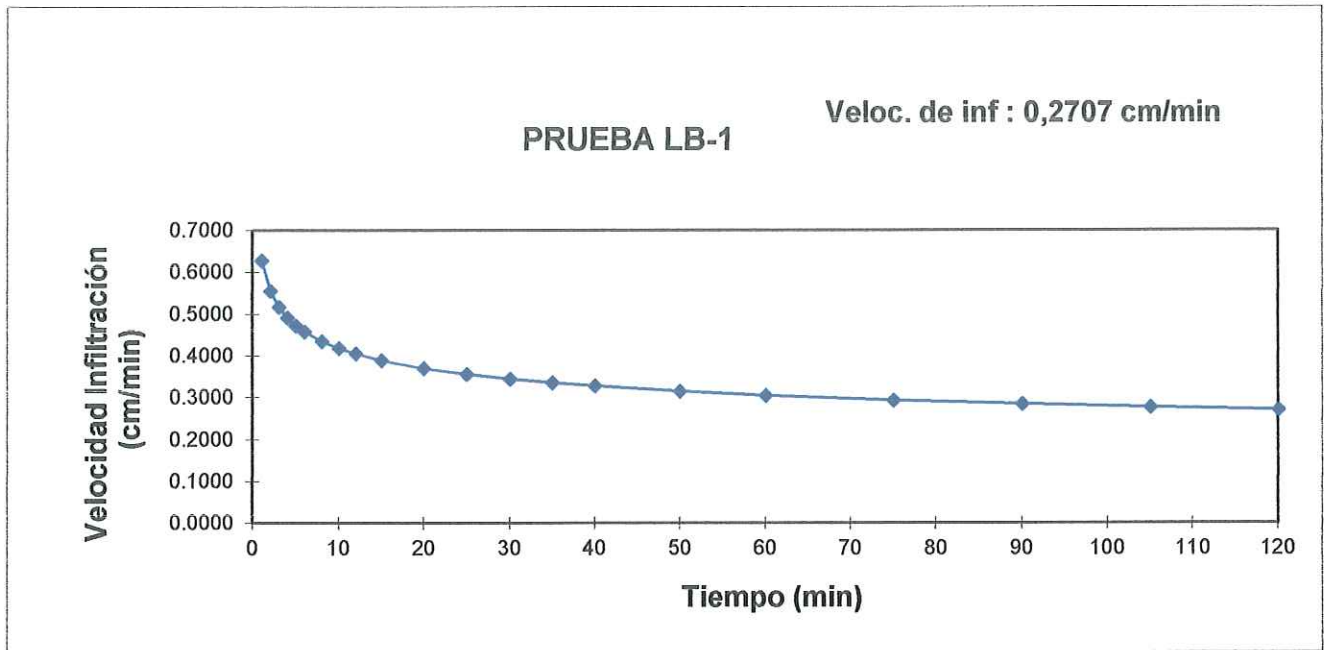


Anexo 3: Reporte de aforos fuentes ASADA Llano bonito

ACUEDUCTO LLANO BONITO L.C.  
CONTROL DE AFOROS 2017

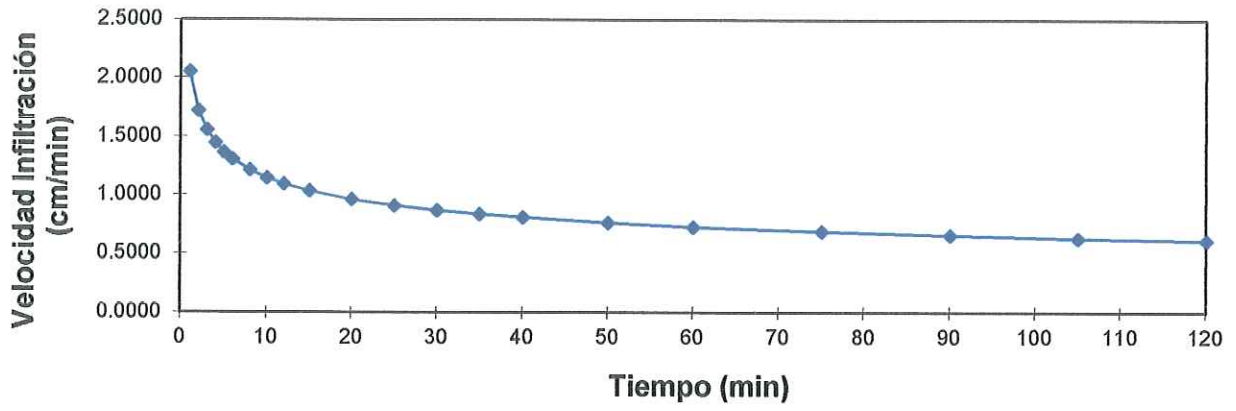
	NECO	SANTA ROSA	SAN ROSA 2	SAN DIEGO	SANCHEZ	TANQUE SUSO	TANQUE JIMENEZ
ENERO	1.5Lx"	3.3Lx"	1.25Lx"	2.5Lx"	0.7Lx"	2.6Lx"	1.1Lx"
FEBRERO	1.2x"	1.9Lx"	1.4Lx"	2.5Lx"			
MARZO	1.1x"	1.4Lx"	1.2Lx"	1.8Lx"			
ABRIL	24-4-11 0.4Lx"	1.3Lx"	1.2Lx"	0.8Lx"	0.4Lx"	1.1Lx"	0.4Lx"
MAYO	26-5-11 1.1Lx"	4.2Lx"	2.8Lx"	6.8Lx"			
JUNIO	20-6-11 4Lx"	6.25Lx"	3.2Lx"	10Lx"			
JULIO							
AGOSTO							
SETEMBRE							
NOVIEMBRE							
DICIEMBRE							

## Anexo 4: Resultados pruebas de infiltración



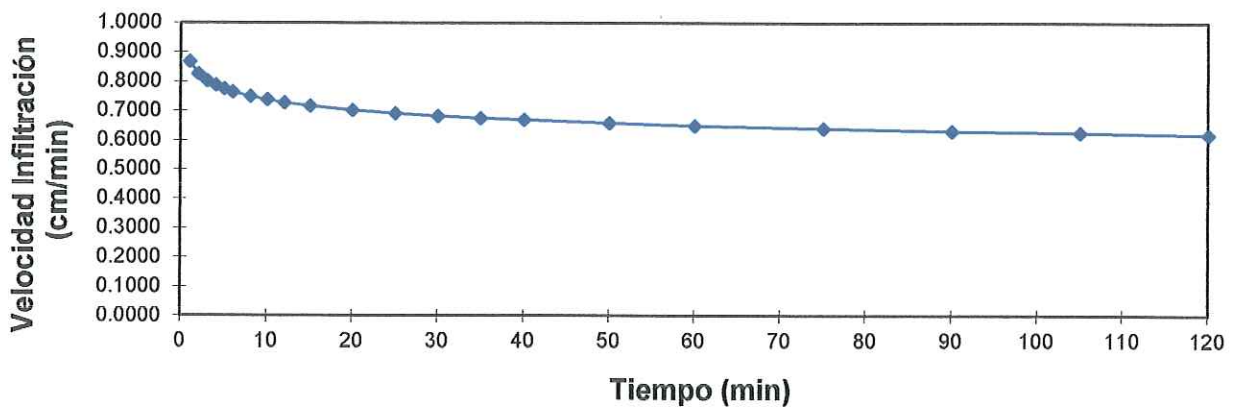
**PRUEBA LB-3**

**Veloc. de inf : 0,6132 cm/min**



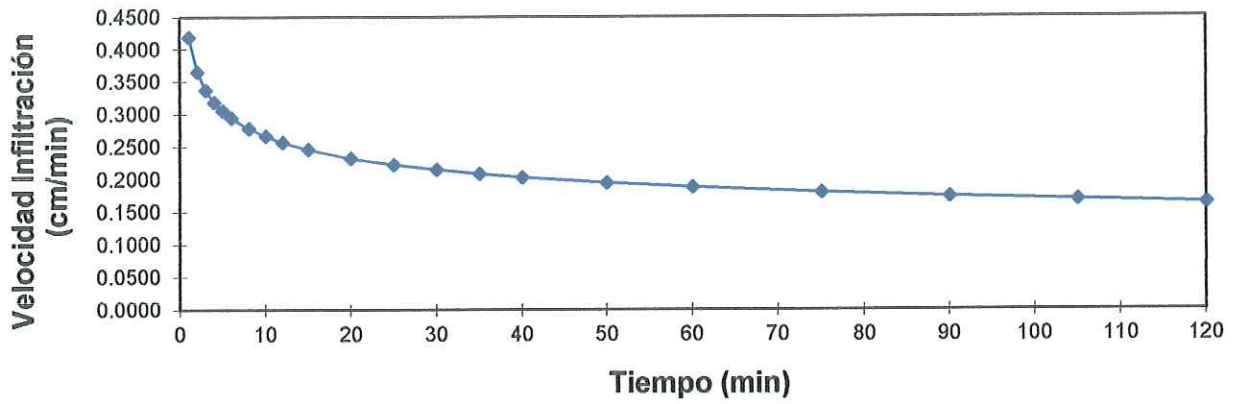
**PRUEBA LB-4**

**Veloc. de inf : 0,6200 cm/min**



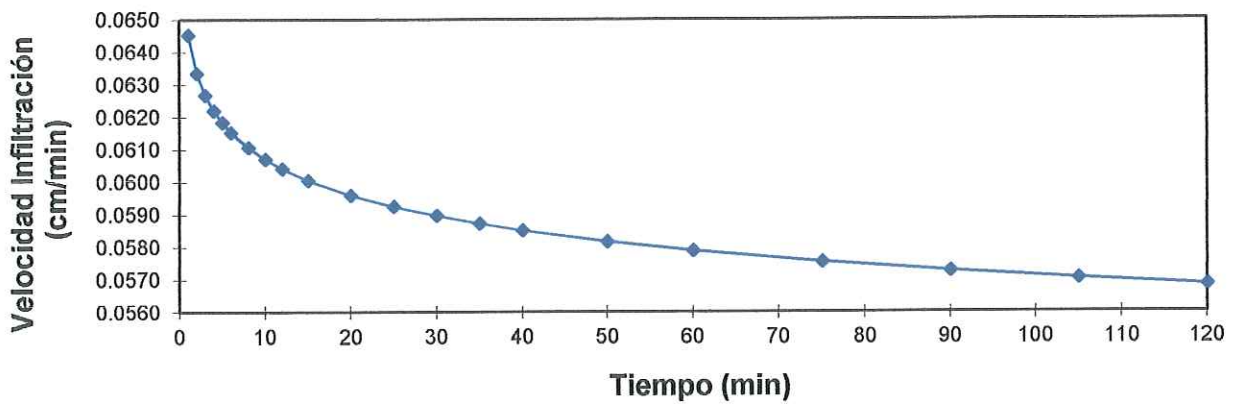
**PRUEBA LB-5**

**Veloc. de inf : 0,1643 cm/min**



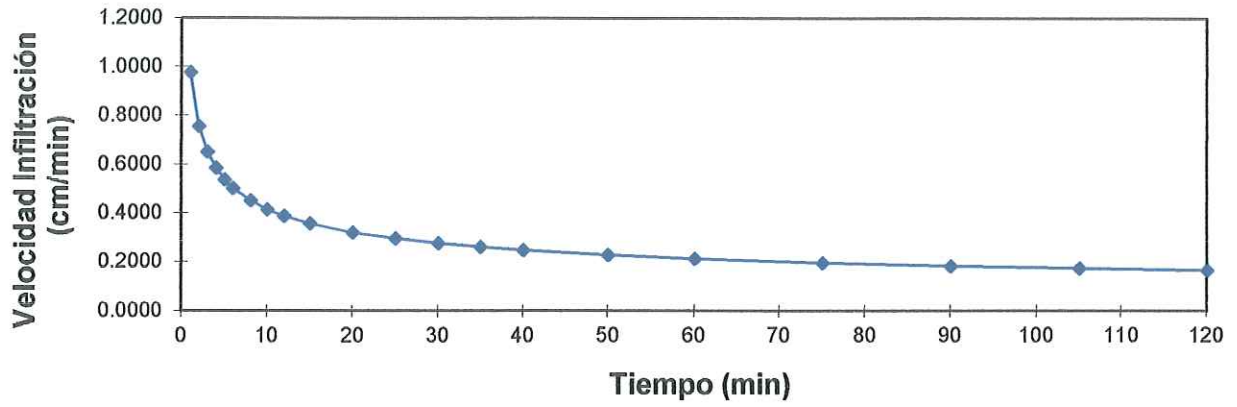
**PRUEBA LB-6**

**Veloc. de inf : 0,0568 cm/min**



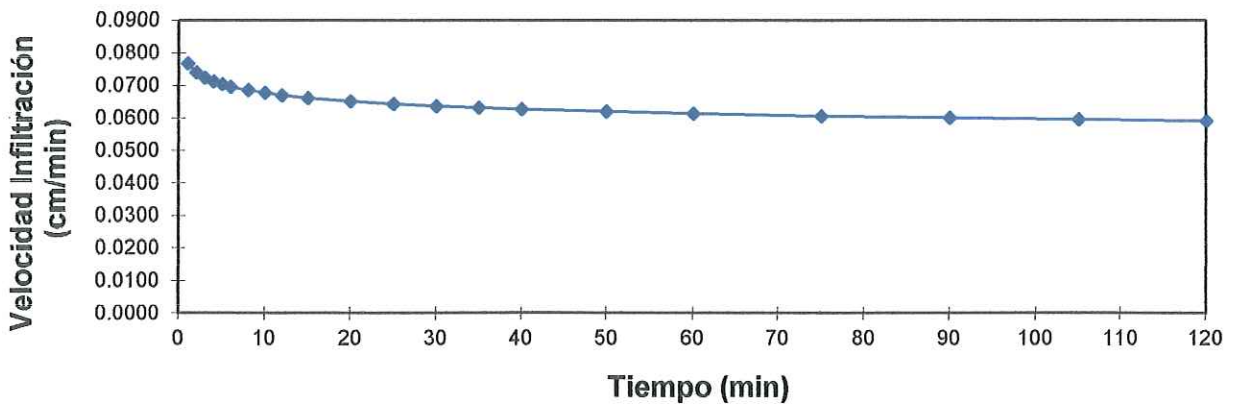
**PRUEBA LB-7**

**Veloc. de inf : 0,1654 cm/min**



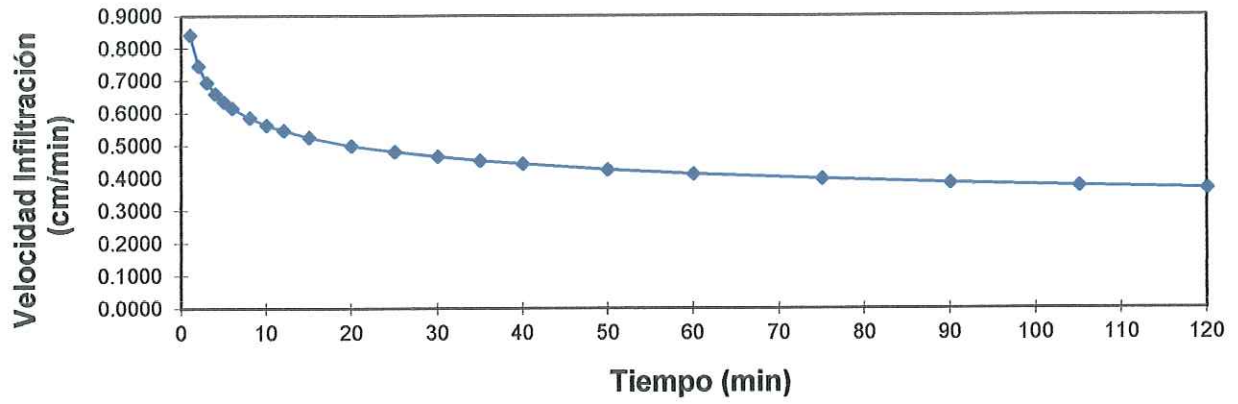
**PRUEBA LB-8**

**Veloc. de inf : 0,0592 cm/min**



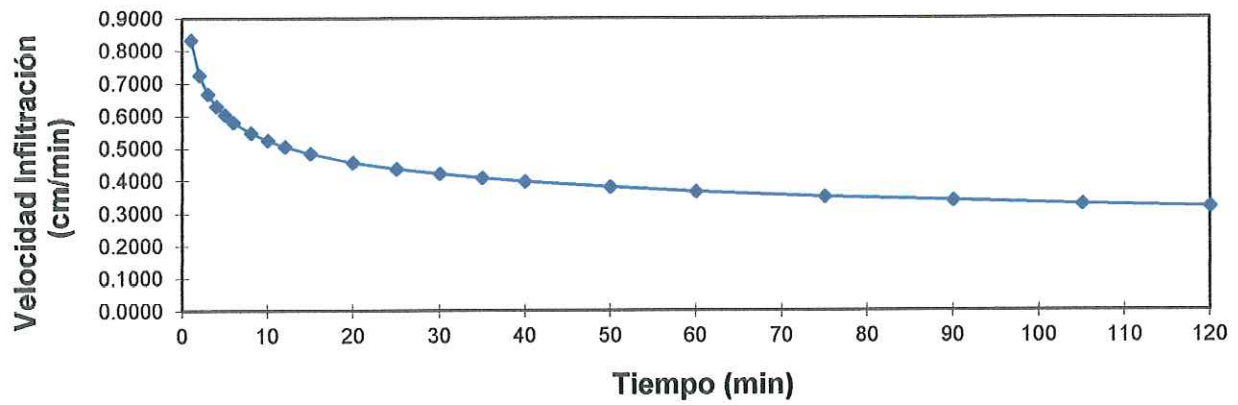
**PRUEBA LB-9**

**Veloc. de inf : 0,3670 cm/min**



**PRUEBA LB-10**

**Veloc. de inf : 0,3197 cm/min**



## Anexo 5: Análisis de calidad del agua realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas del Aya



**AYA-ID-03199-2015**

### INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
email: [dmora@aya.go.cr](mailto:dmora@aya.go.cr)



#### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	DIVISION ACUEDUCTOS RURALES		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>	Sra. Cecilia Martinez Artavia		<b>Muestreado por</b>	Rojas Abarca Jua	
<b>SISTEMA:</b>	LLANO BONITO DE LEÓN CORTÉS: CENTRO		<b>Fecha de muestreo</b>	28-abr-15	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	28-abr-15	
<b>Muestreo:</b>	MEZCLA DE NACIENTES SANTA ROSA 1, 2 Y 3		<b>Fecha de Reporte:</b>	07-may-15	
<b>Dirección:</b>	CAPTACIÓN CAJA DE REUNIÓN		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>	242-5266	
<b>PROVINCIA:</b>	San Jose	<b>CANTON:</b>	León Cortés	<b>Tipo de muestra:</b>	Agua
<b>e-mail:</b>	<a href="mailto:cmartinez@aya.go.cr">cmartinez@aya.go.cr</a>	<b>Fax:</b>	242-5223	<b>Hora de recolección:</b>	09:40

#### DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	65	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	11,7	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	0,6	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	15,2	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	D.	mg/L	0,49	0,81	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Color Aparente	*	N.D.	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	162	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	62	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	66	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	N.D.	mg/L	0,027	0,055	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,70	4110B Cro		
Hierro	*	8,3	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	1,5	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	N.D.	mg/L	0,53	0,75	1,80	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,060	0,10	4110B Cro		0,1
pH	*	6,87		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10

Página 1 de 2

Editado e impreso por  
AYA 2006

Aprobado por:  
**Dr. Darner Mora Alvarado**



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-03199-2015

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e-mail: [dmora@aya.go.cr](mailto:dmora@aya.go.cr)



PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Potasio	*	N.D.	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	4,3	mg/L	1,9	2,0	2,5	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	7,23	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	17,0	°C	0,10			2550 B	18 a 30) °)	
Turbiedad	*	0,1	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

\* Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

\*\* Ensayo no acreditado

**Condiciones Ambientales:**

**Observaciones:**

Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 32327-S.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

*A Urbina C.*

Licda. Azucena Urbina Campos  
Jefe del Laboratorio Química

Página 2 de 2

Editado e impreso por  
AYA 2006

Aprobado por:  
Dr. Darner Mora Alvarado



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-03201-2015

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
email: dmora@aya.go.cr



Laboratorio de ensayo  
Alcance de Acreditación: IL-249  
ACREDITACIÓN: IL-249  
Elaborado por: D. Darner Mora Alvarado  
Más información en www.aya.cr

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	DIVISION ACUEDUCTOS RURALES		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5
<b>Contacto:</b>	Sra. Cecilia Martínez Artavia		<b>Muestreado por</b>	Rojas Abarca Jua
<b>SISTEMA:</b>	SAN RAFAEL ABAJO, SAN LUIS Y SAN JUAN DE LLANO BONITO		<b>Fecha de muestreo</b>	28-abr-15
			<b>Fecha de ingreso :</b>	28-abr-15
<b>Muestreo:</b>	NACIENTE SAN DIEGO		<b>Fecha de Reporte:</b>	07-may-15
<b>Dirección:</b>	TUBO CONDUCCIÓN ANTES DEL TANQUE		<b>Inicio Análisis MIC:</b>	
			<b>Teléfono:</b>	242-5266
<b>PROVINCIA:</b>	San Jose	<b>CANTON:</b> León Cortés	<b>Tipo de muestra:</b>	Agua
<b>e-mail:</b>	cmartinez@aya.go.cr	<b>Fax:</b> 242-5223	<b>Hora de recolección:</b>	12:12

### DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	20	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	5,2	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	8,3	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	3,54	mg/L	0,49	0,81	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Color Aparente	*	N.D.	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	83	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	21	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	26	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	D.	mg/L	0,027	0,055	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,70	4110B Cro		
Hierro	*	15,7	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	1,4	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	13,30	mg/L	0,53	0,75	1,80	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,060	0,10	4110B Cro		0,1
pH	*	6,40		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10

Página 1 de 2

Editado e impreso por  
AYA 2006

Aprobado por:  
Dr. Darner Mora Alvarado



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-03201-2015

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
email: [amora@aya.or.cr](mailto:amora@aya.or.cr)



PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Potasio	*	N.D.	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	3,9	mg/L	1,9	2,0	2,5	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	N.D.	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	21,9	°C	0,10			2550 B	18 a 30) °C	
Turbiedad	*	0,40	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	3,6	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida  $k=2$  para un 95% de confianza  
 LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado  
 LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado  
 METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.  
 N.D.: No detectable bajo el límite de detección  
 D.: Detectable pero no cuantificable

\* Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

\*\* Ensayo no acreditado

### Condiciones Ambientales:

### Observaciones:

Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 32327-S.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Licda. Azucena Urbina Campos  
Jefe del Laboratorio Química

Página 2 de 2

Editado e impreso por  
AYA 2006

Aprobado por:  
Dr. Darner Mora Alvarado



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: SAN RAFAEL ABAJO, SAN LUIS Y SAN JUAN DE LLANO BONITO		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS	Recepción: 06/05/2017
Canton: LEON CORTÉS		Recolectado por: LUIS DIEGO MONGE PIEDRA	Conclusión análisis: 09/05/2017
Provincia: SAN JOSÉ	Localización: 1-20-03	Numero reporte: 137203	Emisión reporte: 10/05/2017

PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml <sup>-1</sup>		MMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES	
NACIENTE SAN DIEGO Tubo colector antes entrada T. Cementerio	8:21			Negativo	Negativo
TANQUE DISTRIBUCIÓN CEMENTERIO Dentro del tanque	8:34	0,05		8	8
TANQUE DISTRIBUCIÓN SAN LUIS Dentro del tanque	9:05	0,05		29	29
<b>Red:</b>					
SAN RAFAEL ABAJO Sra. Katherine Fallas Cruz	8:43	0,01		>80	>80
SAN LUIS Sr. Geovanny Esquivel Jiménez	9:13	0,02		26	26
SAN RAFAEL ABAJO Sra. María Porras Fábila	9:24	0,04		3	3
SAN RAFAEL ABAJO Sr. Eliegar Velasco Sandoz	9:42	0,01		8	8

1- Orden 02120-17.  
2- Reporte de campo: a) comunidad participante en el Programa Sello de Calidad Sanitaria; b) estado general de los tanques: es regular; c) día nublado.  
3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 38924-S, Valor alerta y valor máximo admisible negativo por coliformes fecales y E. coli. 4- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano únicamente en la naciente San Diego. 5- Se recomienda mantener un residual mínimo de 0,3 mg/L de cloro en los puntos más distales de la red de distribución. 6- La densidad de coliformes detectada pone de manifiesto la necesidad de comunicar a los usuarios que deben hervir el agua antes de consumirla hasta tanto no se implementen las medidas correctivas.

Dr. Pablo Rivera Navarro  
BIOC  
Cód. 1694

PROFESIONAL RESPONSABLE

AREA MICROBIOLOGIA

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: LLANO BONITO DE LEÓN CORTÉS: CENTRO		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recepción: 21/10/2016	
Canton: LEON CORTÉS		Recolectado por: LUIS DIEGO MONGE PIEDRA		Conclusión análisis: 22/10/2016	
Provincia: SAN JOSÉ	Localización: 1-20-03	Número reporte: 134039		Emisión reporte: 31/10/2016	
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 mL <sup>-1</sup>		NMP (E.C. 445) C
			TOTALES	FECALÉS	
MEZCLA DE NACIENTES SANTA ROSA 1, 2 Y 3 Tubo de conducción del tanque	9:31			2,0	2,0
TANQUE DE DISTRIBUCIÓN SUZÚ Dentro del tanque	9:48	0,12		Negativo	Negativo
TANQUE LA CRUZ 1 Dentro del tanque	13:16	0,06		Negativo	Negativo
TANQUE LA CRUZ 2 Dentro del Tanque	13:38	0,02		Negativo	Negativo
<b>Red:</b>					
RED 1 Sra. Vanessa Rojas Valverde	11:31	0,05		Negativo	Negativo
RED 2 Escuela Llano Bonito	11:42	0,10		Negativo	Negativo
RED 3 Sra. Maritza Sánchez Aberca	12:11	0,08		Negativo	Negativo
RED 4 Sr. Obdilia Araya Aguilar	12:49	0,17		Negativo	Negativo

1- Orden: 05706-16.  
2- Reporte de campo: a) comunidad participante en el Programa Sello de Calidad Sanitaria; b) olor del agua aceptable; c) día soleado; d) estado de tanques regular. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 38924-S. Valor alerta y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E. coli. 4- En este análisis puntal el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano excepto en mezcla de nacientes Santa Rosa 1, 2 y 3. 5- Se recomienda mantener un residual mínimo de 0.3 mg/L de cloro en los puntos más distales de la red de distribución.

Dr. Pablo Rivera Navarro  
MOC  
Céd. 1683

PROFESIONAL RESPONSABLE:

AREA MICROBIOLOGIA

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



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

**MEMORANDO**

**PARA:** Thelma Robles Valverde  
**UEN Gestión Acueductos Rurales**

**FECHA:** 18 de diciembre del 2017

**DE:** Viviana Ramos Sánchez  
**Dirección ai. UEN Gestión Ambiental**  
**UEN Gestión Ambiental**



**No. UEN-GA-2017-01752**

Jose Jiménez Murillo  
**UEN Gestión Ambiental**  
**Área Funcional Hidrogeología**

**ASUNTO:** Entrega del estudio: **CÁLCULO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN (OPERACIONAL-ABSOLUTA) BACTERIOLÓGICA DE LAS FUENTES SAN DIEGO Y SANTA ROSA, ASADA LLANO BONITO, LEÓN CORTÉS**

---

De acuerdo a lo solicitado mediante oficio UEN-GAR-2017-02172, se adjunta el informe: "Cálculo de la zona de protección (operacional-absoluta) bacteriológica de las fuentes San Diego y Santa Rosa, ASADA Llano Bonito, León Cortés", elaborado por el Geól. Jose Manuel Jiménez Murillo.

Se indica del estudio las siguientes conclusiones:

1. El área de estudio se encuentra en un medio geológico de depósitos de origen marino con influencia volcánica, conformado por paquetes de areniscas de granulometría variada. En el caso de la naciente San Diego, el agua se encuentra almacenada en un coluvio que recubren los cerros de la zona, generado por la caída de bloques englobados en una matriz arenosa, por estas características se clasifica al acuífero como libre no cubierto. En la naciente Santa Rosa, el agua se almacena en las areniscas de la Formación Pacacua y el agua fluye a través de los espacios vacíos en la roca (porosidad primaria) y el fracturamiento de la roca (porosidad secundaria), por lo cual se considera como un acuífero libre no cubierto.

2. En lo que respecta a la zona de protección (Figura 11 y Figura 12) de las nacientes, sus dimensiones quedan establecidas de la siguiente forma:

<b>Fuente</b>	<b>Zona operacional y de protección absoluta</b>	<b>Zona de protección absoluta (Bacteriológica)</b>
San Diego	30 metros de ancho, definido como un radio de 15 m alrededor de cada fuente.	Ancho de 85 m Largo de 183 m
Santa Rosa 1	30 metros de ancho, definido como un radio de 15 m alrededor de cada fuente.	Ancho de 61 m Largo de 287 m
Santa Rosa 2	30 metros de ancho, definido como un radio de 15 m alrededor de cada fuente	Ancho de 47 m Largo de 367 m

3. En la zona operacional y zona de protección absoluta se deberá cumplir lo siguiente:

- La superficie de la captación del pozo debe contar con las dimensiones mínimas de 15 metros de radio alrededor de este.
- El área de reserva absoluta, solamente deberá ser utilizada para actividades relacionadas con la extracción misma del agua.
- Las partes usadas para actividades de mantenimiento del pozo, deben estar debidamente selladas (sin fugas), para prevenir la infiltración de sustancias químicas u otras (aceites, etc).
- Mantener una cerca perimetral alrededor del campo de pozos.
- La zona de protección absoluta debe dedicarse a la conservación y protección forestal.

4. Se determina a partir de los análisis del Laboratorio Nacional de Aguas, con los cuales se contó a la fecha de elaboración de este informe, en los reportes físico – químicos para las nacientes San Diego y Santa Rosa, estos cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 32327-S, según los parámetros físicos-químicos evaluados, y los criterios de Calidad para Potabilización en Aguas de Pozos y Nacientes LNA 2012”. Según el reporte Bacteriológico 134039 para las nacientes Santa Rosa, se determina que “Las nacientes Santa Rosa no cumplen con los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano”, mientras que según el reporte Bacteriológico 137203 para la naciente San Diego se determina que: “La naciente San Diego cumple con los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano”.

5. La zona donde se localizan los pozos se clasifica como de vulnerabilidad extrema, según la metodología de GOD para la clasificación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos.

6. Se recomienda mantener un monitoreo constante de análisis físico-químico y bacteriológicos para las Nacientes y también en los sistemas de distribución y tanques de almacenamiento, cada tres meses.

C: Andres Saenz Vega, Subgerencia Ambiental, Investigación y Desarrollo  
Cecilia Martínez Artavia, Subgerencia Gestión de Sistemas Delegados  
Archivo 600